

**České vysoké učení technické v Praze**

Fakulta strojní

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel



Disertační práce

2021

**Ing. Lukáš Málek**

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

Studijní obor: Dopravní stroje a zařízení

Školitel: prof. Ing. Ladislav Rus, DrSc.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou dizertační práci „Stanovení metodiky systémové integrace komponent kolejového vozidla k docílení optimálního prostředí v jeho interiéru“ jsem vypracoval samostatně pod vedení vedoucího dizertační práce a s použitím literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené dizertační práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 06. 01. 2021

---

## Poděkování

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Ladislavu Rusovi, DrSc. za velkou podporu a trpělivost s mojí osobou, za cenné rady a podněty k diskuzi a zamyšlení. Velké díky také patří kolegům a vedení společnosti SIEMENS Mobility s. r. o. za možnost studovat a vypracovat tuto práci, zejména pak panu Ing. Jiřímu Pohlovi za velkou motivační a profesní podporu. Obrovské díky patří též moji rodině a přátelům, kteří se mnou sdíleli i nelehké chvíle. V neposlední řadě všem dalším, kteří mi jakkoliv pomohli a poradili s tématy, které byly pro mne nové a mnohdy i zcela neznáme. Děkuji moc Všem.

**Titul:** Stanovení metodiky systémové integrace komponent k docílení optimálního prostředí v jeho interiéru.

### **Anotace**

Cílem této práce je sestavení metodiky systémové integrace komponent návrhu kolejového vozidla k docílení optimálního prostředí v jeho interiéru. Základní filozofií metodiky je synergie systému ČLOVĚK – VOZIDLO – PROSTŘEDÍ, která zohledňuje vzájemnou provázanost systému na úrovni studovaných vlivů. Metodika vede ke komplexnímu porozumění návrhu kolejového vozidla s ohledem na lidský faktor. Různé pozice rozmístění lidského faktoru v prostoru návrhu interiéru vozidla jsou příčinou odlišného vnímání působících vlivů prostředí, jako jsou hluk, vibrace, světlo a teplo. Metodika vyhodnocuje celkové komplexní řešení systémového návrhu vozidla. Teoretická část práce připravuje čtenáři základní znalosti o funkčních částech metodiky a matematickém vyjádření. Praktická část dizertační práce provází sestavením metodiky na příkladu systémového návrhu vozidla. Fyzikálně odlišná prostředí zvuku, vibrací, světla a tepla lze ve vztahu k vnímání člověka popisovat na jejich energetické úrovni jako elektromagnetické a mechanické energie vlnění. Metodika navrhuje optimalizační parametry jako je poloha, směr, intenzita, frekvence a expozice. Metodika navrhuje sestavení přenosových cest mezi lidským faktorem (dále jen pozorovatelem) a systémovým zdrojem hluku, vibrací, světla nebo tepla. Přenosová cesta mezi pozorovatelem a zdrojem představuje informační vztah o toku intenzity, frekvence a expozice. Je navrženo informační pravidlo metodiky o záznamu informace, jsou zavedeny pravidla sestavení přenosových cest a jsou stanoveny kritéria optimalizace. Výsledkem je hladina stresu pozorovatele jako odezva na podmínky okolního prostředí. Metodika zavádí systémové prvky vozidla jako tzv. kritické komponenty, jejichž specifické energetické charakteristiky nejvíce ovlivňují výslednou hladinu stresu pozorovatele. V závěru je návrh metodiky diskutována použitelnost, efektivita, přínos a náměty na vylepšení.

**Klíčová slova:** zvuk, zrychlení, světlo, teplo, pohoda, komfort, metodika, kolejové vozidlo, udržitelnost, systémová integrace, ergonomie, biologie, výkon, intenzita, frekvence, poloha, orientace, přenosové funkce, optimalizace, design.

**Title:** Establishment of the method of railway vehicle components system integration to achieve the optimal environment in the vehicle's interior.

### **Annotation**

The aim of this thesis is the methodological compilation of system of the railway vehicle components integration in relation to achieve an optimal environment in its interior. The basic philosophy of the methodology is the synergy system HUMAN – VEHICLE – ENVIRONMENT, that respects the interrelation at the studied influence level. The methodology leads to the comprehensive understanding of the railway vehicle design considering the human factor. Different positions of human factor in the design environment of railway vehicle interior are the reasons of different perception of environmental effects such as noise, vibrations, light and heat. The methodology evaluates the overall complex solution of the railway vehicle system design. The theoretical part introduce to readers the basic knowledge about functional parts of methodology and mathematical expression. The practical part of the thesis accompanies the compilation of the methodology on the example of the system design of the vehicle. It has been investigated that physically different environments of sound, vibration, light and heat can be described in relation to human perception at their energy level as electromagnetic and mechanical energy of waves. The methodology proposes optimization parameters such as position, direction, intensity, frequency and exposure. The methodology proposes the construction of transmission paths between the human factor (hereinafter referred to as the observer) and the system source of noise, vibration, light or heat. The transmission path between the observer and the source represents an information relationship about the flow of intensity, frequency and exposure. An information rule of the methodology for recording information is proposed, rules for the construction of transmission paths are introduced and optimization criteria are set. The result is the observer's stress level in response to environmental conditions. The methodology introduces the system elements of the vehicle as the so-called critical components, whose specific energy characteristics most influence the resulting stress level of the observer. In the end is the proposal of the method discussed in relation with usability, effectivity, benefits and topic to improvements. At the end, the proposed methodology discusses the applicability, effectiveness, benefits and suggestions for improvement.

**Keywords:** sound, acceleration, light, heat, comfort, methodology, rolling stock, sustainability, system integration, ergonomics, biology, performance, intensity, frequency, position, orientation, transmission function, optimization, design



## 1. OBSAH

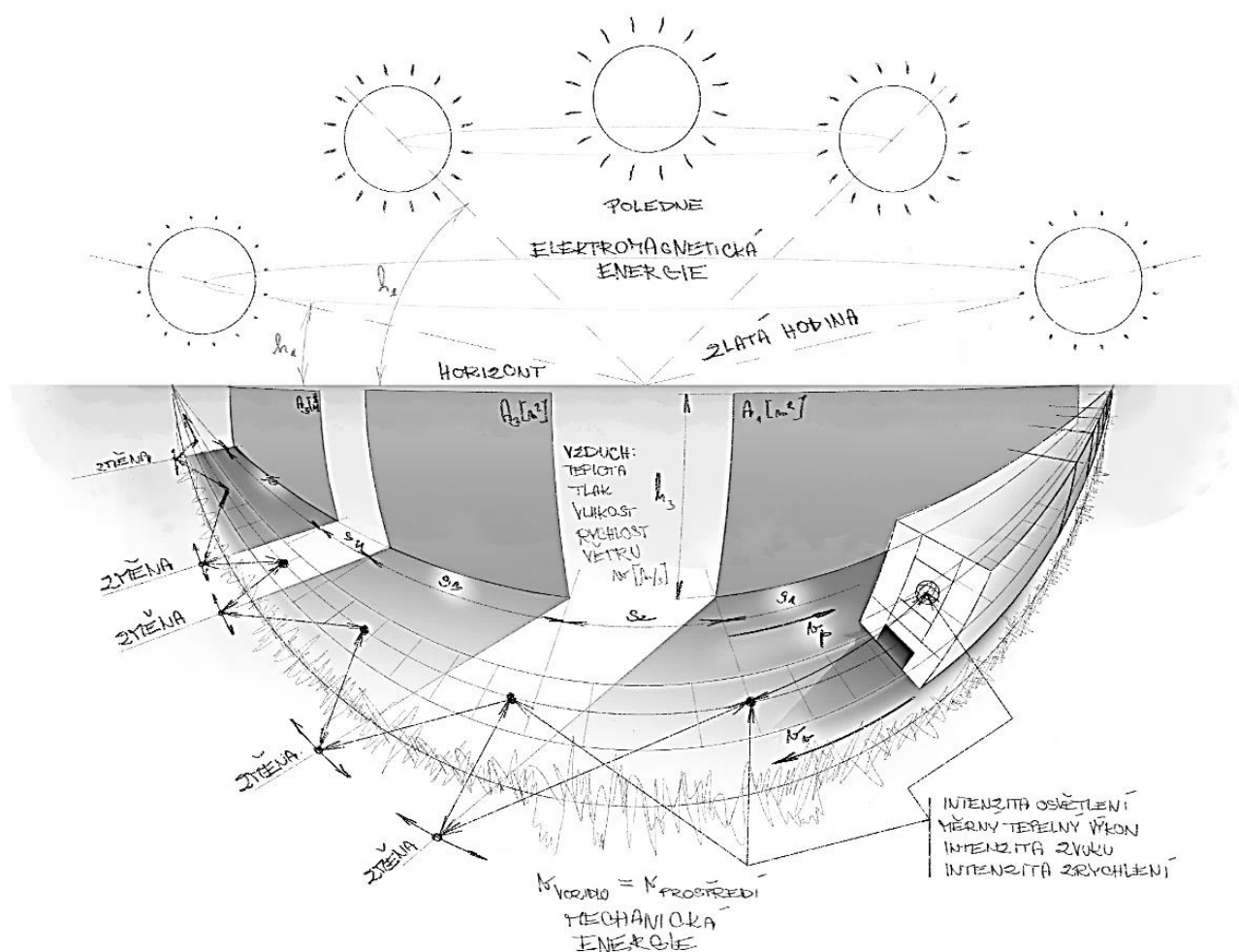
2.	Úvod.....	9
3.	Motivace.....	12
4.	Globální cíl práce .....	14
5.	Současný stav problematiky .....	16
5.1.	Úvod do koncepce kolejových vozidel.....	16
5.2.	Základní dělení kolejových vozidel.....	20
5.3.	Koncepce aerodynamického tvaru čela vozidla .....	24
5.4.	Koncepce vozidlových skříní .....	43
5.5.	Systémy dveří a oken kolejových vozidel.....	47
5.6.	Interiér kolejových vozidel.....	54
5.7.	Fyzikální prostředí kolejových vozidel .....	75
5.8.	Účinky prostředí na člověka.....	115
6.	Konkrétní cíle disertační práce.....	155
7.	Postup řešení problému disertace .....	156
7.1.	Metodika a její proces .....	158
7.2.	Nástroje použité k vypracování metodiky.....	168
	Teoretická část.....	169
7.3.	Rozbor logaritmické funkce .....	169
7.4.	Ekvivalentní hladina efektivní veličiny $LEVEL_{ekv}$ mechanického vlnění.....	179
7.5.	Hladina intenzity vlnění .....	180
7.6.	Hladiny poměrových činitelů intenzity .....	198
7.7.	Hladina směrovosti.....	200
7.8.	Hladina vzdálenosti .....	201
7.9.	Hladina spektrální hustoty sledovaných vlivů.....	203
7.10.	Hladina expozice sledovaných vlivů .....	206
7.11.	Hladina tonality intenzity sledovaných vlivů .....	207
7.12.	Hladina rovnoměrnosti intenzity sledovaných vlivů .....	207
7.13.	Hladina plasticity intenzity sledovaných vlivů.....	208
7.14.	Stanovení hladiny stresu.....	209
7.15.	Přenosové rovnice .....	210
7.16.	Návrh parametrů optimalizace .....	213
7.17.	Návrh kritérií optimalizace.....	214
	Praktická část.....	216
7.18.	Příprava vstupů.....	216
7.19.	Návrh modelu člověka.....	231



7.20.	Návrh modelu vozidla .....	240
7.21.	Návrh modelu prostředí.....	245
7.22.	Návrh sestavení a výpočtu přenosových funkcí .....	264
7.23.	Návrh vyhodnocení přenosových funkcí.....	341
7.24.	Návrh optimalizace matematického modelu .....	345
8.	Diskuze k výsledkům .....	354
8.1.	Vlivy prostředí.....	354
8.2.	Logaritmická funkce.....	355
8.3.	Popis metodiky .....	357
8.4.	Proces metodiky .....	358
8.5.	Přenosové rovnice metodiky .....	359
8.6.	Hodnocení metodiky .....	359
8.7.	Proces optimalizace.....	360
9.	Závěr dizertační práce .....	361
9.1.	Význam práce pro praxi .....	363
9.2.	Možnosti dalšího výzkumu .....	363
10.	Reference.....	364
11.	Zkratky .....	382
12.	Přílohy .....	383



## 2. ÚVOD



Obrázek 1 – Jízda kolejovým vozidlem je nezapomenutelný zážitek plný subjektivních dojmů, které se neustále vyvíjejí a mají nesporný vliv na efektivitu kolejové dopravy. Vhodně navržené vozidlo může ovlivnit úsudek každého cestujícího a jeho vztah k hromadné kolejové dopravě. Kultura cestování je stejně důležitá jako systémový návrh vozidla, cílem musí být SYNERGIE mezi člověkem, vozidlem a jeho prostředím.

Zdánlivě odlišné „fyzikální světy“ zvuku, vibrací, světla a tepla lze ve vztahu s lidským faktorem jednotně vyjadřovat v té nejzákladnější podobě. Takovou podobu lze popisovat jako energii elektromagnetického a mechanického vlnění.

Dynamické procesy takového vlnění vyvolávají subjektivní vjemy, které je potřeba objektivizovat, porozumět jim a uplatnit je při systémovém návrhu kolejového vozidla.

Průřezově se od širších souvislostí přechází ke konkrétnímu vztahu systému ČLOVĚK-PROSTŘEDÍ-VOZIDLO.

Práce studuje exaktní vzorce, fyzikální zákony, jejich principy, procesy konstrukce kolejového vozidla a výhledové trendy blízké budoucnosti. Stejně jako jsou shrnuty účinky fyzikálních vlivů na lidské tělo a jeho vnímání, jsou shrnuty fyziologické a psychologické aspekty lidského faktoru v souvislosti s optimálním prostředím ve vozidle v podobě výsledného hodnocení.

Dizertační práce se se svým zaměřením nevztahuje k jediné jmenované disciplíně nebo oboru konstrukce kolejového vozidla. Cílem je pochopení situace návrhu vozidla, počínaje získáním obecného ponětí smyslu koncepce, popisem modelové situace na základě dostupných vstupů a informací, identifikací možného řešení situace až po koncepční návrh.

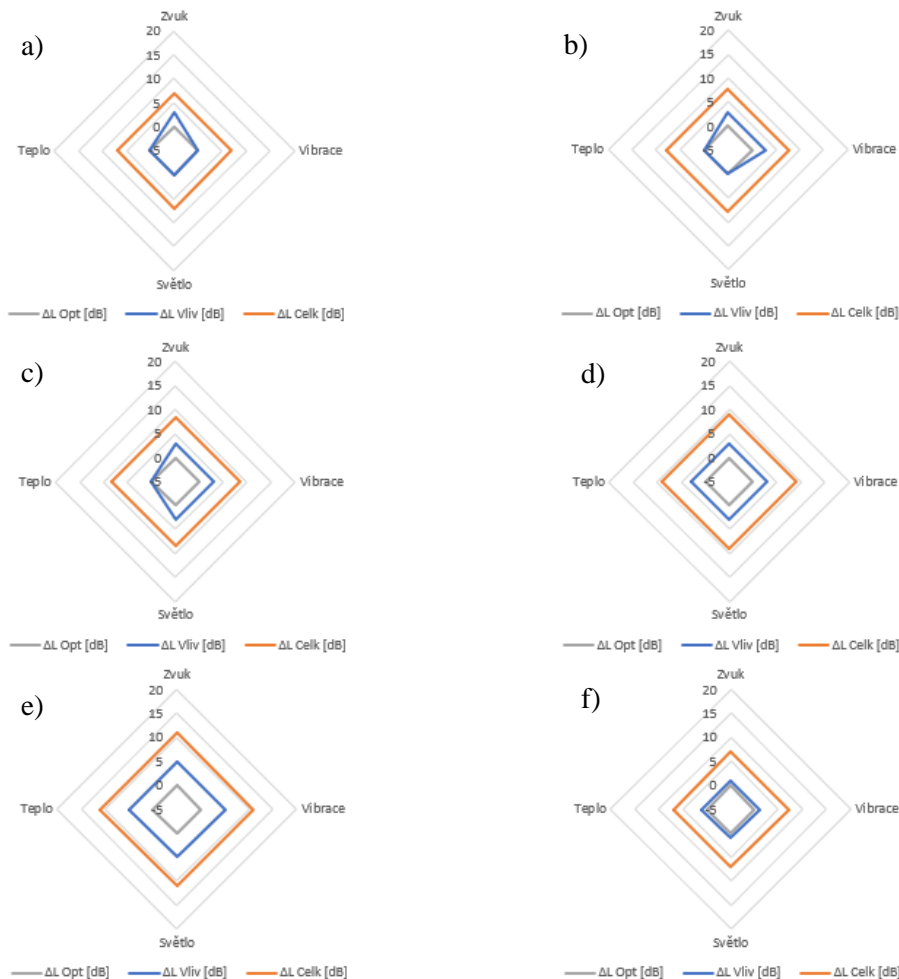
Výsledkem této práce je metodika návrhu systémové integrace komponent kolejového vozidla ve vztahu s lidským faktorem a s ohledem na působící vlivy prostředí, jako je hluk, vibrace, světlo a teplo a zohledňuje jejich vzájemnou provázanost. Variabilita předkládaných řešení této práce je nekonečná a je vhodná pro iterativní způsob koncepčního procesu, tedy procesu optimalizace.

Fyzikálně odlišná prostředí zvuku, zrychlení, světla a tepla lze popisovat na jejich energetické úrovni, a to i ve vztahu k vnímání člověka. Metodika navrhuje optimalizační parametry jako je poloha, směr, intenzita, frekvence a doba expozice, a tím definuje přenosové funkce interakcí mezi člověkem a vnitřním prostředím vozidla.

Matematický systém hodnocení je založený na výpočtu *hladiny stresu*. Hladina představuje logaritmický součet parciálních energetických součtů sledovaných vlivů. Metodika navrhuje metodický přístup k výpočtu těchto hladin a jejich vyhodnocení.

Teoretická část popisuje návrh matematické filozofie potřebné k metodickému hodnocení návrhu kolejového vozidla. Praktická část provádí metodikou krok za krokem a navrhuje potřebné kroky k sestavení přenosových funkcí mezi lidským faktorem, vozidlem a okolním prostředím, které jsou využity k výpočtu a hodnocení tzv. „hladin stresu“. Navrhovaná hladina stresu není fyzikální veličinou, a proto je navrženo využití tzv. „díličích hladin stresu“ jednotlivých vlivů k celkovému hodnocení vnitřního prostředí vozidla.

Následující Obrázek 2 ukazuje modelové případy efektu dílčích hladin stresu jednotlivých vlivů na velikost celkové hladiny stresu.



**Obrázek 2 - Způsoby vyhodnocení hladiny stresu vzniklé působením vlivů prostředí. Shora zleva: a) Efekt zvuku o intenzitě 3 dB s nulovým zbytkem vyvolá hladinu stresu o velikosti 7 dB. b) Přidáním dalšího vlivu zrychlení o intenzitě 3dB, vzroste celková hladina stresu na 7,8 dB. c), d) Stejně to platí i pro třetí a čtvrtý případ, kdy je postupně přidán další efekt prostředí o intenzitě 3 dB. Celková hladina stresu potom nabývá hodnot 8,4 a 9 dB. e) Pátý diagram reprezentuje zvýšení hladin všech vlivů na 5 dB, celková hladina stresu potom dosahuje hodnoty 11 dB. f) Naopak, odpovídají-li hladiny vlivů hodnotám 1 dB, celková hladina stresu je potom opět 7 dB, autor.**

Celková hladina stresu je přímým ukazatelem komplexního hodnocení metodiky a cílem optimalizace je snižovat její hodnotu směrem k nule.

### 3. MOTIVACE

Kolejová doprava má obecně velký potenciál ekologicky šetrného dopravního systému, stále více využívaného pro cestování na dlouhé vzdálenosti a pro městskou hromadnou dopravu. Díky elektrické trakci je možné napájet systém kolejové dopravy obnovitelnými zdroji, využitím funkce rekuperačního brzdění je možné zpětně elektrickou energii vyrábět a vracet zpět do sítě. Obrovskou výhodou je potom velká přepravní kapacita a celková úspora energie vztažená na osobu a na kilometr v porovnání s osobní automobilovou dopravou.

Návrh kolejového vozidla, jeho následná konstrukční realizace, výroba a uvedení do provozu, je komplexní proces založený na spolupráci mnoha konstruktérů a specialistů. Konvenční železnice, tedy kolejová vozidla v běžném provozu, musí plnit řadu legislativních a normativních předpisů, jako je například Technická Směrnice Interoperability (dále zkráceně TSI [Z1]), platná pro všechna konvenční železniční vozidla provozována na území Evropské Unie (dále zkráceně EU [Z2]).

TSI postupně vytěsňuje doposud běžně používané směrnice Mezinárodní železniční unie (dále podle francouzské zkratky UIC [Z3]), které do určité míry předepisovaly konstrukční provedení vozidla k docílení optimálního prostředí v jeho interiéru.

Technické specifikace TSI zastřešují:

- Bezpečnost
- Spolehlivost
- Ochranu životního prostředí
- Ochranu zdraví
- Kompatibilitu technického rozhraní VOZIDLO – DOPRAVNÍ STAVBA

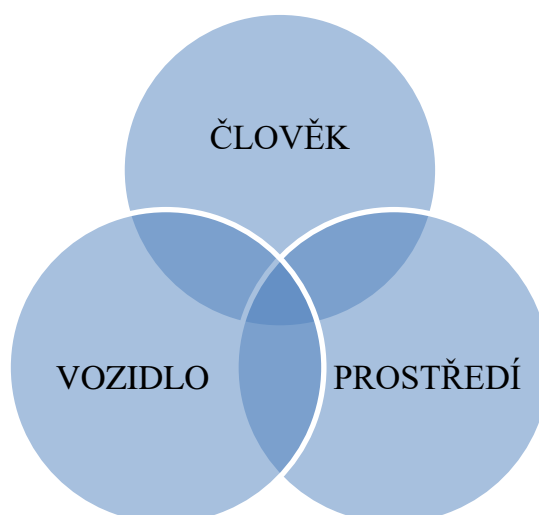
TSI cestovní pohodu vnitřního prostředí vozidla neřeší. Konstrukční provedení návrhu je aspektem otevřeného trhu a v praxi odpovídá:

- výrobním možnostem zhotovitele vozidla, tedy výrobce a
- finančním prostředkům objednavatele vozidla, tedy provozovatele.

Vzniklý prostor pro návrh vozidla je vlivem uvedení do provozu limitován normativními postupy, které jsou součástí procesu plnění homologačních podmínek vozidla. Obecně jsou normy předmětem smluvní dohody mezi zadavatelem a zhotovitelem návrhu vozidla, a tím ulehčují proces uvedení vozidla do provozu. Normy, ve své podstatě doporučení, se tímto stávají předpisem pro návrh kolejového vozidla a vznikají tzv. standardní řešení.

Kolejová doprava má významné postavení v oblasti hromadné přepravy zboží a osob. Atraktivita kolejové dopravy od přelomu dvacátého a dvacátého prvního století rychle stoupá. V osobní přepravě je význam mimo jiné v doplnění potřeb individuální automobilové dopravy, tedy nabídky využití jízdy vlakem na dlouhé vzdálenosti. To se projevuje řadou výhod, kdy cestující využije cestovní čas k odpočinku, zábavě nebo práci. Požadavky na efektivitu využití času lze uspokojovat zvyšováním cestovního komfortu vozidel, tedy zvyšováním rychlosti vozidla, příjemným a funkčně estetickým vnitřním prostředím a dostatečně odpovídajícím servisem provozovatele.

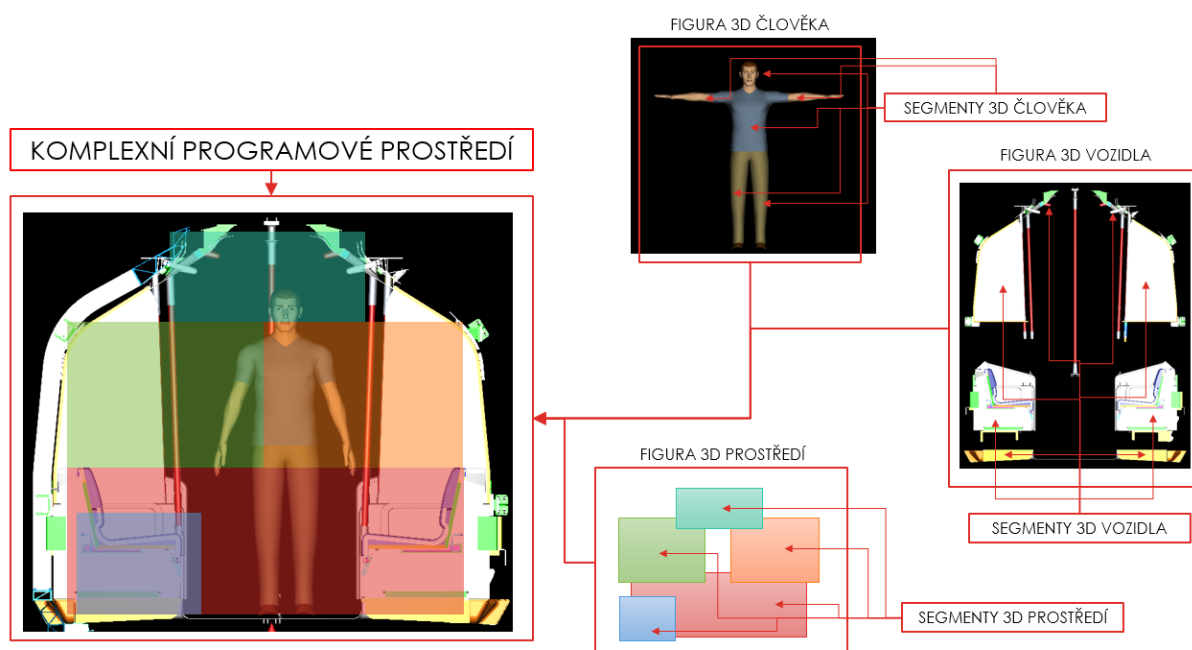
Komfort a kvalita cestovního prostředí je obecně spjata s průřezovými tématy, jako je obor ergonomie, design, architektura, akustika, technika tepelného prostředí, systémový návrh osvětlení a v neposlední řadě výpočet dynamických jevů návrhu vozidla. Tyto dílčí témata je nutné projektově využít a zhodnotit synergii celkového technického řešení s ohledem na lidský faktor.



Obrázek 3 - Schéma synergie technického řešení vozidla, jeho vnitřního prostředí a lidského faktoru, autor.

## 4. GLOBÁLNÍ CÍL PRÁCE

Globální cíl této práce je navrhnout metodiku k hodnocení interiéru vozidla s ohledem na cestovní pohodlí cestujícího. Návrh metodiky zahrnuje hlavní vlivy pohodlí – hluk, vibrace, intenzita osvětlení a teplo. Navržená metodika musí vézt k porozumění návrhu kolejového vozidla již ve fázi jeho vývoje a pochopení jeho vztahu k lidskému faktoru, musí být aplikovatelná v jakémkoliv grafickém a matematickém řešiči a musí vézt k optimalizaci systémových komponent návrhu kolejového vozidla.



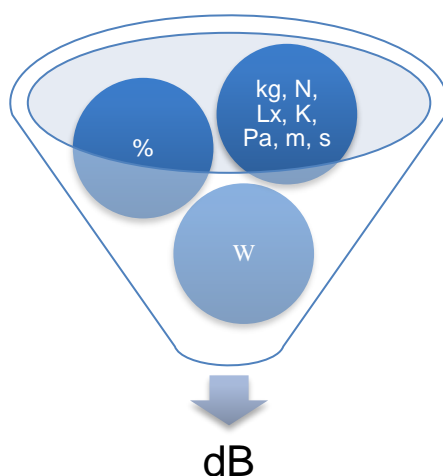
Obrázek 4 - Návrh sestavení komplexního Siemens PLM 3D Human CAD prostředí s využitím geometrie konstrukce vozidla, [121].

Návrh a vývoj metody je komplexní proces, do kterého se zapojuje řada technických oborů a specializací<sup>1</sup>. Pro rozsah této práce je zvoleno hodnocení čtyř hlavních fyzikálních vlivů prostředí kolejového vozidla – hluk, zrychlení, teplo a světlo.

<sup>1</sup> Např. akustika, dynamika vozidla, osvětlení, klimatizace, apod.

S ohledem na cestovní pohodu je cílem nahlížet na návrh vozidla jako na technické rozhraní, které je definováno svými materiálovými a funkčními vlastnostmi, a které svojí systémovou integrací vyhovuje potřebám lidského faktoru (cestující, provozovatel, člen údržby), v celém rozsahu cestovního/pracovního času.

Jsou použity dekadicky logaritmické funkce pro vyjádření intenzit definovaných frekvenčních rozsahů elektromagnetického a mechanického vlnění v závislosti na rozmístění zdrojů, kritických komponent vozidla a orientaci pozorovatele v prostoru. Cílem je jednotný matematický postup vyjádřený jednotnou matematickou jednotkou, decibel<sup>2</sup> [dB].



Obrázek 5 - Převedení hodnot efektivních veličin jednotlivých vlivů na odpovídající hladiny intenzit vztažené na prahové vnímání člověka, autor.

Pomocí fyzikálně matematického modelu sledované situace je proveden výpočet, jehož výsledky jsou vstupem ke zhodnocení jejich variant a vyvození optimalizačních řešení systémového návrhu kolejového vozidla s ohledem na:

- podmínky vnějšího a vnitřního prostředí vozidla,
- systémové rozvržení kritických komponent vozidla a jejich materiálově přenosové vlastnosti,
- požadavky lidského faktoru.

---

<sup>2</sup> Pozn. Autora: Dekadický logaritmus je stále využíván řadou oborů, např. mechanika, akustika, elektroakustika, elektrotechnika, apod.

## 5. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

### 5.1. ÚVOD DO KONCEPCE KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Původní železniční přeprava byla provozována jako koněspřežná, tedy vůz jel po koleji tažen koňmi. Výhodou „*koněspřežky*“ oproti tažení vozu po silnici je velmi nízký valivý odpor na styku kolo-kolejnice. Tím se zvyšovala efektivita koňské síly, neboť jeden kůň byl schopný utáhnout mnohonásobně těžší vůz, než-li po silnici. Jak ukazuje Obrázek 6, původní konstrukce kolejových vozidel vzešla z dostavníkových kočárů a povozů.



Obrázek 6 - Příklady koněspřežky. Vlevo rekonstruovaný vůz linecko-budějovické dráhy na obnoveném několikasetmetrovém úseku v Rakousku. Vpravo linecko-budějovický vůz Hannibal, [166].

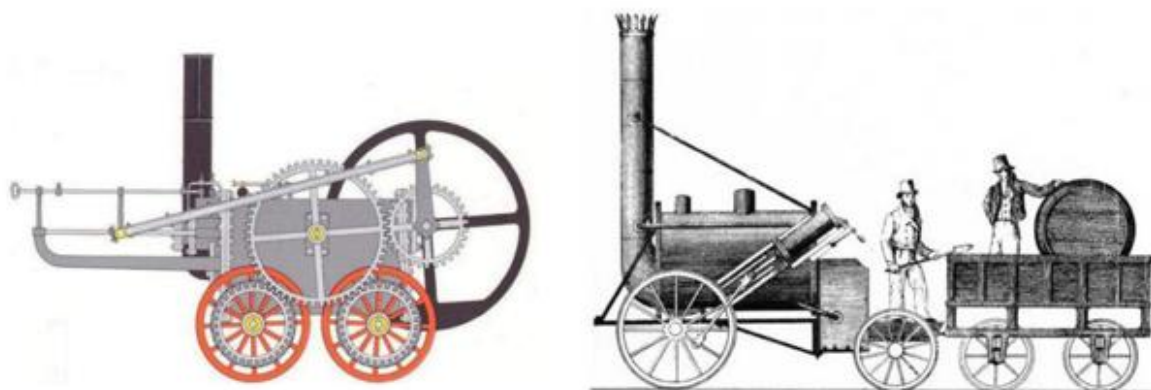
Již provozování koněspřežek, jako v dnešní konvenční železnici, se dalo rozdělovat podle účelu a místa přepravy. Tedy jak ilustruje obrázek níže, provozovaly se vozidla městské dopravy, případně speciální nákladní vlečky pro přepravu zboží či surovin, stejně tak dostavníkové vozy pro přepravu cestujících na delší vzdálenosti.



Obrázek 7 - Příklady koněspřežky: Vlevo koněspřežná tramvaj v New Yorku. Vlevo dostavník Hannibal, [166].

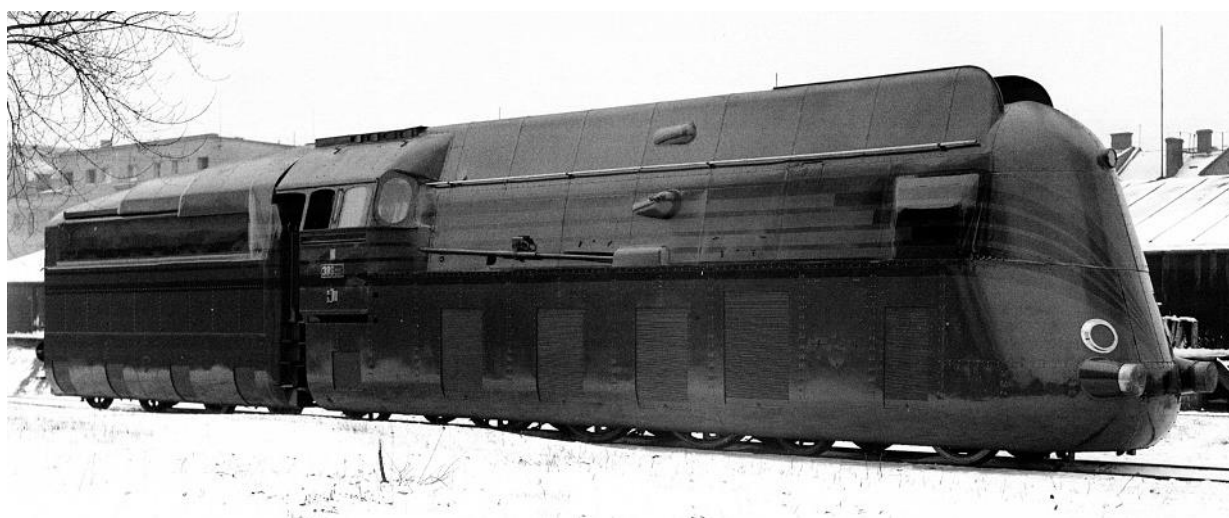


S příchodem parního stroje dostala železniční doprava kompletně nový rozměr. Parní stroje dokázaly urazit delší vzdálenost a dosahovaly mnohem větších rychlostí, než koňské povozy. Stejně tak se zvýšila přepravní kapacita dopravy, a tím začal rozvoj železniční dopravy po celém světě. Z pohledu technického řešení šlo o průmyslovou revoluci, začala se rychle měnit konstrukce vozidel a začalo se dbát i na pohodlí cestujících.



Obrázek 8 - Trevithickova lokomotiva z roku 1804 vlevo, vpravo Raketa z roku 1829, [167].

Jak naznačuje Obrázek 8, konstrukce parních strojů se odrážela v technologických možnostech tehdejší doby.



Obrázek 9 - Aerodynamická lokomotiva řady 386.001 z roku 1928, [127].

Průlom v koncepci kolejových vozidel nastal v první polovině 20. století s nástupem elektrických a spalovacích motorů, které vynikaly především svojí velikostí a účinností. Zatímco elektrifikace, zejména na území České republiky, postupně vznikala na hlavních tratích, vozidla se spalovacími motory začaly běžně pokrývat periferní části území, zejména průmyslové oblasti a lokální tratě.



**Obrázek 10 -** Tovární snímek nově dokončeného vozu M 260.001 Stříbrný šíp v areálu ČKD v Praze-Libni (fotografováno někdy před 14. únorem 1939), [174]. Vozidlo vychází koncepčně ze Slovenské strelý a karosářské práce proudnicového designu Tatry Kopřivnice.

Důkazem obrovského potenciálu udržitelnosti železniční dopravy je fakt, že tento vývoj probíhal paralelně s provozem parních lokomotiv, které běžně sloužily na hlavních rychlíkových tratích až do osmdesátých let 20. století. Stejně tak vznikaly tzv. „slepé větve“ vývoje kolejových vozidel, které do určité míry byly převratné, ale mnohdy přeběhly svojí dobu nebo byly zatíženy finanční nevolí.



**Obrázek 11 -** Platforma Mireo společnosti Siemens s možností trakce na vodíkový pohon. Tento princip trakce by mohl nahradit stávající vozidla se spalovacími motory na regionálních tratích a využít čisté energie obnovitelných zdrojů. Vozidlo tak může zajišťovat přepravu na ne-elektrifikovaných tratích, nebo na jejich úsecích, [126].

Železnice do 21. století, potažmo 3. tisíciletí, vstoupila s velikou odpovědností udržitelnosti, neboť současná globální ekologická situace volá po snižování celkových emisí CO<sub>2</sub> a čistotě životního prostředí. Koncepce moderních kolejových vozidel i nadále odráží technologické úspěchy dnešní doby, například první vodíková trakce se nyní realizuje na platformách Mireo společnosti Siemens, [126]. Z toho plynou výhody velkokapacitní dopravy, kdy zejména ve městech je individuální doprava neudržitelná a možným řešením je rozšíření a zkapacitnění dopravy kolejové.

## 5.2. ZÁKLADNÍ DĚLENÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Kolejová vozidla je možné dělit podle základních pohledů, jak uvádí [51], Kapitola 1., str. 5:

- Vazba vozidla k dopravní cestě
- Princip pohonu
- Přeprava cestujících a cestovní čas

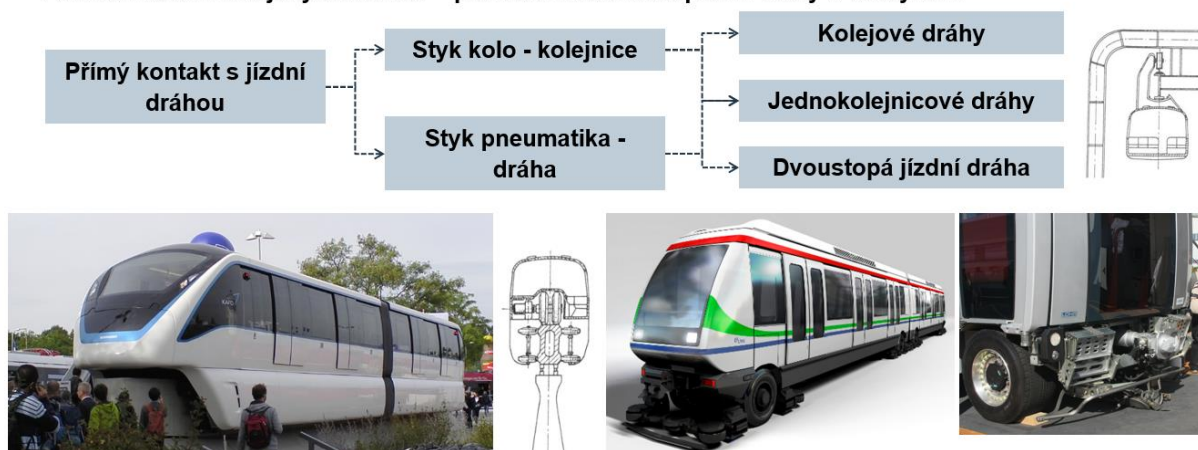
Konvenční železnice, viz Obrázek 12, je nejvíce rozšířená a spadá do koncepce styku kola a kolejnice. Nejvíce rozšířeným rozchodem kolejnic je 1435mm, který historicky pochází právě z koněpřežné dopravy, ale existují i jiné rozchody např. 1520 mm v Rusku, „Pyrenejský rozchod 1668 mm, apod.



Obrázek 12 - Dálkový vlak Regiojet Českých drah a.s. s v koncepci ucelené jednotky s čelní lokomotivou řady Taurus a hlavovým řídicím vozem. Obrázek z webu Českých drah, [128].

Existují systémy vozidel, zejména pak příměstské a městské dopravy, které jsou specifické svoji jednokolejnou dráhou, nebo využívají styku pneumatiky s jízdni dráhou. Taková vozidla jsou provozována například ve Francii pod označením zkratky VAL [Z4].

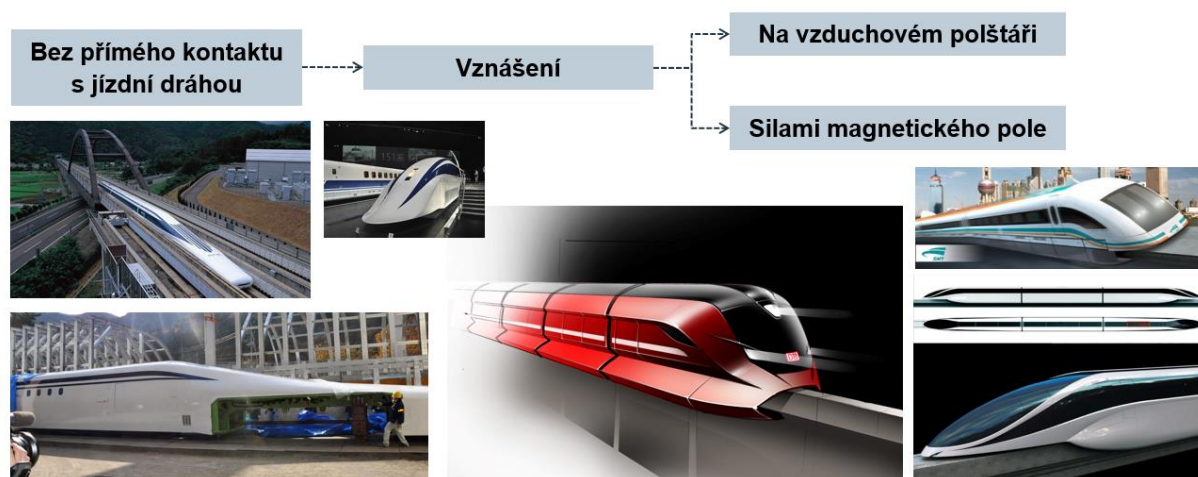
Základní dělení kolejových vozidel – pohled z hlediska dopravní cesty a vazby k ní.



Obrázek 13 - Přímý kontakt s jízdní dráhou vozidla. Nekonvenční systémy, zprava Monorail Bombardier, Innotrans Berlín 2014; uprostřed VAL, Siemens; vlevo pojezd systému NEO-VAL; Siemens, Innotrans Berlín 2014.

Dalším příkladem nekonvenční železnice jsou vozidla, které nepoužívají přímý kontakt s dráhou. Tato vozidla využívají principu elektromagnetických a vzduchových polštářů a nad vodící dráhou levitují, viz Obrázek 14. Tato vozidla odbourávají dynamické účinky valení kola po kolejnici, na druhou stranu jejich provoz je energeticky náročný a náklady spojené s výstavbou jízdní dráhy mnohonásobně převyšují klasickou stavební konvenci železničních svršků.

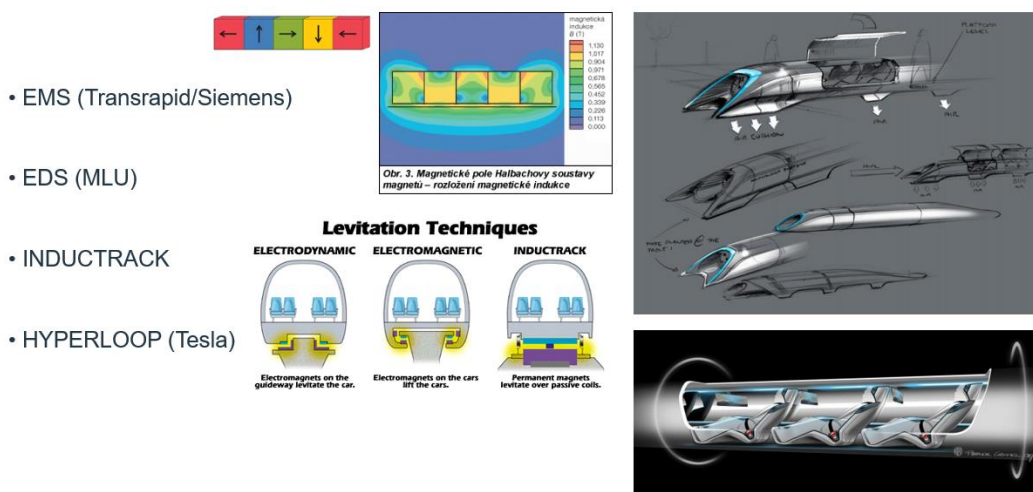
Základní dělení kolejových vozidel – pohled z hlediska dopravní cesty a vazby k ní.



Obrázek 14 - Vozidla bez přímého kontaktu s jízdní dráhou, zleva elektrodynamický systém – Šinkansen; uprostřed design studie neznámého autora; vpravo elektromagnetický systém - Transrapid-Siemens, [126].

Následující obrázek ve stručnosti představuje jednotlivé principy levitačních pojezdů.

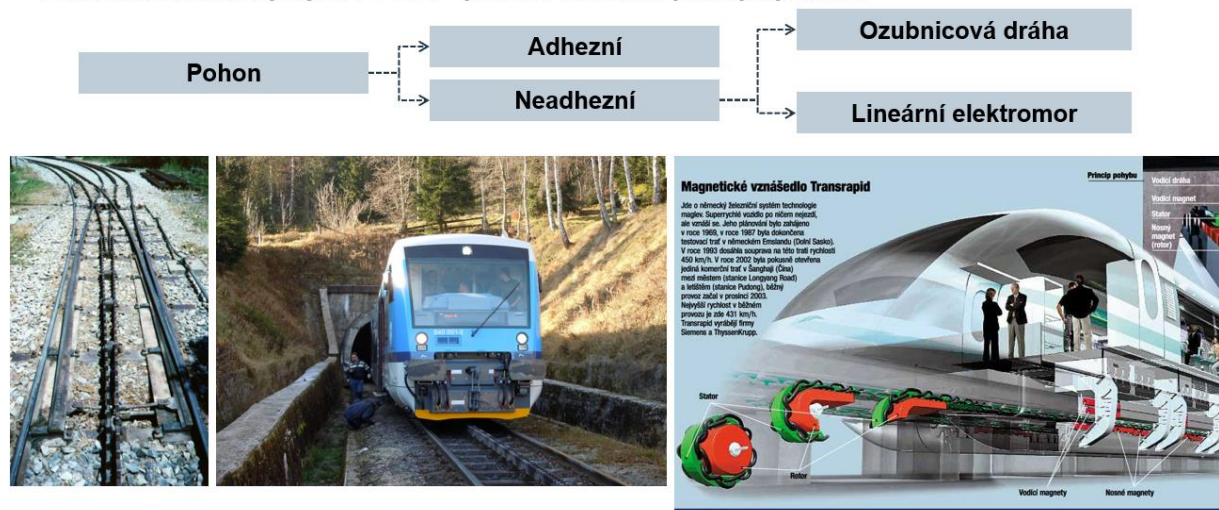
- Systém EMS (Elektromagnetický systém, [Z7]) umožňuje vozidlu levitovat v pohybu i ve stání.
- Systém EDS (Elektrodynamický systém, [Z8]) umožňuje vozidlu levitovat až od určité rychlosti.
- Systém INDUTRACK (Využití permanentních magnetů, [Z9]) není v komerčním provozu.
- Systém HYPERLOOP (Provoz ve vakuu s pohony lineárních motorů, [Z10]) je stále ve fázi konceptu a vývoje.



Obrázek 15 - Přehled levitačních principů, [Z7], [Z8], [Z10].

Dělení vozidel dle [51], str. 5 dále zohledňuje pohled adhezní a neadhezní, přičemž do neadhezních vozidel spadají, jak pojezdy levitující, tak pojezdy soustrojově spojené s jízdni dráhou, například ozubnicové dráhy. Z pohledu vnímání dynamických účinků je nutné započítat do buzení vzniklé interakcemi pohonu s jízdni dráhou, samotnou ozubnicí.

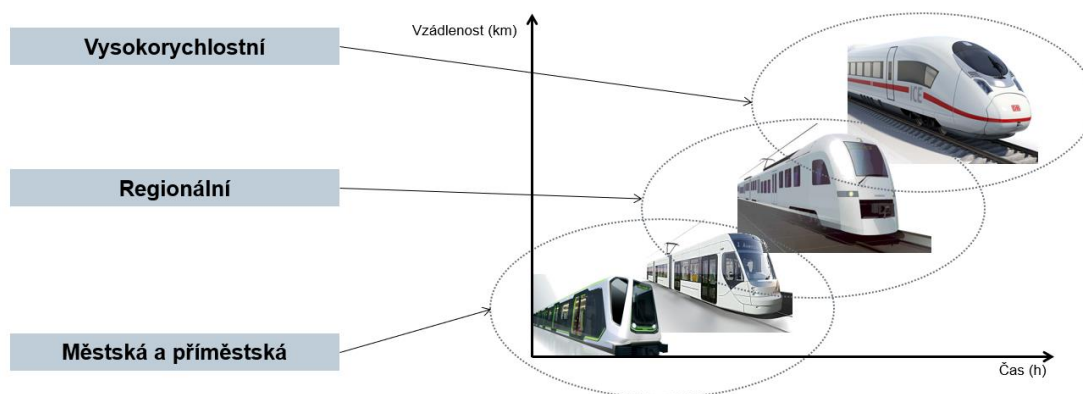
#### Základní dělení kolejových vozidel – pohled z hlediska principu pohonu



Obrázek 16 - Příklady neadhezních systémů. Zleva ozubnicová dráha, vlevo pohon lineárními elektromotory - Transrapid-Siemens, autor.

Tato práce bude dále pracovat s dělením dle [51] z pohledu přepravy cestujících. Počet cestujících, cestovní vzdálenost a cestovní čas jsou zcela zásadní pro konstrukci skříně a koncepci pojezdu a pohonu. V následujících kapitolách jsou představeny konstrukční prvky a koncepce skříní vozidel podle základního dělení, viz obrázek níže.

#### Základní dělení kolejových vozidel – pohled z hlediska přepravy cestujících

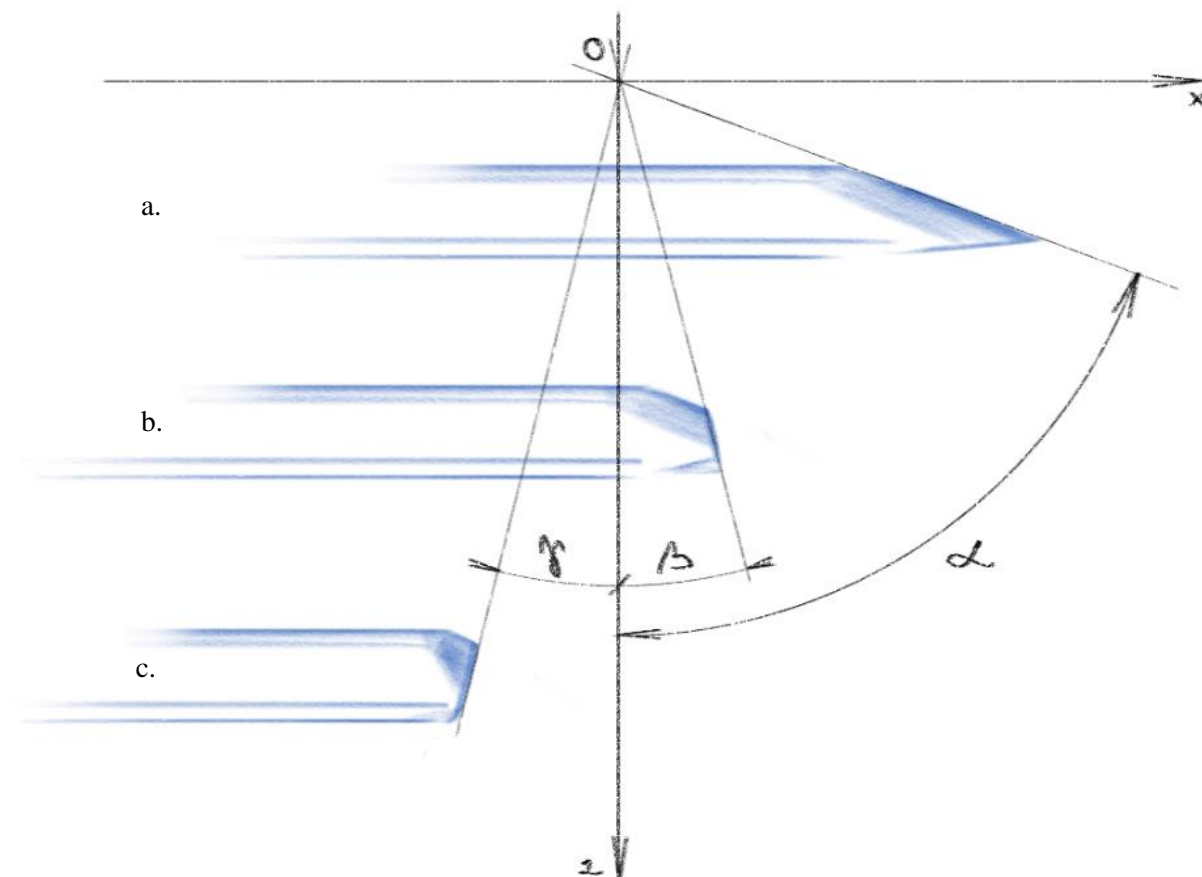


Obrázek 17 - Základní rozdělení kolejové dopravy z pohledu přepravy cestujících, [51].

### 5.3. KONCEPCE AERODYNAMICKÉHO TVARU ČELA VOZIDLA

Dělení z hlediska přepravy má zásadní vliv na aerodynamiku vozidla. Jak představuje diagram v kapitole výše, viz Obrázek 17, koncepce vozidla je přímo závislá na přepravní vzdálenosti a přepravním času.

Následující diagram, viz Obrázek 18, představuje závislost aerodynamického tvaru čela vozidla na jeho rychlosti, tedy přepravní vzdálenosti a času. Zatímco vysokorychlostní vozidla se čelem zaklání po směru jízdy, tak vozidla regionální se zaklání méně. Některá čela vozidel městské hromadné dopravy se i předklání.



Obrázek 18 - Diagram vyhodnocení koncepcí čelního sklonu vozidel podle účelu provozu, tedy provozní rychlosti: a. vysokorychlostní vozidla s největším sklonem pod úhlem  $\alpha$ , b. regionální a meziměstská vozidla s pozvolným sklonem pod úhlem  $\beta$ , c. vozidla městské hromadné dopravy s možným záporným sklonem pod úhlem  $\gamma$ . Vozidla jsou zobrazeny schématicky v rovině xz, obrázek autora.



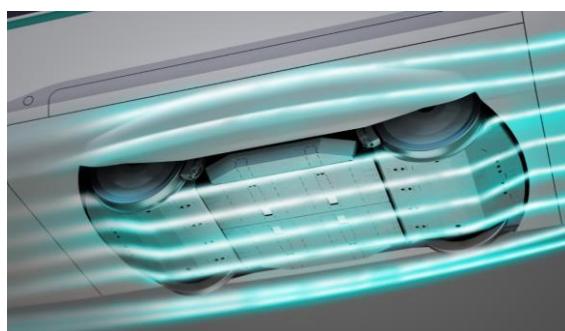
Vysokorychlostní doprava představuje technologický vrchol konstrukce pohonu, pojezdu a vozidlové skříně kolejových vozidel. Na předních vysokorychlostních tratích se provozují vozidla jedoucí rychlostí mezi 300 a 400 km/h. Reálná hranice vysokorychlostní železnice na území ČR je 160 km/h, avšak z homologačního hlediska je tato hranice limitována 280 km/h.

U všech vozidel je odpor vzduchu největší při vysokých rychlostech, kdy odporová síla odpovídá druhé mocnině rychlosti násobenou koeficientem odporu  $C_x$ . Tento koeficient je bezrozměrná veličina a udává, kolik procent potenciálně možného aerodynamického odporu udává charakteristický tvar čelní plochy vozidla. Příklady takových tvarů zobrazuje Obrázek 19.



Obrázek 19 – Příklady čelních ploch kokpitů vysokorychlostních jednotek. Vlevo Talgo 250 s konvexním tvarem čela – tzv. „kachní zobák“, . Vpravo ICE4 s konkávním tvarem čela – tzv. „kapkovitý tvar“.

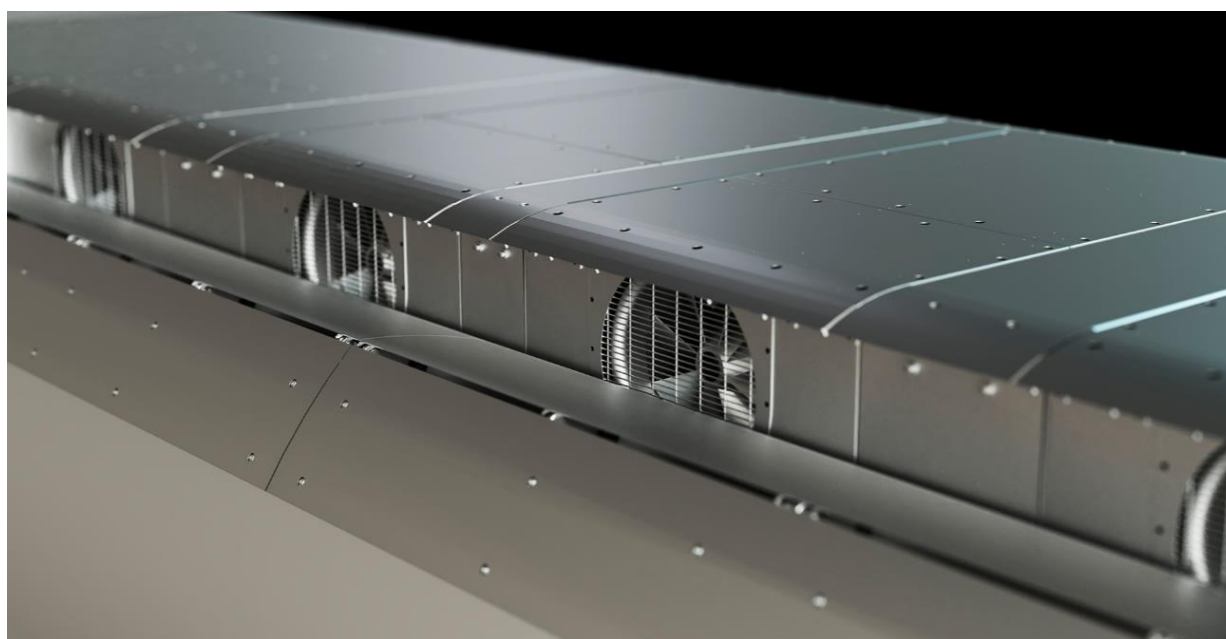
Aerodynamika čela není jediný prvek, který zlepšuje celkovou hodnotu  $C_x$  vlaku, tedy výsledný aerodynamický odpor. Vysokorychlostní jednotky ICE4 jsou již vybaveny aerodynamickými kryty podvozků a výbroje pod skříní vozidla. Systémové celky kapotáže lze považovat za aktivní izolační prvky.



Obrázek 20 - Aerodynamické řešení podvozků Velaro Novo, portfolio Siemens, [126].



Obrázek 21 - Řešení aerodynamiky pantografu, vlevo Siemens Velaro, vpravo Siemens Velaro Novo, [126].

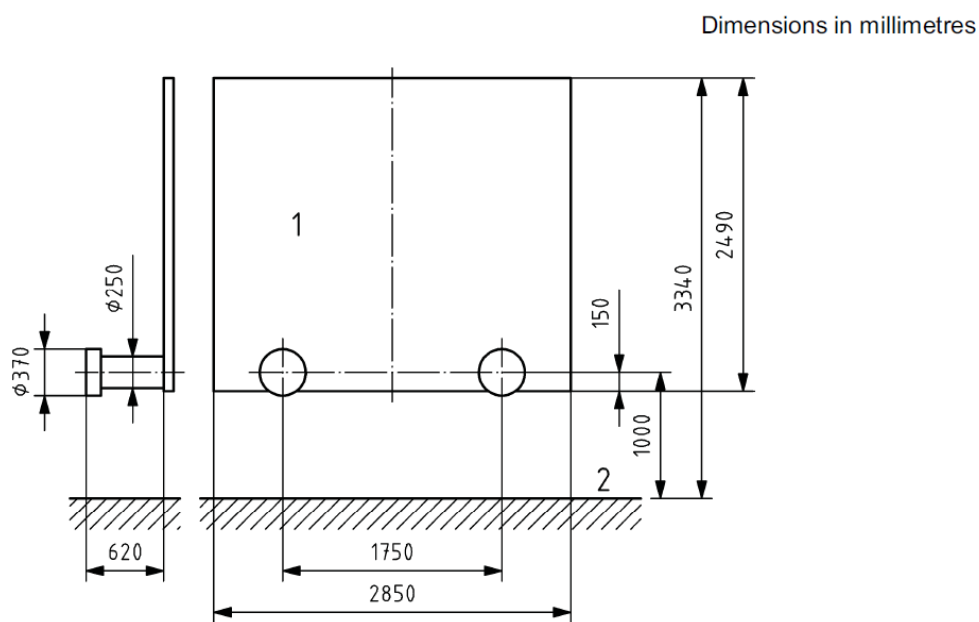


Obrázek 22 - Aerodynamická optimalizace střešní výbroje, Siemens Velaro Novo,

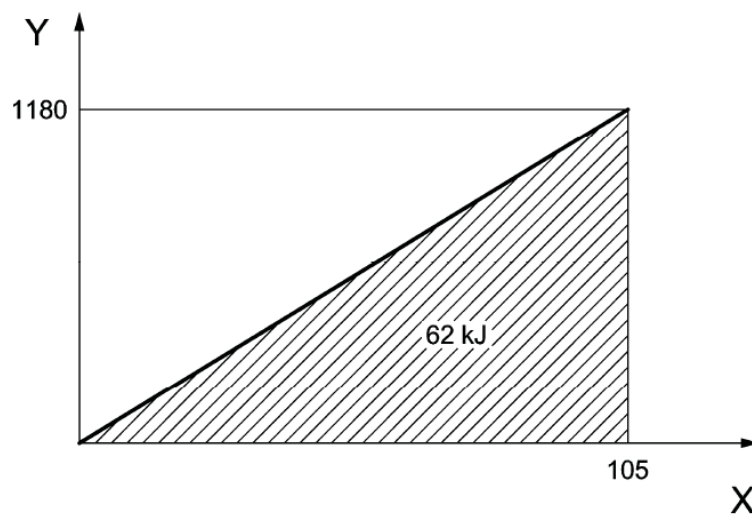
Z pohledu regionální dopravy se vozidla provozují v rychlostech od 80 do 160 km/h, tedy aerodynamika čel vozidel potom odpovídá konceptu s aerodynamickým sklonem  $\beta$ . To představuje konstrukční význam v systému pasivně bezpečnostních prvků a deformačních zón,

viz EN 15227 + A1:2010, neboť regionální vozidla mají mnohem větší pravděpodobnost případu srážky vozidla na silničním přejezdu, nebo srážku se zvířetem. Následující obrázky představují zkušební prvky definované výše jmenovanou normou podle testovacích kolizních scénářů:

- Srážka s konvenčním vozidlem o hmotnosti 80 tun vybaveném standardním narážecím ústrojím o definované deformační charakteristice.
- Srážka s meziměstskou tramvají vybavenou deformačním spřahovacím zařízením s definovanou deformační charakteristikou.
- Srážka s cisternou a definované velikosti a deformační charakteristikou
- Rohová srážka tramvajového vozidla



Obrázek 23 - Zkušební prvek kolizní situace srážky s vozem o hmotnosti 80 tun, EN 15 227 + A1:2010, obrázek C1.

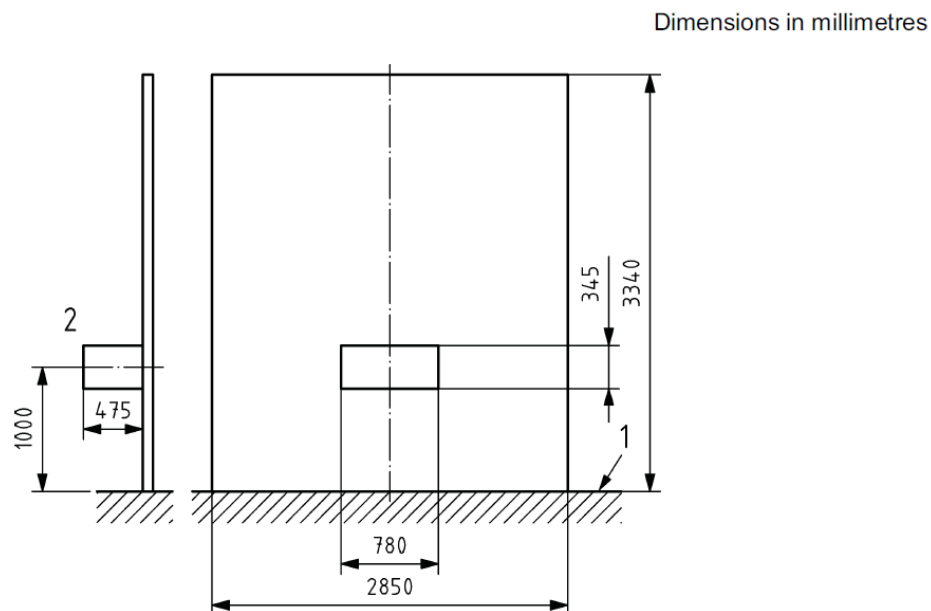


**Key**

Y force – 2 buffers, in kN

X displacement, in mm

**Obrázek 24 - Kolizní charakteristika testovacího narážecího ústrojí, EN 15 227+A1:2010, obr. C2**

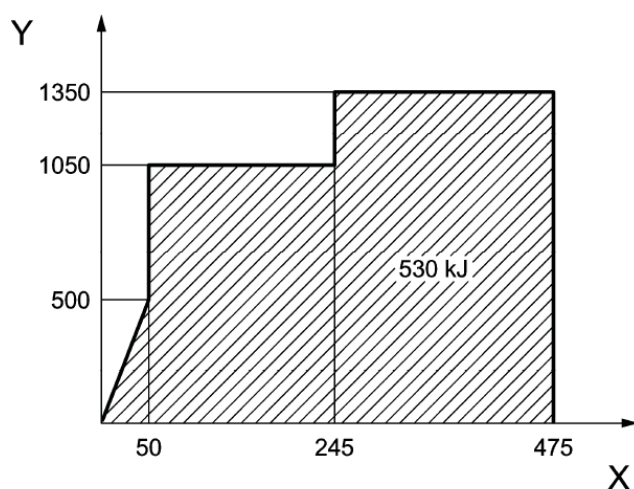


**Key**

1 top of rail

2 coupler representation

**Obrázek 25 - Zkušební prvek kolizní situace srážky s měziměstskou tramvají, EN 15 227 + A1:2010, obrázek C3.**

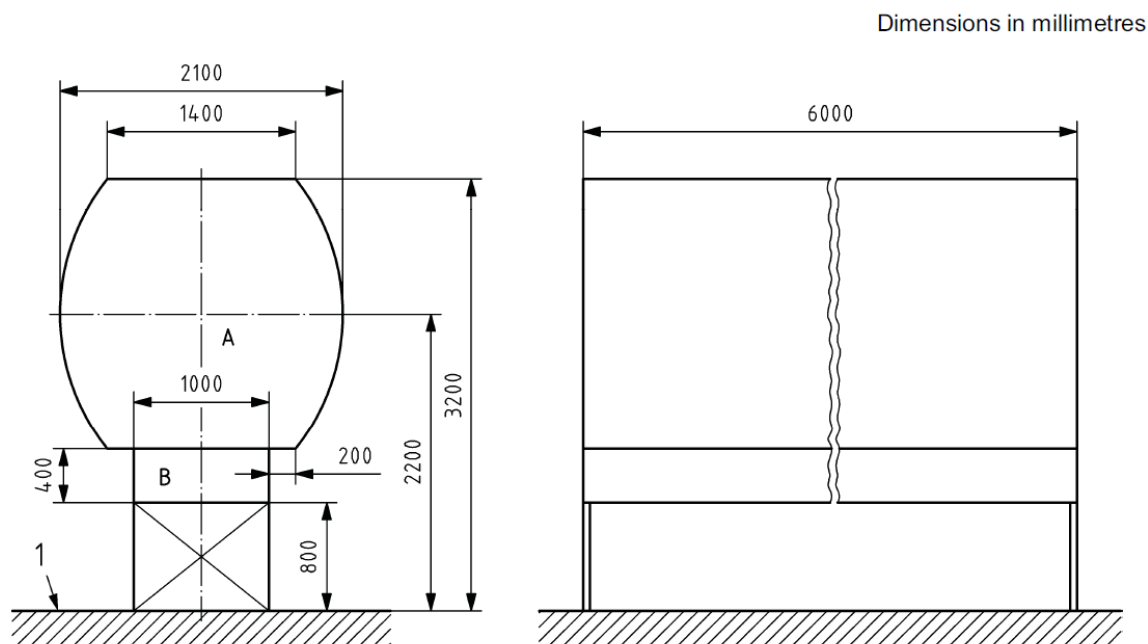


**Key**

Y force, in kN

X displacement, in mm

**Obrázek 26 - Kolizní charakteristika testovaného narážecího ústrojí, EN 15 227+A1:2010, obrázek C4.**

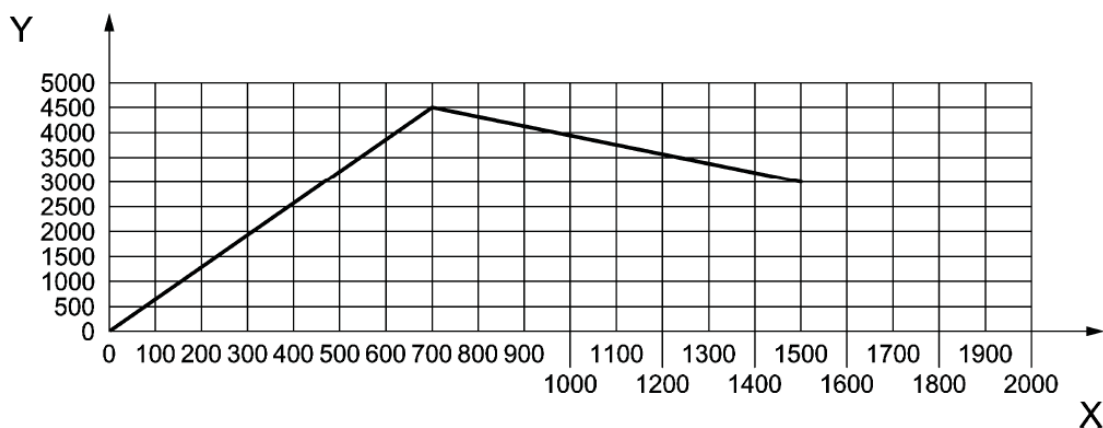


**Key**

1 top of rail

A, B parts of obstacle

**Obrázek 27 - Zkušební prvek kolizní situace srážky s cisternou, EN 15 227 + A1:2010, obrázek C5.**

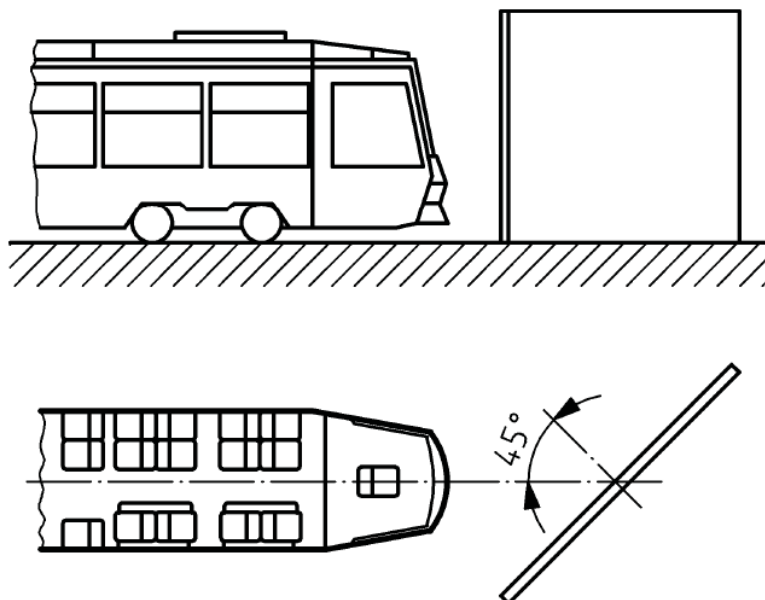


**Key**

Y longitudinal force, in kN

X displacement of the sphere (x direction), in mm

Obrázek 28 - Kolizní charakteristika testovaného narážecího ústrojí - cisterny, EN 15 227+A1:2010, obrázek C6.



Obrázek 29 - Zkušební prvek kolizní situace rohové srážky tramvaje, EN 15 227 + A1:2010, obrázek C7.

Na regionálních tratích se jezdí rychlostí do 160 km/h, navíc je řada tratí protkána silniční sítí, kde je větší riziko srážky s automobilem, nebo nákladním vozem. Aerodynamika se pro tato vozidla značně liší. Následující přehled ukazuje jednotlivé tvary čel vozidel určeným pro regionální dopravu od předních výrobců kolejových vozidel.



Obrázek 30 - Portfolio Siemens, zleva platforma Desiro City, platforma Desiro Rus [126].



Obrázek 31 - Portfolio Siemens, zleva platforma Desiro ML, platforma Desiro HC, [126].



Obrázek 32 - Portfolio Siemens, platforma Mireo, [126].



Obrázek 33 - Portfolio Stadler, platforma FLIRT, nahoře do 160km/h, dole do 200km/h, [132].



Obrázek 34 - Portfolio Stadler, platforma KISS, vlevo do 160km/h, vpravo do 200km/h, [132].



Obrázek 35 - Portfolio Stadler, platforma GTW, [132].





Obrázek 36 - Portfolio Alstom, platforma Coradia, vlevo Liner V160, vpravo iLint, [133].



Obrázek 37 - Portfolio Alstom, platforma Coradia, vlevo Jazz, vpravo Nordic, [133].



Obrázek 38 - Portfolio Alstom, platforma Coradio Continental, [133].



Obrázek 39 - Portfolio Bombardier, vlevo platforma Talent, vpravo platforma Omneo, [134].



Obrázek 40 - Portfolio Bombardier, vlevo platforma Aventura, vpravo platforma Twindexx, [134].

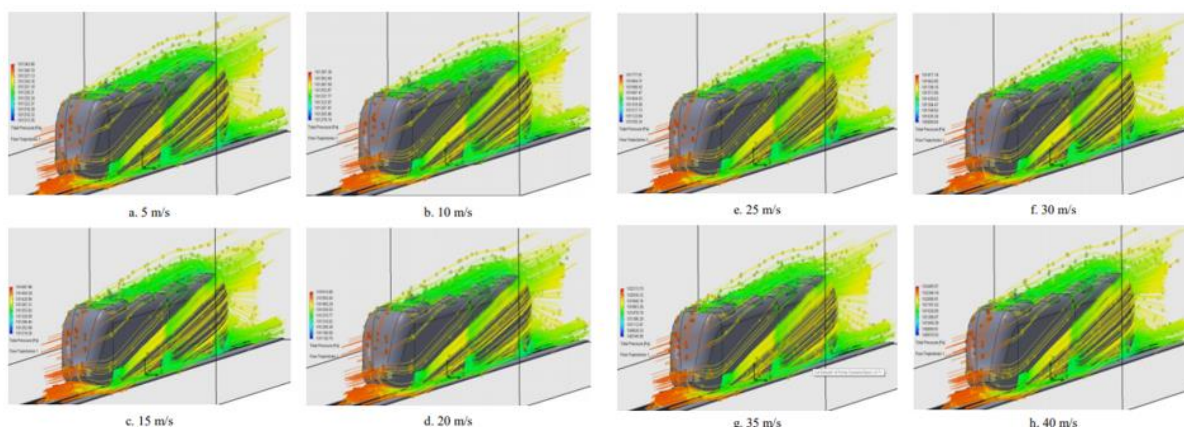


Obrázek 41 - Portfolio Škoda Transportation, vlevo jednopodlažní EMU, vpravo dvoupodlažní EMU, [143].



Obrázek 42 - Portfolio Škoda Transportation, platforma Pull-Push s lokomotivou a řídicím vozem, [143].

Kolegové z Dopravní Fakulty Polytechnické Univerzity v Bukurešti analyzovali účinky aerodynamických sil na čelo vozidla, konkrétně na 3D model vozidlové platformy Desiro. Jejich práce „*Analyze of aerodynamic forces acting on the Siemens Desiro railcar*“ názorně představuje výpočet proudění kolem vozidla, [22], obr. 7. Následný Obrázek 43 zobrazuje proudnice vzduchu vozidla v závislosti na různé rychlosti vozidla.



Obrázek 43 - Proudnice obtékajícího vzduchu prostředí kolem jendotky pro různé rychlosti jízdy, [22], obr. 7.

Z obrázku lze vyčíst, že k největším tlakovým silám dochází na samé špičce vozidla a v prostorech, kde se konstrukčně situují spřahovací a narážecí ústrojí. Na druhou stranu, v oblasti podvozků, podél skříně a za vozidlem vzniká tzv. „úplav“, tedy oblast kde vznikají síly podtlakové. Proudnice vzduchu obtékající vozidlo se v podstatě v závislosti na rychlosti nemění, mění se spíše aerodynamický účinek sil.

Následující tabulka představuje stabilizované hodnoty sil ve směru x, y a z pro různé simulované rychlosti vozidla. Z pohledu působení sil ve směru jízdy narůstají hodnoty v závislosti na rychlosti řádově ze stovek do tisíců Newtonů. Viz Tabulka 1.

**Tabulka 1 - Stabilizované hodnoty aerodynamických sil vypočítaných simulací na čele vozidla, převzato z [22], tabulka 2.**

v[m/s]	5	10	15	20	25	30	35	40
$F_x$ [N]	139,20	553,78	851,12	1413,91	2262,89	3101,68	3977,84	5069,37
$F_y$ [N]	5,79	22,74	53,66	95,08	140,91	205,86	287,25	372,25
$F_z$ [N]	45,49	388,29	69,94	23,97	419,86	43,04	355,06	327,20

Aerodynamika kolejových vozidel je velmi obsáhlé téma, které je úzce spjato s konstrukcí vozidla. Z pohledu lidského faktoru je potom zajímavý vedlejší účinek aerodynamiky, aerodynamický hluk. Z předchozí studie [23] na str. 92 jsou učiněny závěry, že aerodynamický hluk je přímo úměrný účinkům kinematické energii turbulentního proudění. Lze tedy uvažovat, že s roustoucím řádem aerodynamických sil řádově roste i účinek aerodynamického hluku.

Vozidla určená pro městskou hromadnou dopravu jsou o poznání lehčí, než vozidla konvenční železnice, jejichž konstrukce je velmi pevně svázána s legislativními nařízeními o provozu vozidel a s homologačně relevantními normami. Vozidla určená pro městský provoz mají volnější přístup k designu a aerodynamický efekt odporu vzduchu není kritickým prvkem konstrukce čela. V kategorii městských vozidel jsou důležité výhledové poměry, jak řidiče, tak výhled pro cestující. Následující přehled představuje příklady koncepcí čel vozidel městské hromadné dopravy.



**Obrázek 44 - Giugiaro Design, Innotrans 2014, Berlín.**



Obrázek 45 - Portfolio Siemens, platforma Avenio, [126].



Obrázek 46 - Portfolio Siemens, platforma Inspiro Londýn, [126].



Obrázek 47 - Portfolio Siemens, metro Riyadh, [126].



Obrázek 48 - Portfolio Stadler, vlevo platforma Tango, vpravo platforma Tramlink, [132].



Obrázek 49 - Portfolio Stadler, vlevo platforma Variobahn, vpravo platforma Metelitsa, [132].



Obrázek 50 - Portfolio Stadler, nahoře platforma Citylink, dole platforma Metro, [132].



Obrázek 51 - Portfolio Bombardier, Metro Singapore, [134].



Obrázek 52 - Portfolio Bombardier, platforma Movia Maxx, [134].



Obrázek 53 - Portfolio Bombardier, Metro Stockholm, [134].

Z pohledu aerodynamiky se jeví konstrukce čel hnacích vozidel a lokomotiv nejvíce opodstatněná. Ačkoli první parní lokomotivy na začátku 19. stol, jak ukazuje Obrázek 8, str. 17, měly k pohodlnému cestování a obsluze poměrně daleko, postupně se lokomotivy a obslužné strojovny začaly vylepšovat a následně i kapotovat, především kvůli tomu, aby se snížil aerodynamický odpor vozidla. Takové úpravy pak vedly i k lepším izolacím kabiny strojvedoucího a mnohdy byla zajištěna i částečně lepší viditelnost vpřed.



Obrázek 54 - Vlevo parní lokomotiva „Mikádo“ [152], vpravo 4468 Mallard, [52], str. 38.

S příchodem dieslové a potažmo elektrické trakce se začal celkový design a konstrukce vozidel opět rapidně měnit do dnešní podoby. Zejména pak evropský trh s lokomotivami se zaplnil „unifikovanými konstrukcemi prizmatického tvaru“.

Za povšimnutí stojí koncepce kabiny strojvedoucího. Ta se postupně zduplikovala na obě čelní strany vozidla pro obousměrný provoz. Tím se pro strojvedoucího podstatně zlepšil výhled vpřed na trať a na její signalizaci, kdy stačí přesednout do kabiny ve směru jízdy. Strojní součásti pohonu se soustředily do centrální části vozidla, kvůli lepšímu rozložení těžiště lokomotivy.

Následující Obrázek 55 představuje provedení základní koncepce kabiny strojvedoucího pro jednotlivé typy lokomotiv. Zajímavostí je koncepce viditelnosti strojvedoucího z vozidla. Například lokomotivy starší konstrukce (první tři obrázky zhora zleva) umožňují více panoramatický výhled v závislosti na minimalizaci tzv. „A-sloupku“<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Pozn. Autora: Střešní sloupek mezi čelním oknem a oknem bočním. Tento sloupek nejčastěji brání řidiči ve výhledu vpřed a vbok. Je-li sloupek nutností, měl by být navržen v místě slepé skrvny lidského oka.

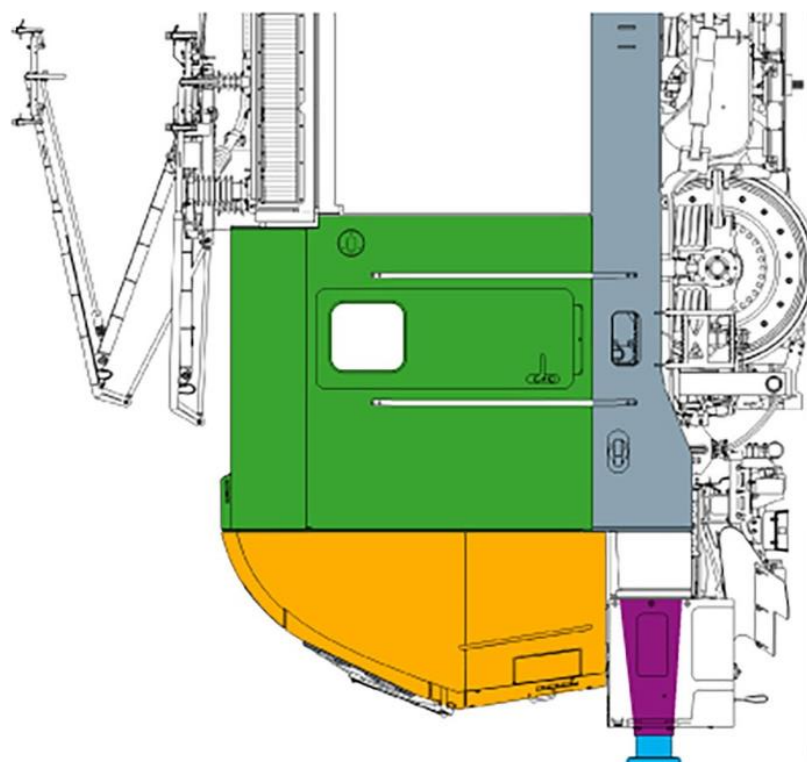


Lokomotivy moderní koncepce naopak „A-sloupek“ masivně zdůrazňují a viditelnost je soustředěna skrze hlavní čelní okno. Viditelnost strojvedoucího potom může omezit i centrální sloupek členitého čelního okna.



Obrázek 55 - Zleva z vrchu: Lokomotiva ČKD v Technickém muzeu v Plzni, Lokomotiva ČKD, Diesellová lokomotiva – Brejlovec, Lokomotiva Škoda řady 380, Lokomotiva Vectron Siemens [126].

Tvar čelního okna by měl odpovídat ergonomickým principům, stejně tak plní i estetickou úlohu a utváří charakter konkrétního vozidla. Čelní okna se nejen zvětšují, ale mění se i jejich geometrie a sklon. To způsobuje, že čelní okna vertikálně podlouhlé mohou být díky svému sklonu více otevřené slunečnímu záření, než-li čelní okna protáhlá v horizontálním směru. Kvalitou okenní konstrukce lze přímo ovlivňovat vnitřní prostředí vozidla. Je tedy na snaze kontrolovat parametry jako je akustická neprůzvučnost, tepelná prostupnost, spektrálně světelná účinnost a mechanická pevnost materiálu.



Reverzibilní nárazníky



Prvky deformace



Vyměnitelné čelo



Prostor pro přežití: kabina a dveře



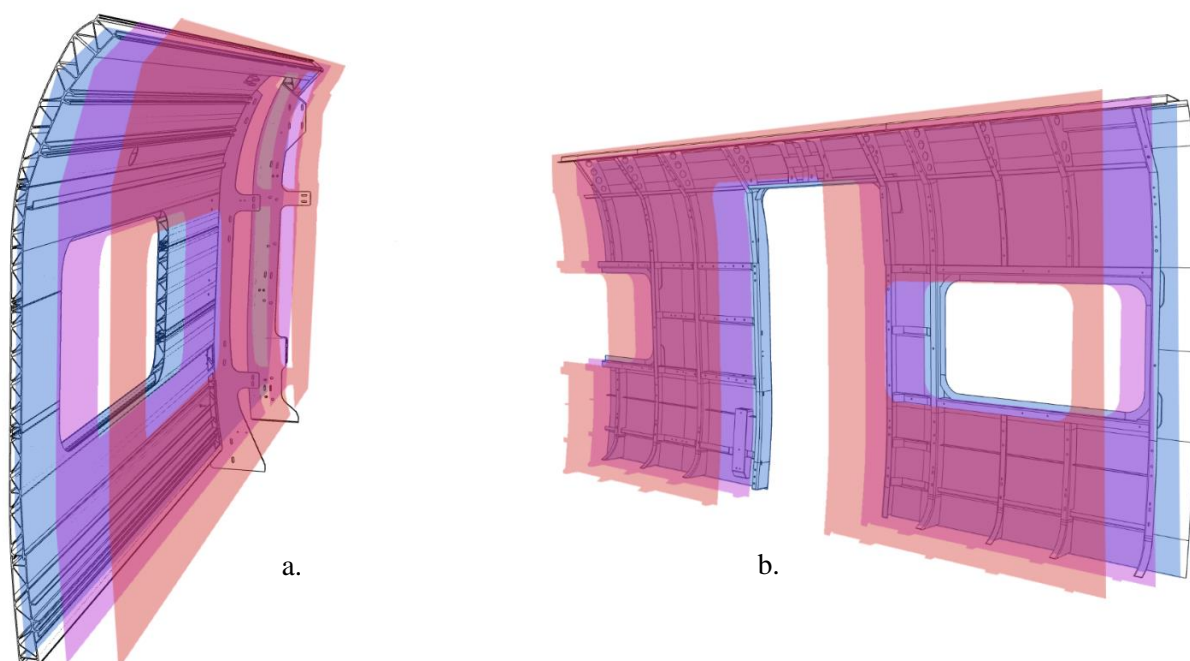
Chráněný rám lokomotivy



Obrázek 56 - Deformační zóny modulární lokomotivy Vectron, Siemens Mobility, [126].

## 5.4. KONCEPCE VOZIDLOVÝCH SKŘÍNÍ

V současnosti jsou nejvíce využívány dva základní přístupy v konstrukci vozidlových skříní, stavba integrální a diferenciální, viz Obrázek 57. Integrální stavba z hliníkových protlačovaných profilů má výhody v jednoduchosti integrity a modularity v podélném směru. Její nevýhody jsou rozměry, zejména pak tloušťka stěny. Diferenciální stavba ocelových prvků tvoří prostorově mnohem úspornější konstrukci, avšak mnohem náročnější na výrobu. Kovové materiály se využívají především pro pevnostně funkční konstrukční prvky, případně jako obkladové lišty nebo držáky jiných komponent.



**Obrázek 57 - Konvenční konstrukce hrubých staveb skříní kolejových vozidel: a. Integrální hrubá stavba z protlačovaných hliníkových profilů, b. Diferenciální stavba svařovaná z ocelových prvků. Modrá plocha zdůrazňuje konstrukci hrubé stavby, fialová plocha reprezentuje izolační vrstvu a světle červená plocha reprezentuje vnitřní obložení vozidla, obrázek autora.**

Existují i další typy konstrukcí, například konstrukce nýtované nebo šroubované, nejsou ale v praxi tolik běžné, spíše jde o konstrukce specifické. Velmi rozšířeným materiálem v konstrukci kolejových vozidel jsou také lamináty. Zejména se nachází využití laminátů pro vnitřní stavbu a interiér, ale i pro čelní moduly vozidel, jako jsou ve většině případech kabiny a kokpity.

Tři rozdílné typy materiálových konstrukcí lze vzájemně srovnat z pohledu fyzikálních veličin. Následující tabulka uvádí orientační srovnání fyzikálních vlastností hliníku, oceli a laminátového PU/PET sendviče.

**Tabulka 2 - Srovnání fyzikálních veličin pro materiály hliníku, oceli a PU/PET laminátu. Hodnoty uvedené u laminátu jsou orientační, závislé na skladbě laminátového sendviče. Zdroj – matematicko fyzikální tabulky, [130].**

<b>Parametr:</b>	<b>Hliník</b>	<b>Ocel</b>	<b>Laminát (PU/PET)</b>
<b>Hustota <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2700	7850	1650/100
<b>Tepelná vodivost <math>\lambda</math> (W/mK)</b>	204	50	0,022/0,25
<b>Měrná tepelná kapacita <math>c</math> (J/kgK)</b>	870	490	800/1050
<b>Modul objemové pružnosti <math>K</math> (GPa)</b>	70	210	0,4/ 6000
<b>Rychlost šíření zvuku materiálem (m/s)</b>	5200 / 6400	5000/6000	1700/1950

Srovnání výhod a nevýhod konstrukcí hliníkových, ocelových a laminátových skříní vozidla představuje následující tabulka.

**Tabulka 3 - Srovnání hliníkových, ocelových a laminátových konstrukcí uplatněných při výrobě vozidlových skříní, prvků interiéru a exteriéru vozidla, autor.**

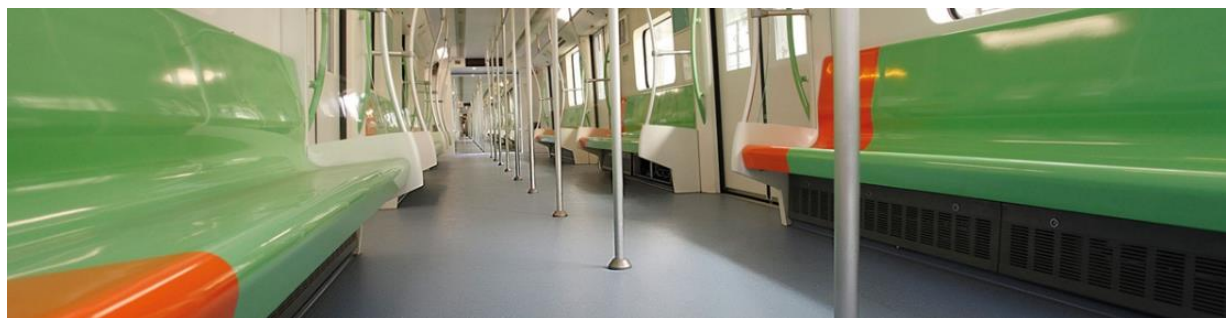
<b>Konstrukce</b>	<b>Hliníková</b>	<b>Ocelová</b>	<b>Laminátová</b>
<b>Výhody</b>	Vhodná pro prizmatické konstrukce skříní, Jednoduchost strojní výroby, Nízká hmotnost Pasivita	Vhodná pro složité konstrukce skříní, Snadná opravitelnost, Houževnatost Tenká konstrukce stěn	Vhodná pro složité tvarované konstrukce vnitřního obložení, kokpitů a kapotáže Nízká hmotnost Nízká tepelná vodivost Kombinovatelnost s jinými materiály – sendvičové konstrukce
<b>Nevýhody</b>	Tloušťka protlačovaných profilů – redukce vnitřního prostoru Vysoká tepelná vodivost Srážení vody v dutinách Elektrochemické reakce s ocelí	Složitější výroba svařováním Vysoká hmotnost	Nízká pevnost Složitost konstrukce se zvyšující se pevností a tvarovostí

Z pohledu systému izolací je využívána řada technologických prvků. Počínaje minerálními vlnami a izolačními nástřiky, přes sendvičové konstrukce, až po aktivní prvky izolace. Velikost vnitřního prostoru je omezena konstrukcí vozidla. Izolační prvky musí splňovat řadu homologačních paramaterů, jako je například nehořlavost (viz EN 45545), stupeň hlukové izolace, nebo ekologickou a zdravotní nezávadnost.

Historicky se využívaly v interiérech materiály jako je například ocel a její slitiny, dřevo, apod. Zatímco u hrubé stavby je laminát něco vyjimečného, z pohledu vnitřního obložení jde o velmi rozšířený materiál. Laminátové výlisky v řadě aplikací nahradily dřevo, ocel a hliník. V oblasti dekorace interiéru se účelově využívají vysokotlaké lamináty (HPL, [Z12]), které se vyznačují:

- jednoduchou údržbou,
- antibakteriálními a hygienickými vlastnostmi,
- odolností proti poškrábání, prasknutí a nárazu,
- voděodolností a odolností vůči chemikáliím,
- teplotní odolností obvykle do 180 °C,
- širokou nabídkou barev, textur, struktur a dekorací,
- cenou.

Dalším interiérovým prvkem jsou podlahy a podlahové krytiny. Jejich materiál závisí na faktorech, jako je přepravní rychlost, účel a čas. U vozidel, kde je vysoká fluktuace cestujících, jsou přednostně využívány krytiny z umělého kaučuku s protiskluzovou úpravou, případně s reflexními prvky.



Obrázek 58 - Podlahové krytiny v systému vozidel metra. Využití kritin z umělého kaučuku, [135].

Dálková vozidla s dlouhými mezizastávkovými intervaly využívají vysokozátěžové koberce v nástupních prostorech a mnohdy i v přepravním prostoru pro cestující, zejména pak v oddílech první nebo prémiové třídy.

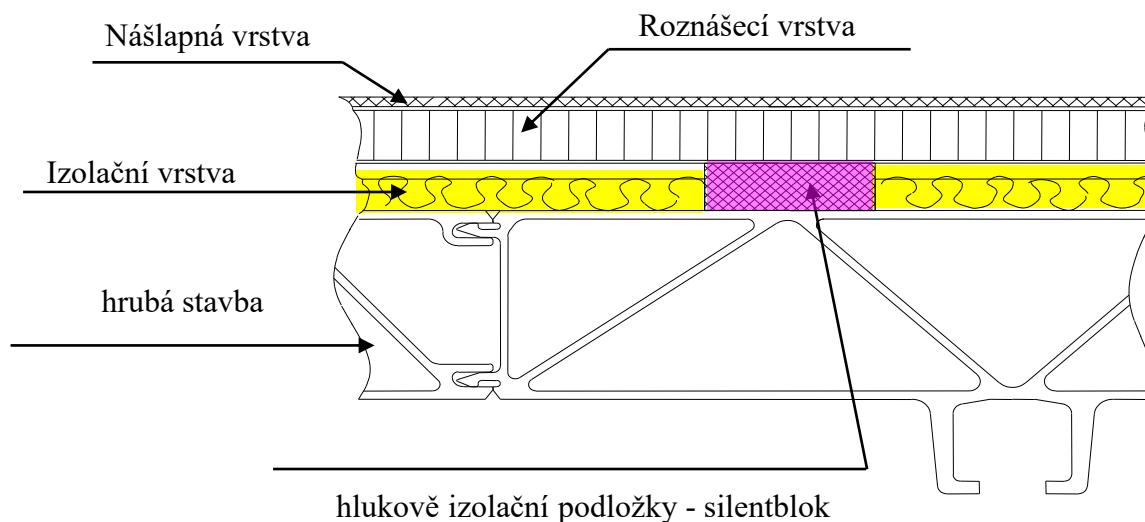


Obrázek 59 - Railjet - První třída, využití kobercové krytiny firmy Tisca, [128].

Tabulka 4 - Srovnání fyzikálních veličin pro materiály korku, umělého kaučuku PE/PP/PS a koberce – textilní podlahové krytiny. Hodnoty uvedené u textilní podlahové krytiny jsou orientační. Zdroj – matematicko fyzikální tabulky, [214].

Parametr:	Korek	Dřevo dub	Umělý kaučuk (PE/PP/PS)	Textilní podlahová krytina
Hustota $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	240 až 520	610 až 1170	1000/910/1050	35
Tepelná vodivost $\lambda$ (W/mK)	0,04 až 0,05	0,12 až 0,88	0,17	0,07
Měrná tepelná kapacita $c$ (J/kgK)	2510	1450 až 2790	490	940
Rychlost šíření zvuku materiálem (m/s)	500	3400	40	asi 5000

Z hygienických důvodů se koberce nepoužívají na toaletách a na přepravních místech pro kola apod. Nicméně kobercové plochy nejsou akusticky tvrdé, mají absorbní vlastnosti vytvářet pro vysoké frekvence difúzní akustické prostředí. Z pohledu konstrukce je standardní skladba podlahy znázorněna na diagramu níže.



Obrázek 60 - Konstrukční skladba podlahové části integrální stavby vozidlové skříně, autor.

## 5.5. SYSTÉMY DVEŘÍ A OKEN KOLEJOVÝCH VOZIDEL

V osobní přepravě správně navržené dveřní systémy umožňují optimální fluktuační cestujících s cílem minimalizovat nástupní a výstupní časy. Stejně tak dveřní systémy představují bezpečnostně relevantní systémový celek evakuace, protipožární a protikouřové ochrany, ochrany proti sevření a zelené smyčky<sup>4</sup>.

Z pohledu koncepce vozidlových skříní je určující podíl dveřních otvorů vzhledem k délce vozidlové skříně. Veličina, která určuje podíl dveří na délku skříně se nazývá dveřnatost.

<sup>4</sup> Zelená smyčka je bezpečnostně relevantní algoritmus použitý k automatickému ovládní dveří. Algoritmus po několika neúspěšných pokusech dveře zavřít vyřazuje dveře a vlak z provozu. Nelze tedy bez osobní kontroly vlakového personálu uvést vlak do pohybu, dokud se algoritmus manuálně neresetuje u původně nefunkčních dveří, nebo pokud se zelená smyčka nepřemostí a dveře se vyřadí z provozu a uzamknou.

Následující obrázky představují základní koncepční rozdíly v podílu zasklení a dveřnatosti.



**Obrázek 61 - Portfolio Siemens, porovnání dveřnatosti a podílu okenních ploch mezi vysokorychlostní jednotkou (Velaro China), regionální jednotkou (Desiro UK City Moorgate) a jednotkou metra (Metro M1 Maracaibo), [175], [126], [136].**



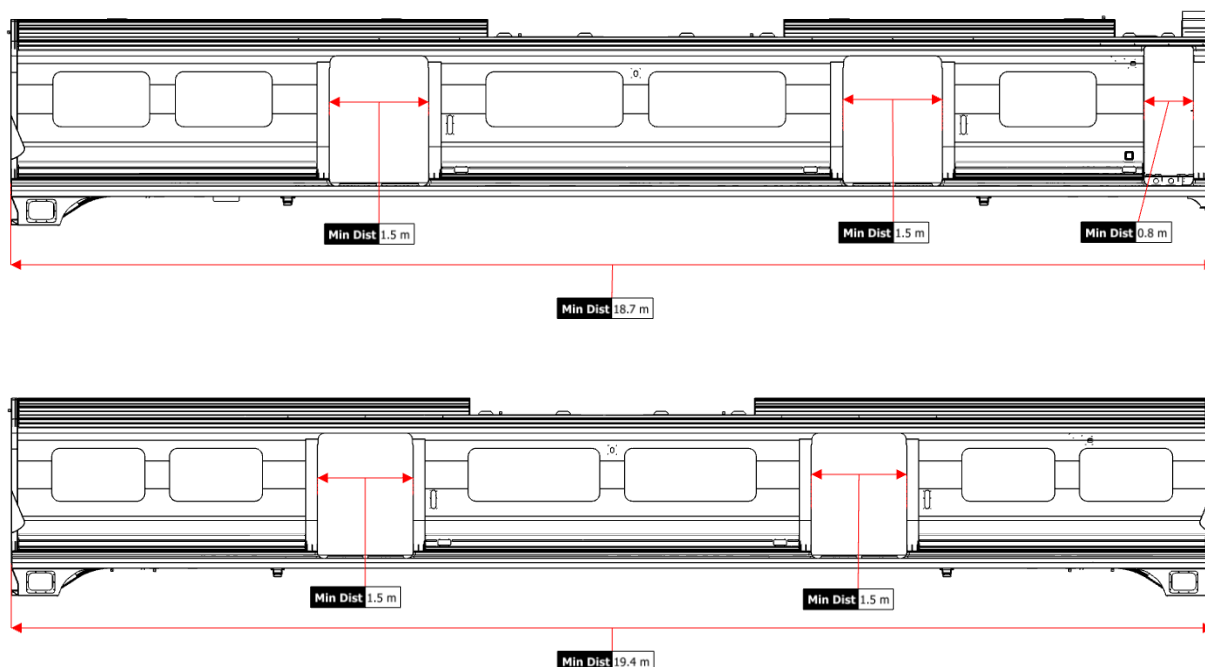
Vysokorychlostní vozidla se vyznačují nízkou dveřnatostí, obvykle jednotkřídlymi představnými dveřmi, povětšinou na představku. Jedná se o dveře menší, než například u regionálních vozidel, jde o dveře s technologickými prvky na vysoké úrovni. Jsou kladeny vysoké požadavky na tlakopevnost a tlakotěsnost těchto dveří, a to z důvodu vysokých dynamických účinků ve vysokých rychlostech vlaku. Systém těchto dveří se blíží leteckým konstrukcím s vysokou neprůzvučností a součinitelem tepelného odporu, viz. srovnávací Tabulka 5.



Obrázek 62 - Délky vozidlových skříní a šířky dveřních otvorů u vysokorychlostní jednotky Velaro CRH společnosti Siemens Mobility. Horní obrázek představuje hlavové vozidlo, spodní obrázek vozidlo vložené, [126].

Vozidla regionální s vyšší frekvencí zastávek a vyšší fluktuací cestujících vykazují mnohem vyšší dveřnatost. Dveřní systémy jsou v porovnání s vysokorychlostními cenově méně náročné, už jen díky nižším požadavkům na fyzikální vlastnosti – akustické, tepelné a pevnostní.

Následující Obrázek 63 představuje vstupy pro výpočet dveřnatosti.



Obrázek 63 - Délky vozidlových skříní a šířky dveřních otvorů u regionální jednotky Desiro UK společnosti Siemens Mobility. Horní obrázek představuje hlavové vozidlo, spodní obrázek vozidlo vložné, [126].

Vozidla s nejvyšší dveřnatostí jsou vozidla městská, jejichž frekvence zastávek je v řádu několika minut. S tím je spojena i vysoká fluktuace cestujících a vysoké požadavky na úsporu času v zastávkách a vysokou spolehlivost provozu dveřních systémů.

Následující obrázek zobrazuje platformu pražského metra M1, provozovaných na linkách C hlavního města Prahy. Tato platforma je rovněž použita pro venezuelské metro ve městě Maracaibo. Vystupování a nastupování cestujících zajišťuje sada čtyř dvoukřídlých předsvuných dveří.

Orientační fyzikální parametry s požadavky na neprůzvučnost a součinitele tepelné prostupnosti uvádí Tabulka 5.

Dveře pro městskou hromadnou dopravu jsou na jednu stranu podstatně lacinější, avšak co do počtu jde stále o velmi významnou investiční položku v rámci celého vlaku.



Obrázek 64 - Délky vozidlových skříní a šířky dveřních otvorů u městské jednotky Metro M1 Maracaibo společnosti Siemens Mobility. Horní obrázek představuje hlavové vozidlo, spodní obrázek vozidlo vložené, [126].

Tabulka 5 - Srovnání orientačních hodnot parametrů dveřních systémů pro vozidla vysokorychlostní, regionální a městská, [126].

Srovnání	Dveřnatost d [-]	Neprůzvučnost R [dB]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Tlakotěsnost p [Pa]
Velaro, viz Obr. 64	0,05/0,1	38	~ 5	± 6000
Desiro, viz Obr. 65	0,2/0,15	32	≤ 4,3	± 2500
Metro, viz Obr 66	0,36/0,35	30	≤ 3,6	± 1200

Dalším důležitým konstrukčním prvkem je systém zasklení vozidla. Vozidla určená pro přepravu cestujících jsou prosklená po celé délce vlaku, aby byla zajištěná přirozená distribuce slunečního záření v přepravním prostoru a dostatečný výhled z vozidla ven. Podíl zasklení je v nepřímé úměrnosti k pevnosti vozidlové skříně. Zatímco pro vysoké rychlosti je konstrukce vozidlových skříní co nejtužší a okna jsou spíše nízká a podlouhlá, u vozidel s nižší provozní rychlostí jsou okna vyšší a představují významný konstrukční prvek vozidlové skříně.

U čelních vozidel vybavených stanovištěm strojvedoucího nebo řidiče jsou systémy zasklení velmi specifickým prvkem. Na čelní okna řidičů jsou kladeny zvýšené požadavky:

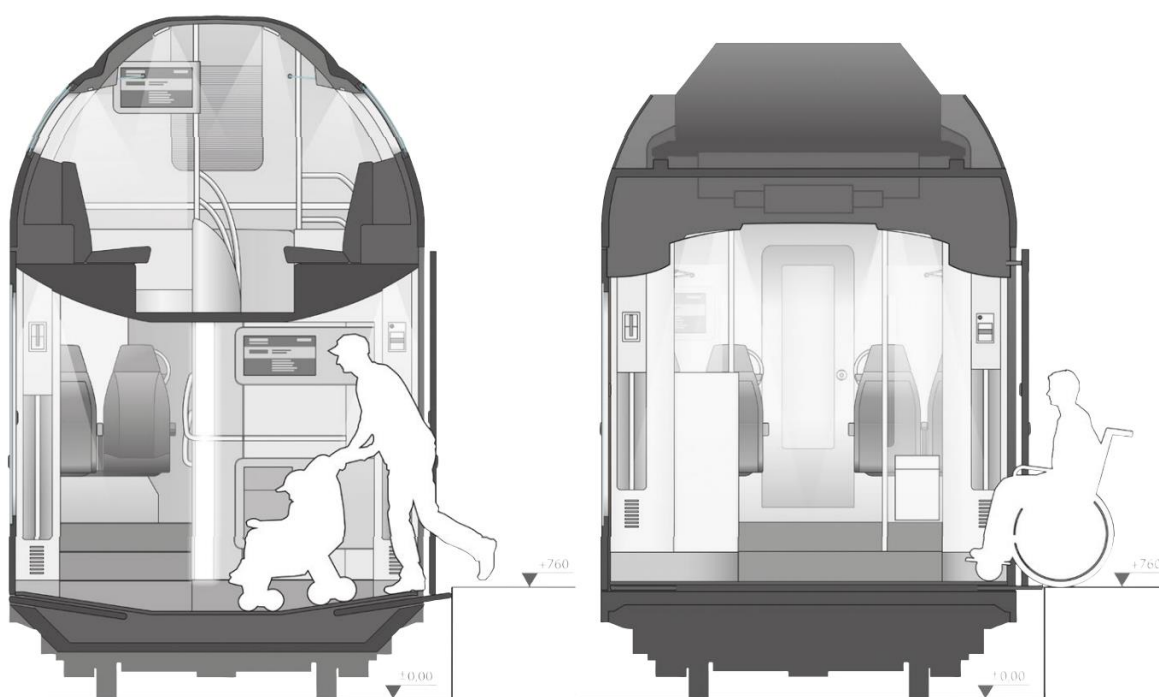
- Požadavek na dostatečnou viditelnost jízdní dráhy a signalizačních zařízení potřebných pro bezpečný provoz vozidel.
- Požadavek na konstrukční kompatibilitu a estetický návrh vozidla.
- Požadavek na pevnost a bezpečnost v případě srážky s cizím vnějším předmětem.
- Požadavek na světelnou, tepelnou a akustickou prostupnost systému zasklení, tedy energetické faktory

Požadavky na okna jsou definovány v řadě specifických norem. Následující Tabulka 6 shrnuje základní orientační hodnoty energetických parametrů oken používaných v železničním průmyslu.

**Tabulka 6 - Orientační hodnoty energetických činitelů běžně užívaných oken v konstrukci kolejových vozidel. Hodnoty se mohou pro řadu výrobců lišit v závislosti na použitých technologiích výroby okenních systému, autor.**

	<b>Celková prostupnost Tr [%]</b>	<b>Celková solární prostupnost g [-]</b>	<b>Reflexe vnější/vnitřní Ref [%]</b>	<b>Absorbce EA1/EA2 Ab [%]</b>	<b>Koeficient stínění SC [-]</b>	<b>Neprů- zvučnost Rw (C,Ctr) [dB]</b>	<b>Součinitel tepelné prostupnosti U [W/m<sup>2</sup>K]</b>
<b>EN 410</b>	22,2	0,3	9 / 19	64,2 / 6,4	0,34	n/a	n/a
<b>CIE</b>	29,9	n/a	5,3 / 8,8	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>EN 673</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Cca 1,5
<b>EN 12 758</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	33(-1,-4)	n/a

Nástupní prostory představují rozhraní mezi vozidlem a nástupištěm. Příkladem odpovídajících nástupních prostor je porovnání dvoupodlažního a jednopodlažního vozu jednotky Desiro HC, [126]. Význam nástupních prostor potom nabývá z pohledu cestujících se sníženou mobilitou, dětských kočárků a jízdních kol.



**Obrázek 65 - Rozdíl nástupního prostoru mezi dvoupodlažním vozem (vlevo) a jednopodlažním vozem (vpravo) , Desiro HC, Siemens Mobility, [126].**

## 5.6. INTERIÉR KOLEJOVÝCH VOZIDEL

V návrhu interiéru vozidel lze vysledovat základní systémové principy integrace komponent kolejového vozidla. Interiérovou koncepci vozidla lze rozdělit do tří základních skupin:

- Prostor pro cestující
- Prostor pro obsluhu
- Prostor pro údržbu

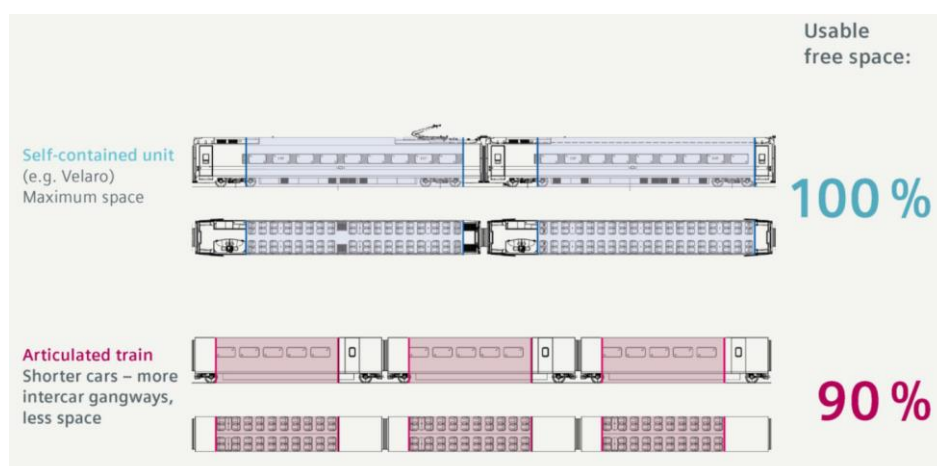
### 5.6.1. ŘEŠENÍ INTERIÉRU KOLEJOVÝCH VOZIDEL V PROSTORECH PRO CESTUJÍCÍ

Stálou výzvou je poskytnout, co nejvíce prostoru pro potřeby přepravy cestujících uvnitř vozidla, především v příčném horizontálním směru. Řešení prostoru pro cestující je limitováno konstrukcí hrubé stavby<sup>5</sup>, izolačních vrstev a vnitřního obložení.



Obrázek 66 – Zvýšením dostupného prostoru o 10% umožnilo rozšířit uličku o 11 mm, Velaro Novo, Siemens Mobility website, [126].

<sup>5</sup> Pozn. Autora: Hrubá stavba je synonymem konstrukce vozidlové skříně.



Obrázek 67 - Srovnání vnitřního prostoru s pohledu koncepce pojezdu a pohonu, Siemens Mobility website, [126].

Obrázek 67 představuje srovnání koncepcí podle konstrukce pojezdu a pohonu vozidel. Srovnává klasické řazení podvozků, např. 2'2' nebo Bo'Bo' s mezivozovými podvozků, tzv. Jakobsovými. Zatímco Jakobsovy podvozky umožňují konstrukci vozidlových skříní širších, ale kratších, standardní koncepce podvozků umožňuje konstrukci užší, ale delší.

Dalším faktorem ovlivňujícím interiér vozu je jeho uspořádání. Ještě v nedávné době bylo standardní uspořádání ve vozech typu „kupé“ pro 8 lidí. V posledních dvou dekadách se od této koncepce ustupuje.

S příchodem integrální stavby vozidlové skříně a využití podélných C-drážek, nastoupila éra modularity a variability vnitřního prostředí. Tak zvané „letecké uspořádání“ zavedlo v osobní přepravě řazení sedaček po jedné, dvou, nebo i třech v řadách. Navíc se trend ubírá tzv. „open space“ salónním prostorem společným pro většinu cestujících. To umožňuje výrobcům snadněji modulovat např. počty sedadel ve voze, stolků, míst pro vozíčkáře, apod.

Typickým příkladem salónního uspořádání je interiér vysokorychlostních vozidel, který je mnohdy uspořádán dvěma asymetrickými řadami po dvou a po jedné sedačce. Od středu vozu pak mohou být sedačky řazeny opačným směrem, tzv. „symetrické uspořádání“.



Obrázek 68 – Vizuál prostoru pro cestující vysokorychlostní jednotky Velaro Novo, Siemens Mobility, [126].



Obrázek 69 - Interiér prostoru pro cestující vysokorychlostního vozidla Zefiro, Bombardier, [134].





Obrázek 70 - Vnitřní prostor pro cestující vysokorychlostního vozidla AVG NTV Italo, Club class, Alstom [133].

Jak je patrné z Obrázku 71 a Obrázku 72 v rámci otevřeného prostoru může být prostor členěn zástěnkami nebo přepážkami s vnitřními dveřmi. Vnitřní dveře obvykle bývají prosklené v hliníkovém nebo ocelovém rámu.

Otevřený prostor je i doménou vozidel regionální, meziměstské nebo městské hromadné dopravy. Následující Obrázek 71 a Obrázek 72 ilustruje podobu dnešních koncepcí „mainline“ a „urban“ vozidel. V porovnání s vysokorychlostními vozidly jde lehká okázalost stranou a uplatňuje se především funkční, až minimalistický design, optimalizovaný maximálně na efektivitu významu, udržitelnost a esteticky emocionální funkci.



Obrázek 71 - Vizuál prostoru pro cestující regionální jednotky Mireo, Siemens Mobility, [126].



Obrázek 72 - Vizuály prostoru pro cestující metro platformy Inspiro, Siemens Mobility, [126].

Efektivita významu je podíl mezi původní komplexní myšlenkou koncepce vozidla a jeho výslednou realizací. Je-li efektivita vysoká, realizace v co největší míře odpovídá konceptu.



Obrázek 73 - Interiér metra Mnichov, Siemens Mobility, [126].

Cestující, respektive jakýkoliv lidský faktor, hodnotí své subjektivní dojmy z koncepce užívaného vozidla. Tyto impresy je třeba statisticky vyhodnocovat a vyvodit možné příčiny a následky během koncepčního vývoje, více viz.

Například holandský projekt „NS Vision Interior Train of the Future“ ve spolupráci designových studií Mecanoo and Gispem, [138], využívá modularitu vnitřního prostoru vozidla k vytváření tzv. relaxačních, sociálních a koncentračních zón. Jak uvádí sám autor Joost Van der Made v rozhovoru pro časopis *Railway Interiors International*, [25], cituji s překladem: “Pokud učiníte prostor osobnějším, ať již jakýmkoliv způsobem, vygenerujete nejvyšší stupeň uznání, pakliže se cestující cítí součástí ekosystému. Pak získáte nejlepší hodnocení.”



Obrázek 74 - Moduly interiéru použitelné pro tvoření zón pro cestující, [138].

Koncepce spočívá ve využití modulárního prostoru vozidla k utváření uživatelských zón určených pro nejběžnější činnosti, které člověk provádí během cestovního času. Provedená rešerše ukázala, [25], str. 33, že lidé cestují na krátké vzdálenosti, cestují často s jízdním kolem – tolik charakteristickým osobním dopravním prostředkem v Holandsku. Dále je velmi často cestovní čas využíván ke čtení, surfování po internetu a komunikaci cestujících mezi sebou. V neposlední řadě i k práci, často označovaným termínem „train office“.

Autor modulárního řešení, [25], str. 33, dále kategorizuje moduly do třech základních skupin dle užitku, moduly: společenské, odpočinkové a klidné/tiché. Sestavením lze získat následující koncepce interiéru vozidla, viz Obrázek 75 až Obrázek 78.



Obrázek 75 - Společenská zóna: Nástupní prostory. Gispén. [138].



Obrázek 76 - Odpočinková zóna. Mecanoo. [138].



Obrázek 77 – Odpočinková zóna: První třída, Mecanoo. [138]



Obrázek 78 - Klidová zóna, Mecanoo. [138]

V porovnání se standardním členěním salónního prostoru jde o zajímavý krok z pohledu koncepce interiéru vozidla. Posazení cestujících již není pouze ve nebo proti směru jízdy, ale mnohá místa jsou orientována bokem k jízdě a jsou navíc v různých výškových pozicích.

Zajímavým prvkem jsou moduly určené k telefonování a k práci na počítači. Moduly jsou cílené k izolování uživatele od okolního prostředí, ať již se jedná o pomyslnou izolaci nebo fyzikální.

Podobné principy využití modularity lze sledovat i v omezenějším prostoru, jako jsou například lůžkové a spací vozy. Obvykle vychází jeden spací oddíl na jedno okno, tomu je odpovídající místo pro lůžka a odkladací prostory cestujících. Takové oddíly mohou být sdílené pro více lidí, viz Obrázek 79 níže.



Obrázek 79 – Lůžkový oddíl, noční vlak dopravní společnosti OEGB, článek z Railgazette.com, [139].

Nabízejí se i koncepce individualizmu lůžkového prostoru v podobě tzv. kapslí. Jak znázorňuje Obrázek 80. Prostor cestujícího se omezuje na minimální prostor nad lůžkem. To vnáší do problematiky lůžkových kapslí základní hygienické otázky ohledně kvality vzduchu, pocitu stísněného prostoru, ležící poloha napříč směru jízdy, evakuační koncept, bezpečnostně relevantní prvky, apod.



Obrázek 80 – Lůžkové kapsle na spaní, noční vlak dopravní společnosti OEGB, článek z Railgazette.com, [139].

Dalším specifickým prostorem jsou coffeebary a bistra. Obvyklá koncepce restauračních vozů je běžná pro vozidla dálkové dopravy, tedy vysokorychlostní jednotky, mezistátní a mezinárodní rychlíky. Za zajímavý lze označit koncept coffeebaru meziměstské a regionální jednotky dopravní společnosti VivaRail ve Velké Británii, viz Obrázek 81.



Obrázek 81 - Oddíl občerstvení, dopravní společnost VivaRail UK, [141]



Důležitým prvkem členitosti vnitřního prostoru vozidel je systémová integrace sanitárních buněk. Tato koncepce je standardní především pro vozidla meziměstská, regionální a dálková kvůli delším mezizastávkovým časům.



Obrázek 82 - Nízkopodlažní část vozidla s integrací toaletní buňky uzpůsobené pro cestující PRM, platforma Mireo, Siemens Mobility, [126].

Systém toalet bývá ucelným tématem projektu, které tvoří rozhraní téměř se všemi systémovými celky vozidla, jako je podlaha, okna, dveře, elektrické, pneumatické a vodovodní rozvody, odpadní systém, klimatizační systém, bezpečnostní prvky a v neposlední řadě lidský faktor.

Moduly sanitárních buněk se dají rozdělit do dvou základních kategorií. Jsou to moduly standardní a moduly univerzální. Standardní moduly jsou klasické kabinky, které se v posledních letech užívaly zejména pro dálkové vozy. Univerzální toalety jsou rozšířené o prostor, který potřebují osoby se sníženou mobility s odkazem na invalidní vozík, viz Obrázek 83.

Univerzální moduly jsou v dnešní době vybaveny i přebalovacími pulty, umyvadlem, zrcadlem, odpadkovým košem a soustavou přídržných madel pro cestující na vozíčku. Zajímavé je, že TSI PRM 2014, [Z1], definuje prostor univerzálních toalet pouze s odkazem

na rozměry invalidního vozíku, dle TS 16635:2014 - Posouzení modulu univerzální toalety.  
Problematiku dětských kočárku již nezmiňuje.

Universal Cabin

Standard Cabin



Obrázek 83 - Systémová integrace univerzálních a standardních modulů toalet ve vozidle, obrázek převzat z brožury společnosti Evac, [www.evac-train.com](http://www.evac-train.com).

V úvodní části rešerše byly zmiňovány i železniční systémy neadhezního principu. Vzhledem k současnému trendu vývoje těchto dopravních systémů se nejvíce projevují studie spojené se systémem Hypeloop, [Z10]. Následující vizuály zobrazují vizi společnosti BMW Group Designworks vnitřního prostoru kapslí určených pro město Dubai. Kapsle jsou bez oken, tedy bez přirozeného světla a tepla.

Lze si zatím jen těžko domýšlet, jaké dynamické účinky můžou a budou působit na cestujícího člověka. Stejně tak i projevy zvukové nejsou v tuto chvíli jednoznačně známé.



Obrázek 84 - Koncept cestovních kapslí pro Hyperloop v Dubai, BMW Group Designworks, [140].



Obrázek 85 – Koncept cestovních kapslí pro Hyperloop v Dubai, BMW Group Designworks, [140].

## 5.6.2. ŘEŠENÍ INTERIÉRU KOLEJOVÝCH VOZIDEL V PROSTORECH PRO STROJVEDOUČÍ A ŘIDIČE

Speciální přístup k návrhu vnitřního prostředí vozidla je ve vztahu s obsluhou vozidla. Zejména pak strojvedoucí vlaku a řidiči tramvají a jiných městských vozidel jsou vystaveny operativním činnostem, které je nutné do návrhu vozidla zahrnout.

Následující sekvence obrázků představuje přehled kokpitů strojvedoucích stávajícího vozového parku mezinárodního dopravce České Dráhy. Společným prvkem stanoviště strojvedoucího je ovládací pult, který je v dosahové vzdálenosti strojvedoucího. Pult strojvedoucího by měl být přehledný a současně by neměl bránit ve výhledu strojvedoucího a umožnit mu pohodlné pracovní prostředí.

Jsou-li vozidla vybavena zobrazovacími zařízeními, vizuální komunikátory apod., měla by být zajištěna jejich viditelnost a ochrana před závojevým oslněním. Mnohdy jsou čelní okna vozidla vybavena zástěnkami proti oslnění, které jsou realizovány v podobě roletek, sklopek, apod.

Praha Masarykovo nádraží – Kralupy nad Vltavou



**Praha Masarykovo  
nádraží**

**Kralupy nad Vltavou**

Vlak: Os 9644  
Vozidlo: řada 451  
Max. rychlost: 100 km/h  
Délka tratě: 27,3 km  
Délka záznamu: 34:21 min  
Počet stanic/zastávek: 12

Číslo tratě:  
**090, 091**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Praha hl. nádraží – Děčín



**Praha hl. nádraží – Děčín**

Vlak: EC 378  
Vozidlo: řada 371  
Max. rychlost: 160 km/h  
Délka tratě: 129 km  
Délka záznamu: 1:29:46  
Počet stanic/zastávek: 4

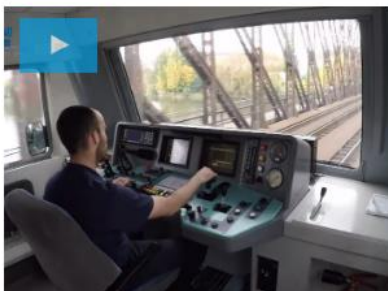
Číslo tratě:  
**090**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA



Praha hl. nádraží – Beroun



**Praha hl. nádraží**  
**Beroun**

Vlak: osobní vlak 8822  
Vozidlo: elektrická jednotka řady 471  
Max. rychlost jednotky: 140 km/h  
Max. traťová rychlost: 100 km/h  
Délka tratě: 43 km  
Délka záznamu: 00:59:11

Číslo tratě: **171**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Brno hl. nádraží – Choceň



**Brno hl. nádraží**  
**Choceň**

Vlak: Rx 872  
Vozidlo: el. jednotka řady 660 InterPanter  
Max. rychlost jednotky: 160 km/h  
Délka tratě: 116 km  
Délka záznamu: 1:43:48

Číslo tratě: **260, 010**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Rumburk – Děčín



**Rumburk**  
**Děčín**

Vlak: Os 6655  
Vozidlo: motorová jednotka řady 844 RegioShark  
Max. rychlost jednotky: 120 km/h  
Délka tratě: 61 km  
Délka záznamu: 1:20:02

Číslo tratě: **081**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Liberec – Tanvald



**Liberec – Tanvald**

Vlak: Os 2655  
Vozidlo: Motorový vůz řady 840 RegioSpider  
Max. rychlost jednotky: 120 km/h  
Délka tratě: 27 km  
Délka záznamu: 00:46:01

Číslo tratě: **035**

ZOBRAZIT >>



Praha-Holešovice – České Budějovice



**Praha-Holešovice**  
**České Budějovice**

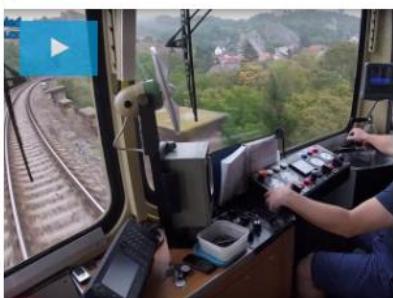
Vlak: Ex 1545  
Vozidlo: lokomotiva řady 380  
Max. rychlost lokomotivy: 200 km/h  
Délka tratě: 172 km  
Délka záznamu: 2:07:29

Číslo tratě:  
**220**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Praha hlavní nádraží – Rudná u Prahy



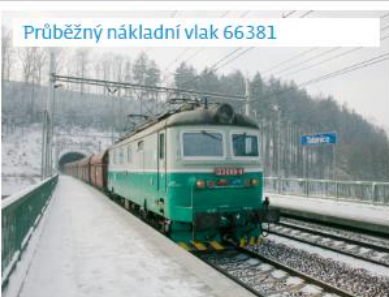
**Praha hlavní nádraží**  
**Rudná u Prahy**

Vlak: Os 25908  
Vozidlo: Motorový vůz řady 810  
Max. rychlost jednotky: 80 km/h  
Délka tratě: 31 km  
Délka záznamu: 00:57:40

Číslo tratě:  
**122**

ZOBRAZIT >>

Ústí nad Labem – Nymburk



**Ústí nad Labem**  
**Nymburk**

Vlak: průběžný nákladní vlak 66381  
Vozidlo: řada 123  
Max. rychlost lokomotivy: 90 km/h  
Délka tratě: 113 km  
Délka záznamu: 1:41:36

Číslo tratě:  
**072, 231**

ZOBRAZIT >>

Bechyně – Tábor



**Bechyně**  
**Tábor**

Vlak: Os 28409  
Vozidlo: řada 100  
Max. rychlost: 50 km/h  
Délka tratě: 24 km  
Délka záznamu: 00:48:50  
Počet stanic/zastávek: 12

Číslo tratě:  
**202**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA



Olomouc hl. nádraží – Horní Lideč



**Olomouc hl. nádraží  
Horní Lideč**

Vlak: EC 129  
Vozidlo: 350  
Max. rychlost: 160 km/h  
Délka tratě: 114 km  
Délka záznamu: 1:32:34  
Počet stanic/zastávek: 4

Číslo tratě:  
**270, 280**

ZOBRAZIT >>

Čerčany – Praha hl. nádraží



**Čerčany  
Praha hl. nádraží**

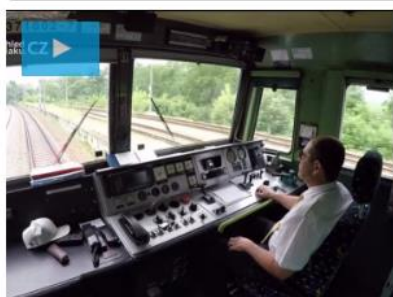
Vlak: Os 9058  
Vozidlo: řada 749  
Max. rychlost: 100 km/h  
Délka tratě: 60 km  
Délka záznamu: 1:45:22  
Počet stanic/zastávek: 25

Číslo tratě:  
**210**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Praha hl. nádraží – Děčín



**Praha hl. nádraží – Děčín**

Vlak: EC 378  
Vozidlo: řada 371  
Max. rychlost: 160 km/h  
Délka tratě: 129 km  
Délka záznamu: 1:29:46  
Počet stanic/zastávek: 4

Číslo tratě:  
**090**

ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Františkovy Lázně – Plzeň



**Františkovy Lázně  
Plzeň**

Vlak: SC 515  
Vozidlo: řada 680  
Max. rychlost: 160 km/h  
Délka tratě: 112,5 km  
Délka záznamu: 1:27:07  
Počet stanic/zastávek: 6

Číslo tratě:  
**148, 170**

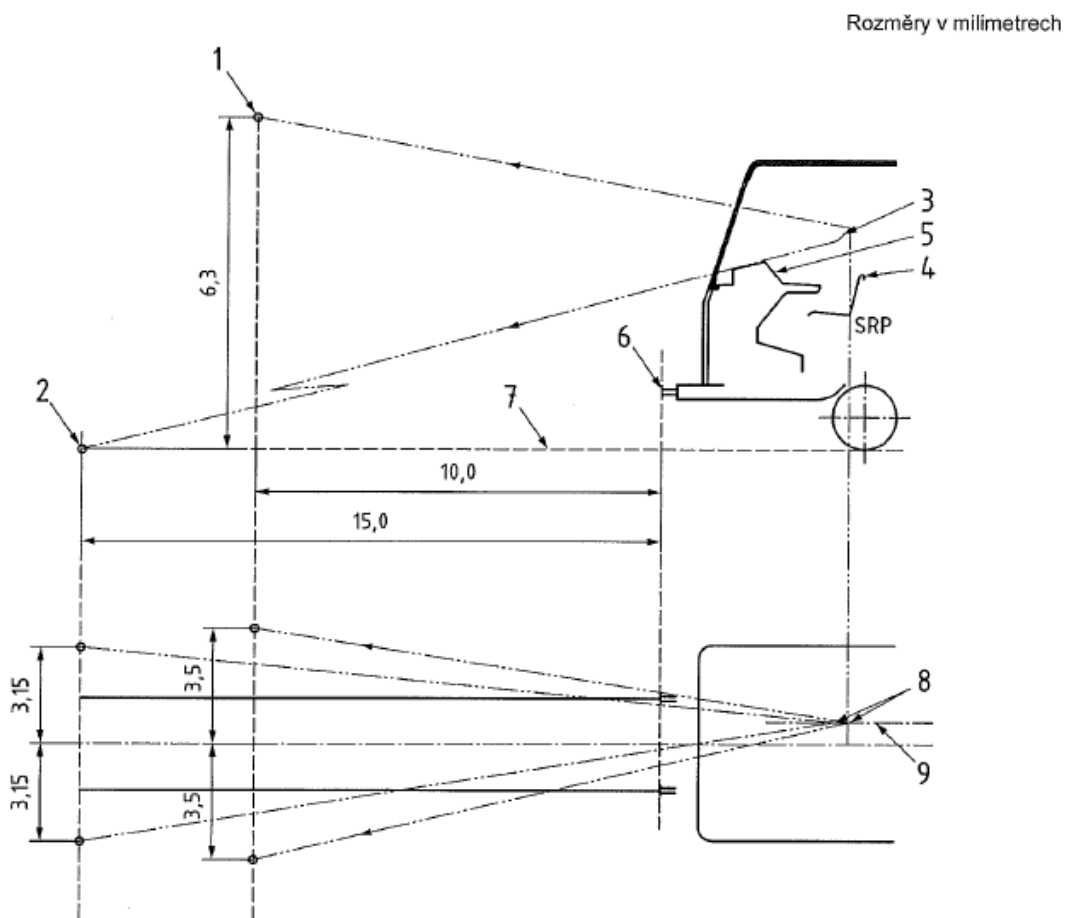
ZOBRAZIT >>

VIRTUÁLNÍ  
PROHLÍDKA  
VOZIDLA

Obrázek 86 - Příklady kabin strojvedoucího pro různá vozidla částečného vozového parku ČD, [125].

Na koncepcce řídicích stanovišť jsou brány důrazné ohledy na přehlednost řídicího pultu, stejně tak musí být dodrženy výhledové poměry, které jsou v konvenční železnici svázány s normou EN 16186 – 1 – Železniční aplikace – Kabina strojvedoucího – Část 1: Antropometrická data a výhledové poměry.

Následující Obrázek 87 ukazuje doporučené výhledové poměry pro rozsah různých tělesných výšek strojvedoucích.



**Legenda**

SRP referenční bod sedadla	5 pult
1 horní referenční body	6 čelní plocha nárazníku
2 dolní referenční body	7 temeno kolejnice
3 sedící strojvedoucí (viz obrázek 1 and obrázek 2)	8 sedící strojvedoucí
4 sedadlo	9 osa sedadla

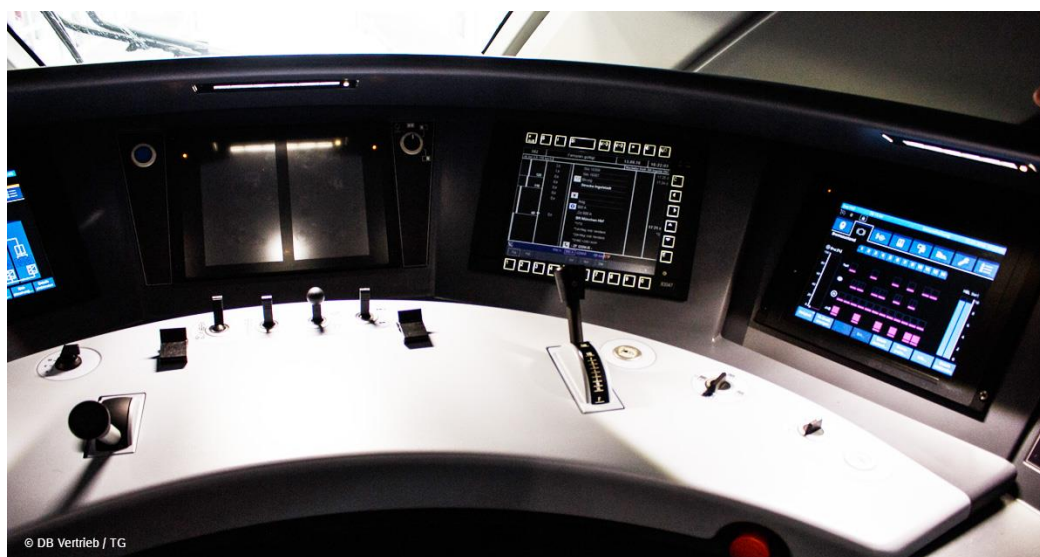
**Obrázek 87 - Referenční plochy pro výhled ven, ČSN EN 16 186 - Železniční aplikace - Kabina strojvedoucího - Část 1: Antropometrické data a výhledové poměry, převzat obrázek A1.**



Řídicí stanoviště strojvedoucího jsou vybavena kontrolními, ovládacími a komunikačními zařízeními. Jde o zásadní kontrolní prvky, které musí odpovídat ergonomii pracovního prostředí obsluhy. Stejně tak samotné komponenty řídicího pultu musí být schváleny pro železniční provoz.



Obrázek 88 - Kokpit stanoviště strojvedoucího regionální jednotky Desiro HC, Siemens Mobility, [126].



Obrázek 89 - Kokpit stanoviště strojvedoucího jednotky ICE 4, Deutsche Bahn, [142][126].

Z důvodu schvalování jsou ve všech druzích vozidel instalovány požadované komponenty, pouze jejich pozice a umístění vůči obsluze vlaku závisí na konstrukčním provedení pultu, včetně jeho rozhraní, a na antropometrickém rozsahu cílové populace obsluhy vlaku.



Obrázek 90 - Kokpit stanoviště strojvedoucího Shinkansen, obrázek z internetu, rail.hobidas.com



Obrázek 91 - Kokpit stanoviště řidiče tramvaje Avenio T, Siemens Mobility,[126]

Obdobné rozvržení lze pozorovat i u vozidel městské hromadné dopravy. Nicméně, pro tento druh dopravy neplatí striktní nařízení jako u železnice konvenční. Například provedení tlačítek na pultu tramvaje 15T Škoda Transportation, Obrázek 92, využívá nízkozdvížná

tlačítka schovaná za ovládací plochou. Tato koncepce nevyužívá standardní otočné přepínače a mechanická tlačítka, jako například tramvaj Avenio, Siemens Mobility.



Obrázek 92 - Pohled do kabiny tramvaje Škoda Transportation 15T, [143]

## 5.7. FYZIKÁLNÍ PROSTŘEDÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL

### 5.7.1. MECHANICKÉ ZDROJE KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Vozidlo tvoří mechanickou soustavu, kterou lze popsat pomocí reologie, tedy sestavením pohybových rovnic hmotných soustav s pružnými a tlumícími prvky. Pohybové rovnice představují výpočet silové rovnováhy a pomáhají pochopit chování vozidla při daných okrajových a počátečních podmínkách provozu.

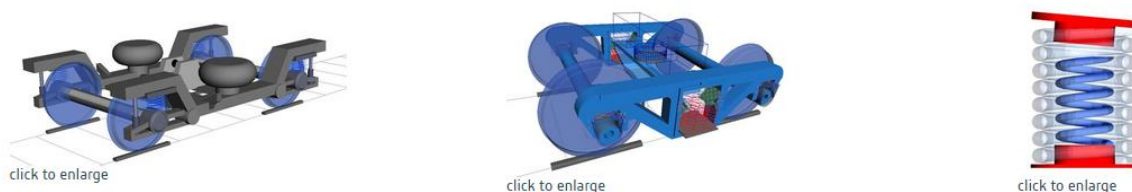
V současné době je v odborné praxi využíváno výpočetních systémů k analýze dynamických účinků koleje na vozidlo, tzv. CAD systémů, [Z13]. Úspěšným matematickým řešičem je například software Dassault Systemes Simulia Simpack, konkrétně nadstavba pro kolejová vozidla, viz. [144]. Následující obrázky představují základní moduly výpočtu.



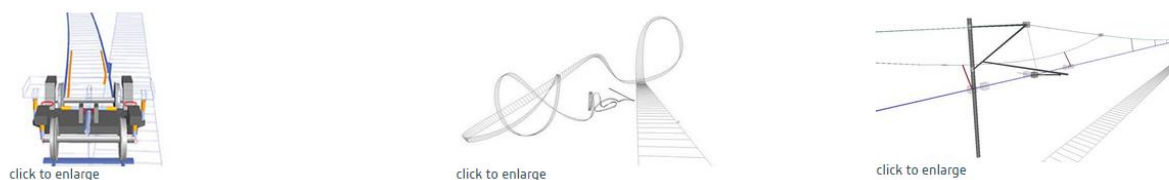
Obrázek 93 - Základní dynamické modely konvenčních železničních vozidel systému Simpack, zleva vozidlo Bo'Bo', osobní vozidlo 2'2' a nákladní vozidlo 2'2', [144].



Obrázek 94 - Základní dynamické modely konvenčních železničních vozidel systému Simpack, zleva vozidlo zavěšené typu monorail, vpravo horská dráha, [144].

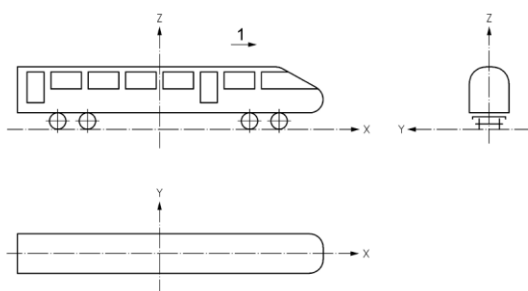


Obrázek 95 - Základní dynamické modely konvenčních podvozku a vypružení systému Simpack, [144].



Obrázek 96 - Základní modely tratí a trakčního vedení systému Simpack, [144].

Výpočet dynamických sil systému pojezdu a pohonu vozidla zpravidla končí na konstrukci skříně, kdy výstupem jsou efektivní směrové a úhlové výchylky a zrychlení. Základní dynamické modely již neuvažují vypružení a tlumení prvků interiéru. Systémová integrace interiérových komponent je aplikací *EN 12 663: Železniční aplikace - Konstrukční požadavky na skříně kolejových vozidel, 2001*. Následující obrázky vyjadřují pevnostní dimenzování vnitřního vybavení vozidel podle jejich konstrukční kategorie.



Zrychlení ve směru x ( $m/s^2$ )

Lokomotivy	Osobní vozy					Nákladní vozy	
Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie
<b>L</b>	<b>P-I</b>	<b>P-II</b>	<b>P-III</b>	<b>P-IV</b>	<b>P-V</b>	<b>F-I</b>	<b>F-II</b>
$\pm 3 g$	$\pm 5 g$	$\pm 3 g$	$\pm 3 g$	$\pm 2 g$	$\pm 2 g$	$\pm 5 g$	

Zrychlení ve směru y ( $m/s^2$ )

Lokomotivy	Osobní vozy					Nákladní vozy	
Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie
<b>L</b>	<b>P-I</b>	<b>P-II</b>	<b>P-III</b>	<b>P-IV</b>	<b>P-V</b>	<b>F-I</b>	<b>F-II</b>
$\pm 1 g$							

Zrychlení ve směru z ( $m/s^2$ )

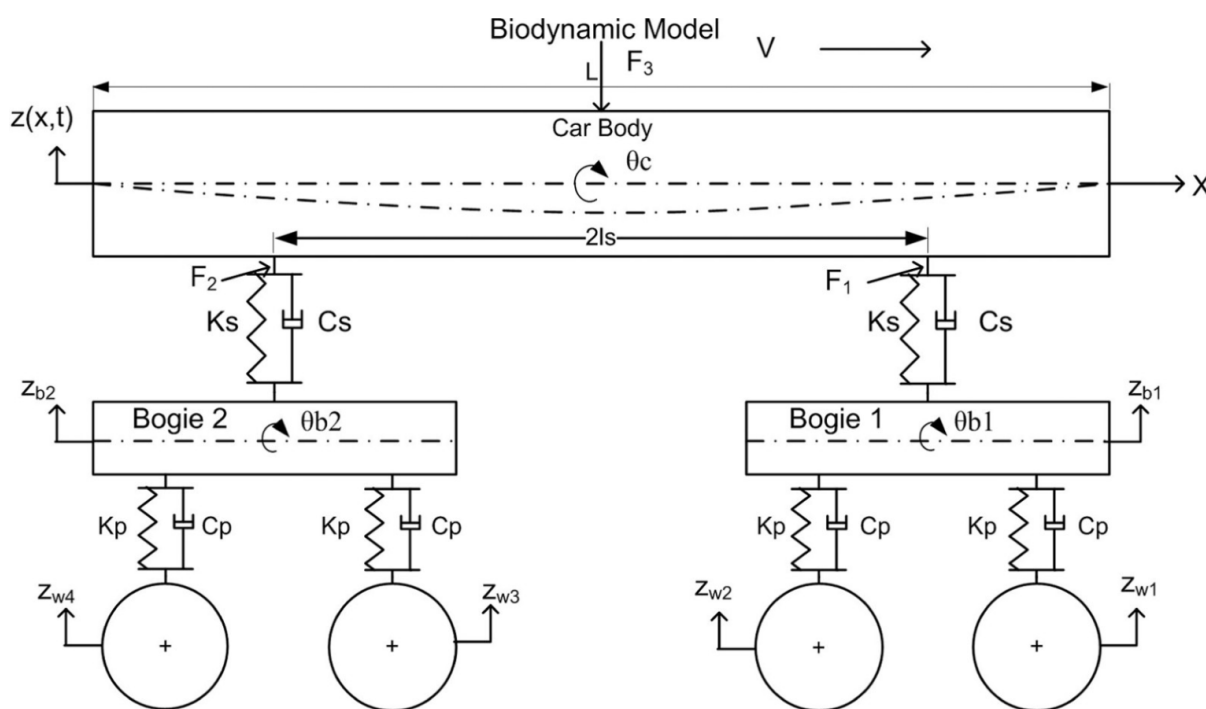
Lokomotivy	Osobní vozy					Nákladní vozy	
Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie	Kategorie
<b>L</b>	<b>P-I</b>	<b>P-II</b>	<b>P-III</b>	<b>P-IV</b>	<b>P-V</b>	<b>F-I</b>	<b>F-II</b>
$(1 \pm c) \times g^a$							
<sup>a</sup> $c = 2$ na konci vozu, lineární dopad k 0,5 ve středu vozidla							

Obrázek 97 - Dimenzování vnitřního vybavení podle kategorie vozidel a orientace vybavení ve vozidle, EN 12663-1:2015, obrázek 1, kapitola 6.5.2, Tabulka 13, 14 a 15.

Protože cestující/obsluha ve vozidle stojí i sedí, nejdůležitějším konstrukčním rozhraním v oblasti mechanických zdrojů vibrací je podlaha vozidla a sedačka. Jak bylo zmíněno v kapitole 4.6.1, str. 54, existují i koncepce vozidel, kde cestující leží, tedy spací a lůžkové vozy. Sedačka, podlaha a lehátko tedy představuje koncový zdroj dynamických účinků konstrukce vozidla na člověka během provozu.

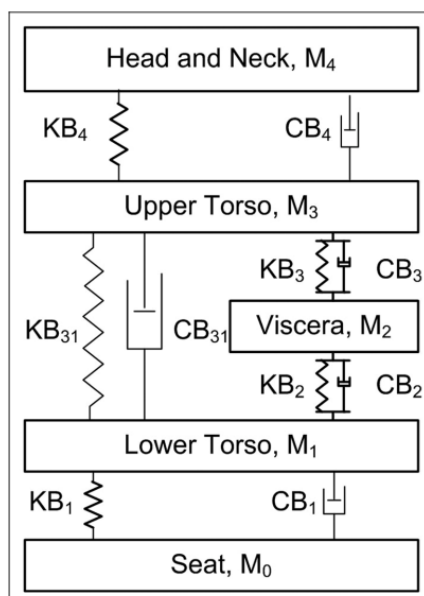
Z pohledu konstrukce kolejového vozidla a jeho dynamického vztahu k jízdni dráze je zajímavou studií práce Kumara, Rastogiho a Pathaka, [20]. Jejich studie se zaměřila na simulaci dynamického modelu vozidla s tuhou nebo pružnou skříní a pro různé rychlosti zjišťovali vliv tuhosti skříně na biodynamický model lidského faktoru.

Následující Obrázek 98 představuje simulační model studie.



Obrázek 98 - Dynamický model kolejového vozidla s tuhou/poddajnou skříní s integrovaným biodynamickým modelem, [20], obr. 1.

Biodynamický model potom představuje reologický model člověka, který je sestaven z několika segmentů a představuje sedící osobu, viz Obrázek 99. Model se skládá ze čtyř základních segmentů: sedák, spodní část trupu, vnitřní orgány, horní část trupu, hlava s krkem.



Obrázek 99 - Biodynamický model, zhora dolů segment hlavy a krku, segment horní části trupu (ramena, hrudník), segment vnitřních orgánů, segment spodní části trupu (hýždě, pohlavní orgány), segment sedačky, [20], obr. 4.

Výsledkem výše zmíněné studie, [20], je porovnání maximálních zrychlení jednotlivých segmentů pro různé rychlosti platné pro tuhou a poddajnou skříň, viz Obrázek 100.

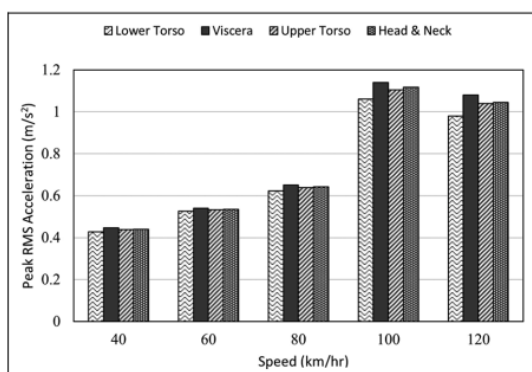


Figure 15. Peak root mean square (RMS) acceleration of different body parts at different speeds for the rigid car body.

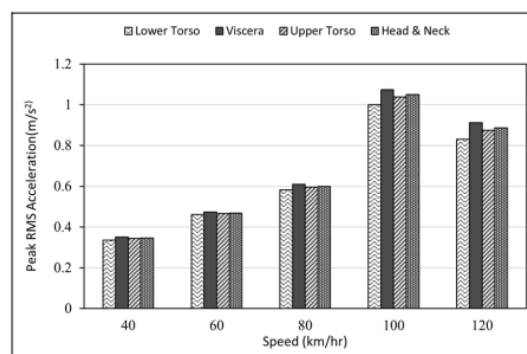


Figure 16. Peak root mean square (RMS) acceleration of different body parts at different speeds for the flexible car body.

Obrázek 100 - Maximální zrychlení (RMS) pro odlišné segmenty lidského faktoru při různých rychlostech relevantní pro tuhou a poddajnou skříň kolejového vozidla, [20], obr. 15 a 16.

Z porovnání obou typů tuhosti skříně, lze usuzovat, že vliv na jednotlivá zrychlení segmentů lidského těla, není až příliš značný. Zrychlení se pohybuje pro různé rychlosti vozidla od jedné do dvou desetín  $m/s^2$ . Dále můžeme z diagramů vyčíst, že simulační buzení mělo největší vliv na segment vnitřních orgánů, a to zejména v rychlostech nad 100 km/h. Nicméně simulace vznikla za striktně daných okrajových podmínek a její hodnota je ve zjištění, že absolutně tuhá skříň vykazuje zhruba o  $0,1 \pm 0,05 m/s^2$  nadbuzené výsledky, než skříň poddajná.

Z pohledu jízdního komfortu je potřeba také představit přehled sedaček, systémově rozdělených podle účelu jejich použití. Standardně výrobci sedadel pro kolejová vozidla, zejména konvenční železnice, prezentují portfólia podle druhu přepravy. Sedačky:

- dálkové přepravy,
- regionální přepravy,
- komunální městské přepravy,
- luxusní a prémiové,
- speciální (pro řidiče a strojvedoucí, PRM, apod.)

Takto kategorizované sedačky mají společné konstrukční prvky, jako je rozhraní s podlahou nebo systémem uchycení C-drážek v bočnici, ke kterým je sedačka pevně připevněna dle *EN 12 663: Železniční aplikace - Konstrukční požadavky na skříně kolejových vozidel, 2001*.

Společným prvkem je i skořepinové řešení sedáku a opěrky a jejich polstrování, které se liší v závislosti na kategorii. Stejně tak systémy područek a nožních opěrek jsou účelně využity tam, kde nachází své opodstatnění.

Speciální sedačky, jako jsou sedačky strojvedoucího, jsou koncepčně polohovatelné, mnohdy i vybavené aktivním řízením tlumení vibrací, ať již na principu mechanických pružin, pneumatiky, hydrauliky či elektrického řízení.

Následující přehled obrázků porovnává koncepční řešení sedaček dle kategorií. Odlišnosti jsou především v použití područek, záhlavních opěrek, kvalitě polstrování, prostornosti a udržby.





Obrázek 101 - Sedačky určené pro dálkovou přepravu z portfolia společnosti Borcad, [145].



Obrázek 102 - Sedačky určené pro regionální přepravu z portfolia společnosti Borcad, [145].



Obrázek 103 - Sedačky Fainsa metro Riyadh, [146].



Obrázek 104 - Sedačky luxusní z portfolia společnosti Borcad, [145].



Obrázek 105 - Příklad sedačky strojvedoucího nebo řidiče kolejového vozidla, standardní řešení MSG 95/722, obrázek převzat z brožury Drivers-Seats.com, [147].

Nestandardní studie polohovatelné sedačky byla představena na mezinárodním veletrhu kolejových vozidel v Berlíně, Innotrans 2014. Zatímco skořepina zádové opěrky tvoří jeden polohovatelný celek, podnožka je sklopná a celkový sklon sedačky odpovídá záklonu o více, než je  $10^\circ$ , hodnotě doporučené pro železniční aplikace, viz .Obrázek 106.



.Obrázek 106 - Studie sedačky kokpitu kolejového vozidla, autor neznámý, foceno na Innotrans 2014, Berlín.

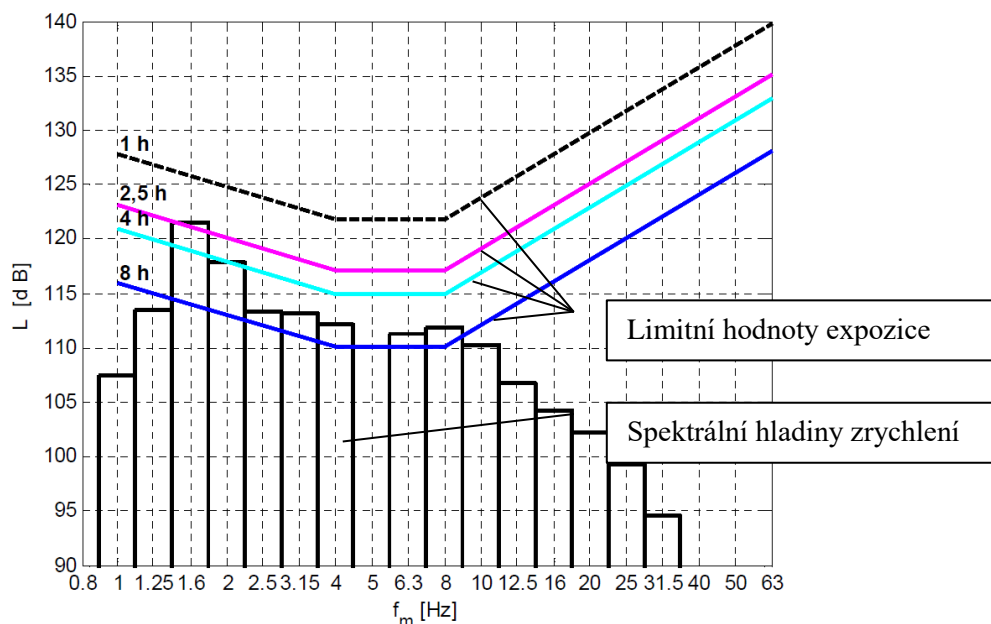
Aktivní řízení tlumení je doménou především sedadel pro obsluhu vlaku, jako je řidič nebo strojvedoucí kolejového vozidla. Testování a měření takových sedadel není nutně spajto s kolejovými vozidly. Například v článku „Hodnocení vibrační působících na řidiče sedícího na aktivně řízeném sedadle“, Kupka, [27], autor hodnotí výstupní svislé zrychlení na sedačce typu KAMAZ v decibelových hladinách dle ISO 2631-1 a porovnává výkonově spektrální hustoty hladin zrychlení pro odlišné typy jízdních vozovek. Testovací nákladní vozidlo Tatra bylo měřeno v testovacím areálu Tatra Kopřivnice, konkrétně na vozovce PAVÉ, BELGICKÁ, BULIŽNÍK a PANELY.

Časové expozice sedačky typu KAMAZ pro jednotlivé vozovky porovnává následující Tabulka 7.

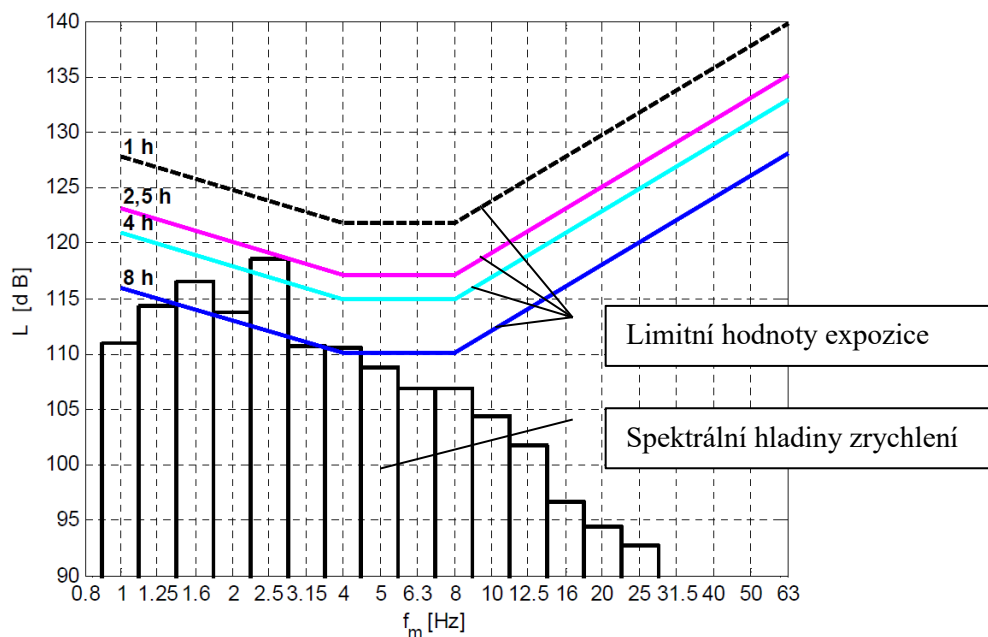
Tabulka 7 - Porovnání aproximovaných a doporučených dob expozic pro různé vozovky, převzato z [27].

Vozovka	Rychlost	Maximální doba expozice dle doporučených mezí	Aproximovaná maximální doba expozice
PAVÉ	25 km/h	1 hodina	2 hodiny
BELGICKÁ	15 km/h	2,5 hodiny	2,5 hodiny
BULIŽNÍK	45 km/h	8 hodin	8 hodin
PANELY	35 km/h	4 hodiny	5,5 hodiny
Areál Tatry		8 hodin	8 hodin

Následující obrázky představují výkonově spektrální hustoty hladiny zrychlení pro vozovky PAVÉ a BELGICKÁ. Tyto dvě vozovky vykazují vysoké spektrální hodnoty vážených hladin zrychlení pro frekvence vibrací mezi 1 až 10 Hz. Z pohledu hodnocení expozice pak sedačka v takovýchto podmínkách vykazuje pohodlí po omezenou dobu až 2,5 hodiny.



Obrázek 107 - Porovnání třetinooktávového spektra vibrací na funkčním vzoru sedadla KAMAZ s aktivním řízením s limity pro dobu expozice při jízdě po vozovce PAVÉ, [27]



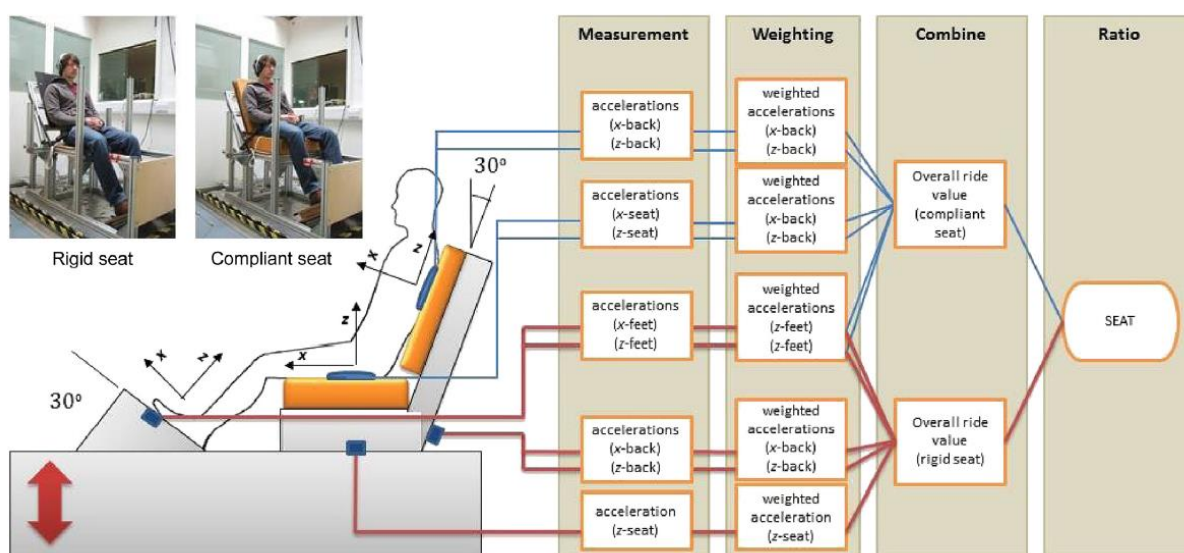
Obrázek 108 - Porovnání třetinooktávového spektra vibrací na funkčním vzoru sedadla KAMAZ s aktivním řízením s limity pro dobu expozice při jízdě po vozovce BELGICKÁ, [27].

Zmiňme také vztah ceny sedačky ve vztahu s její údržbou a účelem použití. Sedačky strojvedoucích jsou samozřejmě mnohonásobně dražší, než sedačky městské hromadné dopravy. Doba osobního užitku sedačky pro cestující MHD, [Z14], je dán maximální dobou jízdní trasy jedné linky. Sedačka řidiče tramvaje je jednou osobou užívána například 4 až 8 hodin, apod. Naopak dálková doprava již vyžaduje kvalitní polstrování, neboť se cestovní čas prodlužuje. Náročnější konstrukce sedačky se ovšem projeví na její ceně.

Dalším přínosem článku zmíněným výše je metoda hodnocení podle ISO 2631-1 za použití decibelových jednotek. Referenční hodnota stanovení hladin zrychlení je stanovena podle ISO 1683 Akustika - Vyvolené referenční hodnoty pro hladiny veličin v akustice a vibracích, tedy:

- $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$  pro zrychlení,
- $v_0 = 10^{-8} \text{ m/s}$  pro rychlost,
- $F_0 = 10^{-6} \text{ N}$  pro sílu.

Studie aplikované ergonomie „The application of SEAT values for predicting how compliant seats with backrests influence vibration discomfort“, [26], se zabývá měřením kvality polstrování určením kvalitativní hodnoty SEAT. Měření autoři provedli použitím MOCK-UPu sedačky, viz Obrázek 109.

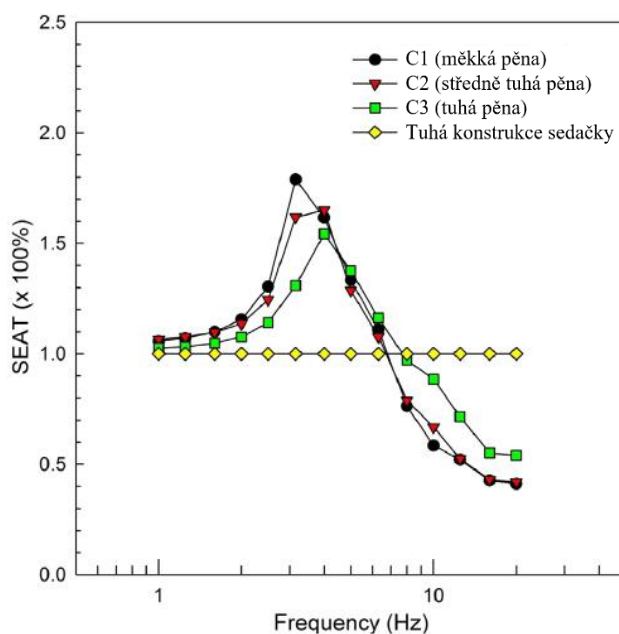


Obrázek 109 – Schema modelu pro predikci dikkomfortu vibrací: koncepce SEAT (Seat Effective Amplitude Transmissibility), obrázek převzat z [26], obrázek 9.

Byla stanovena hodnota SEAT jako procentuální přenosová hodnota efektivní amplitudy zrychlení na povrchu polstrování. Tato hodnota je vyjádřena jako poměr mezi váženým efektivním zrychlením na tuhé konstrukci sedačky  $a_{w-tuhá\ sedačka}$  a váženým efektivním zrychlením na polstrování  $a_{w-polstrovaná\ sedačka}$ , viz rovnice níže dle [26], část čtvrtá, vzorec 6.

$$\text{Rovnice 1: } SEAT = \frac{a_{w-polstrovaná\ sedačka}}{a_{w-tuhá\ sedačka}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

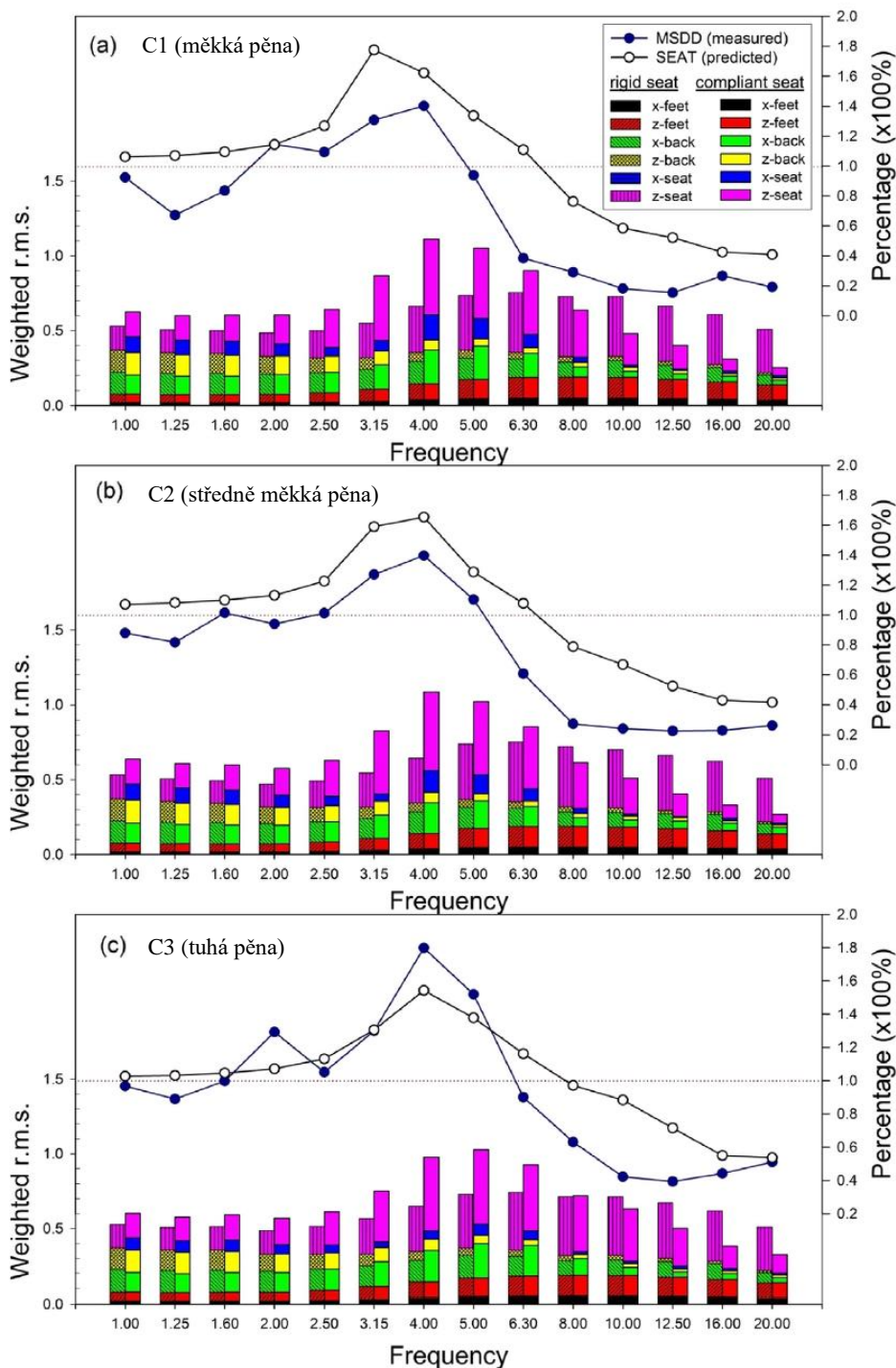
Studie dále vyhodnotila frekvenční závislost polstrovaných sedadel pomocí hodnoty SEAT, jak zobrazuje Obrázek 110.



Obrázek 110 - Střední hodnoty SEAT (%) pro každé sedadlo označující pravděpodobnostní poměr nepohodlí každého sedadla k poměru s tuhým sedadlem pro všechny frekvence (100 % znamená, že pravděpodobné nepohodlí je podobné jako u tuhého sedadla; procenta vyšší nebo nižší než 100 % předpovídá více či méně vibrační nepohodlí než u tuhého sedadla), převzato z [26], str. 1472, obrázek 12.

Z hodnoty SEAT tedy vyplývá, že pro frekvence nižší než 6 Hz pružné prostředí sedáku generuje vážené amplitudy zrychlení vyšší, naopak frekvence vyšší než 6 Hz představují amplitudy zrychlení nižší, než je u pevně tuhého vozidla. Nutno připomenout, že pružné prostředí vzorků polstrování nabývá hodnot:  $d_{C1} = 120 \text{ mm}$ ,  $d_{C2} = 95 \text{ mm}$ ,  $d_{C3} = 105 \text{ mm}$  sedáku a  $d_{BI} = 70 \text{ mm}$  opěrka. Přenosové peaky jsou nejvyšší mezi 3 až 5 Hz, nad 7 Hz dochází k útlumu. Mezi jednotlivými peaky polstrování lze odečíst rozsah 155 % přes 165 % až po 180 %, tedy 10 % až 15 % rozdíl mezi jednotlivými materiály.

Následující obrázek představuje komplexní pohled na výsledky a podíly jednotlivých složek na hodnotu SEAT(%) v porovnání s hodnotami MSDD(%).



Obrázek 111 – Frekvenční závislost střední hodnoty SEAT a rozdělení jejich odpovídajících hodnot jízdních složek (ve váženém zrychlení r.m.s.) s tuhými a polstrovanými sedadly, ve srovnání se středním měřeným dynamickým diskomfortem sedadel MSDD (%), převzato z [26], str. 1472, obrázek 12.

Srovnáním obou metod, predikce SEAT(%) a standardní měřená hodnota MSDD(%), lze vyvodit závěr, že výpočetní model se od měřených hodnot liší až o 50%.

Dalším projevem mechanických zdrojů mohou být volně a pružně uložené komponenty, jako je například víko odpadkového koše, sklopné stolky, zavěšení vnitřních oddílových dveří, apod. U některých starších konstrukcí se lze setkat i s pomocnými pohony integrovanými přímo v interakčním rozhraní s cestujícím nebo obsluhou. Takovým případem jsou například topná tělesa s ventilátory upevněnými pod sedačkami cestujících, za opěrkami apod. Mnohdy jsou tyto komponenty viděny u vozidel starší konstrukce, zejména pak městské hromadné dopravy. V rámci modernizace a retrofitu vozidel se často opakují konstrukční nedostatky s přímým vlivem na lidský faktor.

Pro úplnost je nutné poukázat na realitu, jaké dynamické projevy nastávají například u EMS vozidel, [Z7]. Jak bylo zmíněno v odstavcích výše, pohyb vozidla po trati způsobuje dynamické účinky na lidský faktor v podobě přenosu vibrací konstrukcí vozidla.

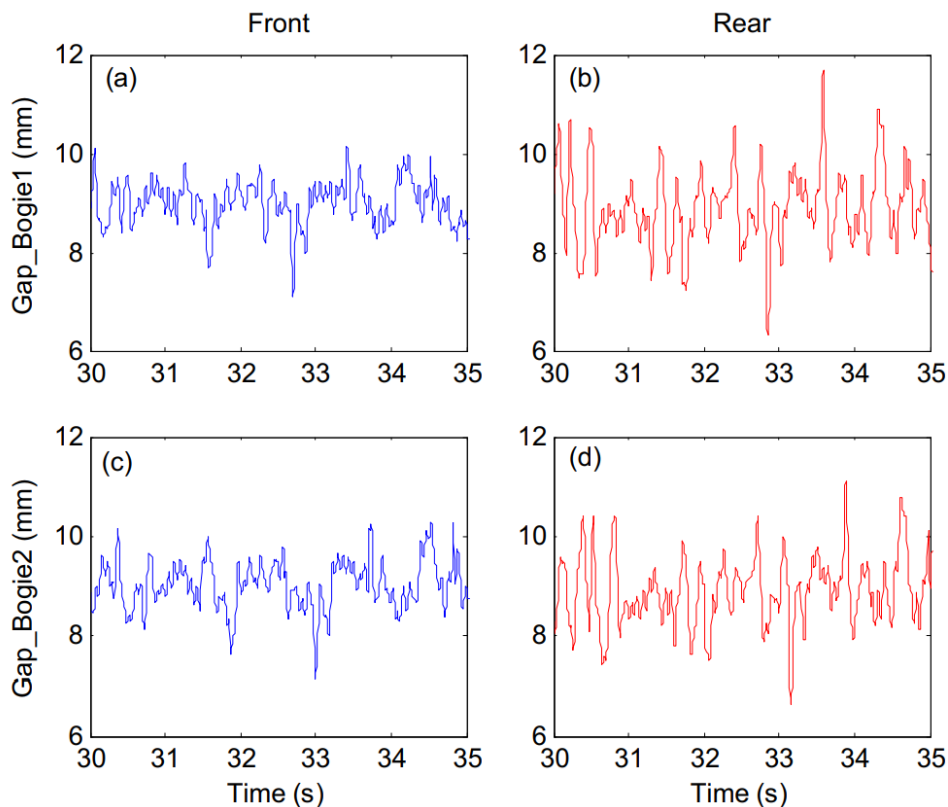


Obrázek 112 - Prototyp čínského MAGLEVu schopný jezdit rychlostí 600km/h, obrázek převzat z webové stránky [176].

Ačkoliv se na první pohled může jevit, že vibrace u levitujících vozidel jsou odbouráním styku kolo-kolejnice odstraněny, realita je jiná. Měření výzkumníků z Národní Univerzity

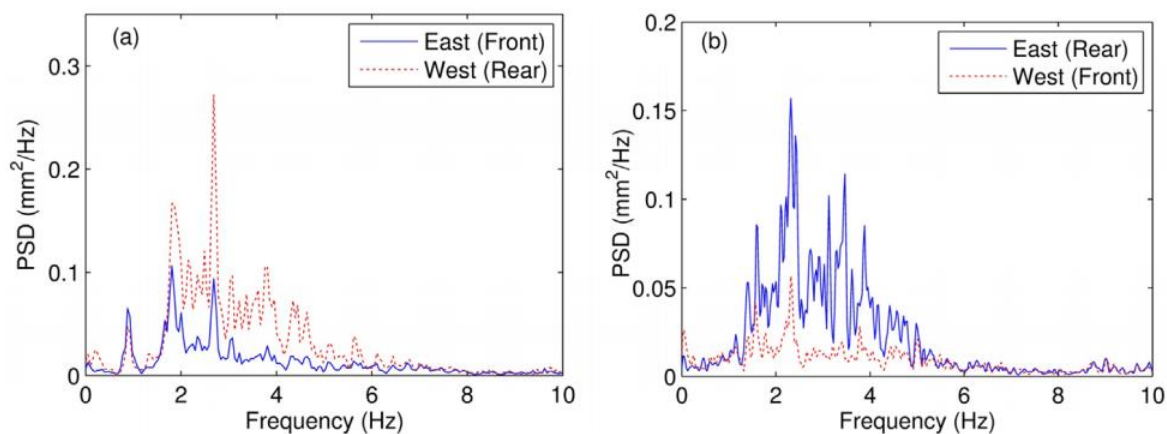


Obranných Technologií v Číně, [21], vykazují časový průběh výchylek levitační mezery mezi vozidlem a tratě, viz Obrázek 113.



Obrázek 113 - Záznam levitačních mezer nad prvním a druhým podvozkem, [21], obr. 2.

Další Obrázek 114 zobrazuje výkonově spektrální hustoty nad podvozky, kdy vozidlo se nejprve pohybuje 70km/h východním směrem a poté 60km/h západním směrem.

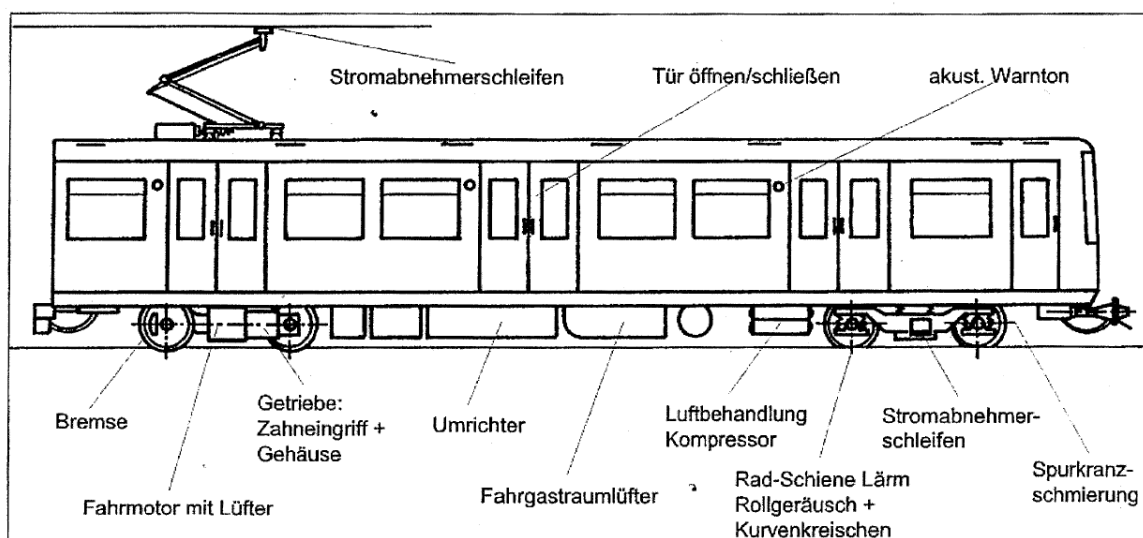


Obrázek 114 - Výkonově spektrální hustoty výchylek na prvním a druhém podvozkem v západní a východním směru jízdy, [21], obr. 6.

Obrázek 114 jasně vykresluje, že maximum výchylek se projevuje s frekvencí od 2 do 4 Hz v závislosti na provozní rychlosti vozidla a na směru jízdy. Je třeba zdůraznit, že diagram uvedený výše vykresluje situaci pro hodnoty výchylek ve druhé mocnině milimetru po dobu expozice 5 sekund.

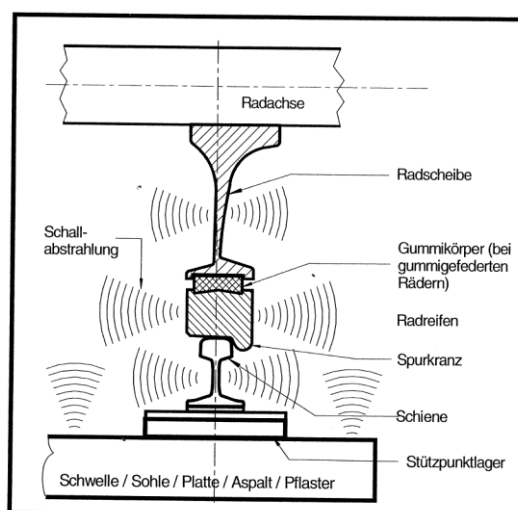
### 5.7.2. AKUSTICKÉ ZDROJE KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Vozidlo je vedle mechanických zdrojů paralelně vystaveno taky zvukovým projevům. Následující obrázek uvádí příklady systémových zdrojů hluku pro vozidlo městské elektrické jednotky, jako je například vozidlo metra, nebo tramvaj.



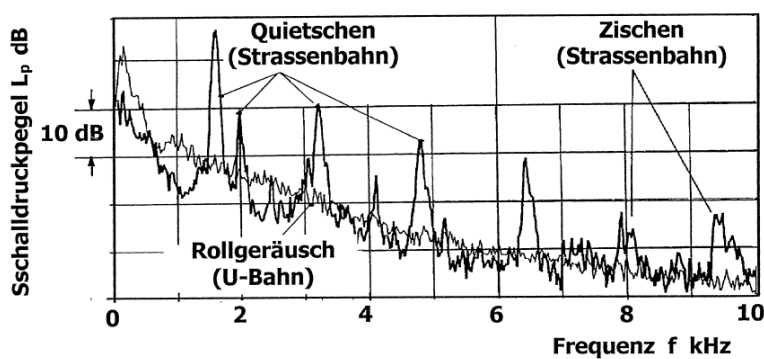
Obrázek 115 - Potencionální zdroje městského vozidla, zhora zleva: sběrač pantografu, otevírání a zavírání dveří, akustické bzučáky, brzdy, motor s chladičem, převodovka, transformátor, ventilátor, kompresor, styk kolo-kolejnice, kolejnicový sběrač, maznice okolků, [24].

Jako hlavní provozní hluk vozidla se považuje hluk valení, který vzniká vyzářováním od disku kola, obruče (v případě kol s lisovanou obručí), kolejnice a pražce. Hlavními příčinami hluku valení je kvalita drsnosti kola, kolejnice a tuhosti kolejového lože.



Obrázek 116 - Vyzářování hluku na styku kolo-kolejnice, [24]

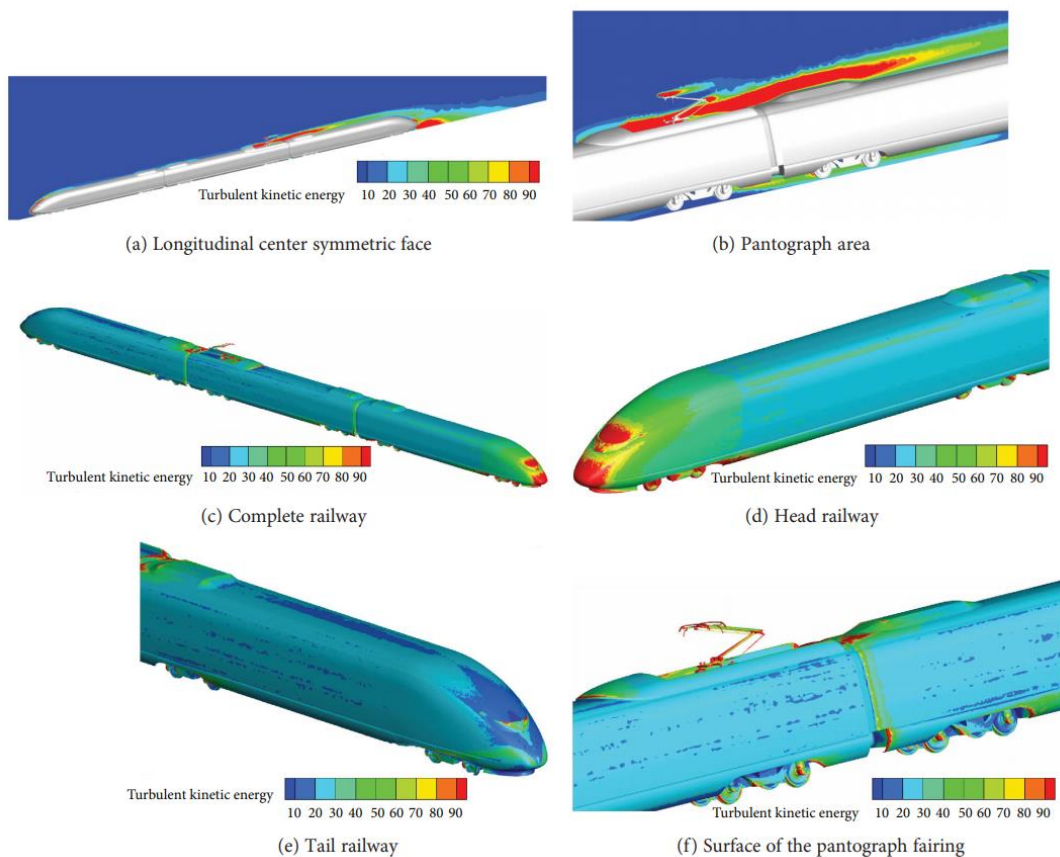
Při průjezdu vozidla obloukem navíc vzniká hluk, kdy vzniká specifický zvuk, tzv. skřípění, kde příčinou jsou příčné skluzy, a potom tzv. „syčení“, které je způsobeno nabíháním okolku na koleji v oblouku. Viz následující Obrázek 117.



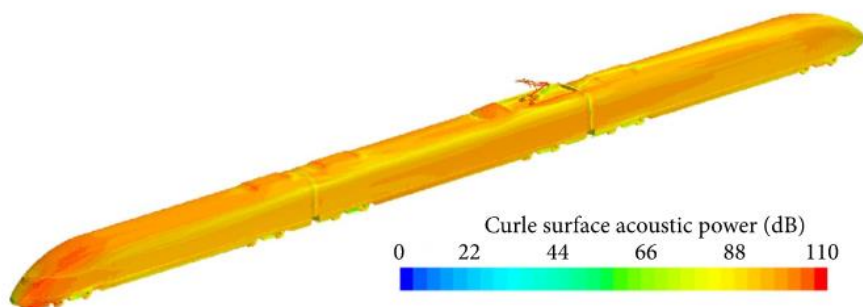
Obrázek 117 – Záznam a porovnání skřípění a syčení pojezdu tramvaje a metra při průjezdu obloukem, [24].

V kapitole 5.3 byla zmíněna problematika aerodynamického hluku vozidla během provozu při určitých rychlostech. Následující studie „Complexity Study on the Unsteady Flow Field and Aerodynamic Noise of High-Speed Railways on Bridges“, viz [23], modeluje a simuluje situaci průjezdu vysokorychlostního vozidla po mostě.

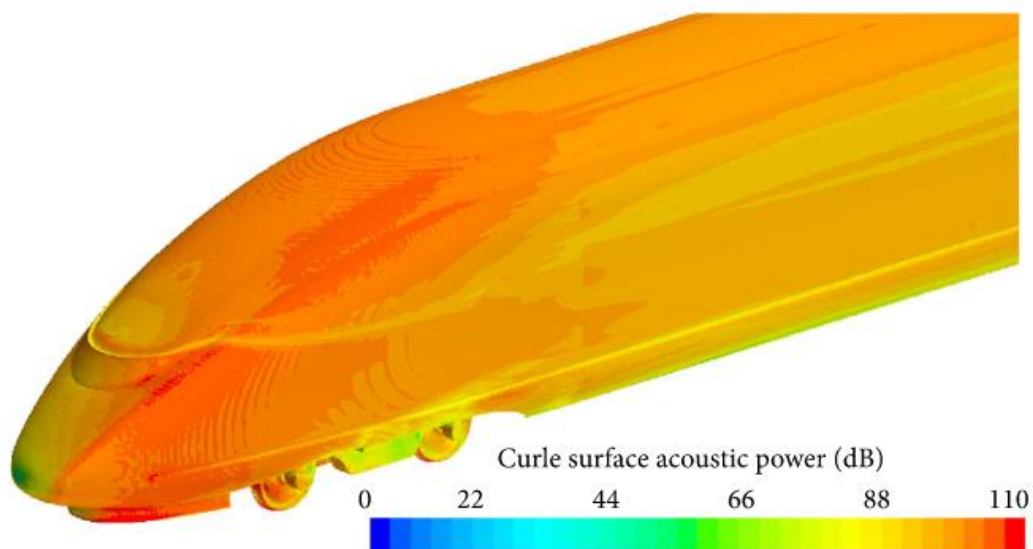
Pomocí metody konečných prvků jsou vyhodnoceny hodnoty kinetické turbulentní energie a akustické energie na povrchu 3D modelu vozidla. Tyto výsledky jsou reprezentovány, viz následující Obrázek 118, Obrázek 119, Obrázek 120, Obrázek 121, Obrázek 122 a Obrázek 123.



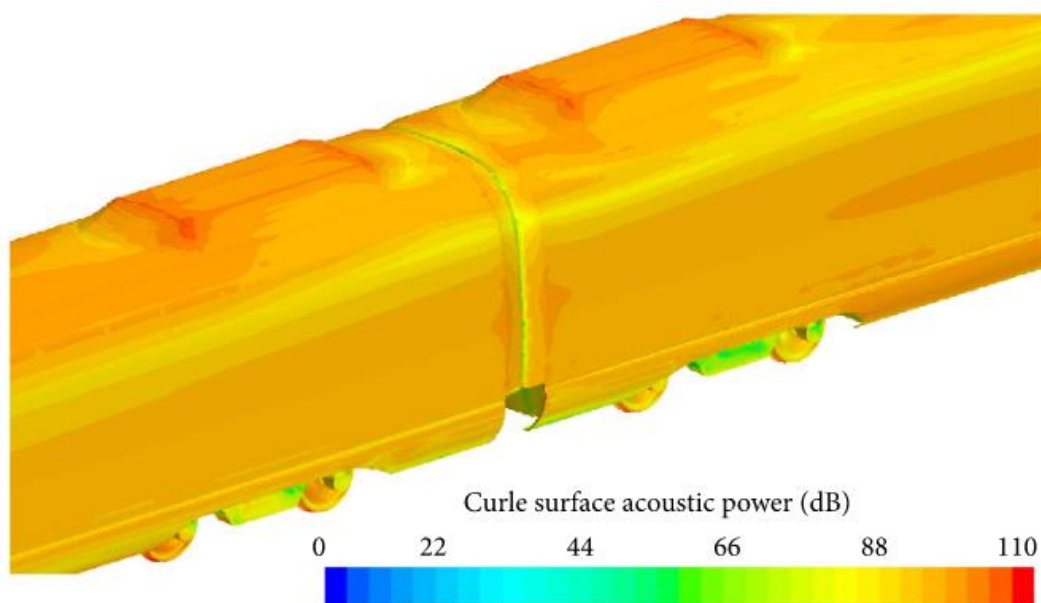
Obrázek 118 - Topografické rozložení účinků turbulentní kinetické energie, [23], obr. 8.



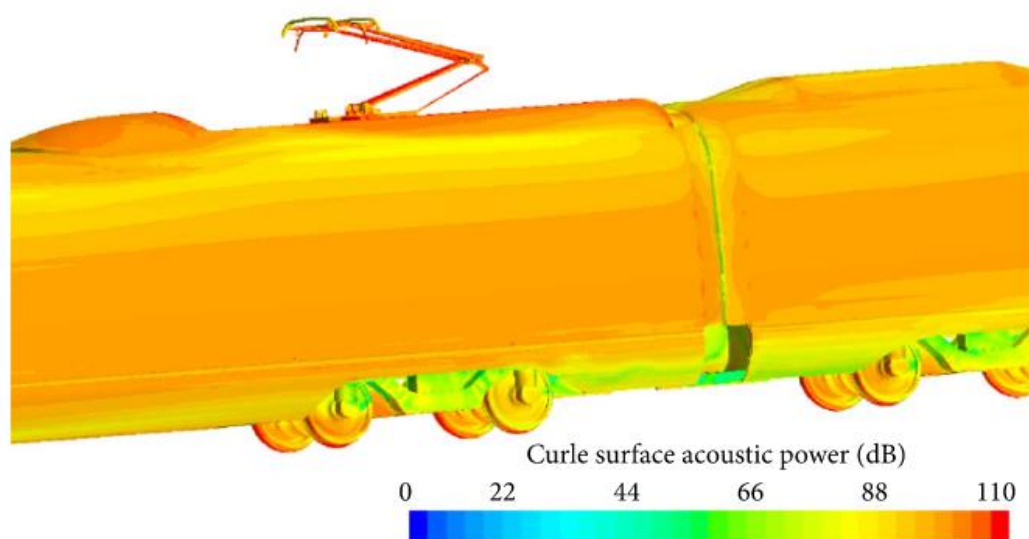
Obrázek 119 - Dipólové hlukové plochy akustické energie u vysokorychlostního vozidla jedoucího po mostě - celkový pohled, [23], obr. 10.



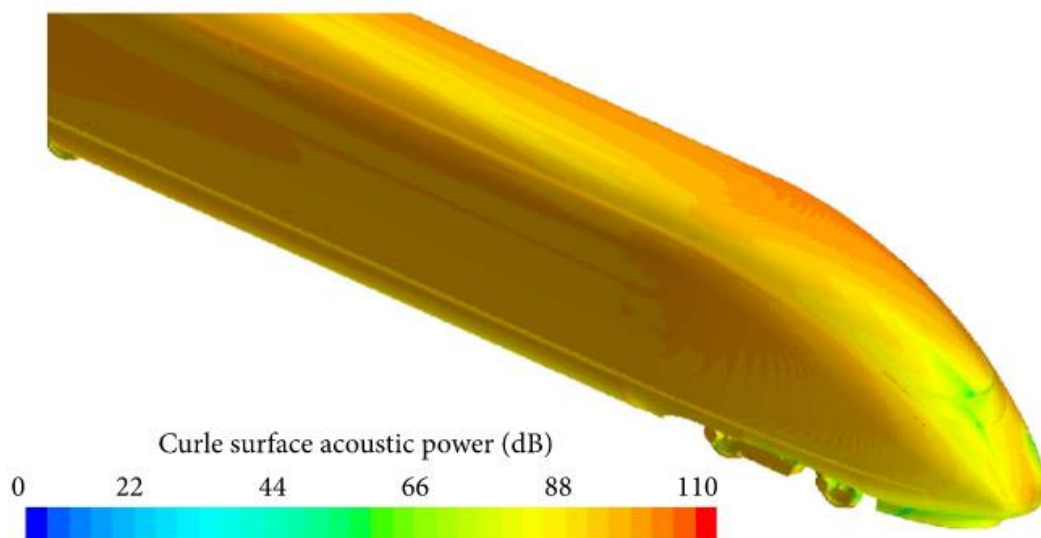
Obrázek 120 - Dipólové hlukové plochy akustické energie u vysokorychlostního vozidla jedoucího po mostě (čelo vozidla), [23], obr. 10.



Obrázek 121 - Dipólové hlukové plochy akustické energie u vysokorychlostního vozidla jedoucího po mostě - oblast mezivozového přechodu, [23], obr. 10.



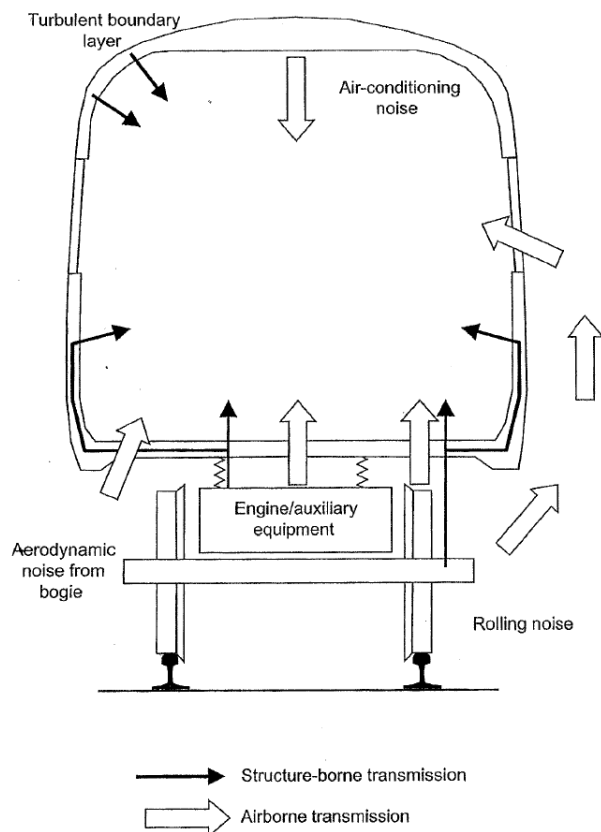
Obrázek 122 - Dipólové hlukové plochy akustické energie u vysokorychlostního vozidla jedoucího po mostě - pantograf, [23], obr. 10.



Obrázek 123 - Dipólové hlukové plochy akustické energie u vysokorychlostního vozidla jedoucího po mostě - zadní čelo vozidla, [23], obr. 10.

Z přehledu obrázků výše lze vyvodit, že v místech, kde jsou účinky turbuletní kinetické energie největší, dosahují hodnoty akustické energie až 110 dB, a to zejména v oblasti čela vozidla a pantografu.

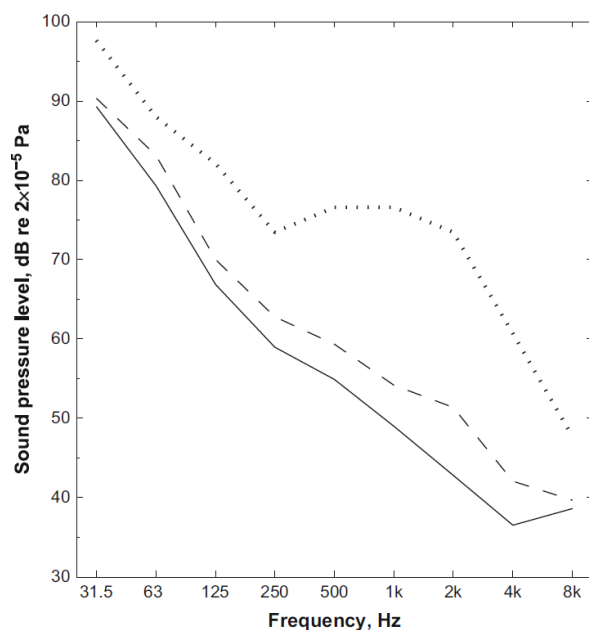
Z pohledu cestujících a obsluhy vlaku jsou nejdůležitější zvuky, které se exponují ve vnitřním prostoru vozidla. Tyto vlivy popisuje ve své knize Thompson, Jones a Guartier, *Railway Noise and Vibrations*, viz obrázek níže.



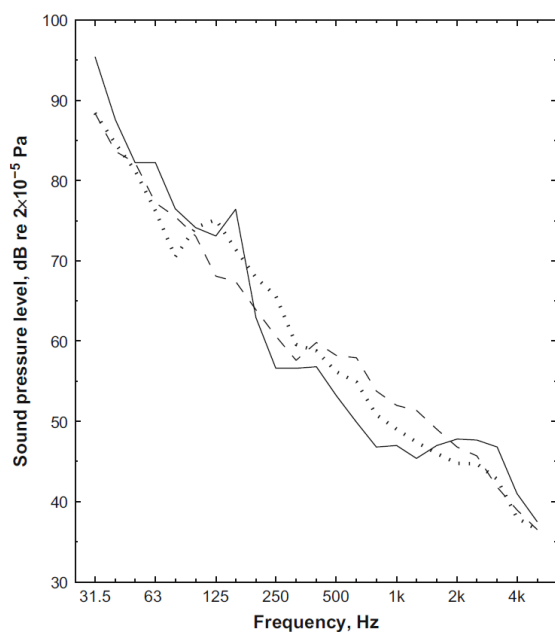
**Obrázek 124 - Zdroje hluku vozidla mající vliv na vnitřní prostředí vozidla, obrázek převzat z [54], kapitola 14, str. 466, obr. 14-2.**

Autoři dále představují evoluční srovnání typických charakteristik hluku u britských vozidel od roku 1960, viz Obrázek 125. Na obrázku je vidět, že se hluk uvnitř vozidel snížil téměř v celém frekvenčním spektru slyšitelnosti díky moderním tlakotěsným konstrukcím s klimatizací a díky přechodu ze špalíkových brzd na brzdy kotoučové.

Obrázek 126 vykresluje srovnání spektrální intenzity hluku pro jednopodlažní vozidlo TGV Atlantique a dvoupodlažní TGV Duplex. Výška měřeného oddílu vnitřního prostředí nad temenem kolejnice je vzestupně seřazena: TGV Duplex – první podlaží, TGV Atlantique, TGV Duplex – horní podlaží.



Obrázek 125 – Typické hladiny hluku ve slyšitelném 3tínooktávovém spektru pro britská vozidla od roku 1960 při rychlosti 145km/h, tečkovaná linie reprezentuje vozidlo nejstarší konstrukce bez klimatizace se špalíkovými brzdami, čárkovaná linie je vozidlo s klimatizací a se špalíkovými brzdami, plná linie je vozidla s klimatizací a s kotoučovými brzdami, obrázek převzat z [54], kapitola 14, str. 466, obr. 14-3.



Obrázek 126 - Typické hladiny hluku ve slyšitelném 3tínooktávovém spektru měřených ve vozidlech TGV při rychlosti 300km/h, tečkovaná linie je TGV Atlantique (66,5 dB(A)), čárkovaná linie je TGV Duplex, horní podlaží (65,5 dB(A)), plná linie je TGV Duplex, dolní podlaží (67,2 dB(A)), obrázek převzat z [54], kapitola 14, str. 470, obr. 14-4.



Zatímco hluk valení, aerodynamický hluk a částečně i hluk přenášený konstrukcí (akustické můstky) jsou závislé na provozní rychlosti vozidla, zdroje jako pomocné pohony klimatizace nebo ventilace může působit i v době stání.

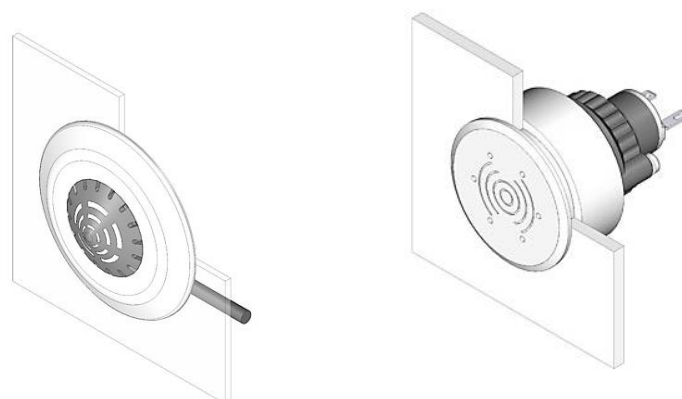
Aby mohla klimatizační jednotka správně fungovat, je nutné aby se vzduch, který je potřeba upravit, dopravil ve správný čas na správné místo. Tím je myšlena systémová architektura klimatizační jednotky, kterou pohání několik ventilátorů a kompresorů. Jak popisuje technická publikace Hluk a chvění, [44], str. 262, hluk roste s 5. mocninou změny otáček.

Dalším zdrojem zvuku ve vozidle jsou informační a komunikační systémy, jako třeba výstražná zvuková zařízení dveří, integrované hlášení stanic a mediální infoteinment.



**Obrázek 127 – Osobní mediální infoteinment v cestovních vozech společnosti Regiojet a.s., oddíl Relax, obrázek převzat z webu dopravní společnosti [148].**

Mezi komunikační komponenty patří například zvukové hlásiče a výstražná osvětlení, velmi hojně aplikované v nástupních prostorech. Velkým pokrokem těchto komponent se stala akustická adaptabilita okolnímu prostředí. Akustické sdělovače tohoto typu nastaví hodnotu intenzity akustického výkonu o 5 dB více podle hodnot hladin akustického tlaku ambientního okolí. Je ovšem důležité využívat tyto adaptabilní funkce opodstatněně, například pro hlášení nebezpečí se může tato funkce jevit jako nedostatečná.



Obrázek 128 - Adaptivní akustické hlasíče a výstražné/kontrolní světlo firmy EAO, [www.eao.com](http://www.eao.com).

Podle TSI PRM, [Z1] dodatek G, Zvukové výstražy u vnějších dveří pro cestující, uvádí následující hodnoty, začátek citace:

**„Otevírání dveří – vlastnosti:**

- Pomalu pulzující vícetónový signál (nejvýše 2 pulsy za sekundu) tvořený 2 kombinovanými tóny
- Kmitočty: **2 200Hz +/- 100 Hz a 1 760 Hz +/- 100 Hz**
- Hladina akustického tlaku zajištěná buď:
  - adaptivním zvukovým výstražným zařízením s nastavenou hladinou akustického tlaku minimálně **5 dB LAeq** nad úrovní pozadí a maximálně **70dB LAeq,T (+ 6/- 0)**,
  - nebo neadaptivním zařízením s nastavenou úrovní akustického tlaku **70dB LAeq,T (+ 6/- 0)**,
- Měření uvnitř se provádí ve středu představku ve výšce 1,5 m nad úrovní podlahy. (T = celková doba trvání zvuku) za použití měřicího pole (vodorovného a pak svislého) a průměru zjištěných hodnot,
- Měření venku se provádí v ose dveří 1,5 m od boku skříně ve výšce 1,5 m nad úrovní nástupiště. (T = celková doba trvání zvuku) za použití měřicího pole (vodorovného a pak svislého) a průměru zjištěných hodnot,

*Zavírání dveří – vlastnosti:*

- Rychle pulsující tón (6–10 pulsů za sekundu)
- Kmitočet **1 900 Hz +/- 100 Hz**
- Hladina akustického tlaku zajištěná buď:
  - adaptivním zvukovým výstražným zařízením s nastavenou hladinou akustického tlaku minimálně **5 dB LAeq** nad úrovní pozadí a maximálně **70dB LAeq,T (+ 6/- 0)**,
  - nebo neadaptivním zařízením s nastavenou úrovní akustického tlaku **70dB LAeq,T (+ 6/- 0)**,
- Měření uvnitř se provádí ve středu představku ve výšce 1,5 m nad úrovní podlahy. (T = celková doba trvání zvuku) za použití měření akustického halo (vodorovného a pak svislého) a průměru zjištěných hodnot.
- Měření venku se provádí v ose dveří 1,5 m od boku skříně ve výšce 1,5 m nad úrovní nástupiště. (T = celková doba trvání zvuku) za použití měření akustického halo (vodorovného a pak svislého) a průměru zjištěných hodnot,“

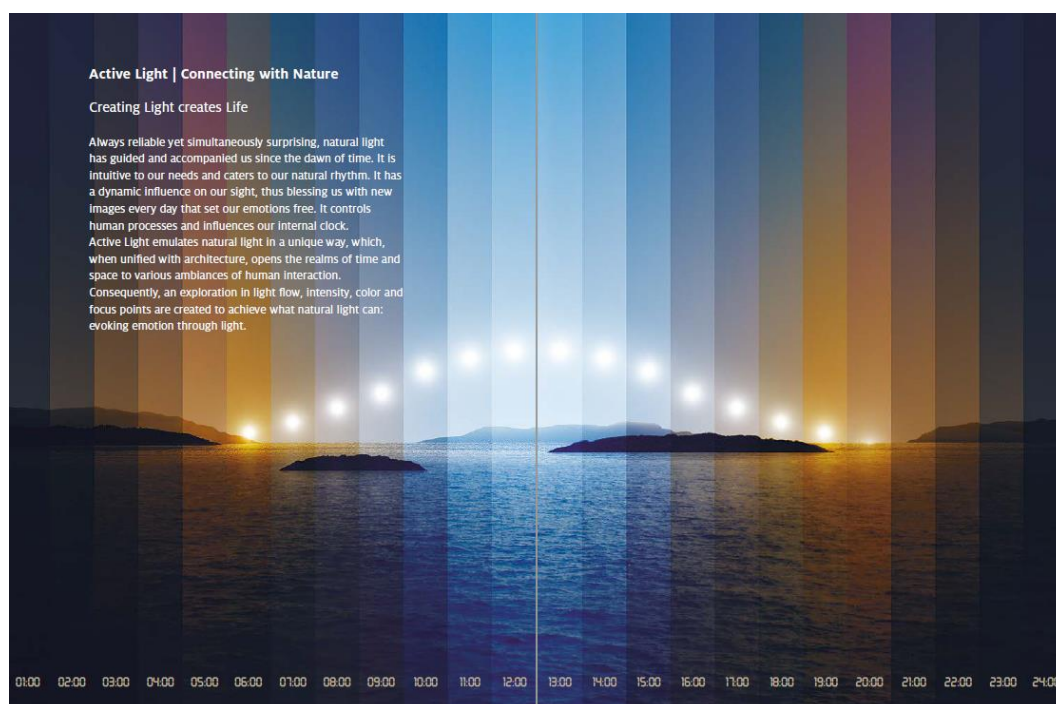
konec citace, [137], dodatek G.

### 5.7.3. SVĚTELNÉ ZDROJE KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Technologie osvětlení v konstrukci kolejových vozidel je významným prvkem návrhu. Kolejová vozidla představují svojí konstrukcí uzavřený prostor, který je nutné osvětlit, jak z hlediska estetického, tak především z hlediska bezpečnosti a hygieny.

Ve vozidle se uplatňuje jak umělé tak denní osvětlení. Dostatečné přirozené osvětlení je omezeno konstrukcí vozidlové skříně, velikostí oken, počtem dveří apod. Slunce je přirozený zdroj tepla a světla se kterým je potřeba počítat. Jde o zdroj, jehož účinky jsou závislé na mnoha faktorech, jako jsou klimatické podmínky prostředí, poloha vozidla vůči slunci, tunely, lesy apod.

Ovšem i slunce má své světelné, potažmo tepelné, režimy. Následující obrázek vyobrazuje Slunce v různých fázích dne, jehož teplota světla se mění. Při rozbřesku a při západu lze pozorovat nízkou teplotu osvětlení (2000 až 3000 K), oranžové až červené barvy, známé jako „zlatá hodina“, nebo „červánky“. Dále teplota osvětlení v průběhu dne stoupá až k 5500 K, v poledne je světlo bílé, viz Obrázek 129.



Obrázek 129 - Rozložení barev denního osvětlení v závislosti na čase, obrázek převzat z *Lighting Handbook*, [57] str. 48.

Všude tam, kam nemůže slunce, musí nastoupit technika, tedy zdroje umělého osvětlení. Následující přehled představuje standardní řešení osvětlení pro železniční průmysl. Systémy osvětlení vnitřních prostorů vozidel lze rozdělit do následujících kategorií:

- Základní hlavní osvětlení
- LED bodové osvětlení
- Osvětlení při čtení
- Kabinová osvětlení
- Vestibulární osvětlení
- Dveřní osvětlení
- Osvětlení toalet
- Bezpečnostní osvětlení
- Ostatní osvětlení



Obrázek 130 - Hlavní osvětlení vnitřních cestovních prostor kolejového vozidla, portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].



Obrázek 131 – LED bodové osvětlení vnitřních cestovních prostor kolejového vozidla, portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].



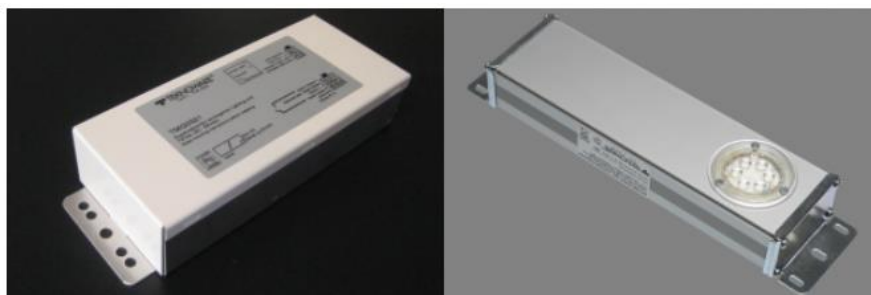
Obrázek 132 - Cestovní osvětlení na čtení , portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].



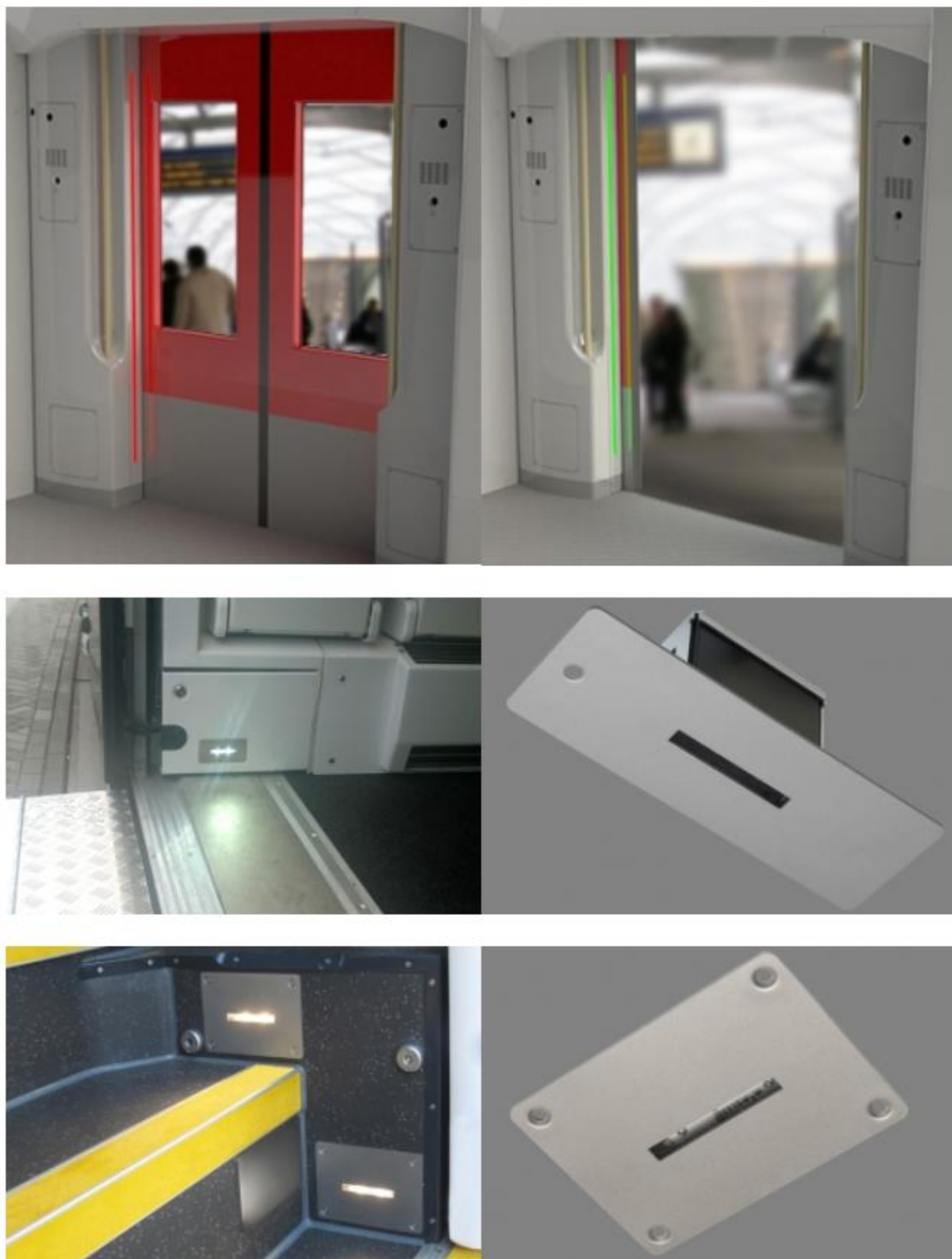
Obrázek 133 – Vestibulární osvětlení , portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].



Obrázek 134 – Osvětlení toalet , portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].



Obrázek 135 – Bezpečnostní osvětlení , portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].



Obrázek 136 – Osvětlení dveří , portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].





Obrázek 137 – Ostatní interiérové osvětlení , portfolio společnosti Teknoware, obrázek převzat z webu společnosti, [150].

Z pohledu normativních doporučení, se pro železniční aplikace využívají:

- ČSN EN 13272-1 Železniční aplikace – Elektrické osvětlení v kolejových vozidlech veřejných dopravních systémů - Část 1: Železnice
- ČSN EN 13272-2 Železniční aplikace – Elektrické osvětlení v kolejových vozidlech veřejných dopravních systémů - Část 1: Městská doprava

Obě tyto normy železniční aplikace elektrického osvětlení jsou strukturálně téměř stejné, liší se pouze v konkrétních hodnotách intenzity osvětlení. Následující tabulka představuje hlavní parametry srovnání obou norem, tedy srovnání dálkové a městské dopravy.

**Tabulka 8 - Srovnání drážních norem pro elektrické osvětlení pro různé typy vozidel a stanovišť, tabulku seřadil autor.**

Parametr	EN 13272-1	EN 13272-2
<b>Obecná kritéria hodnocení</b>	Osvětlenost	Osvětlenost
	Jednotnost	Jednotnost
	Omezení oslnění	Omezení oslnění
	Teplota a vykreslení barev	Teplota a vykreslení barev Fotobiologická bezpečnost
<b>Minimální hodnoty průměrného osvětlení v různých místech vozidla s tolerancí jednotnosti</b>		
<b>Sedačková zóna bez dodatečného čtecího osvětlení</b>	Min. 150 lx ± 30%	Min. 150 lx ± 30%
<b>Sedačková zóna se čtecím osvětlením, které je vypnuté</b>	Min. 100 lx ± 30%	Není definováno
<b>Sedačková zóna, kde čtecí osvětlení je zaplno a hlavní osvětlení je vypnuté</b>	Min. 150 lx ± 30%	Není definováno
<b>Boční koridory a uličky v úrovni podlahy</b>	Min. 50 lx + 150%, - 50%	Není definováno
<b>Boční koridory a uličky v úrovni 0,8m nad podlahou</b>	Min. 75 lx + 150%, - 50%	Min. 150 lx + 150%, - 50%
<b>Vestibuly</b>	Min. 75 lx ± 20%	Min. 150 lx + 150%, - 50%
<b>Nástupní schody</b>	Min. 75 lx	Není definováno
<b>Toaleta, obecně</b>	Min. 100 lx	Není definováno
<b>Toaleta, umyvadlo</b>	Min 150 lx	Není definováno
<b>Schůdky</b>	Min. 75 lx ± 20%	Není definováno
<b>Zóna ke stání</b>	Min. 75 lx + 150%, - 50%	Min. 150 lx + 150%, - 50%

<b>Ověřené průchody</b>	Min. 50 lx	Min. 50 lx + 150%, - 50%
<b>Stolky</b>	Min. 150 lx ± 30%	Není definováno
<b>Omezení oslnění</b>	Max. 22 ISO 8995-1	Jas bezpečnostního osvětlení nesmí překročit 400 cd/m <sup>2</sup>
<b>Teplota osvětlení</b>	2800K až 7000K	2800K až 7000K
<b>Vykreslení barev</b>	Ra = min. 80 Kategorie 1B	Ra = min. 80 Kategorie 1B
<b>Minimální hodnoty průměrného osvětlení s tolerancí jednotnosti pro prostory obsluhy</b>		
<b>Kabina, obecně</b>	Min. 50 lx + 150%, - 50%	Min. 50 lx + 150%, - 50%
<b>Řídicí pult, obecně</b>	Min. 70 lx ± 30%	Min. 70 lx ± 30%
<b>Řídicí pult, čtecí zóna</b>	Min. 150 lx ± 30%	Min. 150 lx ± 30%
<b>Strojní oddíl</b>	Min. 50 lx + 150%, - 50%	Není definováno
<b>Kuchyň, plocha stolů</b>	Min. 300 lx ± 30%	Není definováno
<b>Kuchyň, podlaha</b>	Min. 150 lx + 150%, - 50%	Není definováno
<b>Osobní oddíl</b>	Min. 300 lx ± 30%	Není definováno

Z přehledu výše je patrné, že parametry pohodlí jsou navrženy s ohledem na provozní režimy vozidel, tedy podle využití cestovního času a konstrukce. S hodnotami svítivosti se lze setkat i u světelných zdrojů použitých ve výstražných světlech, tlačítkách a v ovladačích. Základní charakteristické hodnoty svítivosti LED zdrojů uvádí následující Obrázek 138.

## [Specifications

Luminous Intensity Chart	COLOURS						Voltage	Current (mA)
	White	Warm White	Red	Yellow	Green	Blue		
	mcd	mcd	mcd	mcd	mcd	mcd		
DC	1012	884	70	108	235	191	12VDC	8.5
	1792	1502	123	181	340	306	60VDC	17.0
AC	784	67	55	84	178	143	12VAC	8.5
	1652	1365	111	166	313	281	60VAC	17.0

**Obrázek 138 - Hodnoty svítivosti pro různě barevné LED žárovky použité ve výstražných hlásičích a tlačítkách v milikandelách, [www.oxleygroup.com](http://www.oxleygroup.com)**

#### 5.7.4. TEPELNÉ ZDROJE KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Z pohledu dimenzování návrhu kolejového vozidla je důležitá vazba mezi tepelnou izolací vozidlové skříně a tepelnými zařízeními, kde je parametr času – za jak dlouho se dokáže prostor ohřát na požadovanou operativní teplotu, jaký je k tomu potřeba tepelný výkon a jak ho distribuovat s minimálními tepelnými ztrátami.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.4, str. 43, běžná vozidlová skříň je tvořena kovovou konstrukcí, tepelně izolačními prvky a vnitřním obložením interiéru. Izolace svojí podstatou utváří pasivní tepelné prostředí vnitřního prostoru vozidla v závislosti na venkovních podmínkách. Z pohledu konstrukce vozidla lze jednotlivé tepelné zdroje řadit do základních kategorií:

- Přírodní tepelné zdroje – slunce, teplota venkovního vzduchu, člověk...
- Konstrukční tepelné zdroje – výústky klimatizace, teploměty, brzdový odporník...

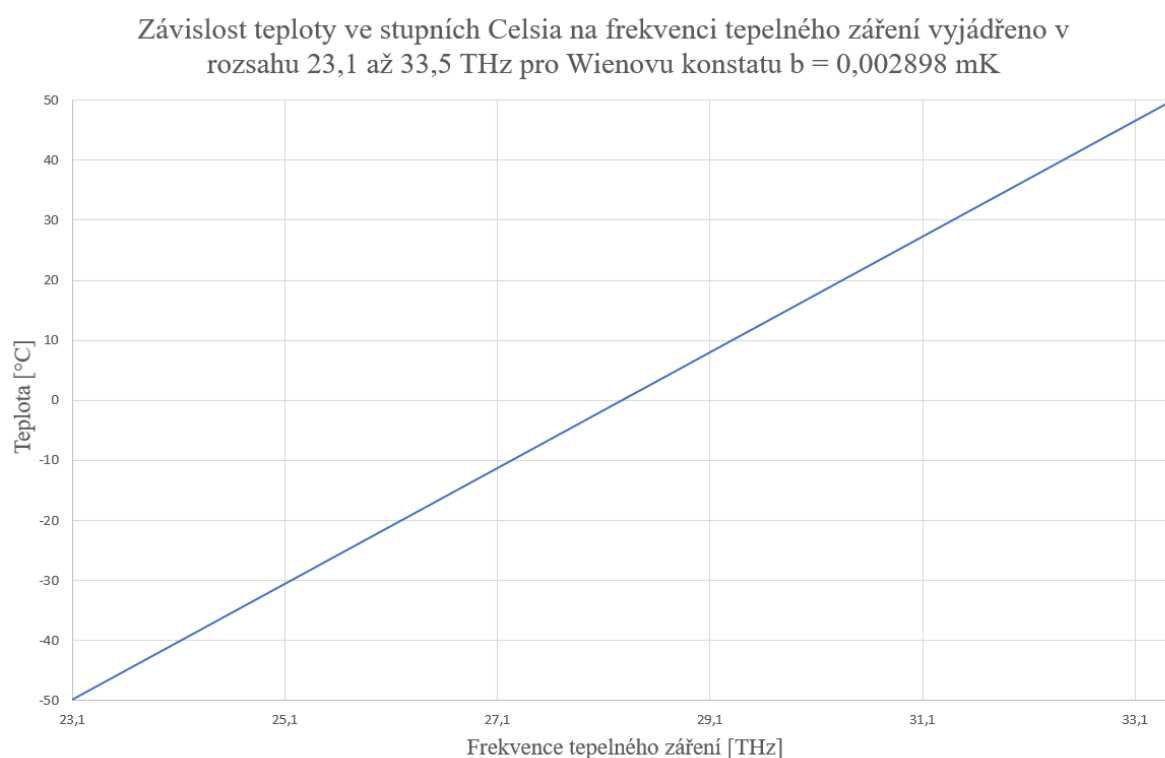
Podle Stefanova-Boltzmannova zákona, který formuloval v roce 1879 Stefan a následně Boltzmann, spektrální hustota vyzařovaného výkonu  $W_\lambda$  tělesa je úměrná 4. mocnině teploty  $T$  v Kelvinech a násobku tzv. Stefan-Boltzmannovy konstanty  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ . Zákon lze zapsat takto:

$$\text{Rovnice 2: } I_\lambda = \sigma \cdot T^4 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2}; \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}^4, \text{K}^4 \right]$$

Tento výkon odpovídá maximu výkonově spektrální hustoty pro elektromagnetické záření o vlnové délce definovanou Wienovou konstantou  $b = 2,898 \text{ mmK}$  odpovídající sálání černého tělesa. Vyjádření frekvence elektromagnetického záření potom odpovídá posunovací rovnici, viz následující rovnice a obrázek níže. Teplota se zvyšuje lineárně podle směrnice Wienovy konstanty s rostoucí frekvencí elektromagnetického záření. Původní vztah je vyjádřen ve vlnových délkách, avšak

Rovnice 3 je vyjádřena frekvencí vlnění v závislosti na poměru rychlosti světla  $c$  a Wienovy konstanty  $b$  v mK. Frekvenční spektrum pro teploty od  $-50^\circ\text{C}$  do  $+50^\circ\text{C}$  odpovídá frekvenčnímu pásmu v rozsahu 23,1 až 33,5 THz.

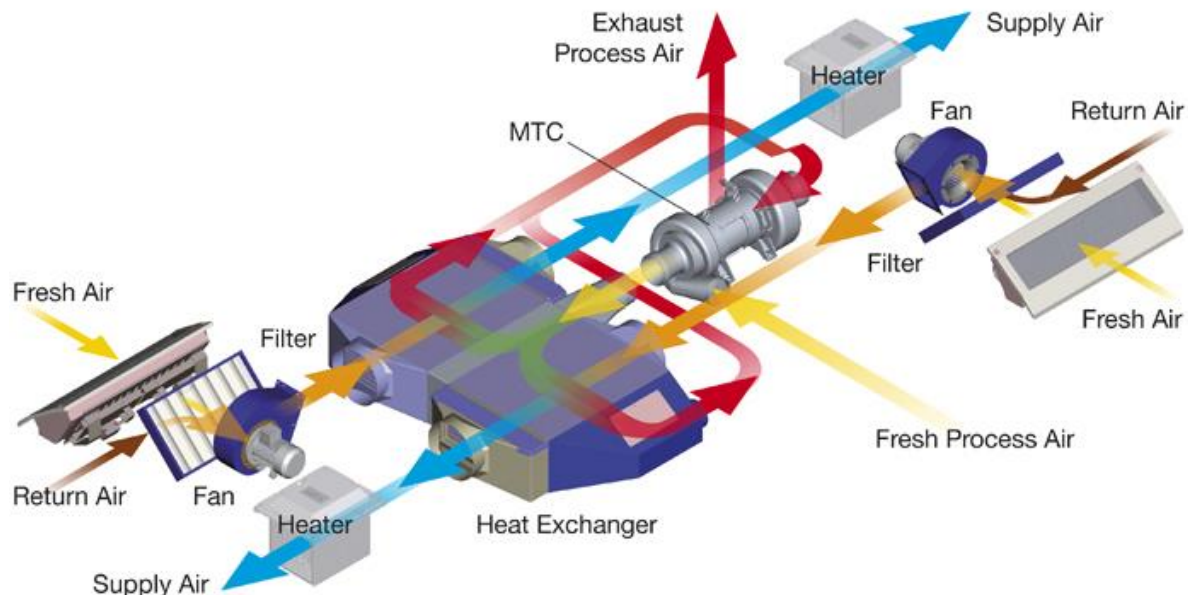
Rovnice 3 
$$f_T = \frac{c_{světla} \cdot T}{b} \left[ \text{Hz}; \frac{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$



Obrázek 139 - Závislost teploty na frekvenci záření podle Weinova posunovacího zákona, graf vypracoval autor.

Význam tohoto zákona se odráží i v technologiích osvětlení, tzv. *teplota osvětlení* určuje barvu osvětlení. Stefan-Boltzmannův zákon a Wienův posunovací zákon odpovídá sálání tzv. *černého tělesa*, to není případ kolejových vozidel. Hovoří-li se o komponentách různých materiálů, povrchových úprav a barev, hovoří se o tzv. *šedých tělesech*. Pouze část tepelné energie se absorbuje a část se vyzáří.

Důležitým parametrem je tepelný výkon od slunce, který se v návrhu vozidla započítává do dimenzování klimatizačních jednotek.



Obrázek 140 - Systémová architektura klimatizační jednotky určená pro vysokorychlostní vozidla ICE4, obrázek převzat z webu společnosti Liebherr Transportations, [149]

Následující tabulka shrnuje praktické a teoretické hodnoty sluneční zátěže.

Tabulka 9 - Tepelné intenzity Slunce použité v praxi při návrhu regionální jednotky pro provoz ve Velké Británii, autor.

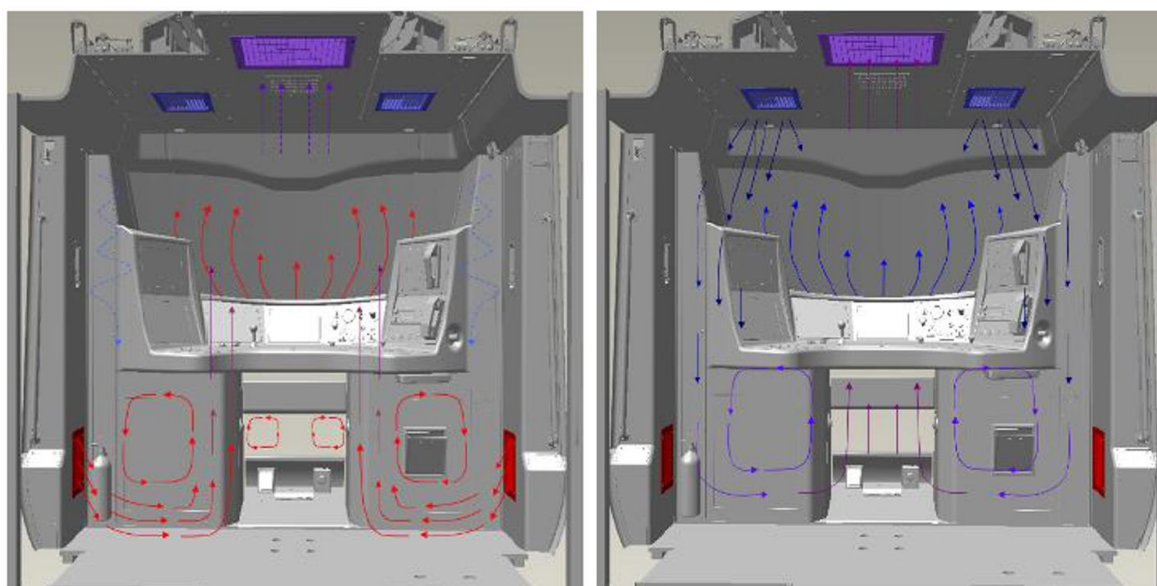
Okrajové podmínky	Tepelná intenzita	Poznámka
<b>Solární zátěž při sluneční inklinaci 30°</b>	600 W/m <sup>2</sup>	Parametry z praxe, letní režim
<b>Přímé slunce</b>	500 W/m <sup>2</sup>	Parametry z praxe, letní režim
<b>Difúzní slunce</b>	100 W/m <sup>2</sup>	Parametry z praxe, letní režim

Sálavé teplo není jediné, které člověk s okolním vozidlem sdílí. Sálavé zdroje a okolní plochy, stejně jako lidská osoba, ohřívají nebo ochlazují i vzduch, který je součástí prostoru. Takový vzduch zaobírá charakteristický objem v němž se molekuly vzduchu pohybují podle teplotního gradientu, a tím tvoří teplotně nehomogenní prostředí. Vlivem rozdílných teplot v různých částech prostoru vznikají vzdušné proudy, které distribuují teplo prostorem dokud se

teplota vzduchu neustálí na tzv. výsledné teplotě, kterou lze měřit kulovým teploměrem, viz skriptum ČVUT, *Technika prostředí* [45], str. 28.

Jak již bylo zmíněno, obvykle je prostředí teplotně nehomogenní, a to vlivem teplotního sálání člověka, slunečním osvětlením prostoru, lokálními zdroji tepla prostoru. Ve vzdušném prostředí tak vznikají konvekční proudy, které jsou buď přirozené, nebo nucené.

Přirozenou konvekci lze uvažovat při rychlostech proudění vzduchu menší nebo rovno  $w \leq 0,1$  m/s. Přirozená konvekce je především způsobena tlakovou změnou mezi teplým a studeným vzduchem, kdy teplý vzduch stoupá přirozeně vzhůru a chladný vzduch klesá k zemi. Tento efekt se využívá především u zimního režimu klimatizace nebo topení, kdy se teplý vzduch vypouští v oblasti podlahy nebo oken a stoupá přirozeně vzhůru. Následně část vzduchu odejde do recyklační jednotky a část se ochladí, přirozeně padá opět k zemi, a tím utváří vzdušné proudy prostředí, viz obrázek níže vlevo.



Obrázek 141 - Proudění vzduchu klimatizace v kabině regionální jednotky Desiro City, vlevo zimní režim, vpravo letní režim, portfolio Siemens, [126].

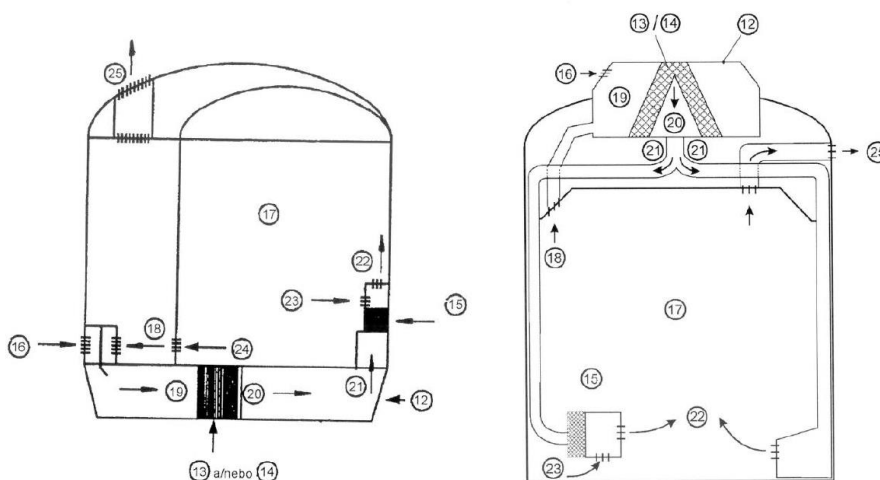
Letní provoz klimatizace by měl také v nejlepším případě využívat přirozených vlastností teplého a studeného vzduchu. Sprcha chladného vzduchu klesá směrem k podlaze, kde se ohřívá a stoupá opět vzhůru, viz obrázek vpravo výše.

Při vyšších rychlostech proudění vzduchu již hovoříme o nucené konvekci, která je součástí systémového vybavení vozidla. Tímto je myšleno zařízení HVAC [Z15], ale i obyčejné otevírací okno, které tvoří systémový celek vozidla. Rozhraní klimatizace pak v návrhu představují vzduchové výústky, kterými proudí do vozidla teplý nebo chladný vzduch, v takovém případě je určující rychlost proudění vzduchu na výústce  $w$  (m/s). Systémovou architekturu klimatizačního zařízení pro železniční vozidla ilustruje obrázek zmíněný již v kapitole akustiky, Obrázek 140, str. 110.

Nutno dodat, že rychlost vzduchu je společným parametrem zvukového a tepelného prostředí, viz odborné publikace *Hluk a chvění* [44] str. 382, *Technika prostředí* [45] str. 19. Zvýší-li se proudění vzduchu vnitřního prostředí, zvyšuje se pravděpodobnost i zvukového projevu, neboť se zvyšují i otáčky ventilátorů a kompresorů nuceného větrání a zvyšuje se rychlost proudění vzduchu na výústkách. Na druhou stranu, vhodné akustické tlumiče klimatizačních kanálů absorbují zvuk a přeměňují jej na teplo. Rychlost šíření zvuku je závislá i na teplotě vzduchu, viz [44] kapitola 2.5.2 a kapitola 8. Rychlost vzduchu je tedy parametrem vzájemné provázanosti tepelného a zvukového prostředí.

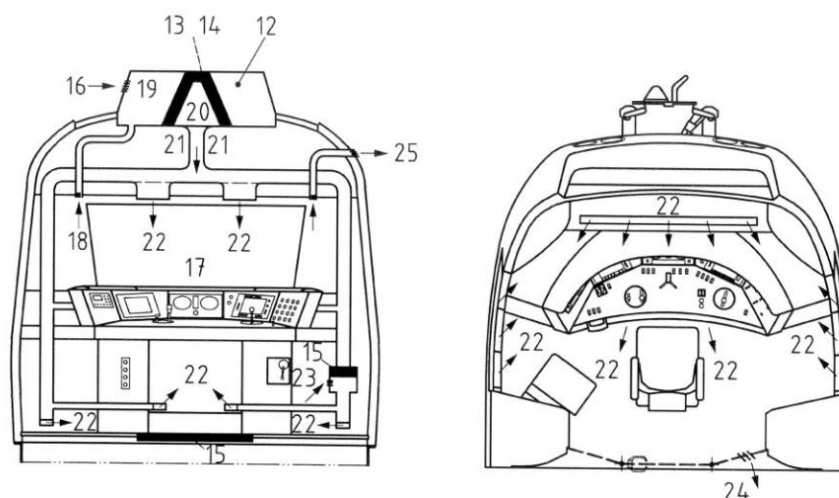
Z pohledu normativních doporučení se pro železniční aplikace využívají:

- ČSN EN 13129-1 Železniční aplikace – Klimatizace pro kolejová vozidla hlavních tratí
- ČSN EN 14750-1 Železniční aplikace – Klimatizace pro městská a příměstská vozidla
- ČSN EN 14813-1 Železniční aplikace – Klimatizace stanoviště strojvedoucího/řidiče



Obrázek 142 - Příklad konstrukčního uspořádání klimatizačních jednotek a distribuce vzduchu, obrázek vlevo převzat z EN 13129-1, obrázek vpravo převzat z EN 14750-1





Obrázek 143 - Příklad konstrukčního uspořádání klimatizačního zařízení kabiny strojvedoucího,  
obrázek převzat z EN 14813-1

Všechny tři normy železniční aplikace klimatizačních zařízení jmenovaných výše jsou strukturálně téměř stejné, liší se pouze v konkrétních hodnotách dovolených teplot v zimním a letním období, v hodnotách součinitelů teplotní prostupnosti a charakteristických kvalitativních křivkách nastavitelnosti tepelného prostředí.

Tabulka 10 - Srovnání drážních norem pro klimatizační zařízení pro různé typy vozidel a stanovišť. Zatímco norma EN 13129 a EN 14750 se vztahují na prostředí pro cestující, norma EN 14183 je zaměřena na stanoviště strojvedoucího nebo řidiče, tabulku seřadil autor.

Parametr	EN 13129-1	EN 14750-1	EN 14183-1
<b>Odchylka vnitřní teploty a teploty nastavené</b>	$\pm 1 \text{ K}$	$\pm 2 \text{ K}$	$\pm 1 \text{ K}, \pm 2 \text{ K}$
<b>Rozdíly vnitřních teplot vzduchu ve svislém průřezu vozidla</b>	$< 3 \text{ K}$	$< 4 \text{ K (A)}$ $< 8 \text{ K (B)}$	$< 3 \text{ K (A)}$ $< 6 \text{ K (B)}$
<b>Odchylky povrchových teplot ploch od průměrné vnitřní teploty vzduchu vozidla</b>	Stěny a stropy: $< 7 \text{ K}$ jednopodlažní $< 10 \text{ K}$ dvoupodlažní Okna: $< 12 \text{ K}$ skla $< 9 \text{ K}$ okenní rámy Podlaha: $< 10 \text{ K}$ Min. $+8 \text{ }^\circ\text{C}$ , max $+27 \text{ }^\circ\text{C}$	Stěny stropy: $< 10 \text{ K (A)}$ $< 13 \text{ K (B)}$ Okna a dveře: $< 15 \text{ K}$ Min. $+3 \text{ }^\circ\text{C}$	Podlaha a stropy: $< 7 \text{ K (A)}$ $< 12 \text{ K (B)}$ Čelní okno, stěny a vnější dveře: $< 12 \text{ K (A)}$ $< 15 \text{ K (B)}$ Kontaktní plochy s velmi nízkou tepelnou vodivostí

<b>Teplota přívodů vzduchu</b>	< +65 °C (kromě předehřívání)	< +65 °C (na vstupech) < +45 °C (u cestujících)	< +35 °C (v přímém kontaktu s řidičem) < +60 °C (bez kontaktu)
<b>Chlazení, minimální teplota chladného vzduchu</b>	Není definováno	Min +12 °C	Není definováno
<b>Odchylka dodávaného vzduchu při ustáleném provozu</b>	± 20 %	± 20 %	± 20 %
<b>Regulační odchylka</b>	±2 K (standardní vozy) +2 K, -4 K (vozy lůžkové a lehátkové)	Není definováno	Nezávislá regulace: Od +18 °C do +26 °C Závislá regulace: +4 K, -2 K
<b>Množství vzduchu</b>	Rovno nebo vyšší než 20 m <sup>3</sup> /h/os.	Rovno nebo vyšší než 15 m <sup>3</sup> /h/os.	Rovno nebo vyšší než 30 m <sup>3</sup> /h/os.
<b>Součinitel plošné vodivosti (prostupnosti) tepla <math>\Lambda</math> vozidla ve stání</b>	1,2 až 2,5 W/m <sup>2</sup> K	2 až 3,5 W/m <sup>2</sup> K	1,6 až 3,5 W/m <sup>2</sup> K
<b>Součinitel plošné vodivosti (prostupnosti) tepla <math>\Lambda</math> v nástupních prostorech</b>	2,2 až 3,5 W/m <sup>2</sup> K	3 až 4,5 W/m <sup>2</sup> K	Není definováno
<b>Součinitel tepelné prostupnosti oken <math>\tau</math></b>	< 60 %	< 70 %	< 70 %
<b>Emise hluku AC jednotky</b>	55 až 60 dBA	63 až 65 dBA	62 až 65 dBA

Pozn.: Symboly (A) a (B) kategorizují vozidlo podle zastávek, viz zmíněné normy. Kategorie A je s nižší frekvencí zastávek, než kategorie B.

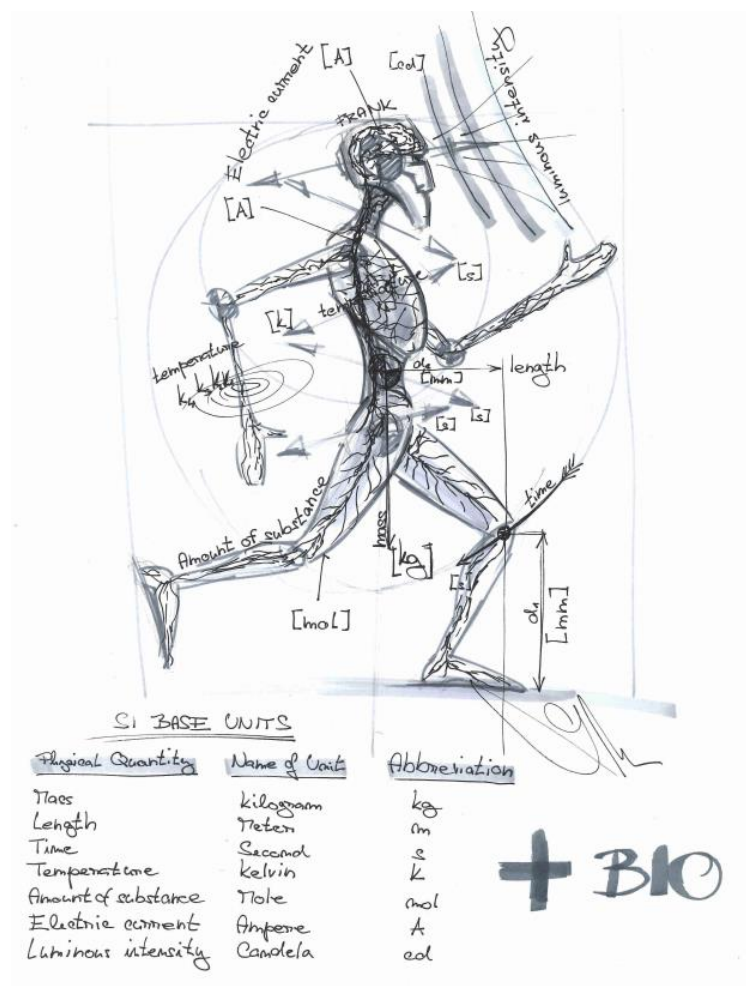
Z přehledu výše je patrné, že parametry pohodlí jsou navrženy s ohledem na provozní režimy vozidel, tedy podle využití cestovního času a podstaty konstrukce.

## 5.8. ÚČINKY PROSTŘEDÍ NA ČLOVĚKA

Sledování různých vlivů prostředí působících na člověka vyžaduje použití různých veličin a jednotek. To by vedlo k vyššímu riziku chybovosti, proto je nutné vyřešit otázku, co mají všechny čtyři fyzikální vlivy společného s lidským faktorem?

Přes studium fyzikálních vlivů v oborech akustiky, techniky prostředí, fotometrie a konstrukce kolejových vozidel je nutné přejít k porozumění fyziologie a psychologie člověka a pochopit interakce s výše jmenovanými vlivy.

Je tedy potřeba přidat ke slovu „FYZIKA“ slovo „BIO“. Tedy vztáhnout fyzikální zákony na lidský faktor, viz Obrázek 144.

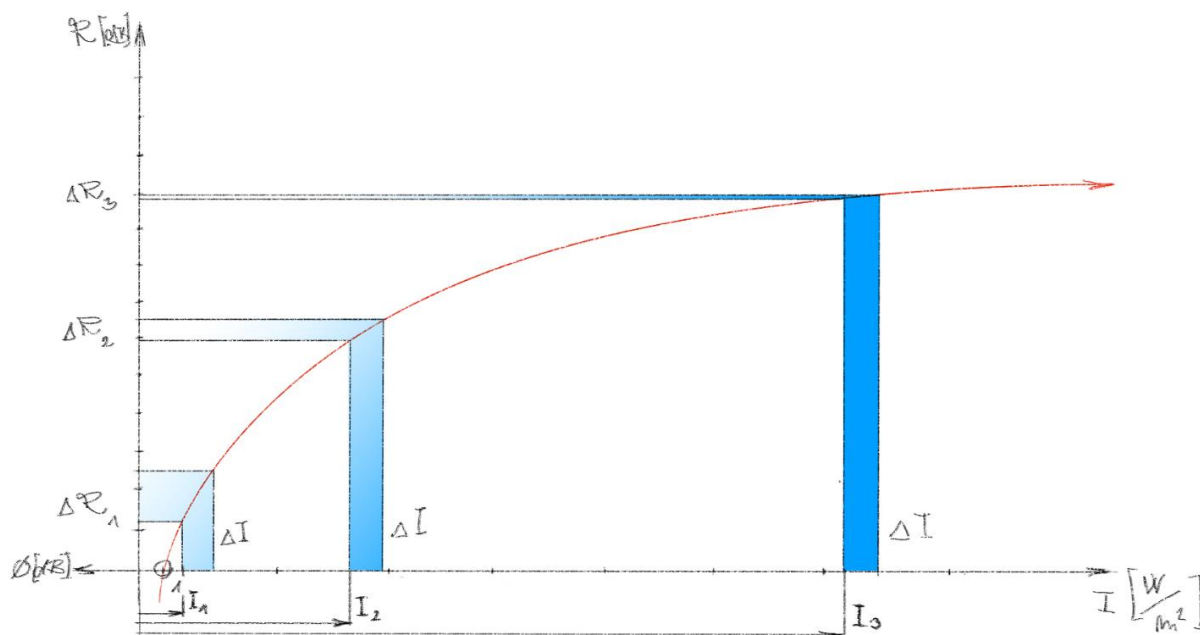


Obrázek 144 - Základní jednotky SI ve vztahu s lidským faktorem, biofyzikálním manekýnem Frankem, obrázek autora.

Aby bylo možné všechny tyto aspekty komplexně řešit, je potřeba najít společnou matematiku, pomocí které lze sestavit matematický model a matematický problém řešit stejnými postupy pro všechny vlivy.

### 5.8.1. VÝZNAM WEBER-FECHNEROVA ZÁKONA

Již v 19. století v rámci vědního oboru akustiky Ernst Heinrich Weber (1795 – 1878) popsal první psychofyzikální zákon [165] vnímání zvuku a uvedl přímo úměrnou závislost vjemu na podnětu. Později Gustav Theodor Fechner (1801 – 1887) Weberův zákon upravil na logaritmickou závislost vnímání podnětu a tímto položili základy dnešní psychofyziky.



**Obrázek 145 - Význam Weber-Fechnerova zákona –logaritmická funkce o základu „10“ procházející hodnotou 0 při hodnotě intenzity rovno jedné vyjadřující závislost velikosti vjemu  $\Delta R$  (reakce) na velikosti intenzity podnětu  $\Delta I$  (akce), obrázek autora.**

Obrázek 145 vysvětluje exponenciální závislost velikosti vjemu na podnětu. Lze uvést přirovnání, dotkne-li se člověk pánve při teplotě 20°C a pak při teplotě na 40°C, pocítí tepelný rozdíl 20°C. Dotkne-li se člověk pánve při teplotě 100°C a pak při teplotě 120°C, tepelný rozdíl 20°C již nepocítí, jednoznačně ucítí bolest.

Při vysokých hodnotách intenzity podnětu se její konstantní změna na přírůstku hodnoty vjemu  $R^6$  neprojeví tolik, jako při nízkých hodnotách intenzit. Opačně konstatní rozdíl mezi zvyšujícími se vjemy  $R$  je vyvolán zvyšujícími se přírůstky intenzit podnětu  $I$ .

To je velmi důležitý poznatek, neboť oprávněně vyjadřuje význam této práce. Se zvyšující se kvalitou dopravních cest, technologickým vývojem pohonů a pojezdů kolejových vozidel, se snižují jízdní vibrace a rázy v interiéru.

Díky tlakotěsným a tlakopevným konstrukcím vozidel se snížil ambientní hluk, který primárně přicházel z vnějšího prostředí vlivem jízdy a netěsnostmi mezivozových a nástupních prostor. Stejně tak uměle udržované tepelné prostředí a systém klimatizace (HVAC<sup>7</sup>) se stali součástí dnešního standardu, jejichž efektivita závisí na udržitelnosti konstantních podmínek vnitřního prostředí, například otevíráním oken a dveří.

Na druhou stranu absolutní závislost na centrálním systému HVAC a jeho distribuci může působit kontraproduktivně v souvislosti s tzv. *syndromem nemocných budov a dopravních prostředků*, [151], případně nedostatečná redundantnost tepelného prostředí (nemožnost větrání, topení v případě výpadku systému HVAC apod.).

A v neposlední řadě to je potom poměr přirozeného a umělého osvětlení, udržitelnosti barev, riziko oslnění, dezinformace a dezorientace, únava.

### 5.8.2. VÝZNAM STEVENSONOVA ZÁKONA VÝKONU

Weber-Fechnerův zákon nezůstal dlouho bez povšimnutí a exponenciální závislosti dalších specifických vjemů publikoval v polovině 20. století Stanley Smith Stevens ve svých studiích „*Psychophysics: introduction to its perceptual, neural, and social prospects.*“, [48], předkládá částečný přehled vnímání jednotlivých typů intenzit.

Rovnice 4:  $R_{(I)} = k \cdot I^a$ ,

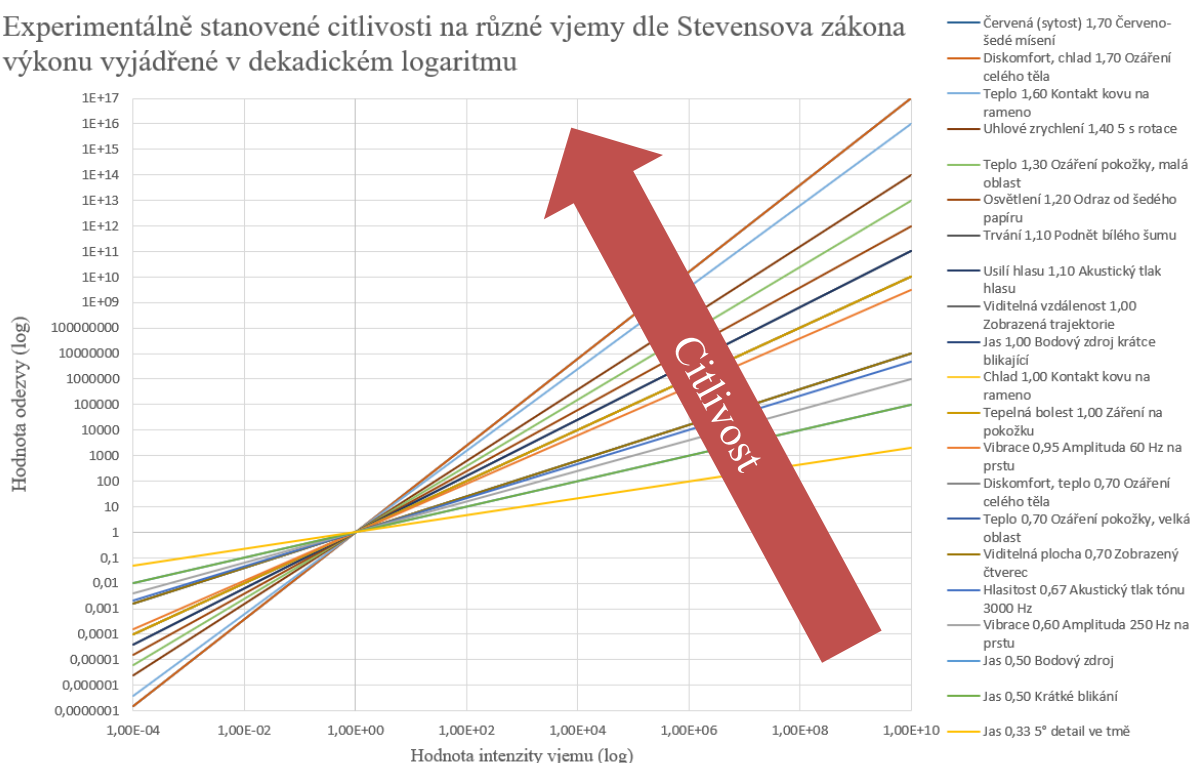
kde  $R$  je reakce organismu,  $k$  je konstanta,  $I$  je intenzita podnětu,  $a$  je exponent citlivosti.

---

<sup>6</sup> Poznámka autora: Označení vjemu  $R$  je převzato z anglického slova RESPONSE, nebo lze použít česky REAKCI  
<sup>7</sup> HVAC – anglická zkratka „HEAT, VENTILATION and AIR CONDITION“

Mnoho dalších studií a publikací kritizuje, nebo naopak dokazuje pravost tohoto zákona. Celkem srozumitelně hodnotí zákon studie „*What are we estimating when we fit Stevens' power law?*“, [28], kde závěrem aplikace je možná, avšak je nutné uvažovat jisté axiomy korektnosti interpretace zákona. Exponenciální závislosti byly stanoveny pouze za určitých podmínek, které je nutné uvážit. Autor též připomíná, že na toto téma proběhla řada dalších výzkumů, které Stevensonův model zpřesňují a uvažují korekce rozsahu.

Experimentálně stanovené citlivosti na různé vjemy dle Stevensova zákona výkonu vyjádřené v dekadickém logaritmu

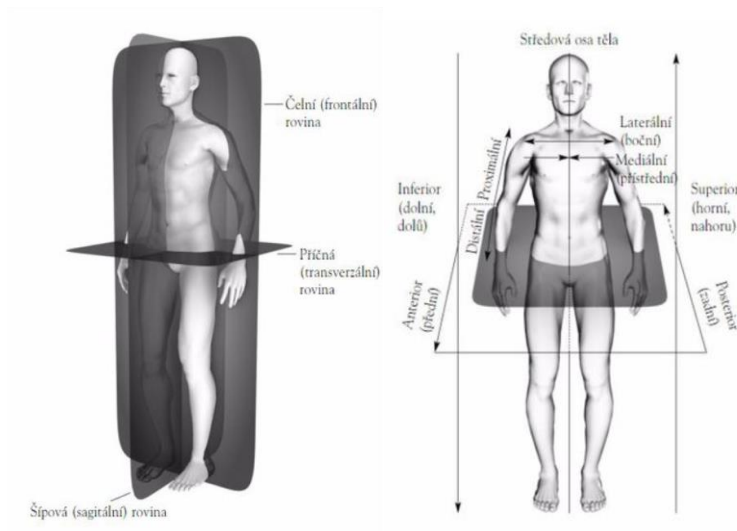


Obrázek 146 – Citlivostní odezvy na hodnoty intenzit, [163].

### 5.8.3. ANTROPOMETRIE ČLOVĚKA

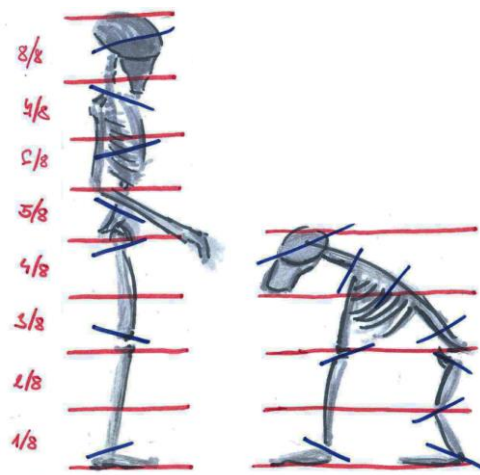
Lidské tělo lze výškově rozdělit do 8 částí, které vyjadřují základní proporcionalitu stojící osoby, viz Obrázek 147 a Obrázek 148. Proporcionalně lidské tělo a poloha končetin více či méně odpovídá poměrům na obrázku. Tento obrázek slouží jako pomůcka k pochopení proporcí prostoru, kterým člověka chceme obklopit.

Lidské tělo se anatomicky popisuje pomocí koordinačních rovin a směrů. Roviny jako je čelní, příčná nebo šípová slouží k popisu základní os. Jak popisuje obrázek níže, tyto osy slouží k definování anatomických směrů, které se využívají jak v oboru medicíny, tak oboru ergonomie.



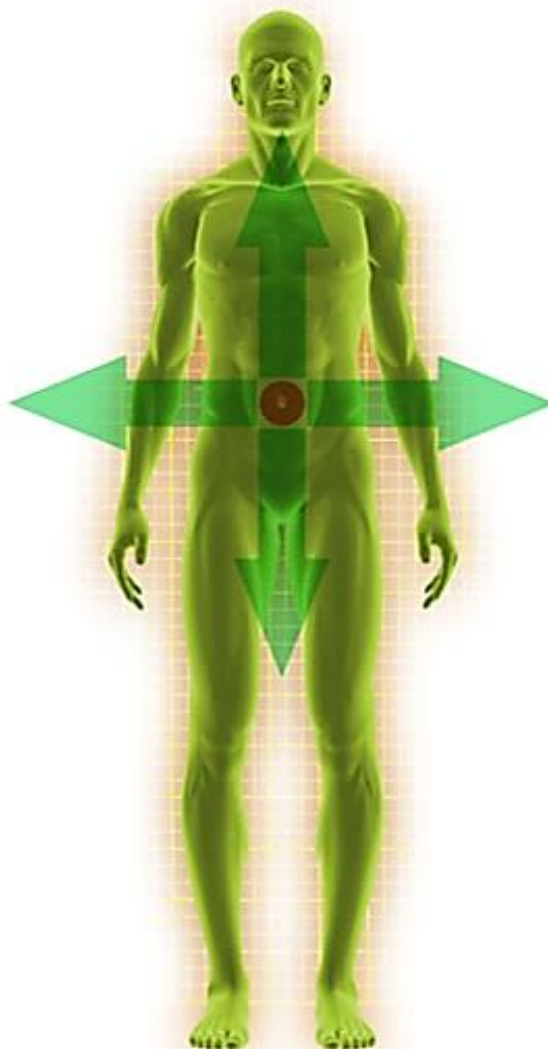
Obrázek 147 – Základní roviny a směry v souvislosti s lidskou anatomií, [59], str. 5.

Protože antropometrický jsou lidé odlišní, někdo má dlouhé ruce a krátké nohy; někdo má krátké ruce a dlouhé nohy, význam těchto odchylek se uplatňuje v ergonomii. V případě působení zvuku, tepla, světla a zrychlení se tento význam projevuje jako konstrukční obálka vozidla, tedy prostor optimalizovaný k rozměrům vyšetřované populace.



Obrázek 148 - Proporcionalita lidského těla a lidoopa, autor.

#### 5.8.4. ÚČINKY ZRYCHLENÍ NA ČLOVĚKA



Obrázek 149 - Mechanický model člověka. Vztažným souřadným systémem je těžiště postoje člověka, [50][13].

Z pohledu návrhu vozidla nás zajímají vibrace a podélné zrychlení ve všech směrech v místech kontaktu vozidla s lidským faktorem.

Na mechniku člověka nahlížet z pohledu biomechaniky, kdy je člověk:

- jako hmotný bod (poloha, rychlost, zrychlení, změna zrychlení - ryv)
- jako soustava hmotných bodu (kinematika pohybu),



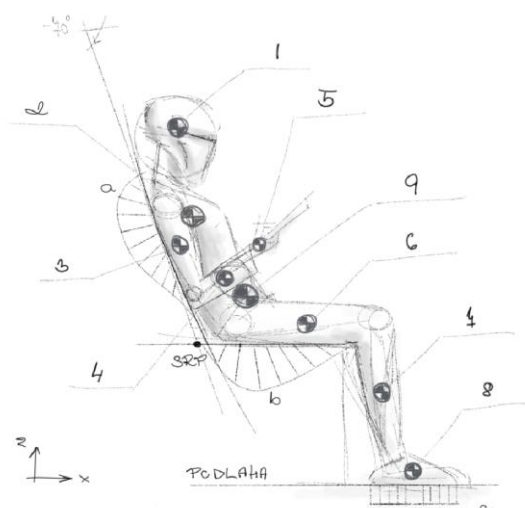
- jako tuhé těleso (crash manekýní, matematické modely),
- jako reologický model (elasticita, plasticita, vizkozita) nebo
- jako model oboru fluidiky (laminární a turbulentní proudění).

Jak uvádí odborná publikace *Human Factors and Ergonomics Design Handbook*, [50] str. 564, tabulka 34.2, v případě člověka lze celkovou hmotnost rozpočítat procentuálně podle anatomické skladby lidského těla, viz Tabulka 11 a Obrázek 150 níže.

Tabulka 11 - Hmotnostní proporce lidského těla pro osoby o hmotnosti 50 a 90 kg, převzato a upraveno z [50].

Pozice	Segment lidského těla		Hmotnost Žena 50 [kg]	Hmotnost Muž 90 [kg]
1	Hlava	6,9 %	3,5	6,2
2	Trup a krk	46,1 %	23	41,5
3	Horní končetiny – paže	6,6 %	3,3	5,9
4	Horní končetiny – předloktí	4,2 %	2,1	3,8
5	Ruce	1,7 %	0,9	1,5
6	Dolní končetiny – stehna	21,5 %	10,8	19,4
7	Dolní končetiny – lýtka	9,6 %	4,8	8,6
8	Chodidla	3,4 %	1,7	3,1
	SUIM	<b>100,0 %</b>	<b>50</b>	<b>90</b>

Takové rozdělení lidského těla na segmenty vnáší detailní pohled na sedícího člověka, kde se těžiště kumulují v odlišných místech a tím vzniká nerovnoměrná zátěž sedacích ploch.



Obrázek 150 - Znázornění rozdělení lidské hmotnosti na segmenty s vyznačeným těžištěm, ilustrační obrázek autora.

#### 5.8.4.1. Pohybová rovnice silové rovnováhy

Následující rovnice vyjadřuje silové účinky zrychlení na člověka o hmotnosti  $m$  v kilogramech ve formě pohybové rovnice, kde platí zákon zachování energie.

$$\text{Rovnice 5: } m \cdot a_z + m \cdot a_\gamma + m \cdot a_c = m \cdot a_{zef} \left[ kg \cdot \frac{m}{s^2} \approx N \right]$$

První člen rovnice představuje kinetickou energii, druhý člen představuje odpor/tlumení pružného prostředí a třetí člen představuje potenciální energii. Levá strana rovnice se rovná silově efektivnímu buzení, tedy zrychlení na pravé straně rovnice, které lze naměřit nebo spočítat pomocí dynamického modelu vozidla. Následující rovnice vyjadřuje obecnou pohybovou rovnici, její předpokládané řešení je  $z = e^{i\omega t}$ , viz Feymannovy přednášky z fyziky [38], kapitola 24. Pohybovou rovnici lze pak zapsat v následujícím tvaru zrychlení.

$$\text{Rovnice 6: } \frac{d^2z}{dt^2} + \gamma \cdot \frac{dz}{dt} + \omega_c^2 \cdot z = \frac{F_{zef}}{m} = a_{zef} \left[ \frac{m}{s^2} + \left( \frac{N \cdot s}{m \cdot kg} \cdot \frac{m}{s} \right) + s^{-2} \cdot m; \frac{N}{kg}; \frac{m}{s^2} \right]$$

Kde  $z$  je efektivní výchylka,  $t$  je čas,  $\gamma$  je impedance tlumení,  $\omega_c$  je vlastní úhlová frekvence závislá na mechanické impedanci a na hmotnosti člověka  $m$  a  $F_{zef}$  je efektivní budící síla v podílu s hmotností člověka, tedy efektivní hodnoty budícího zrychlení  $a_{zef}$ . Hmotnostním podílem všech složek sil pohybové rovnice se získá vyjádření pohybové rovnice nuceného kmitání hmotného bodu s vlastními kmity a tlumením.

Následující rovnice vyjadřuje mechanický výkon práce za jednotku času kmitavého pohybu hmotnosti člověka. Výkon lze podle druhého pohybového zákona rozepsat jako součin hmotnosti, zrychlení a rychlosti hmotného bodu. Z rovnice tedy vyplývá závislost výkonu na zrychlení a na hybnosti hmotného bodu. Celková energie se rovná celkové práci, kterou hmotná soustava vykoná za určitý čas.

$$\text{Rovnice 7: } P = F \cdot \frac{dz}{dt} = m \cdot a \cdot v \left[ W; N \cdot \frac{m}{s}; kg \cdot \frac{m^2}{s^3} \right]$$

Pro pohybovou rovnici pak dostáváme výraz, jak popisuje následující rovnice, viz *Feymannovy přednášky z fyziky*, [38] str. 324, a autor dále vysvětluje, cituji: „Předpokládejme, že chceme znát střední výkon po dobu mnoha cyklů nucených oscilací za dlouhou dobu. Přitom se nahromaděná energie nemění – její derivace dává nulový průměrný efekt. Jinak řečeno, na základě výpočtu dlouhodobého průměru výkonu vyplývá, že celá energie nakonec končí v odporovém členu  $\gamma m (dz/dt)^2$ . Určitá energie se v oscilátoru nahromadí, ale ta se s časem nemění, počítáme-li průměr po dobu mnoho cyklů.“ Konec citace.

$$\text{Rovnice 8: } m \cdot \left[ \left( \frac{dz}{dt} \right) \cdot \left( \frac{d^2z}{dt^2} \right) + \omega_c^2 \cdot z \cdot \left( \frac{dz}{dt} \right) \right]_{\text{nahr.}} + \gamma \cdot m \cdot \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 = F_{zef} \cdot \frac{dz}{dt} = P_z \left[ W; \frac{N \cdot m}{s} \right]$$

Člen v hranaté závorce vyjadřuje nahromaděnou energii, kterou člověk absorbuje po celou dobu expozice. Vzhledem k tomu, že součet kinetické a potenciální energie je vždy konstanta, tedy efektivní hodnota zrychlení se nemění.

Druhý člen hranaté závorky, kde se uvažuje mechanická impedance prostředí představuje potenciální energii a vyjadřuje rezonanční hodnotu zrychlení, tedy i hodnoty hladiny zrychlení vztaženou k vlastní frekvenci. Tyto hodnoty jsou konstanty, které uvažujeme při návrhu vozidla, neboť nám dávají zpětnou vazbu o kvalitě vibračního prostředí zrychlení.

Podle *Feynmanových přednášek z fyziky*, [38] str. 324, cituji: Lze říci, že výraz v závorce je derivací dvou členů, které lze snadno pochopit – jeden představuje kinetickou energii a druhý potenciální energii pružiny. Nazvěme tuto veličinu nahromaděnou energií, tj. energií nahromaděnou v oscilátoru. Předpokládejme, že chceme znát střední výkon po dobu mnoha cyklů nucených oscilací za dlouhou dobu. Přitom se nahromaděná energie nemění – její derivace dává nulový průměrný efekt. Jinak řečeno, na základě výpočtu dlouhodobého průměru výkonu vyplývá, že celá energie nakonec končí v odporovém členu  $\gamma m (dx/dt)^2$ . Určitá energie se v oscilátoru nahromadí, ale ta se časem nemění, počítáme-li průměr po dobu mnoha cyklů.“, konec citace.

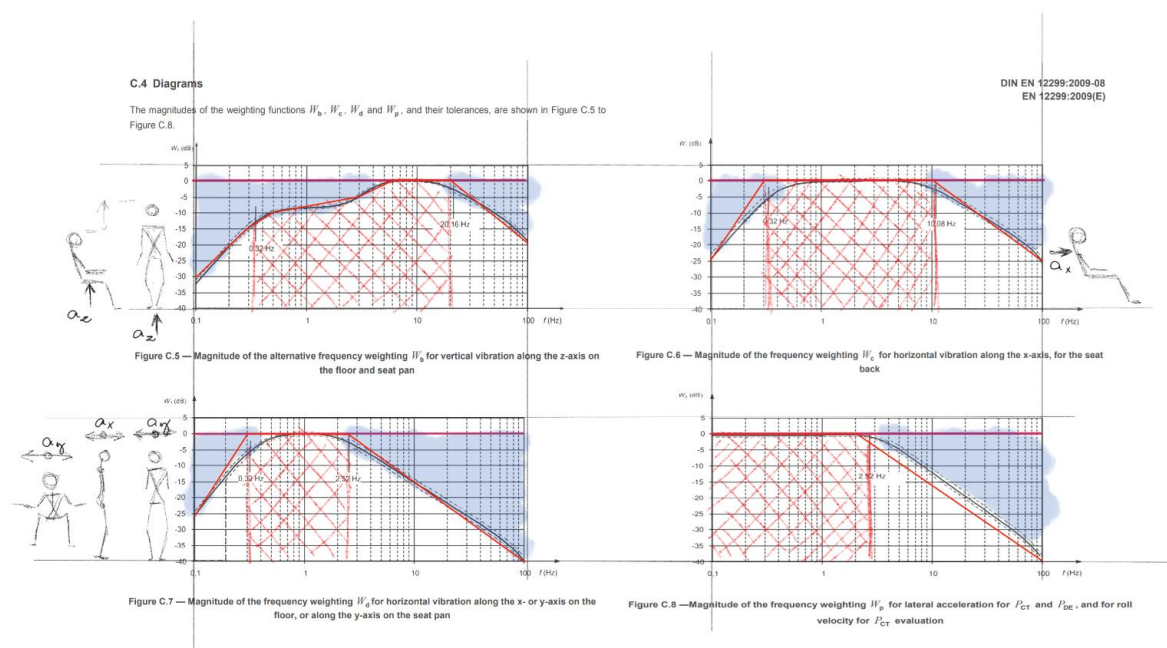
Střední hodnotu výkonu pro mnoho cyklů lze vyjádřit dle [38] str. 324, následovně:

$$\text{Rovnice 9: } P_{stř.} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot m \cdot \omega^2 \cdot z_0^2 \left[ W; \frac{N \cdot s}{kg \cdot m} \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot m^2 \approx \frac{N \cdot m}{s} \right]$$

### 5.8.4.2. Spektrální citlivost

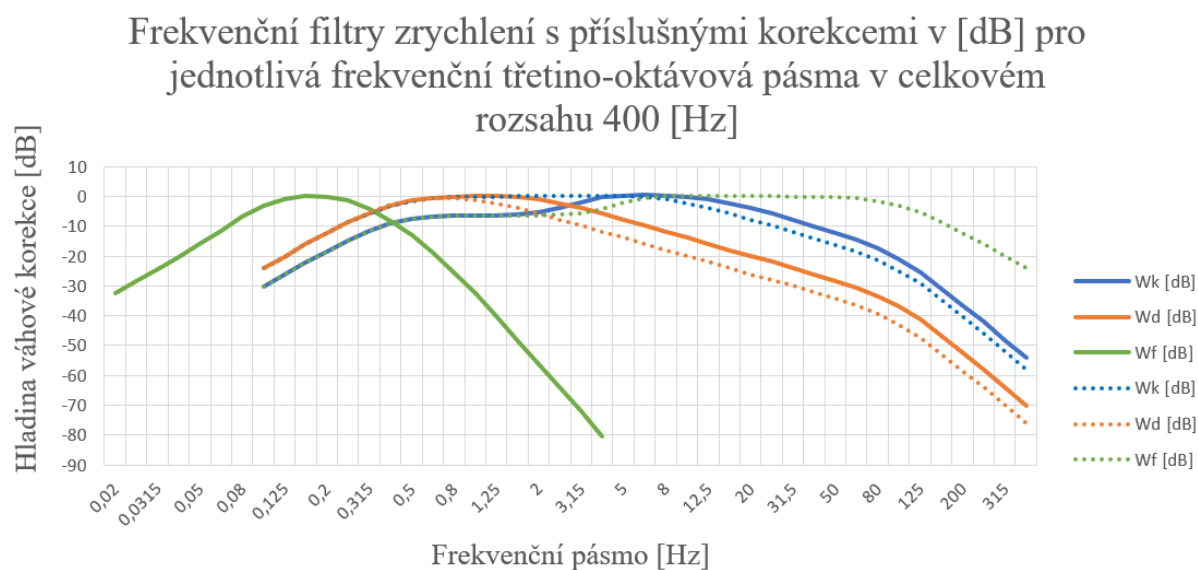
V návrhu vozidla jsou efektivní hodnoty zrychlení v místech, kde dochází ke kontaktu člověka a konstrukce vozidla, např. rozhraní podlahy, sedadel, opěrek, ovládací prvky apod. Vozidlo má celkem 6 stupňů volnosti, podélná zrychlení ve směru x, y a z a úhlová zrychlení při úhlovém pohybu skříně vozidla – tzv. houpání, kývání a vrtění/kroucení. Z toho vyplývá, že pro každý bod interakce existuje celkem 6 hodnot efektivního zrychlení, které je možné vyšetřit.

Účinky zrychlení na člověka se vyhodnocují pomocí frekvenčního vážení v místech kontaktu. DIN EN 12299:2009 definuje váhové korekce vnímání ve specifických místech interakce člověka a vozidla dle křivek citlivosti [75], viz následující obrázek. Jde o modely stojícího a sedícího člověka a jejich specifické korekce citlivosti pro určité směry působení.



**Obrázek 151 – Korekce spektrální citlivosti na vibrace / zrychlení na různých částech těla. Korekce jsou označovány jako  $W_b$ ,  $W_c$ ,  $W_d$  a  $W_p$ , dle EN 12299:2009 [75].**

Lze vyjádřit i korekce citlivosti podle ISO 2631, viz následující graf. Ikdyž jsou korekce citlivosti značené jinak, jejich charakteristiky jsou vzájemně podobné.

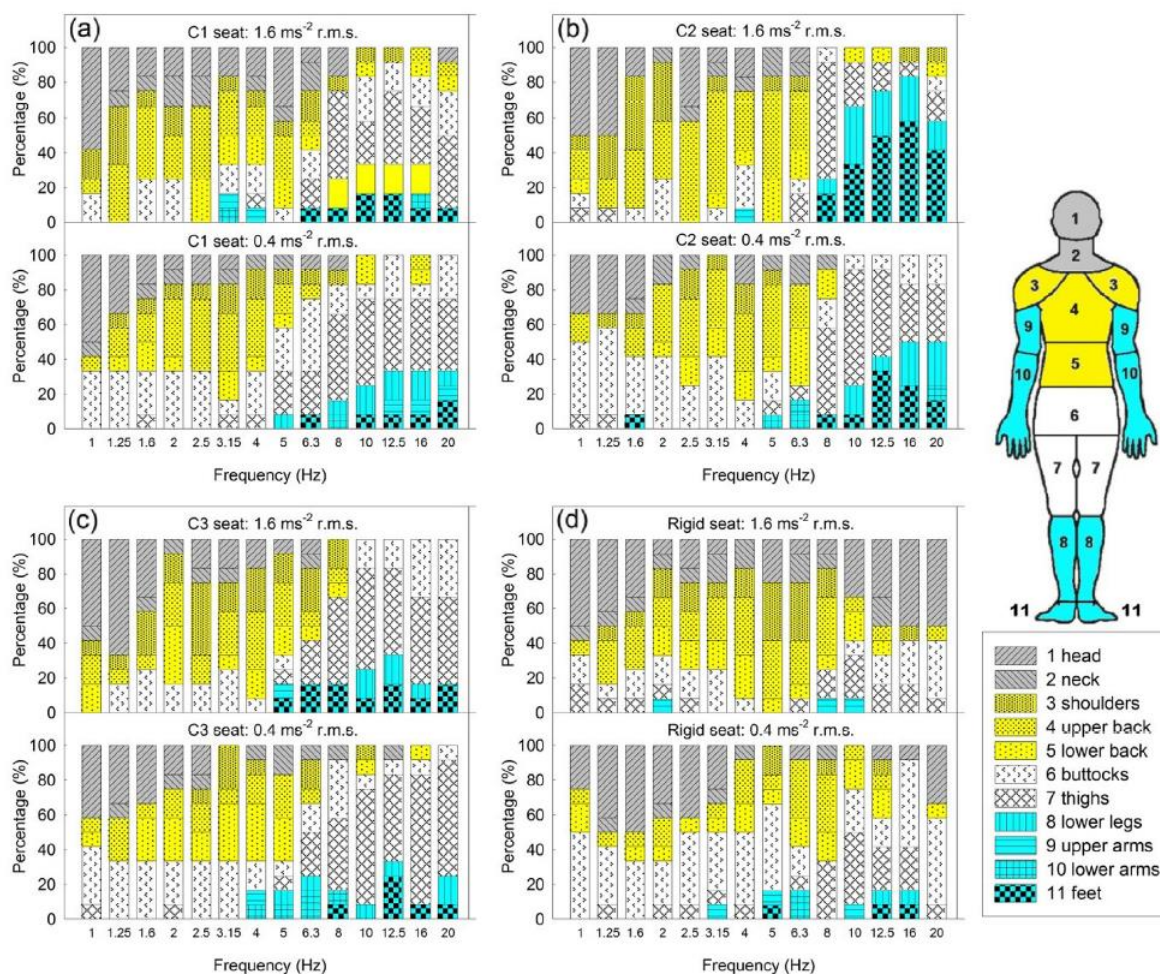


Obrázek 152 - Váhové korekce v decibelech pro jednotlivé části těla a činnosti člověka ve vibračním prostředí, hodnoty převzaty z ISO 2631, graf autora.

Podle článku Státního zdravotního ústavu ČR, Vibrace, [29], lze vyvodit frekvenční spektrální citlivosti pro různé části lidského těla. Následující Tabulka 12 a obrázek reprezentují dané citlivosti na rezonanční frekvence.

Tabulka 12 - Souhrn spektrálních citlivostí, [29].

Spektrální citlivosti	Rezonanční frekvence jednotlivých částí lidského těla
<b>Hlava</b>	20 až 30 Hz
<b>Oko</b>	20 až 90 Hz
<b>Paže</b>	5 až 10 Hz
<b>Páteř</b>	10 až 12 Hz
<b>Pletenec ramenní</b>	4 až 5 Hz
<b>Hrudní stěna</b>	50 až 100 Hz
<b>Ruka</b>	30 až 50 Hz
<b>Loket</b>	16 až 30 Hz
<b>Břicho</b>	4 až 8 Hz
<b>Nohy</b>	2 až 20 Hz

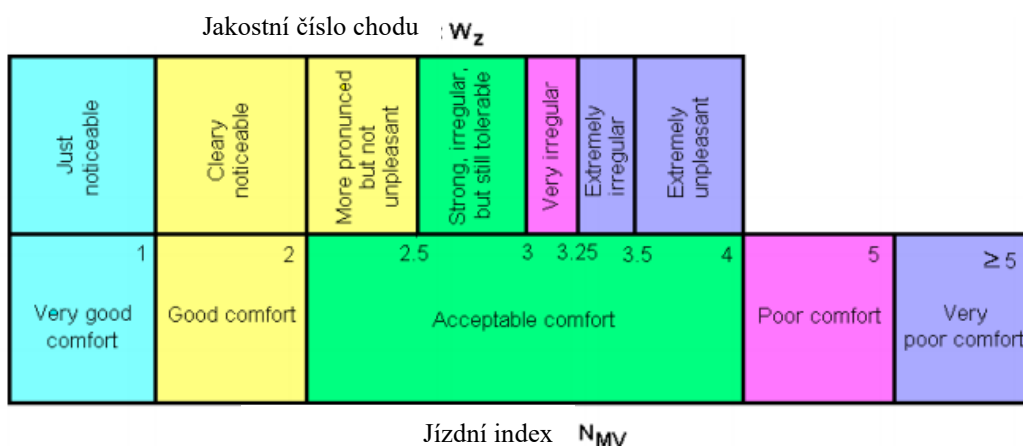


Obrázek 153 - Hlavní místa subjektivního nepohodlí na těle způsobená  $0,4 \text{ m/s}^2 \text{ r.m.s.}$  a  $1,6 \text{ m/s}^2 \text{ r.m.s.}$  vertikální vibrace na každé frekvenci se všemi sedadly, [26], str 1467, obrázek 5.

V předchozí kapitole 5.7.1, str. 75, byla zmíněna studie výzkumu predikční metody SEAT, „*The application of SEAT values for predicting how compliant seats with backrests influence vibration discomfort*“, [26], kde autoři testují mock up sedačky s různou tuhostí kontaktních ploch, kde C1 sedačka je s měkkým polstrováním, C2 se středně tuhým, C3 s tuhým a tuhou konstrukcí sedačky (bez polstrování). Diagramy na předchozím obrázku vyjadřují statistické vyhodnocení subjektivního vnímání respondentů, váhové zastoupení citlivosti částí těla v procentech pro jednotlivé typy sedaček a pro zrychlení  $r.m.s. = 1,6 \text{ m/s}^2$  a  $r.m.s. = 0,4 \text{ m/s}^2$ .

### 5.8.4.3. Hodnocení účinků zrychlení na člověka

K hodnocení vlivu vibrací a zrychlení na lidský organizmus při návrhu kolejového vozidla jsou využívány standardizované ukazatelé, které se nazývají „Jakostní číslo chodu“ ( $W_z$  [Z5]) a „Jízdní index“ ( $N_{MV}$  [Z6], [75]).



Obrázek 154 - Korelace mezi jakostním číslem chodu  $W_z$  a jízdním indexem  $N_{MV}$ , obrázek převzat z[19], obr. 1.

V praxi se v dnešní době využívá jízdní index  $N_{MV}$ . V článku „Correlation between Ride Comfort Index and Sperling's Index for Evaluation Ride Comfort in Railway Vehicles“, [19]. Obrázek 154 je korelace mezi oběma ukazateli jízdního komfortu, jakostního čísla chodu a jízdního indexu. Hodnoty uvedené na horizontální ose jsou pro oba indexy společné. Jakostní číslo chodu využívá 7mi stupňové hodnocení a jízdní index 5ti stupňové hodnocení kvality. První stupeň kvality (1) je oběma systémy odlišně interpretován. Jakostní číslo chodu hodnotí vibrace jako „již postřehnutelné“, jízdní index hodnotí vibrace jako „velmi dobrý komfort“.

Filozoficky lze vyvodit interpretaci výsledků jako typický příklad interpretace komfortu a diskomfortu. Jakostní číslo chodu interpretuje výsledky s negativistickým fyziologickým podtextem, kdy hodnota říká, jako moc velkou zátěží jsou vibrace pro lidský organizmus. Jízdní index konstantně pozitivisticky hodnotí vibrační prostředí jako komfortní v rozsahu „velmi komfortní“ až „velmi slabý komfort“.

Porovnání obou metod naznačuje, že hodnocení podle jízdního indexu  $N_{MV}$  je značně benevolentní v kontextu s účinky na lidský faktor. Zatímco jakostní číslo chodu  $W_z$  hodnotí situaci zadaných vstupů jinak, poněkud skepticky.

V rámci zmíněné studie byla provedena i simulace výpočtu komfortu nad podvozky a ve středu vozidla, viz Obrázek 155.

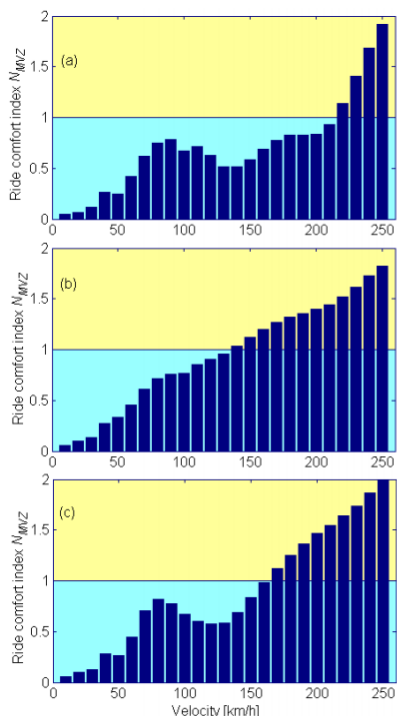


Fig. 5. Ride comfort index  $N_{MVZ}$ :  
(a) at carbody centre; (b) above the bogie 1;  
(c) above the bogie 2.

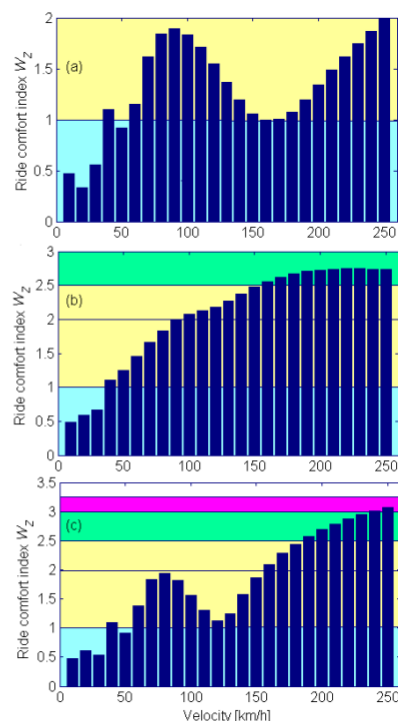


Fig. 6. Ride comfort index  $Wz$ :  
(a) at carbody centre; (b) above the bogie 1;  
(c) above the bogie 2.

**Obrázek 155 - Výsledky jízdních indexů  $Wz$  a  $N_{MV}$ , vlevo jízdní index  $N_{MV}$ , vpravo jakostní číslo chodu  $Wz$ , shora dolů odpovídající poloha ve středu vozidla, nad prvním a druhým podvozkem, [19], obr. 5 a 6.**

V tomto směru lze najít jisté vysvětlení v dizertační práci Marjanenovy „*Validation and improvement of the ISO 2631-1 (1997) standard method for evaluating discomfort from whole-body vibration in a multi-axis environment*“, [13], kde hodnotí efektivitu normy „*ISO 2631 Vibrace a rázy – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím*“, [99], [100], [101]. Autor porovnává hodnocení jízdního komfortu dle ISO 2631 s jinými metodami a přináší následující závěry:

- Existuje málo informací o předpovídání nepohodlí v praxi.
- Translační osy sedáku a zádové opěrky sedačky jsou nejvíce dominantní v hodnocení jízdního komfortu.
- Průměrování časového signálu nemusí poskytovat dostatečnou informaci o nepohodlí.



- Nebyly zjištěny žádné rozdíly mezi muži a ženami při posuzování relativního nepohodlí nestacionárních náhodných jevů.
- Optimalizace multiplikačních faktorů (dle ISO 2631, faktory  $k = 1,4$ ) by se měla zaměřit na osy sedadla.
- Jízdní komfort by měl být hodnocen ve vztahu k jízdnímu prostředí. Norma naznačuje, že pohodlí lze řešit absolutně v jakémkoliv prostředí, avšak neexistují žádné důkazy, které by to podporovaly.
- Závěr práce naznačuje, že současné normativní pokyny pro hodnocení jízdního pohodlí by měli být změněny, aby se přistupovalo k jízdní situaci relativně.

### 5.8.5. ÚČINKY ZVUKU NA ČLOVĚKA



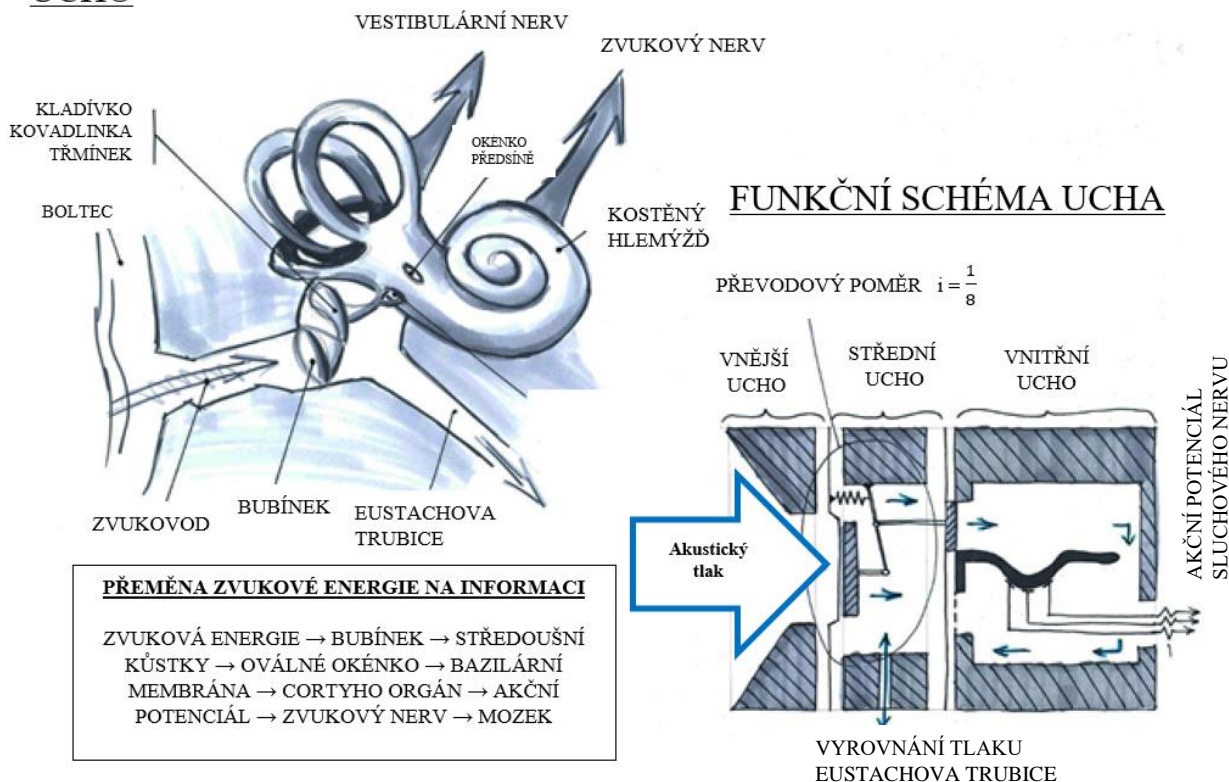
**Obrázek 156 - Zvukový model člověka. Vztažným souřadným systémem je střed hlavy přičemž záleží z které strany zvuk přichází, [42] [40] [50].**

Smyslovým orgánem pro vnímání zvuku jsou uši. Jedná se o velmi citlivé ústrojí tkání, kůstek a nervových zakončení – Cortyho orgánu. Fyziologický systém ucha lze rozdělit na tři základní podsystémy:

- Vnější ucho
- Střední ucho
- Vnitřní ucho

Podrobně funkční schéma ucha představuje následující obrázek s popisem vyvolání akčního potenciálu nervového vzduchu vedený dál do mozku.

## UCHO



Obrázek 157 - Funkční schéma systému sluchového ústrojí, překresleno z [50].

Účelem vnějšího ucha je přenesení co největší intenzity akustického vlnění do ucha středního. Uspořádání vnějšího ucha napomáhá prostorové orientaci, odkud zvuk přichází. Střední ucho přenáší akustický signál přenášený vzduchem mechanicky na signál šířící se v kapalině vnitřního ucha.

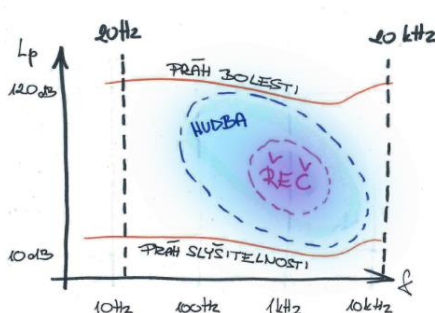
Mechanická impedance středního ucha je  $1/8$ , [50], která odpovídá hladině mechanické impedance 9 dB. Nicméně s touto hodnotou metodika nepočítá, neboť je již zahrnuta ve frekvenčně závislém váhovém filtru A, který odpovídá lidskému vnímání spektra zvuku.

### 5.8.5.1. Spektrální citlivost

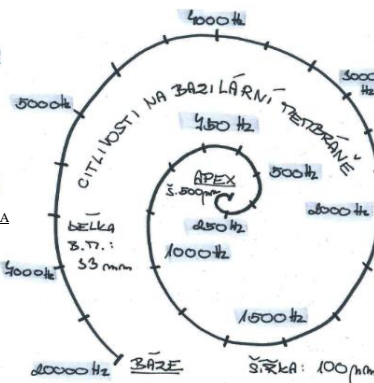
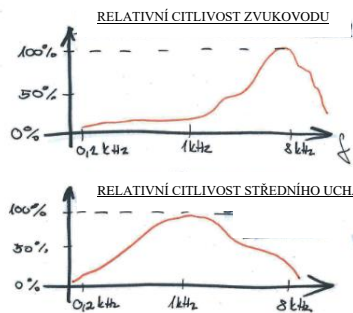
#### ROZSAHY VNÍMANÉ ENERIE

**SLUCH:**

HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU



ZÁVISLOST MAXIMÁLNÍ FREKVENČNÍ CITLIVOSTI NA POZICI V HLEMÝŽDI



Obrázek 158 - Rozsahy vnímané zvukové energie a jejich citlivosti, orientační zobrazení, překresleno z [50].

### 5.8.5.2. Sluchová adaptace

#### ADAPTAČNÍ MECHANIZMY - SLUCH

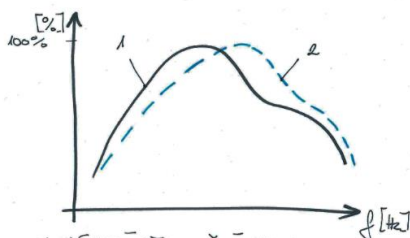
Člověk je do jisté míry schopen ovládat své adaptační mechanismy vědomně.

**ADAPTACE BUBÍNKU**

POMOCÍ INERVOVANÉHO SVALU „NAPÍNAČ BUBÍNKU“

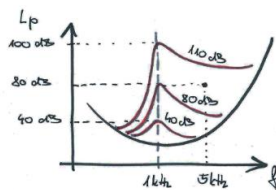


ZMĚNA CITLIVOSTI STŘEDOUŠNÍ CHARAKTERISTIKY

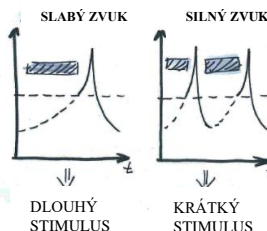


1 - VÝCHOZÍ STŘEDOUŠNÍ CHARAKTERISTIKA  
2 = ADAPTOVANÝ BUBÍNEK

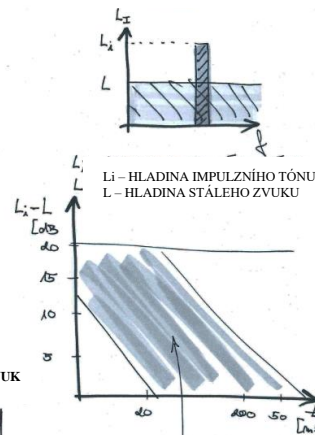
**MASKOVACÍ EFEKT**



**ČASOVÁ AKUMULACE AKČNÍHO POTENCIÁLU**



**HLASITOST IMPULZNÍCH TÓNŮ**



Li - HLADINA IMPULZNÍHO TÓNU  
L - HLADINA STÁLEHO ZVUKU

SUBJEKTIVNÍ POLE STEJNÉ HLASITOSTI MEZI IMPULZNÍ HLADINOU Li A HLADINOU STÁLEHO ZVUKU L.

Obrázek 159 - Adaptační mechanismy slyšení, překresleno z [50].

### 5.8.6. ÚČINKY SVĚTLA NA ČLOVĚKA



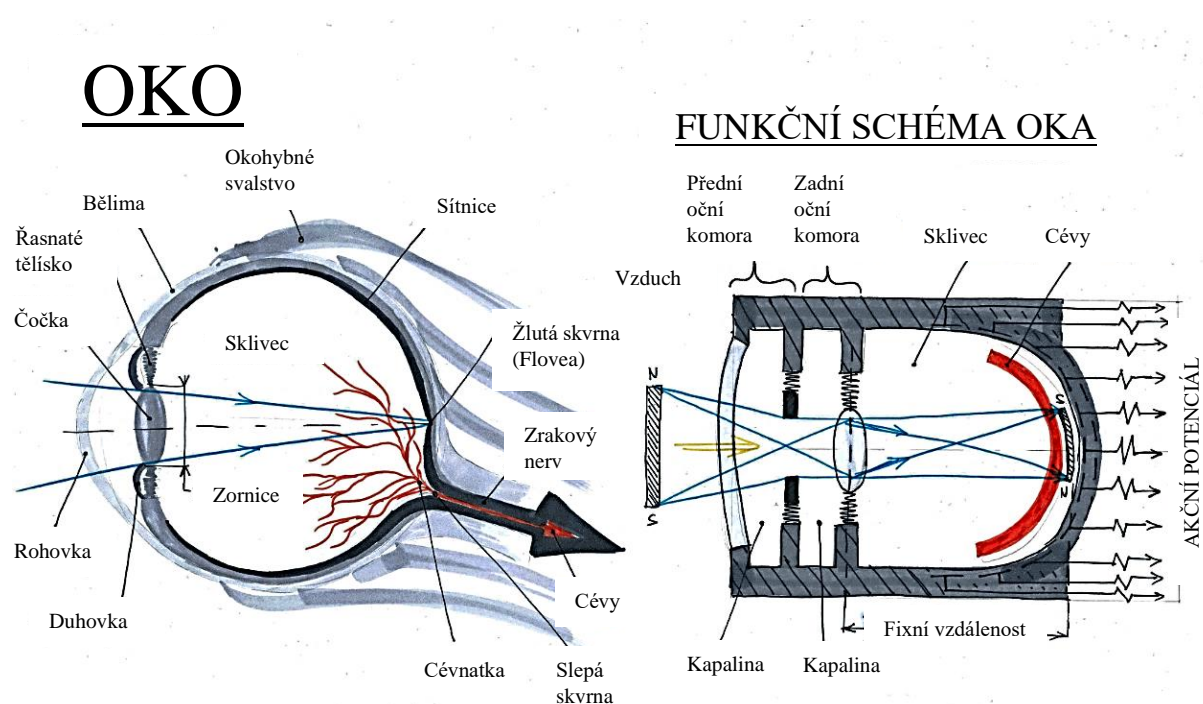
**Obrázek 160 - Zrakový model člověka. Vztažným koordinačním systémem je střed hlavy,[49][50]**

Nesjou zaznamenány fyziologické rozdíly zraku mezi pohlavími. Antropometrické populační rozdíly jsou u zdravých jedinců pouze ve vlivu polohy očí, která se může mezi nimi lišit. Existují zrakové poruchy, které mají vliv na vnímání barev za určitých světelných podmínek, viz kapitola níže – Vnímání barev.

Ve fyzice je rychlost světla vnímána jako konstanta, její hodnota je  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s, ale člověk zrakovou rychlost světla nevnímá – může se mu zdát absolutní, tj.  $c = \infty$ . Světlo člověk vnímá jeho intenzitou a spektrální skladbou záření. Existují celkem tři typy intenzit, při kterých nastává skotopické vidění – monochromatické vnímání intenzity osvětlení, mezopické vidění – vidění šerosvitu a fopické vidění – vidění barev.

### 5.8.6.1. Oko a jeho funkční schéma

Zrak je jedním z nejdůležitějších smyslů, stejně jako například sluch, který člověk využívá i ke komunikaci. Zraková informace, kterou člověk za určitých světelných podmínek získá, vede k jeho rychlosti rozhodování a ovlivňuje tak pohyb a chování člověka v prostoru.



#### **PŘEMĚNA SVĚTELNÉ ENERGIE NA INFORMACI:**

SVĚTELNÁ ENERGIE → ROHOVKA → ČOČKA → SÍTNICE → TYČINKY A ČÍPKY →  
AKČNÍ POTENCIÁL → ZRAKOVÝ NERV → MOZEK

Obrázek 161 - Anatomické znázornění oka, funkční schéma oka a proces přeměny světelné energie na informace,  
autor

### 5.8.6.2. Požadavky na osvětlení

Pomocí zraku člověk získává informace od okolního prostředí<sup>8</sup>. Potřebný světelný tok byl stanoven empiricky na základě třídy činnosti, převzato z [37].

Tabulka 13 - Třídy prací s ohledem na potřebné osvětlení, [37]

Třída	Požadavky na osvětlení	Osvětlení (lx)
<b>1 – Práce s max. soustředěním a s vysokou přesností</b>	Mimořádné	> 5000
<b>2 – Práce s max. soustředěním</b>	Velmi vysoké	5000
<b>3 – Práce vyžadující soustředění</b>	Vysoké	2000
<b>4 – Nenáročná práce</b>	Průměrné	600
<b>5 – Minimální činnost</b>	Malé	250
<b>6</b>	Velmi malé	100

<sup>8</sup> Pozn. Autora: Intenzita informací odpovídá počtu bitů za sekundu vztaženo k příjemci informace, kde referenční hodnota je jeden bit. Optimální intenzita informací je 4 bit/s os., [37].

Referenční hodnota vnímání postřehnutelného jasu se uvádí v různých zdrojích různě, např. [49] uvádí hodnotu  $10^{-6}$  lm. Mezní hodnotu  $10^{-6}$  postřehnutelného jasu v kandelách na čtvereční meter lze stanovit jako spodní hranici skotopického vidění. Následující tabulka uvádí hraniční hodnoty režimu vidění.

**Tabulka 14 - Mezní hodnoty hladin světelného výkonu ve vztahu s režimy vidění, převzato [49]**

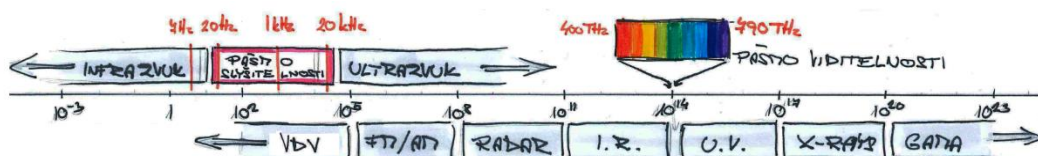
Sledovaný objekt	Jas	Režimy vidění
	cd/m <sup>2</sup>	
Slunce v poledne	1,00E+12	ŠKODLIVÉ PRO ZRAK
	1,00E+11	
	1,00E+10	
	1,00E+09	
100 W žárovka	1,00E+08	FOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E+07	
	1,00E+06	
	1,00E+05	
Bílý papír při slunečním osvětlení	1,00E+04	FOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E+03	
	1,00E+02	
Jas měsíce	1,00E+01	MEZOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E+00	
	1,00E-01	
Bílý papír při měsíčním osvětlení	1,00E-02	SKOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E-03	
Bílý papír při osvětlení hvězdami	1,00E-04	SKOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E-05	
Nej slabší viditelné světlo	1,00E-06	NEVIDITELNÉ / MĚŘITELNÉ
	1,00E-07	

Skotopické vidění začíná při hodnotě jasu  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>. Mezopické vidění odpovídá hodnotě zhruba 1 cd/m<sup>2</sup>. Škodlivý začíná být světelný tok při horní hranici fotopického vidění, která je již rovna hodnotě 100 milionu cd/m<sup>2</sup>.



### 5.8.6.3. Vnímání barev

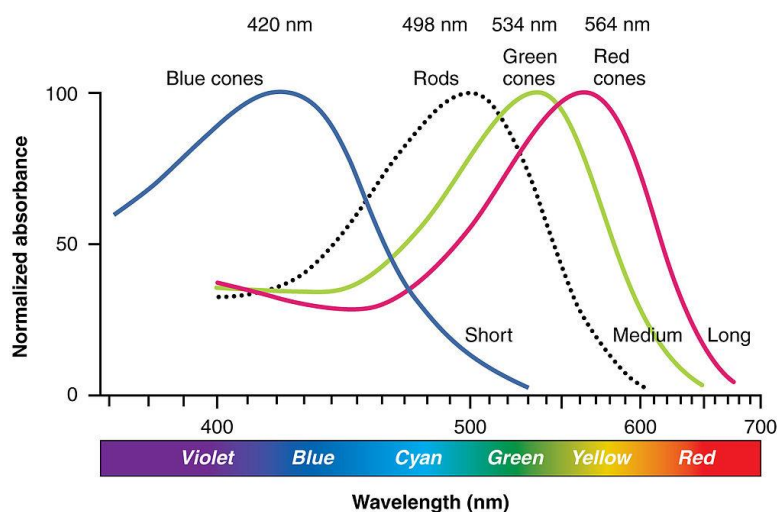
Jak ilustruje Obrázek 162, pásmo viditelného spektra záření se pohybuje v rozsahu 400 až 790 THz, jde o velmi úzké pásmo celého spektra elektromagnetického záření. Pro tento druh vnímání má člověk vyvinutý zrak, proto je předmětem samostatného fyzikálního vědního oboru, optiky, fotometrie a kolorimetrie.



Obrázek 162 - Srovnání frekvenčního rozsahu spektra slyšitelnosti a viditelnosti, autor

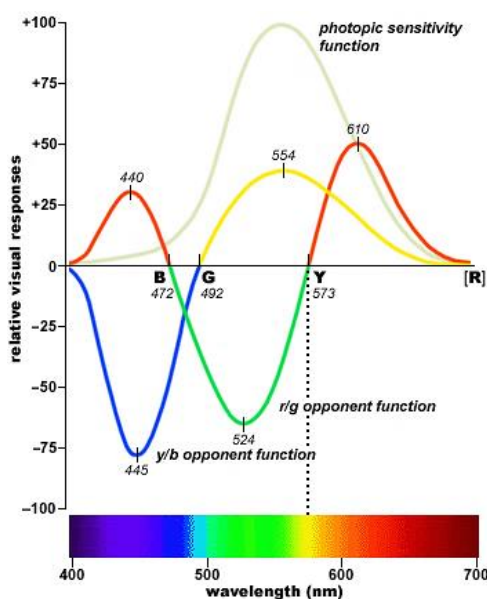
Zatímco při skotopickém vidění se uplatňují světločivé receptory – tyčinky, které vnímají monochromaticky pouze intenzitu světla, fotopické vidění nastává, když je intenzita osvětlení dostatečně vysoká, aby se na sítnici aktivovali spektročivé receptory – čípky, kterých je v poměru s tyčinkami mnohem méně. Mezopické vidění potom reprezentuje přechodové pásmo osvětlení, kdy část spektročivých receptorů stále ještě reaguje na světelné toky s dostatečnou energií. To způsobuje, že v tomto režimu člověk vidí hůř.

Tento proces má obrovský význam v oblasti vnímání barev, viz [49], neboť jsou 3 druhy čípků, každý z nich je nejcitlivější při jiné vlnové délce viz Obrázek 163.



Obrázek 163 - Trichromatická teorie, [32].

Experimentálně bylo zjištěno, viz. „*Teorie oponentních procesů*“ [60] a [31] str. 672, že člověk je schopen kódovat barvy již v primární části nerového systému – oční nerv. Kombinace nervových potenciálů každého z čípků jsou dále nervovou soustavou kódovány do barev celkového spektra vnímání světelné energie. Nervový systém dokáže vyvolat barevný vjem dříve, než informace dorazí do mozkového laloku. Obrázek 164 představuje výsledky experimentálního ověření teorie oponentního procesu, který vysvětluje vnímání žluté barvy díky synergii kombinace aktivních čípků.



Obrázek 164 - Teorie oponentního procesu, [60], [31], str. 672.

Z výše uvedeného vyplývá, že barvy jsou konstrukcí lidské mysli. Velmi velký význam mají barvy na lidskou psychiku, náladu, emoce, a vedle intenzity osvětlení mají informační a tradiční charakter. Například viz. [49], červená barva znamená nebezpečí, lásku, vášně, teplo, apod. Naproti tomu barvy chladného charakteru mají spíše uklidňující efekt a jsou spojené s například s vodou, vzduchem, prostředím, apod.

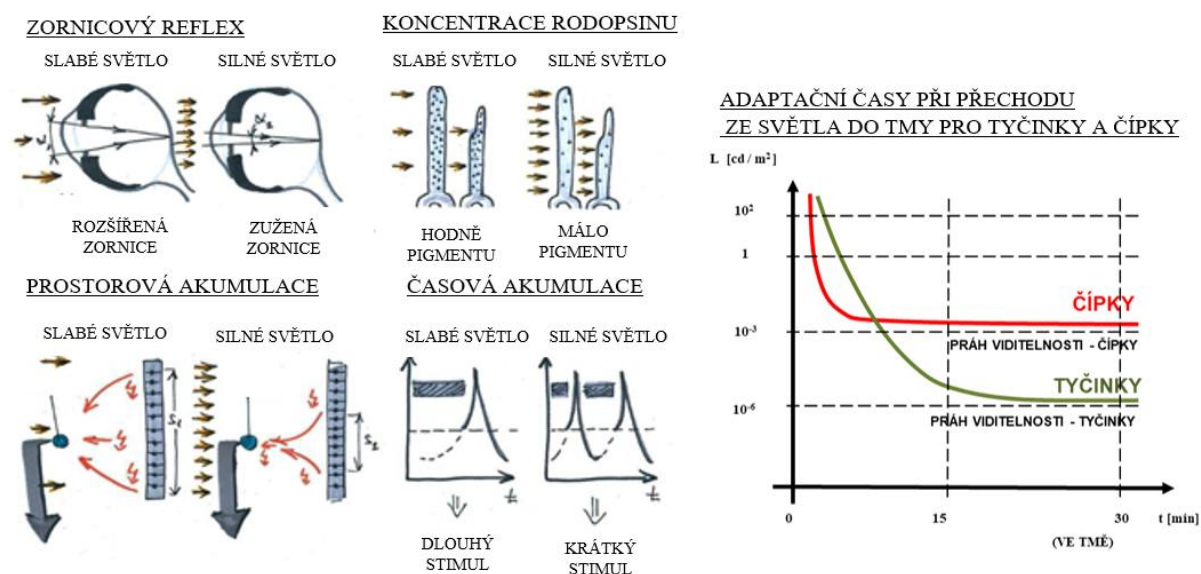
Barvy jsou součástí kultury lidské existence, nesporným důkazem je tím oblast umění, architektury a designu, ale i oblast sociálně-psychologická. K tomu je v úvaze barev nutné zahrnout i tradiční a kulturní zvyklosti národů, neboť běžně užívaný význam barev jedním národem se nemusí nutně shodovat se zvyky a tradicemi národa druhého.

#### 5.8.6.4. Zraková adaptace

Zraková adaptace je nezbytnou součástí lidského organismu. Stejně jako termoregulační procesy, adaptační mechanismy zraku jsou uzpůsobeny přirozeným jevům přírody a do jisté míry jsou schopné dobře fungovat i v případě umělého osvětlení. Adaptační mechanismy jsou reakce zraku na světelné přechodové jevy, zejména pak, přechází-li se z jasného prostředí do tmy.

Obrázek 165 vysvětluje princip několika mechanismů adaptace. Nastávají celkem dvě situace, kdy se spouštějí tyto mechanismy.

#### ADAPTAČNÍ MECHANIZMY – ZRAK



Obrázek 165 - Adaptační mechanismy zraku, překresleno z [49] a [50]

První situace je, když skokově stoupne hladina osvětlení o desítky decibelů a dojde k tzv. **oslnění**. V takové chvíli se aktivuje tzv. zornicový reflex, kdy se zornice zúží a tím se sníží hladina světelného toku, který dopadá na sítnici.

Další adaptačním mechanismem je **koncentrace rodopsinu** ve světločivých buňkách, viz [49]. Koncentrace pigmentu se zvýší v případě slabého světla a naopak se sníží, je-li světlo příliš silné.

**Prostorová akumulace** je zapojení větší plochy sítě v případě slabého světla a menší plochy, která se koncentruje na silnější světlo.

**Časová akumulace** má vliv na adaptační časy, [50], zejména pak v případě přechodu ze světlého prostředí do tmy. Podle rozdílu intenzity osvětlení lze stanovit adaptační časy, které jsou pro velké rozdíly v řádu několika minut.

#### 5.8.6.5. Unáva vlivem osvětlení

Velmi diskutované a doposud zcela neobjasněné téma, je zraková únava. Z pravidla lze rozdělit zrakovou únavu na dvě základní kategorie:

- Přírozená únava – vzniká vlivem prodlouženého času, je určeno biologickými hodinami (hormonální funkce lidského těla), nastává asi po 15 až 16 hodinách u dospělého zdravého člověka.
- Únava vzniklá umělým osvětlením – riziko únavy vzniká tam, kde není dostatečné přirozené osvětlení – noční režim.
- Únava intenzivní zrakovou činností – vzniká při zrakové činnosti třídy 1 a 2 při delší časové expozici.

Člověk odpočívá tím, že oko na chvíli zaostří do nekonečna. Toto je jeden z důvodů, proč hygienické požadavky na budovy předepisují denní osvětlení a minimální velikost oken pro obytné a pobytové místnosti, více publikace “Světelná technika”, [58].

### 5.8.7. ÚČINKY TEPLA NA ČLOVĚKA

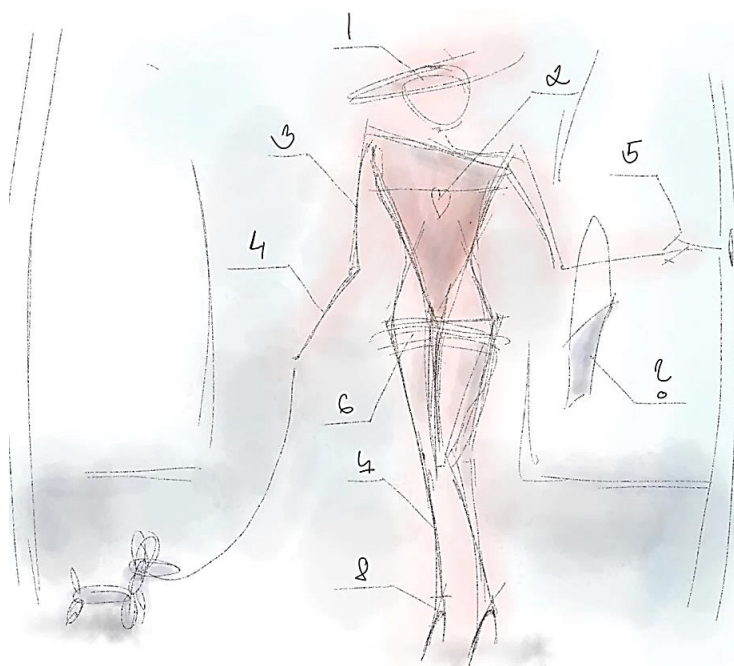


**Obrázek 166 - Tepelný model člověka. Vztažný souřadný systém je oblast těžiště lidského těla s teplotou jádra 35,7°C, [81] [82] [79] [90] [91] [45].**

Termoregulační soustava lidského těla je velmi důležitý mechanismus, který je řízen nervovou soustavou. Teplotní vjem vzniká u tepločivých buněk, viz [122], a pokračuje do mozku, kde se vyhodnocují veškeré vzruchy, které z periferních částí těla přijdou. Řídícím centrem pro spouštění termoregulace je hypotalamus, viz [155], kdy jeho přední část ovlivňuje reakce na teplo, jeho zadní část potom na chlad.

### 5.8.7.1. Teplota těla

Tepelný model má poskytnout zpětnou vazbu na konstrukční řešení návrhu díky validaci. Potřeba je hodnotit danou stavovou situaci, která je předmětem konstrukčního řešení, například místo strojvedoucího, místo pro pasažéry, apod. Následující obrázek ukazuje ilustrativní rozvržení tepelné situace, kde jsou jednotlivá místa částí lidského těla popsána tepelnými body, které jsou pro danou část lidského těla charakteristické.

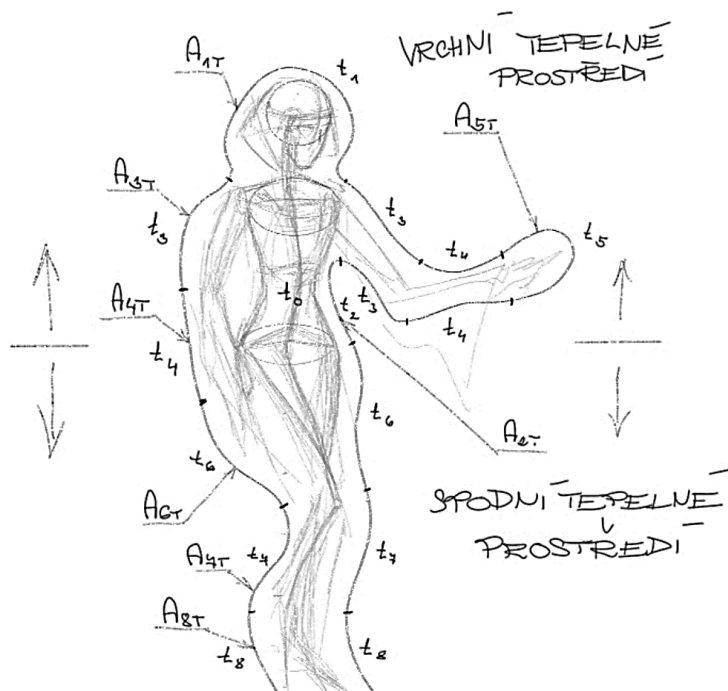


Obrázek 167 – Povrchové teploty kůže pro jednotlivé segmenty lidského těla, autor.

Tabulka 15 - Teplotní proporce lidského těla v porovnání s vypočítanou optimální teplotou kůže, autor.

Teplotní proporce lidského těla											
Pozice	Teplotní proporce lidského těla o ploše 2,1 m <sup>2</sup>	Procent plochy těla A% (ISO 9920)	Plocha segment [m <sup>2</sup> ]	Levá / Pravá [m <sup>2</sup> ]	Povrchová teplota kůže [°C]	Procent sálavosti těla	Proporce		Tepelná intenzita [W/m <sup>2</sup> ]	ΔT <sub>opt</sub> [K]	ΔT [K]
							[W]	[N]			
1	Hlava	6,9 %	0,1		33,0	30,0 %	30,0		209,9	2,7	2,7
2	Trup a krk	46,1 %	1,0		33,5	23,0 %	23,0		24,1	2,7	2,2
3	Horní končetiny – paže	6,6 %	0,1	0,07	32,5	6,6 %	6,6	3,3	48,3	2,7	3,2
4	Horní končetiny – předloktí	4,2 %	0,1	0,04	31,0	4,2 %	4,2	2,1	48,3	2,7	4,7
5	Ruce	1,7 %	0,0	0,02	33,0	1,7 %	1,7	0,9	48,3	2,7	2,7
6	Horní končetiny – stehna	21,5 %	0,4	0,22	31,0	21,5 %	21,5	10,8	48,3	2,7	4,7
7	Dolní končetiny – lýtka	9,6 %	0,2	0,10	30,0	9,6 %	9,6	4,8	48,3	2,7	5,7
8	Chodidla	3,4 %	0,1	0,04	28,0	3,4 %	3,4	1,7	48,3	2,7	7,7
	<b>SUIM/PRŮM</b>	<b>100 %</b>	<b>2,1</b>	<b>0,5</b>	<b>31,5</b>	<b>100 %</b>	<b>100</b>	<b>24</b>	<b>65</b>	<b>2,7</b>	<b>4,2</b>

Výpočetní rozhraní tepelného modelu ilustruje Obrázek 168. Postoj manekýny je obkreslen teplotní obálkou, která reprezentuje plochu tepla, kterou lidské tělo sdílí se svým okolím. Celá obálka je rozdělena na segmenty, které jsou charakteristické svojí teplotou sdílení a podílem celkové plochy těla. Teplota sdílení lidského těla odpovídá přímo teplotě pokožky.



Obrázek 168 - Rozhraní tepelného modelu. Symboly  $t_i$  reprezentují povrchové teploty ploch  $A_i$  segmentů lidského těla, autor.

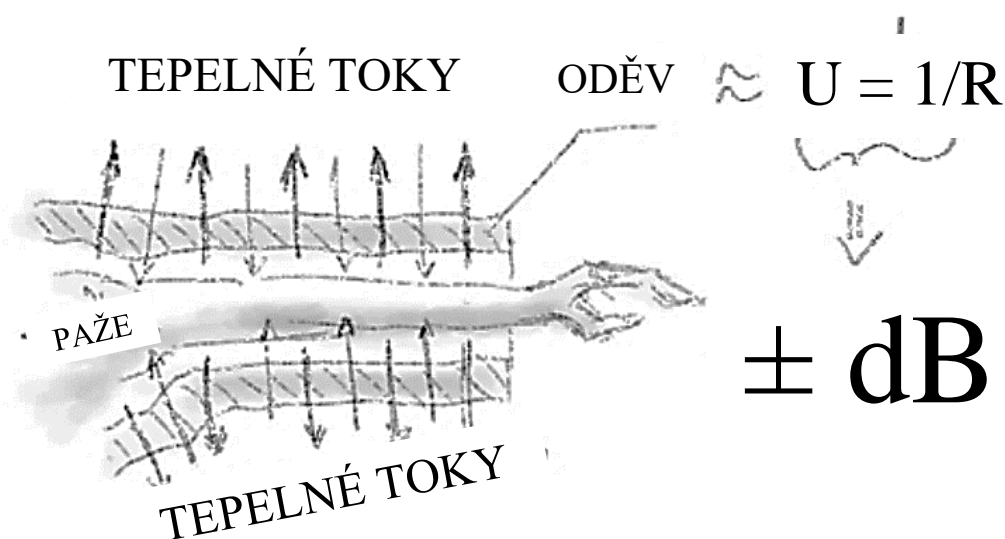
Člověk sdílí teplo s okolním prostředím sáláním, prouděním, vedením, dýcháním a pocením. Celkové metabolické teplo odpovídá rozdílu tepla, které si člověk vyrobí svými metabolickými procesy a tepla, které spotřebuje na činnost vědomou a činnost nevědomou k zajištění bazálních životně důležitých podmínek. Efektivní metabolický výkon lze zapsat:

$$\text{Rovnice 10: } P_{Mef} = P_{Met} - P_{Práce} [W]$$

Ve skutečnosti je člověk obutý a oblečený. Proto je nutné započítat korekce oblečení. Obecně pro praktické výpočty bylo zavedeno díky ISO 9920, tzv. clo [82], tedy evropská jednotka tepelného odporu oděvu, kdy 1 clo odpovídá  $R = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Časteji se používá součinitel prostupnosti  $U$  ve  $\text{W/m}^2\text{K}$ , který je převrácenou hodnotou odporu  $R$ , viz [45].

$U$  je charakteristickou vlastností materiálů a látek, vyjadřuje množství energie, které projde za jednotku času materiálem o charakteristické tloušťce jeden metr a rozdílu teplot 1 K.

Oděv je zde tedy tlumícím prvkem na rozhraní tepelného prostředí a působí v obou směrech, tedy v závislosti na teplotním spádu. V případě, že je teplota kůže vyšší, než je teplota prostředí, oděv tělo izoluje a teplota na povrchu oděvu odpovídá výkonu vynaloženému na prostup tepla oděvem. Zbytek tepla je izolován.



Obrázek 169 - Tepelný odpor oděvu versus součinitel tepelné prostupnosti, vs. znaménko hladiny odporu / prostupnosti, autor.

#### 5.8.7.2. Rovnice tepelné rovnováhy

K tomu, aby se dala určit pohoda tepelného prostředí je využita, tzv. rovnice tepelné rovnováhy, viz [45], str. 18, rozšířena autorem o teplo sdílené vedením, které sice mnohdy tvoří jen 5% celkového sdílení, avšak ve specifických případech má své opodstatnění. Na levé straně rovnice je vyjádřen metabolický výkon, výkon mechanické činnosti, výkon způsobený dýcháním a teplo sdílené pocením, na straně pravé jsou jednotlivé výkony sdíleného tepla s prostředím, jako je sálání, proudění případně přímé kontaktní vedení.

$$\text{Rovnice 11: } q_{Met} - n - q_{Dychání} - q_{Pot} = \pm q_{Sálání} \pm q_{Proudění} \pm q_{Vedení} [W/m^2],$$



kde  $q_{Met}$  je měrné metabolické teplo,  $n$  je měrná činnost,  $q_{Dýchání}$  je měrné teplo sdílené dýcháním,  $q_{Pot}$  je měrné teplo sdílené pocením,  $q_{Sálání}$  je měrné teplo sdílené sáláním,  $q_{Proudění}$  je měrné teplo sdílené prouděním a  $q_{Vedení}$  je měrné teplo sdílené vedením.

Výsledkem jednoduché trojčlenky je poměrový součinitel  $l$  (-), který je-li větší než 1, člověk odevzdává teplo prostředí, je-li menší než 1, člověk teplo přijímá od prostředí.

$$\text{Rovnice 12: } l = \frac{q_{Met} - n - q_{Dýchání} - q_{Pot}}{\pm q_{Sálání} \pm q_{Proudění} \pm q_{Vedení}} = \frac{q_{B10}}{q_{Prostředí}} \left[ 1; \frac{W/m^2}{W/m^2} \right]$$

### 5.8.7.3. Sdílení tepla prouděním

Sdílení tepla prouděním dochází na rozhraní povrchu člověka a okolního prostředí. Vzhledem k tomu, že lidé chodí oblečení, jde přesněji o rozhraní oděvu a části obnažené lidské kůže (hlava, krk, ruce, apod.). V těchto místech vzniká teplotní spád, který odpovídá následujícím rovnicím podle viz [45], str. 18

$$\text{Rovnice 13: } q_{Proudění} = \alpha_{Proudění} \cdot \Delta T \left[ \frac{W}{m^2}; \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot K \right]$$

$$\text{Rovnice 14: } \alpha_{Proudění} = f(\lambda, c, w, \mu, \rho) \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K}; \frac{W}{m \cdot K}, \frac{J}{kg \cdot K}, \frac{m}{s}, \frac{N \cdot s}{m^2}, \frac{kg}{m^3} \right]$$

Poměrová konstanta potom odpovídá tzv. součiniteli přestupu tepla konvekcí, viz [170] str. 19, a je funkcí tepelné vodivosti  $\lambda$ , měrné tepelné kapacity  $c$ , rychlosti proudění tekutiny  $w$ , viskozity  $\mu$  a hustoty  $\rho$  tekutiny, tedy vzduchu. Součinitel přestupu tepla konvekcí je tzv. impedance konvekce a zahrnuje v sobě závislost na 4. mocnině teplotního spádu, viz [45].

Obvykle se tento součinitel zjišťuje experimentální cestou, neboť jeho výpočet je složitý a závislý na mnoha činitelých. Z výrazu níže je patrná přímo úměrná závislost poměrové konstanty na 4. odmocnině teplotního spádu a vyjádřené konstantě 2,38. Tento vztah, jak uvádí [45], je použitelný k praktickému použití pro rychlosti proudění vzduchu méně nebo rovno  $w \leq 0,1 \text{ m/s}$ .

$$\text{Rovnice 15: } \alpha_{\text{proudění}} = 2,38 \cdot (t_{od} - t)^{0,25} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K}; \frac{W}{m^2 \cdot K^{1,25}} \cdot K^{0,25} \right]$$

Tento výkon vyjadřuje sdílený tepelný tok konvekcí, a to teplotního gradientu mezi teplotou vzduchu a teplotou oděvu, nebo kůže.

Je převzat praktický výpočet součinitele přestupu tepla konvekcí pro rychlosti proudění vzduchu  $w$  větší než  $0,1 \text{ m/s}$  a meně než  $2,5 \text{ m/s}$ . Zde hodnota poměrové konstanty odpovídá následující rovnici, viz kapitola 2, [45], str. 19.

$$\text{Rovnice 16: } \alpha_{\text{proudění}} = 12,1 \cdot \sqrt{W} \left[ \frac{W}{m^2}; \frac{W}{m^2 \cdot K \cdot (m \cdot s^{-1})^{0,5}} \cdot \sqrt{\frac{m}{s}} \right]$$

Poměrová konstanta konvekce  $\alpha_{\text{proudění}}$  je funkcí mnoha veličin, viz. Rovnice 14, str. 145. Zejména pak rychlosti proudění vzduchu. Převyšší-li poměrová konstanta hodnotu 5, je to výsledkem buď vysokého teplotního gradientu 20 Kelvinů přirozené konvekce, nebo se uplatňuje vliv nucené konvekce v závislosti na rychlosti proudění a teplotního gradientu. Rychlost nuceného proudění vzniká tam, kde je pohyb vzduchu vyšší než  $0,1 \text{ m/s}$ , například při větrání, u výstky klimatizace, přechodové jevy na rozhraní dvou prostředí, přirozená chůze, apod.

Další funkční veličinou konvekce je součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  v jednotkách  $W/mK$  a měrná tepelná kapacita látek  $c$  v jednotkách  $J/kgK$ . Oba tyto součinitele mají vliv na subjektivní vnímání teploty při doteku.

Přírodní organické materiály a látky, jako je například voda, vzduch, dřevo apod., jsou charakteristické svojí vysokou měrnou kapacitou v řádu  $10^3 \text{ J/kgK}$  a naopak je také charakterizuje velmi nízká hodnota tepelné vodivosti v řádech  $10^{-1}$  až  $10^{-2} \text{ W/mK}$ . Tyto tepelné vlastnosti odpovídají i řadě plastů a textilií.

Druhým extrémem jsou pak kupříkladu kovy, jejichž nízká měrná tepelná kapacita  $c$  a vysoká vodivost  $\lambda$  naopak způsobuje to, že teplo snadněji odevdávají nebo přijímají. Při subjektivním porovnání se jeví povrchy kovů chladnější, nebo teplejší, neboť mnohem rychleji odvádějí/přivádějí teplo, viz Tabulka 2, str. 44.

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  v jednotkách W/mK je poměrovou konstantou tepelného toku sdíleného vedením [45]. Rovnice níže vyjadřuje výkon vztažený na jednotkovou plochu  $A_0$ , kterou teplo prochází, a na jednotkovou vzdálenost  $d_0 = 1 \text{ m}^2$ .

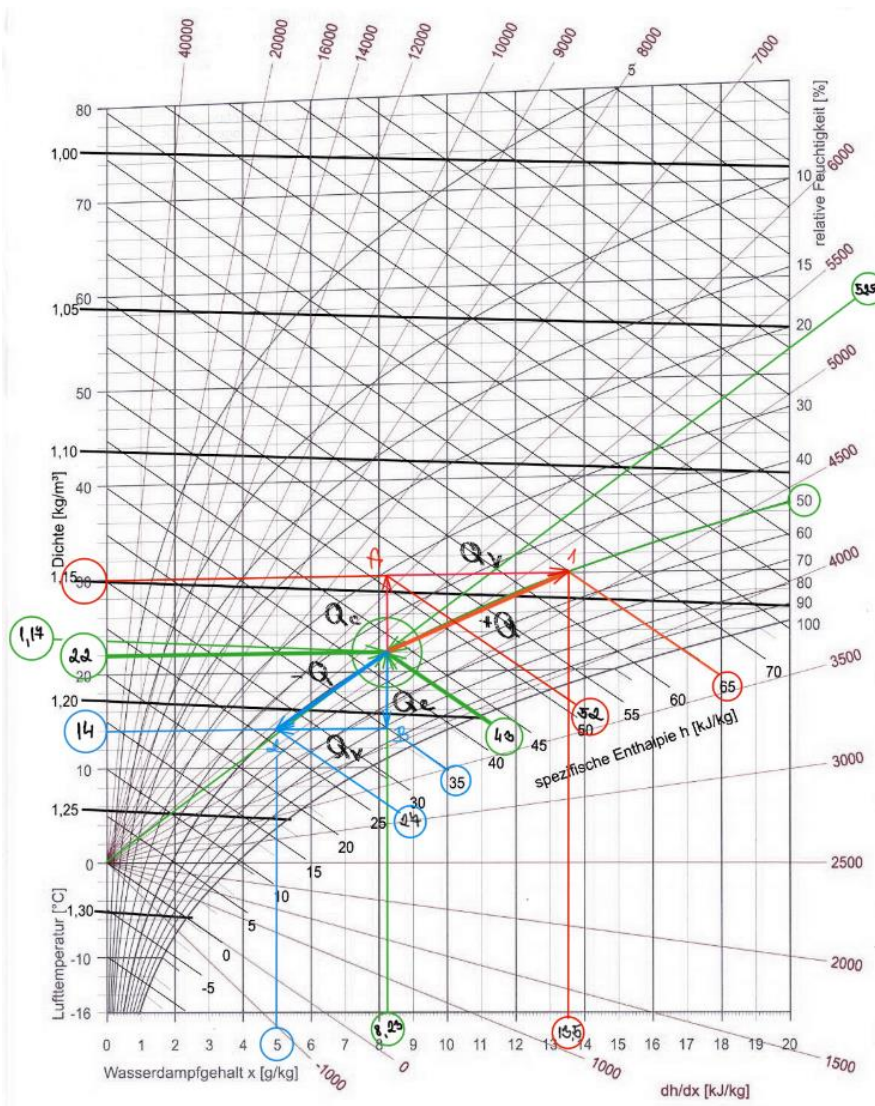
$$\text{Rovnice 17: } P_{TV} = \lambda \cdot \frac{A_0}{d_0} \cdot \Delta T \left[ W; \frac{W}{m \cdot K} \cdot \frac{m^2}{m} \cdot K \right]$$

Z uvedené rovnice je patrná opět přímá úměrnost teplotního spádu  $\Delta T$  na součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda$ , jednotkové ploše  $A_0$  a nepřímo úměrná vzdálenosti prostupu  $d$ . Součinitel tepelné vodivosti vzduchu při teplotě 20 °C odpovídá hodnotě 0,026 W/mK, součinitel tepelné vodivosti železa při teplotě 20 °C odpovídá hodnotě 73 W/mK.

#### 5.8.7.4. Biologické tepelné výkony člověka

Biologický výkon závisí na antropometrických hodnotách, na lidském zdraví a na kvalitativních faktorech tepelného prostředí, jako je například relativní vlhkost vzduchu  $\phi$ , entalpie suchého vzduchu  $h$ , barometrický tlak  $p_b$  apod.

Následující Obrázek 170 představuje *Mollierův h-x diagram*, viz [157], v němž jsou uvedeny základní parametry relevantní pro hodnotu barometrického tlaku 100 kPa a teplotu vzduchu vnitřního prostředí 22 °C. Tento diagram se v praxi využívá při návrhu klimatizačních zařízení.

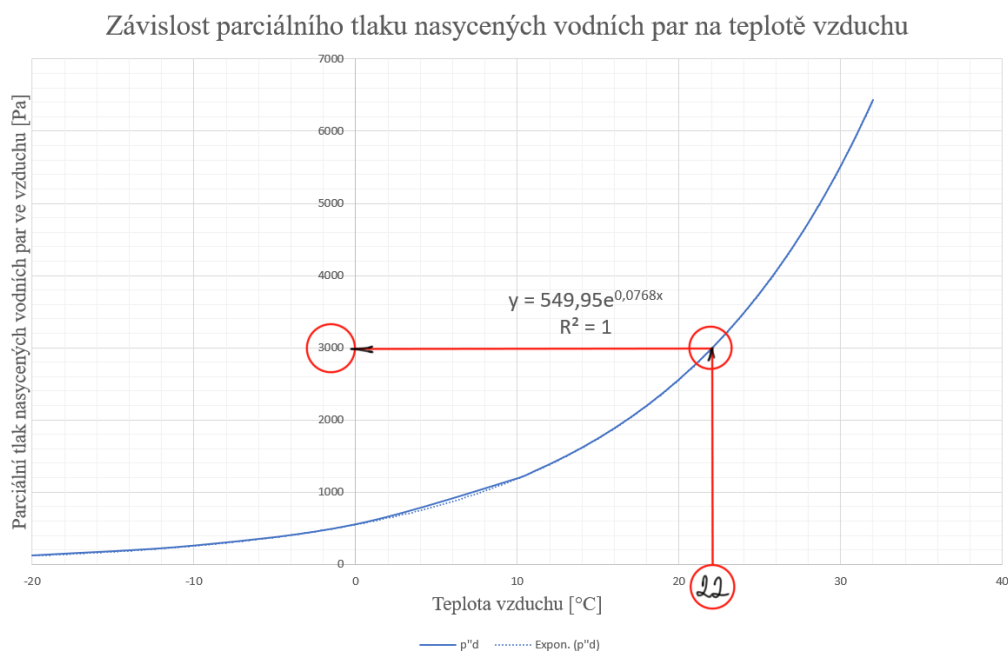


Obrázek 170 - h-x diagram - vyznačení kvalitativních parametrů pro pokojovou teplotu 22 °C a relativní vlhkost 50%, diagram převzat z [157]

Pro výpočet uvažujeme následující kvalitativní parametry označené zeleně:

- Teplota vnitřního vzduchu  $t = 22$  °C
- Relativní vlhkost vzduchu –  $\phi = 50\% = 0,5$
- Měrná vlhkost  $x = 8,23$  g/kg
- Entalpie  $h = 4300$  J/kg
- Hustota vzduchu  $\rho_{\text{vzduchu}} = 1,17$  kg/m<sup>3</sup>
- Směrnice izotermy  $dh/dx = 5250$  kJ/kg

Obrázek 171 ukazuje závislost parciálního tlaku na teplotě vzduchu. Hodnoty byly převzaty z „Tabulky vlhkého vzduchu“, [45], a byla aproximována křivka, která nejvíce odpovídala průběhu nárůstu hodnot z „Tabulky vlhkého vzduchu“. Výsledkem je exponenciální funkce, viz Obrázek 171, závislosti parciálního tlaku nasycených vodních par na teplotě vzduchu.



Obrázek 171 - Závislost parciální tlaku nasycených vodních par na teplotě vzduchu, hodnoty převzaty z Tabulky vlhkosti, [45], str. 92

Cílem je stabilní teplota vzduchu a dodržení požadované vlhkosti prostředí. V diagramu výše je zakresleno tzv. celkové teplo  $Q$ , které se skládá z tepla citelného  $Q_c$  a tepla vázaného  $Q_v$ . Citelné a vázané teplo je závislé na objemovém průtoku vzduchu  $V_{vzduch}$  a jeho hustotě  $\rho_{vzduch}$ . Z diagramu je patrné, že zvýšením teploty vzduchu se snižuje jeho relativní vlhkost. Aby bylo dosaženo stabilní relativní vlhkosti, je nutné započítat teplo vázané, které vzniká zvýšením obsahu vodních par, jak uvádí [45].

Existuje celá řada programů výpočetní techniky, které parametricky zpracovávají a vyhodnocují data pro klimatizační zařízení. Jde tedy o nástroj systémového návrhu klimatizačního zařízení. Vázané teplo vzniká vždy, dojde-li ke změně teploty vzduchu, je-li

požadována konstantí hodnota relativní vlhkosti. Vázané teplo má potom vliv na hodnotu celkového tepla a pokud se odečte rozdíl entalpií na h-x diagramu, lze stanovit velikost vázaného tepla, tzv. **faktor citelného tepla  $\vartheta$** , viz rovnice [45] a rovnice vyjádřená v hladinách.

$$\text{Rovnice 18: } \vartheta_T = \frac{P_{T\text{citelné}}}{P_{T\text{celkové}}} = \frac{\dot{V}_{\text{vzduch}} \cdot \rho_{\text{vzduch}} \cdot c_{\text{vzduch}} \cdot (t_2 - t_1)}{\dot{V}_{\text{vzduch}} \cdot \rho_{\text{vzduch}} \cdot l_{\text{voda}} \cdot (x_2 - x_1) + \dot{V}_{\text{vzduch}} \cdot \rho_{\text{vzduch}} \cdot c_{\text{vzduch}} \cdot (t_2 - t_1)} =$$

$$\frac{\dot{V}_{\text{vzduch}} \cdot \rho_{\text{vzduch}} \cdot c_{\text{vzduch}} \cdot (h_A - h_1)}{\dot{V}_{\text{vzduch}} \cdot \rho_{\text{vzduch}} \cdot l_{\text{voda}} \cdot (h_2 - h_A) + \dot{V}_{\text{vzduch}} \cdot \rho_{\text{vzduch}} \cdot c_{\text{vzduch}} \cdot (h_A - h_1)} \quad [-]$$

, kde  $l$  je výparné teplo vody v jednotkách kJ/kg.

Antropologické činitele lze shrnout v následující tabulce, kde jsou zahrnuty hodnoty pro rozsah populační antropologické výšky člověka 1,5 m pro ženu a 2,0 m pro muže. Uvažujeme-li zdravé jedince, jejichž index konstituce hmotnosti a výšky **BMI** odpovídá normálu 22,5 kg/m<sup>2</sup>, lze výpočtem stanovit hmotnost člověka. Dále pomocí vzorce dle DuBois, [37], str. 30, lze vypočítat přibližnou plochu kůže lidského těla  $A_{\text{člověk}}$ .

**Tabulka 16 - Vyjádření hladiny efektivního metabolického tepla na základě antropometrických údajů - výšky člověka a optimální BMI člověka, autor**

Veličina	Označení	žena	muž	jednotka
Antropometrická výška	H	1,5	2,0	m
Index tělesné hmotnosti	BMI	22,5	22,5	kg/m <sup>2</sup>
Hmotnost člověka	M	50,0	90,0	kg
Plocha lidské kůže, DuBois	$A_{\text{člověk}}$	1,43	2,26	m <sup>2</sup>
Měrný energetický výdej	$I_{\text{MET}}$	58,2	58,2	W/m <sup>2</sup>
Mechanická účinnost	$\mu$	0	0	-
Metabolický výkon	$P_{\text{Met}}$	83,2	131,5	W
Efektivní metabolický výkon	$P_{\text{Mef}}$	83,2	131,5	W
Hladina $P_{\text{Mef}}$	$L_{P_{\text{Mef}}}$	139,2	141,2	dB
Rozdíl hladiny výkonu	$\Delta L$		<b>2,0</b>	<b>dB</b>

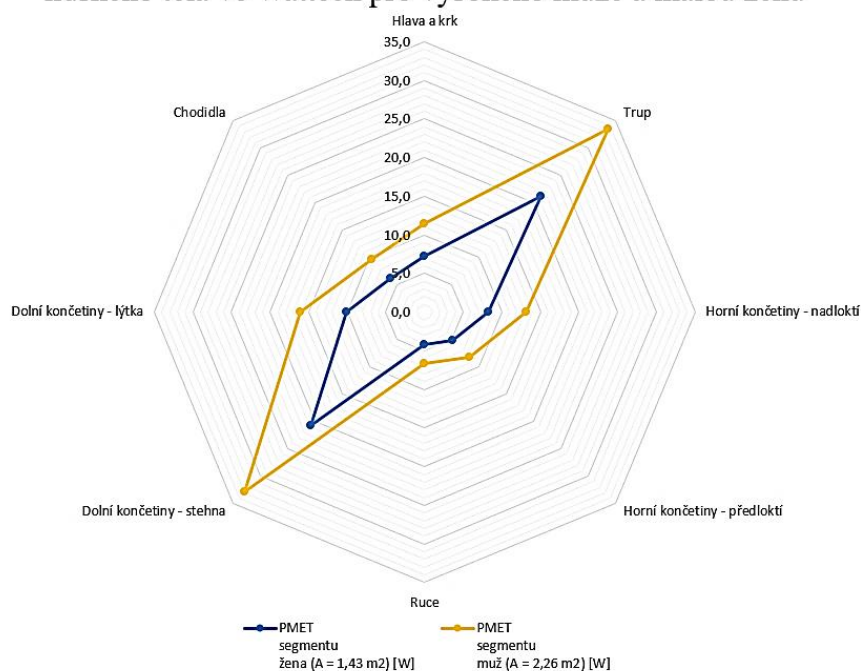
Tabulka 17 - Rozložení výkonu podle ploch segmentů lidského těla pro metabolickou intenzitu 58,2 W/m<sup>2</sup>, autor

Pozice	Teplotní proporce lidského těla o ploše 1,43 m <sup>2</sup> pro ženy a pro muže 2,26 m <sup>2</sup>	Procent plochy těla A% <sup>**</sup>	Plocha segmentu žena [m <sup>2</sup> ]	Plocha segmentu muž [m <sup>2</sup> ]	P <sub>MET</sub> segmentu žena (A = 1,43 m <sup>2</sup> ) [W]	P <sub>MET</sub> segmentu muž (A = 2,26 m <sup>2</sup> ) [W]
1	Hlava a krk	8,7 %	0,12	0,20	7,2	11,4
2	Trup	25,5 %	0,36	0,58	21,2	33,5
3	Horní končetiny – nadloktí	10,0 %	0,14	0,23	8,3	13,2
4	Horní končetiny – předloktí	6,2 %	0,09	0,14	5,2	8,2
5	Ruce	5,0 %	0,07	0,11	4,2	6,6
6	Dolní končetiny – stehna	25,0 %	0,36	0,57	20,8	32,9
7	Dolní končetiny – lýtka	12,2 %	0,17	0,28	10,2	16,0
8	Chodidla	7,4 %	0,11	0,17	6,2	9,7
	SUIM/PRŮM	<b>100 %</b>	<b>1,43</b>	<b>2,26</b>	<b>83,2</b>	<b>131,5</b>

\*\* dle ISO 9920

Tabulka 17 popisuje výpočet rozložení výkonu na jednotlivé části těla. Vypočítané výkony jsou vztažené k metabolické intenzitě, viz [45] a ploše segmentu podle (ISO 9920).

Metabolické výkony vztažené na plochy jednotlivých segmentů  
lidského těla ve Watech pro vysokého muže a malou ženu



Obrázek 172 - Rozložení výkonu podle segmentů lidského těla, autor

Obrázek 172 vykresluje rozdíly výkonů mezi mužem a ženou pro jednotlivé segmenty. Z anatomického pohledu se procentuální rozdělení sdílených tepelných ploch částí těla nemění, výsledný výkon tepelného sdílení je tedy závislý na antropometrických vlastnostech člověka.

Člověk jistě množství tepla sdílí i dýcháním, jak uvádí [45] str. 15, množství vdechovaného vzduchu závisí na intenzitě fyzické činnosti a pro dospělého člověka hmotnostní tok vdechovaného vzduchu  $\Phi_m$  odpovídá:

$$\text{Rovnice 19: } \Phi_m = 2,58 \cdot 10^{-6} \cdot q_{Met} \cong 1,5 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{kg}{s}, \frac{kg \cdot m^2}{W \cdot s}, \frac{W}{m^2} \right]$$

Vynásobí-li se hodnota hmotnostního toku celkovým časem 24 h, dospělý člověk nadechne celkem 13 kg (10,8 m<sup>3</sup>) vzduchu za den a stejné množství i vydechne při metabolické intenzitě odpovídající 1 met – v klidu sedícího člověka. Výkon tepla sdíleného dýcháním množství vzduchu je vyjádřen následující rovnicí jako součinu hmotnostního toku a rozdílu entalpií vydechovaného a vdechovaného vzduchu. Entalpie vdechovaného vzduchu přísluší teplotě vzduchu okolního prostředí, zatím co entalpie vydechovaného vzduchu je rovna 125,8 kJ/kg s.v. při relativní vlhkosti vydechování  $\phi = 100\%$  a teplotě vydechovaného vzduchu přibližně 34 °C, viz [45].

$$\text{Rovnice 20: } q_{dýchání} = \Phi_m \cdot (h_{výdech} - h_{vzduchu}) = 2,58 \cdot 10^{-6} \cdot q_{Met} \cdot (h_{výdech} - h_{vzduchu}) \left[ \frac{W}{m^2}, \frac{kg}{s}, \frac{J}{kg_{s.v.}} \right]$$

Rozdíl entalpií vdechovaného a vydechovaného vzduchu při okolní teplotě vzduchu 22 °C odpovídá hodnotě 82 000 J/kg.

Lidská kůže je největší orgán, který člověk má. Kůže má nejen izolační vlastnosti, ale především termoregulační vlastnosti. Člověk vylučuje tzv. viditelný a neviditelný pot, kterým povrch kůže ochlazuje, odpařováním vlhké kůže odvádí teplo. V kombinaci s rychlostí proudění vzduchu a jeho poměrové konstanty konvekce se jedná o velice účinné chlazení lidského organismu. Nicméně, viditelný pot je projevem tepelné nepohody, neboť jde o termoregulační proces a snahu o snížení teploty těla<sup>9</sup>. V další fázi jde již o pocity žízně

<sup>9</sup> Pozn. Autora: Projev viditelného potu, tzv. studený pot, může být také vlivem stresu, nebo projevem intoxikace chemickými látkami. Další příčinou viditelného pocení je probíhající nemoc, kdy tělo vylučuje potem jednak



a pocitu nutnosti se akutně schladit. Smrtí potom končí stav člověka, který je dehydrovaný, dezorientovaný a v důsledku toho selhávají životní funkce, mdloba a koma.

V případě podchlazení se stahuje krev z periferních částí končetin a těla do lidského jádra. Tím se tělo snaží udržet si tolik potřebnou konstantní teplotu těla. Pokud tato reakce nestačí, začíná svalový třas, kdy nervový systém vyvolává synchronizované kontrakce svalů, opět za účelem tvorby tepla. Tato reakce je již doprovázena omrzlinami periferních částí těla v různém stádiu pokročilosti. Stejně jako v případě přehřátí, nastává při podchlazení k postupné ztrátě kontroly životně důležitých orgánů a postupné promrznutí těla, které končí agónií, mdlobou, komatem a smrtí.

Všechny výše jmenované stavy představují hodnoty, které nepřípadají v návrhu vozidla ani v úvahu. Tím spíše je nutné se zaměřit na hodnoty tepelného prostředí, které chceme dosáhnout a docílit požadovaného optima. Stejně jako tepelný výkon sdílený dýcháním, je nutné uvažovat tepelný výkon sdílený neviditelným pocením. Jde o termoregulační proces lidského těla, který obvykle bývá konstantní v čase a výkon je výsledkem sdílení gradientu teploty mezi optimální teplotou kůže a teplotou vzduchu. Zatímco optimální teplotu kůže lze stanovit empiricky, neboť je funkcí rozdílu metabolického výkonu a výkon práce, je převzat výpočet teploty kůže z [45], viz rovnice níže. Při dosažení metabolické intenzity odpovídající jednomu *met* a nulové mechanické účinnosti – člověk v klidu sedí, je odpovídající optimální teplota kůže 34,1 °C, dle [45].

$$\text{Rovnice 21: } t_{k-opt,1met} = 35,7 - 0,0275 \cdot (q_{Met}) = 34,1 \left[ ^\circ\text{C}; \frac{^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2}{\text{W}} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

V rámci průzkumu současného stavu problematiky byly zjištěny hodnoty 20 °C a 40 °C, [122], které představují teplotní rozsah 20 °C/K, při kterém fyziologicky funguje termoregulační adaptace.

---

toxické látky, a potom opět dochází ke chlazení vlivem termoregulace k odvádění tepla a snížení horkosti, tedy zvýšené teploty jádra lidského těla.

Výpočet tepelného výkonu sdílený neviditelným pocením je opět převzat z [45], kde teplota okolního vzduchu  $t$  je vyjádřena jako parciální tlak  $p_d$ , který je vedle teploty vzduchu závislý na relativní vlhkosti vzduchu  $\varphi$ , sdílené jednotkové ploše  $A_0$  a parciálním tlaku nasycených par  $p''_d$ . Empirický vztah je vyjádřen rovnicí níže, převzato z [45], str. 20.

$$\text{Rovnice 22: } q_{pot} = 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot 256 \cdot t_{k,opt} - 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot \varphi \cdot p''_d(t) - 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot 3373 = 0,78 \cdot 34,1 - 0,00306 \cdot 0,5 \cdot 3000 - 10,32 = 11,7 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Výsledný biologický výkon populace, při nulové mechanické účinnosti  $\mu$ , teplotě vzduchu  $t = 22$  °C, relativní vlhkosti  $\varphi = 50$  %, teplotě kůže  $t_k = 34,1$  °C, je vyjádřen následující rovnicí:

$$\text{Rovnice 23: } q_{BIO} = q_{Met} \cdot (1 - \mu) - q_{dýchání} - q_{pot} \left[ \frac{W}{m^2}; \frac{W}{m^2} \right]$$

Vyjádríme-li si místo výkonu intenzitu, tedy výkon vztažený na  $1 \text{ m}^2$ , dosazením do rovnice výše lze vypočítat celkovou biologickou intenzitu sdílení tepla.

$$\text{Rovnice 24: } q_{BIO} = 58,2 - 12,3 - 11,7 = 34,2 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$



## 6. KONKRÉTNÍ CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Tabulka 18 - Přehled konkrétních cílů dizertační práce, autor

---

<p>Jednotné projektování systému ČLOVĚK - PROSTŘEDÍ – VOZIDLO</p> <p><b>Cílem je najít řešení systémového návrhu vnitřního prostředí kolejového vozidla prostřednictvím metodiky, díky níž je možné hodnotit různé vlivy prostředí, jako je hluk, vibrace, světlo a teplo, ve vztahu k vnímání člověka.</b></p>
<p>Jednotný model systému ČLOVĚK - PROSTŘEDÍ – VOZIDLO</p> <p><b>Cílem je sestavit komplexní model prostředí vozidla, který simuluje podmínky cestujícího v přepravním procesu tak, aby se dal model matematicky a graficky vyjádřit a jeho výsledkem je kvalitativně-quantitativní pochopení modelové situace.</b></p>
<p>Jednotné parametry pro popis modelu systému ČLOVĚK - PROSTŘEDÍ – VOZIDLO</p> <p><b>Cílem je popsat matematický model pomocí parametrů – intenzita, frekvence, čas, vzdálenost a orientace v prostoru tak, aby nejlépe vystihovaly jízdní situaci cestujícího v přepravním procesu.</b></p>
<p>Jednotné přenosové funkce systému ČLOVĚK - PROSTŘEDÍ – VOZIDLO</p> <p><b>Cílem je vyjádřit interakce studovaných vlivů (hluk, vibrace, světlo, teplo) jako přenosové funkce, které budou popisovat vztah mezi zdrojem, prostředím vozidla a pozorovatelem cestujícím v přepravním procesu.</b></p>
<p>Jednotný popis režimů systému ČLOVĚK - PROSTŘEDÍ – VOZIDLO</p> <p><b>Cílem je hodnotit časové průběhy jednotlivých vlivů prostředí (hluk, vibrace, světlo, teplo) a jejich efekt na cestujícího v přepravním procesu.</b></p>
<p>Jednotné hodnocení cestovní pohody systému ČLOVĚK - PROSTŘEDÍ – VOZIDLO</p> <p><b>Cílem je aplikovat logaritmické funkce Weber-Fechnerova zákona a hodnotit vlivy prostředí (hluk, vibrace, světlo, teplo) ve vztahu k hygienickým, fyziologickým a psychologickým aspektům cestujícího v přepravním procesu.</b></p>
<p>Jednotný proces optimalizace systému ČLOVĚK - PROSTŘEDÍ – VOZIDLO</p> <p><b>Cílem je stanovit rozhodovací kritéria, která pomůžou optimalizačnímu procesu systémových změn návrhu kolejového vozidla a která budou vypovídat o kvalitě prostředí v místě cestujícího v přepravním procesu.</b></p>

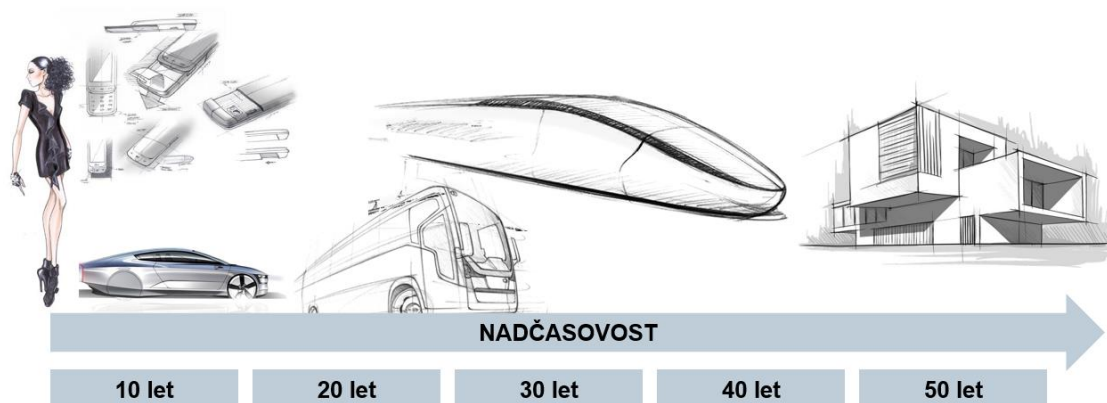
---

## 7. POSTUP ŘEŠENÍ PROBLÉMU DISERTACE

Metodicky pojmut komplexní téma, které je sestaveno z mnoha odlišných faktorů, vyžaduje získat ucelený přehled o funkčnosti návrhu vnitřního prostředí kolejového vozidla a jeho komponentech. Komponenty, které jsou předmětem zájmu nazýváme *kritické*. Pro rámec této práce bylo studováno mnoho zdrojů, které jsou jednak uvedeny v rešerši současného stavu problematiky rámce této práce, zrovna tak byly studovány i prameny oboru biologie, chemie, fyziky, fyziologie, medicíny, psychofyziky, psychologie a sociologie.

Fyziologický determinismus<sup>10</sup> je součástí téměř každého oboru, tedy i ve vztahu s hlukem, teplem, vibracemi a osvětlením ve vozidle. Z toho tedy vyplývá, že každý vztah mezi člověkem a prostředím interiéru vozidla je jedinečný a individuální.

V souvislosti s tématem udržitelnosti kolejové dopravy [7], str. 2, nebo [11], str. 13, součástí vývoje kolejového vozidla jsou i investice, které výrobce vloží do zpracování témat, které má potřebu zlepšovat, které přinesou udržitelný produkt po celou dobu jeho plánované životnosti. Navrhování kolejových vozidel není módní nebo produktový design. Obrázek 173 orientačně srovnává nadčasovost technického řešení kolejových vozidel s dalšími průmyslovými obory, zejména pak s automobilovým a autobusovým.



Obrázek 173 – Vhodně navržená nadčasovost technického řešení návrhu kolejového vozidla je předpokladem udržitelnosti železniční dopravy, [7][11]

<sup>10</sup> <https://cs.wikipedia.org/wiki/Determinismus>

Ačkoli se zdá přirozené více srovnávat kolejovou dopravu s dopravou autobusovou, neboť jde o způsob veřejné hromadné dopravy, historická fakta, a i současná vozidla v provozu tomu nenasvědčují.

V řadě států a městských aglomerací se provozují linky „historických“ vozidel, jejichž plánovaná životnost již dávno skončila a mnohdy díky retrofitu, kvalitní a jednoduché údržbě, konstrukční jednoduchosti nebo snadné dostupnosti náhradních dílů jsou vozidla stále v provozu. Tato skutečnost spíše naznačuje, že přirozenější směr vývoje vozidla není pouze produktový design komponent, ale architektura – umění prostoru.

Na druhou stranu, design interiéru vozidel se spíše inspiroje autobusovým a leteckým směrem modulárního užitku, respektive ji následuje, a s tím jsou spojené i nové metody hodnocení a přístupy v integraci komponent vozidla.

Podle výsledků studie udržitelnosti estetického návrhu kolejového vozidla [11], str. 24, je zásadní pomezí mezi udržitelností, životností a užitkovou modularitou interiéru s nízkými náklady na jeho výrobu. Cílem tedy je účelově a funkčně navrhnout vozidlo pomocí systémové integrace komponent a zároveň plnit požadavky na lidský faktor tak, aby nedošlo k odklonění od původní nosné myšlenky kolejového vozidla a nedošlo tak k radikálnímu přepracování návrhu.

Jak již bylo zmíněno výše, kolejová doprava je doprava hromadného typu. Pokud platí fyziologický determinismus na jedince, musí fungovat na všechny jedince. Z toho vyplývá použití fyzikálně-matematického modelu metody. Lze aplikovat individuálně v dané konstrukční situaci, lze aplikovat plošně, tedy pro více pozorovatelů a zvýšit tak komplexnost modelu.

Poznání oblasti heuristického přístupu metodiky [5], str. 249 až 250, přineslo nutnost dostatečně popsat základní systém metodiky a vyvodit jednoznačnou filozofickou myšlenku, která se prolína napříč celou metodikou.

V následujících kapitolách je popsána metodika krok po kroku s teoretickým výkladem a praktickým doplněním potřebných parametrů. Návrh metodiky ctí základní filozofii práce, tedy hledání synergie systému ČLOVĚK – PROSTŘEDÍ – VOZIDLO.

## 7.1. METODIKA A JEJÍ PROCES

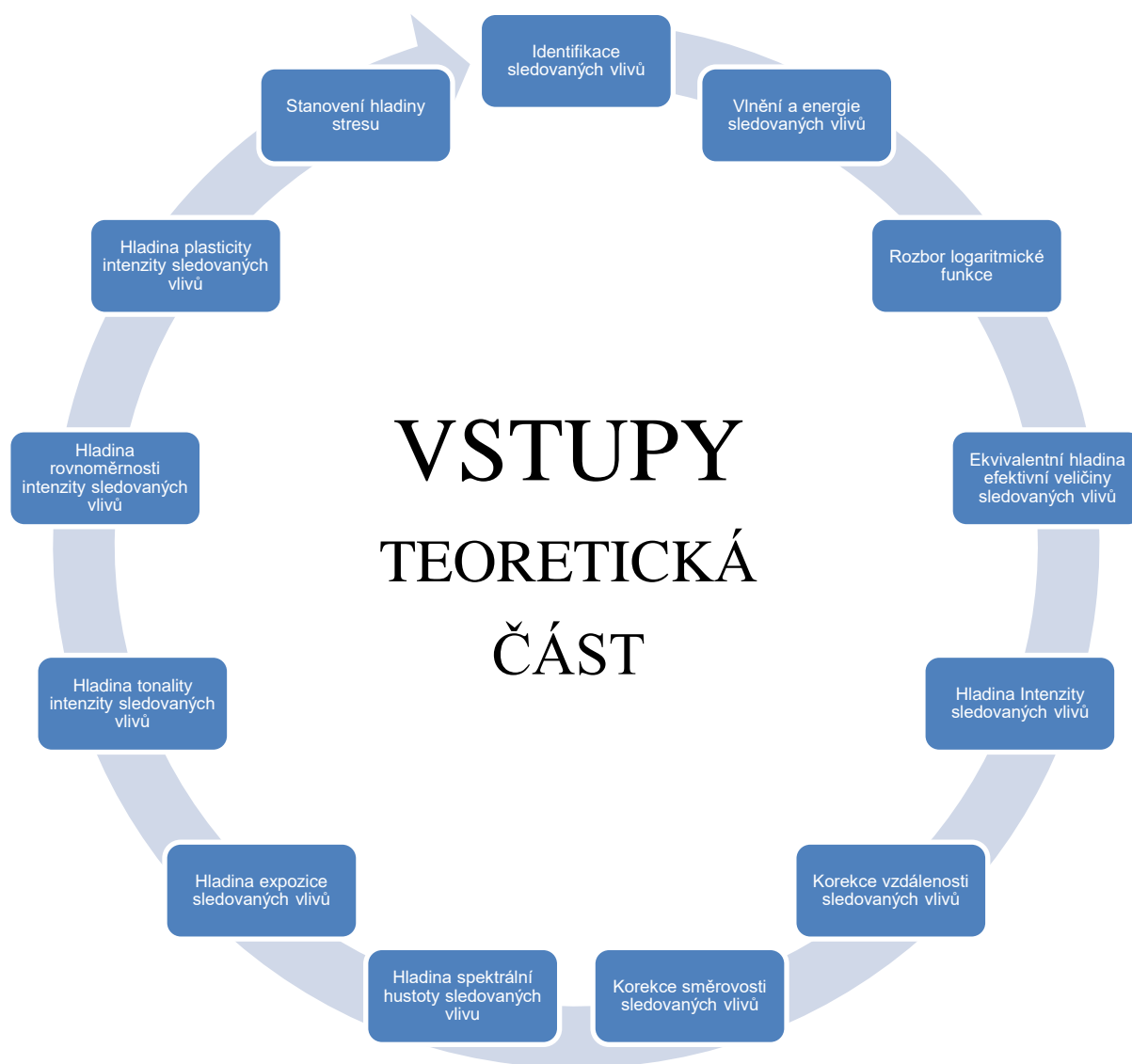
Jak dokládají výsledky studie hodnocení cestovní pohody [3], filozoficky je návrh metodiky založen na synergii systému ČLOVĚK – VOZIDLO – PROSTŘEDÍ. Výsledkem hodnocení míry udržitelnosti technického řešení kolejového vozidla ve vztahu k požadavkům lidského faktoru je průnik všech výše jmenovaných subsystémů. Průnik vytváří udržitelnou rovnováhu a základním kamenem sestavení metodiky, viz „Motivation Book“, příloha P01.

Prodrobnější popis tohoto systému je uveden ve studii akustické a optické pohody [7], str. 4. Následující Obrázek 174 naznačuje výsledek studie a popisuje princip hodnocení kvality návrhu vnitřního prostoru vozidla. Požadavky lidského faktoru, reprezentovány fyziologickými, hygienickými a komfortními limity musí být v rovnováze s energetickými účinky prostředí, které jsou do určité míry kontrolovány parametry vozidla.



Obrázek 174 - Princip hodnocení kvality prostředí, autor

Schématické znázornění metodiky, viz Obrázek 176 vyjadřuje iterační proces optimalizace. Následující kapitoly praktické části odpovídají jednotlivým fázím optimalizačního procesu, který lze znázornit jako kruhový proces, který je potřeba opakovat a revidovat pokaždé, dojde-li k úpravě jakéhokoliv parametru v rámci optimalizačního kolečka.



Obrázek 175 – Schéma teoretické části



Obrázek 176 - Schéma praktické části, autor



### *Příprava vstupů*

Vstupy jsou vyhodnoceny podle modelového Ishikavova diagramu, tzv. „rybí kosti“ na motivy diplomové práce, „*Použití Ishikawových nástrojů k řízení jakosti různých typů výroby*“, [15]. Diagramy jsou upraveny pro potřeby navrhované metodiky k jednoznačnému určení potřebných vstupů.

### *Návrh modelu člověka*

Popsání koordinačních systémů, směrů a rovin anatomického modelu člověka, dále jen **pozorovatele**, za použití 3D Human CAD systému Jack & Jill společnosti Siemens PLM, [121]. Nastavení parametrů komfortu a hygienických limitů pro jednotlivé vlivy působení, tedy tepla, světla, zvuku a zrychlení.

### *Návrh modelu vozidla*

CAD 3D model meziměstské jednotky s pojezdem B0'B0'. Prostorové rozvržení kritických komponentů vozidla. Model vychází z diplomové práce „*Čtyřnápravový elektrický trakční vůz pro regionální dopravu*“, [16] v synergii s diplomovou prací autora „*Modulární řešení regionální jednotky*“, [17]. Nastavení materiálových parametrů přenosu vlivů prostředí.

### *Návrh modelu prostředí*

Rozmístění potencionálních zdrojů (přirozené, umělé, parazitní) působících vlivů v prostoru vozidla. Simulování časových průběhů působících zdrojů jednotlivých vlivů. Nastavení parametrů intenzit potencionálních zdrojů ve vztahu s časem a prostorem.

### *Návrh sestavení přenosových funkcí ve vztahu k lidskému faktoru*

Sestavení základního diagramu přenosové funkce a přenosových korekcí. Obecná přenosová funkce je závislá na intenzitě zdroje, vzájemné poloze zdroje a pozorovatele, směru působení, frekvenční charakteristice a době expozice.

### *Návrh výpočtu přenosových funkcí ve vztahu k lidskému faktoru*

Výpočet výsledných intenzit působících vlivů v definovaných místech pozorovatele s ohledem na časové kombinace působících zdrojů podle simulovaných časových scénářů.

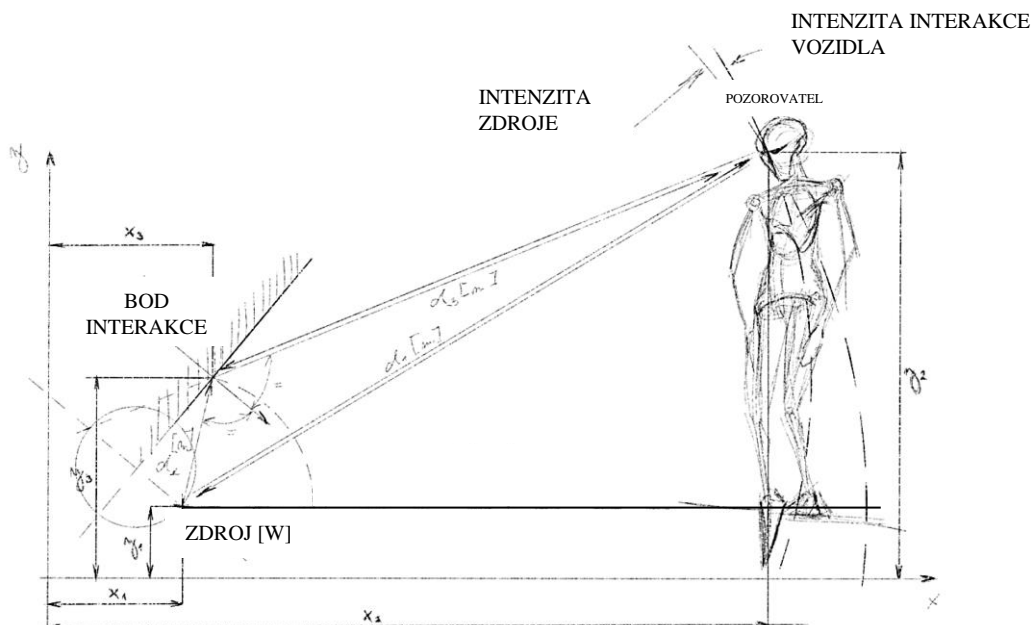
### *Návrh vyhodnocení přenosových funkcí ve vztahu k lidskému faktoru*

Stanovení časového průběhu dílčích a celkové hladiny stresu, vyhodnocení hladiny expozice stresu, hladiny spektrální hustoty stresu, hladiny rovnoměrnosti stresu, hladiny plasticity stresu a hladiny tonality stresu.

### *Optimalizační výstupy*

Identifikace nejpravděpodobnější příčiny diskomfortu v souvislosti se simulovaným scénářem expozice působení všech vlivů.

Aby vznikla kompletní metodika s možností integrovat komponenty kolejového vozidla je potřeba vozidlo v metodice zohlednit. Návrh konstrukce vozidla vytváří pro cestující uzavřené vnitřní prostředí, na které se hodí tzv. metoda sledování cest. Metoda je inspirována prostorovou akustikou a rovnicí radiozity [160] a je aplikací v kinematografii, 3D renderingu [161] a dnes již hojně využívána v matematickém modelování akustického [119] a světelného prostředí [116].



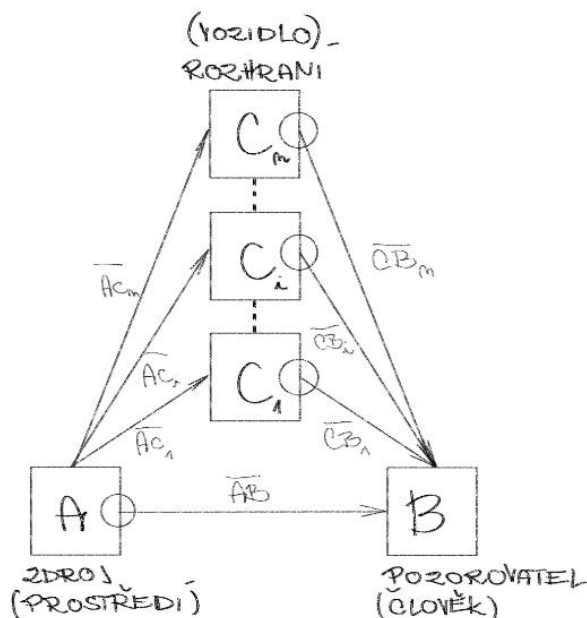
**Obrázek 177 - Znázornění zrakové interakce mezi prostředím, člověkem a vozidlem. Intenzita osvětlení dopadající do oka přímo od zdroje bude jiná, než intenzita odražená, autor**

Princip spočívá v hledání přímých a nepřímých cest od místa zdroje do místa pozorování, nebo opačným směrem. Nepřímá cesta je odražena od okolních ploch hraniční obálky a v místě odrazu je energie dopadu snížena o podíl odrazového parametru - proporcionálního činitele energetické interakce specifické pro určitý materiál komponentu.

Jak avizuje obrázek výše, zejména dálkové interakce, jako je sluch a zrak, jsou spjata s okolním prostředím, kdy energii produkovanou zdroji (jako je například slunce) člověk vnímá nejvíce jako energii odraženou. Jsou zde tedy i patrné relativistické vztahy mezi pozorovatelem, prostředím a zdrojem.

Intenzita zdroje je potom určující v tom, zda-li člověk ke zdroji inklinuje, nebo naopak se mu straní. Jednoduše řečeno, člověk pudově hledá sobě vlastní podmínky pohody, jako například když se chce zahřát, nebo naopak schladit, když se ke zvuku přiklání, protože je to pro něj informačně důležitý, nebo se straní, protože přílišná intenzita ho obtěžuje, apod.

Cílem je najít co nejkratší přímou cestu interakce mezi pozorovatelem a potenciačním zdrojem, případně co nejkratší cestu nepřímou, je-li potřeba. Následující schéma představuje znázornění přímých a nepřímých cest směrem od zdroje k pozorovateli.



Obrázek 178 - Schématické zobrazení principu sestavení přenosových cest

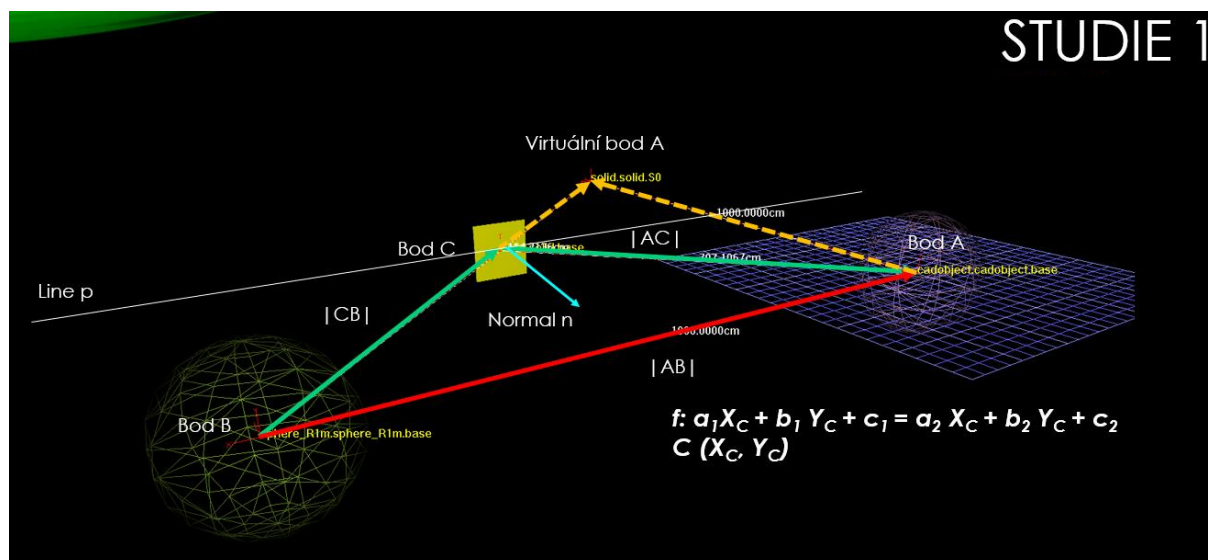
Přenosové funkce jsou sestaveny na základě grafického stanovení tzv. energetických cest návrhu vozidla. Každá cesta začíná v místě zdroje, který je definován svou polohou a orientací působení. Cesta od zdroje může být buď přímá, nebo odražená od okolních ploch, je-li patrná podmínka úhlu dopadu a odrazu Snellova zákona [162] a vede od zdroje, který je definován svojí intenzitou, spektrální hustotou, polohou, orientací a svojí expozicí.

Neexistuje-li aspoň jedna přímá cesta, počítají se nejvíce reprezentativní cesty jednou odražené od okolních ploch. Odražení vícekrát než jednou je také možné, ale v rámci této práce takové cesty nejsou uvažovány z následujících důvodů:

- Intenzita cesty počítaná přes více než jeden bod se obvykle exponenciálně snižuje. Dvakrát a více odražený signál velmi rapidně ztrácí potřebnou energii, jsou-li k tomu příčinné podmínky.
- Grafické zobrazení se může stát velmi nepřehledným, nepřímých cest narůstá s členitostí prostoru.
- Principiálně nepřímé cesty přes dva a více bodů odrazu fungují na stejném principu, jako cesty odražené jednou. Z akademických důvodů popsání metodiky jsou publikovány pouze cesty jednou odražené.

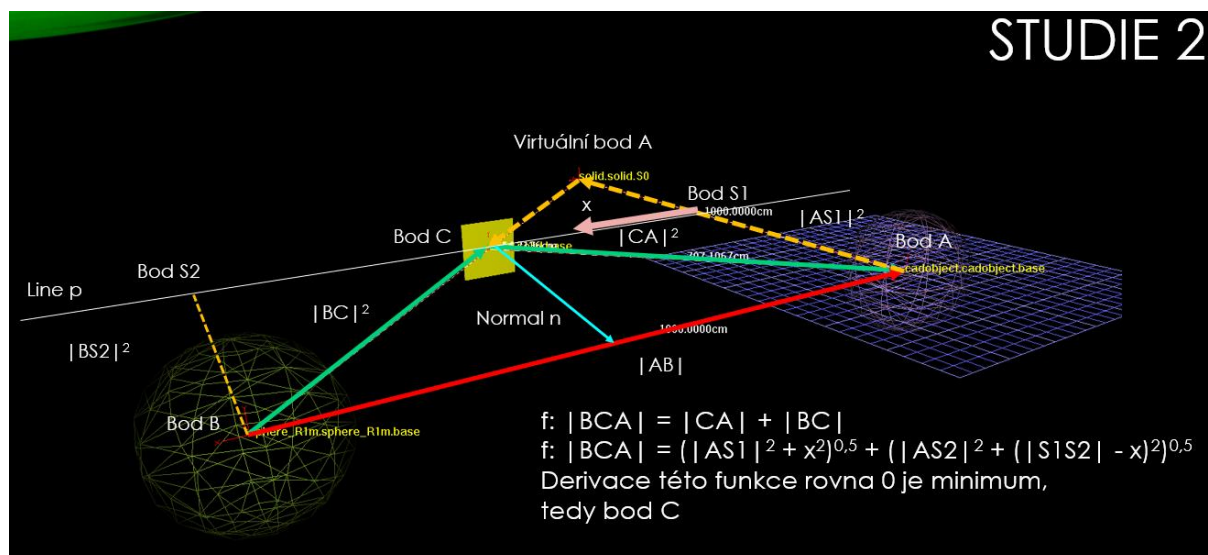
Cesty se tedy částečně odráží od vnitřního prostředí vozidla, tedy definovaných ploch. Jsou-li tyto plochy rovinné a je-li dodržen Snellův zákon dopadu a odrazu [162], lze potom určit bod interakce právě na příslušném místě příslušné plochy.

Celou situaci lze řešit pomocí geometrické analýzy na papíře pomocí tzv. „virtuálních bodů“, viz Obrázek 179. Ve směru normály plochy lze vytvořit virtuální bod za plochou, lépe řečeno bod zrcadlový. Spojnice mezi virtuálním bodem A a sledovaným bodem pozorovatele B vytvoří na interakční ploše průsečík C, který definuje ideální bod dopadu a odrazu mezi oběma reálnými body (A a B). V takovém případě se úhel dopadu rovná vždy úhlu odrazu od interakční plochy.



Obrázek 179 - Definice bodu odrazu od plochy interakce, studie 1 – grafická metoda za použití virtuálního bodu k určení průsečíku interakční plochy, autor.

Celou situaci lze řešit i matematicky jako derivaci minimální vzdálenosti odražené cesty v bodě C, celý výpočet lze nalézt viz příloha P04. Podstatné je si uvědomit, že v reálném světě existuje jen málo objektů se 100 % odrazivostí povrchu, ať již ve vztahu s chvěním, zvukem, světlem nebo teplem. Téměř vždy dochází k energetickým ztrátám, které je nutno započítat a které jsou kupříkladu dány materiálovou strukturou, změnou vnitřní energie, přeměnou apod.



Obrázek 180 - Definice bodu odrazu od plochy interakce, studie 2 – matematická metoda za použití derivace funkce k určení průsečíku za výpočtu jejího minima, autor.

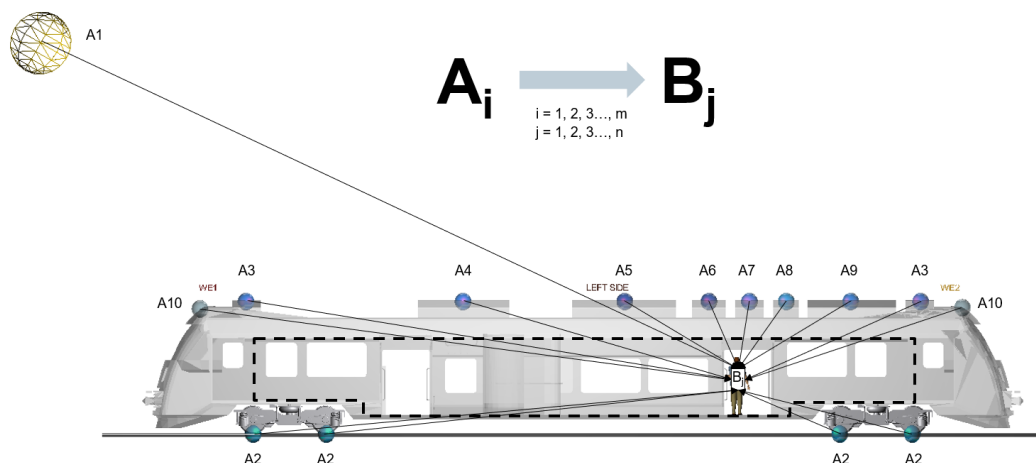
Tímto je dán analytický vztah mezi pozorovatelem, kritickým komponentem vozidla a zdrojem prostředí. Nyní je potřeba systematicky sestavit přenosové funkce tak, aby:

- metoda byla opakovatelná,
- byla zachována konzistence informační hodnoty modelu,
- byla popsána jasná souvislost mezi příčinami a následky působení sledovaných vlivů.

Metodicky je vhodné přistupovat k návrhu od obecného popisu matematického modelu a postupnými iteracemi návrh optimalizovat. Následující schémata vycházejí ze studie přenosových cest [3] a představují iterační fáze, jak sestavit přenosové cesty mezi jednotlivými zdroji a místy pozorovatele.

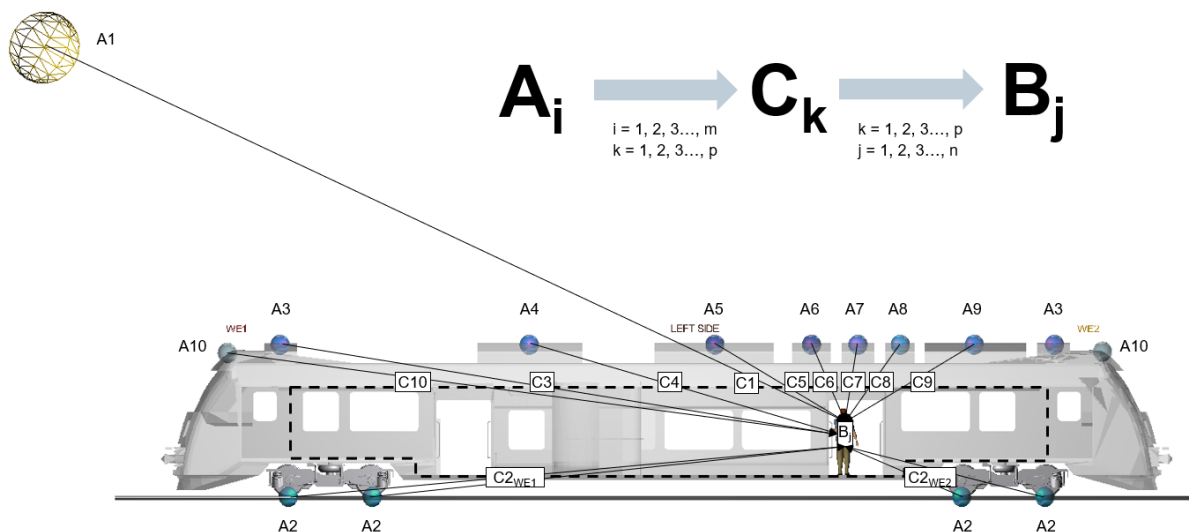
### 7.1.1. PRVNÍ FÁZE METODIKY – ROLE A SITUACE

V první fázi je vhodné vypočítat přímé cesty od potenciálních zdrojů k pozorovateli tak, jako by samotné vozidlo zatím neexistovalo. Výpočtem těchto přímých cest lze stanovit pořadí nejnervnějších zdrojů působících na člověka, a tím stanovit váhový význam každého uvažovaného zdroje. Základní schéma přenosových cest vyjadřuje následující obrázek.



Obrázek 181 - Základní schéma sestavení přenosových cest první fáze výpočtu. Přenosové funkce jsou naznačeny pouze mezi potenciálními zdroji A a místy pozorovatele B, autor.

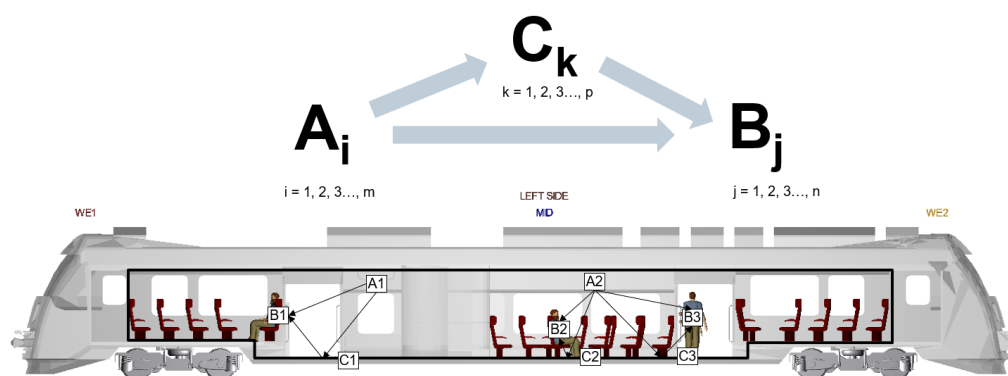
## 7.1.2. DRUHÁ FÁZE METODIKY – DOROVNÁNÍ ENERGIE



Obrázek 182 - Základní schéma optimalizace přenosových cest a zavedení konstrukčních prvků  $C_k$  návrhu vozidla, autor.

V souvislosti s výsledky studie akustické a optické pohody [7], str. 5, a s výsledky studie návrhu metodiky [8], str. 2, je cílem se zaměřit na konstrukci vozidla. Každá cesta, která překračuje hranici vnitřního prostoru existuje konstrukční bod C, který reprezentuje kritický komponent vozidla (podlaha, bočnice, strop, okna, dveře, apod.). Konstrukční body  $C_k$ , kde  $k$  je indexem daného zdroje, se vnáší na konstrukční hranici návrhu vozidla v průsečíku s přenosovou cestou.

## 7.1.3. TŘETÍ FÁZE METODIKY – PARAZITNÍ ZDROJE



Obrázek 183 - Základní schéma sestavení přenosových uvnitř vozidla. Interakce je ovlivněna parametrem odrazu, který je specifický pro každý interakční (kritický) komponent, autor.

Tato část počítá s možnými přenosy uvnitř vozidla. V případě vysokého energetického činitele odrazu materiálu je uvažován princip Snellova zákona. Všechny materiály ovšem reagují na různé vlivy odlišně a ve většině případech se odražená energie v bodu  $C_k$  dále šíří difúzně prostorem tak, že přenosová cesta  $C_k B_j$  se počítá obdobně jako cesta  $A_i B_j$ . s tím, že místo odrazu odpovídá parazitnímu zdroji se specifickým prostorovým úhlem produktivity a přenosová vzdálenost je pro každou cestu specifická.

## 7.2. NÁSTROJE POUŽITÉ K VYPRACOVÁNÍ METODIKY

Cílem metodiky je hodnocení prostředí a pochopení fungování návrhu konstrukce vozidla jako celku, komplexně. Rešerše estetického řešení kolejových vozidel [11], str. 24 až 30, naznačila směr v oblasti vývoje konstrukce kolejových vozidel, který jde neustále dopředu. Velkým krokem v pokroku technologií jsou i nástroje pro jejich vývoj. CAD systémy a matematické řešiče jsou nedílnou součástí vývoje vozidla. Návrh metodiky napomáhá lidské tvořivosti již od prvních návrhů koncepce vozidla na papíru, přes samotné konstrukční řešení při aplikaci 3D CAD nástrojů, simulačních programů a matematických řešičů.

Rámec této práce se zaměřuje na principiální popis metodiky, pro to jsou využity tyto nástroje:

- Grafické nástroje: Autodesk Sketchbook, MS Excel
- Výpočetní nástroje: Kalkulačka, MS Excel
- Simulační nástroje + Postprocessing: Simpack, Adobe Audition CS3, Adobe Photoshop CS3, Siemens PLM Jack&Jill 3D Human CAD, PTC Creo Parametric, PTC Creo View

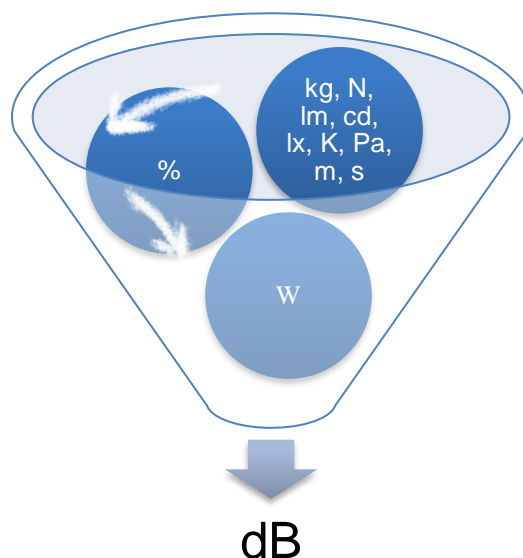


## TEORETICKÁ ČÁST

### 7.3. ROZBOR LOGARITMICKÉ FUNKCE

Matematická filozofie metodiky je založena na použití Weber-Fechnerova zákona [165] a Stevensova zákona výkonu [48], tedy logaritmického/exponenciálního popisu lidského vnímání okolního prostředí a byla představena jako studie této práce, [8].

Byly publikovány zcela zásadní výsledky [1], str. 34, které naznačující popis vnitřního prostředí vozidla a kdy je výhodné využít k výpočtu logaritmy, neboť lépe vystihují subjektivní vnímání objektivních efektivních veličin. Jednotlivé veličiny, specifické pro určitá fyzikální prostředí lze převést na společné jednotky výkonu, kdy efektivitu síly mechanického prostředí vzduchu a konstrukce vozidla, stejně tak i efektivní světelný výkon společně s měrným sdíleným teplem vyjadřujeme jako hladiny intenzit v decibelech.



Obrázek 184 - Převedení efektivních veličin na hladiny intenzit, autor

Další výhodou je převedení matematických operací, kdy jednotlivé členy přenosových funkcí mezi sebou nenásobíme, nýbrž sčítáme, poměry odečítáme a násobíme mocniny.

### 7.3.1. LOGARITMICKÁ FUNKCE HLADINY LEVEL

$$\text{Rovnice 25: } LEVEL = 10 \cdot \log \left( \frac{MAG}{REF} \right)^a = a \cdot 10 \cdot \log \frac{MAG}{REF} [dB]$$

Studie chování sledovaného vlivu v logaritmických hladinách [1] je zásadní v pochopení využití decibelových jednotek. Proto je nutné zanalyzovat logaritmickou<sup>11</sup> funkci, stejně jako její aplikaci pro matematický model. Pro jednoduchost zápisu je zavedeno společné značení pro jakoukoliv hodnotu libovolné veličiny, **MAG**<sup>12</sup>. Označení počítané hladiny je **LEVEL** a pro referenční hodnotu je zavedeno označení **REF** a je vyjádřena ve stejných jednotkách, jako libovolná veličina **MAG**.

Veličina **MAG** zastupuje efektivní fyzikální veličiny, jako jsou:

- hodnoty času  $t$  (s)
- hodnoty vzdálenosti  $s$  (m)
- hodnoty rychlosti  $v$  (m/s),
- hodnoty zrychlení  $a$  (m/s<sup>2</sup>),
- hodnoty změny zrychlení  $r$  (m/s<sup>3</sup>)
- hodnoty plochy  $A$  (m<sup>2</sup>)
- hodnoty objemu  $V$  (m<sup>3</sup>)
- hodnoty gradientu teploty  $\Delta T$  (K),
- hodnoty síly  $F$  (N),
- hodnoty akustického tlaku  $p_a$  (Pa),
- hodnoty mechanického výkonu  $P$  (W),
- hodnoty tepelného výkonu  $Q$  (W)
- hodnoty světelného toku  $\Phi$  (lm),
- hodnoty svítivosti  $I$  (cd),
- hodnoty jasů  $L$  (cd/m<sup>2</sup>)
- hodnoty intenzity osvětlení  $E$  (lm/m<sup>2</sup>, lx)

<sup>11</sup> Pozn. Autora: Logaritmickou funkcí se v této práci myslí logaritmus o základu 10.

<sup>12</sup> Poznámka autora: **MAG** je zkratkou anglického slova **MAGNITUDE**, volný překlad zní “velikost vektoru efektivní veličiny”.

- hodnoty akustické intenzity  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- hodnoty měrného délkového výkonu  $P_d$  ( $\text{W}/\text{m}$ )
- hodnoty měrného plošného výkonu  $N$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- hodnoty měrného objemového výkonu  $P_o$  ( $\text{W}/\text{m}^3$ )
- hodnoty měrného sdíleného tepla  $q$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- hodnoty informace  $i$  (bit), apod.

Převedením jednotek efektivních veličin na decibely je možné jen tehdy, známe-li referenční hodnoty, od kterých hladiny počítáme. Následující rovnice vyjadřuje hladinu vjemu **LEVEL**, která je závislá na logaritmické funkci podílu velikosti intenzity podnětu **MAG** a její prahové hodnotě **REF**. Logaritmická funkce je násobena destinasobkem hodnoty exponentu **a**. Jak uvádí *Weber-Fechnerův zákon* [165], exponent **a** je experimentálně stanovená hodnota.

Vzhledem k vysokým rozsahům hodnot efektivních veličin je výhodné využít decibelové jednotky a výsledné hodnoty hladin efektivních veličin v decibelech zaokrouhlovat pouze na jedno desetinné místo. Pro velké rozsahy efektivních veličin sledovaných vlivů se hojně využívá logaritmus o základu 10, dále jen psán zkráceně „log“, který bude užíván i v rámci této práce. Aby výsledek vycházel v decibelových jednotkách, násobí se logaritmická funkce 10ti, tedy „DECI-Bell“.

### 7.3.2. PRAHOVÉ HODNOTY VNÍMÁNÍ REF

Prahové hodnoty **REF** jsou odvozené od efektivní veličiny **MAG**, mají stejné jednotky. Vjemově citlivé orgány se vyznačují svými prahovými hodnotami vnímání intenzity vjemu, tedy minimální intenzity, kterou je člověk schopen zaregistrovat. Dostupné prahové hodnoty shrnuje následující Tabulka 19.

Tabulka 19 – Dostupné prahové hodnoty objektivního vnímání zvuku, vibrací, světla a tepla, [92][49][122]

FYZIKÁLNÍ VELIČINA <i>MAG</i>	PRAHOVÁ HODNOTA <i>REF</i>
Akustický tlak	$2 \cdot 10^{-5}$ Pa, [92]
Akustická energie	$10^{-12}$ J, [92]
Akustický výkon	$10^{-12}$ W, [92]
Akustický intenzita	$10^{-12}$ W/m <sup>2</sup> , [92]
Akustická expozice	$(2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa})^2 \text{ s}$ , [92]
Vzdálenost	1 m, [92]
Plocha	1 m <sup>2</sup> , [92]
Výchylka vibrací	$10^{-12}$ m, [92]
Rychlost vibrací	$10^{-9}$ m/s, nebo $5 \cdot 10^{-8}$ m/s [92]
Zrychlení vibrací	$10^{-6}$ m/s <sup>2</sup> , [92]
Síla vibrací	$10^{-6}$ N, [92]
Jas	$10^{-6}$ cd/m <sup>2</sup> , [49] str. 44
Gradient teploty	Není známo

Vzhledem k tomu, že biologické prahové hodnoty *REF* veličiny *MAG* jsou absolutní nebo vychází z experimentálně naměřených hodnot, některé prahové hodnoty *REF* jsou stanovené, jak například dokazuje ČSN 01 1304 v souladu s mezinárodními úmluvami ISO 1683, [44].

Stejně jako zrychlení, prahová hodnota jasu L (cd/m<sup>2</sup>) je hodnota svítivosti I (cd) vztažená na jeden metr čtvereční. Uvážíme-li, že je osvětlená plocha rovna jednomu m<sup>2</sup>, pak i prahová hodnota jasu odpovídá prahové hodnotě svítivosti.

Pro pochopení logaritmické funkce je předně nutné poznat, jaký vliv má hodnota *REF* na efektivní veličinu *MAG*. Obrázek 185 a Tabulka 20 předpokládá libovolnou efektivní veličinu, jejíž rozsah hodnot *MAG* se pohybuje řádově od  $10^{-12}$  do  $10^{12}$ . Jsou zvoleny čtyři prahové hodnoty *REF*, tedy vzájemně o tři řády rozdílné ( $10^{-12}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-3}$ ) a jsou pro ně vyjádřeny odpovídající hladiny *LEVEL* v decibelech. V tomto případě je hodnota exponentu  $a = 1$ .

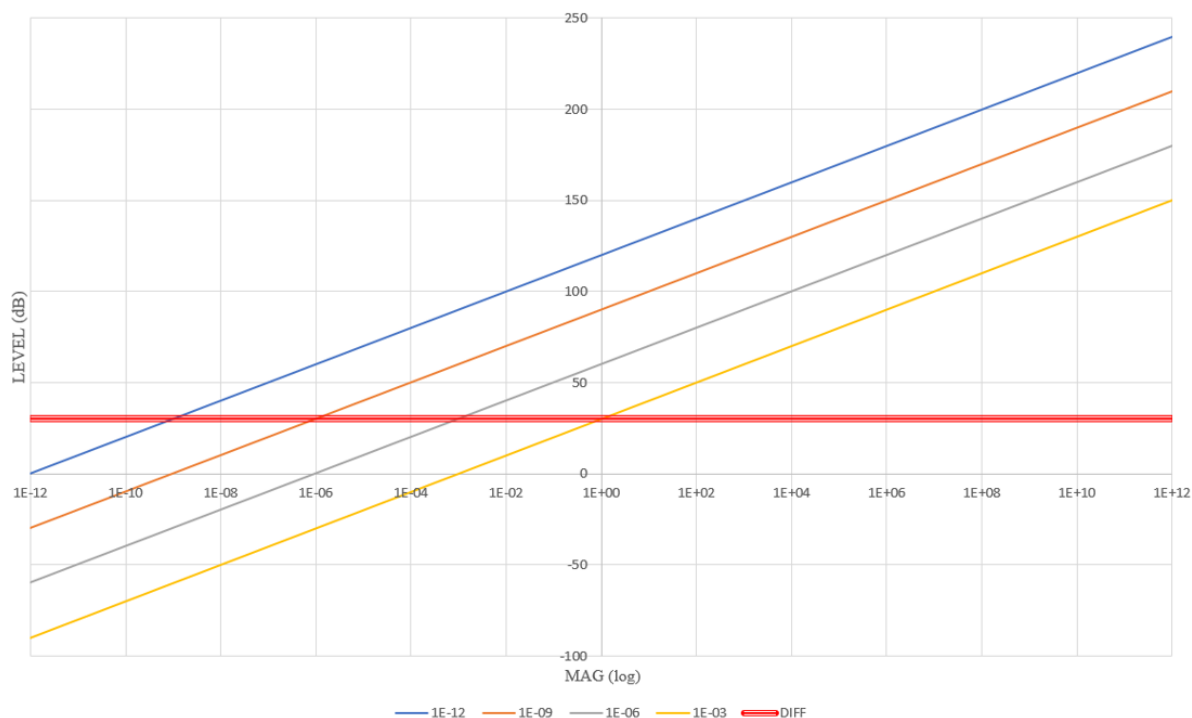
Tabulka 20 - Porovnání hodnot hladin efektivní veličiny při různých referenčních hodnotách, autor

MAG	REF	LEVEL	DIFF	MAG	REF	LEVEL	DIFF	MAG	REF	LEVEL	DIFF	MAG	REF	LEVEL
1E+12		240	30	1E+12		210	30	1E+12		180	30	1E+12		150
1E+11		230	30	1E+11		200	30	1E+11		170	30	1E+11		140
1E+10		220	30	1E+10		190	30	1E+10		160	30	1E+10		130
1E+09		210	30	1E+09		180	30	1E+09		150	30	1E+09		120
1E+08		200	30	1E+08		170	30	1E+08		140	30	1E+08		110
1E+07		190	30	1E+07		160	30	1E+07		130	30	1E+07		100
1E+06		180	30	1E+06		150	30	1E+06		120	30	1E+06		90
1E+05		170	30	1E+05		140	30	1E+05		110	30	1E+05		80
1E+04		160	30	1E+04		130	30	1E+04		100	30	1E+04		70
1E+03		150	30	1E+03		120	30	1E+03		90	30	1E+03		60
1E+02		140	30	1E+02		110	30	1E+02		80	30	1E+02		50
1E+01		130	30	1E+01		100	30	1E+01		70	30	1E+01		40
1	1E-12	120	30	1	1E-09	90	30	1	1E-06	60	30	1	1E-03	30
1E-01		110	30	1E-01		80	30	1E-01		50	30	1E-01		20
1E-02		100	30	1E-02		70	30	1E-02		40	30	1E-02		10
1E-03		90	30	1E-03		60	30	1E-03		30	30	1E-03		0
1E-04		80	30	1E-04		50	30	1E-04		20	30	1E-04		-10
1E-05		70	30	1E-05		40	30	1E-05		10	30	1E-05		-20
1E-06		60	30	1E-06		30	30	1E-06		0	30	1E-06		-30
1E-07		50	30	1E-07		20	30	1E-07		-10	30	1E-07		-40
1E-08		40	30	1E-08		10	30	1E-08		-20	30	1E-08		-50
1E-09		30	30	1E-09		0	30	1E-09		-30	30	1E-09		-60
1E-10		20	30	1E-10		-10	30	1E-10		-40	30	1E-10		-70
1E-11		10	30	1E-11		-20	30	1E-11		-50	30	1E-11		-80
1E-12		0	30	1E-12		-30	30	1E-12		-60	30	1E-12		-90

Modrá pole v tabulce představují referenční hodnoty **REF**, kdy je hladina **LEVEL** = 0. Zelená pole představují hladiny **LEVEL** pro hodnotu **MAG** = 1. Oranžová pole potom představují hladiny **LEVEL** pro **MAG** = 100, tedy konstantní dvacetidecibellový rozdíl pro všechny hladiny vůči hladině odpovídající **MAG** = 1. Červená pole potom představují reálné hodnoty **MAG** pro konstantní hladinu **LEVEL** = 150 dB.

Vzhledem ke konstantní hodnotě exponentu  $a = 1$  se všechny hladiny **LEVEL** zvyšují konstantně o 10 dB s každým řádem hodnoty **MAG**. Hodnota **REF** tedy určuje jak hluboko je „dno“ hladiny **LEVEL** ve vztahu k **MAG** = 1.

Význam referenční hodnoty v určování hladin



Obrázek 185 - Význam referenční hodnoty v určování hladin. Odstupňování jednotlivých hladin je reprezentováno hladinou DIFF, která je pro všechny hodnoty MAG konstantní, autor

Rozdíl mezi hladinami je tedy určen parametrem **DIFF**. Zvolí-li se libovolné číslo veličiny **MAG**, například 345,567891223456 s přesností na 12 desetinných míst, pro dvě prahové hodnoty **REF** lišící se ve 14ti řádech,  $10^{-12}$  a  $10^2$ . Výsledkem je výpočet dvou hladin s konstantním rozdílem **DIFF** = 140 dB. Tato hodnota je již od počátku dána řadovým rozdílem **REF** za předpokladu, že referenční hodnoty jsou menší než hodnota **MAG**. Viz. následující Tabulka 21.

Tabulka 21 – Porovnání hladin LEVEL pro hodnotu REF o 14 řádů nižší, než je hodnota MAG, a pro hodnotu REF menší avšak stejného řádu jako je hodnota MAG s výsledkem vzájemného rozdílu hladin DIFF, autor

REF	1E-12	1E+02
MAG	345,567891223456*	
LEVEL	145,385333827875	5,385333827875
DIFF	140,000000000000	

\*libovolně zvolené číslo

Je-li hodnota **REF** větší, než hodnota **MAG**, hladina **LEVEL** vychází v záporných hodnotách, jak představuje následující Tabulka 22.

Tabulka 22 - Porovnání hladin **LEVEL** pro hodnotu **REF** větší o řád než je hodnota **MAG**, a pro hodnotu **REF** o 14 řádů vyšší, než je hodnota **MAG**, a s výsledkem vzájemného rozdílu hladin **DIFF**, autor

REF	1E+03	1E+17
MAG		345,567891223456*
LEVEL	-4,614666172125	-144,614666172125
DIFF		140,000000000000

\*libovolně zvolené číslo

Z tabulek tedy vyplývá, že hladina **LEVEL** je kladná nebo záporná v závislosti na velikosti poměru **MAG/REF**. Prahová hodnota nemá žádný vliv na reálnou velikost efektivní veličiny **MAG**, pouze na hodnotu **LEVEL**, neboť výpočet funguje v obou směrech a při zachování stejné prahové hodnoty lze získat zpět efektivní hodnotu **MAG**.

Z pohledu určení prahové hodnoty teplotního gradientu v Kelvinech nebo stupních Celsia lze vyjádřit hladiny **LEVEL** pro jednotlivé efektivní hodnoty **MAG** v rozsahu desetiný stupně až po gradient teploty 100 °C(K). Uvažuje-li se hodnota exponentu  $a = 1$ , z následující tabulky vyplývá, se snižujícím se řádem hodnoty **REF** se zvyšuje hodnota hladiny **LEVEL** o 10 dB.

Výsledkem tohoto rozboru je možnost nastavení prahové hodnoty **REF** teplotního gradientu podle potřeb výpočtu hladiny **LEVEL**. Tímto je myšleno nastavení hodnoty hladiny **LEVEL** pro  $MAG = 1$  tak, aby nejlépe odpovídala potřebám stanovení metodiky této práce.

Reálně je člověk schopen rozpoznat rozdíl teploty na pokožce zhruba 0,5 °C. Běžné rtuťové teploměry jsou vybaveny stupnicemi v jednotkách °C, °F nebo K, digitální teploměry a teploměry měří teplotu s přesností jedné desetiny až setiny stupně. Speciální laboratorní teploměry pak dokáží měřit teploty s přesností ještě vyšší. Nížší prahové hodnoty se proto jeví univerzálnější napříč různými aplikacemi a výpočty. **Proto je zvolena hodnota  $10^{-6}$  K**, neboť je dostatečně nízká a zároveň ji lze jednoduše využít v metodice.



**Tabulka 23 - Topografie hladiny LEVEL gradientu teploty, s konstantní hodnotou exponentu  $a = 1$ , v závislosti na řádu hodnoty MAG a REF, autor.**

Gradient teploty		REF											
°C / K		1E-12	1E-11	1E-10	1E-09	1E-08	1E-07	1E-06	1E-05	1E-04	1E-03	1E-02	1E-01
MAG	0,1	110,0	100,0	90,0	80,0	70,0	60,0	<b>50,0</b>	40,0	30,0	20,0	10,0	0,0
	0,2	113,0	103,0	93,0	83,0	73,0	63,0	<b>53,0</b>	43,0	33,0	23,0	13,0	3,0
	0,3	114,8	104,8	94,8	84,8	74,8	64,8	<b>54,8</b>	44,8	34,8	24,8	14,8	4,8
	0,4	116,0	106,0	96,0	86,0	76,0	66,0	<b>56,0</b>	46,0	36,0	26,0	16,0	6,0
	0,5	117,0	107,0	97,0	87,0	77,0	67,0	<b>57,0</b>	47,0	37,0	27,0	17,0	7,0
	0,6	117,8	107,8	97,8	87,8	77,8	67,8	<b>57,8</b>	47,8	37,8	27,8	17,8	7,8
	0,7	118,5	108,5	98,5	88,5	78,5	68,5	<b>58,5</b>	48,5	38,5	28,5	18,5	8,5
	0,8	119,0	109,0	99,0	89,0	79,0	69,0	<b>59,0</b>	49,0	39,0	29,0	19,0	9,0
	0,9	119,5	109,5	99,5	89,5	79,5	69,5	<b>59,5</b>	49,5	39,5	29,5	19,5	9,5
	1	120,0	110,0	100,0	90,0	80,0	70,0	<b>60,0</b>	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
	2	123,0	113,0	103,0	93,0	83,0	73,0	<b>63,0</b>	53,0	43,0	33,0	23,0	13,0
	3	124,8	114,8	104,8	94,8	84,8	74,8	<b>64,8</b>	54,8	44,8	34,8	24,8	14,8
	4	126,0	116,0	106,0	96,0	86,0	76,0	<b>66,0</b>	56,0	46,0	36,0	26,0	16,0
	5	127,0	117,0	107,0	97,0	87,0	77,0	<b>67,0</b>	57,0	47,0	37,0	27,0	17,0
	6	127,8	117,8	107,8	97,8	87,8	77,8	<b>67,8</b>	57,8	47,8	37,8	27,8	17,8
	7	128,5	118,5	108,5	98,5	88,5	78,5	<b>68,5</b>	58,5	48,5	38,5	28,5	18,5
	8	129,0	119,0	109,0	99,0	89,0	79,0	<b>69,0</b>	59,0	49,0	39,0	29,0	19,0
	9	129,5	119,5	109,5	99,5	89,5	79,5	<b>69,5</b>	59,5	49,5	39,5	29,5	19,5
	10	130,0	120,0	110,0	100,0	90,0	80,0	<b>70,0</b>	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0
	20	133,0	123,0	113,0	103,0	93,0	83,0	<b>73,0</b>	63,0	53,0	43,0	33,0	23,0
30	134,8	124,8	114,8	104,8	94,8	84,8	<b>74,8</b>	64,8	54,8	44,8	34,8	24,8	
40	136,0	126,0	116,0	106,0	96,0	86,0	<b>76,0</b>	66,0	56,0	46,0	36,0	26,0	
50	137,0	127,0	117,0	107,0	97,0	87,0	<b>77,0</b>	67,0	57,0	47,0	37,0	27,0	
60	137,8	127,8	117,8	107,8	97,8	87,8	<b>77,8</b>	67,8	57,8	47,8	37,8	27,8	
70	138,5	128,5	118,5	108,5	98,5	88,5	<b>78,5</b>	68,5	58,5	48,5	38,5	28,5	
80	139,0	129,0	119,0	109,0	99,0	89,0	<b>79,0</b>	69,0	59,0	49,0	39,0	29,0	
90	139,5	129,5	119,5	109,5	99,5	89,5	<b>79,5</b>	69,5	59,5	49,5	39,5	29,5	
100	140,0	130,0	120,0	110,0	100,0	90,0	<b>80,0</b>	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	



### 7.3.3. VÝZNAM EXPONENTU $a$

Obecně lze použít veličinu  $MAG$ , kterou lze rozšířit o exponent  $a$ , který díky logaritmické funkci lze převést jako násobek logaritmu, viz Rovnice 26.

$$\text{Rovnice 26: } LEVEL = a \cdot 10 \cdot \log\left(\frac{MAG}{REF}\right) [dB]$$

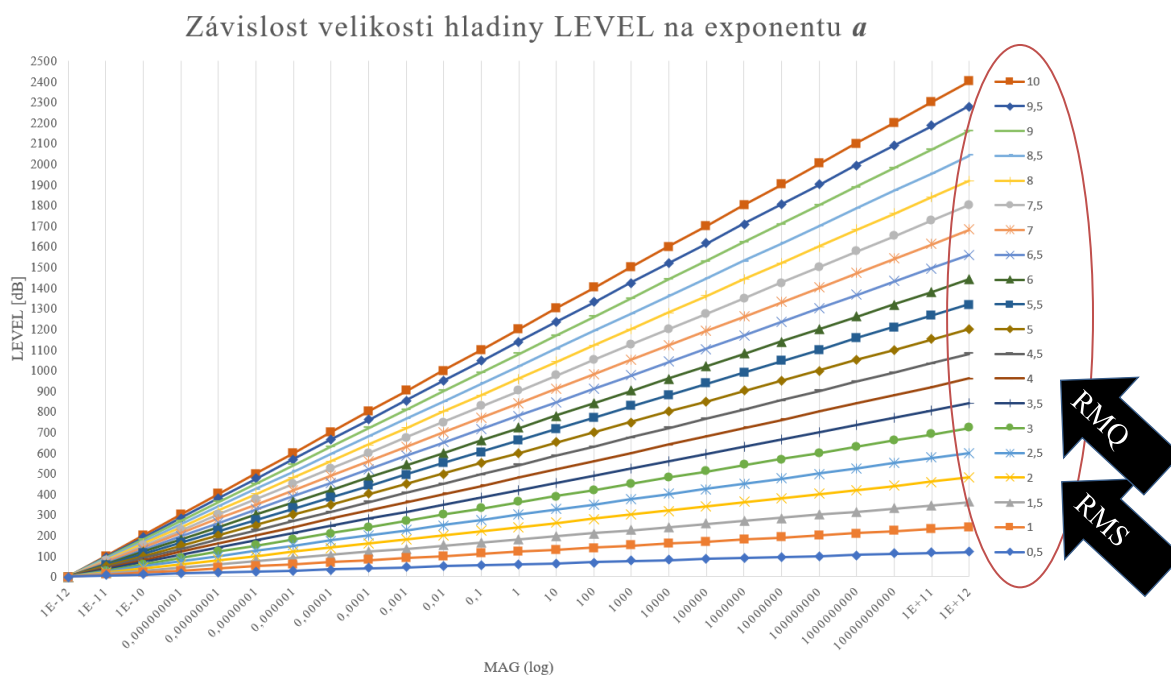
Potom, podle Rovnice 26, budou hladiny  $LEVEL$  vypadat, jak mapuje Tabulka 24.

Tabulka 24 - Topografie citlivosti hladiny  $LEVEL$  v závislosti na hodnotě exponentu  $a$ , autor

		LEVEL [dB]																			
REF	1E-12																				
a	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	
MAG	1E-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1E-11	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	1E-10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
	1E-09	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300
	1E-08	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
	1E-07	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500
	1E-06	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
	1E-05	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560	595	630	665	700
	1E-04	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800
	0,001	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495	540	585	630	675	720	765	810	855	900
	0,01	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
	0,1	55	110	165	220	275	330	385	440	495	550	605	660	715	770	825	880	935	990	1045	1100
	1	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200
	10	65	130	195	260	325	390	455	520	585	650	715	780	845	910	975	1040	1105	1170	1235	1300
	100	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700	770	840	910	980	1050	1120	1190	1260	1330	1400
	1000	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050	1125	1200	1275	1350	1425	1500
	10000	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360	1440	1520	1600
	1E+05	85	170	255	340	425	510	595	680	765	850	935	1020	1105	1190	1275	1360	1445	1530	1615	1700
	1E+06	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900	990	1080	1170	1260	1350	1440	1530	1620	1710	1800
	1E+07	95	190	285	380	475	570	665	760	855	950	1045	1140	1235	1330	1425	1520	1615	1710	1805	1900
1E+08	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
1E+09	105	210	315	420	525	630	735	840	945	1050	1155	1260	1365	1470	1575	1680	1785	1890	1995	2100	
1E+10	110	220	330	440	550	660	770	880	990	1100	1210	1320	1430	1540	1650	1760	1870	1980	2090	2200	
1E+11	115	230	345	460	575	690	805	920	1035	1150	1265	1380	1495	1610	1725	1840	1955	2070	2185	2300	
1E+12	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440	1560	1680	1800	1920	2040	2160	2280	2400	

Hodnoty hladin **LEVEL** jsou vypočítány v rozsahu hodnot **MAG** od  $10^{-12}$  do  $10^{12}$ , pro **REF**  $10^{-12}$  a v závislosti na exponentu **a**, který nabývá hodnot od 0,5 do 10. Hodnoty limitně blíží se nule jsou zbarveny do zelena, hodnoty limitně blíží se k maximu jsou zbarveny červeně.

Zatímco hodnoty **LEVEL** závislé na  $a = 0,5$  vrůstají po 5-ti decibelech, hodnoty **LEVEL** závislé na  $a = 10$  vrůstají po 100 dB. Zde je tedy patrný význam exponentu, který určuje o kolik se mění hladina **LEVEL** v závislosti na veličině **MAG**. Více názorný je Obrázek 186, který představuje exponent **a** jako směrnici logaritmické závislosti hladiny **LEVEL** na logaritmu efektivní hodnoty **MAG**.



**Obrázek 186 - Závislost velikosti hladiny LEVEL na exponentu **a**. V případě mechanického výkonu, jako jsou vibrace nebo zvuk se standardně počítají RMS hodnoty, kdy hodnota exponentu  $a = 2$ , nebo RMQ hodnoty, kdy hodnota exponentu  $a = 4$ , autor.**

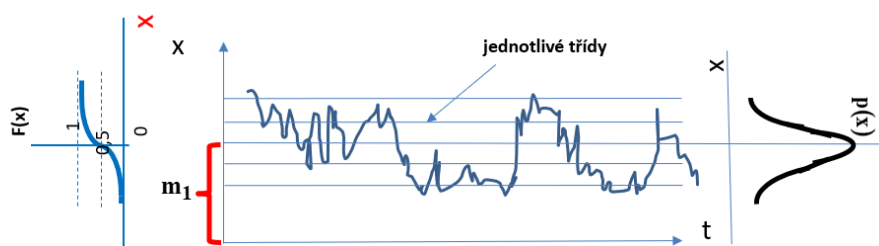
Hodnota exponentu **a** nastavuje „*exponenciální citlivost*“ logaritmické funkce výpočtu výsledné hladiny v decibelech.

## 7.4. EKVIVALENTNÍ HLADINA EFEKTIVNÍ VELIČINY $LEVEL_{EKV}$ MECHANICKÉHO VLNĚNÍ

Jak již bylo zmíněno v odstavcích výše, označení **MAG** zastupuje řadu efektivních veličin. Tato práce se zabývá vlivy, jako jsou zvuk, vibrace, světlo a teplo. Tyto vlivy nejlépe charakterizují následující efektivní veličiny:

- akustický tlak,
- zrychlení hmotného bodu,
- světelný tok a
- teplota.

Časový průběh hodnot efektivní veličiny lze vnímat jako náhodný proces, viz Obrázek 187.



Obrázek 187 - Náhodný proces efektivní veličiny v čase  $t$ , vlevo distribuční funkce, vpravo Gaussovo rozložení pravděpodobnosti, parametr  $m_1$  představuje aritmetický průměr hodnot náhodného procesu v čase, obrázek převzat z přednášky Prof. Ing. Ladislava Ruse DrSc., [177].

Změna hodnoty náhodné efektivní veličiny **MAG** v průběhu času  $t$  odpovídá práci, která je vykonána díky obsažené energii v daném prostředí. Neboť některé efektivní veličiny mohou nabývat i záporných hodnot, je vhodné v takových případech počítat tzv. „*druhý centrální moment*“ náhodné veličiny odpovídající rozptylu efektivních hodnot, jinými slovy „*kvadratického průměru*“ průběhu veličiny **MAG**.

Kvadratický průměr je vzdálenou obdobou průměru váženého, v tomto případě se přikládá větší důraz na hodnoty rozptylu vzdálenější mediánu, nebo-li aritmetickému průměru s druhou mocninou. Zpětným odmocnění mocniny integrálu časové expozice signálu se získá tzv. efektivní hodnota veličiny, viz Rovnice 27:

$$\text{Rovnice 27: } \mathbf{MAG}_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{MAG}(t)^2 dt}$$

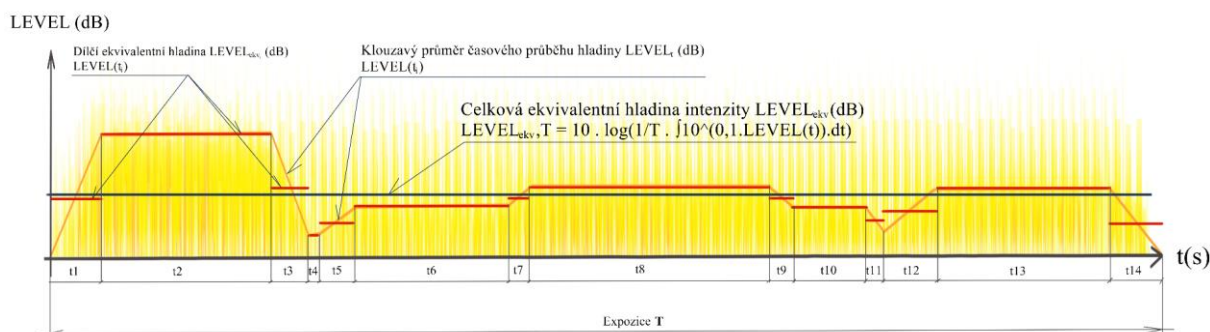
Potom bude ekvivalentní výkon roven čtverci efektivní veličiny  $MAG_{ef}^2$ :

$$\text{Rovnice 28: } MAG_{ef}^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_1}^{t_2} MAG(t)^2 dt$$

Je-li známá efektivní veličina a celkový čas, ekvivalentní hladina efektivní veličiny je:

$$\text{Rovnice 29: } LEVEL_{ekv} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{\tau_1 - \tau_2} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{MAG_{ef}^2}{REF^2} d\tau \right] [dB]$$

$$\text{Rovnice 30: } LEVEL_{ekv} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{T} \cdot \left( \sum_{i=1,2,3...T} 10^{(0,1 \cdot LEVEL_i)} \right) \right] [dB]$$



Obrázek 188 - Ekvivalentní hladina intenzity v celkové expozici - černá čára, dílčí ekvivalentní hladiny dílčích časových expozic - červená čára, hladina klouzavého průměru intenzity – oranžová čára, hladina intenzity v závislosti na čase - žluté pole, autor

## 7.5. HLADINA INTENZITY VLNĚNÍ

Tato metodika používá společnou referenční hodnotu pro vyjadřování hladin výkonu  $REF-P = 10^{-12}$  W a pro vyjadřování intenzit  $REF-I = 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>. Potom hodnota výkonu 1 W, nebo intenzity 1 W/m<sup>2</sup> odpovídá hladině 120 dB při hodnotě exponentu  $a = 1$ .

Tyto referenční hodnoty vycházejí z akustiky a normy ČSN 01 1304 - Veličiny, jednotky a značky v akustice“, [104], nebo ISO 1683 [92], kde byly stanoveny. Je potřeba dokázat, zda-li je možné použít výše uvedené hodnoty  $REF$  pro všechny čtyři vlivy.

**Tabulka 25 - Jednotné vyjádření výkonu pro všechny uvažované vlivy prostředí, autor**

<b>Metrický výkon [W]</b> <b>Metrická intenzita [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Hladina výkonu [dB]</b> <b>Hladina intenzity [dB]</b>
0,000000000001	0,00
0,00000000001	10,00
0,0000000001	20,00
0,000000001	30,00
0,00000001	40,00
0,0000001	50,00
0,000001	60,00
0,00001	70,00
0,0001	80,00
0,001	90,00
0,01	100,00
0,1	110,00
1	120,00
10	130,00
100	140,00
1000	150,00
10000	160,00
100000	170,00
1000000	180,00
10000000	190,00
100000000	200,00

### 7.5.1. HLADINA ZVUKOVÉ INTENZITY LEVEL- $I_{\text{HLUK}}$

Prahová hodnota vnímání akustického tlaku je  $REF-p = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa, podle ČSN 01 1304 - *Veličiny, jednotky a značky v akustice*, [104], nebo dle ISO 1683 [92]. Hladina akustického tlaku  $LEVEL_{p1}$  při efektivní hodnotě  $MAG-p = 1$  Pa podle Rovnice 31 odpovídá hodnotě 94 dB. Vzhledem k tomu, že jde o mechanické kmitání hmoty vzduchu, akustický tlak je superponovaný na tlaku atmosférickém, kolem kterého kmitá. Je zavedena tedy druhá mocnina efektivní hodnoty akustického tlaku pro výpočet hladiny akustického tlaku, viz skriptum ČVUT Hluk a chvění [44], str. 72.

$$\text{Rovnice 31: } LEVEL_{p1} = 10 \cdot \log \left( \frac{MAG-p}{REF-p} \right)^2 = 20 \cdot \log \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} = 94 \text{ [dB]}$$

Hlavními akustickými veličinami jsou akustická rychlost a akustický tlak. Mezi akustickou rychlostí a akustickým tlakem je konstantní poměr a nazývá se *měrná vlnová impedance*, zkráceně *impedance zvukového prostředí  $Z_p$* , viz skriptum ČVUT Hluk a chvění [44], str. 57.

Lidské ucho se vyvinulo, aby správně fungovalo ve vzdušném prostředí. Výsledky studie „Odezvy člověka na akustické podněty“ [10] naznačují, že při akustických výpočtech vzdušného prostředí se jeho impedance neuvažuje, neboť je již zahrnuta v referenční hodnotě akustického tlaku,  $REF-p = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa. Impedance vzdušného prostředí odpovídá součinu hustoty vzduchu  $\rho_{\text{vzduch}}$  a rychlosti šíření zvuku  $c_{\text{zvuk}}$ , viz rovnice níže. Nutno dodat, že rychlost šíření zvuku je na hustotě vzduchu závislá, stejně tak na dynamickém modulu pružnosti vzduchu. Z toho plyne, že stejný vztah bude platit pro jakékoliv jiné prostředí, je-li známá jeho hustota  $\rho$  a rychlost šíření energie  $c$  v daném prostředí.

$$\text{Rovnice 32: } Z_{\text{vzduch}} = \rho_{\text{vzduch}} \cdot c_{\text{zvuk}} = 1,21_{20^\circ\text{C}} \cdot 343,5_{20^\circ\text{C}} = 4,14 \cdot 10^2 \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^3}; \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Rovnice 33: } LEVEL_{\rho} = 10 \cdot \log \left( \frac{1,21_{20^\circ\text{C}}}{1,32} \right) = -0,4 \text{ [dB]}$$

$$\text{Rovnice 34: } LEVEL_c = 10 \cdot \log \left( \frac{343,5_{20^\circ\text{C}}}{300} \right) = 0,6 \text{ [dB]}$$

Prahová hodnota akustického výkonu potom odpovídá velikosti součinu referenční hodnoty čtverce akustického tlaku  $4 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}$  a referenční hodnoty impedance prostředí  $REF-Z_p = 3,96 \cdot 10^{-2} \text{ Ns/m}^3$ . viz *Příručka elektroakustiky* [47], str. 18.

$$\text{Rovnice 35: } LEVEL_{Z_p} = 10 \cdot \log\left(\frac{413,8}{396}\right) = 0,2 \text{ [dB]}$$

Potom podle výše zmíněných zdrojů, [44] str. 75 a [47] str. 18, lze vyjádřit vztah pro výpočet akustické intenzity, nebo-li akustického výkonu vztaženého na  $1 \text{ m}^2$ :

$$\text{Rovnice 36: } I = \frac{p_{ef}^2}{Z} \left[ \text{W} / \text{m}^2 \right].$$

Výsledná hladina akustické intenzity potom bude odpovídat rozdílu hladiny efektivního akustického tlaku a hladiny impedance prostředí vzduchu. Vzhledem k tomu, že lidské ucho je fyziologicky přizpůsobeno k vnímání zvuku ve vzdušném prostředí, hladina impedance odpovídá zhruba  $0,2 \text{ dB}$ , viz. [47], str. 18, neboť efektivní hodnota impedance vzduchu  $MAG-Z_{p1}$  je vůči hodnotě  $REF-Z_{p1} = 396 \text{ Ns/m}^3$  mnohdy zanedbatelná. Potom hladinu efektivního akustického tlaku lze pokládat za odpovídající hladině akustické intenzity, více [44], str. 75 a **Rovnice 37**.

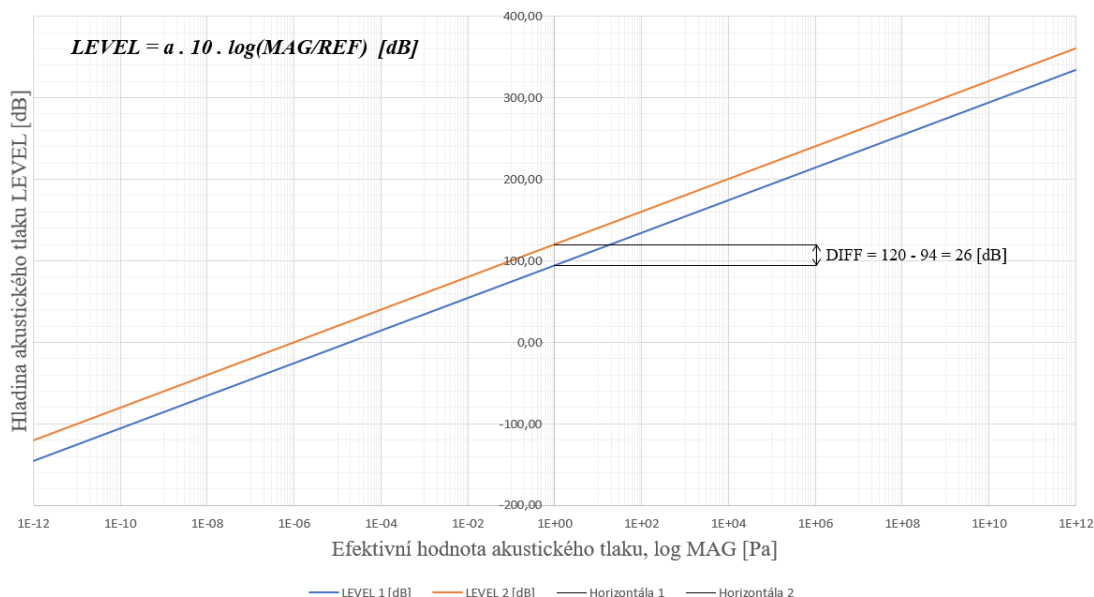
$$\text{Rovnice 37: } LEVEL - I_{zvuk} = LEVEL_p 1 - LEVEL_{Z_p} 1 = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{2 \cdot 10^{-5}}\right) - 10 \cdot$$

$$\log\left(\frac{413,8}{396}\right) = 94 - 0,2 = 93,8 \text{ [dB]}$$

V úvaze jsou i jiná prostředí, než je vzduch. Rovnice 32 vyjadřuje závislost impedance na hustotě prostředí a rychlosti šíření zvuku. Ze zkušeností z předchozí kapitoly 7.3.2. je známo, že lze hladiny posouvat v celém rozsahu pomocí referenčních hodnot.

Je proveden myšlenkový experiment, kdy jsou vyjádřeny dvě hladiny efektivního akustického tlaku s odlišnými hodnotami  $REF$ . Následující obrázek představuje dvě hladiny  $LEVEL$  vyjádřené pro stejný rozsah veličiny  $MAG$  (tedy akustického tlaku).

Odvození rozdílové hladiny  $DIFF = 26 \text{ dB}$  srovnáním hladin akustického tlaku  $LEVEL 1$  pro referenční hodnotu  $REF 1 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  a  $LEVEL 2$  pro hodnotu  $REF 2 = 10^{-6} \text{ Pa}$  v závislosti na hodnotě  $MAG$  při hodnotě exponentu  $a = 2$



Rozdíl mezi oběma hladinami je pro všechny hodnoty efektivní veličiny  $MAG-p 2$  konstantní v plném jeho rozsahu. Počítá-li se hladina akustického tlaku s referenční hodnotou  $REF-p 2 = 10^{-6} \text{ Pa}$ , vždy je výsledná hladina  $LEVEL_p 2$  o  $26 \text{ dB}$  vyšší, než hladina  $LEVEL_p 1$ . Sklon obou křivek je potom dán exponentem citlivosti  $a = 2$ .

Prínosem studie [10] je zjištění, že běžně počítané akustické hladiny jsou vztaženy k dohodnutým hodnotám referenčních hladin na základě norem a referenční hodnota akustického tlaku je svázána se vzduchovou impedancí, kterou lze měřit, a tím lze změnit hodnotu  $REF-Zp$  ze  $396 \text{ Ns/m}^3$  například na  $1 \text{ Ns/m}^3$ . Potom hodnoty dosazené do předchozí rovnice budou ve výsledku dávat stejný výsledek hodnoty hladiny intenzity zvuku  $LEVEL-I_{ZVUK}$ , jak popisuje následující rovnice. Hladina zvukové impedance vzdušného prostředí  $LEVEL-Zp_{VZDUCH} = 26,2 \text{ dB}$ .

$$\text{Rovnice 38: } LEVEL - I_{ZVUK} = LEVEL_p 2 - LEVEL_{Zp2} = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{10^{-6}}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{413,8}{1}\right) = 120 - 26,2 = 93,8 \text{ [dB]}$$

Následující tabulka představuje závislost zvukové objemové impedance vzduchu na teplotě vzduchu.

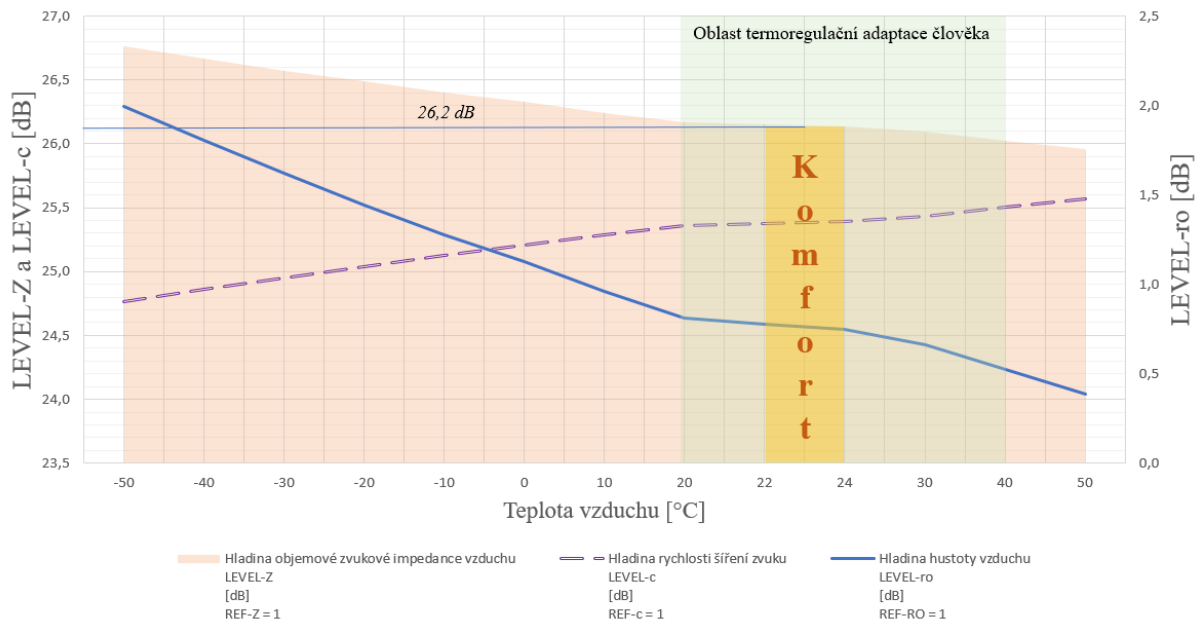


Tabulka 26 - Vypočítané hladiny hustoty, rychlosti šíření zvuku vzduchem a celkové zvukové impedance v závislosti na teplotě vzduchu. Rychlosti šíření zvuku jsou spočítány podle vzorce, viz.[44], str. 48, hodnoty hustoty vzduchu převzaty z Engineering Toolbox, [178].

Teplota vzduchu [°C]	Hustota vzduchu [kg/m <sup>3</sup> ] dle [177]	Rychlost šíření zvuku vzduchem c [m/s] dle [42]	Zvuková objemová impedance vzduchu Z [Ns/m <sup>3</sup> ]	Hladina hustoty vzduchu LEVEL-ro [dB] REF-ro = 1	Hladina rychlosti šíření zvuku LEVEL-c [dB] REF-c = 1	Hladina objemové zvukové impedance vzduchu LEVEL-Z [dB] REF-Z = 1
-50	1,6	299,7	474,3	2,0	24,8	26,8
-40	1,5	306,4	464,0	1,8	24,9	26,7
-30	1,5	312,9	454,4	1,6	25,0	26,6
-20	1,4	319,2	445,4	1,4	25,0	26,5
-10	1,3	325,5	436,8	1,3	25,1	26,4
0	1,3	331,6	429,7	1,1	25,2	26,3
10	1,2	337,6	421,1	1,0	25,3	26,2
20	<b>1,2</b>	<b>343,5</b>	<b>413,8</b>	<b>0,8</b>	<b>25,4</b>	<b>26,2</b>
22	1,2	344,7	412,4	0,8	25,4	26,2
24	1,2	345,9	411,1	0,7	25,4	26,1
30	1,2	349,3	406,9	0,7	25,4	26,1
40	1,1	355,1	400,4	0,5	25,5	26,0
50	1,1	360,7	394,2	0,4	25,6	26,0

Výsledky výpočtu graficky znázorňuje následující Obrázek 189. Ve 100 stupňovém rozsahu teplot (-50 °C až 50 °C) celková impedance zvuku s rostoucí teplotou vzduchu klesne o **0,8 dB**, stejně jako klesá hustota vzduchu s dvojnásobným rozdílem **1,6 dB**, zatímco naopak rychlost šíření zvuku v celém rozsahu stoupne o **0,8 dB**.

Závislost hladiny zvukové objemové impedance  $LEVEL-Z$ , hladiny rychlosti šíření zvuku  $LEVEL-c$  a hladiny hustoty vzduchu  $LEVEL-ro$  na teplotě vzduchu za použití referenční hodnoty  $REF-Z, c, ro = 1$  a exponentu citlivosti  $a = 1$



Obrázek 189 - Porovnání vlivu hustoty prostředí a rychlosti šíření zvuku na hladinu impedance prostředí, autor.

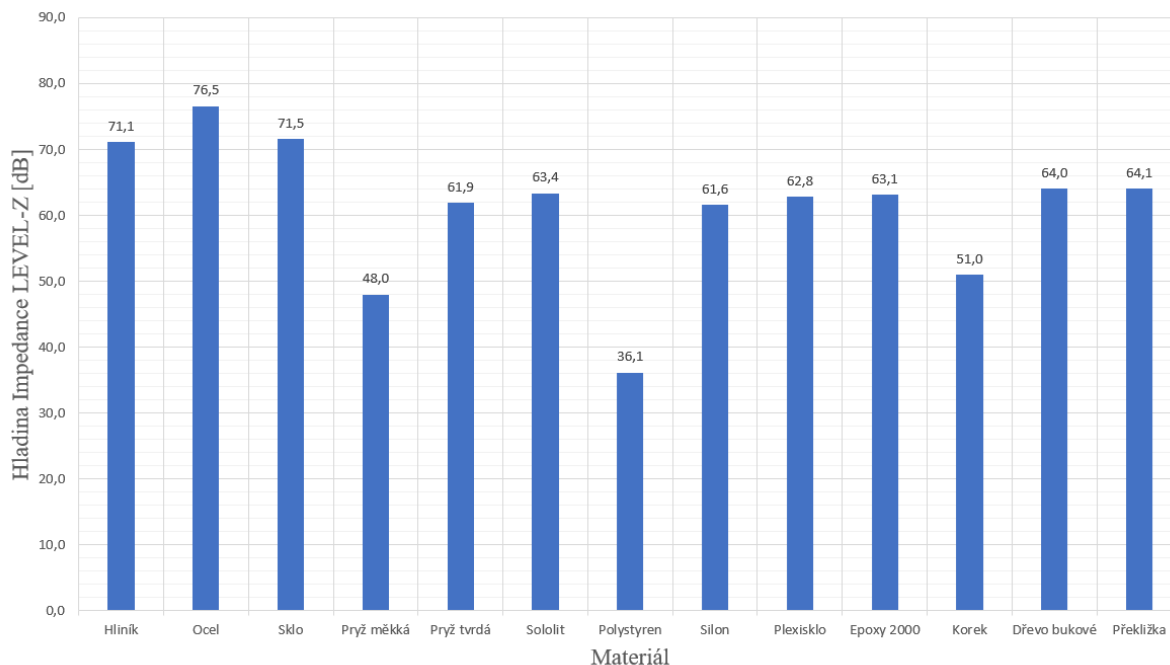
Obecná rovnice výpočtu intenzity zvuku potom bude:

$$\text{Rovnice 39: } LEVEL - I_{ZVUK} = LEVEL_{MAG} - LEVEL_Z = LEVEL_{MAG} - (LEVEL_{hustota} + LEVEL_{rychlost \text{ šíření}}) = 20 \cdot \log\left(\frac{MAG-p}{REF-p}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{MAG-Zp}{REF-Zp}\right) [dB],$$

kde  $MAG-p$  je efektivní hodnota akustického tlaku v pascálech,  $REF-p = 10^{-6}$  Pa,  $MAG-Zp$  je odpovídající hodnota impedance prostředí a  $REF-Zp = 1$  Ns/m<sup>3</sup>.

Obrázek 190 představuje přehled hladin zvukových impedancí pro jiné konstrukční materiály. Je-li známa hustota a dynamický modul objemové pružnosti materiálu, lze stanovit výslednou impedanci přenosového prostředí.

Hladina objemové zvukové impedance LEVEL-Z [dB]  
pro různé konstrukční materiály



Obrázek 190 - Přehled hladin impedancí pro různé typy materiálu. Hladiny jsou vypočítány na základě materiálových hodnot uvedených v [44], str. 49, Tabulka 2-2

### 7.5.2. HLADINA INTENZITY ZRYCHLENÍ LEVEL-I<sub>ZRYCHLENÍ</sub>

Prahová hodnota **REF** zrychlení je **REF-a** = 10<sup>-6</sup> m/s<sup>2</sup>, dle ISO 1683. Stejně jako u akustického tlaku, mechanické chvění a vibrace představuje kmitání kolem rovnovážné polohy hmotného tělesa. Dynamické projevy jsou superponované na statickém zatížení, kolem kterého kmitají. Hladina zrychlení při efektivní hodnotě **MAG-a** = 1 m/s<sup>2</sup> podle Rovnice 40 odpovídá hodnotě 120 dB.

$$\text{Rovnice 40: } LEVEL_{a1} = 10 \cdot \log \left( \frac{MAG-a}{REF-a} \right)^2 = 20 \cdot \log \frac{1}{10^{-6}} = 120 \text{ [dB]}$$

Studie naznačuje stejné přístupy, jak pro hodnocení účinků zvuku, tak pro hodnocení účinků vibrací na člověka [10]. Mechanickou impedanci pružného prostředí lze vyjádřit jako poměr mezi působící silou  $F$  (N) a rychlostí chvění  $v$  (m/s), tedy z vyjádření mechanického výkonu. Také lze vyjádřit sílu  $F$  podle 2. Newtonova zákona jako součin hmotnosti  $m$  (kg) a zrychlení  $a$  (m/s<sup>2</sup>), potom je impedance vyjádřena v (kg/s).

Třetí možností, jak vyjádřit impedanci, je součin hustoty pružného prostředí  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>), rychlosti šíření chvění  $c_{\text{chvění}}$  (m/s) a interakční plochy  $A$  (m<sup>2</sup>). Podobně jako v akustice, je zde přenášený mechanický výkon vztažený na plochu, tedy analogicky jako akustický tlak.

Potom lze vyjádřit sílu  $F$  jako součin napětí ve sledovaném průřezu  $\sigma$  (N/m<sup>2</sup>) a plochy průřezu  $S$  (m<sup>2</sup>) v poměru s mechanickou rychlostí  $v$  (m/s). Vztáhne-li se impedance na velikost plochy  $A = 1 \text{ m}^2$ , získá se analogický výraz k zvukové objemové impedanci vzdušného prostředí.

Více praktické se jeví vyjádření mechanické impedance jako převrácená hodnota součinu úhlové frekvence  $\omega$  (s<sup>-1</sup>) a poddajnosti materiálu  $pd^{13}$  (m/N), viz následující rovnice níže.

$$\text{Rovnice 41: } Z = \frac{F}{v} = \frac{m \cdot a}{v} = \rho \cdot c_{\text{chvění}} \cdot A = \frac{\sigma \cdot A}{v} = \frac{1}{\omega \cdot pd} = \frac{k}{2\pi f}$$

$$\left[ \frac{N \cdot s}{m}; \frac{N}{m/s}; \frac{kg \cdot (m/s^2)}{m/s}; \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s} \cdot m^2; \frac{(N/m^2) \cdot m^2}{m/s}; \frac{1}{(1/s) \cdot (m/N)} \right]$$

S odkazem na kapitolu 5.8.4, **Rovnice 7**, lze do rovnice mechanického výkonu dosadit za rychlost podíl síly  $F$  a mechanické impedance  $Z$ , jak uvádí rovnice výše. Výkon bude potom roven vztahu:

$$\text{Rovnice 42: } P = F \cdot \frac{dz}{dt} = m \cdot a \cdot v = m \cdot a \cdot \frac{F}{Z} = \frac{m^2 \cdot a^2}{Z} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot pd \cdot m^2 \cdot a^2$$

$$\left[ W; N \cdot \frac{m}{s}; kg \cdot \frac{m^2}{s^3}; \frac{1}{s} \cdot \frac{m}{N} \cdot kg^2 \cdot \frac{m^2}{s^4} \right]$$

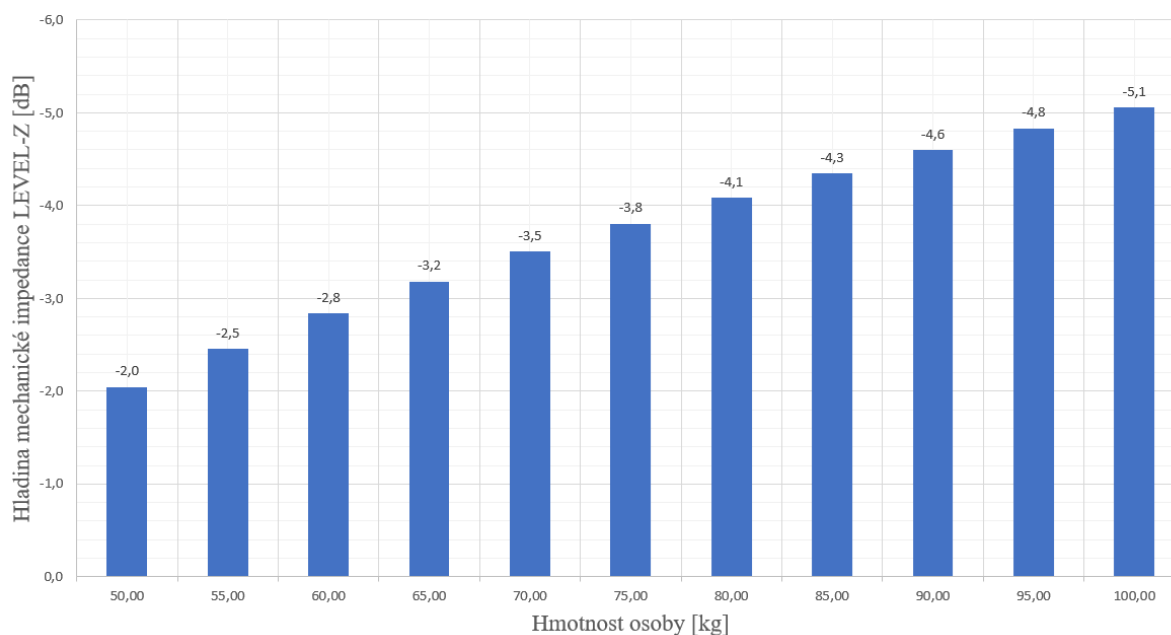
<sup>13</sup> Pozn. Autora: Obvykle se mechanická poddajnost značí písmenem malé  $c$ . Z důvodu používání malého  $c$  pro veličinu rychlosti šíření je použito značení poddajnosti  $pd$ .

Na základě jednoduchého vztahu tuhosti mechanické pružiny na výchylce statického zatížení, viz rovnice níže, lze stanovit tuhost pružného prostředí, tedy jeho mechanickou impedanci, která odpovídá časové frekvenci kmitání  $f = 1 \text{ Hz}$ .

$$\text{Rovnice 43: } Z_{1\text{Hz}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot p d \cdot m^2} \left[ \frac{\text{Ns}}{\text{m} \cdot \text{kg}^2} \right]$$

Následující obrázek představuje hladinu mechanické impedance v závislosti na hmotnosti člověka a na poddajnosti/tuhosti pružného prostředí při frekvenci  $f = 1 \text{ Hz}$ . Jak je z obrázku patrné, impedance pro pružná prostředí se statickým stlačením v řádech milimetru je o 30 dB vyšší, než impedance pro stlačení o velikosti 1 m.

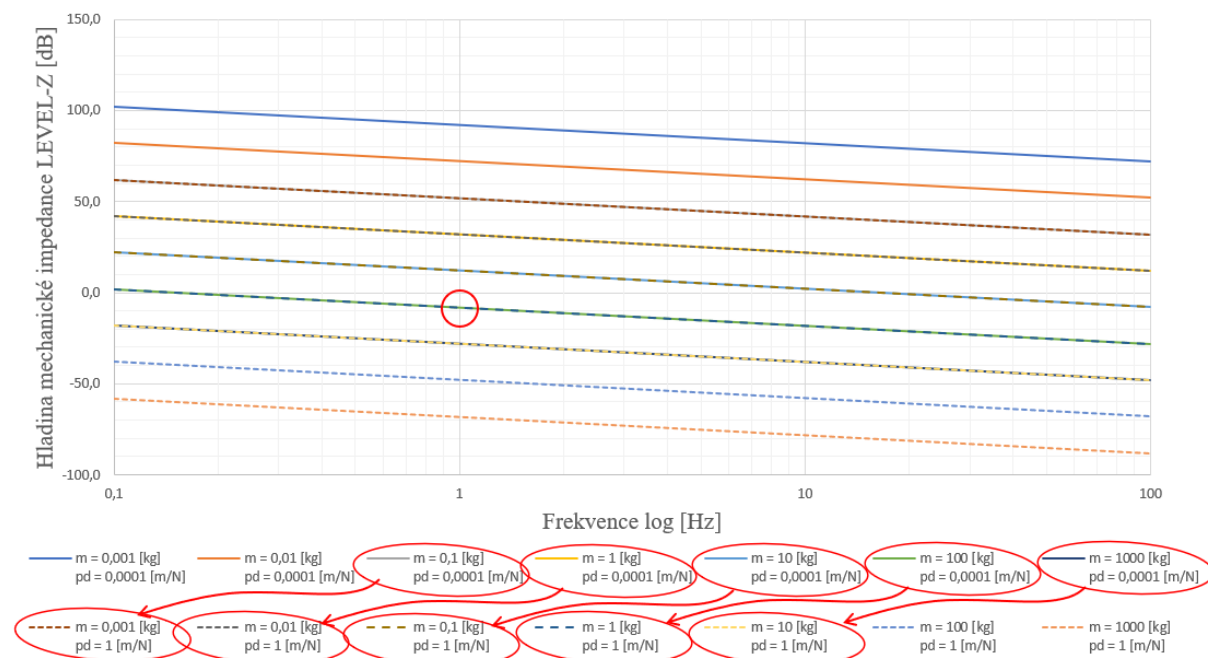
Hladiny mechanické impedance  $LEVEL-Z \text{ [dB]}$  vztáženou na frekvenci  $f = 1 \text{ Hz}$  v závislosti na hmotnosti  $m \text{ [kg]}$  a na poddajnosti pružného prostředí  $p d \text{ [m/N]}$  o statickém stlačení  $s = 5 \text{ cm}$ .



Obrázek 191 - Hladiny mechanických impedancí tuhosti sedáku pro různé hmotnosti člověka a pro statické stlačení 5 cm, autor

Jelikož je mechanická impedance funkcí hmotnosti a času, přesněji frekvence, lze vyjádřit mechanickou impedanci pro frekvenční rozsah  $0,1$  až  $100 \text{ Hz}$ .

Závislost hladiny mechanické impedance na hmotnosti  $m$  (kg),  
poddajnosti  $pd$  (m/N) a frekvenci  $f$  (Hz)



Obrázek 192 - Hladiny mechanické impedance zrychlení v závislosti na frekvenci, hmotnosti a poddajnosti, autor

Obrázek 192 vykresluje, že se zvyšující se frekvencí chvění klesá mechanická impedance. Řádové rozsahy pro hmotnost a poddajnost vyvolala vzájemné posunutí hladin pro závislé kombinace, viz červené bubliny na obrázku.

V diagramu je pak zvýrazněna hodnota odpovídající pro hmotnost  $m = 100$  kg a poddajnost  $pd = 0,1$  mm/N v závislosti na frekvenci  $f = 1$  Hz. Stejná hodnota impedance odpovídá i  $m = 1$  kg hmotnosti a poddajnosti  $pd = 1$  m/N.

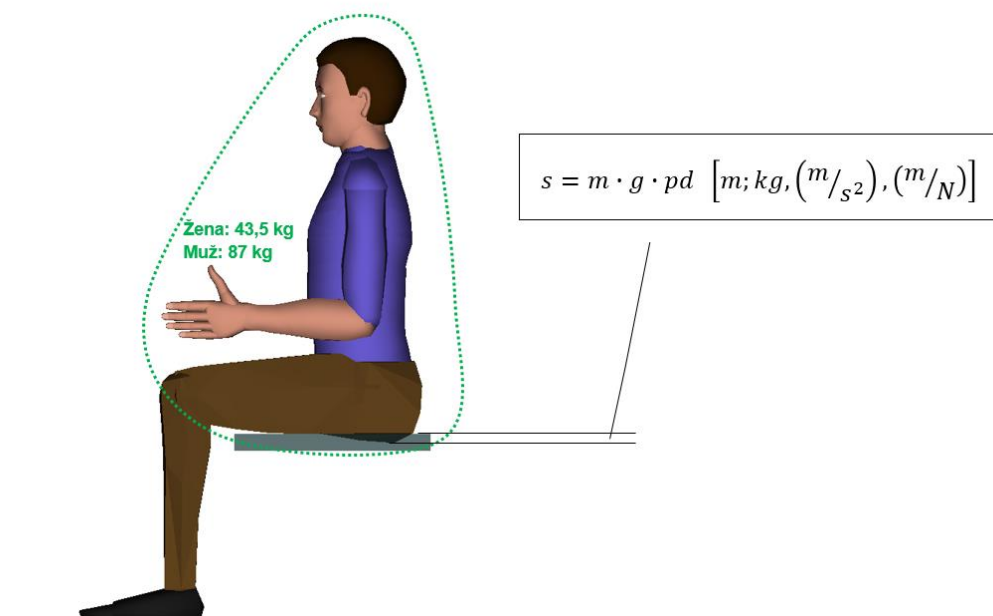
Hladinu intenzity zrychlení potom lze vyjádřit jako odečet hladiny mechanické impedance od hladiny efektivního zrychlení:

**Rovnice 44:**  $LEVEL - I_{zrychlení} = LEVEL_{MAG} - LEVEL_Z = 20 \cdot \log \left( \frac{MAG-a}{REF-a} \right) - 10 \cdot \log \left( \frac{MAG-Z}{REF-Z} \right)$  [dB]

V souladu s ergonomickou praxí nabývá význam poddajnosti  $pd$  v souvislosti se stanovením přípustných korekcí antropometrických dat (například jako jsou poloha hlavy a očí, poloha ramenního kloubu a celé horní končetiny, poloha a ohybový úhel kolene při sezení) vůči referenčním plochám sedačky<sup>14</sup>. V tomto případě statické stlačení sedací plochy sedačky je klíčové k nastavení výhledových poměrů a dosažitelnosti klíčových komponent vozidla.

Tabulka 27 - Hmotnostní proporce lidského těla převzato z [50], str. 564, Tabulka 34.6

Segment lidského těla	Hmotnostní proporce lidského těla [%]	Malá žena [kg]	Velký muž [kg]
Celé tělo	100	50	100
Hlava	6,9	3,45	6,9
Krk a trup	46,1	23,05	46,1
2x Nadloktí	6,6	3,3	6,6
2x Předloktí	4,2	2,1	4,2
2x Ruka	1,7	0,85	1,7
2x Nadkolenní	21,5	10,75	21,5
2x Podkolenní	9,6	4,8	9,6
2x Chodidlo	3,4	1,7	3,4



Obrázek 193 - Výpočet statického zatížení pružného sedáku v závislosti na hmotnosti osoby, tíhového zrychlení a poddajnosti materiálu sedáku. Počítaná hmotnost osoby je v interakci s pružným prostředím, účastní se pouze segmenty nadkolenních částí, viz Tabulka 41 výše, autor

<sup>14</sup> Pozn. Autora: Průsečík referenčních ploch se v praxi využívá jako zástavbové rozhraní sedačky a vnitřní stavby kolejového vozidla. Tento referenční bod je v mezinárodním měřítku znám jako SRP – Seat Reference Point

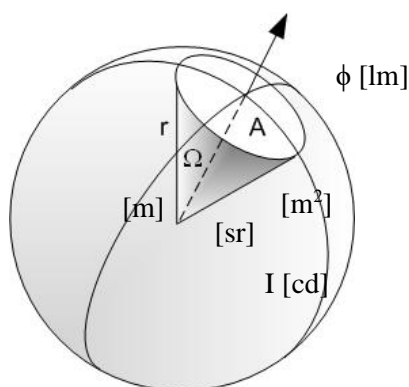
### 7.5.3. HLADINA INTENZITY OSVĚTLENÍ LEVEL- $I_{\text{SVĚTLO}}$

Stejně jako se mechanické vlnění přenáší vzduchem v podobě akustické energie, nebo se přenáší „skrze“ materiály, předměty a objekty jako chvění a vibrace, elektromagnetické vlnění obklopuje naše každodenní životy v podobě světla a tepla. Výsledky experimentu publikované ve studii v oblasti vnímání barev a intenzity osvětlení [4], str. 15 až 20, nebo v příloze P02, přinesly zásadní poznání, že přenos světelného a tepelného výkonu vyhovuje principům navrhované metodiky a lze je parametricky vyjádřit v hladinách.

Světelný tok reprezentuje světelný výkon a vyjadřuje závislost na součinu světelné účinnosti monochromatického záření a zářivého toku elektromagnetického vlnění a standardně používá jednotku jeden *lumen lm*, vyjadřující podíl celkové zářivé energie připadající do viditelného spektra. Referenční vlnová délka viditelného spektra je potom  $\lambda = 555,155$  nm, tedy přibližně **540 THz** a hodnota její maximální světelné účinnosti  $K_m = 683$  lm/W. Ta se musí vynásobit poměrnou světelnou účinností  $V_\lambda$ , která ve vztahu s pozorovatelem odpovídá spektrální citlivosti vidění, viz [156].

$$\text{Rovnice 45: } \phi_{\text{světlo}} = K_m \cdot V_\lambda \cdot \phi_{\text{záření}} \left[ \text{lm}; \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot \frac{\text{lm}}{\text{W}} / \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot \text{W} \right]$$

Vzhledem k tomu, že množství světelného toku je relativní vůči prostoru, ve kterém se šíří, efektivní veličinou je *svítivost I* s jednotkou *kandela cd*. To znamená, že energeticky lze kandelu s lumenem porovnávat a poměrová konstanta představuje rozhraní mezi světleným prostředím a prostorově technickým řešením, prostorovým úhel.



Obrázek 194 - Závislost intenzity osvětlení na ploše a vzdálenosti od zdroje světelného toku, [159]



Světelný výkon je fotometrií popisován řadou veličin. Užitečnou veličinou je pak *intenzita osvětlení*  $E$  a její jednotkou je jeden *lux*  $lx$ , viz [56] str.4. Vyjadřuje množství lumenů světelného toku o svítivosti 1 kandely, dopadající na jednotku plochy  $1 \text{ m}^2$  ve vzdálenosti 1 m od zdroje, jak vyjadřuje následující rovnice a porovnání rozměrů.

$$\text{Rovnice 46: } \frac{\phi}{A} = I \rightarrow \frac{\phi}{A} = \frac{I}{r^2} \rightarrow E \left[ \frac{lm}{\frac{m_A^2}{m_r^2}} = cd \rightarrow \frac{lm}{m_A^2} = \frac{cd}{m_r^2} \rightarrow lx \right]$$

Další fotometrickou veličinou použitelnou pro vyjádření intenzity osvětlení je jas  $L$  ( $cd/m^2$ ) a odpovídá podílu svítivosti  $I$  ( $cd$ ) ku jasné ploše  $A$  ( $m^2$ ). Tato veličina je důležitá z toho důvodu, protože vyjadřuje množství odraženého světelného toku v kandelách od plochy objektu.

$$\text{Rovnice 47: } L = \frac{I}{A} \left[ \frac{cd}{m_A^2}; \frac{cd}{m_A^2} \right]$$

Porovnáním intenzity osvětlení  $E$  ( $lx$ ), která odpovídá svítivosti ve vzdálenosti  $r$  od zdroje a jasu  $L$  ( $cd/m^2$ ), lze získat vyjádření prostorové závislosti obou veličin.

$$\text{Rovnice 48: } E = \frac{I}{r^2}; L = \frac{I}{A} \rightarrow E \cdot r^2 = L \cdot A \rightarrow E = L \cdot \Omega$$

$$\left[ \frac{cd}{m_r^2}; \frac{cd}{m_A^2} \rightarrow cd = cd \rightarrow lx = \frac{cd}{m_A^2} \cdot sr \right]$$

Zatímco intenzita osvětlení  $E$  určuje kolik světla dopadá na plochu v určité vzdálenosti od zdroje, jas  $L$  definuje množství světla na ploše, která je buď zdrojem světla, nebo objektem, od kterého se světlo odráží.

Je-li tato plocha stejná pro světlo, které na ni přichází a pro světlo, které jej odráží, potom výsledný světelný tok je roven kvadrátu svítivosti  $I$  ku jasu plochy objektu  $L$  a kvadrátu vzdálenosti zdroje od objektu  $r$ .

Následující rovnice představuje odvození světelného toku výše popsaným způsobem.



$$\text{Rovnice 49: } I = \frac{\phi}{A} \rightarrow A = \frac{\phi \cdot r^2}{I} \rightarrow L = \frac{I}{A} = \frac{I}{\frac{\phi \cdot r^2}{I}} = \frac{I^2}{\phi \cdot r^2} \rightarrow \phi = \frac{I^2}{L \cdot r^2} \rightarrow \Omega \cdot I$$

$$\left[ cd = \frac{lm}{\frac{m_A^2}{m_r^2}} \rightarrow m_A^2 = \frac{lm \cdot m_r^2}{cd} \rightarrow \frac{cd}{m_A^2} = \frac{cd}{m_A^2} = \frac{cd}{\frac{lm \cdot m_r^2}{cd}} = \frac{cd^2}{lm \cdot m_r^2} \rightarrow lm = \frac{cd^2}{\frac{cd}{m_A^2} \cdot m_r^2} \rightarrow sr \cdot cd \right]$$

V realitě člověk nikdy nekouká směrem do zdroje, spíše sleduje osvětlené objekty v jeho prostředí. To, jak budou objekty jasné a jak budou odrážet dopadající světlo, má vliv na ambientní intenzitu osvětlení prostoru.

Některé plochy mohou být i zdrojem osvětlení, potom se uplatňuje veličina zvaná jako světlení  $M$  ( $lm/m^2$ ), viz [56], str. 13. Jde o vyjádření množství lumenů na jednotku plochy, tedy:

$$\text{Rovnice 50: } M = \frac{\Phi}{A} \left[ \frac{lm}{m_A^2}; \frac{lm}{m_A^2} \right]$$

Z výše uvedeného patrné, že vztah mezi lumenem a kandelou je závislý na velikosti prostorového úhlu šíření světelného toku. Známá prahová hodnota vnímání minimálního jasu je  $REF-L = 10^{-6} \text{ cd/m}^2$ , dle [49], str. 44.

Vzhledem k tomu, že pro výpočet hladiny plochy  $A$  je používána referenční hodnota  $REF-A = 1 \text{ m}^2$ , lze provést změnu referenční hodnoty na  $REF-L=10^{-12} \text{ cd/m}^2$ , stejně jako u referenční hodnoty hladiny svítivosti  $REF-Isv = 10^{-12} \text{ cd}$  a referenční hodnoty pro světelný tok  $REF-\Phi = 10^{-12} \text{ lm}$ . Hladina střední hodnoty intenzity osvětlení při efektivní hodnotě  $MAG-E = 1 \text{ lx}$  a referenční hodnotě  $REF-E = 10^{-12} \text{ lx}$  bude podle Rovnice 51 odpovídat hodnotě 120 dB.

$$\text{Rovnice 51: } LEVEL - I = 10 \cdot \log \frac{1}{10^{-12}} = 120 \text{ [dB]}$$

Následující tabulka seřazuje efektivní hladiny intenzity osvětlení *LEVEL-I* pro plochu  $A = 1 \text{ m}^2$  podle fyziologických režimů vidění zdravého člověka. Ikdyž pro minimálně viditelné světlo je hodnota svítivosti jedna miliontina kandely, je potřeba si uvědomit, že pro běžné úkony je zapotřebí mít světelné podmínky ideální pro fotopické vidění, při mezopickém vidění vzniká již tzv. šeroslepost a při skotopickém vidění člověk vnímá pouze kontrast a obrysy.

**Tabulka 28 – Výpočítané hladiny efektivního jasu. Zvýrazněné hladiny představují milníky režimů vidění a tučně zvýrazněné hodnoty představují 160 dB - běžné denní viditelné světlo, 140 dB pro průměrné vnitřní osvětlení, převzato z [49] a upraveno autorem**

Sledovaný objekt	Intenzita osvětlení	Hladina intenzity osvětlení LEVEL-I	Režim vidění
	lx	dB	
Slunce v poledne	1,00E+12	240	ŠKODLIVÉ PRO ZRAK
	1,00E+11	230	
	1,00E+10	220	
	1,00E+09	210	
	1,00E+08	200	
100 W žárovka	1,00E+07	190	FOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E+06	180	
	1,00E+05	170	
Bílý papír při slunečním osvětlení	<b>1,00E+04</b>	<b>160</b>	FOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E+03	150	
	<b>1,00E+02</b>	<b>140</b>	
Jas měsíce	<b>1,00E+01</b>	<b>130</b>	MEZOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E+00	120	
	1,00E-01	110	
Bílý papír při měsíčním osvětlení	1,00E-02	100	SKOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E-03	90	
Bílý papír při osvětlení hvězdami	1,00E-04	80	SKOTOPICKÉ VIDĚNÍ
	1,00E-05	70	
	1,00E-06	60	
Nejslabší viditelné světlo	1,00E-07	50	MĚŘITELNÉ
	1,00E-07	50	

Podle Feymannových přednášek lze vyjádřit impedanci elektromagnetického záření jako součin permeability prostředí a rychlosti šíření světla, viz [38], str. 421.

$$\text{Rovnice 52: } Z_{\text{světlo}} = \mu \cdot c \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3}; \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^2}, \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Světlo se šíří vakuem, vzduchem a pro viditelné světlo transparentními látkami. Impedance rychlosti světla odpovídá tzv. indexu lomu, tedy podílu rychlosti světla ve vakuu  $c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s}$  ku rychlosti světla ve vzduchu  $c = 299\,714\,532 \text{ m/s}$ . Index lomu při přechodu světla od slunce do atmosféry je roven  $n = 1,00026$ . Poměr rychlostí vyjadřuje vliv změny hustoty prostředí vůči vakuu.

$$\text{Rovnice 53: } LEVEL_n = 10 \cdot \log\left(\frac{c_0}{c}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{299\,792\,458}{299\,714\,532}\right) = 10 \cdot \log(n) = 10 \cdot \log(0,00026) = 0,001 \text{ [dB]}$$

Při průchodem světla atmosférou záleží na hustotě vzdušného prostředí. Větší hustota představuje pro světlo rozptýlení v atmosféře, difrakce a částečná absorpce světla. Permeabilita prostředí udává míru vlivu prostředí na účinky intenzity osvětlení. Stejně jako v případě rychlosti šíření světla se prakticky využívá index lomu. Pro různé materiály jsou stanoveny tzv. relativní permeability prostředí, jako bezrozměrná veličina. Pro vzduch odpovídá permeabilita hodnotě  $\mu_r = 1,000\,001\,86$ . Hladina impedance relativní permeability prostředí může být zapsána takto:

$$\text{Rovnice 54: } LEVEL_\mu = 10 \cdot \log\left(\frac{\mu}{\mu_0}\right) = 10 \cdot \log(\mu_r) = 0,000008 \text{ [dB]}$$

Výslednou hladinu impedance světelného prostředí elektromagnetického záření lze potom zapsat následovně:

$$\text{Rovnice 55: } LEVEL - Z_E = LEVEL_\mu + LEVEL_n = 10 \cdot \log(\mu_r) + 10 \cdot \log(n) = 0,001008 [dB]$$

Vzhledem k tomu, že vzdušné prostředí má velmi malou hladinu impedance, lze ji zanedbat. Impedanci má význam započítávat v případě transparentních materiálů a průsvitných látek.

Vezmou-li se v úvahu již zmíněné kategorie požadavků na osvětlení, viz Tabulka 13, lze limitní hodnoty vyjádřit v hladinách, dle následující tabulky.

Tabulka 29 - Třídy prací s ohledem na potřebné osvětlení, [37]

Třída	Požadavky na osvětlení	Hladina intenzity osvětlení (dB)	Intenzita osvětlení (lx)
1	mimořádné	> 157,0	> 5000
2	velmi vysoké	157,0	5000
3	vysoké	153,0	2000
4	průměrné	147,8	600
5	malé	144,0	250
6	velmi malé	140,0	100

#### 7.5.4. HLADINA TEPELNÉ INTENZITY LEVEL-I<sub>TEPLO</sub>

Prahová hodnota pro výpočet hladiny tepelné intenzity, viz kapitola 7.2.1.3. str. 171, jako **REF-q** = 10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup> a pro efektivní hodnotu měrného sdíleného tepla **MAG-q** = 1 W/m<sup>2</sup> podle Rovnice 56 odpovídá hodnotě 120 dB.

$$\text{Rovnice 56: } LEVEL_{q1} = 10 \cdot \log \frac{1}{10^{-12}} = 120 [dB]$$

### 7.5.5. VÝPOČET HLADINY INTENZITY Z HLADINY VÝKONU

Tomu odpovídá referenční hodnota intenzity zvuku, která byla stanovena jako  $REF-I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ , podle ČSN 01 1304 - *Veličiny, jednotky a značky v akustice*, [104], nebo dle ISO 1683 [92]. Potom 1 Watt odpovídá hladině:

$$\text{Rovnice 57: } LEVEL - I_{ZVUK} = 10 \cdot \log \frac{1}{REF-I} = 10 \cdot \log \frac{1}{10^{-12}} = 120 \text{ [dB]}$$

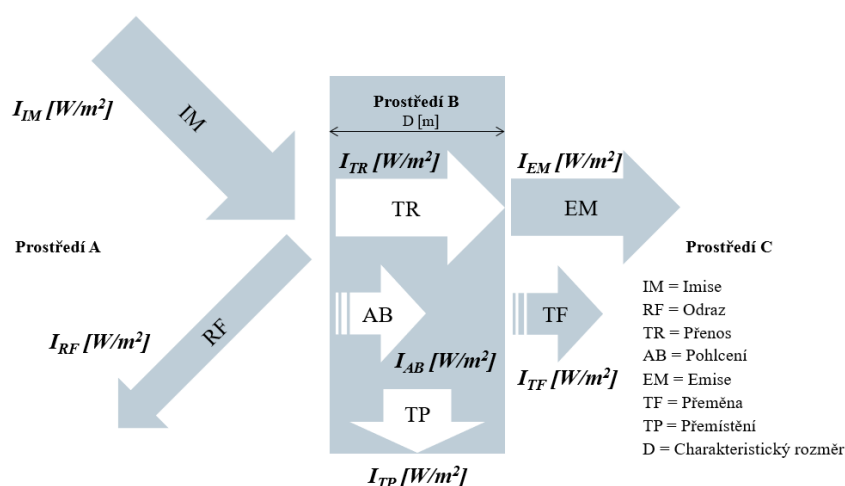
Z hladiny intenzity lze pak obecně vyjádřit hladinu výkonu. Intenzita je výkon vztažený na jednotkovou plochu  $REF-A = 1 \text{ m}^2$ . Je-li potřeba znát výkon, je třeba vynásobit intenzitu plochou, kterou výkon prochází. Potom lze zapsat výpočet výkonu následně:

$$\text{Rovnice 58: } LEVEL - P = [LEVEL - I] + [LEVEL - A] =$$

$$10 \cdot \log \left( \frac{MAG-I}{REF-I} \right) + 10 \cdot \log \left( \frac{MAG-A}{REF-A} \right) \left[ \text{dB}; \log \frac{W/m^2}{m^2} + \log \frac{m^2}{m^2} \right]$$

### 7.6. HLADINY POMĚROVÝCH ČINITELŮ INTENZITY

Díky studii oblasti přenosových cest [3], oblasti logaritmického hodnocení [1] a díky studii vnímání barev [4], str. 4 až 25, vznikla synergie těchto oblastí, která vyústila k použití tzv. energetických činitelů na rozhraní několika různých prostředí. Následující obrázek vykresluje situaci intenzity na dvou rozhraní třech prostředí (A,B,C), viz [44], str. 45.



Obrázek 195 - Energetické činitelé na rozhraní prostředí, obrázek autora, převzato z [44], str. 45.

Pro energetické činitele platí pravidlo, že jejich součet musí být vždy roven 1. Potom lze zapsat rovnost:

$$\text{Rovnice 59} \quad TR + RF + AB + TF + TP + EM = 1$$

### *Přenos intenzity*

$$\text{Rovnice 60} \quad TR = \frac{I_{TR}}{I_{IM}} [-] \rightarrow LEVEL - TR = 10 \cdot \log(1/TR) \quad [dB]$$

### *Odraz intenzity*

$$\text{Rovnice 61} \quad RF = \frac{I_{RF}}{I_{IM}} [-] \rightarrow LEVEL - RF = 10 \cdot \log(1/RF) \quad [dB]$$

### *Pohlčení intenzity*

$$\text{Rovnice 62} \quad AB = \frac{I_{AB}}{I_{IM}} [-] \rightarrow LEVEL - AB = 10 \cdot \log(1/AB) \quad [dB]$$

### *Přeměna intenzity*

$$\text{Rovnice 63} \quad TF = \frac{I_{TF}}{I_{IM}} [-] \rightarrow LEVEL - TF = 10 \cdot \log(1/TF) \quad [dB]$$

### *Přemístění (odvod) intenzity*

$$\text{Rovnice 64} \quad TP = \frac{I_{TP}}{I_{IM}} [-] \rightarrow LEVEL - TP = 10 \cdot \log(1/TP) \quad [dB]$$

### *Emise intenzity*

$$\text{Rovnice 65} \quad EM = \frac{I_{EM}}{I_{IM}} [-] \rightarrow LEVEL - EM = 10 \cdot \log(1/EM) \quad [dB]$$

## 7.7. HLADINA SMĚROVOSTI

Studie sestavení energetických toků jednotlivých zdrojů [3] sledovaných vlivů prostředí zohledňuje jejich charakteristický směr působení. Parametrem přenosové cesty je potom hladina směrovosti a vyjadřuje směr šíření intenzity a je definována prostorovým úhlem, viz [159] nebo Obrázek 194. Následující tabulka ukazuje hodnoty hladin směrovosti v závislosti na modu šíření vzduchem. Pro šíření intenzity všemi směry je parametr směrovosti  $Q = 1$ . Bude-li se intenzita šířit jako polokoule,  $Q = 2$  a tak dále. Výsledkem je kulová vlnoplocha, která se zvětšuje s druhou mocninou vzdáleností od zdroje, v závislosti na hodnotě steradiánu. Hladina směrovosti  $Q$  tedy vyjadřuje intenzitu výkonu, neboť rozpočítává výkon na povrch kulové vlnoplochy.

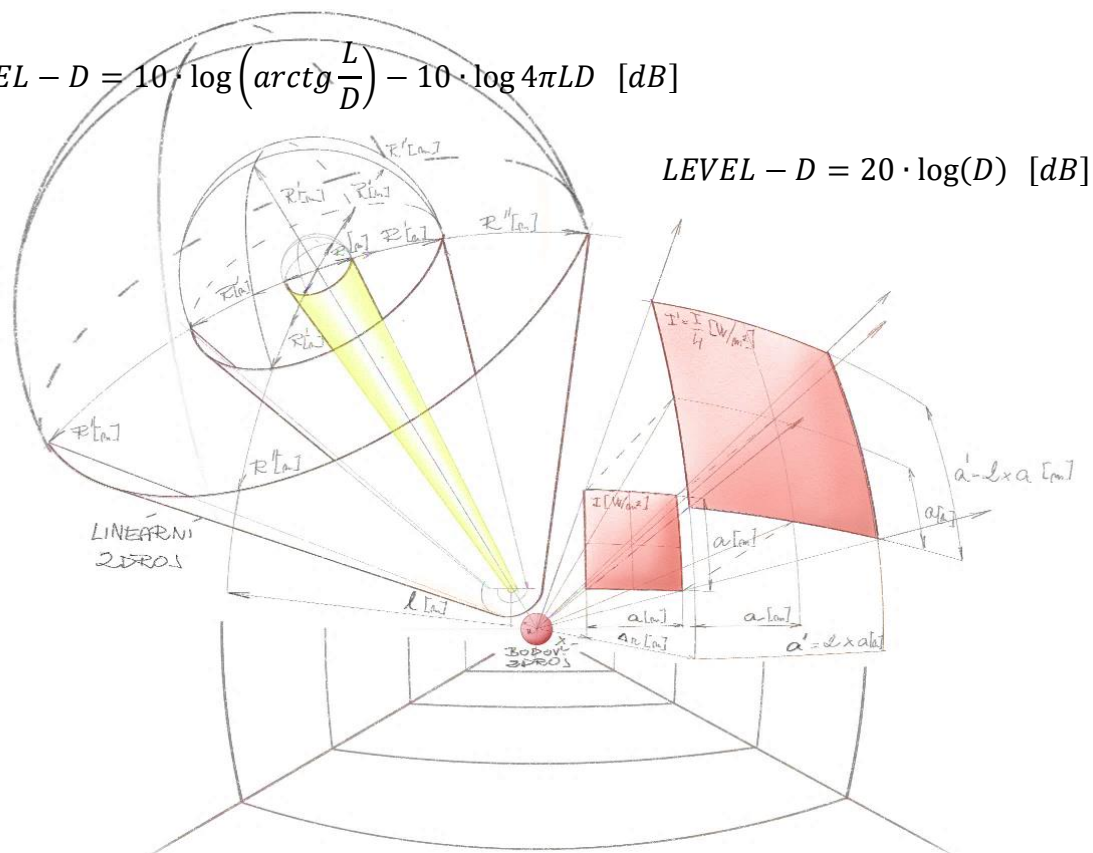
Tabulka 30 - Praktické hodnoty hladiny směrovosti pro následné výpočty, autor

Parametr směrovosti $Q$ bodového zdroje	Funkce povrchu koule $Q / (4 * \pi)$	Hladina směrovosti LEVEL-Q	Parametr prostorového úhlu	Funkce povrchu koule 1/sr	Hladina směrovosti LEVEL-Q
-	[m <sup>2</sup> ]	dB	sr	[m <sup>2</sup> ]	dB
1,0	0,08	11	12,6	0,08	11
2,0	0,16	8	6,3	0,16	8
4,0	0,32	5	3,2	0,32	5
8,0	0,64	2	1,6	0,63	2
12,6	1,00	0	1,0	1,00	0
16,0	1,27	-1	0,8	1,27	-1
32,0	2,55	-4	0,4	2,54	-4
64,0	5,09	-7	0,2	5,08	-7
128,0	10,19	-10	0,1	10,16	-10

Definice prostorového úhlu vyjadřuje vztah mezi vzdáleností a plochou koule. To je velice užitečný parametr, neboť právě intenzita je výkon vztažený na jednotku plochy, tedy plocha se zvětšuje se čtvercem vzdálenosti od středu. To znamená, že intenzita výkonu zdroje se čtvercem vzdálenosti klesá, viz Obrázek 196.



$$LEVEL - D = 10 \cdot \log \left( \arctg \frac{L}{D} \right) - 10 \cdot \log 4\pi LD \quad [dB]$$



Obrázek 196 – Šíření intenzity bodového, přímkového a plošného zdroje, autor.

## 7.8. HLADINA VZDÁLENOSTI

Studie pro sestavení přenosových cest [3] přináší prostorový parametr přenosových cest, vzdálenost od pozorovatele. Již bylo zmíněno, že se plocha zvětšuje s rostoucí vzdáleností. Je-li zachován prostorový úhel, znamená to, že intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti, viz zmínka výše. Je definována hladina vzdálenosti **LEVEL-D**, [44], str. 135, jejíž hodnoty pro praktické výpočty lze odečíst v následující tabulce.

Rovnice 66  $LEVEL - D = 20 \cdot \log(D) \quad [dB]$

Tabulka 31 - Praktické hodnoty hladin vzdálenosti pro šíření zvuku, světla a tepla vzduchem

Vzdálenost D [m]	Hladina vzdálenosti LEVEL-D [dB]	Vzdálenost D [m]	Hladina vzdálenosti LEVEL-D [dB]	Vzdálenost D [m]	Hladina vzdálenosti LEVEL-D [dB]	Vzdálenost D [m]	Hladina vzdálenosti LEVEL-D [dB]
0,1	-20,0	1,1	0,8	2,1	6,4	3,1	9,8
0,2	-14,0	1,2	1,6	2,2	6,8	3,2	10,1
0,3	-10,5	1,3	2,3	2,3	7,2	3,3	10,4
0,4	-8,0	1,4	2,9	2,4	7,6	3,4	10,6
0,5	-6,0	1,5	3,5	2,5	8,0	3,5	10,9
0,6	-4,4	1,6	4,1	2,6	8,3	3,6	11,1
0,7	-3,1	1,7	4,6	2,7	8,6	3,7	11,4
0,8	-1,9	1,8	5,1	2,8	8,9	3,8	11,6
0,9	-0,9	1,9	5,6	2,9	9,2	3,9	11,8
1	0,0	2	6,0	3	9,5	4	12,0

Obrázek 196 na levé straně ukazuje zdroj lineární. Hodnota intenzity ve vzdálenosti od přímkového zdroje je stanovena dle [44], str. 138, a lze ji vyjádřit následující rovnicí:

$$\text{Rovnice 67} \quad LEVEL - D = 10 \cdot \log \left( \arctg \frac{L}{D} \right) - 10 \cdot \log 4\pi LD \quad [dB],$$

kde L je délka přímkového zdroje v metrech.

Podle [44], str. 139, lze odvodit hladinu vzdálenosti od plošného zářiče. Za podmínky uvažování nejkratší vzdálenosti kolmé k ploše zdroje lze využít stejný výpočet, jako u zdroje bodového, viz Rovnice 66.

## 7.9. HLADINA SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY SLEDOVANÝCH VLIVŮ

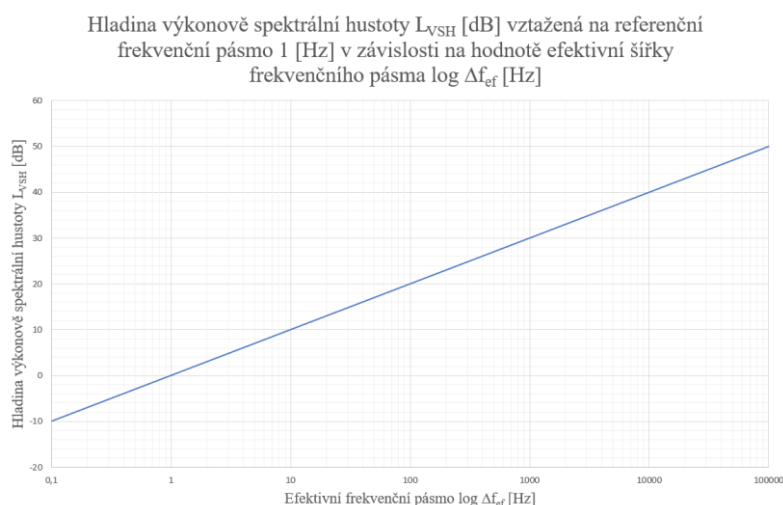
Hladiny výkonu a intenzity přenosových funkcí by neměly žádný význam, nebyly-li by vztaženy k důležitému parametru vlnění, frekvenci. Byly publikovány zcela zásadní výsledky naznačující postup výpočtu hladiny spektrální hustoty [1], str 33, aby byl matematický model konzistentní a posuzovali se adekvátně hodnoty výkonu mezi sebou ve vztahu k frekvenci elektromagnetického a mechanického vlnění.

Pro další aplikaci výpočtu, je tedy potřeba všem známým efektivním hladinám výkonu propočítat hodnotu hladiny výkonově spektrální hustoty, viz rovnice, která vyjadřuje poměr efektivní šířky pásma **MAG-f** (šířka pásma zdroje) ku referenční šířce pásma **REF-f** o hodnotě 1 Hz. Takto stanovená korekce se přičítá pro jednotlivé cesty, pokud jsou známé frekvenční spektra zdrojů, viz. [44], str. 125.

Rovnice 68

$$LEVEL - F = [LEVEL - I] + [LEVEL - f] = [LEVEL - I] + 10 \cdot \log \left( \frac{MAG - f}{REF - f} \right) [dB]$$

Následující Obrázek 197 vyjadřuje hladinu výkonově spektrální hustoty v závislosti na efektivní šířce pásma a referenční šířce pásma. Z grafu je zřejmé, čím širší bude efektivní šířka pásma, tím vyšší bude hodnota její hladiny vztažená na šířku 1 Hz.

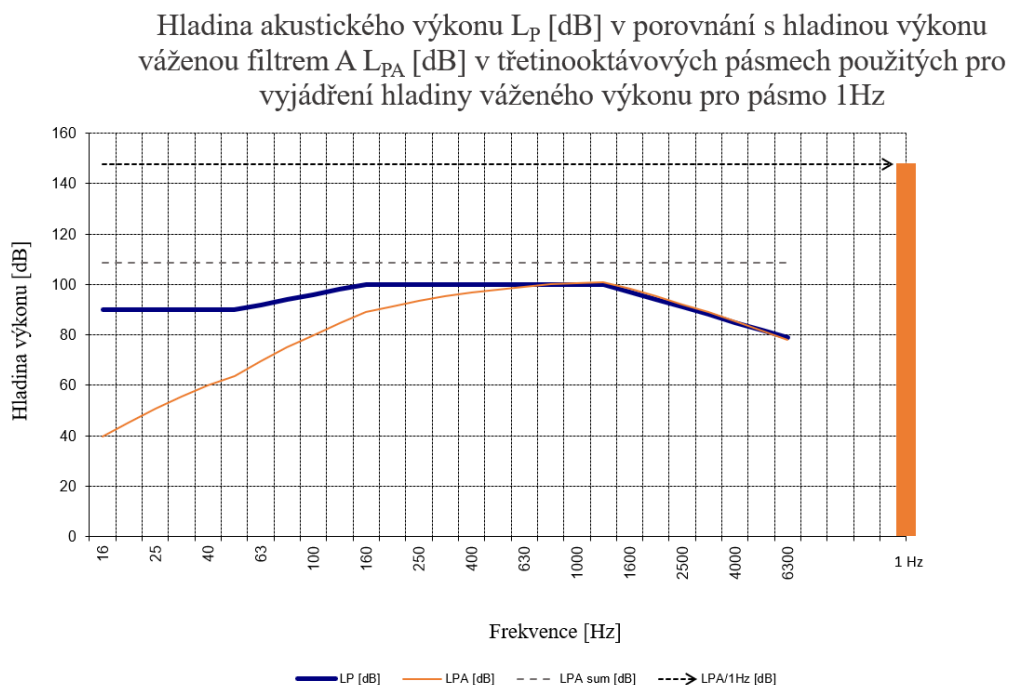


Obrázek 197 - Hladina výkonově spektrální hustoty v závislosti na šířce pásma, převzato z (Nový, 2000)

V praxi se pak často využívají oktávové a třetinooktávová pásma pro hodnocení výkonově spektrální hustoty, a to zejména v oblasti mechanického vlnění, viz [44], kapitola 3. V rámci hodnocení se tyto hladiny o specifických středních hodnotách frekvencí dále využívají k frekvenčnímu vážení naměřeného signálu efektivní veličiny, viz. [27], a přes FFT analýzu se přehodnocuje signál časové domény do domény frekvenční. Tím je závislost výkonu vztažena k frekvenčním pásmům.

Záleží potom na vzorkovací frekvenci měřícího přístroje, jejíž velikost dokáže zaznamenat diskrétní spektrum s přesností blížíící se spektru spojitým. Jsou-li k dispozici měřící přístroje, které dokáží analyzovat frekvenční spektrum v reálném čase pomocí FFT, výhodou je potom automatické zpracování dat s využitím hodnocení pomocí algoritmů výpočetní techniky.

Metodika využívá hodnocení výkonově spektrální hustoty, kdy se výkon elektromagnetického nebo mechanického spektra vztáhne na šířku pásma 1 Hz, viz názorný příklad při přepočtu hladiny akustického výkonu při zadané spektrální hustotě, viz Obrázek 198.



Obrázek 198 - Vážená hladina akustického výkonu vztažená na frekvenční pásmo 1 Hz

### *Kumulace kritických frekvencí*

Výsledkem studie vnímání barev a intenzity osvětlení [4], str. 15 až 20, elektromagnetického vlnění, stejně jako výsledky studie vnímání mechanického vlnění [10] a výsledky studie jejich vzájemné synergie [7], str. 6, vnaší do návrhu metodiky zcela jedinečně jednoduchou metodu hodnocení četnosti společných frekvencí přenosových cest.

- Každá intenzita popsaná vektorem AB, AC nebo CB v [dB] je vztažena k vlastním frekvencím přenosu.
- Pro mechanické vlnění se vypočítají kritické frekvence z vlnových délek určených jako násobky vzdálenosti mezi zdrojem a pozorovatelem:

$$\lambda = k \cdot |AB| \text{ [m]}$$

- Pro elektromagnetické vlnění platí Weinův posunovací zákon a vlnová délka se určí z rozdílu teplot sdílených ploch:

$$\lambda = k \cdot \frac{b}{T} \text{ [m]}$$

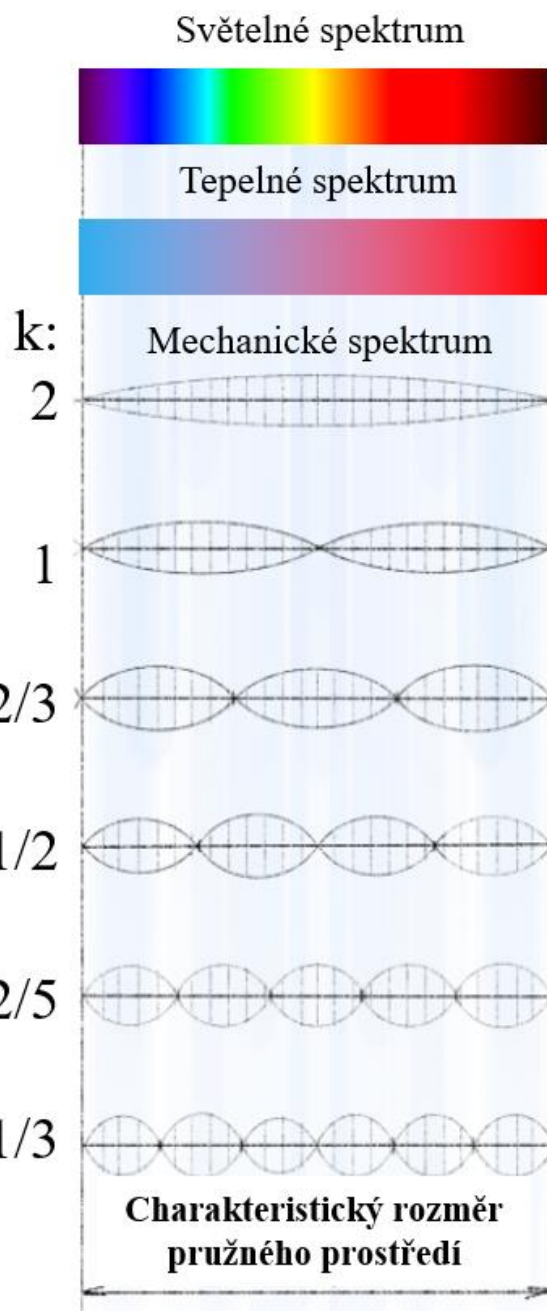
- Vztah mezi vlnovou délkou a frekvencí je popsán rychlostí šíření vlny:

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ [Hz]}$$

- Rychlost šíření vlnění je závislá na modulu pružnosti a hustotě prostředí.

$$\sqrt{\frac{E}{\rho}} \approx \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Pro každou cestu se určí kritické frekvence a z celkového souboru přenosových cest řešené situace daného prostředí (hluk, vibrace, světlo, teplo) se stanoví četnost kritických frekvencí, které se v matematickém modelu několikrát po sobě opakují.



## 7.10. HLADINA EXPOZICE SLEDOVANÝCH VLIVŮ

Vozidlo po výrobě bude vystaveno provozním režimům, které je třeba v návrhu vozidla zohledňovat. Bylo zjištěno, že přínosem je tzv. hladina expozice [1], str. 34, jako jednoznačný parametr určení výsledné dávky energie působící ekvivalentní intenzity za určitou dobu. Tím se dostáváme k provozním scénářům a popisu aktivní činnosti zdrojů a jejich expozice. Pomocí scénářů lze vyhodnocovat časové průběhy intenzit přenosových funkcí, které získáme ze stavového modelu hodnocené situace.

Cílem této části je aplikace časové proměnné v modelu návrhu vozidla. Mnohé kritické komponenty jsou funkčně závislé na čase a provozním režimu. Zohlednění expozic zdrojů v závislosti na prostorovém uspořádání vozidla a poloze pozorovatele umožňuje se zaměřit na konstrukční prvky, jako jsou komunikační a informační zařízení, varovná zařízení, bezpečnostní rozhraní, a to ve vztahu s adaptačními mechanismy člověka. Na druhou stranu mají dlouhodobé expozice význam z pohledu únavy pozorovatele a hygieny, tedy zdraví.

Využití zohlednění expozic má také další výhodu v pojetí komplexnosti systémové integrace. Lze také uvažovat pohyby pozorovatele v čase, které ovšem nejsou výsledkem této práce. Nicméně, náměty a návrhy na případné další studie budou vzneseny v závěru této práce.

Operaci v časové doméně je možné výkon vyjádřit jako energii, nebo-li hladinu expozice. Principiálně jde o vynásobení výkonu časem. K ekvivalentní hladině výkonu/intenzity časového průběhu  $LEVEL-I_{ekv}$  lze přičíst hladinu časové expozice  $LEVEL-t$ , kde  $MAG-t$  je hodnota časové expozice v sekundách a referenční hodnota  $REF-t$  je 1 s.

Tím se ekvivalentní hladina  $LEVEL-I_{ekv}$  tzv. zkomprimuje do jedné sekundy a jednou hodnotou hladiny expozice  $LEVEL-EX$  se vyjádří celková expozice energie. Jde o stejný příklad, jako Obrázek 198, matematicky lze vyjádřit hladinu expozice následovně.

Rovnice 69

$$LEVEL - EX = [LEVEL - I_{ekv}] + [LEVEL - t] = [LEVEL - I_{ekv}] + 10 \cdot \log \left( \frac{MAG - t}{REF - t} \right) [dB]$$

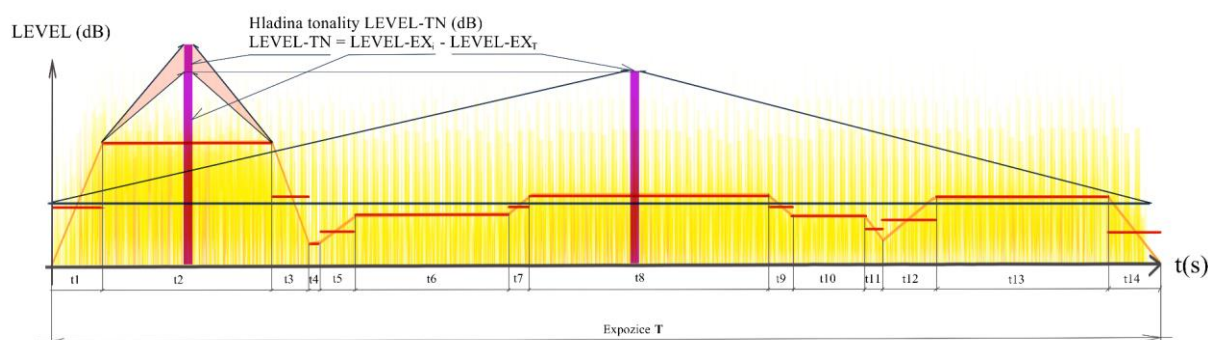
Výhodou tohoto vyhodnocení je, že lze určit množství energie pro jakýkoliv časový úsek předmětu návrhu.

## 7.11. HLADINA TONALITY INTENZITY SLEDOVANÝCH VLIVŮ

V oblasti kvalitativního hodnocení komplexního modelu [1], str. 34, je přínosem aplikace optimalizačního kritéria hodnocení tonality. Proces hodnocení hladiny tonality spočívá ve vztahu k expozici – časovému úseku, který se analyzuje.

Je-li hladina impulzní expozice  $LEVEL-EX_T$  vyšší než hladina expozice celkové, nebo částečně hodnoceného úseku,  $LEVEL-EX_i$ , pak jejich rozdíl představuje hladinu tonality  $LEVEL-TN$ .

$$\text{Rovnice 70} \quad LEVEL - TN = [LEVEL - EX_i] - [LEVEL - EX_T] \quad [dB]$$

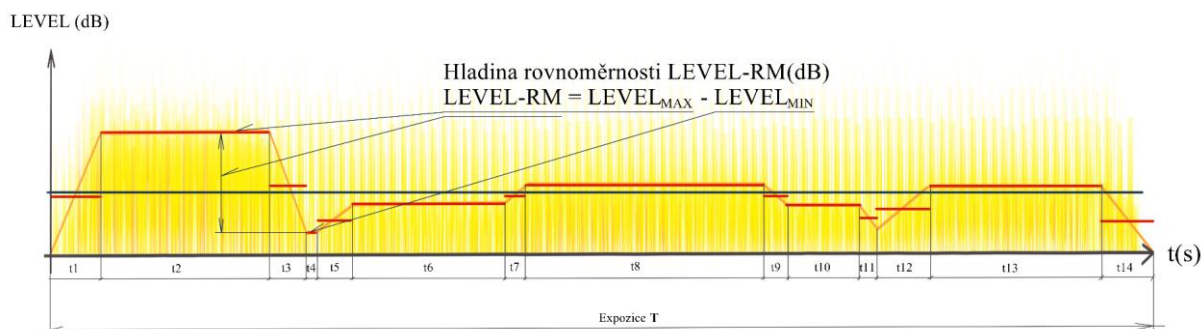


Obrázek 199 - Hladina tonality jako rozdíl hladin tonální expozice a expozice celkové, autor

## 7.12. HLADINA ROVNOMĚRNOSTI INTENZITY SLEDOVANÝCH VLIVŮ

Studie oblasti kvalitativního hodnocení komplexního modelu [1], str. 34, také uvedla aplikaci optimalizačního kritéria hodnocení rovnoměrnosti. Proces hodnocení hladiny rovnoměrnosti spočívá v rozdílu mezi maximální a minimální hodnotou intenzity působících vlivů na člověka v dané expozici, viz následující rovnice.

Rovnice 71  $LEVEL - RM = [LEVEL_{MAX}] - [LEVEL_{MIN}] \quad [dB]$

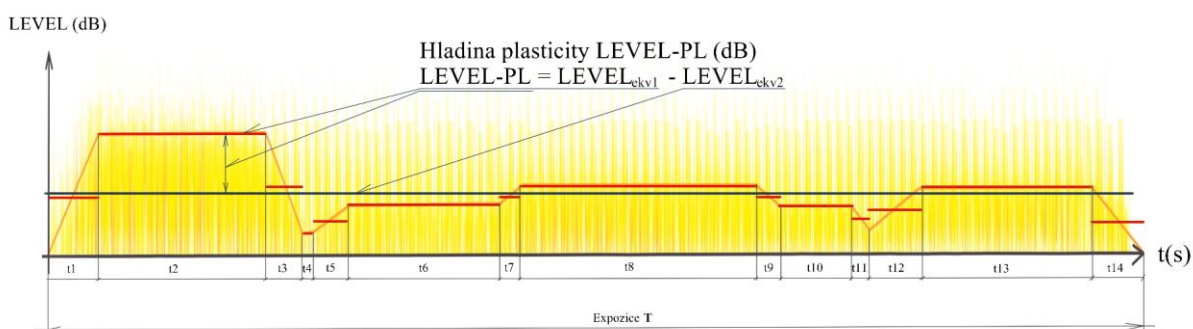


Obrázek 200 - Hladina rovnoměrnosti jako rozdíl m, autor

### 7.13. HLADINA PLASTICITY INTENZITY SLEDOVANÝCH VLIVŮ

Posledním parametrem v oblasti kvalitativního hodnocení komplexního modelu [1] je aplikace optimalizačního kritéria hodnocení plasticity. Užitečnost hladiny plasticity je v porovnání ekvivalentních hladin mezi sebou, zejména pak při optimalizaci vstupních parametrů matematického modelu. Změnou parametrů, např. zdroje, může dojít ke změně celkové ekvivalentní hladiny. Je-li rozdíl mezi původní a optimalizovanou ekvivalentní hladinou velký, plasticita je vysoká a naopak. Tím lze stanovit opodstatnění optimalizační úpravy, kdy se optimalizuje takový zdroj, který má na hladinu plasticity největší vliv.

Rovnice 72  $LEVEL - PL = [LEVEL_{ekv1}] - [LEVEL_{ekv2}] \quad [dB]$



Obrázek 201 - Hladina plasticity jako rozdíl ekvivalentních hladin přirozeného a systémového prostředí vozidla, autor



## 7.14. STANOVENÍ HLADINY STRESU

Článek [1], str. 34, publikuje výslednou hladinu stresu jako součet kvantitativní hladiny expozice s kvalitativními hladinami tonality, rovnoměrnosti a plasticity. Metoda energetického součtu zmíněných hladin je nevypovídající o kvalitativní části hodnocení, neboť nízké kvalitativní hladiny jsou pohlceny vysokou hladinou expozice.

Více efektivní se ukázalo využití metody přímého sčítání logaritmů, kde se projevují kvalitativní hladiny jako poměrové parametry, neboť opravdu jsou.

Publikované výsledky hodnocení hladiny stresu v článku [1] mají zcela zásadní vliv na konečné využití metody energetického součtu hladin k vyhodnocení celkové hladiny stresu napříč všemi sledovanými vlivy (hluk, vibrace, světlo, teplo).

Následující rovnice vyjadřuje výpočet celkové hladiny stresu jako energetický součet dílčích hladin stresu jednotlivých vlivů. Tento výpočet je aplikován ve všech úrovních metody.

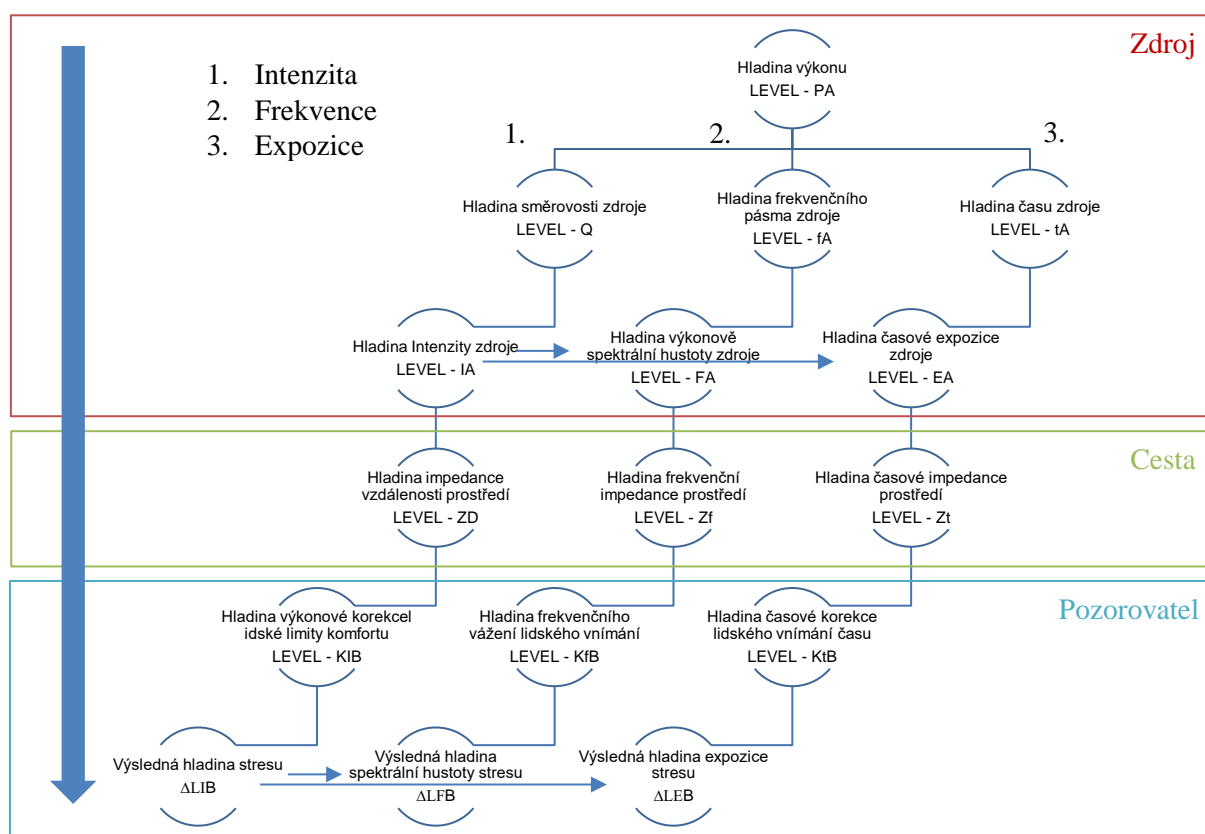
Rovnice 73

$$\Delta L_{Celk} = 10 \cdot \log[(10^{0,1 \cdot \Delta L_{Vibrace}}) + (10^{0,1 \cdot \Delta L_{Hluk}}) + (10^{0,1 \cdot \Delta L_{Teplo}}) + (10^{0,1 \cdot \Delta L_{Světlo}})] [dB]$$

Celková hladina stresu  $\Delta L_{Celk}$  představuje komplexní jednočíslné vyjádření pohody cestujícího v přepravním procesu a ve vztahu s návrhem kolejového vozidla. Celková hladina stresu zahrnuje matematický výpočet, který je uspořádán do tří sekvencí. První sekvence počítá pouze intenzity s výsledným vyhodnocením průběhu a ekvivalentní hladiny stresu. Druhá sekvence přepočítává charakteristiky výkonově spektrálních hustot a třetí sekvence přiřazuje časový parametr k vyjádření celkové energie.

Následující diagram popisuje matematické sestavení přenosových cest a platí pro všechny vlivy – hluk, vibrace, světlo a teplo. Výsledkem je vždy hladina stresu, ať již ve své efektivní, frekvenční nebo časové podobě.

Jednotlivé parametry se pak iteračním způsobem doplňují během konstrukčního vývoje návrhu vozidla. Tímto způsobem lze matematický model stále rozšiřovat a vylepšovat.



Obrázek 202 - Matematické schéma (algoritmus) výpočtu přenosových cest, autor

## 7.15. PŘENOSOVÉ ROVNICE

Přenos energie je potřeba sledovat ze tří úhlů pohledu ve vztahu s lidským faktorem. Tyto pohledy reprezentuje intenzita působícího vlivu, jeho frekvenční charakteristika a jeho specifická expozice. Přenosové rovnice logaritmických funkcí vyjadřují následující rovnice. Referenční hodnoty logaritmických funkcí jsou:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2, P_0 = 10^{-12} \text{ W}, D_0 = 1 \text{ m}, S_0 = 1 \text{ m}^2, f_0 = 1 \text{ Hz}, t_0 = 1 \text{ s}, K_0 = 1.$$

Následující přenosové rovnice jsou v jednotkách decibel (dB), jednotlivé členy reprezentují optimalizační parametr, který metodika v dané fázi zohledňuje.

- První **Rovnice 74** představuje výpočet hladiny stresu  $\Delta LIB$  vyvolanou intenzitou sledovaného vlivu v místě pozorovatele B.
- Druhá **Rovnice 75** představuje výpočet hladiny spektrální hustoty stresu  $\Delta LFB$  intenzity sledovaného vlivu v místě pozorovatele B.
- Třetí **Rovnice 76** představuje výpočet hladiny expozice  $\Delta LEB$  intenzity sledovaného vlivu v místě pozorovatele B.

Na levé straně každé rovnice je výsledná hladina stresu  $\Delta L$  pro počítaný vliv a jeho charakteristickou cestu. Na pravé straně je

- hladina výkonu zdroje ( $LEVEL-PA$ ) s parametrem ( $LEVEL-QA$ ,  $LEVEL-fA$ ,  $LEVEL-tA$ ) určující jeho intenzitu ( $LEVEL-IA$ ),
- hladina impedance cesty ( $LEVEL-ZD$ ,  $LEVEL-Zf$ ,  $LEVEL-Zt$ ),
- hladina korekce pozorovatele ( $LEVEL-KIB$ ,  $LEVEL-KfB$ ,  $LEVEL-KtB$ ).

	Zdroj vlivu	Impedance cesty	Korekce pozorovatele	
Rovnice 74 Vjem	$[LEVEL - PA] - [LEVEL - QA]$	$- [LEVEL - ZD]$	$- [LEVEL - KIB]$	Intenzita
Rovnice 75	$[LEVEL - PA] + [LEVEL - fA]$	$+ [LEVEL - Zf]$	$- [LEVEL - KfB]$	Frekvence
Rovnice 76	$[LEVEL - PA] + [LEVEL - tA]$	$+ [LEVEL - Zt]$	$- [LEVEL - KtB]$	Expozice

První rovnici přenosu výkonu lze rozepsat jako rozdíl hladiny směrovosti **LEVEL-QA**, hladiny impedance vzdálenosti **LEVEL-ZD** a hladiny požadované intenzity v místě pozorovatele **LEVEL-KIB** od hladiny intenzity zdroje **LEVEL-IA** (zvuk, vibrace, světlo, teplo).

Zatímco první tři členy rovnice popisují výslednou hladinu intenzity v místě pozorovatele, hladina požadovaného limitu intenzity **LEVEL-KIB** je předem stanovená hodnota, kterou je cílem navrhnout. Hladina stresu intenzity  $\Delta LIB$  je tedy výsledkem poměru výsledné intenzity v místě pozorovatele a intenzity požadované.

Rovnice 77

$$\Delta LIB = 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - W}{REF - W}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - Q}{REF - Q}\right) - 20 \\ \cdot \log\left(\frac{MAG - D}{REF - D}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - KIB}{REF - W}\right) [dB]$$

Druhou rovnici přenosu frekvenční charakteristiky lze rozepsat jako součet hladiny frekvenční hustoty **LEVEL-fA**, hladiny kritických frekvencí vzdálenosti **LEVEL-Zf** s ekvivalentní hladinou intenzity zdroje **LEVEL-IA** (zvuk, vibrace, světlo, teplo), od kterého se odečte hladina frekvenčně vážené požadované hodnoty intenzity vlivu **LEVEL-KfB**.

Rovnice 78

$$\Delta LFB = 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - W}{REF - W}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - fA}{REF - f}\right) + 10 \\ \cdot \log\left(\frac{MAG - Zf}{REF - f}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - KfB}{REF - W}\right) [dB]$$

Třetí rovnice představuje výpočet hladiny stresu expozice  $\Delta LEB$  pro libovolně dlouhý časový interval  $t$  (s). Součet hladiny expozice zdroje **LEVEL-tA** a hladiny časové korekce přenosu **LEVEL-Zt** s hladinou intenzity zdroje **LEVEL-IA** (zvuk, vibrace, světlo, teplo) vyjadřuje celkovou energii v místě pozorovatele, od které se odečte hladina požadované expozice **LEVEL-KtB**.

Rovnice 79

$$\Delta LEB = 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - W}{REF - W}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - tA}{REF - t}\right) + 10 \\ \cdot \log\left(\frac{MAG - Zt}{REF - t}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{MAG - KtB}{REF - W}\right) [dB]$$

## 7.16. NÁVRH PARAMETRŮ OPTIMALIZACE

Cílem optimalizace je zohlednit parametry vozidla na stav vnitřního prostředí a porozumnět návrhu vozidla z pohledu systémovému rozvržení. Základními parametry optimalizace matematického modelu vnitřního prostředí vozidla platné pro zdroje, pozorovatele a segmenty vozidla jsou:

- Poloha
- Orientace
- Intenzita
- Výkonově spektrální hustota (VSH)
- Expozice

Změnou polohy zdroje, polohy pozorovatele nebo polohy kritického komponentu lze dosáhnout změn v celkovém kontextu matematického modelu. Parametr polohy je vyjádřen hladinou impedance vzdálenosti **LEVEL-ZD**.

Orientace působení vlivu má optimalizační efekt na celkový výsledek matematického modelu. Parametr orientace je vyjádřen hladinou směrovosti **LEVEL-Q**.

Intenzita a její hodnota hladiny **LEVEL-I** je základním optimalizačním parametrem, kterým lze optimalizovat výkony zdrojů vozidla. Pomocí poměrových činitelů **LEVEL-RF**, **LEVEL-TR**, **LEVEL-TF**, **LEVEL-AB**, **LEVEL-EM** a **LEVEL-TP** lze optimalizovat vlastnosti kritických komponentů.

Intenzitu je vždy třeba vyjadřovat k určitému spektru frekvencí. Hladiny výkonově spektrálních hustot **LEVEL-F** jsou kvantitativním ukazatelem efektivního prostředí.

Expozice je optimalizační parametr, kterým je možné kontrolovat hygienu technického prostředí, kdy se projevuje únava vlivem působení dlouhotrvající intenzity. Stejně tak je expozice důležitým parametrem v posuzování změn prostředí z pohledu adaptace zraku. Parametrem expozice je hladina expozice **LEVEL-EX**.

## 7.17. NÁVRH KRITÉRIÍ OPTIMALIZACE

Koncepci návrhu metodiky z pohledu kvalitativního hodnocení přinesla studie akustické a optické pohody [7], str. 13, dřívější fázi koncepce optimalizačních parametrů publikovala studie dizertace, viz. [8], str. 20. Metodika je založena na principu rovnováhy energetických toků intenzit vlivů – světlo, teplo, zvuk a zrychlení, kde požadované hodnoty intenzit působících vlivů by měly být v rovnováze s hodnotami intenzit vypočítaných. Obecný parametr určující stav matematického prostředí se nazývá hladinou stresu  $\Delta L$  [dB] a její hodnota se odvíjí od rovnic přenosových funkcí. Následující kritéria platí stejně pro hladiny stresu intenzity  $\Delta LIB$ , hladiny stresu spektrální hustoty  $\Delta LFB$  a hladiny stresu expozice  $\Delta LEB$ .

### 7.17.1. HLAVNÍ KRITÉRIA OPTIMALIZACE

*Platné pro hladiny stresu intenzity, spektrální hustoty a expozice:*

- Je-li  $\Delta L < 0$  dB, optimalizace není prioritou, akceptovatelné technické řešení.
- Je-li  $\Delta L > 0$  dB;  $\Delta L \leq 3$  dB, akceptovatelné technické řešení, možná dvojnásobná intenzita vlivu, než je požadováno.
- Je-li  $\Delta L > 3$  dB;  $\Delta L \leq 10$  dB, neakceptovatelné technické řešení, možná desetinásobná intenzita vlivu, než je požadováno – nutná optimalizace.
- Je-li  $\Delta L > 10$  dB, neakceptovatelné technické řešení, optimalizace hlavní prioritou.

### 7.17.2. DOPLŇKOVÁ KRITÉRIA OPTIMALIZACE

*Hladina plasticity:*

- Je-li  $LEVEL-PL < 0$  dB, platí stejná kritéria jako pro hodnoty vyšší než 0, znaménko vyjadřuje nárůst nebo úbytek ekvivalentní hladiny intenzity vůči její původní hodnotě.
- Je-li  $LEVEL-PL > 0$  dB;  $LEVEL-PL \leq 3$  dB, možná dvojnásobná ekvivalentní intenzita vlivu, než je požadováno.
- Je-li  $LEVEL-PL > 3$  dB;  $LEVEL-PL \leq 10$  dB, možná desetinásobná ekvivalentní intenzita vlivu, než je požadováno – doporučené opodstatnění.
- Je-li  $LEVEL-PL > 10$  dB, doporučená optimalizace.

***Hladina rovnoměrnosti:***

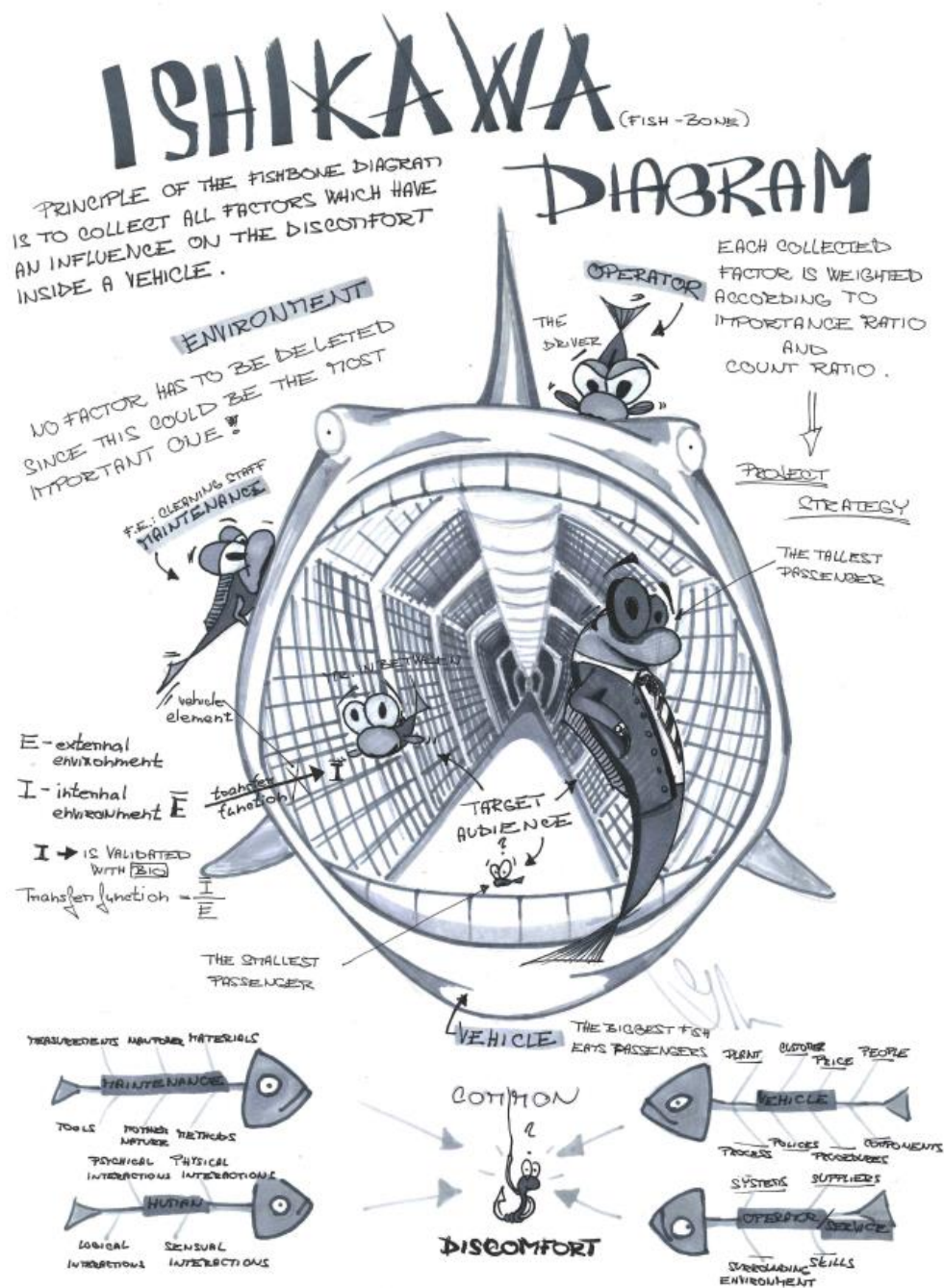
- Je-li ***LEVEL-RM > 0 dB; LEVEL-RM ≤ 3 dB***, možná dvojnásobná ekvivalentní intenzita vlivu, než je požadováno.
- Je-li ***LEVEL-RM > 3 dB; LEVEL-RM ≤ 10 dB***, možná desetinásobná ekvivalentní intenzita vlivu, než je požadováno – doporučené opodstatnění.
- Je-li ***LEVEL-RM > 10 dB***, doporučená optimalizace.

***Hladina tonality:***

- Je-li ***LEVEL-TN > 0 dB; LEVEL-TN ≤ 3 dB***, možná dvojnásobná ekvivalentní intenzita vlivu, než je požadováno.
- Je-li ***LEVEL-TN > 3 dB; LEVEL-TN ≤ 10 dB***, možná desetinásobná ekvivalentní intenzita vlivu, než je požadováno – doporučené opodstatnění.
- Je-li ***LEVEL-TN > 10 dB***, doporučená optimalizace.

## PRAKTICKÁ ČÁST

### 7.18. PŘÍPRAVA VSTUPŮ



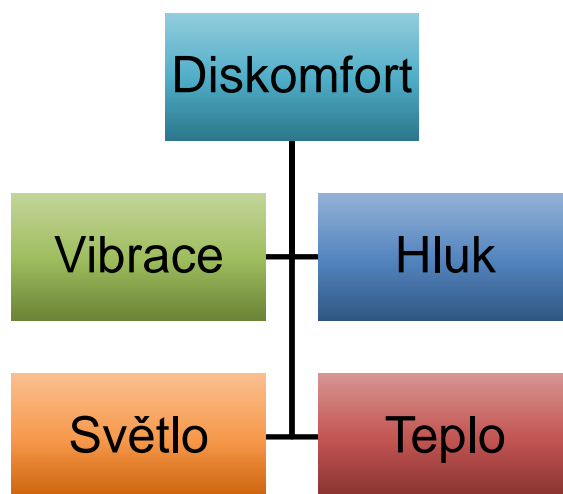
Obrázek 203 - Abstrakce představení využití diagramů rybích kostí k hledání možných příčin a následků diskomfortu. Důležitým prvkem je společný problém, do kterého lze zapojit jakýkoliv diagram rybí kosti, hodnocení se pak stává více komplexním, autor [5]



S odkazem na publikaci autora, *Příčiny a následky cestovní pohody* [5], str. 251 až 252, je velmi důležitou fází přípravy přenosových cest sestavení informačního uspořádání dostupných vstupů a systematické vyhodnocení souvislostí příčin a následků. Cílem toho přístupu je porozumění situace návrhu a podpořit tím rozhodování ve vývoji návrhu kolejového vozidla.

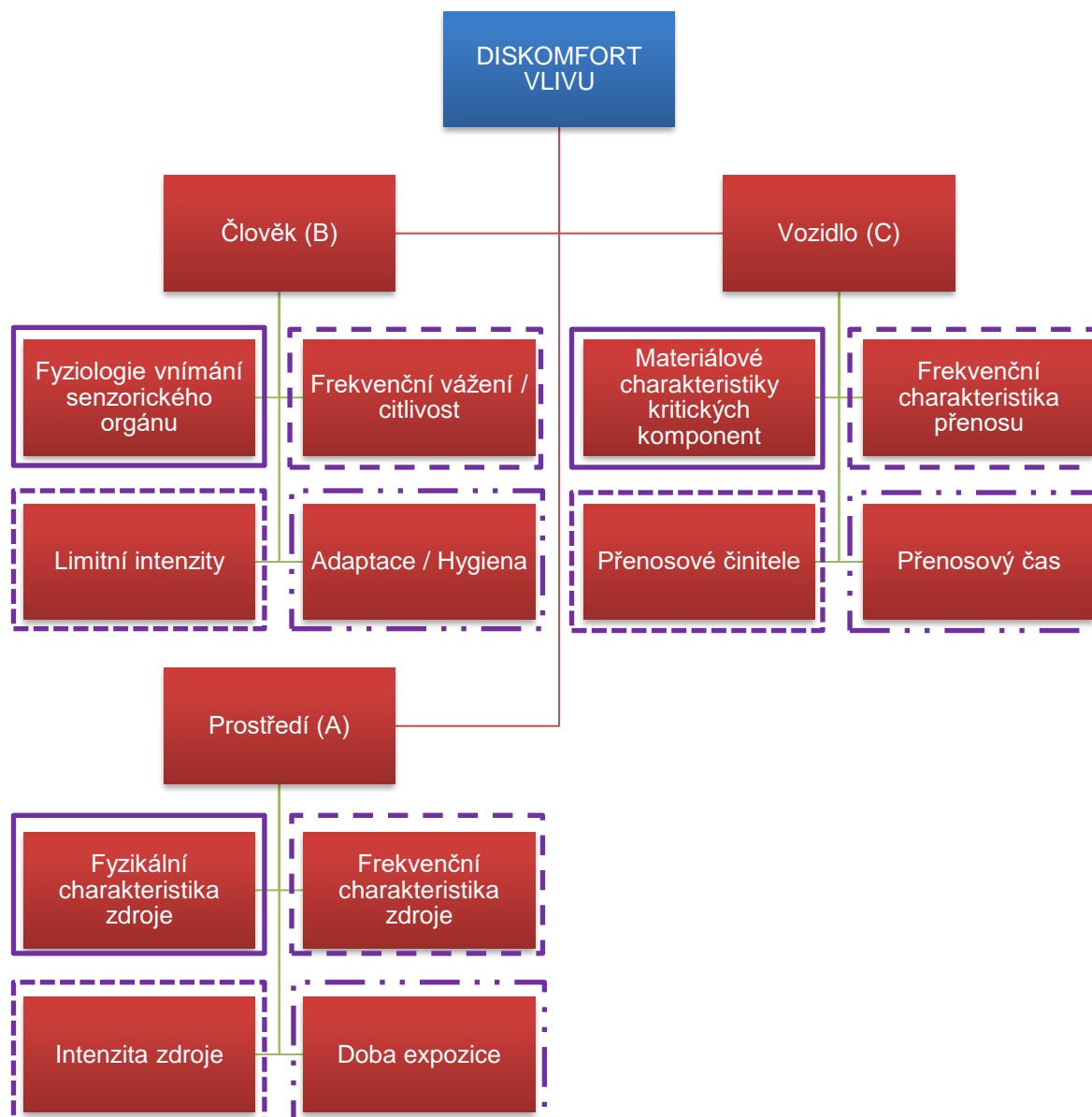
Následující obrázek zobrazuje představu využití tzv. diagramů „rybí kosti“, více viz [15], kdy určitý problém představuje hlavu ryby a jednotlivé kosti představuje možné příčiny problému. Jsou-li systémy dva a více se stejným problémem, lze tyto diagramy skrze „hlavu ryby“ propojit a tím komplexně popsat možné příčiny v širších souvislostech.

Lze sestavit základní diagramy rybí kosti, viz následující schémata. První základní schéma je přehled studovaných prostředí, pro které hledáme interakce mezi vozidlem, prostředím a člověkem. Výsledky studie jednotného hodnocení cestovní pohody [5], str. 254 až 255, přinesly pojmenování problému jako „diskomfort“, neboť pojmenováním problému „komfort“ může být zavádějící a vést k jinému cíli, než je systémová optimalizace kritických komponentů vozidla. Proto je doporučeno začít s diskomfortem a vyřešit tím potenciaální zásadní nedostatky, než si komfortem nedostatky přidělat.



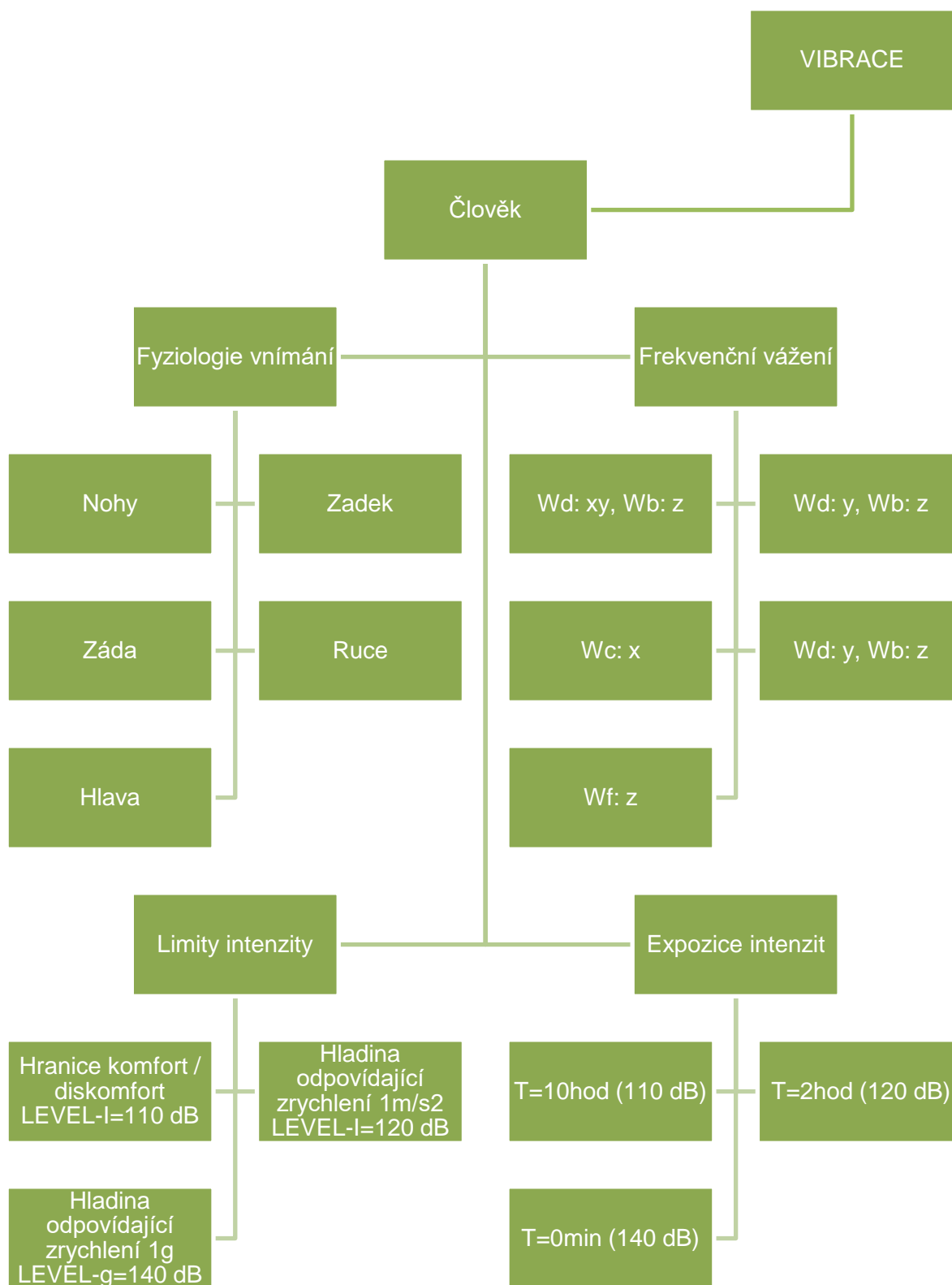
Obrázek 204 - Základní přehled problematiky diskomfortu a studovaných vlivů potřebných k docílení optimálního prostředí v interiéru kolejového vozidla, autor [5]

Pro každý zmíněný vliv, viz. obrázek výše, je potom potřeba sestavit komplexní hierarchický model, který popisuje interakce systému ČLOVĚK-VOZIDLO-PROSTŘEDÍ.



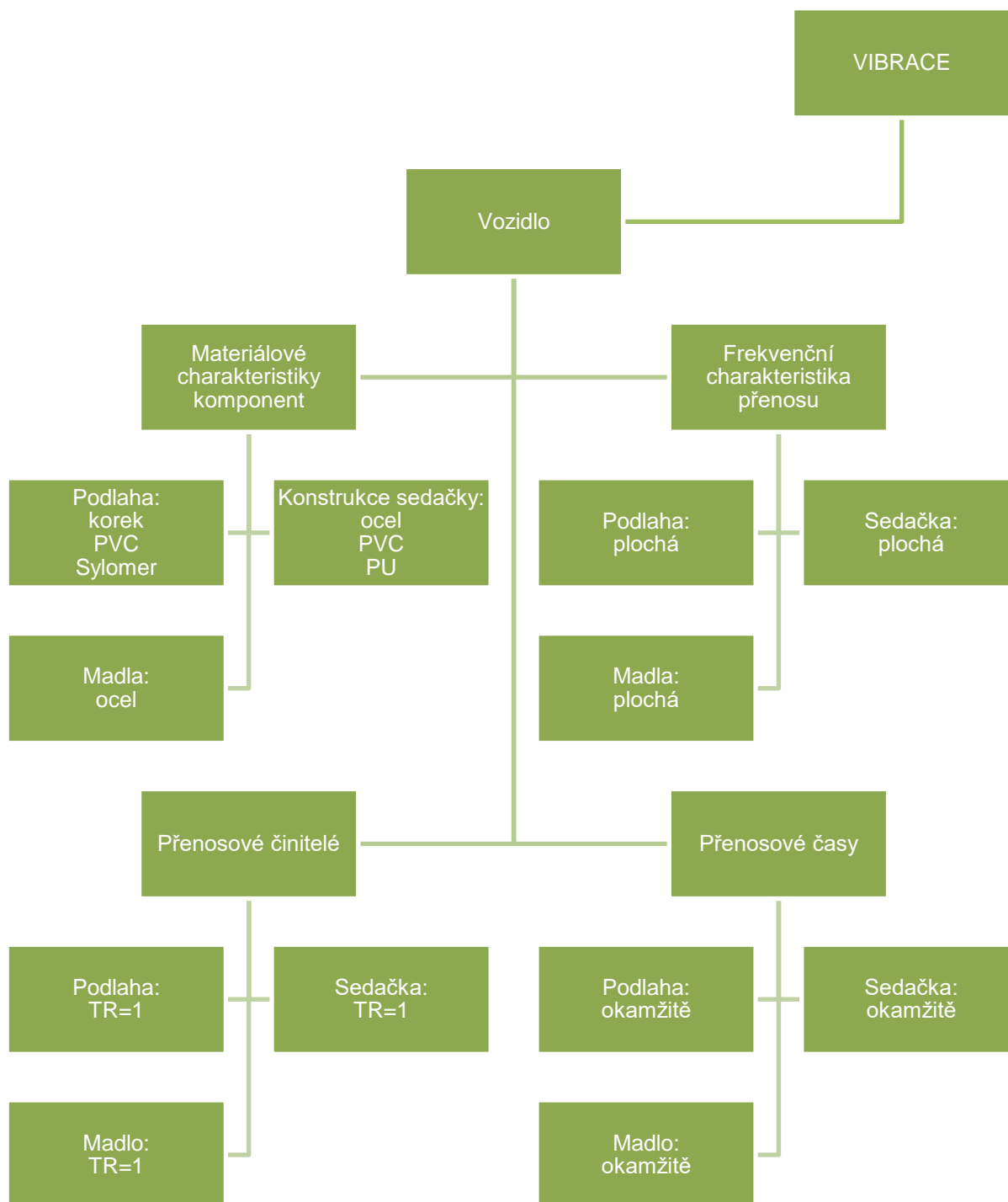
Obrázek 205 - Základní schéma popisu příčin diskomfortu pro jednotlivé vlivy. Toto schéma je aplikovatelné pro všechny 4 vlivy - hluk, vibrace, světlo a teplo, autor [5].

### 7.18.1.1. Systém ČLOVĚK - VIBRACE



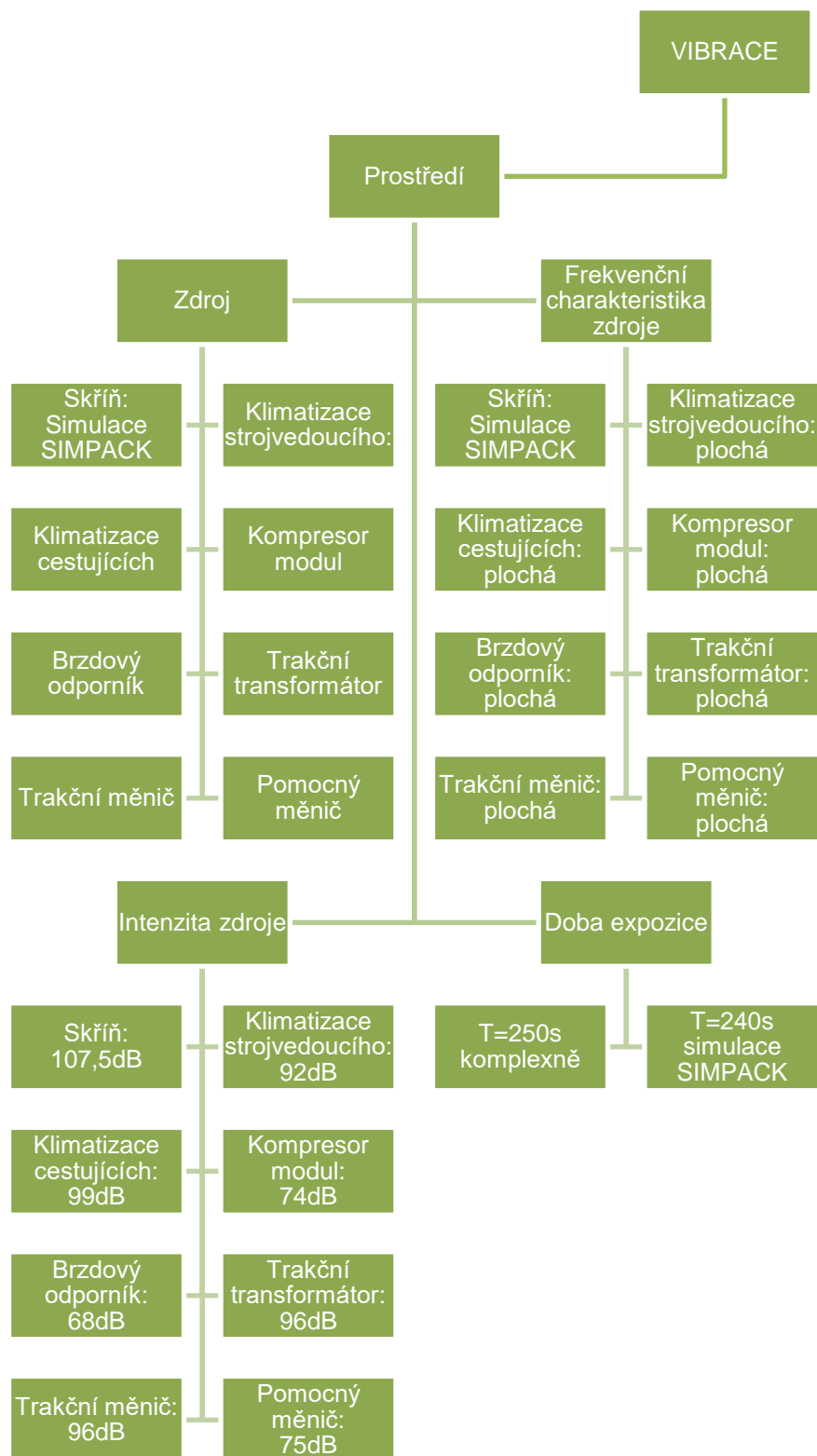
Obrázek 206 - Informační iškavův diagram subsystému VIBRACE - ČLOVĚK, autor.

### 7.18.1.2. Systém VOZIDLO - VIBRACE



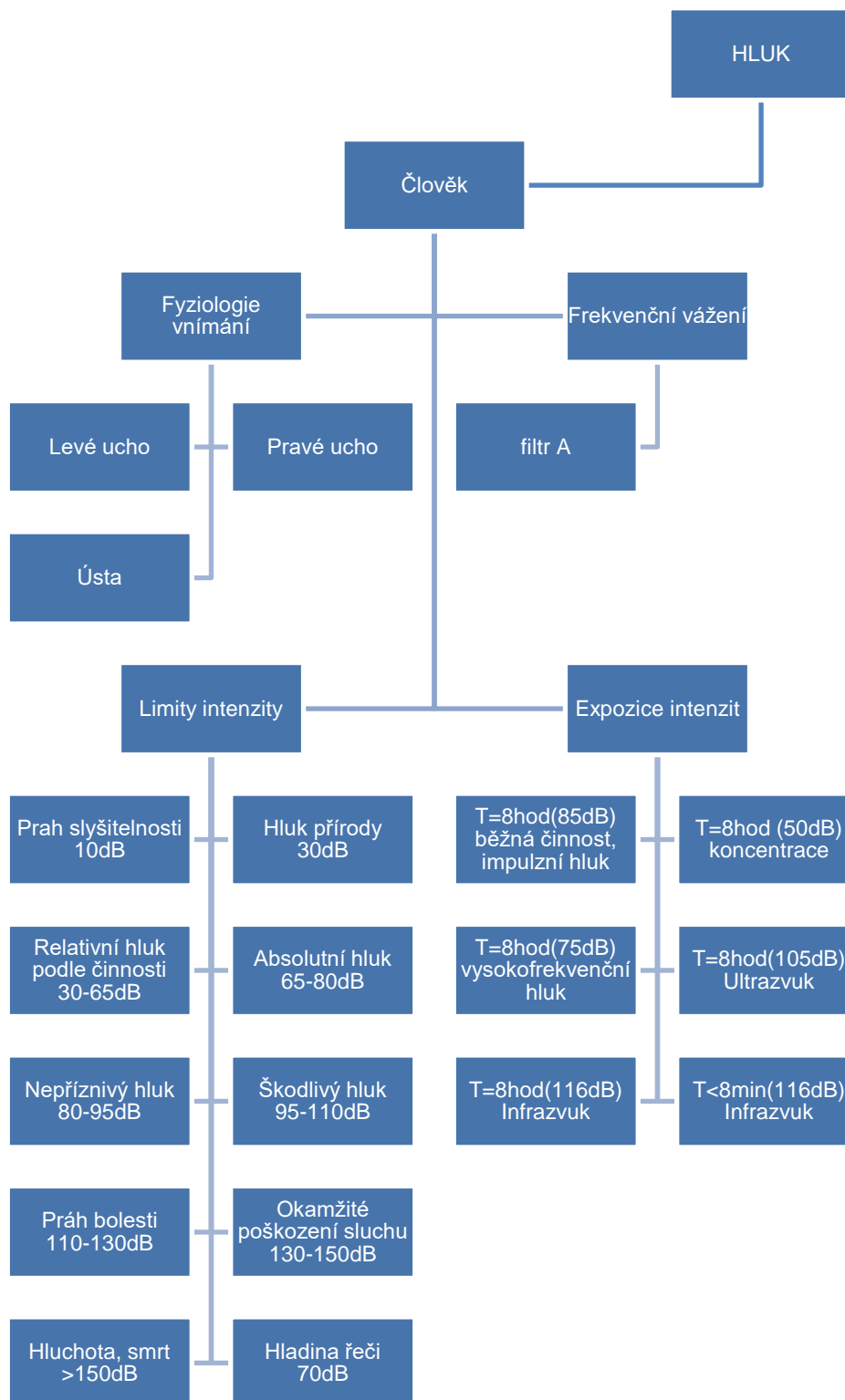
Obrázek 207 - Informační iřikavův diagram subsystému VIBRACE - VOZIDLO, autor.

### 7.18.1.3. Systém PROSTŘEDÍ - VIBRACE



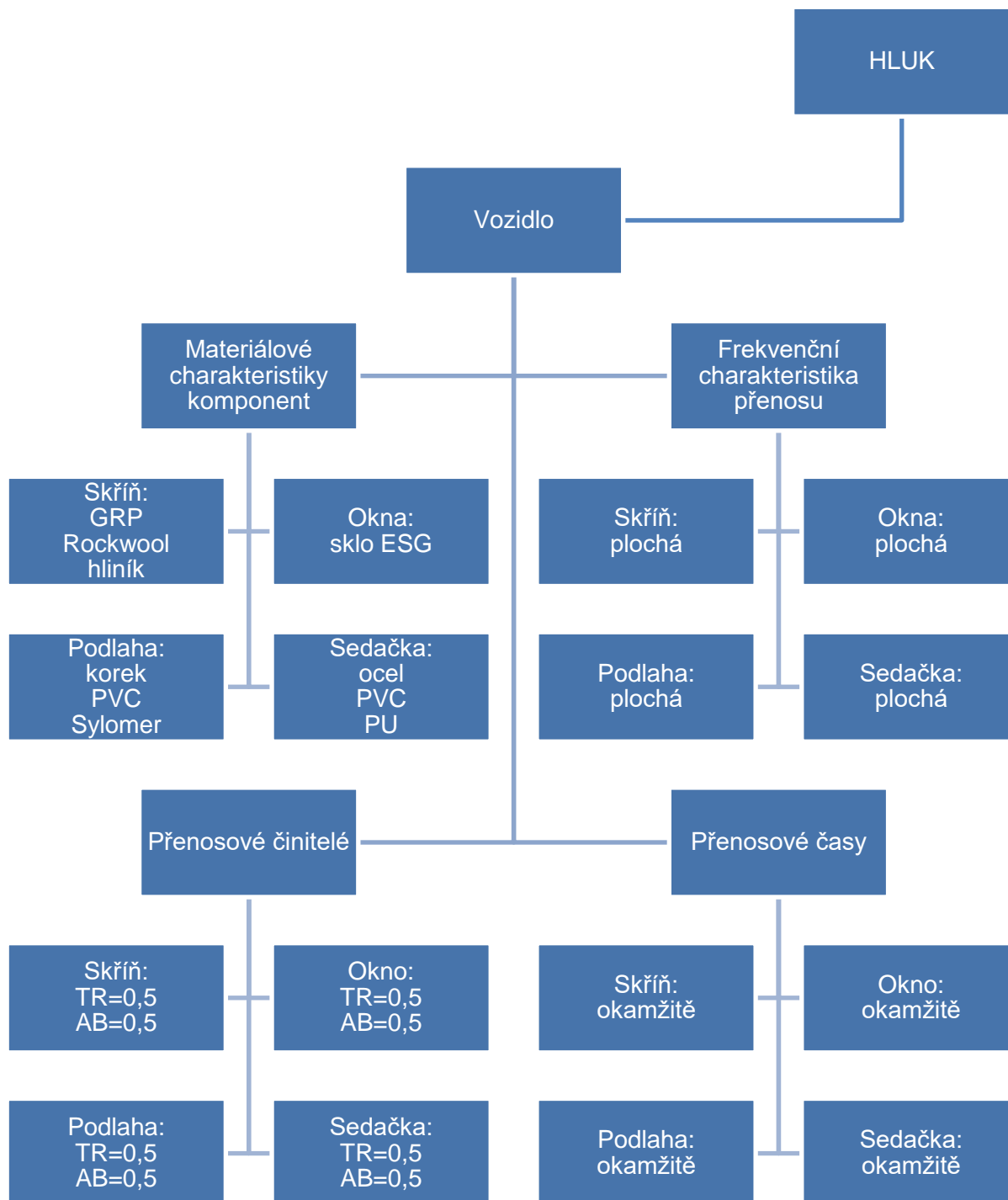
Obrázek 208 - Informační išikavův diagram subsystému VIBRACE - PROSTŘEDÍ, autor.

#### 7.18.1.4. Systém ČLOVĚK - HLUK



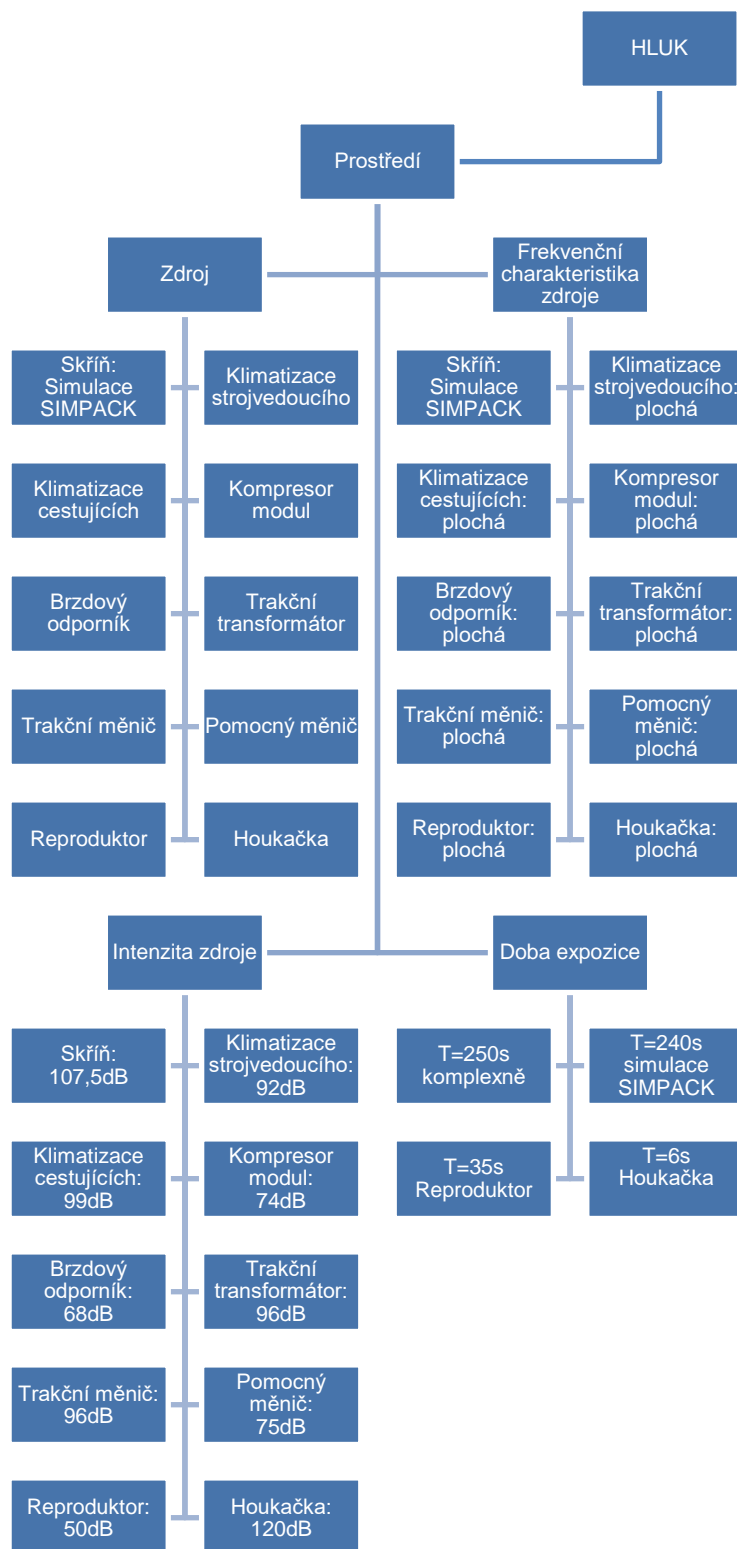
Obrázek 209 - Informační išikavův diagram subsystému HLUK - ČLOVĚK, autor.

### 7.18.1.5. Systém VOZIDLO - HLUK



Obrázek 210 - Informační išikavův diagram subsystému HLUK - VOZIDLO, autor.

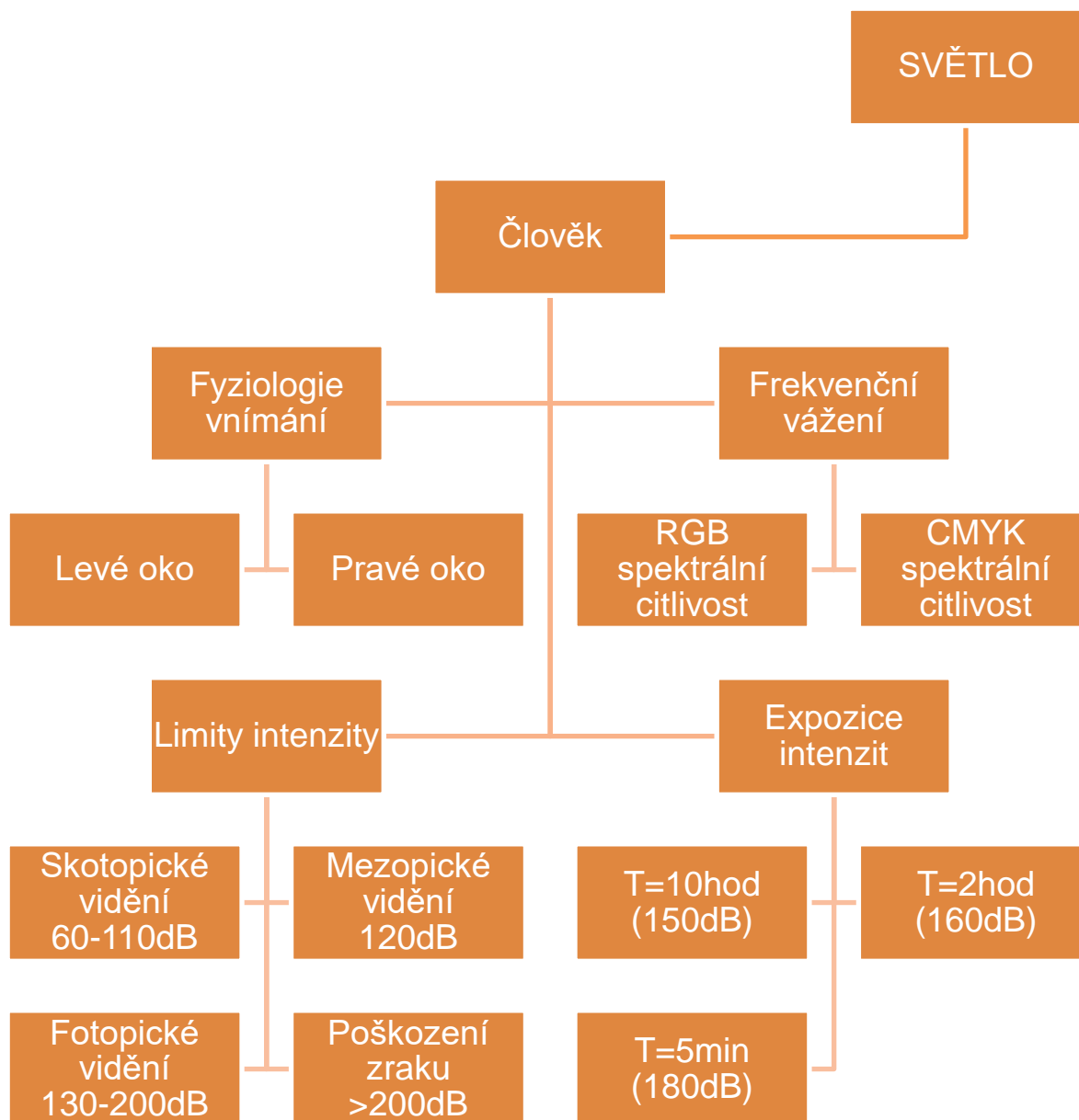
### 7.18.1.6. Systém PROSTŘEDÍ - HLUK



Obrázek 211 - Informační išikavův diagram subsystému HLUK -PROSTŘEDÍ, autor.

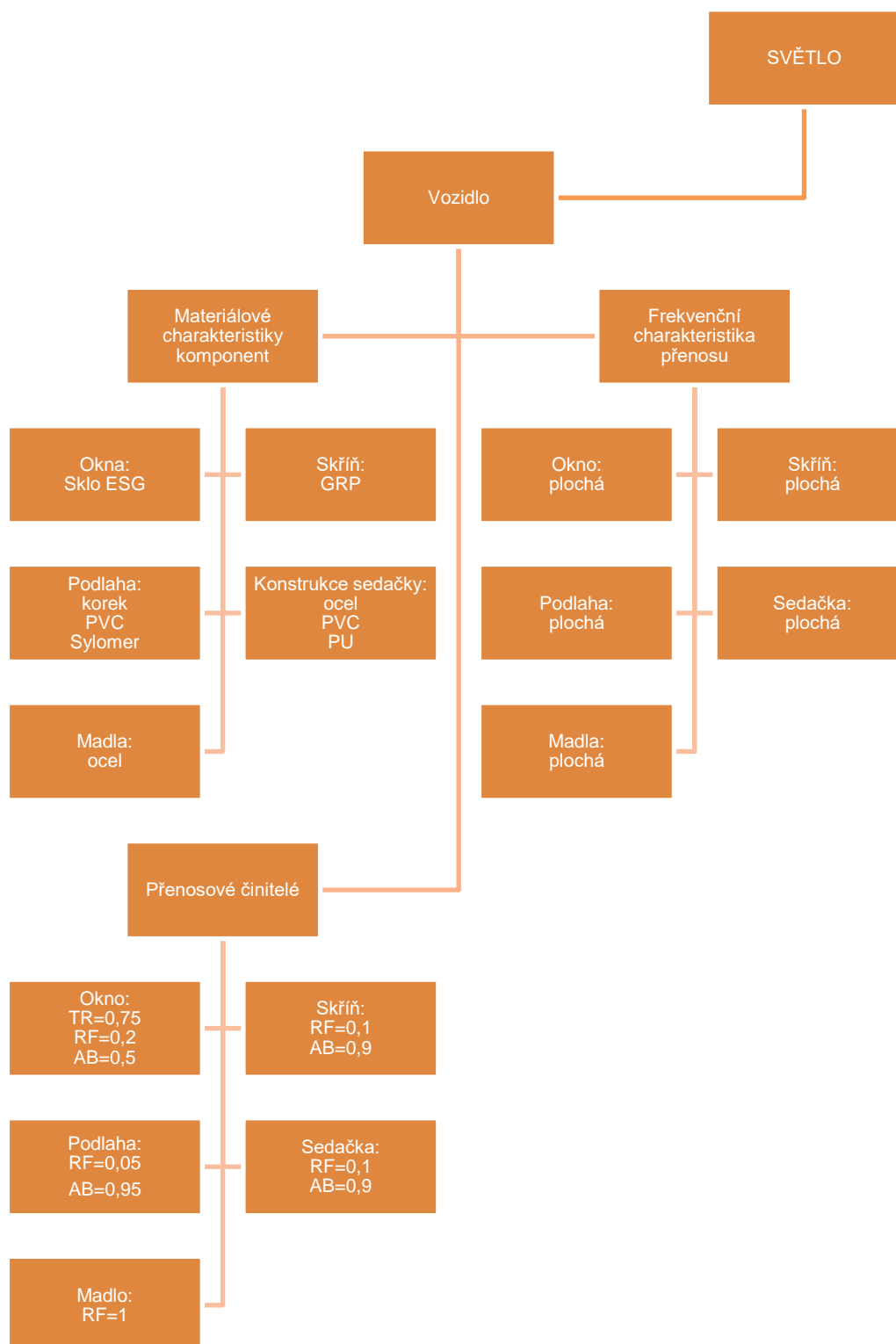


### 7.18.1.7. Systém ČLOVĚK - SVĚTLO



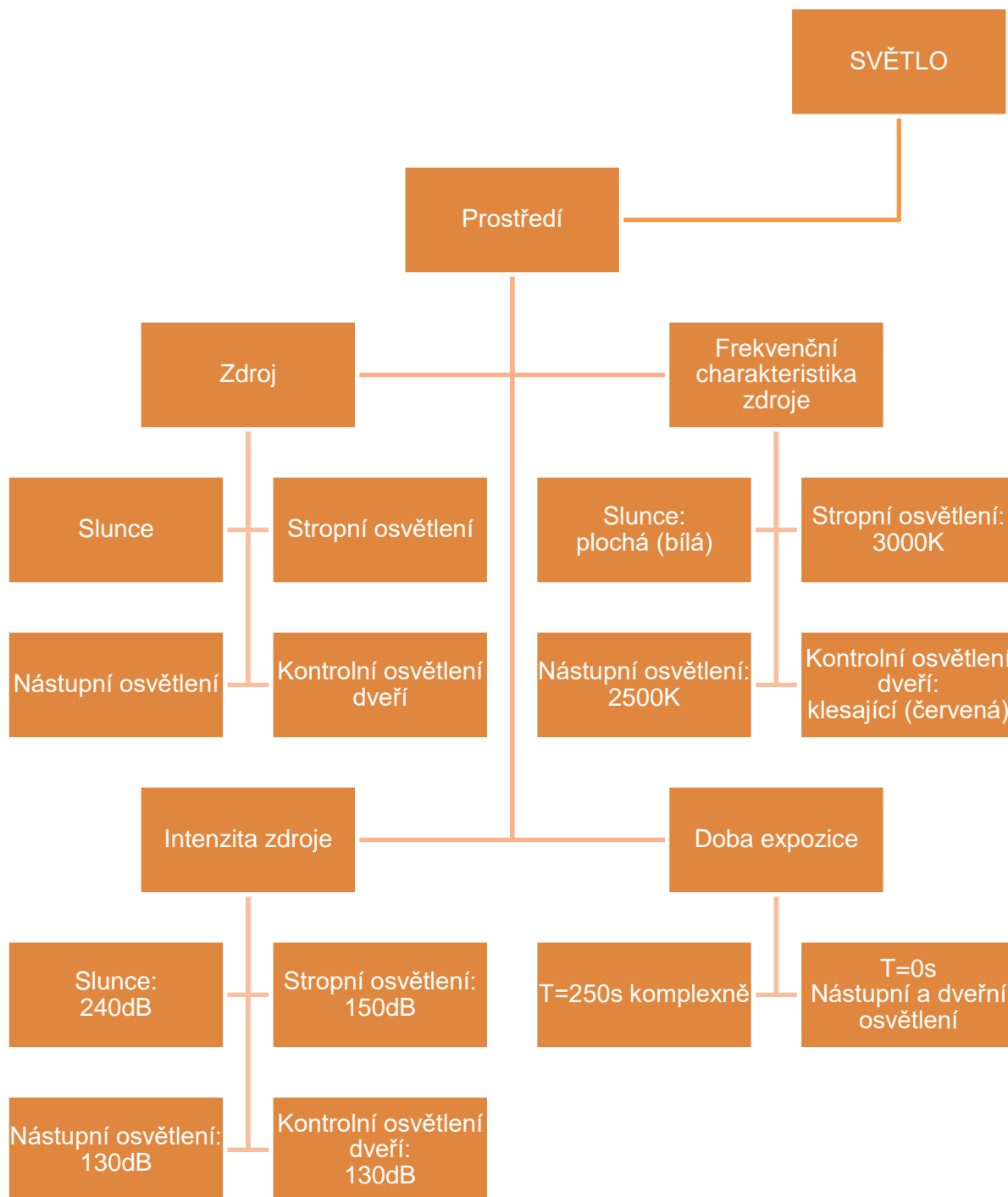
Obrázek 212 - Informační išikavův diagram subsystému SVĚTLO - ČLOVĚK, autor.

### 7.18.1.8. Systém VOZIDLO - SVĚTLO



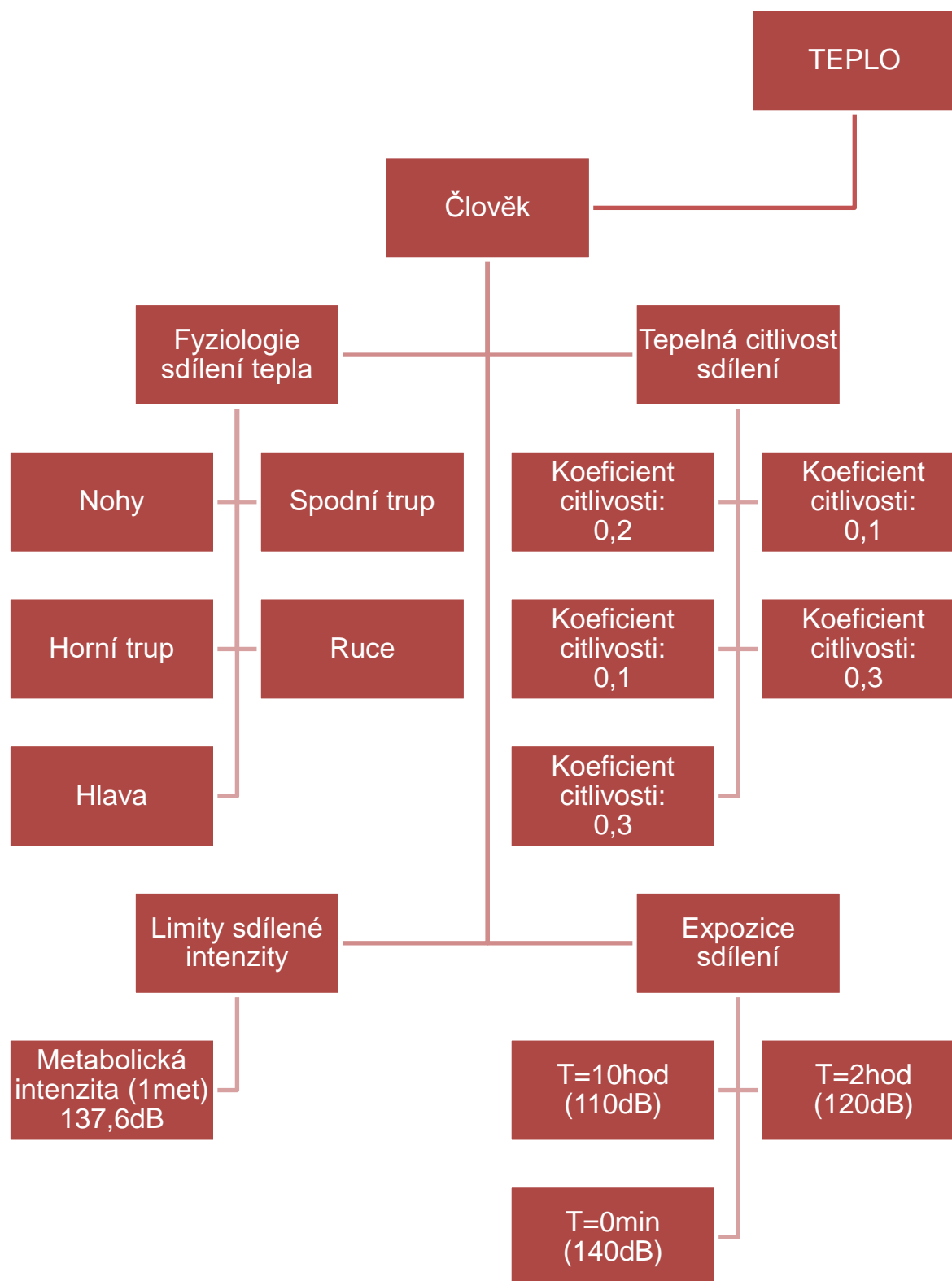
Obrázek 213 - Informační iřikavův diagram subsystému SVĚTLO -VOZIDLO, autor.

### 7.18.1.9. Systém PROSTŘEDÍ - SVĚTLO



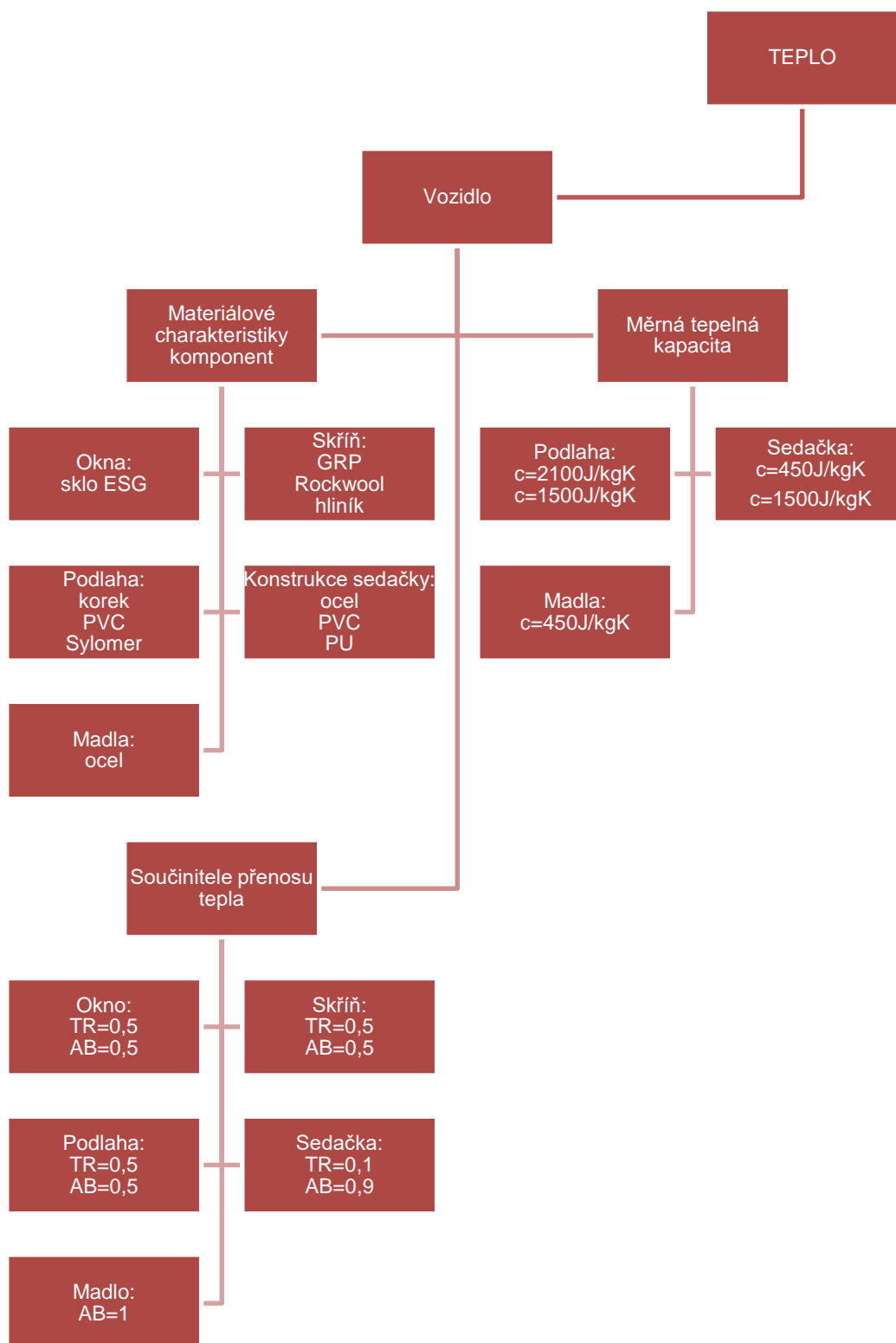
Obrázek 214 - Informační išikavův diagram subsystému SVĚTLO -PROSTŘEDÍ, autor.

### 7.18.1.10. Systém ČLOVĚK - TEPLLO



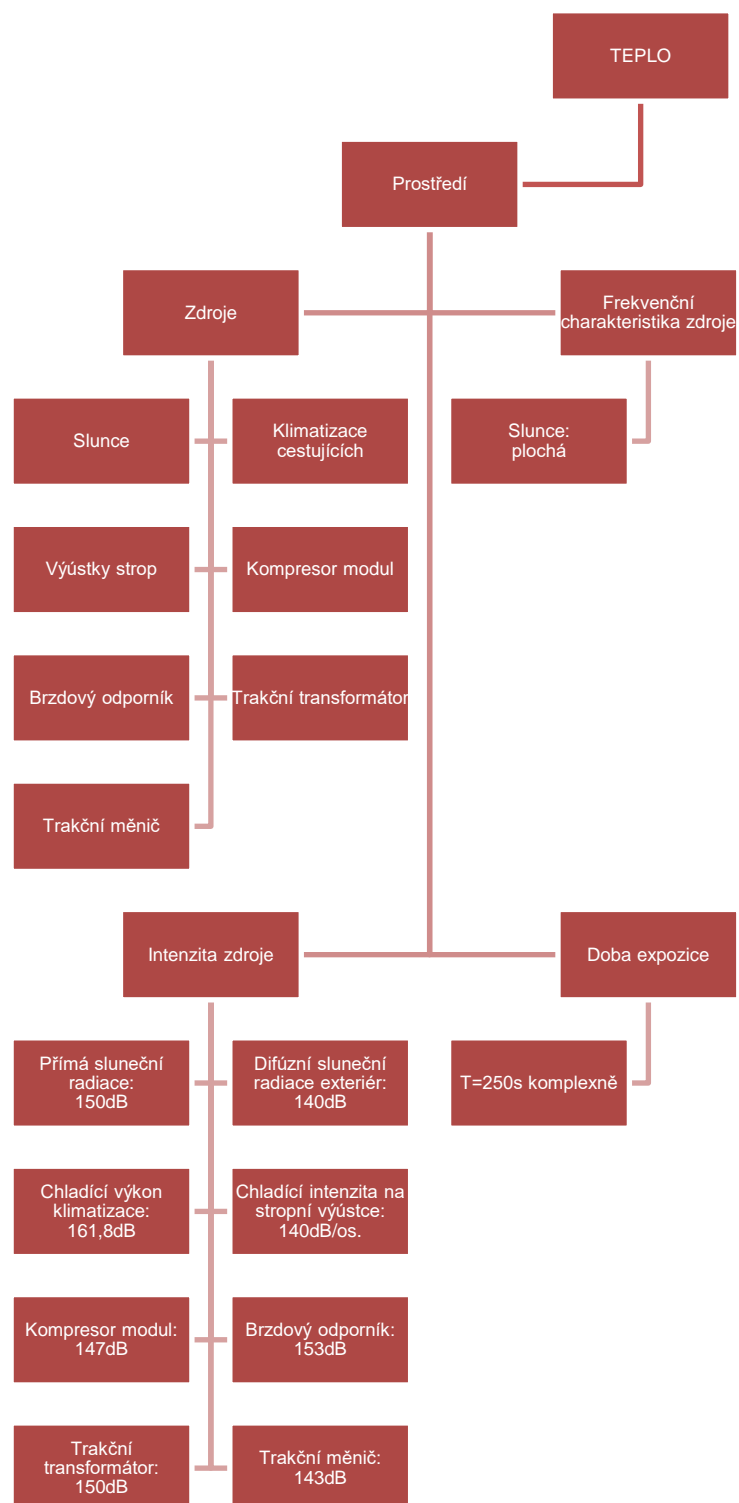
Obrázek 215 - Informační iškavův diagram subsystému TEPLLO - ČLOVĚK, autor.

### 7.18.1.11. Systém VOZIDLO - TEPLLO



Obrázek 216 - Informační išikavův diagram subsystému TEPLLO - VOZIDLO, autor.

### 7.18.1.12. Systém PROSTŘEDÍ – VOZIDLO

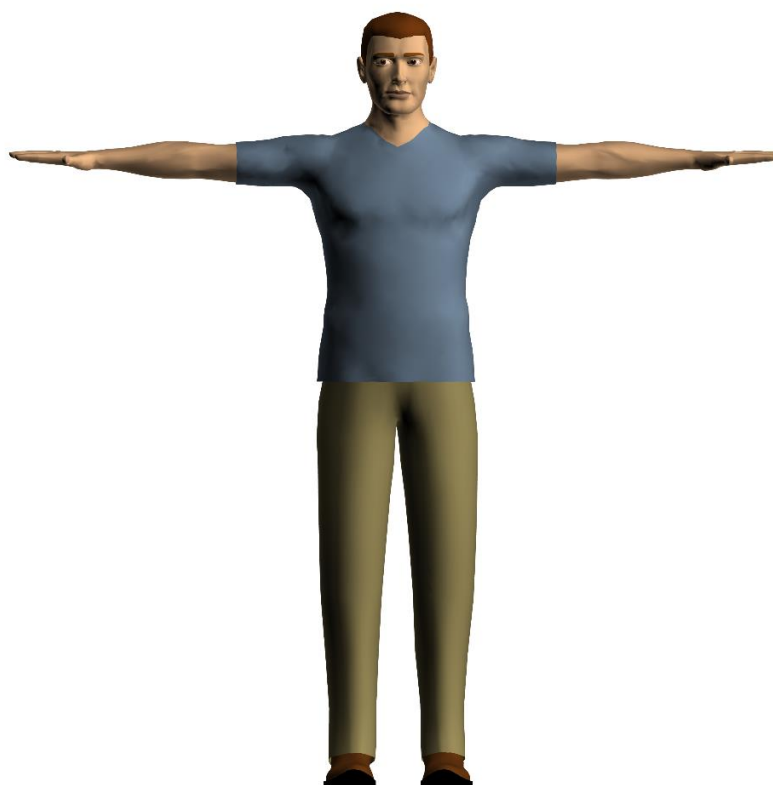


Obrázek 217 - Informační iřikavův diagram subsystému TEPLO - PROSTŘEDÍ, autor.

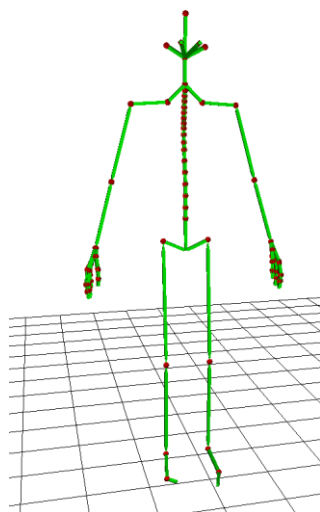
## 7.19. NÁVRH MODELU ČLOVĚKA

Jak naznačuje studie v oblasti akustické a optické pohody [7], str. 3, model cestujícího představuje fyziologické a psychologické kontinuum, které nelze hodnotit pouze na základě kvantitativních dat, ale je do hodnocení zahrnout kvalitativní proměnnou v podobě informační přidané hodnoty.

Výsledkem studie integrace metodiky do 3D CAD prostředí [2] bylo prokázání vhodnosti aplikací 3D CAD systému, zejména systémů s aplikací lidského faktoru. Pro účely této práce byla vybrána figurína 3D Human CAD systému JACK&JILL reprezentující vysokého muže, viz následující obrázek.

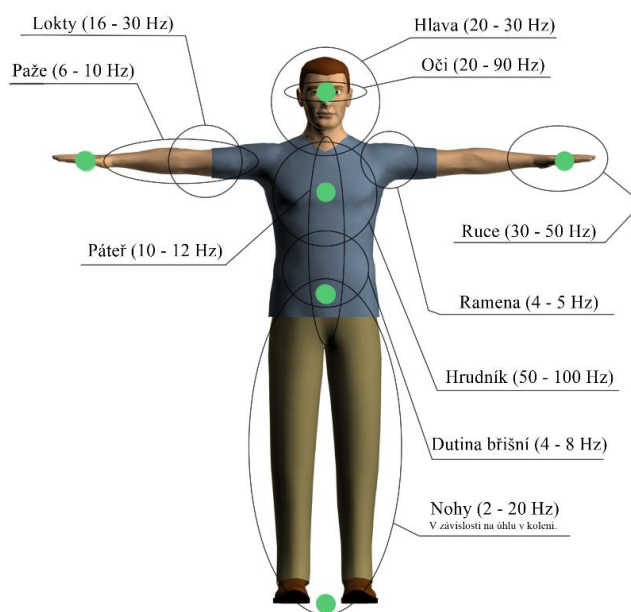


**Obrázek 218 - 95ti percentilní muž – 1855 mm vysoký, 90 kg těžký. Antropometrické údaje odpovídají ISO 7250-2, Tabulka 2, str. 7, nebo viz příloha P06 – Antropometrické rozměry.**



Obrázek 219 - Skeletární zobrazení kinematického modelu člověka, autor

Studie integrace metodiky [2] vnesla do komplexu návrhu geometrického a matematického modelování aplikaci parametrického popisu figury člověka, neboli cestujícího v přepravním procesu. Skeletární model a jeho koordinační systémy segmentů a kloubů jsou využity k definování míst vnímání pozorovatele, stejně tak oči pro světelné interakce, uši pro zvukové interakce, oblasti kůže pro tepelné interakce a místa kontaktní mechanické interakce. Následující obrázky představují rozmístění bodů pozorovatele v závislosti na vnímaném vlivu prostředí.



Obrázek 220 - Lokace a citlivosti vnímání vibrací modelu člověka, hodnoty citlivosti převzaty z [29], obrázek autor



**Tabulka 32 - Souhrn požadavků na mechanické prostředí, hodnoty zrychlení z ISO 2631-1 přepočítány na hladiny**

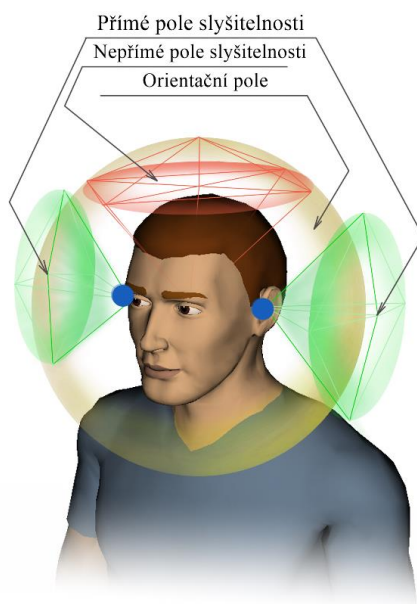
<u>Požadavky na mechanické prostředí dle ISO 2631-1</u>	<u>Hladina intenzity zrychlení - Muž 90kg</u>
Práh vnímání zrychlení $10^{-6} \text{ m/s}^2$	0 dB
Mez komfortu	90,4 dB
Trochu nepohodlné	96,4 dB
Přijatelně nepohodlné	100,5 dB
Nepohodlné	104,5 dB
Extrémně nepohodlné	106,5 dB

**Tabulka 33 – Hladiny impedance hmotnosti, hodnoty přepočítány z [50], převedeno na hladiny**

<u>Hmotnostní impedance</u>	<u>Hladina impedance hmotnosti - Muž 90kg</u>
Hlava a krk	7,9 dB
Trup	16,2 dB
Horní končetiny – nadloktí	7,7 dB
Horní končetiny – předloktí	5,8 dB
Ruce	1,8 dB
Dolní končetiny – stehna	12,9 dB
Dolní končetiny – lýtka	9,3 dB
Chodidla	4,9 dB

**Tabulka 34 – Maximální expozice pro ekvivalentní hladiny intenzity zrychlení, hodnoty vypočítány podle ISO 2631-1**

<u>Ekvivalentní hladina intenzity zrychlení</u>	<u>Maximální expozice</u>
Ekvivalentní hladina intenzity zrychlení 100 dB	48 hod
Ekvivalentní hladina intenzity zrychlení 110 dB	10 hod
Ekvivalentní hladina intenzity zrychlení 114 dB	8 hod
Ekvivalentní hladina intenzity zrychlení 116 dB	4 hod
Ekvivalentní hladina intenzity zrychlení 120 dB	30 min
Ekvivalentní hladina intenzity zrychlení 124 dB	10 min



Obrázek 221 - Oblasti přímého / nepřímého slyšení a pole orientace vnímání hluku, autor

Výsledky studie akustické a optické pohody [7], str. 10, naznačily integraci ustálených expozičních působení hluku jako limitní parametry návrhu metodiky.

Tabulka 35 – Požadavky na slyšitelnost

<u>Požadavky slyšitelnosti</u>	<u>Hladina intenzity hluku</u>
Práh slyšitelnosti, viz [50]	< 10 dB
Hluk přírody, viz [50]	30 dB
Relativní hluk, viz [50]	30 až 65 dB podle činnosti
Absolutní hluk, viz [50]	65 až 80 dB
Nepříznivý hluk, viz [50]	80 až 95 dB
Škodlivý hluk, viz [50]	95 až 110 dB
Prah bolesti, viz [50]	110 až 130 dB
Okamžité poškození sluchu, viz [50]	130 až 150 dB
Hluchota až smrt, viz [50]	> 150 dB

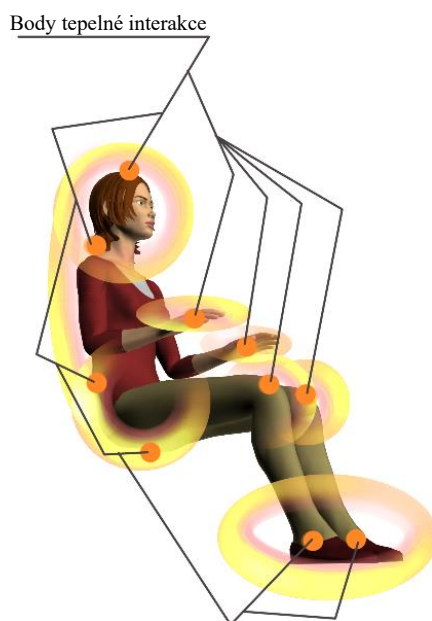


Tabulka 36 - Souhrn spektrálních citlivostí zvukového prostředí

<u>Spektrální oblasti</u>	<u>Frekvence zvuku</u>
Infrazvuk, viz [42]	< 20 Hz
Minimální frekvence slyšitelnosti, viz [42]	20 Hz
Citlivost vnímání hudby, viz [42]	1 až 10 kHz
Komunikační citlivost, viz [42]	500 Hz až 3 kHz
Referenční frekvence zvuku, viz [42]	1 kHz
Lokalizační citlivost, viz [42]	3 kHz

Tabulka 37 – Maximální expozice pro ustálené hlukové prostředí

<u>Hladina ustáleného hluku</u>	<u>Maximální expozice</u>
Ustálený hluk 90 dB, viz [50]	8 hod
Ustálený hluk 92 dB, viz [50]	6 hod
Ustálený hluk 95 dB, viz [50]	4 hod
Ustálený hluk 97 dB, viz [50]	3 hod
Ustálený hluk 100 dB, viz [50]	2 hod
Ustálený hluk 102 dB, viz [50]	1,5 hod
Ustálený hluk 105 dB, viz [50]	1 hod
Ustálený hluk 110 dB, viz [50]	30 min
Ustálený hluk 115 dB, viz [50]	15 min



Obrázek 222 – Lokace senzitivních míst modelu člověka na teplo, obrázek autora

Tabulka 38 - Souhrn požadavků na tepelné prostředí, autor

<u>Požadavky tepelného prostředí</u>	<u>Hladina tepelné intenzity</u>
Metabolická intenzita 1 met – sedící člověk	137,6 dB
Intenzita sdílení tepla neviditelným potem pro teplotu kůže 34,1 °C, teplotu vzduchu 22 °C a rel. vlhkost 50%	130,7 dB
Intenzita tepla sdílená dýcháním pro 1 met	130,9 dB

Tabulka 39 - Souhrn intenzity sdíleného tepla pocením podle teploty kůže části lidského těla, autor

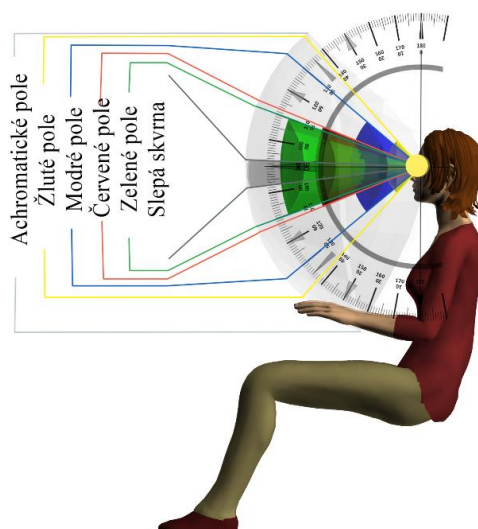
<u>Intenzity pocení podle teploty kůže segmentu</u>	<u>Teplota povrchu kůže / Hladina intenzity sdílení potem</u>	<u>Teplota povrchu kůže / Hladina intenzity sdílení potem</u>
	<u>Zimomřiví</u>	<u>Horkokrevní</u>
Hlava a krk	30,0 °C / 129,4 dB	33,0 °C / 130,4 dB
Trup	30,5 °C / 129,5 dB	33,5 °C / 130,6 dB
Horní končetiny – nadloktí	29,5 °C / 129,2 dB	32,5 °C / 130,2 dB
Horní končetiny – předloktí	28,0 °C / 128,5 dB	31,0 °C / 129,7 dB
Ruce	30,0 °C / 129,4 dB	33,0 °C / 130,4 dB
Dolní končetiny – stehna	28,0 °C / 128,3 dB	31,0 °C / 129,7 dB
Dolní končetiny – lýtka	27,0 °C / 128 dB	30,0 °C / 129,4 dB
Chodidla	25,0 °C / 126,7 dB	28,0 °C / 128,3 dB

**Tabulka 40 - Souhrn spektrální citlivosti povrchu kůže v tepelném prostředí, autor**

<b>Spektrální citlivosti</b>	<b>Teplota povrchu kůže / Frekvence IR Zimumřiví</b>	<b>Teplota povrchu kůže / Frekvence IR Horkokrevní</b>
<b>Hlava a krk</b>	30,0 °C / 31,4 THz	33,0 °C / 31,7 THz
<b>Trup</b>	30,5 °C / 31,4 THz	33,5 °C / 31,7 THz
<b>Horní končetiny – nadloktí</b>	29,5 °C / 31,3 THz	32,5 °C / 31,6 THz
<b>Horní končetiny – předloktí</b>	28,0 °C / 31,2 THz	31,0 °C / 31,5 THz
<b>Ruce</b>	30,0 °C / 31,4 THz	33,0 °C / 31,7 THz
<b>Dolní končetiny – stehna</b>	28,0 °C / 31,2 THz	31,0 °C / 31,5 THz
<b>Dolní končetiny – lýtka</b>	27,0 °C / 31,1 THz	30,0 °C / 31,4 THz
<b>Chodidla</b>	25,0 °C / 30,9 THz	28,0 °C / 31,2 THz

**Tabulka 41 - Souhrn požadavků na expozici tepelného prostředí, [50]**

<b>Expozice</b>	<b>Kritické časy</b>
<b>Aklimatizace na chladné prostředí</b>	5 min
<b>Aklimatizace na teplé prostředí</b>	15 min



Obrázek 223 - Výhledové poměry v sagitální rovině pro vnímání barev a achromatického vidění, hodnoty převzaty z [50], obrázek autora

Studie hodnocení barevného prostředí interiéru vozidla za definovaných světelných podmínek [4], str. 4 až 14, přinesl základní požadavky na optické prostředí cestujícího v přepravním procesu. Následující tabulka navrhuje limitní hodnoty hladin intenzity osvětlení v decibelech. Výsledky publikace akustické a optické pohody [7], str. 11, naznačily integraci adaptačních časů do návrhu metodiky. Celkově tyto hodnoty představují okrajové podmínky matematického modelu člověka, jsou uvedeny na základě rešerše této práce, viz [49][57][36], a jsou využity jako vstupní parametry potřebné k výpočtu výsledných hladin stresu.

Tabulka 42 - Souhrn požadavků viditelnosti

<u>Požadavky viditelnosti</u>	<u>Hladina intenzity osvětlení</u>
Limit viditelnosti, viz [49]	<60 dB
Mezopické vidění, viz [49]	90 až 120 dB
Doporučená viditelnost, viz [49]	150 až 180 dB podle činnosti
Škodlivé pro zrak, viz [49]	>200 dB
Noc – měsíční a hvězdná intenzita, viz [57]	80 – 100 dB
Rozbřesk / Soumrak – sluneční intenzita, viz [57]	0 – 120 dB
Zlatá hodina – sluneční intenzita, viz [57]	120 – 150 dB
Den – sluneční intenzita, viz [57]	150 – 170 dB
Absolutní oslnění (den – noc), viz [57]	226 – 180 dB
Přechodné oslnění $\Delta L$ , viz [36]	20 dB
Narušení zrakové pohody $\Delta L$ , viz [36]	10 dB

Tabulka 43 - Souhrn požadavků spektrální citlivosti

<u>Spektrální citlivosti</u>	<u>Frekvence Trichromatická teorie / Teorie oponentních procesu</u>
Čípek – červená barva, viz [36] [49]	560 THz / 492 THz, 680 THz
Čípek – zelená barva, viz [36] [49]	595 THz / 572 THz
Čípek – modrá barva, viz [36] [49]	720 THz / 674 THz
Tyčinky - monochromatické, viz [36] [49]	602 THz / -
Oponentní proces – žlutá barva, viz [36] [49]	- / 542 THz
Maximální citlivost fotopického vidění, viz [36] [49]	- / 542 THz

Tabulka 44 - Souhrn požadavků expozice viditelnosti

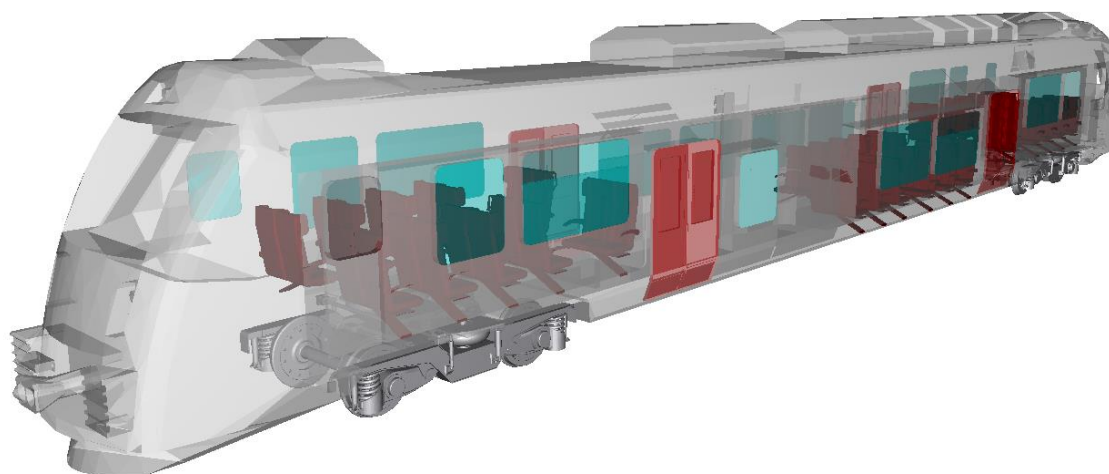
<u>Popis viditelného prostředí</u>	<u>Maximální expozice / kritické časy</u>
Rozbřesk / Soumrak – doba trvání (-20° až 0° výšky Slunce pod horizontem) , viz [57]	60/60 min
Zlatá hodina (0° až 7° výšky Slunce nad horizontem) , viz [57]	60/60 min
Den (7° přes 20° až 7° výšky Slunce nad horizontem) , viz [57]	8,5/11,5 hod
Noc ( Slunce pod -20° výšky Slunce pod horizontem),viz [57]	11,5/8,5 hod
Adaptační čas čípků při přechodu do tmy $\Delta L_{IS} = 30$ dB, viz [36]	2 min
Adaptační čas čípků při přechodu do tmy $\Delta L_{IS} = 60$ dB, viz [36]	15 min
Adaptační čas tyčinek při přechodu do tmy $\Delta L_{IS} = 30$ dB, viz [36]	5 min
Adaptační čas tyčinek při přechodu do tmy $\Delta L_{IS} = 60$ dB, viz [36]	10 min
Adaptační čas tyčinek při přechodu do tmy $\Delta L_{IS} = 90$ dB, viz [36]	20 min

## 7.20. NÁVRH MODELU VOZIDLA



Obrázek 224 – Návrh vnějšího vzhledu vozidla příměstské jednotky, koncept [16], design autor

### 7.20.1. NÁVRH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ VOZIDLA



Obrázek 225 - 3D model návrhu koncepce vozidla, převzato z [16].

Jako návrh konstrukčního prostředí vozidla je zvoleno vnitřní prostředí pro cestující příměstské jednovozové jednotky, s pojezdem B0'B0'. Základní geometrie návrhu vozidla je inspirována parametry vozidla diplomové práce ČVUT Ústavu Kolejových vozidel, viz Tabulka 45, [16].



Tabulka 45 - Parametry vozidla návrhu vozidla, převzato z [16]

Parametr	Jednotka	Hodnota
rozchod	mm	1 435
typ podvozků (konv. / Jacob)		konvenční
počet vozů/článků v jednotce		1
uspořádání pojezdu		Bo'+Bo'
počet trakčních dvojkolí		4
počet netrakčních dvojkolí		0
obrys vozidla		G1
celková délka vozidla	mm	27 960
limit maximálního zatížení dvojkolí	kN	167
minimální poloměr oblouku provoz	m	150
v provozu přípustné příčné nevyrovnané zrychlení	m/s <sup>2</sup>	1,00
minimální poloměr oblouku manipulace	m	120
vlastní hmotnost prázdného vozidla	t	55,5
adhezní hmotnost prázdného vozidla	t	55,5
sedadel		76
plošná hustota stojících při provozním obsazení	1/m <sup>2</sup>	4
plocha ke stání	m <sup>2</sup>	19,5
počet stojících osob při provozním obsazení		78
počet cestujících při provozním obsazení		154
hmotnost cestujících	kg	70
hmotnost při provozním obsazení	t	66,3
adhezní hmotnost při provozním obsazení	t	66,3
poměrná adhezní hmotnost provozně obs. vozidla	%	100
ekvivalent rotačních hmot	t	9
součinitel rotačních hmot při provozním obsazení		1,14

## 7.20.2. ENVIROMENTÁLNÍ A PROVOZNÍ PODMÍNKY

Praktické zkušenosti a studium oblasti technického řešení vozidla [6] a [9] prokázaly, že k docílení následujících požadavků na podmínky prostředí je potřeba komplexního řešení okenních, nástupních a výstupních systémů vozidla a jejich integraci do návrhu metodiky. Tyto systémy tvoří přechodová rozhraní a jsou sami zdroji sledovaných vlivů (hluk, vibrace, světlo, teplo).

### 7.20.2.1. Vibrace a rázy vozidla

Referenční hodnota pro vysokou úroveň rychlosti vibrací je REF-v = 10<sup>-9</sup> (m/s). Překročení ve frekvenčním pásmu až 10 dB je přípustné, pokud průměr všech prostorových směrů klesne pod limit.

Tabulka 46 - Vibrace a rázy podle EN 61373

Systémový celek	Orientace	Rázy	Vibrace
Vozidlová skříň	Podélný směr	50 m/s <sup>2</sup>	Viz EN 61373
	Příčný směr	30 m/s <sup>2</sup>	
	Vertikální směr	30 m/s <sup>2</sup>	
Podvozek	Všechny směry	300 m/s <sup>2</sup>	Viz EN 61373
Dvojkolí (neodpružené)	Všechny směry	1000 m/s <sup>2</sup>	Viz EN 61373

### 7.20.2.2. Akustické požadavky na vnitřní prostředí

Hladina vnitřní akustické intenzity **LEVEL-I** klimatizace vážená filtrem A a při referenční hodnotě **REF-I =  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>** během provozu nesmí překročit hodnotu **70 dBA**.

Aby se omezilo obtěžování zvukovým hlukem, musí být stanovené mezní hodnoty hluku ve vzduchu sníženy o přírůstek tonality **LEVEL-TN = 3 dB**, pokud alespoň jeden jediný tón jasně vystupuje z hluku systému trakčního kontejneru, viz. ISO 3381, ISO 3095 nebo DIN 45681.

### 7.20.2.3. Teploty

Systém musí spolehlivě fungovat při okolní teplotě třídy teploty vzduchu T3 podle EN 50125-1 a EN 50155, respektivně:

- Venkovní teplota vzduchu od -25 °C do +45 °C,
- Teplota vnitřního prostoru od -25 °C to +55 °C,
- Teplota uvnitř kontejnerů a systémových celků od -25 °C do +70 °C, maximální přehřátí 15 K po dobu 10 min.
- Teplota vzduchu v blízkosti osazených desek s plošnými spoji od -25 °C do +85 °C

Při návrhu je nutné brát v úvahu vliv samozahřívání, tepelné ztráty jiných součástí provozního systému a vystavení slunečnímu záření.

Při teplotách mezi -25 °C a -35 °C nesmí dojít k nevratnému poškození systémů nebo součástí systému ve vypnutém stavu.

Musí se zvážit rychlé místní změny teploty vzduchu, např. na vstupu a výstupu z tunelu do 3 K / maximální variace 40 K v rámci výše uvedených limitů.

### 7.20.2.4. Vlhkost

Systém musí být schopen spolehlivě pracovat podle EN 50125-1 §4.4 při vlhkosti 15 až 100 %, včetně kondenzace způsobené rychlými změnami teploty.

### 7.20.2.5. Výška nad hladinou moře

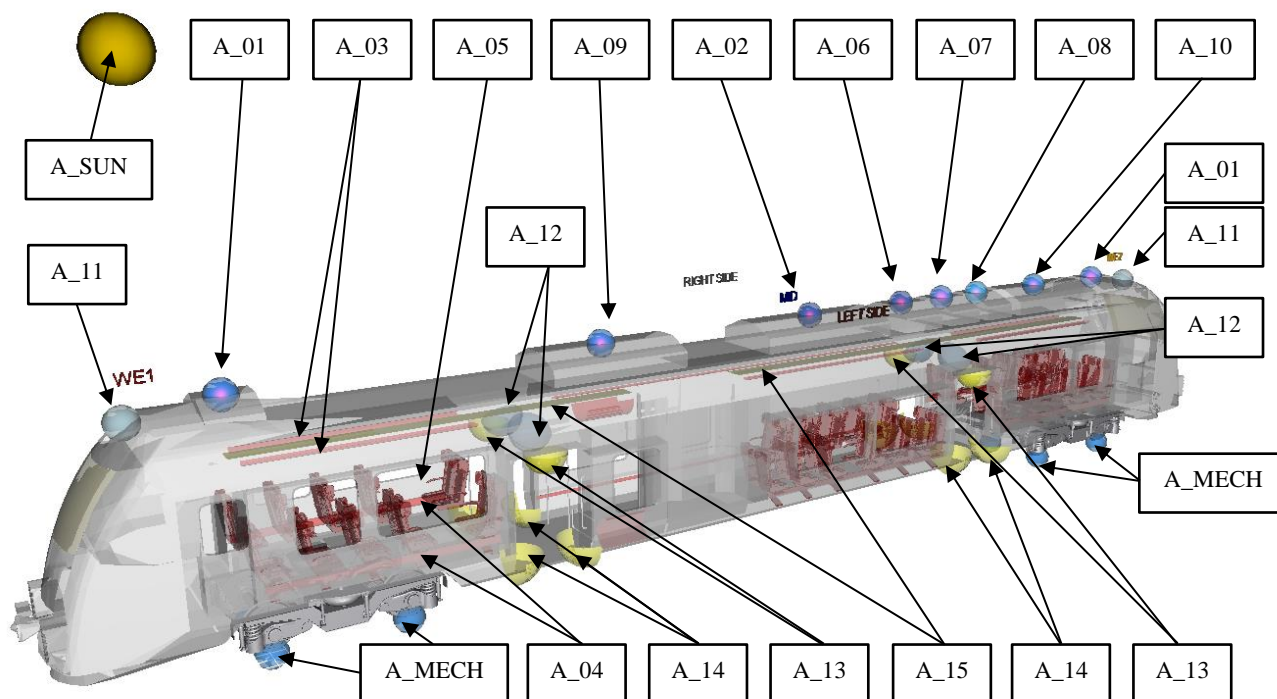
System musí spolehlivě fungovat v nadmořské výšce provozního prostoru, nejméně však do nadmořské výšky 1200m. Tento výškový rozsah přímo souvisí s teplotními specifikacemi a musí se brát v úvahu jako proměnná pro tlak vzduchu.

### 7.20.2.6. Další podmínky prostředí

System musí spolehlivě fungovat podle EN 50125-1 pod vlivem pohybu vzduchu, deště, sněhu, krupobití, ledu, slunečního záření a blesku.

## 7.20.3. ROZMÍSTĚNÍ ZDROJŮ V MODELU

Studie integrace metodiky do 3D CAD prostředí [2] přinesla jasnou představu o rozvržení všech dostupných a známých zdrojů působících vlivů prostředí a vozidla. Geometrické tvary zdrojů odpovídají své charakteristice šíření energie do prostoru, jsou tedy kulové, půlkulové, čtvrtkulové, plošné, lineární, apod.



Obrázek 226 - Rozvržení aktivních zdrojů vozidla, autor

Tabulka 47 – Označení aktivních zdrojů vozidla uvažované v modelu pro všechny 4 působící vlivy, autor

Značení aktivních zdrojů vozidla pro různé vlivy				
Aktivní zdroje vozidla	Hluk	Vibrace	Světlo	Teplo
Klimatizace strojvedoucí	A-H-1	A-V-1		A-T-1
Klimatizace cestující	A-H-2	A-V-2		A-T-2
Vyústky klimatizací – strop	A-H-3			A-T-3
Vyústky klimatizací – podlaha	A-H-4			A-T-4
Okno – nouzové větrání	A-H-5			A-T-5
Kompresor modul	A-H-6	A-V-6		A-T-6
Brzdový odporník	A-H-7	A-V-7		A-T-7
Pomocný měnič	A-H-8	A-V-8		A-T-8
Trakční transformátor	A-H-9	A-V-9		A-T-9
Trakční měnič	A-H-10	A-V-10		A-T-10
Houkačka	A-H-11			
Reproduktor dopravního hlášení	A-H-12			
Stropní osvětlení			A-S-15	A-T-15
Slunce			A-SUN	
Styk kolo-kolejnice			A-KK-WE	

Tabulka 48 - Efektivní zdroje působící na člověka během jízdy a které jsou součástí matematického modelu, autor

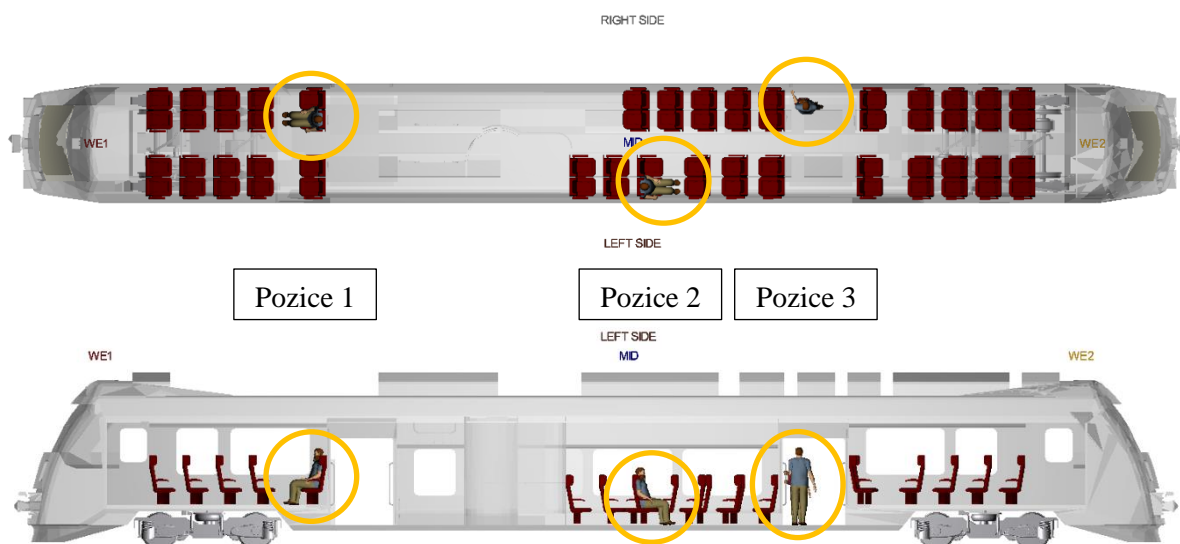
Výkony aktivních zdrojů vozidla pro různé vlivy								
Aktivní zdroje vozidla	Hluk		Vibrace		Světlo		Teplo	
	Výkon	Hladina výkonu	Výkon	Hladina výkonu	Výkon	Hladina výkonu	Výkon	Hladina výkonu
	P [W]	LEVEL-P [dBA]	P [W]	LEVEL-P [dBW]	P [lm]	LEVEL-P [dBSp]	P [W]	LEVEL-P [dBq]
Klimatizace strojvedoucí	2,0E-04	83,0	1,6E-03	92,0			5,0E+03	157,0
Klimatizace cestující	1,0E-03	90,0	7,9E-03	99,0			1,5E+04	161,8
Vyústky klimatizací – strop	1,0E-05	70,0**					1,5E+00	122,0**
Vyústky klimatizací – podlaha	1,0E-05	70,0**					1,5E+00	122,0**
Okno – nouzové větrání*	3,2E-04	85,0					1,2E+01	130,8
Kompresor modul	7,9E-04	89,0	2,5E-05	74,0			5,0E+02	147,0
Brzdový odporník	2,5E-06	64,0	6,3E-06	68,0			2,0E+03	153,0
Pomocný měnič	1,0E-04	80,0	3,2E-05	75,0			2,0E+02	143,0
Trakční transformátor	3,2E-04	85,0	4,0E-03	96,0			1,0E+03	150,0
Trakční měnič	6,3E-04	88,0	4,0E-03	96,0			2,0E+02	143,0
Houkačka	1,0E+00	120						
Reproduktor dopravního hlášení	1,0E-07	50,0						
Stropní osvětlení					1,0E+05	170,0	1,0E+01	130,0
* (pro rychlost proudění větru 1 m/s)					REF-P=10 <sup>-12</sup> [W; lm]			
** hodnota vztažena na osobu a jeden metr délky přímkového zdroje								

Tabulka 49 - Přírozené zdroje působící na člověka během jízdy a které jsou součástí matematického modelu, autor

Výkony přírodních zdrojů vozidla pro různé vlivy								
Přírozené zdroje prostředí	Hluk		Vibrace		Světlo		Teplo	
	Výkon	Hladina výkonu	Výkon	Hladina výkonu	Výkon	Hladina výkonu	Výkon	Hladina výkonu
	P [W]	LEVEL-P [dBA]	P [W]	LEVEL-P [dBW]	P [lm]	LEVEL-P [dBSp]	P [W]	LEVEL-P [dBq]
slunce					1,0E+17	290	1000	150
Styk kolo-kolejnice		Viz. simulace SIMPACK						
* (pro rychlost proudění větru 1 m/s)					REF-P=10 <sup>-12</sup> [W; lm]			

## 7.21. NÁVRH MODELU PROSTŘEDÍ

Studie integrace metodiky do 3D CAD prostředí [2] má zásadní vliv na prostorové rozvržení systémů kolejového vozidla, rozvržení zdrojů vlivů prostředí a rozvržení cestujících v přepravním procesu. Stejně tak z pohledu antropometrické diverzity populace cestujících [7], str. 6, lze předem předvídat podmínky prostředí pro osoby sedící, stojící nebo PRM. Jsou vybrány tři místa pro cestující, které jsou použity pro výpočet přenosových cest mezi potenciálními zdroji působících vlivů prostředí a lidským faktorem. V každém místě je umístěna figurína, která svoji polohou, postavením a antropometrickými vlastnostmi určuje body interakce mezi prostředím a figurínou – dále jen pozorovatelem.



Obrázek 227 - Rozmístění subjektů lidského faktoru. Pozice 1 – figury sedí ve směru jízdy nad podvozkem na pravé straně, Pozice 2 - figury sedí protisměru jízdy mezi podvozky v nízké podlaze na levé straně, Pozice 3 – figury stojí v nástupním prostoru u dveří při nízké podlaze na pravé straně, autor

### 7.21.1. NÁVRH MODELU TRATĚ

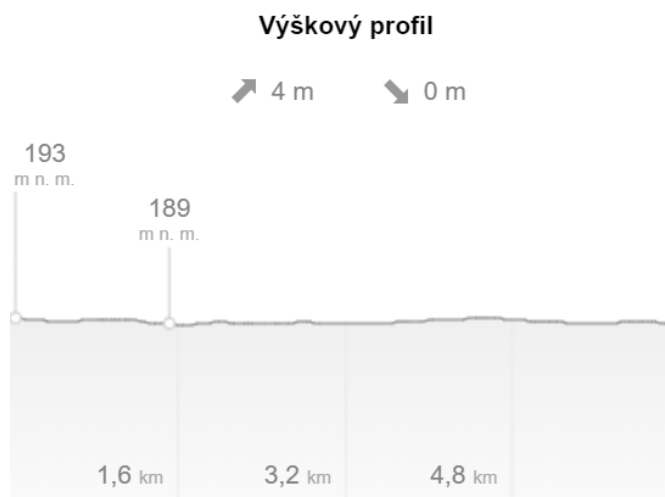
Jako testovací prostředí byla zvolena železniční testovací trať ve Velimi Cerhenicích, viz (Železniční zkušební okruh Cerhenice, 2001-). Jako testovací úsek byl zvolen vnitřní okruh o celkové délce 3,951 m a maximální povolenou rychlostí 90 km/h.

Obrázek níže vykresluje vnitřní okruh zkušební okruhu v souvislosti se světovými stranami, sever, jih, východ a západ. Tomu odpovídá průběh azimutu tratě, tedy průběh orientace tratě vůči světovým stranám.



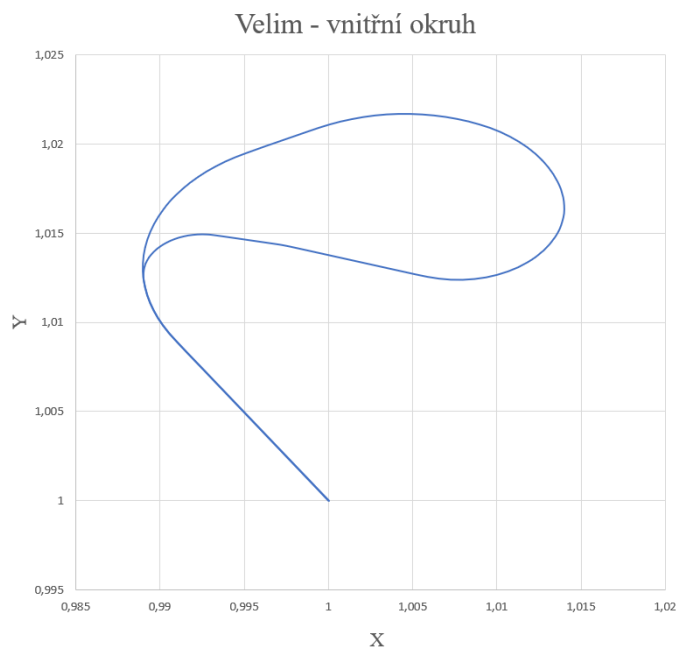
Obrázek 228 - Letecký pohled na vyznačenou trať v Cerhenicích, Mapy.cz

Trať byla zvolena z důvodu dostupnosti stavebních parametrů tratě, jako délky úseků, poloměry oblouku a přechodnice. Další výhodou je poměrně malé převýšení tratě, které je v modelu uvažováno jako nulové.



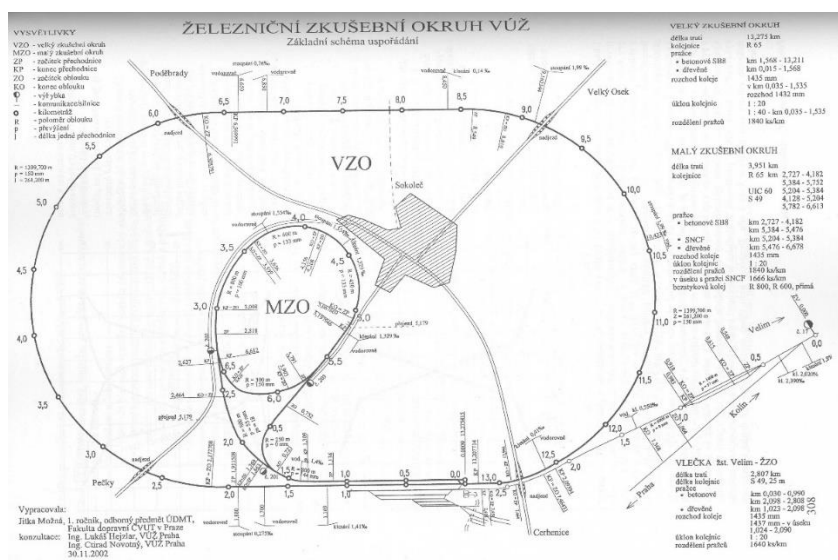
Obrázek 229 - Výškový profil tratě naměřený na Mapy.cz, autor

Parametry tratě byly exportovány do formátu GPX, potom konvertovány do CSV souboru a importovány do výpočetního nástroje MS EXCEL.



**Obrázek 230 – Relativní geometrie a světová orientace (souřadnice Y reprezentuje SEVER-JIH; souřadnice X reprezentuje ZÁPAD-VÝCHOD) vnitřního testovacího okruhu ve Velimi.**

Trat' byla rovněž namodelována do systému SIMPACK zapůjčený Ústavem Kolejových vozidel FS ČVUT pro dynamický test podle následujícího plánu tratě, viz obrázek níže. Bohužel, lepší parametry tratě nebyly zjištěny, nicméně plán tratě se jeví jako dostatečně reprezentativní pro vytvoření testovacího modelu.



**Obrázek 231 - Plán zkušebního okruhu ve Velimi, (Možná, ČVUT, 2002)**

Následující tabulka uvádí parametry tratě v horizontální rovině. Hodnoty uvedené v tabulce vyjadřují parametry výpočetní tratě, která je předmětem testovací funkce výpočtu.

Tabulka 50 - Stavební parametry tratě použité pro simulaci dynamiky jízdy. Zkratky typu úseku jsou: STR - přímá kolej, CLO - přechodnice, CIR - traťový oblouk

Výpočetní segment tratě	Typ traťového úseku	Délka traťového úseku [m] SUMA = 5556 m	Poloměr na počátku oblouku [m]	Poloměr na konci oblouku [m]
1	STR	1194		
2	CLO	173	0	800
3	CIR	354	800	
4	CLO	106	800	800
5	CIR	695	800	
6	CLO	544	800	800
7	CIR	591	800	
8	CLO	57	800	600
9	CIR	500	600	
10	CLO	52	600	450
11	CIR	860	450	
12	CLO	130	450	0
13	STR	300		

Trať vyhovuje i podmínce členitosti prostředí, kde část okruhu leží v lesním porostu, část tratě je odkrytá jak v přímé koleji, tak i v oblouku. Rozloha a poloha lesního porostu je tak využita ke stanovení kontrolních úseků tratě na rozhraní jeho členitosti v závislosti na poloze slunce, která je uvažována z východního směru, za rozbřesku. Z východního směru se potom uvažuje pohyb slunce směrem do polední polohy, kdy je naopak vliv stínění lesním porostem minimální.

Kvalita tratě je uvažována jako vysoká, pro testovací model prostředí byla použita knihovna excitačního buzení tratě na základě stochastického hodnocení výkonově spektrální husoty odpovídající jízděmu obrysu obručí a věnců celistvých kol se sklonem 1:40, a byla zvolena nejvyšší možná kvalita tratě, která se dnes již stává v rekonstruovaných tratích na území České republiky a Evropské unie standardem.

## 7.21.2. NÁVRH TESTOVACÍCH REŽIMŮ PARAMETRŮ TRATĚ

Proto, aby byl proveden výpočet, je nutné pro každý vliv zvlášť (zvuk, zrychlení, světlo a teplo) připravit provozní režimy, které se promítají ve vnitřním prostředí vozidla, během výpočtu přenosových funkcí. Tyto režimy jsou připraveny pro přirozené zdroje, jako jsou mechanické vlivy styku kolo-kolejnice, poloha slunce a členitost průjezdového prostředí.



### 7.21.2.1. Návrh korekcí prostředí

Výpočet je proveden pro konstantní rychlost návrhu vozidla 80 km/h. Je vypočítaná celková expozice testovacího režimu a průjezdy kontrolními body, kde se uplatňují korekce prostředí, viz. následující tabulky.

Tabulka 51 – Výpočet expozice pro dynamickou simulaci jízdy vozidla po testovací trati pro rychlost 80 km/h

Rychlost vozidla [km/h]	Rychlost vozidla [m/s]	Celková délka výpočetní tratě [m]	Celkový čas výpočtu [s]	Celkový čas výpočtu [min]
80	22,22	5550	250	4,16

Tabulka 52 - Parametry kontrolních bodů tratě - traťová vzdálenost, azimut kontrolního bodu a úhel směru jízdy vůči poloze slunce

Korekce	Traťová vzdálenost od počátku [m]	Čas průjezdu kontrolním bodem při rychlosti 80 km/h [s]
Les 01	1644	74
	1800	81
Les 02	1911	86
	2111	95
Les 03	2200	99
	3000	135
Les 04	4000	180
	4888	220

Jak bylo avizováno v kapitolách předem, trať byla vybrána kvůli své členitosti vlivem průjezdu lesním porostem. Následující tabulka shrnuje hladiny korekcí pro jednotlivé vlivy v případě, je-li vozidlo v úseku mezi lesním porostem. Korekce se v případě slunce odečítá, v případě hluku se naopak přičítá a v případě zrychlení se tato korekce neuplatňuje.

Tabulka 53 - Hladiny korekcí při průjezdu vozidla lesním porostem, autor

<u>Vliv</u>	<u>Korekce lesního porostu</u> [dB]
Světlo	-20 (5°) / -10 (45°) / -3 (63°)
Teplo	-20 (5°) / -10 (45°) / -3 (63°)
Hluk	+ 3

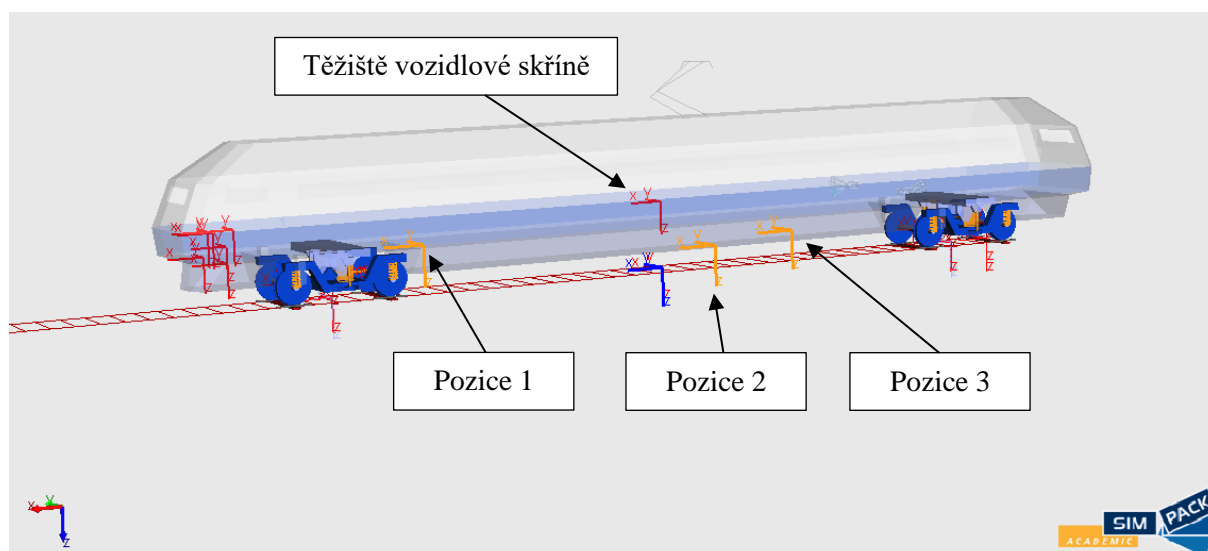
## 7.21.2.2. Zrychlení

V koncepční fázi kolejového vozidla z pravidla není vozidlo vyrobené a není fyzicky přítomné pro fyzikální měření. Je využito synergie CAD a matematického řešiče, v tomto případě akademická licence systému Dassault Simpack, viz. [144].

Pro dynamickou simulaci testovací tratě byl zvolen akademický dynamický model systému SIMPACK, železniční aplikace, tzv. „Manchester Benchmark Simulation Vehicle“, viz příloha P05.

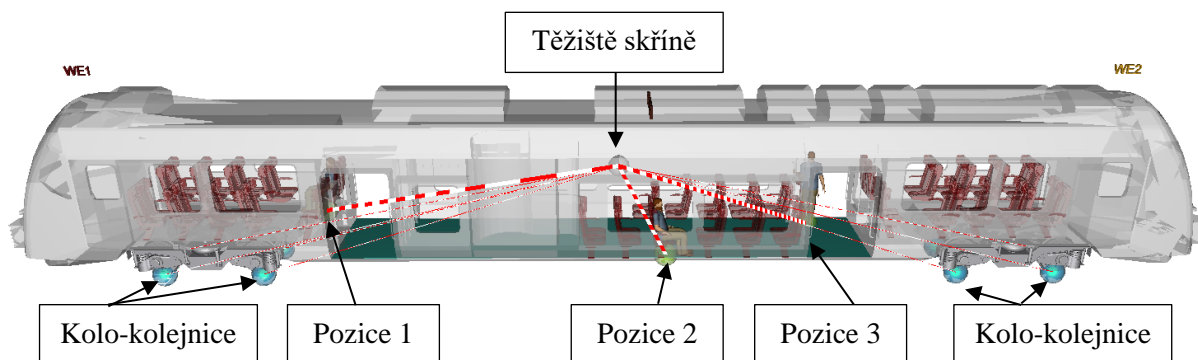
Benchmarkový model představuje odladěný matematicko-dynamický model vozidla použitý pro porovnání výsledných hodnot jedné simulace mezi sebou. Komplexní matematický výpočet zahrnuje chování vozidla jako celku, výsledné hodnoty nemají vliv na předmět této práce, nýbrž jsou využity jako vstupní data pro další zpracování.

Dle rozvržení situace jsou uvažovány simulované hodnoty relevantní pro těžiště vozidlové skříně a specifické měřicí pozice stanovené pro modelové figury lidského faktoru v daných polohách (sedící, stojící).

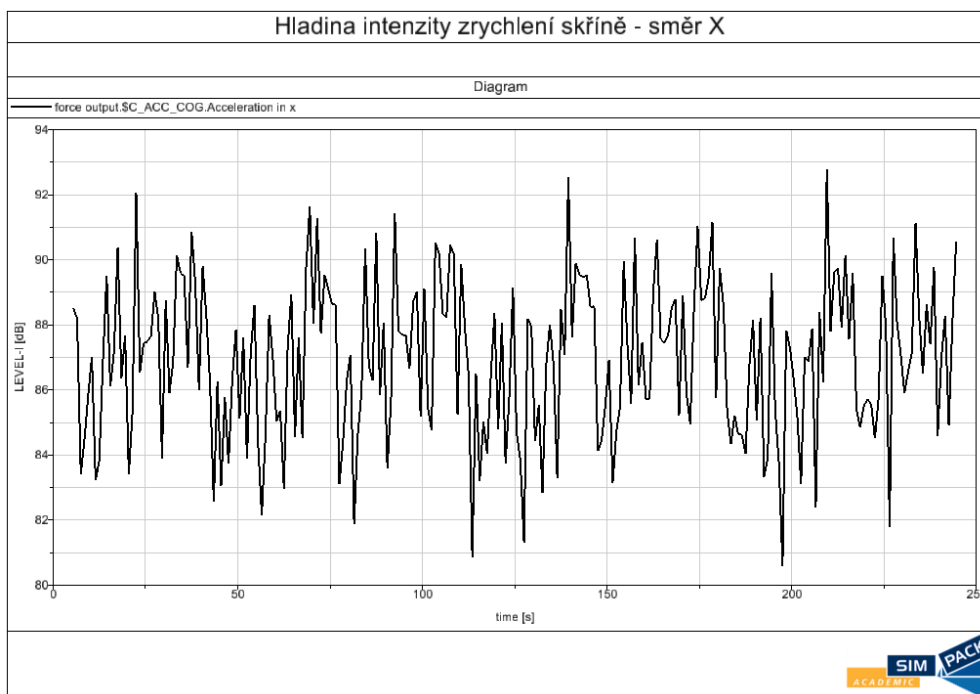


Obrázek 232 - Benchmarkový model vozidla se souřadnými systémy, Pozice 1, 2 a 3. Poznámka autora, výpočet byl proveden i pro kabinu strojvedoucího, viz souřadné systémy na čele vozidla, autor.

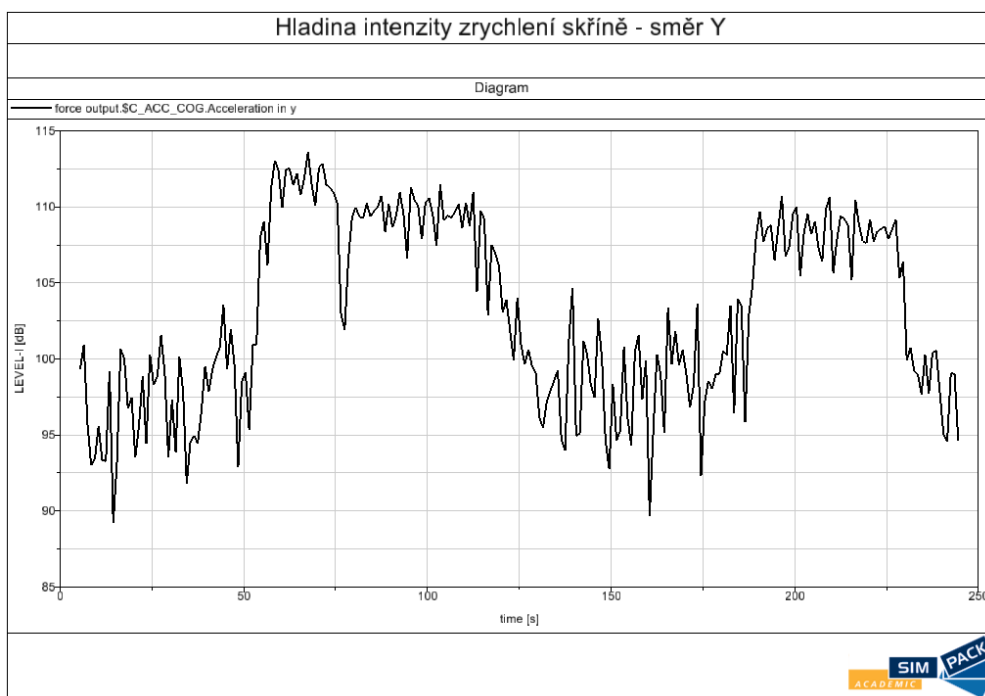
Výpočtem systému SIMPACK si lze ulehčit situaci a vyjádřit hladinu intenzity zrychlení ve třech pozicích lidského faktoru pomocí transformací souřadnic. Potom se lze soustředit na rozhraní lidského faktoru a vyjádřit přenosové funkce pro jednotlivé body pozorovatele. Stejně tak lze vnést i další systémové celky, které produkují vibrace chvění.



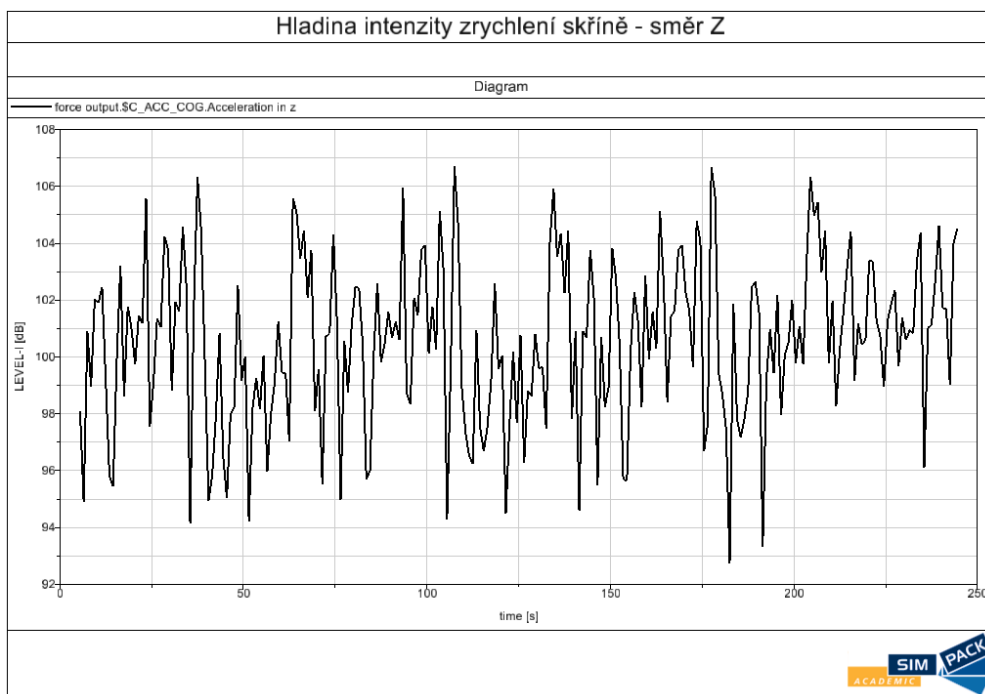
Obrázek 233 - Výpočet efektivních hodnot hladin intenzity zrychlení způsobených buzení ve styku kolo-kolejnice v těžišti skříně a v pozicích 1, 2 a 3 pomocí systému SIMPACK, autor



Obrázek 234 - Simulované hodnoty provozního zrychlení ve směru X vozidlové skříně modelu vozidla pro rychlost 80 km/h po testovací trati, autor.



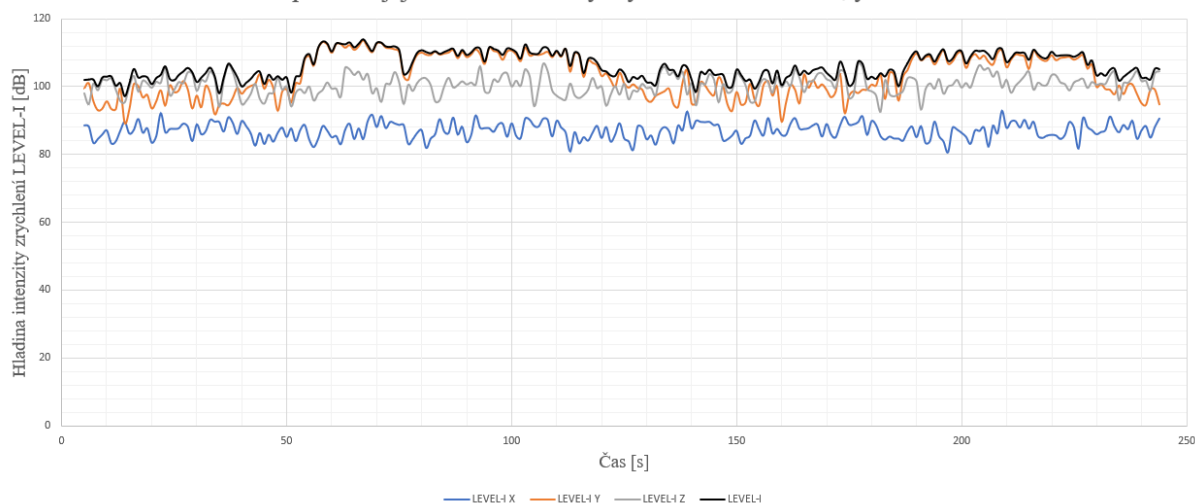
Obrázek 235 - Simulované hodnoty provozního zrychlení ve směru Y ve všech sledovaných pozicích pro rychlost vozidla 80 km/h po testovací trati, autor.



Obrázek 236 - Simulované hodnoty provozního zrychlení ve směru Z ve všech sledovaných pozicích pro rychlost vozidla 80 km/h po testovací trati, autor.

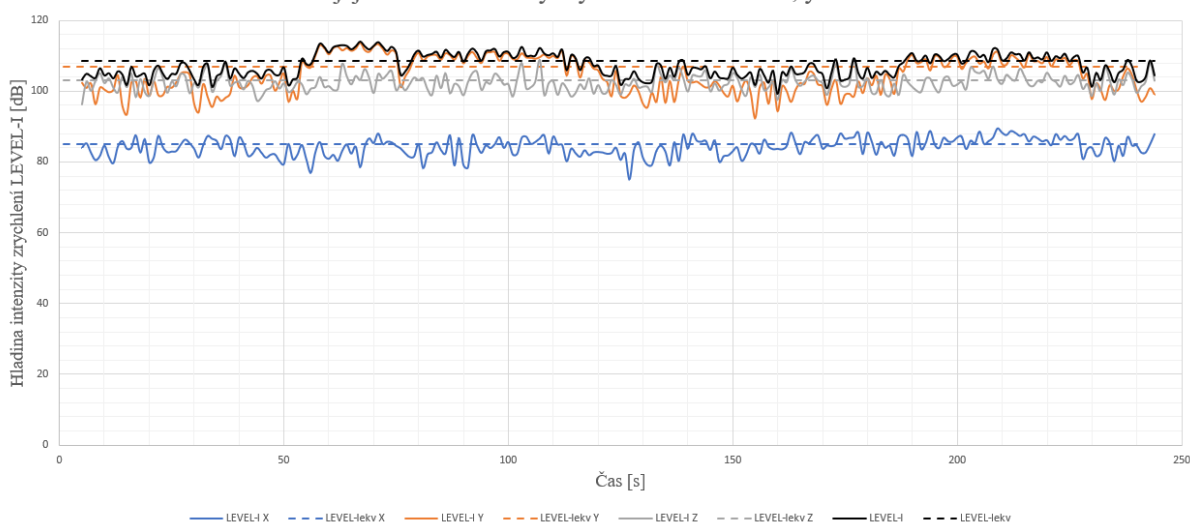
Celková hladina intenzity zrychlení skříně potom představuje energetický součet jejích komponent.

Výsledky simulace průjezdu vozidla po testovací trati malého okruhu ve Velimi za použití benchmarkového výpočetního modelu systému SIMPACK pro vozidlovou skříň a časovém průběhu její celkové intenzity zrychlení a ve směru x, y a z.



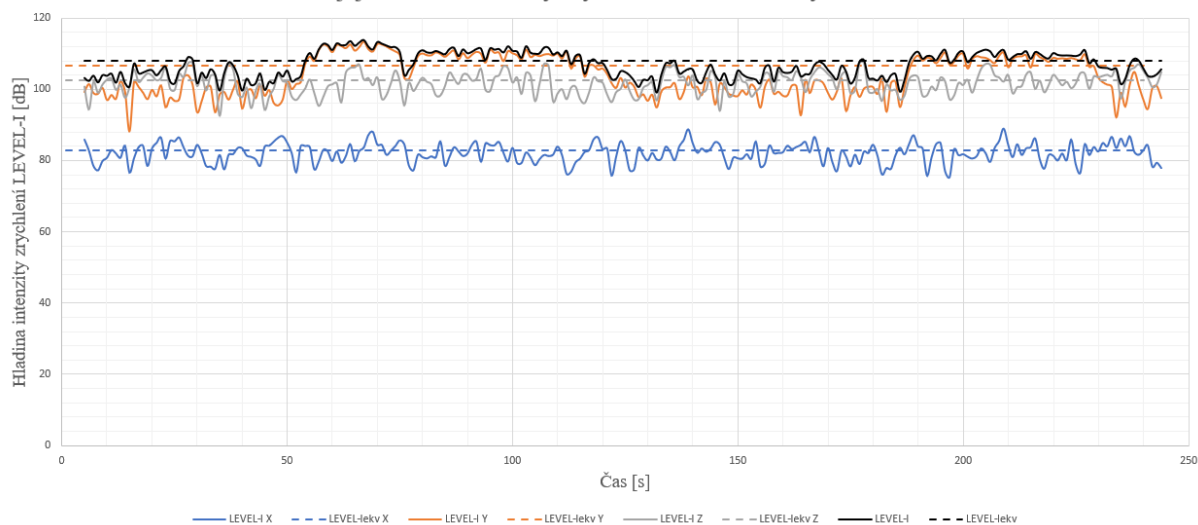
**Obrázek 237 - Celková hladina intenzity zrychlení a její komponenty X,Y,Z v těžišti vozidlové skříně. Černá linie představuje celkovou intenzitu zrychlení skříně v časovém průběhu, kdy simulované vozidlo projíždí malý testovací okruh ve Velimě, autor**

Výsledky simulace průjezdu vozidla po testovací trati malého okruhu ve Velimi za použití benchmarkového výpočetního modelu systému SIMPACK pro Pozici 1 časového průběhu její celkové intenzity zrychlení a ve směru x, y a z.



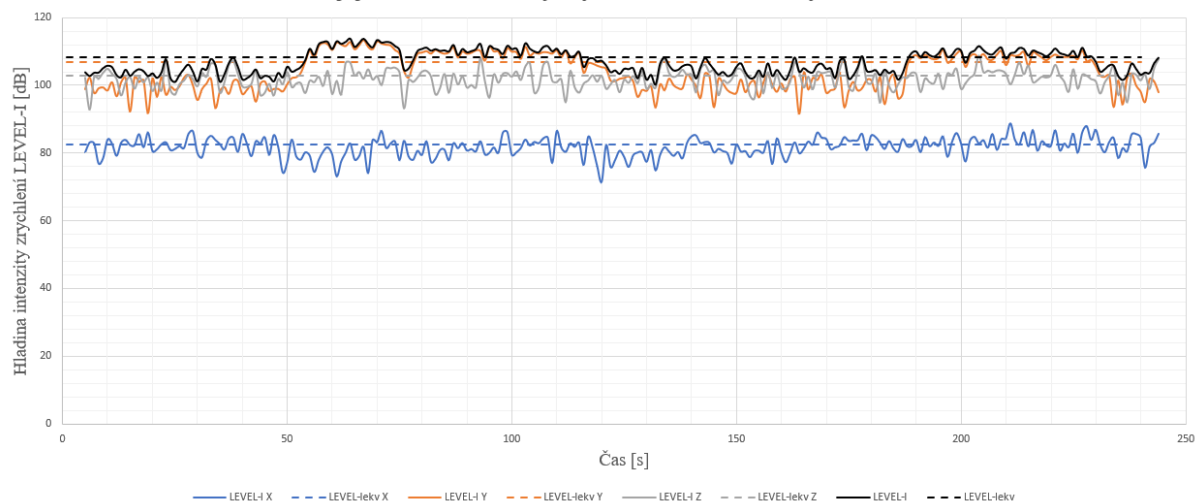
**Obrázek 238 - Celková hladina intenzity zrychlení a její komponenty X,Y,Z v Pozici 1 vozidlové skříně. Plné čáry představují časový průběh intenzity zrychlení, čárkované čáry odpovídají ekvivalentní hladině intenzity zrychlení odpovídající časové expozici, autor**

Výsledky simulace průjezdu vozidla po testovací trati malého okruhu ve Velimi za použití benchmarkového výpočetního modelu systému SIMPACK pro Pozici 2 časového průběhu její celkové intenzity zrychlení a ve směru x, y a z.



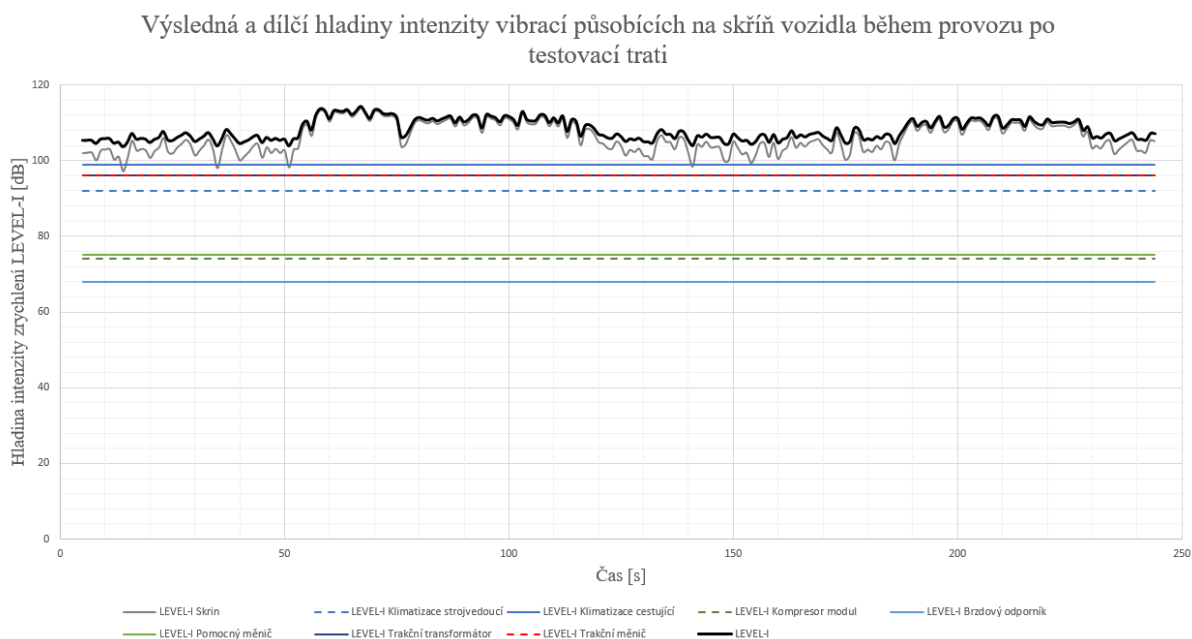
**Obrázek 239 - Celková hladina intenzity zrychlení a její komponenty X,Y,Z v Pozici 2 vozidlové skříně. Plné čáry představují časový průběh intenzity zrychlení, čárkované čáry odpovídají ekvivalentní hladině intenzity zrychlení odpovídající časové expozici, autor**

Výsledky simulace průjezdu vozidla po testovací trati malého okruhu ve Velimi za použití benchmarkového výpočetního modelu systému SIMPACK pro Pozici 3 časového průběhu její celkové intenzity zrychlení a ve směru x, y a z.



**Obrázek 240 - Celková hladina intenzity zrychlení a její komponenty X,Y,Z v Pozici 3 vozidlové skříně. Plné čáry představují časový průběh intenzity zrychlení, čárkované čáry odpovídají ekvivalentní hladině intenzity zrychlení odpovídající časové expozici, autor**

Nejsou-li započítané hladiny intenzit zrychlení v matematickém modelu SIMPACK, je možné dílčí intenzity systémových komponent započítat přímo na místa 1, 2 a 3 lidského rozhraní. V takovém případě je vyjádřená impedance vzdálenosti těchto míst ve vztahu se systémovými zdroji váhou vlivu daného komponentu.



**Obrázek 241 - Výsledná a dílčí hladiny intenzity zrychlení provozních vlivů systémových komponent působící na skříň vozidla během testovací simulace, autor**

I když nejsou známe přesné cesty chvění konstrukce, jsou známe intenzity zdroje a je patrný parametr vzdálenosti. Vzdálenost pomyslně představuje množství hmoty a také času (skrže rychlost šíření vibrací).

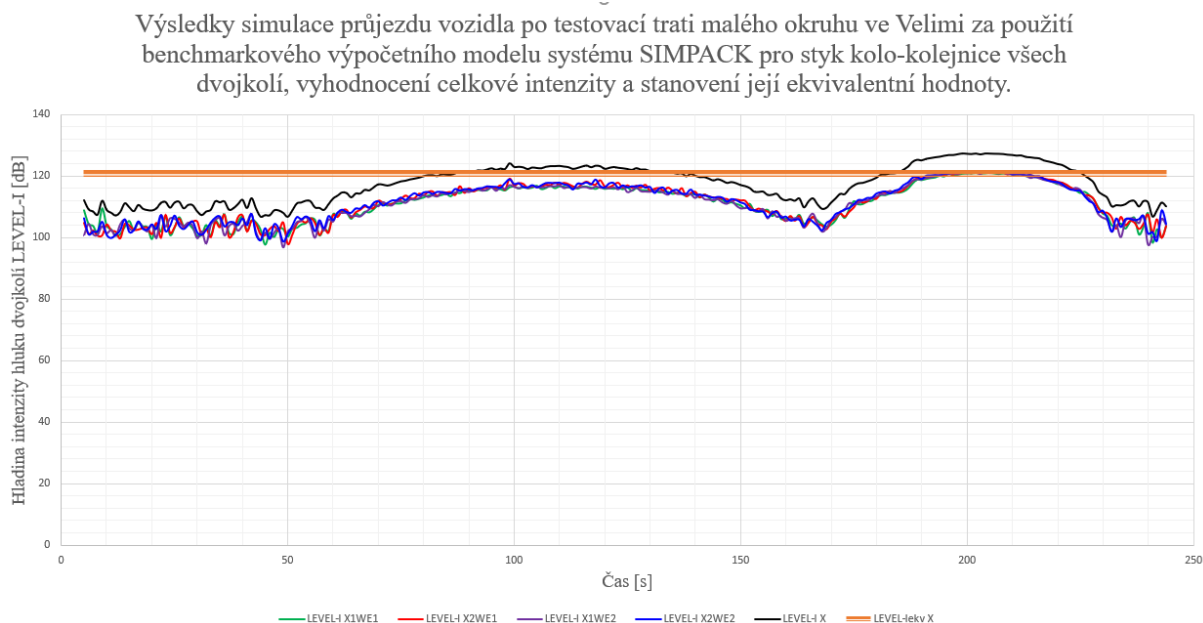
Stejně tak se zvyšuje se vzdáleností poddajnost materiálu. Modelový příklad vlivu systémových zdrojů na místa rozhraní lidského faktoru představuje následující obrázek.

### 7.21.2.3. Hluk

Pro stanovení hluku valení je využita simulace dynamiky jízdy vozidla, konkrétně celkové hladiny zrychlení na dvojkolí. Předpokládá se, že intenzita hluku valením se uměrně zvyšuje s intenzitou vibrací na rozhraní styku kola-kolejnice. Vzhledem k tomu, že vibrace jsou počítány ve složkách směru x, y a z, lze tyto složky využít k stanovení hladiny intenzit hluku ve vztahu k frekvenci zvuku. Zatímco komponentě z, tedy vertikální směr působení vibrací, lze přisuzovat především nízké frekvence, neboť markantní vliv na hluk má právě gravitační síla vozidla, potom komponentám x a y lze přiřadit vysoké frekvence hluku, známé jako syčení (komponenta x – nabíhání okolku -> 6-10 kHz) a skřípění (komponenta y – příčné skluzu po kolejnici -> 1-6 kHz).

Tabulka 54 – Výsledná ekvivalentní hladina intenzity valení na rohraní kolo-kolejnice pro rychlost vozidla 80km/h

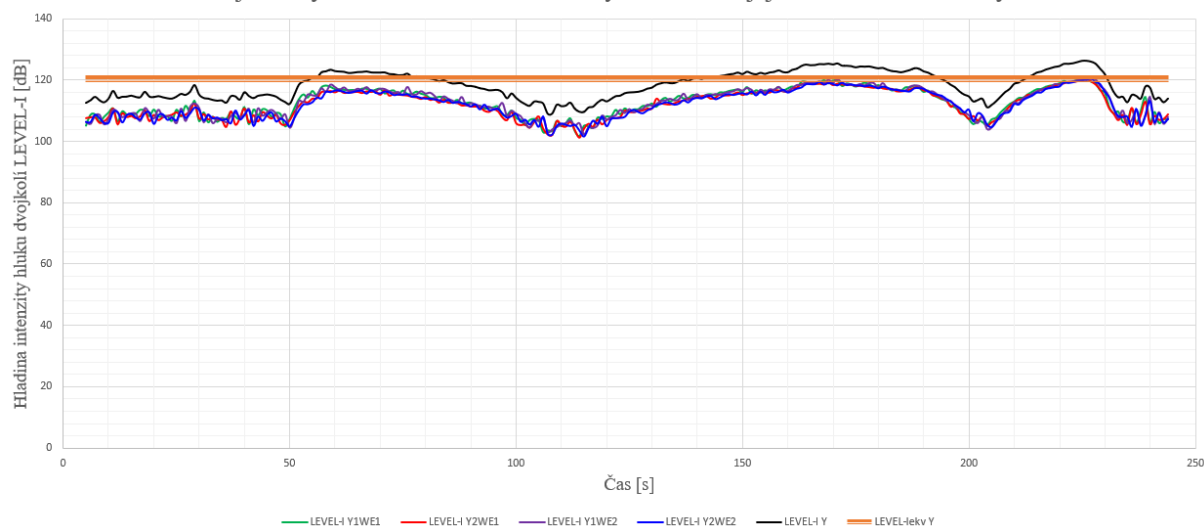
Ekvivalentní hladina intenzity hluku pojezdu návrhu vozidla [dB]		
X – syčení	Y – skřípění	Z – valení
120,8	120,4	122,6



Obrázek 242 - Hladina intenzity hluku na rozhraní styku kolo-kolejnice odpovídající hluku syčení a stanovení její celkové a ekvivalentní hodnoty, autor.

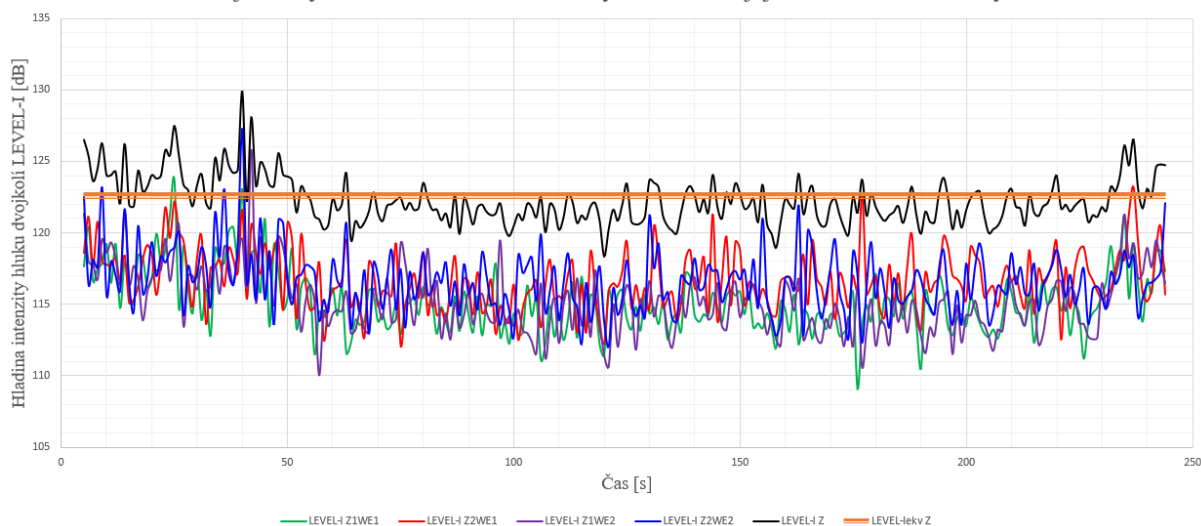


Výsledky simulace průjezdu vozidla po testovací trati malého okruhu ve Velimi za použití benchmarkového výpočetního modelu systému SIMPACK pro styk kolo-kolejnice všech dvojkolí, vyhodnocení celkové intenzity a stanovení její ekvivalentní hodnoty.



**Obrázek 243 - Hladina intenzity hluku na rozhraní styku kolo-kolejnice odpovídající hluku skřipění a stanovení její celkové a ekvivalentní hodnoty, autor.**

Výsledky simulace průjezdu vozidla po testovací trati malého okruhu ve Velimi za použití benchmarkového výpočetního modelu systému SIMPACK pro styk kolo-kolejnice všech dvojkolí, vyhodnocení celkové intenzity a stanovení její ekvivalentní hodnoty.



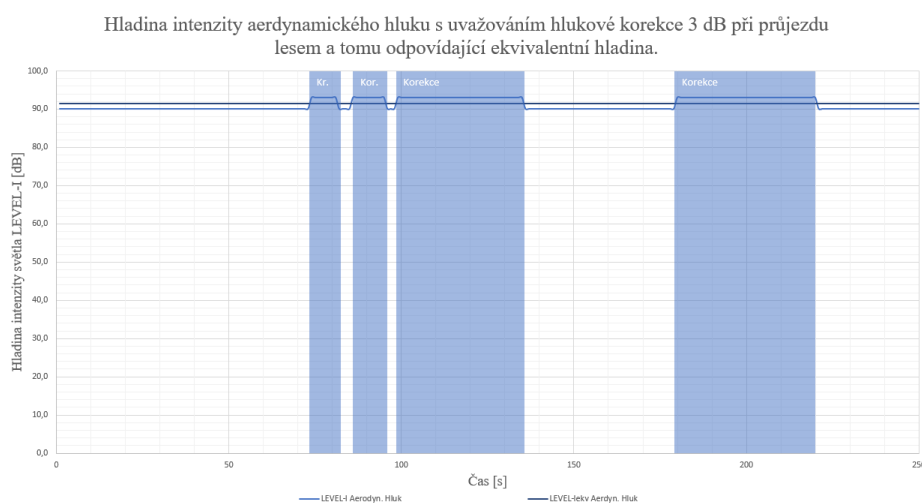
**Obrázek 244- Hladina intenzity zrychlení na rozhraní styku kolo-kolejnice odpovídající hluku valení a stanovení její celkové a ekvivalentní hodnoty, autor.**

Ještě je potřeba určit hladiny výkonu hluku způsobeným aerodynamickým hlukem. Následující tabulka stanovuje výpočtem odhadovanou hladinu hluku způsobenou provozem vozidla rychlostí 80 km/h. Pro výpočet byl použit vzorec, viz [44], kapitola 8, který vyjadřuje závislost akustického výkonu na 4. mocnině rychlosti obtékajícího vzduchu, tedy rychlosti vozidla.

**Tabulka 55 - Vyjádření hladin akustické intenzity aerodynamického výkonu v závislosti na rychlosti vozidla, podle [44], kap. 8**

Rychlost vozidla [km/h]	Rychlost vozidla [m/s]	Rychlost šíření zvuku [m/s]	Hustota vzduchu [kg/m <sup>3</sup> ]	Konstanta K 371[44] [-]	Plocha čela vozidla [m <sup>2</sup> ]	Ekvivalentní hladina intenzity aerodynamického hluku [dB] (vyjádřeno jako závislost hluku na 4. mocnině rychlosti vozidla)
80	22,22	334	1,2	0,0000001	12	90

Následující obrázek reprezentuje průběh aerodynamické intenzity hluku během testovací jízdy.

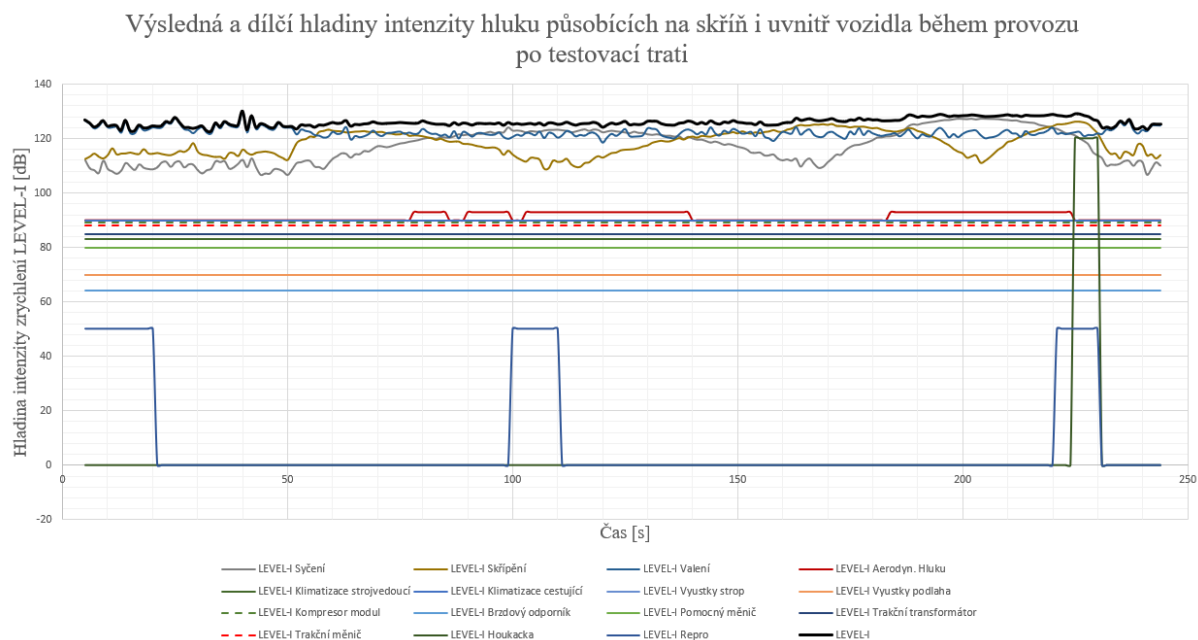


**Obrázek 245 - Ekvivalentní a průběhové hladiny intenzity aerodynamického hluku pro průjezdový scénář malého testovacího okruhu ve Velimě, autor.**

**Tabulka 56 – Výsledné ekvivalentní hladiny intenzity slunečního osvětlení pro tři různé sluneční fáze nad obzorem, autor**

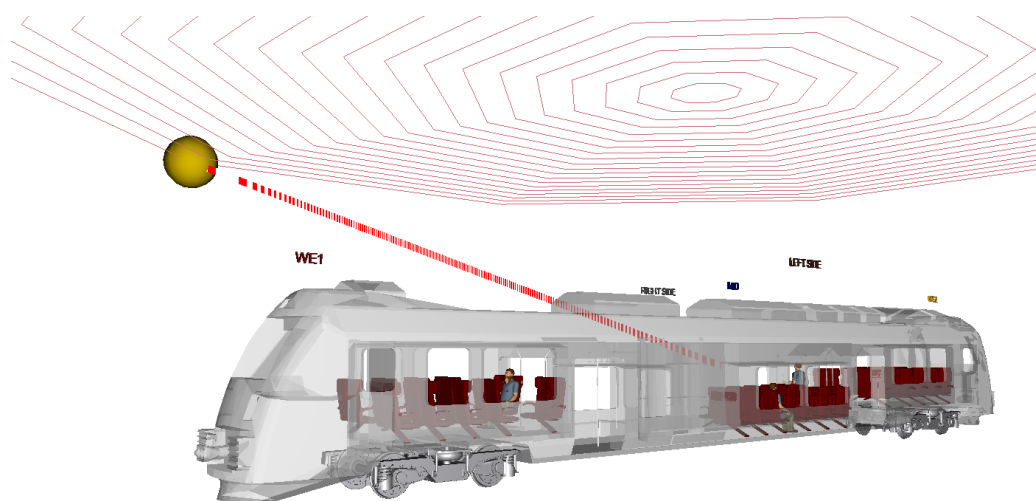
Ekvivalentní hladina intenzity aerodynamického hluku [dB]
91,4

Následující obrázek reprezentuje celkový průběh intenzity hluku během testovací jízdy. Integrace expozičních zdrojů hluku subsystémů informačního hlášení a houkačky odpovídají jsou aplikovány na základě chování nástupních subsystémů vozidla [6].



Obrázek 246 - Výsledná a dílčí hladiny intenzity hluku provozních vlivů systémových komponent působící na skříň a uvnitř vozidla během testovací simulace, autor

#### 7.21.2.4. Světlo



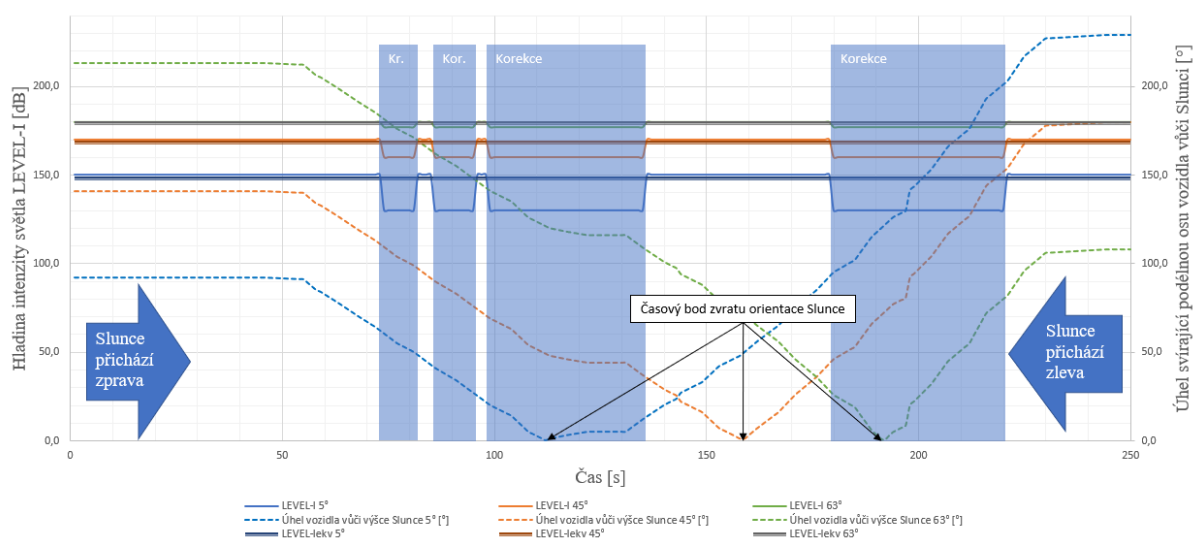
Obrázek 247 - Modelová situace zahrnutí parametry Slunce, jako jsou intenzita záření, výška Slunce nad obzorem a azimut (orientace vozidla vůči Slunci), autor

Intenzita osvětlení za bílého dne odpovídá hladině 120 až 180 dB v závislosti na poloze slunce, čistotě atmosféry a oblačnosti, která může činit korekci až 30 dB. Následující tabulka uvádí tři základní scénáře definující polohu a intenzitu slunce ve vztahu se světlem. Předmětem této práce jsou hladiny intenzit osvětlení relevantní pro čistou oblohu, neboť se tak lépe projeví průjezdové korekce lesnatým porostem.

Tabulka 57 - Hladiny světelných intenzit Slunce v závislosti na výšce nad obzorem pro variantu čisté a zatažené oblohy, hodnoty odvozeny z [49], autor

Výška Slunce nad obzorem / azimut [°]	Hladina světelné intenzity Slunce při definované výšce nad horizontem [dB]	
	Čistá obloha	Zatažená obloha
<b>h</b>		
<b>5 / 59 – Zlatá hodina</b>	150,0	120,0
<b>45 / 108 – Dopolodne</b>	170,0	140,0
<b>63 / 180 – Poledne</b>	180,0	150,0

Sluneční expozice hladin světelné intenzity pro výšku Slunce nad obzorem 5°, 45° a 63° (datum 20.6.) s uvažováním hladiny stínících korekcí 20, 10 a 3 dB při průjezdu lesem a jim odpovídající ekvivalentní hladiny. Na druhé svislé ose jsou uvedeny hodnoty



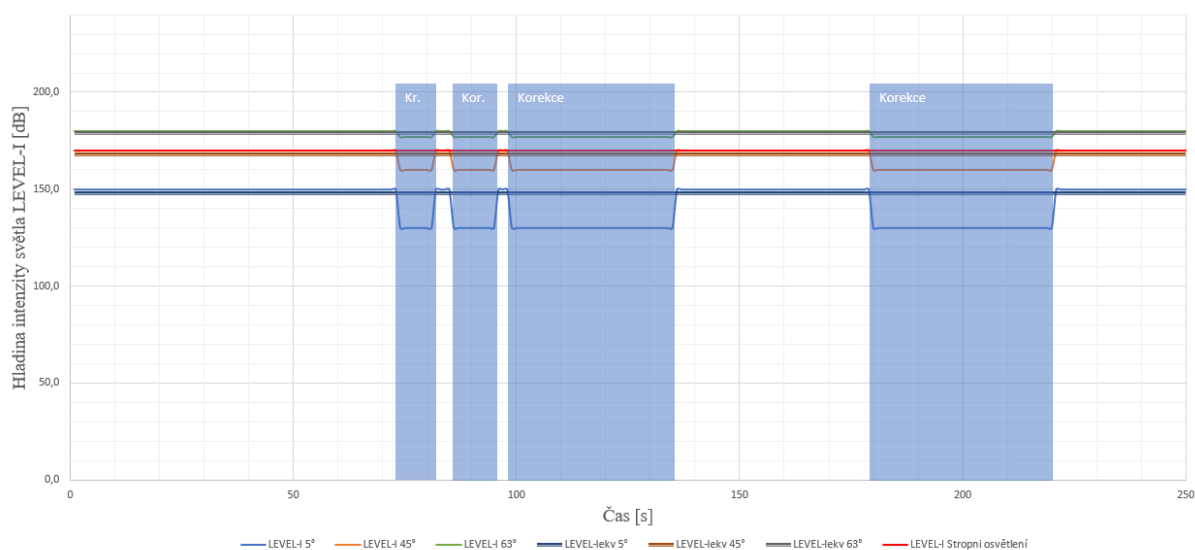
Obrázek 248 – Ekvivalentní a průběhové hladiny intenzit osvětlení a úhly natočení vozidla vůči Slunci pro tři odlišné výšky nad obzorem (5, 45 a 63 stupňů) pro průjezdový scénář malého testovacího okruhu ve Velimi, autor.

Tabulka 58 – Výsledné ekvivalentní hladiny intenzity slunečního osvětlení pro tři různé sluneční fáze nad obzorem, autor

Ekvivalentní hladiny intenzity osvětlení vozidla od Slunce [dB]		
5° výška / 59° azimut	45° výška / 108° azimut	63° výška / 180° azimut
147,9	168,2	179,1

Pro porovnání přirozeného a umělého osvětlení lze vynést jednotlivé hladiny do stejného grafu s tím rozdílem, že stropní osvětlení vozidla svítí konstantně po celou jízdní dobu. Z diagramu níže je patrné, že hladina vnitřního umělého osvětlení přibližně odpovídá intenzitě přirozeného osvětlení slunce pro výšku nad obzorem 45°.

Hladiny světelné intenzity pro výšku Slunce nad obzorem 5°, 45° a 63° (datum 20.6.) s uvažováním hladiny stínících korekcí 20, 10 a 3 dB při průjezdu lesem a jim odpovídající ekvivalentní hladiny a hladina intenzity stropního osvětlení.



**Obrázek 249 - Porovnání hladin přirozeného osvětlení od Slunce v porovnání s umělým stropním osvětlením, autor**

### 7.21.2.5. Teplo

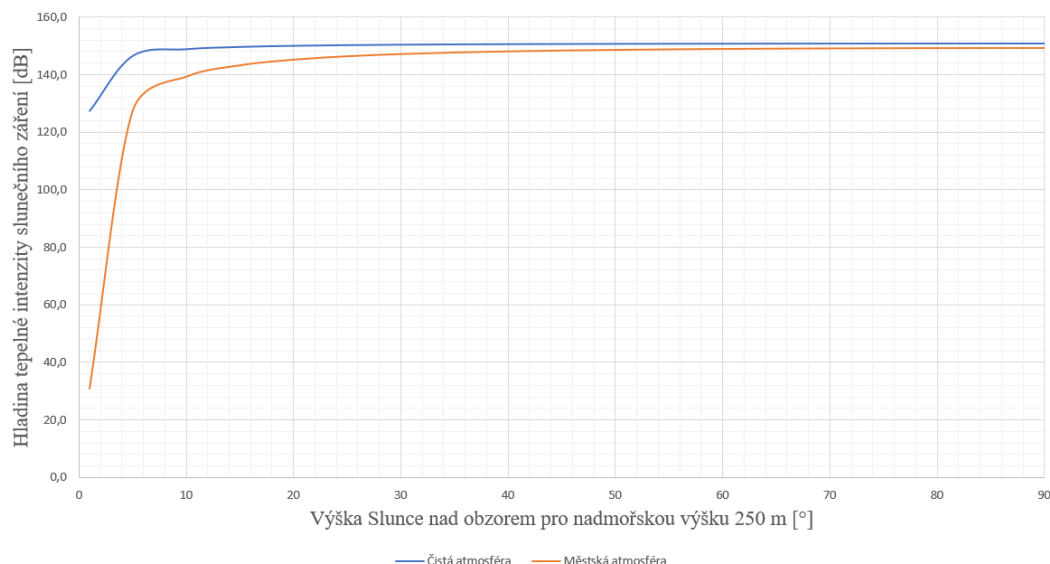
Dalším důležitým prvkem jsou tepelné zisky slunečního záření. Slunce je jediným přirozeným zdrojem tepla a světla, který pro metodiku připadá v úvahu. Slunce je vedle světla zároveň i tepelným zdrojem, světelné i tepelné projevy slunce jsou na sobě závislé, přesněji řečeno, jsou závislé na stejných proměnných<sup>15</sup>.

Obrázek 250 vyjadřuje tepelné zisky od slunce v závislosti na výšce slunce nad obzorem a na čistotě atmosféry. Je správné se domívat, zapadá-li slunce za obzor, klesá nejen tepelná

<sup>15</sup> Pozn. Autora: Podobná analogie jako u mechanické energie, kdy jsou vibrace a chvění doprovázeny zvukem.

intenzita slunečního zisku, ale i teplota osvětlení, kde se světelné spektrum bílého světla posouvá směrem k červené barvě, opět v závislosti na čistotě obloze.

Hladina přímé sluneční tepelné intenzity  $\Delta L_{ITSlunce}$  [dB] v závislosti na výšce Slunce nad obzorem  $h$  [°] pro čistou atmosféru a pro městskou atmosféru



**Obrázek 250 - Hladina přímé sluneční tepelné intenzity v závislosti na výšce slunce nad obzorem a nadmořské výšce pozorovatele a stupně znečištění atmosféry, vypočítáno podle [45]**

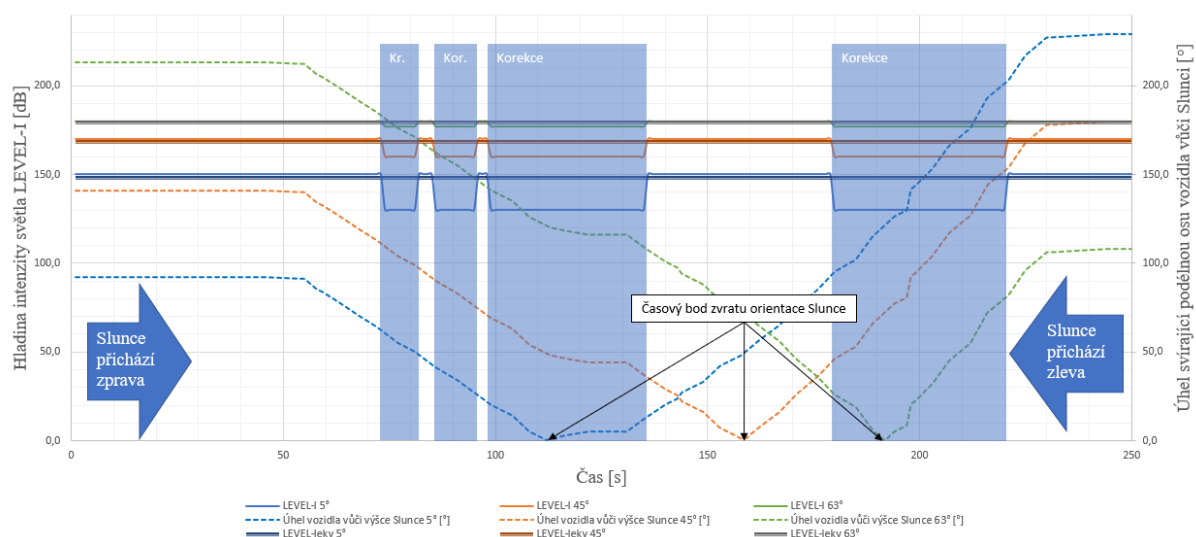
Tepelná intenzita tedy klesá rapidně za soumraku a naopak rapidně stoupá za rozbřesku, kdy tepelný zisk za jasné oblohy může představovat  $100 \text{ W/m}^2$ . V dopoledních hodinách při sluneční výšce  $45^\circ$  může vzrůst sluneční příkon kolem  $600 \text{ W/m}^2$ , přičemž zhruba  $100 \text{ W}$  připadá na difúzní tepelnou radiaci a  $500 \text{ W}$  na přímou sluneční radiaci (asi 17%). V poledni se může tepelný příkon zvýšit na  $1000 \text{ W}$ , z toho asi  $200 \text{ W}$  připadá na difúzní tepelnou radiaci.

Následující tabulka představuje přehled tepelných intenzit relevantní pro čistou a zataženou oblohu při různých slunečních výškách. Pro tepelné intenzity jsou použity stejné hodnoty korekcí při průjezdu lesem, stíněným prostředím.

**Tabulka 59 - Hladiny tepelných intenzit Slunce v závislosti na výšce nad obzorem pro čistou a zataženou oblohu**

Výška Slunce nad obzorem [°]	Hladina tepelné intenzity Slunce při definované výšce nad horizontem [dB]	
<b>h</b>	<b>Čistá obloha</b>	<b>Zatažená obloha</b>
<b>5 / 59 – Zlatá hodina</b>	120	0
<b>45 / 108 – Dopoledne</b>	147,8	120
<b>63 / 180 – Poledne</b>	150	143

Sluneční expozice hladin světelné intenzity pro výšku Slunce nad obzorem 5°, 45° a 63° (datum 20.6.) s uvažováním hladiny stínících korekcí 20, 10 a 3 dB při průjezdu lesem a jim odpovídající ekvivalentní hladiny. Na druhé svislé ose jsou uvedeny hodnoty

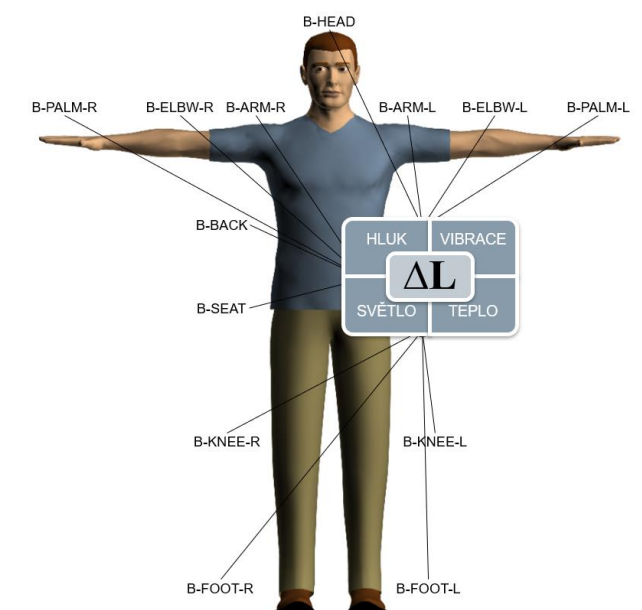


Obrázek 251 – Ekvivalentní a průběhové hladiny intenzit tepla a úhly natočení vozidla vůči Slunci pro tři odlišné výšky nad obzorem (5, 45 a 63 stupňů) pro průjezdový scénář malého testovacího okruhu ve Velimi, autor.

Tabulka 60 – Výsledné ekvivalentní hladiny intenzity slunečního osvětlení pro tři různé sluneční fáze nad obzorem, autor

Ekvivalentní hladiny intenzity osvětlení vozidla od Slunce [dB]		
5° výška / 59° azimut	45° výška / 108° azimut	63° výška / 180° azimut
117,9	146	149,1

## 7.22. NÁVRH SESTAVENÍ A VÝPOČTU PŘENOSOVÝCH FUNKCÍ



**Obrázek 252 - Vyhodnocení přenosových funkcí pro jednotlivé části lidského těla z pohledu působících vlivů hluku, vibrací, světla a tepla, autor**

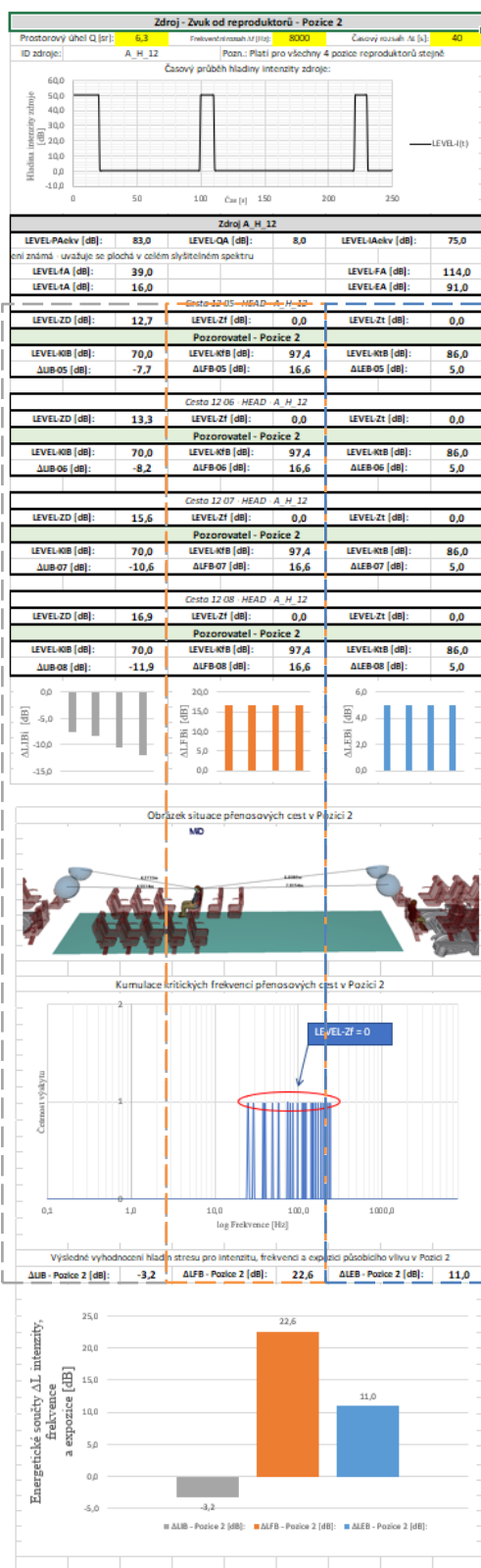
Navržená metodika v první fázi definuje vztah mezi pozorovatelem a potenciálními zdroji působících vlivů, které vozidlo během provozu generuje. Takto definované vztahy jsou navrženy skrze sestavení přenosových cest, které jsou charakteristické svojí vzdáleností a orientací pozorovatele od zdroje. Následující kapitoly matematicky popisují výpočet jednotlivých přenosových cest. Jednotlivé výpočetní protokoly přenosových cest jsou vytrženy z komplexního modelu vozidla. 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.

Cesta samotná je vnímána jako informační vazba, která je nositelem informace o:

- parametru vzdálenosti a orientace mezi zdrojem a pozorovatelem,
- výkonu a parametru  $Q$  charakteru zdroje (bodový, přímkový, plošný, apod.),
- parametru šířky frekvenčního spektra zdroje a pozorovatele,
- podílu komplexně fázovém vztahu s dalšími cestami.

Následující obrázek popisuje rozvržení výstupních protokolů výpočtu matematického modelu exportované z programu MS Excel





Název protokolu – téma a místo výpočtu

Základní informace o zdroji

Grafické znázornění průběhu vstupního výkonu/intenzity po čas expozice

Výpočet ekvivalentního výkonu/intenzity

Výpočet hladin VSH a Expozice

Název přenosové cesty - identifikace

Výpočet hladin impedance přenosu cesty

Identifikace pozorovatele

Výpočet hladin korekcí pozorovatele

Výsledné hladiny stresu přenosové cesty

Grafické vyjádření hladin stresu přenosových cest

Prostorová situace přenosových cest.

Orientace a vzdálenosti v prostoru mezi zdroji a pozorovatelem jako výsledek simulace 3D human CAD modelu Jack&Jill

Grafické zobrazení stanovení přenosové frekvenční korekce LEVEL-Zf [dB], jako logaritmus četnosti n fázových shod:

$$LEVEL-Zf = 10 \cdot \log(n) \text{ [dB]}$$

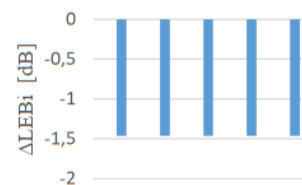
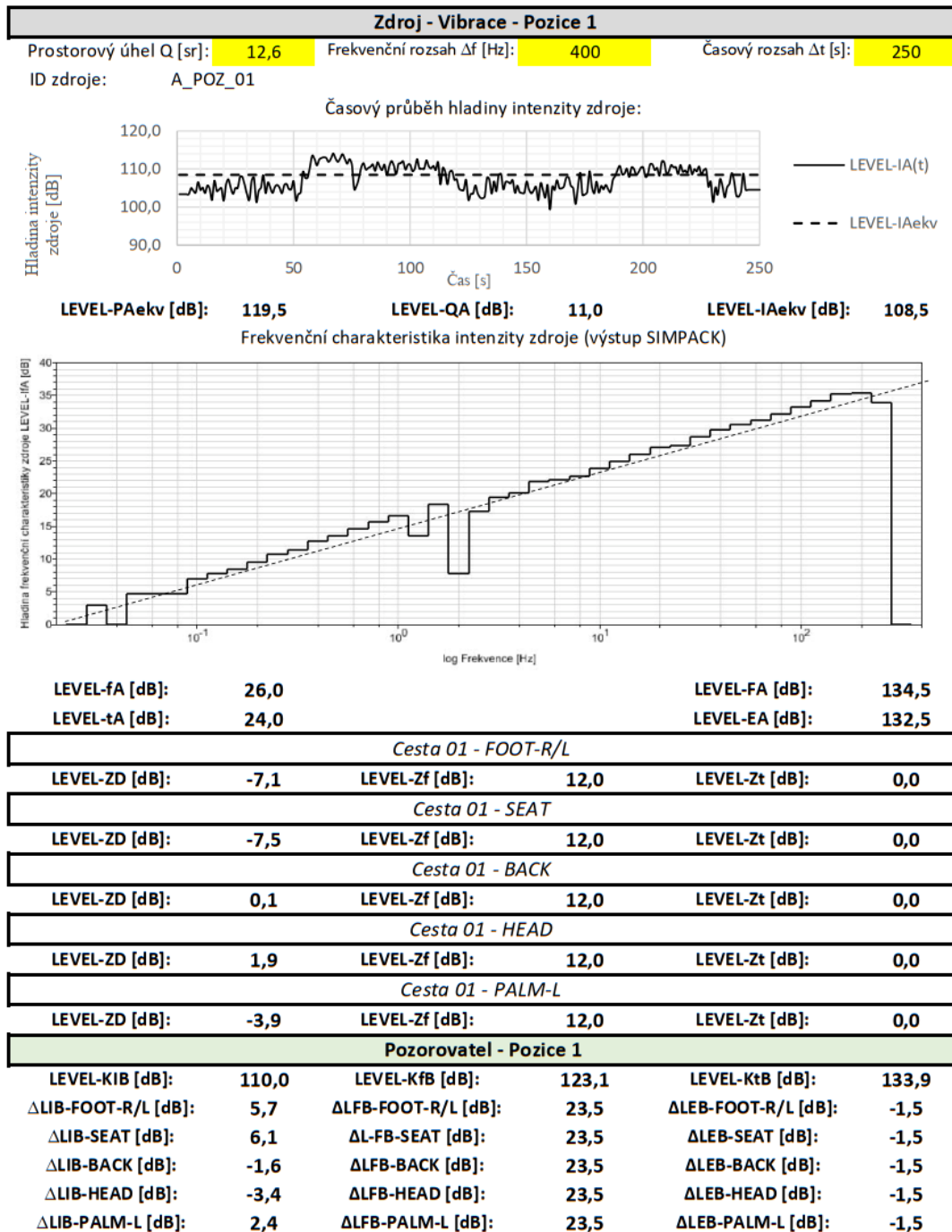
Výpočet výsledných hladin stresu pro definovaný počet přenosových cest „i“

$$\Delta L = 10 \cdot \log \left( \sum_i 10^{0,1 \cdot \Delta L_i} \right)$$

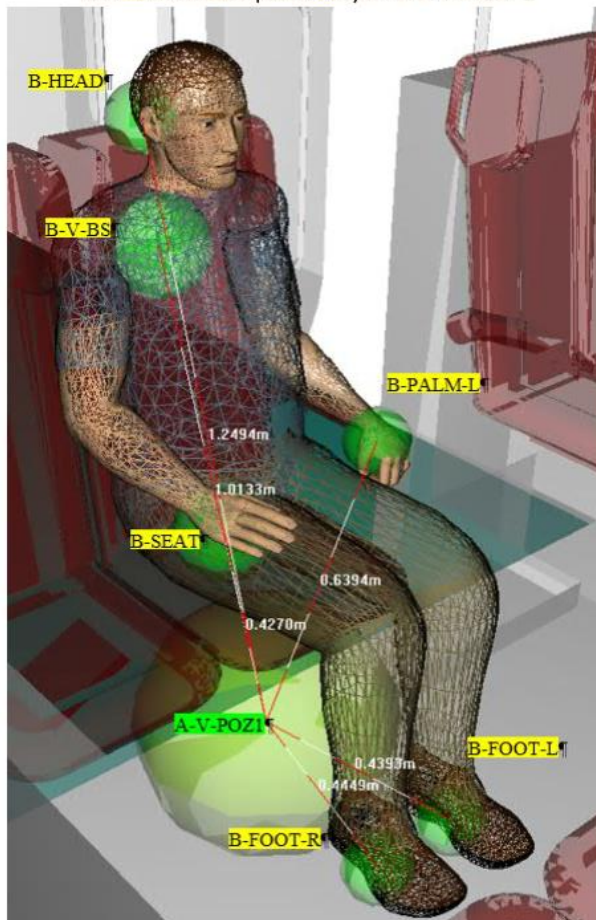
Grafické vyjádření hodnot výsledných hladin stresu intenzity, výkonově spektrální hustoty a expozice

Obrázek 253 - Instrukční popis výpočetního protokolu přenosových cest, autor

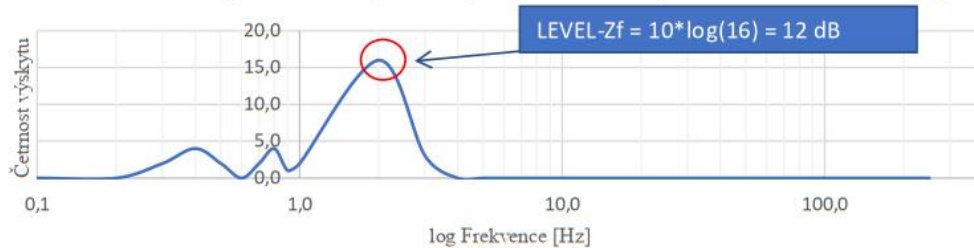
### 7.22.1. CESTY VIBRACÍ SKŘÍNĚ VOZIDLA K POZOROVATELI



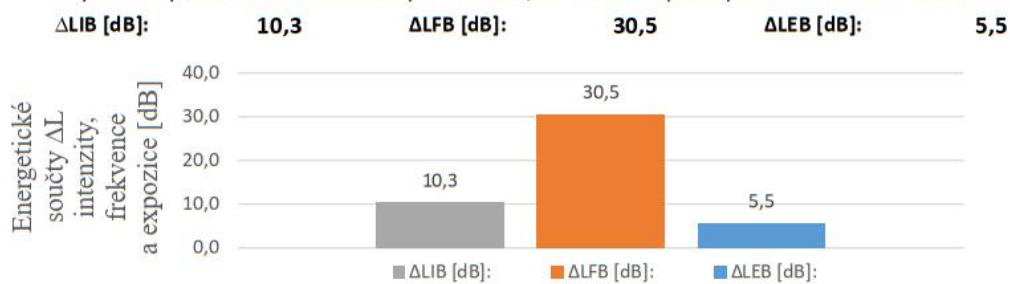
Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1 pro hmotnost člověka 100kg



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1



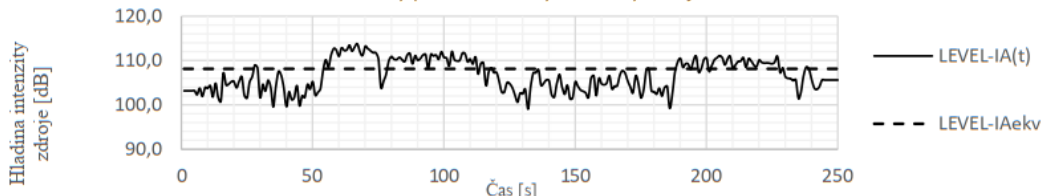


**Zdroj - Vibrace - Pozice 2**

Prostorový úhel  $Q$  [sr]: **12,6**    Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **400**    Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

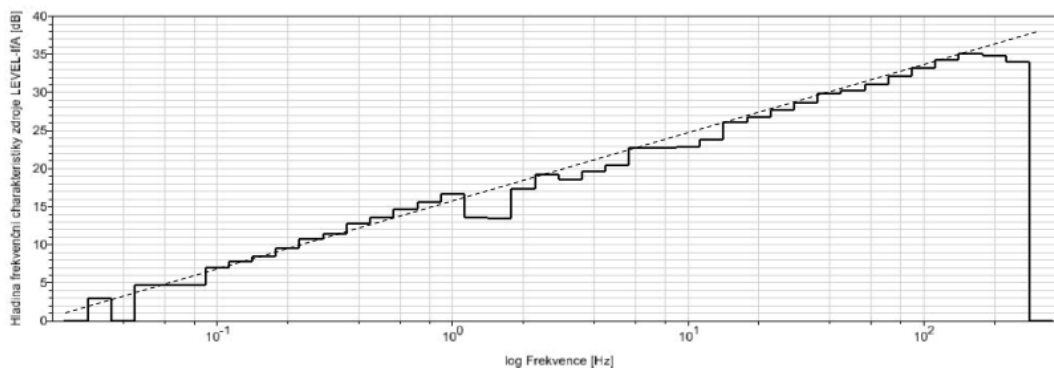
ID zdroje: A\_POZ\_01

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



LEVEL-PAekv [dB]: **119,2**    LEVEL-QA [dB]: **11,0**    LEVEL-IAekv [dB]: **108,2**

Frekvenční charakteristika intenzity zdroje (výstup SIMPACK)



LEVEL-fA [dB]: **26,0**

LEVEL-FA [dB]: **134,2**

LEVEL-tA [dB]: **24,0**

LEVEL-EA [dB]: **132,1**

*Cesta 01 - FOOT-R/L*

LEVEL-ZD [dB]: **-7,3**

LEVEL-Zf [dB]: **12,3**

LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 01 - SEAT*

LEVEL-ZD [dB]: **-8,2**

LEVEL-Zf [dB]: **12,3**

LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 01 - BACK*

LEVEL-ZD [dB]: **-0,2**

LEVEL-Zf [dB]: **12,3**

LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 01 - HEAD*

LEVEL-ZD [dB]: **1,7**

LEVEL-Zf [dB]: **12,3**

LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 01 - PALM-L*

LEVEL-ZD [dB]: **-3,7**

LEVEL-Zf [dB]: **12,3**

LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

**Pozorovatel - Pozice 2**

LEVEL-KIB [dB]: **110,0**

LEVEL-KfB [dB]: **123,1**

LEVEL-KtB [dB]: **133,9**

$\Delta$ LIB-FOOT-R/L [dB]: **5,5**

$\Delta$ LFB-FOOT-R/L [dB]: **23,4**

$\Delta$ LEB-FOOT-R/L [dB]: **-1,8**

$\Delta$ LIB-SEAT [dB]: **6,4**

$\Delta$ LFB-SEAT [dB]: **23,4**

$\Delta$ LEB-SEAT [dB]: **-1,8**

$\Delta$ LIB-BACK [dB]: **-1,6**

$\Delta$ LFB-BACK [dB]: **23,4**

$\Delta$ LEB-BACK [dB]: **-1,8**

$\Delta$ LIB-HEAD [dB]: **-3,5**

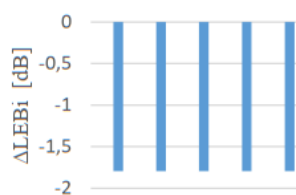
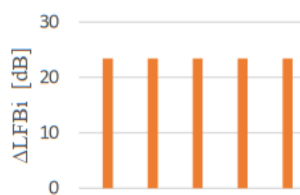
$\Delta$ LFB-HEAD [dB]: **23,4**

$\Delta$ LEB-HEAD [dB]: **-1,8**

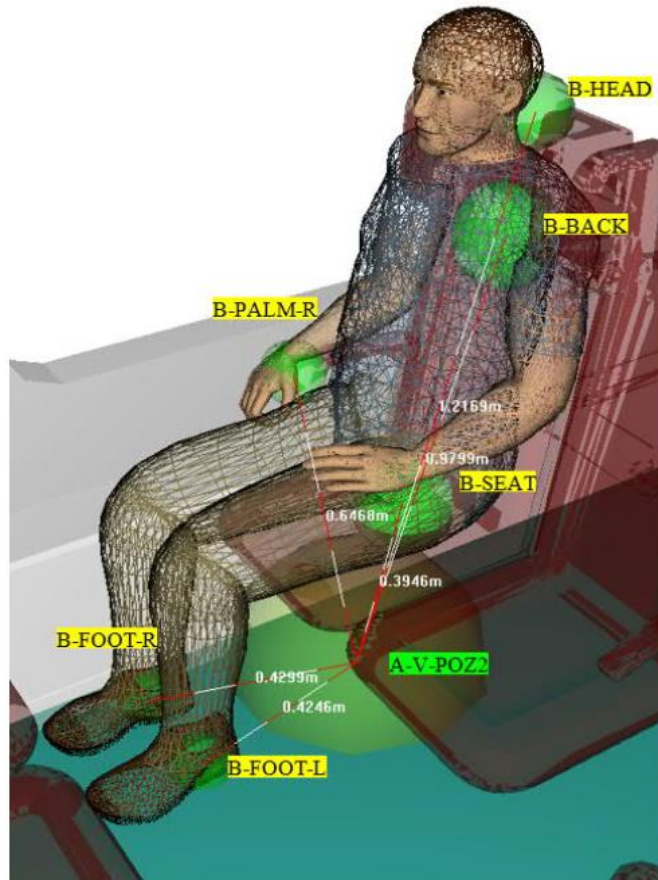
$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]: **1,9**

$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]: **23,4**

$\Delta$ LEB-PALM-L [dB]: **-1,8**



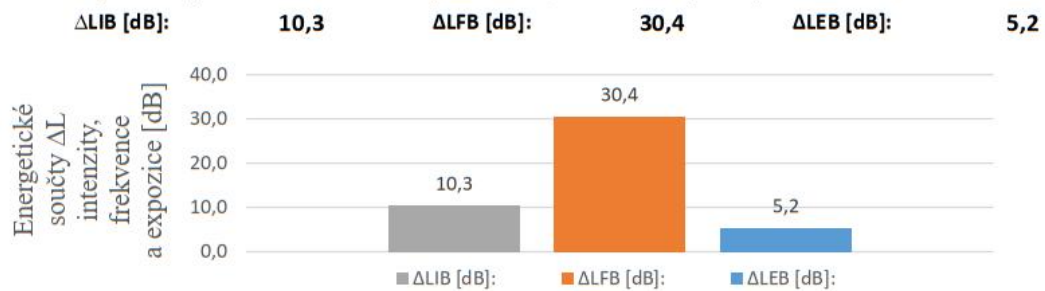
Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 2 pro hmotnost člověka 100kg



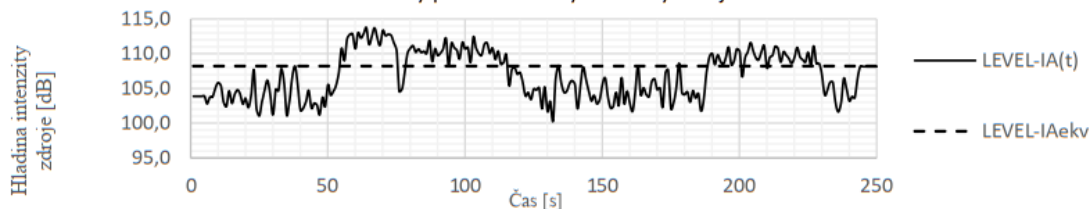
Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2



**Zdroj - Vibrace - Pozice 3**

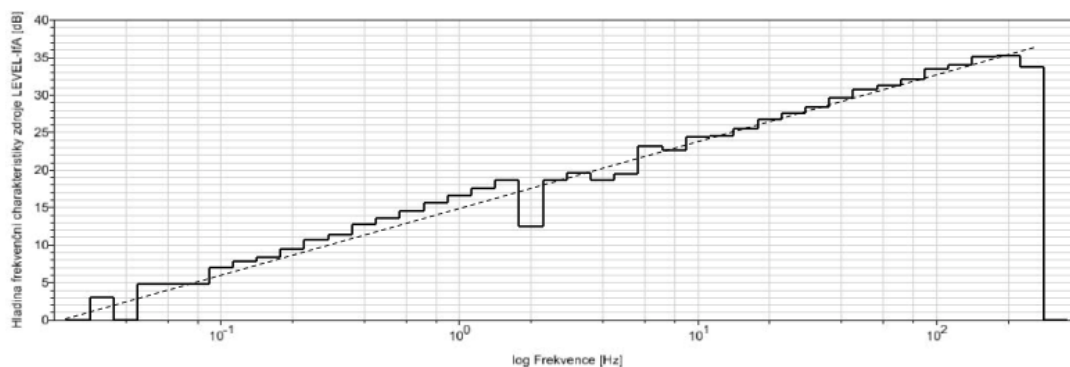
Prostorový úhel Q [sr]: **12,6** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **400** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**  
ID zdroje: A\_POZ\_01

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



**LEVEL-PAekv [dB]: 119,2      LEVEL-QA [dB]: 11,0      LEVEL-IAekv [dB]: 108,2**

Frekvenční charakteristika intenzity zdroje (výstup SIMPACK)



**LEVEL-fA [dB]: 26,0      LEVEL-FA [dB]: 134,3**  
**LEVEL-tA [dB]: 24,0      LEVEL-EA [dB]: 132,2**

*Cesta 01 - FOOT-R*

**LEVEL-ZD [dB]: -15,9      LEVEL-Zf [dB]: 7,8      LEVEL-Zt [dB]: 0,0**

*Cesta 01 - FOOT-L*

**LEVEL-ZD [dB]: -15,4      LEVEL-Zf [dB]: 7,8      LEVEL-Zt [dB]: 0,0**

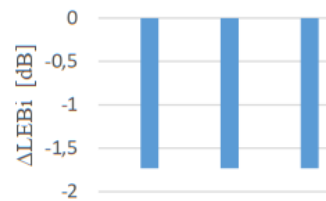
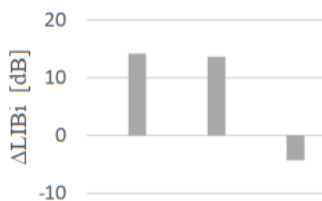
*Cesta 01 - PALM-L*

**LEVEL-Zr [dB]: 2,5      LEVEL-Zf [dB]: 7,8      LEVEL-Zt [dB]: 0,0**

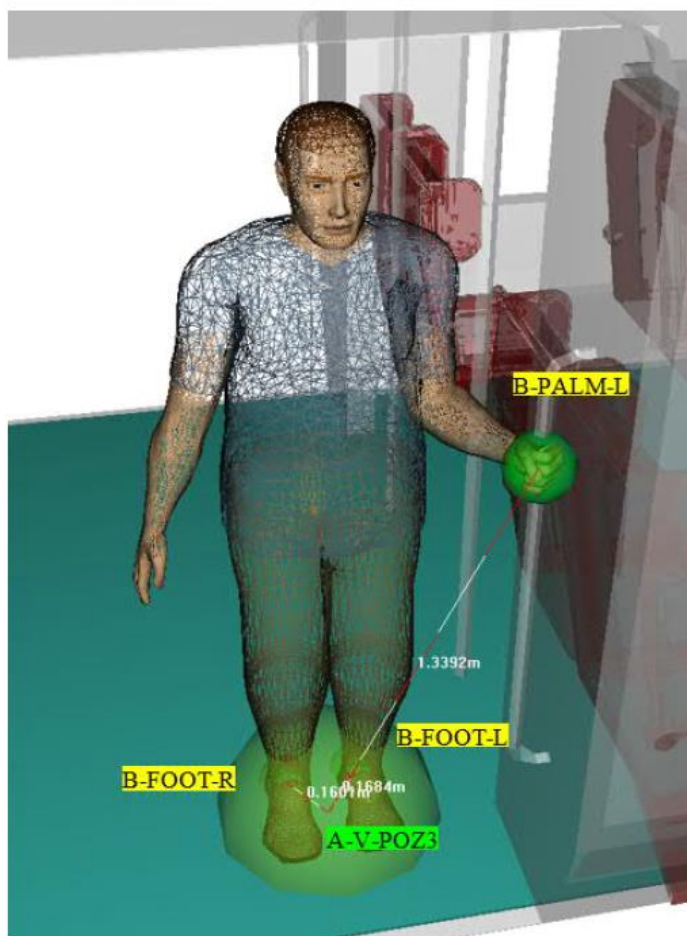
**Pozorovatel - Pozice 3**

**LEVEL-KIB [dB]: 110,0      LEVEL-KfB [dB]: 123,1      LEVEL-KtB [dB]: 133,9**

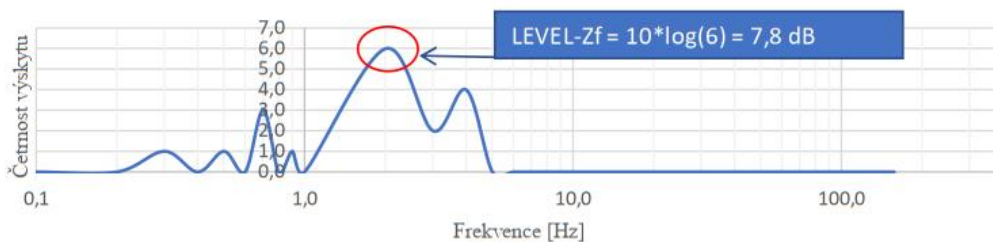
**$\Delta$ LIB-FOOT-R [dB]: 14,2       $\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]: 18,9       $\Delta$ LEB-FOOT-R [dB]: -1,7**  
 **$\Delta$ LIB-FOOT-L [dB]: 13,7       $\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]: 18,9       $\Delta$ LEB-FOOT-L [dB]: -1,7**  
 **$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]: -4,3       $\Delta$ LFB-PALM-L [dB]: 18,9       $\Delta$ LEB-PALM-L [dB]: -1,7**



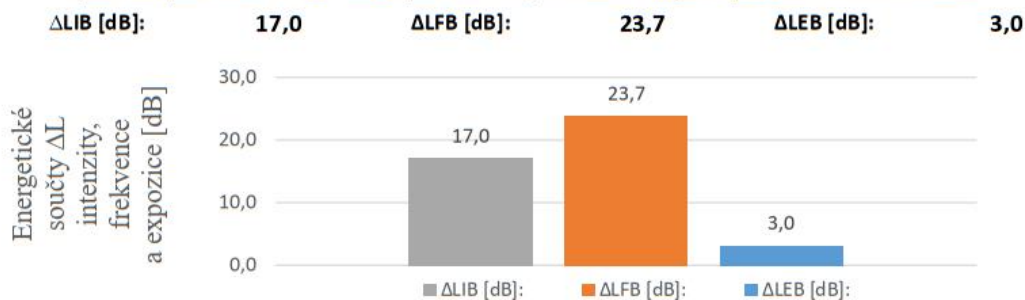
Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3



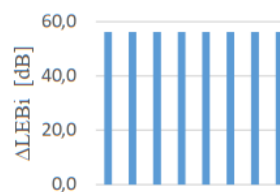
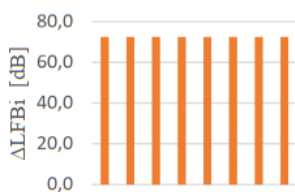
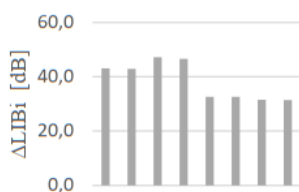
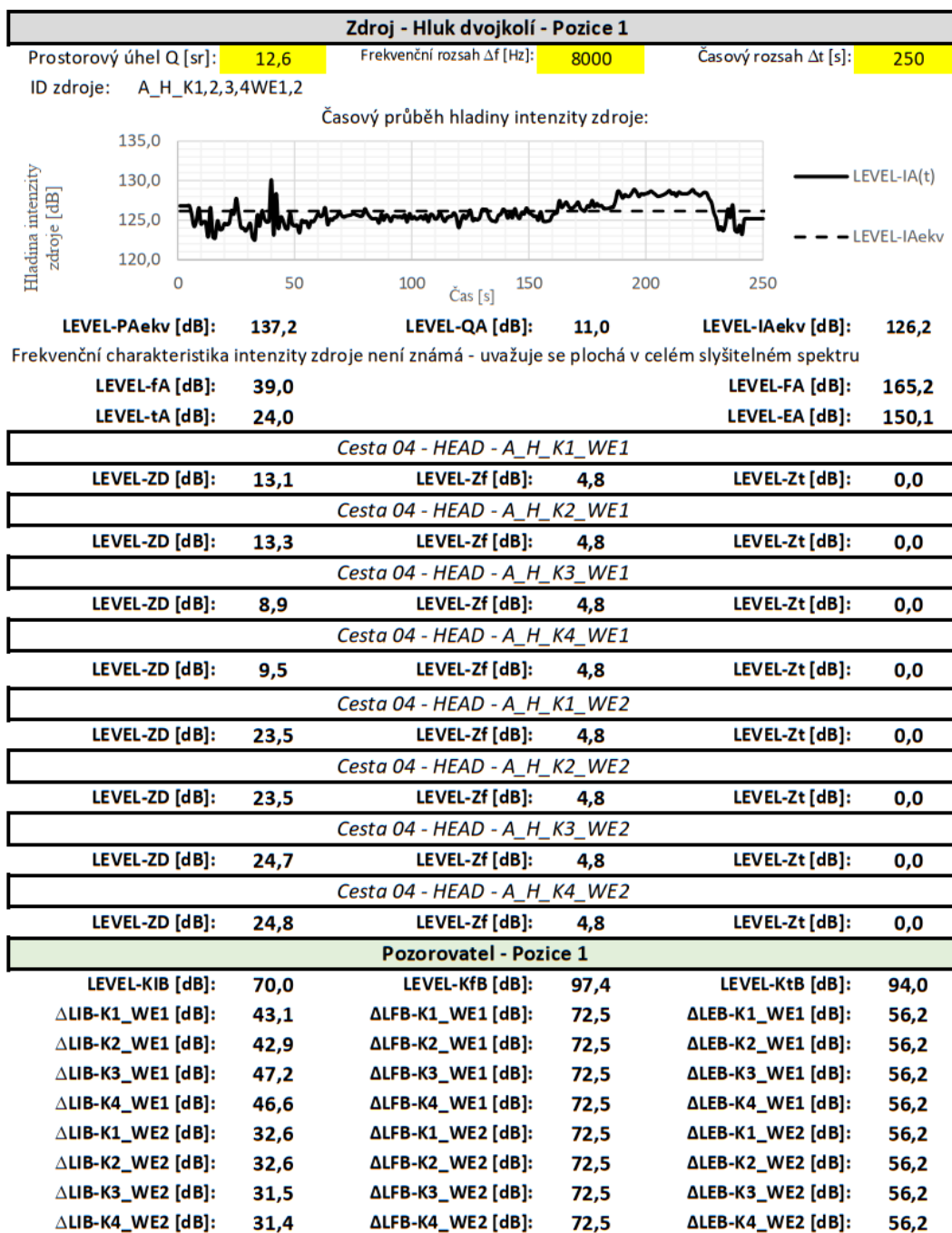
Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 3 pro hmotnost člověka 100kg



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3

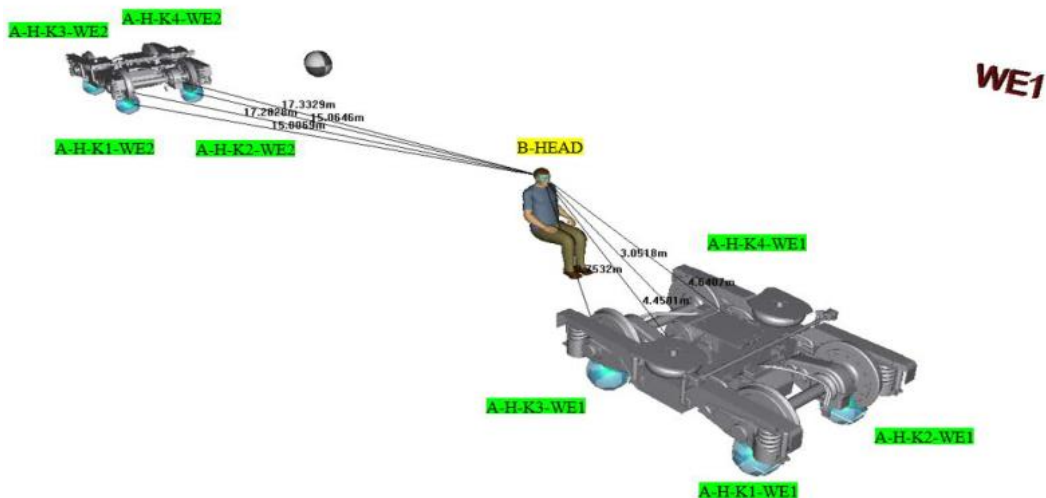


## 7.22.2. CESTY HLUKU DVOJKOLÍ

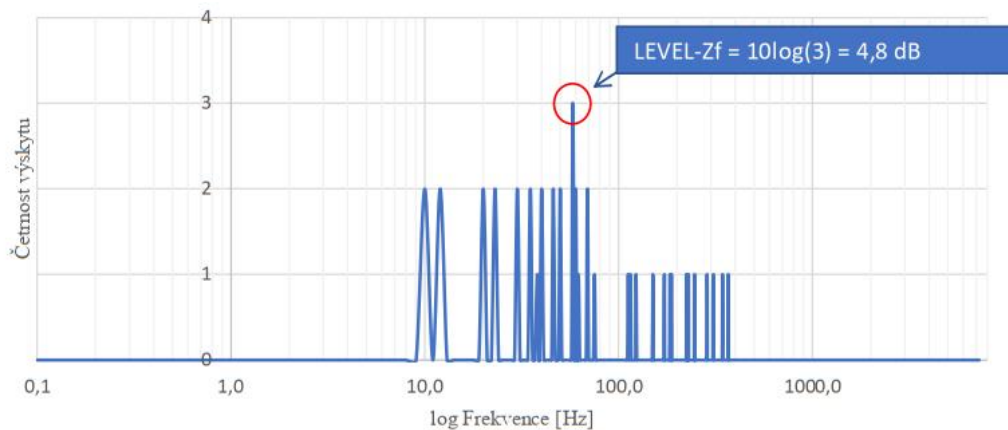




Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1

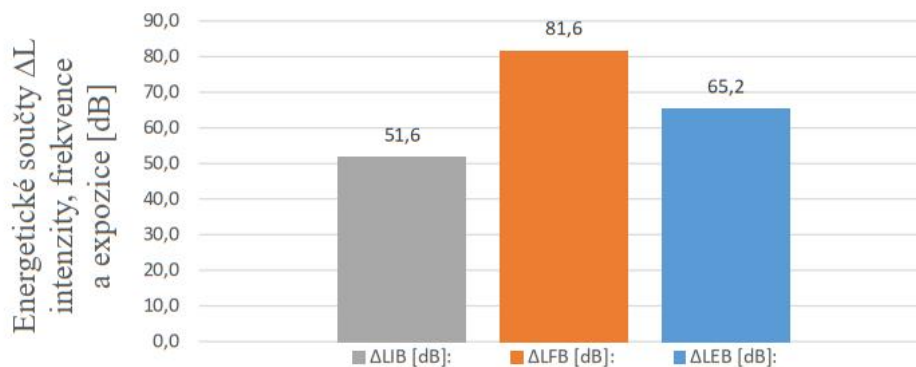


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1



$\Delta L_{IB}$  [dB]: 51,6       $\Delta L_{FB}$  [dB]: 81,6       $\Delta L_{EB}$  [dB]: 65,2

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1



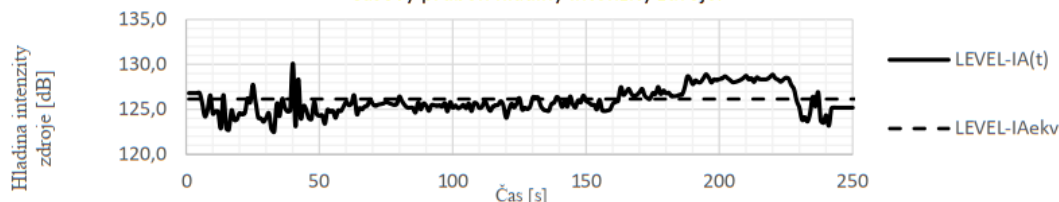


**Zdroj - Hluk dvojkolí- Pozice 2**

Prostorový úhel Q [sr]: **12,6** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_K1,2,3,4WE1,2

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



LEVEL-PAekv [dB]: **137,2** LEVEL-QA [dB]: **11,0** LEVEL-IAekv [dB]: **126,2**

Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru

LEVEL-fA [dB]: **39,0** LEVEL-FA [dB]: **165,2**

LEVEL-tA [dB]: **24,0** LEVEL-EA [dB]: **150,1**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K1\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **21,4** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K2\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **21,4** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K3\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **19,5** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K4\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **9,5** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K1\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **17,4** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K2\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **17,3** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K3\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **19,7** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 05 - HEAD - A\_H\_K4\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **19,6** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

**Pozorovatel - Pozice 2**

LEVEL-KIB [dB]: **70,0** LEVEL-KfB [dB]: **97,4** LEVEL-KtB [dB]: **94,0**

$\Delta$ LIB-K1\_WE1 [dB]: **34,7**  $\Delta$ LFB-K1\_WE1 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K1\_WE1 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K2\_WE1 [dB]: **34,8**  $\Delta$ LFB-K2\_WE1 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K2\_WE1 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K3\_WE1 [dB]: **36,7**  $\Delta$ LFB-K3\_WE1 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K3\_WE1 [dB]: **56,2**

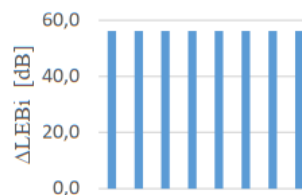
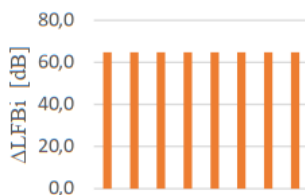
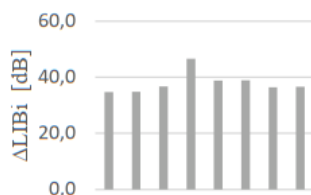
$\Delta$ LIB-K4\_WE1 [dB]: **46,6**  $\Delta$ LFB-K4\_WE1 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K4\_WE1 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K1\_WE2 [dB]: **38,8**  $\Delta$ LFB-K1\_WE2 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K1\_WE2 [dB]: **56,2**

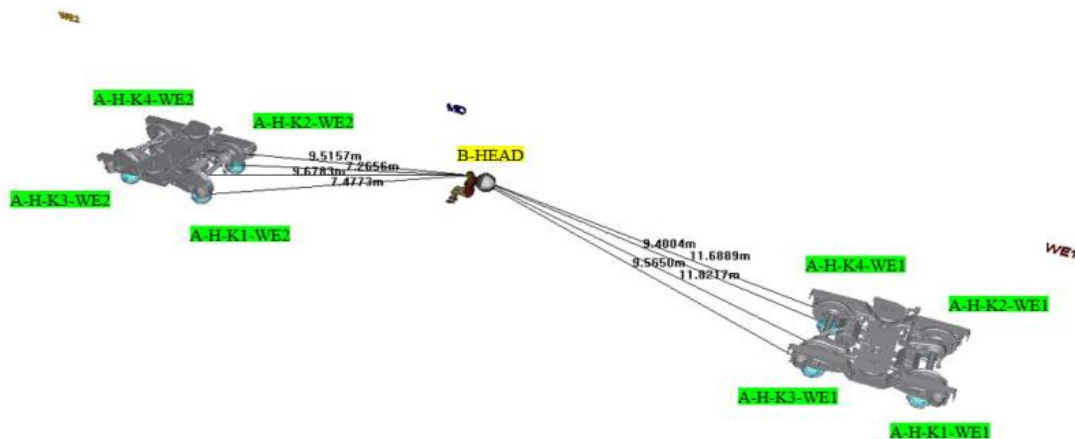
$\Delta$ LIB-K2\_WE2 [dB]: **38,9**  $\Delta$ LFB-K2\_WE2 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K2\_WE2 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K3\_WE2 [dB]: **36,4**  $\Delta$ LFB-K3\_WE2 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K3\_WE2 [dB]: **56,2**

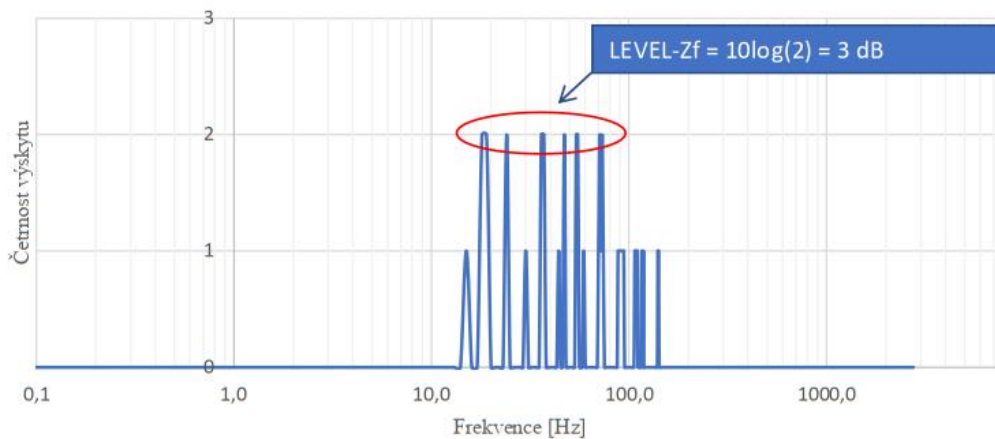
$\Delta$ LIB-K4\_WE2 [dB]: **36,6**  $\Delta$ LFB-K4\_WE2 [dB]: **64,8**  $\Delta$ LEB-K4\_WE2 [dB]: **56,2**



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 2

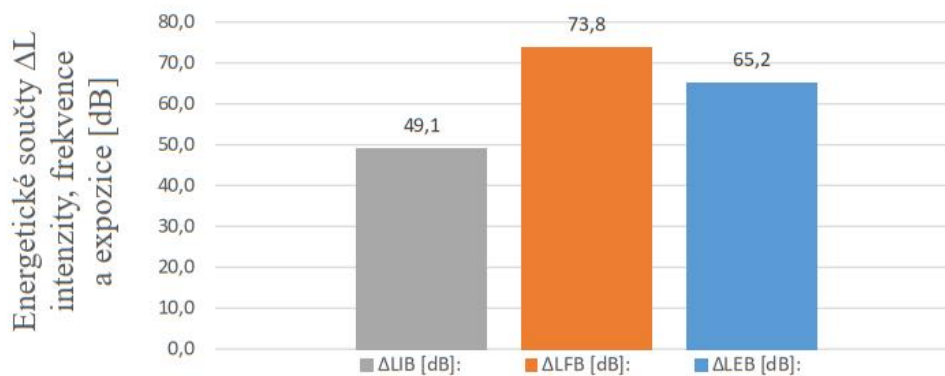


$\Delta$ L<sub>IB</sub> [dB]: 49,1

$\Delta$ L<sub>FB</sub> [dB]: 73,8

$\Delta$ L<sub>EB</sub> [dB]: 65,2

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2



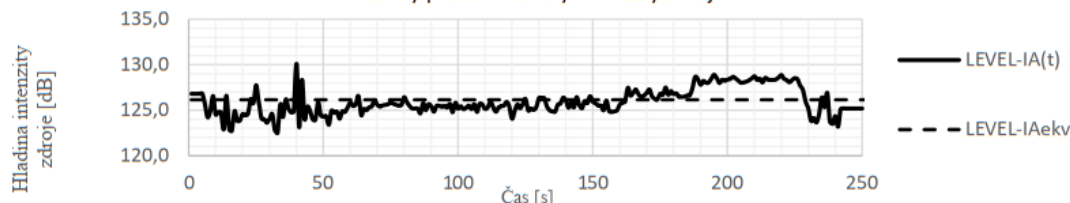


**Zdroj - Hluk dvojkolí- Pozice 3**

Prostorový úhel Q [sr]: **12,6**      Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000**      Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_K1,2,3,4WE1,2

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



LEVEL-PAekv [dB]: **137,2**      LEVEL-QA [dB]: **11,0**      LEVEL-IAekv [dB]: **126,2**

Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru

LEVEL-fA [dB]: **39,0**      LEVEL-FA [dB]: **165,2**

LEVEL-tA [dB]: **24,0**      LEVEL-EA [dB]: **150,1**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K1\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **23,8**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K2\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **23,9**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K3\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **22,4**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K4\_WE1*

LEVEL-ZD [dB]: **22,5**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K1\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **12,0**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K2\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **12,9**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K3\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **15,6**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

*Cesta 06 - HEAD - A\_H\_K4\_WE2*

LEVEL-ZD [dB]: **16,0**      LEVEL-Zf [dB]: **3,0**      LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

**Pozorovatel - Pozice 3**

LEVEL-KIB [dB]: **70,0**      LEVEL-KfB [dB]: **97,4**      LEVEL-KtB [dB]: **94,0**

$\Delta$ LIB-K1\_WE1 [dB]: **32,4**       $\Delta$ LFB-K1\_WE1 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K1\_WE1 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K2\_WE1 [dB]: **32,3**       $\Delta$ LFB-K2\_WE1 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K2\_WE1 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K3\_WE1 [dB]: **33,8**       $\Delta$ LFB-K3\_WE1 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K3\_WE1 [dB]: **56,2**

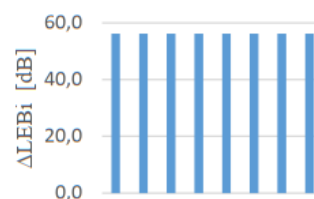
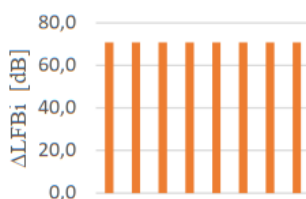
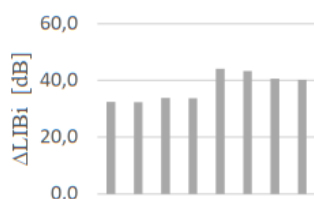
$\Delta$ LIB-K4\_WE1 [dB]: **33,7**       $\Delta$ LFB-K4\_WE1 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K4\_WE1 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K1\_WE2 [dB]: **44,1**       $\Delta$ LFB-K1\_WE2 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K1\_WE2 [dB]: **56,2**

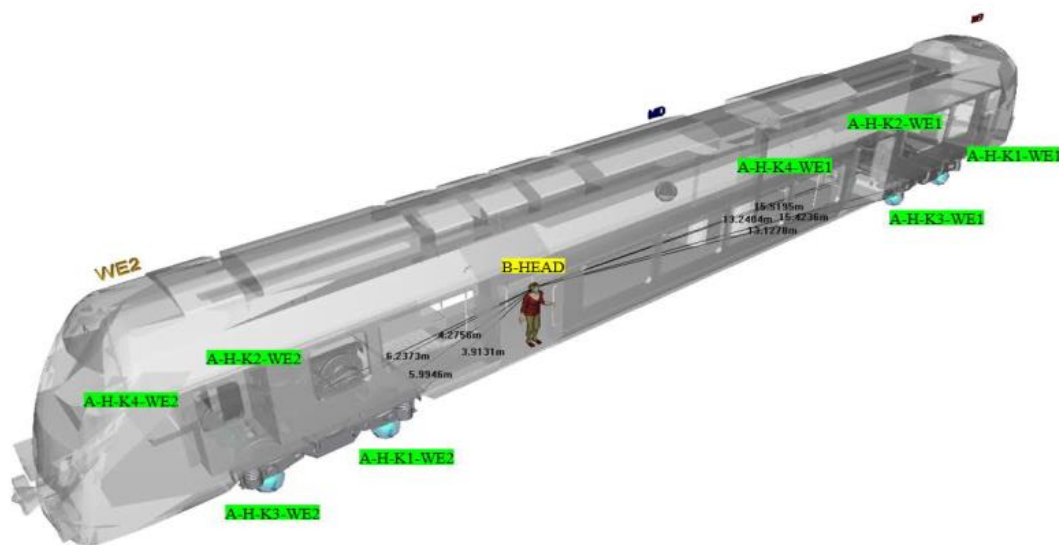
$\Delta$ LIB-K2\_WE2 [dB]: **43,3**       $\Delta$ LFB-K2\_WE2 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K2\_WE2 [dB]: **56,2**

$\Delta$ LIB-K3\_WE2 [dB]: **40,6**       $\Delta$ LFB-K3\_WE2 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K3\_WE2 [dB]: **56,2**

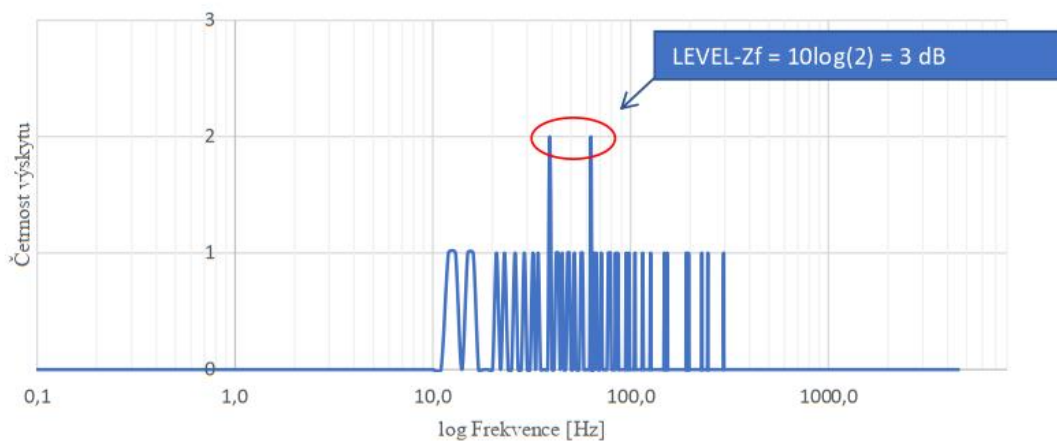
$\Delta$ LIB-K4\_WE2 [dB]: **40,2**       $\Delta$ LFB-K4\_WE2 [dB]: **70,8**       $\Delta$ LEB-K4\_WE2 [dB]: **56,2**



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3

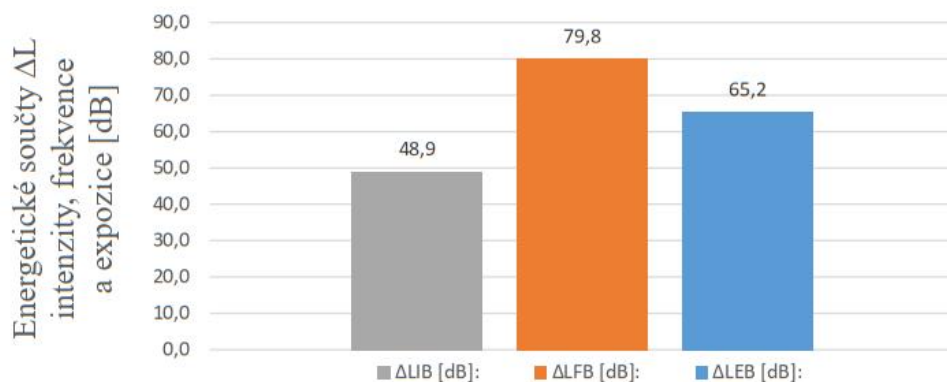


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 3

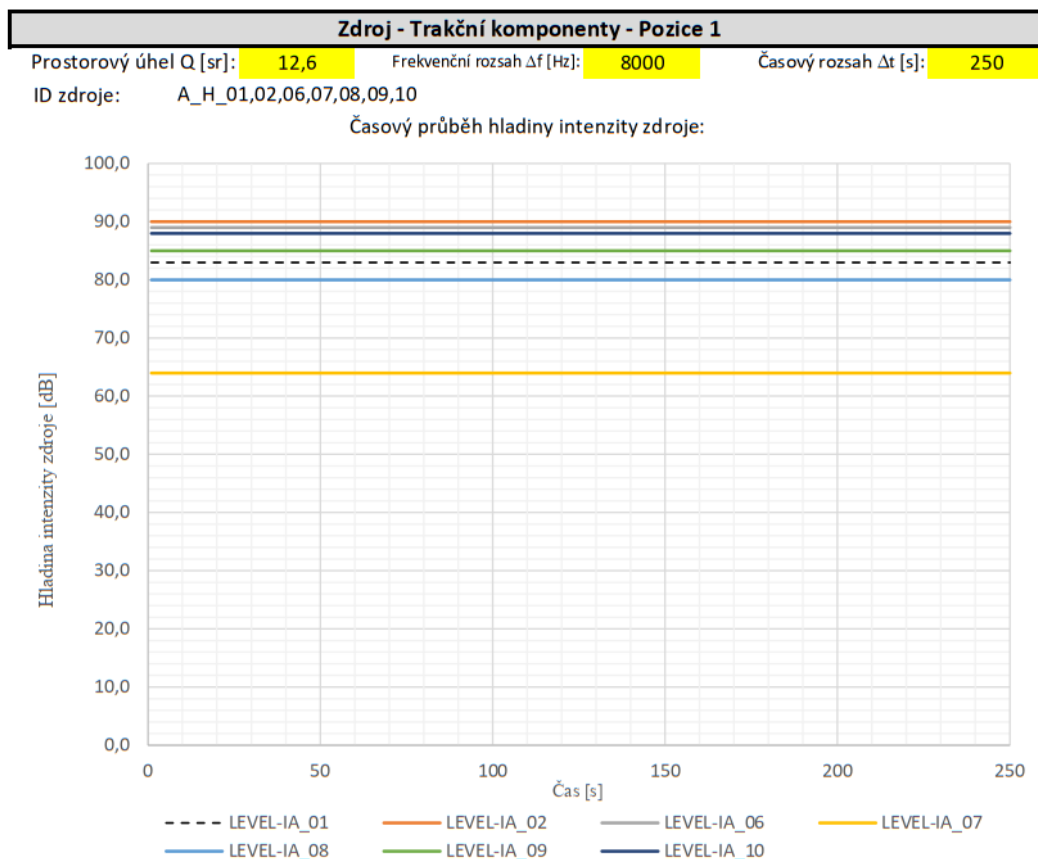


$\Delta\text{LIB [dB]}:$  **48,9**       $\Delta\text{LFB [dB]}:$  **79,8**       $\Delta\text{LEB [dB]}:$  **65,2**

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3



### 7.22.3. CESTY TRAKČNÍCH SYSTÉMOVÝCH KOMPONENT



Zdroj A_H_01					
LEVEL-PAekv [dB]:	83,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	72,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	111,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	96,0
<i>Cesta 07 - HEAD - A_H_01</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	13,1	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
<b>Pozorovatel - Pozice 1</b>					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta LIB-01$ [dB]:	-11,1	$\Delta LFB-01$ [dB]:	16,6	$\Delta LEB-01$ [dB]:	2,0

Zdroj A_H_02					
LEVEL-PAekv [dB]:	90,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	79,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	118,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	103,0
<i>Cesta 07 - HEAD - A_H_02</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	18,3	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
<b>Pozorovatel - Pozice 1</b>					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta LIB-02$ [dB]:	-9,3	$\Delta LFB-02$ [dB]:	23,6	$\Delta LEB-02$ [dB]:	9,0



Zdroj A_H_06					
LEVEL-PAekv [dB]:	89,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	78,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	117,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	102,0
Cesta 07 - HEAD - A_H_06					
LEVEL-ZD [dB]:	20,7	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-06 [dB]:	-12,8	ΔLFB-06 [dB]:	22,6	ΔLEB-06 [dB]:	8,0

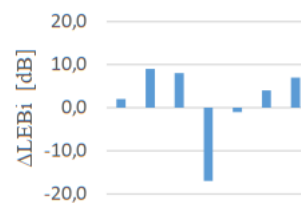
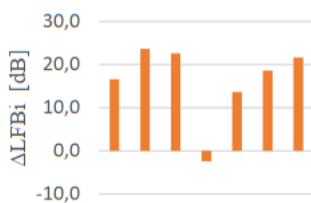
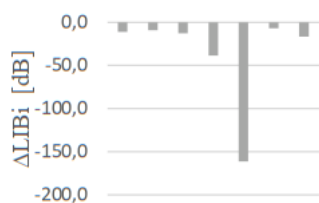
Zdroj A_H_07					
LEVEL-PAekv [dB]:	64,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	53,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	92,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	77,0
Cesta 07 - HEAD - A_H_07					
LEVEL-ZD [dB]:	21,7	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-07 [dB]:	-38,7	ΔLFB-07 [dB]:	-2,4	ΔLEB-07 [dB]:	-17,0

Zdroj A_H_08					
LEVEL-PAekv [dB]:	80,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	69,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	108,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	93,0
Cesta 07 - HEAD - A_H_08					
LEVEL-ZD [dB]:	22,5	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-08 [dB]:	-161,5	ΔLFB-08 [dB]:	13,6	ΔLEB-08 [dB]:	-1,0

Zdroj A_H_09					
LEVEL-PAekv [dB]:	85,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	74,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	113,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	98,0
Cesta 07 - HEAD - A_H_09					
LEVEL-ZD [dB]:	10,9	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-09 [dB]:	-6,9	ΔLFB-09 [dB]:	18,6	ΔLEB-09 [dB]:	4,0

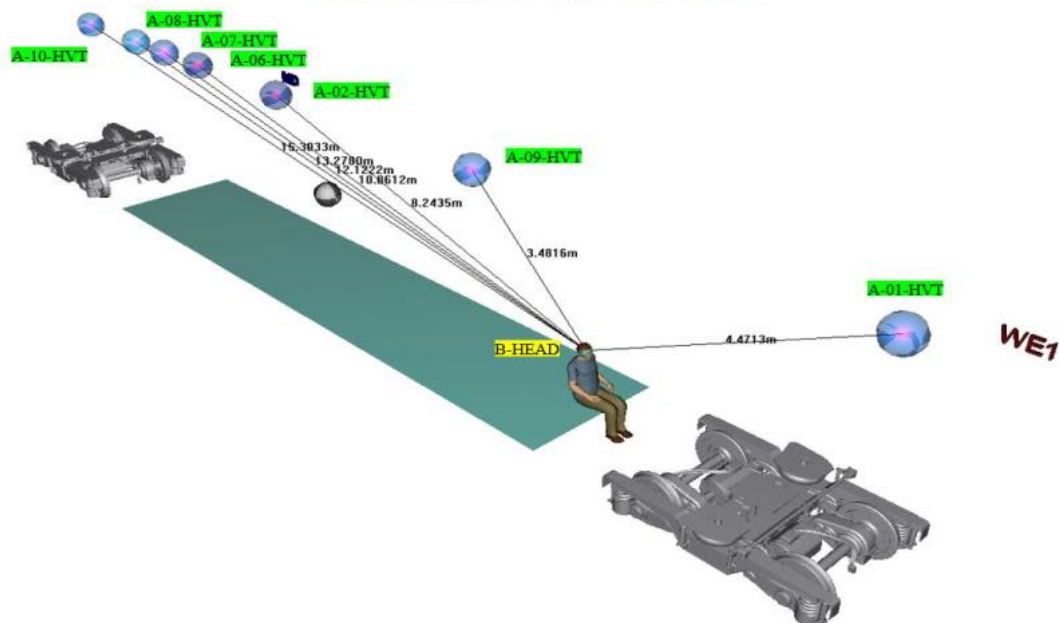


Zdroj A_H_10					
LEVEL-PAekv [dB]:	88,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	77,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	116,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	101,0
Cesta 07 - HEAD - A_H_10					
LEVEL-ZD [dB]:	23,8	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-10 [dB]:	-16,8	$\Delta$ LFB-10 [dB]:	21,6	$\Delta$ LEB-10 [dB]:	7,0

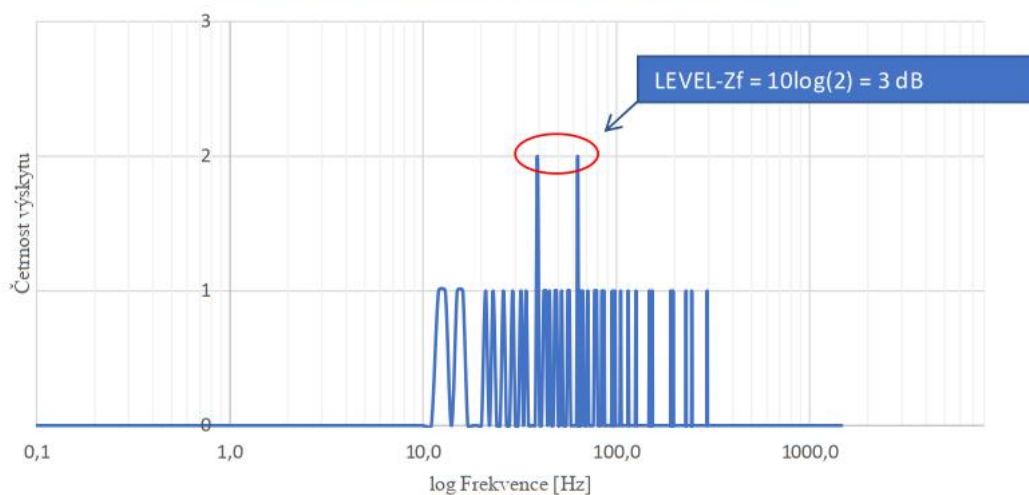




Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1

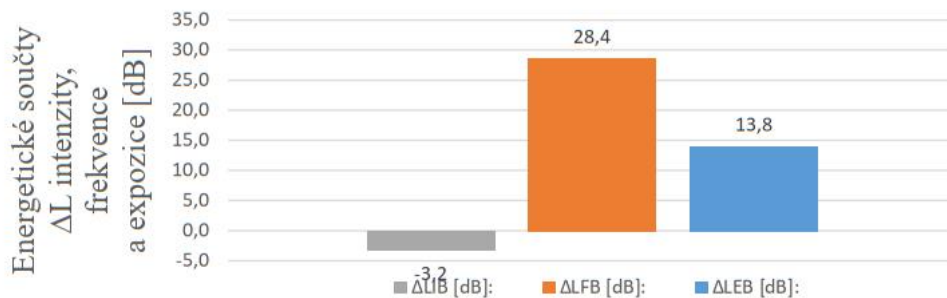


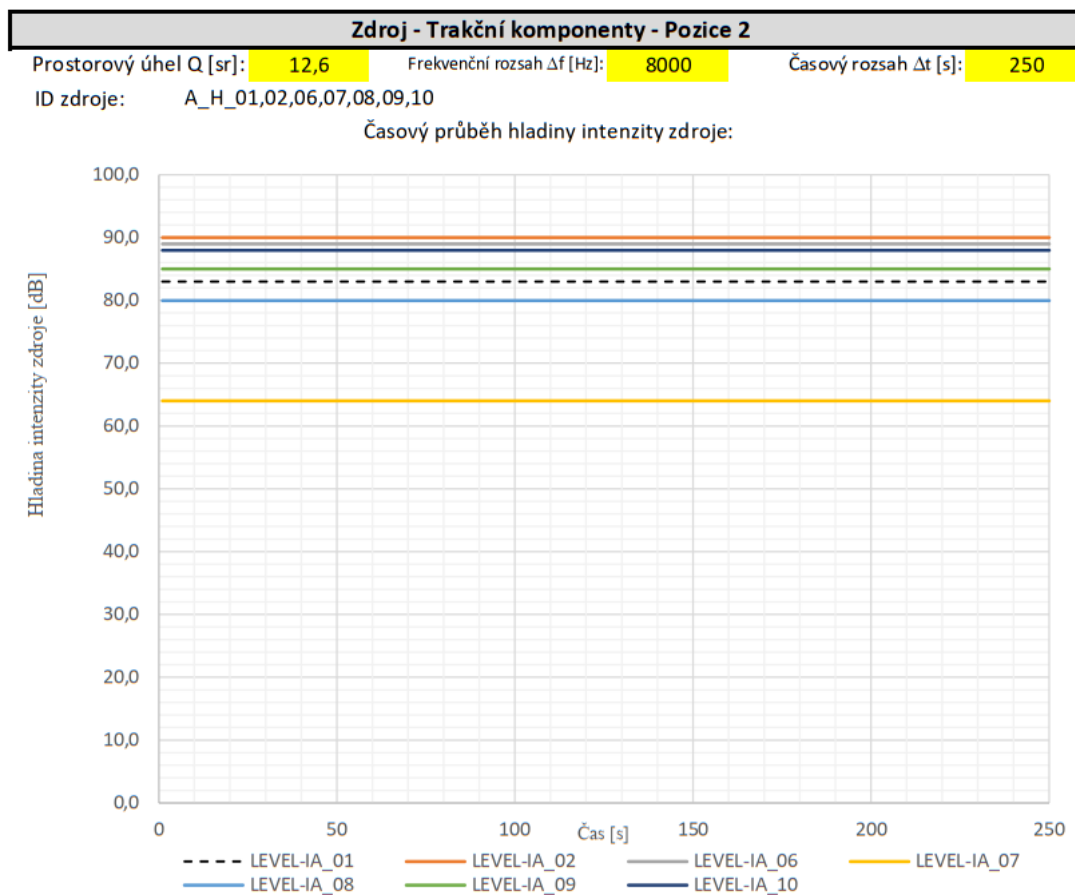
Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta LIB$  [dB]: -3,2       $\Delta LFB$  [dB]: 28,4       $\Delta LEB$  [dB]: 13,8





Zdroj A_H_01							
LEVEL-PAekv [dB]:	<b>83,0</b>	LEVEL-QA [dB]:	<b>11,0</b>	LEVEL-IAekv [dB]:	<b>72,0</b>		
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru							
LEVEL-fA [dB]:	<b>39,0</b>			LEVEL-FA [dB]:	<b>111,0</b>		
LEVEL-tA [dB]:	<b>24,0</b>			LEVEL-EA [dB]:	<b>96,0</b>		
<i>Cesta 08 - HEAD - A_H_01</i>							
LEVEL-ZD [dB]:	<b>21,6</b>	LEVEL-Zf [dB]:	<b>4,8</b>	LEVEL-Zt [dB]:	<b>0,0</b>		
<b>Pozorovatel - Pozice 2</b>							
LEVEL-KIB [dB]:	<b>70,0</b>	LEVEL-KfB [dB]:	<b>97,4</b>	LEVEL-KtB [dB]:	<b>94,0</b>		
$\Delta$ LIB-01 [dB]:	<b>-19,6</b>	$\Delta$ LFB-01 [dB]:	<b>18,4</b>	$\Delta$ LEB-01 [dB]:	<b>2,0</b>		

Zdroj A_H_02							
LEVEL-PAekv [dB]:	<b>90,0</b>	LEVEL-QA [dB]:	<b>11,0</b>	LEVEL-IAekv [dB]:	<b>79,0</b>		
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru							
LEVEL-fA [dB]:	<b>39,0</b>			LEVEL-FA [dB]:	<b>118,0</b>		
LEVEL-tA [dB]:	<b>24,0</b>			LEVEL-EA [dB]:	<b>103,0</b>		
<i>Cesta 08 - HEAD - A_H_02</i>							
LEVEL-ZD [dB]:	<b>8,3</b>	LEVEL-Zf [dB]:	<b>4,8</b>	LEVEL-Zt [dB]:	<b>0,0</b>		
<b>Pozorovatel - Pozice 2</b>							
LEVEL-KIB [dB]:	<b>70,0</b>	LEVEL-KfB [dB]:	<b>97,4</b>	LEVEL-KtB [dB]:	<b>94,0</b>		
$\Delta$ LIB-02 [dB]:	<b>0,7</b>	$\Delta$ LFB-02 [dB]:	<b>25,4</b>	$\Delta$ LEB-02 [dB]:	<b>9,0</b>		



Zdroj A_H_06					
LEVEL-PAekv [dB]:	89,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	78,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	117,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	102,0
Cesta 08 - HEAD - A_H_06					
LEVEL-ZD [dB]:	11,8	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-06 [dB]:	-3,8	ΔLFB-06 [dB]:	24,4	ΔLEB-06 [dB]:	8,0

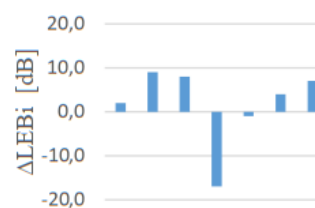
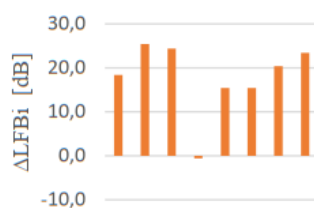
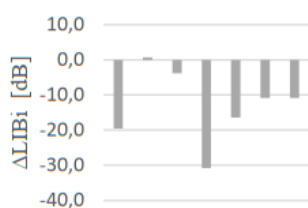
Zdroj A_H_07					
LEVEL-PAekv [dB]:	64,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	53,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	92,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	77,0
Cesta 08 - HEAD - A_H_07					
LEVEL-ZD [dB]:	13,8	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-07 [dB]:	-30,8	ΔLFB-07 [dB]:	-0,6	ΔLEB-07 [dB]:	-17,0

Zdroj A_H_08					
LEVEL-PAekv [dB]:	80,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	69,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	108,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	93,0
Cesta 08 - HEAD - A_H_08					
LEVEL-ZD [dB]:	15,4	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-08 [dB]:	-16,4	ΔLFB-08 [dB]:	15,4	ΔLEB-08 [dB]:	-1,0

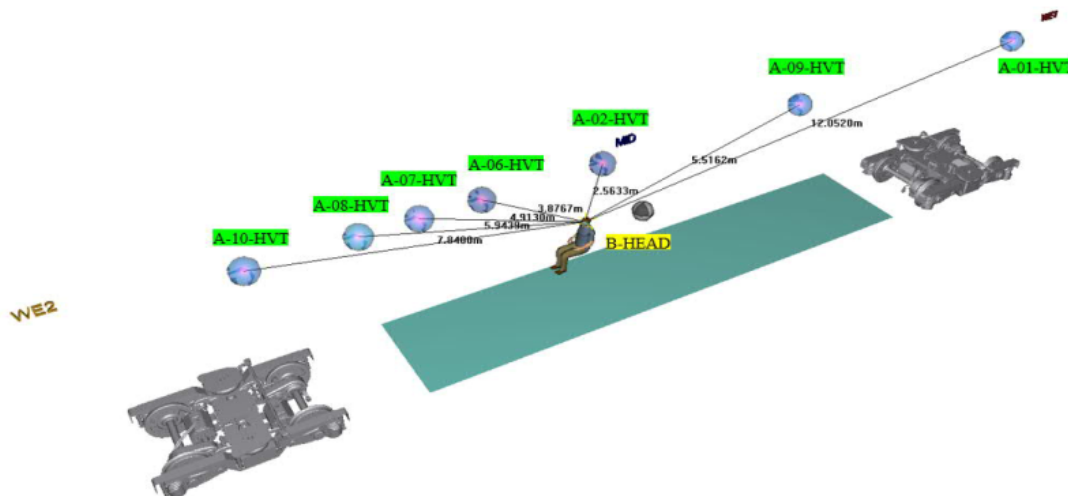
Zdroj A_H_09					
LEVEL-PAekv [dB]:	85,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	74,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	113,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	98,0
Cesta 08 - HEAD - A_H_09					
LEVEL-ZD [dB]:	14,8	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-09 [dB]:	-10,8	ΔLFB-09 [dB]:	20,4	ΔLEB-09 [dB]:	4,0



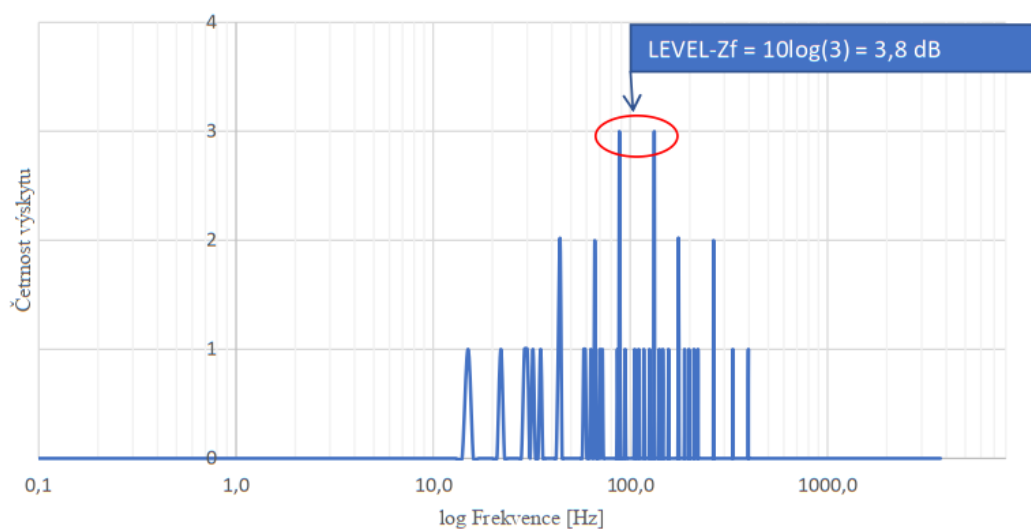
Zdroj A_H_10					
LEVEL-PAekv [dB]:	88,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	77,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	116,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	101,0
Cesta 08 - HEAD - A_H_10					
LEVEL-ZD [dB]:	17,8	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-10 [dB]:	-10,8	$\Delta$ LFB-10 [dB]:	23,4	$\Delta$ LEB-10 [dB]:	7,0



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2

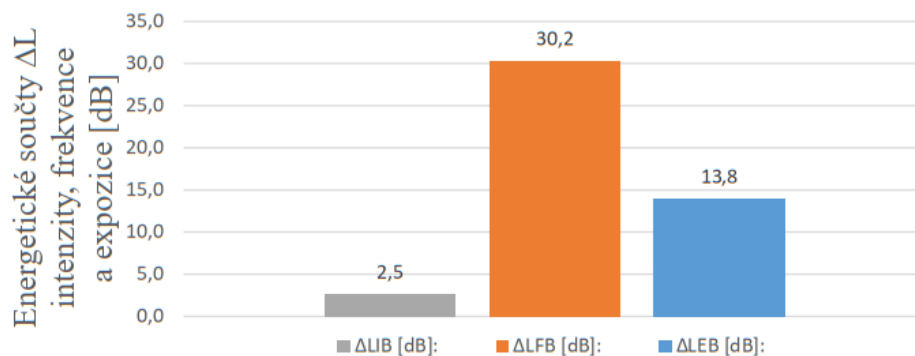


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 2



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

$\Delta L_{IB}$  [dB]: 2,5       $\Delta L_{FB}$  [dB]: 30,2       $\Delta L_{EB}$  [dB]: 13,8



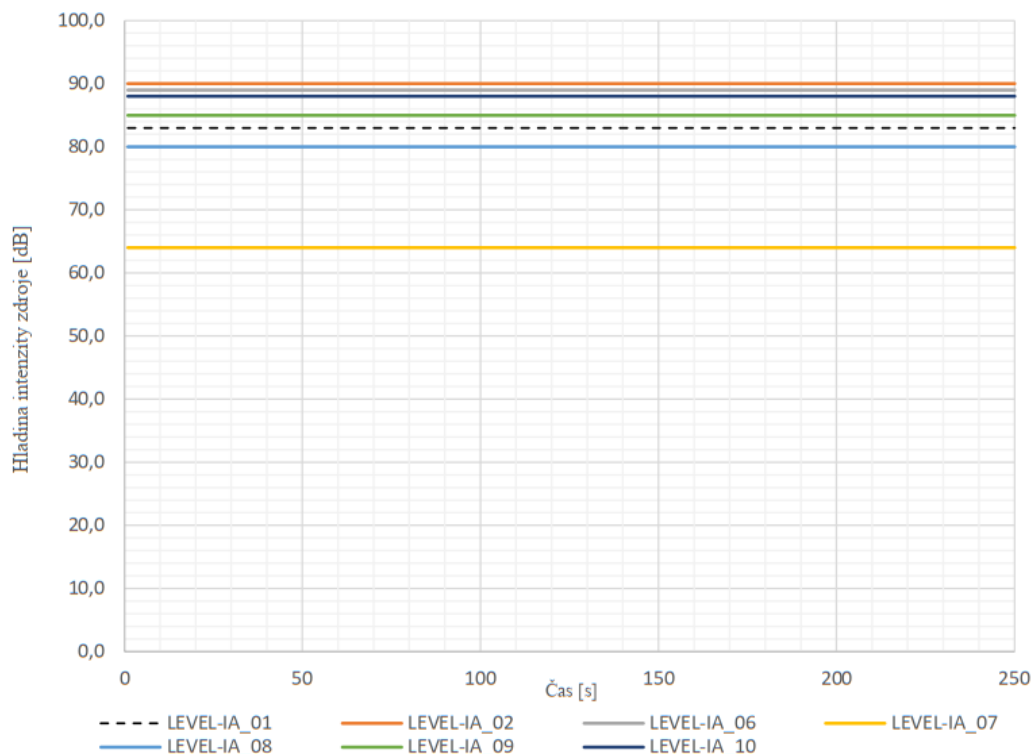


**Zdroj - Trakční komponenty - Pozice 3**

Prostorový úhel  $Q$  [sr]: **12,6**      Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000**      Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_01,02,06,07,08,09,10

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Zdroj A_H_01		
LEVEL-PAekv [dB]:	83,0	LEVEL-QA [dB]: 11,0
LEVEL-PAekv [dB]:	83,0	LEVEL-IAekv [dB]: 72,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru		
LEVEL-fA [dB]:	39,0	LEVEL-fA [dB]: 111,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	LEVEL-EA [dB]: 96,0
Cesta 09 - HEAD - A_H_01		
LEVEL-ZD [dB]:	23,9	LEVEL-Zf [dB]: 3,0
LEVEL-ZD [dB]:	23,9	LEVEL-Zt [dB]: 0,0
Pozorovatel - Pozice 3		
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]: 97,4
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KtB [dB]: 94,0
$\Delta$ L <sub>IB</sub> -01 [dB]:	-21,9	$\Delta$ L <sub>FB</sub> -01 [dB]: 16,6
$\Delta$ L <sub>IB</sub> -01 [dB]:	-21,9	$\Delta$ L <sub>EB</sub> -01 [dB]: 2,0

Zdroj A_H_02		
LEVEL-PAekv [dB]:	90,0	LEVEL-QA [dB]: 11,0
LEVEL-PAekv [dB]:	90,0	LEVEL-IAekv [dB]: 79,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru		
LEVEL-fA [dB]:	39,0	LEVEL-fA [dB]: 118,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	LEVEL-EA [dB]: 103,0
Cesta 09 - HEAD - A_H_02		
LEVEL-ZD [dB]:	12,3	LEVEL-Zf [dB]: 3,0
LEVEL-ZD [dB]:	12,3	LEVEL-Zt [dB]: 0,0
Pozorovatel - Pozice 3		
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]: 97,4
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KtB [dB]: 94,0
$\Delta$ L <sub>IB</sub> -02 [dB]:	-3,3	$\Delta$ L <sub>FB</sub> -02 [dB]: 23,6
$\Delta$ L <sub>IB</sub> -02 [dB]:	-3,3	$\Delta$ L <sub>EB</sub> -02 [dB]: 9,0



Zdroj A_H_06					
LEVEL-PAekv [dB]:	89,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	78,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	117,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	102,0
<i>Cesta 09 - HEAD - A_H_06</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	7,2	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-06 [dB]:	0,8	ΔLFB-06 [dB]:	22,6	ΔLEB-06 [dB]:	8,0

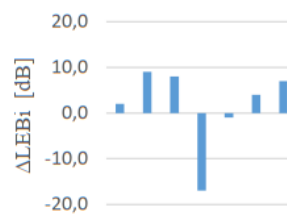
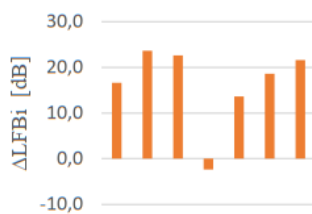
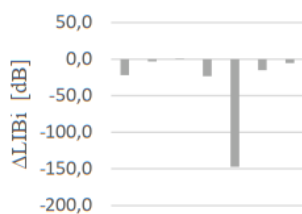
Zdroj A_H_07					
LEVEL-PAekv [dB]:	64,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	53,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	92,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	77,0
<i>Cesta 09 - HEAD - A_H_07</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	6,4	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-07 [dB]:	-23,4	ΔLFB-07 [dB]:	-2,4	ΔLEB-07 [dB]:	-17,0

Zdroj A_H_08					
LEVEL-PAekv [dB]:	80,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	69,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	108,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	93,0
<i>Cesta 09 - HEAD - A_H_08</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	8,3	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-08 [dB]:	-147,3	ΔLFB-08 [dB]:	13,6	ΔLEB-08 [dB]:	-1,0

Zdroj A_H_09					
LEVEL-PAekv [dB]:	85,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	74,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	113,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	98,0
<i>Cesta 09 - HEAD - A_H_09</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	19,0	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-09 [dB]:	-15,0	ΔLFB-09 [dB]:	18,6	ΔLEB-09 [dB]:	4,0

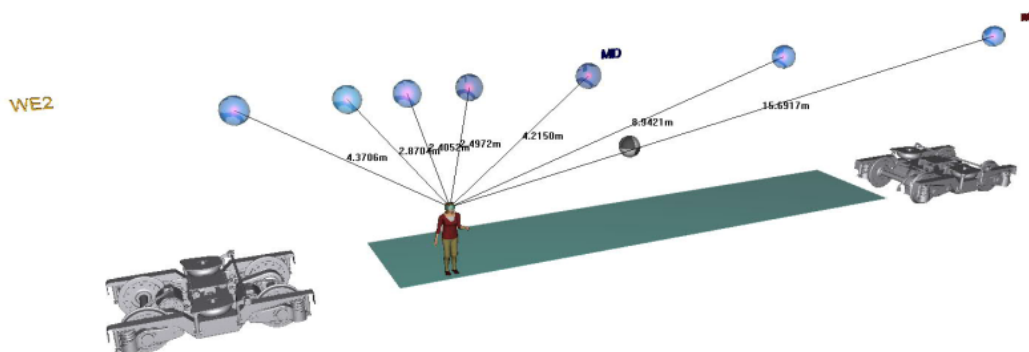


Zdroj A_H_10					
LEVEL-PAekv [dB]:	88,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	77,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0			LEVEL-FA [dB]:	116,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	101,0
Cesta 09 - HEAD - A_H_10					
LEVEL-ZD [dB]:	12,5	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-10 [dB]:	-5,5	$\Delta$ LFB-10 [dB]:	21,6	$\Delta$ LEB-10 [dB]:	7,0

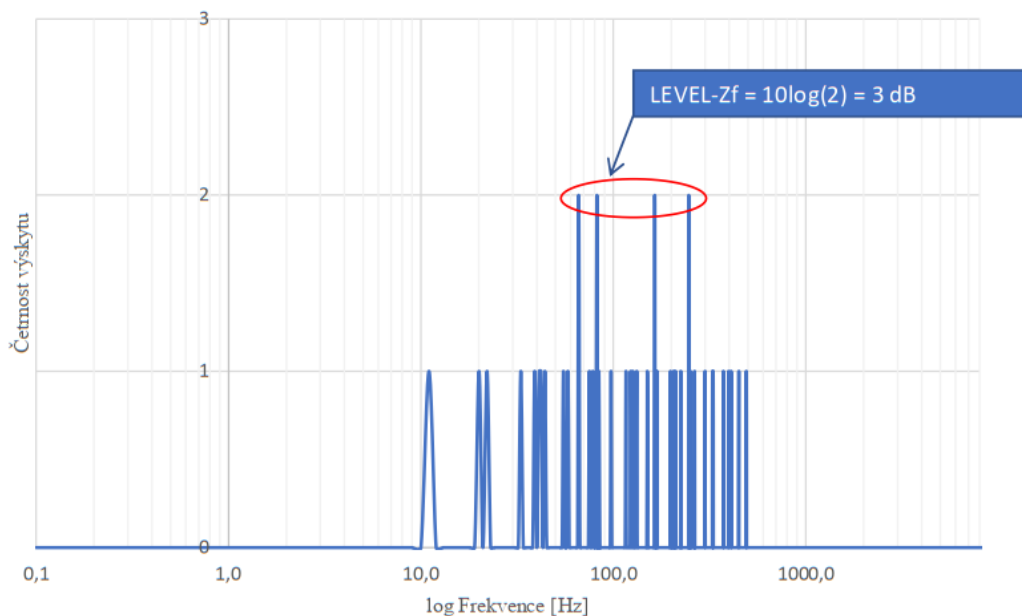




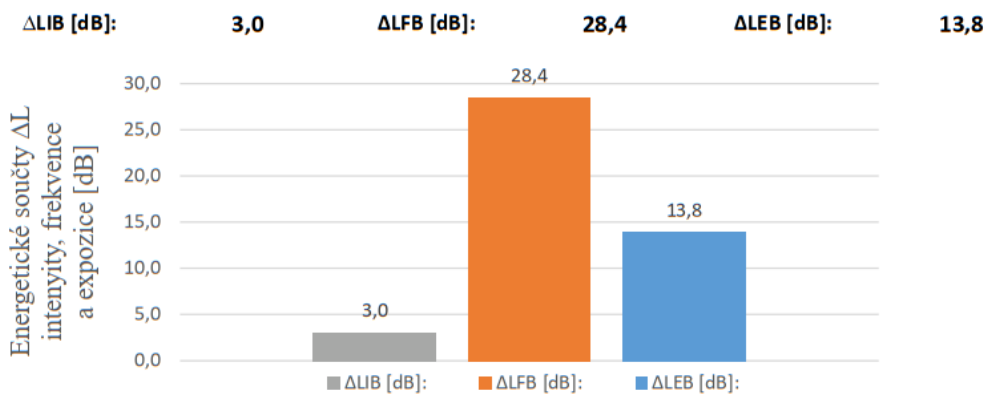
Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 3

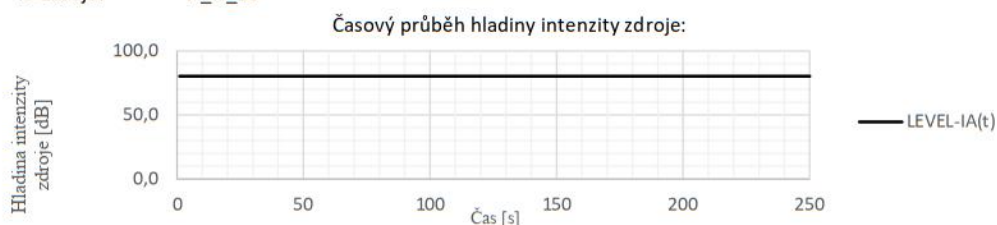


Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3



## 7.22.4. CESTY AERODYNAMICKÉHO HLUKU

Zdroj - Aerodynamický hluk - Pozice 1, 2, 3			
Prostorový úhel Q [sr]:	12,6	Frekvenční rozsah $\Delta f$ [Hz]:	8000
ID zdroje:	A_H_10	Časový rozsah $\Delta t$ [s]:	250



LEVEL-PAekv [dB]:	91,4	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	80,4
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známa - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	LEVEL-FA [dB]:	130,4		
LEVEL-tA [dB]:	24,0	LEVEL-EA [dB]:	115,4		

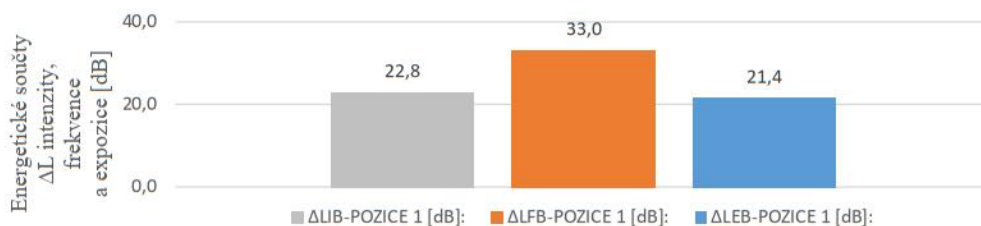
Cesta 10 - HEAD - POZICE 1 - A_H_10			
LEVEL-ZD [dB]:	-1,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0
		LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
		LEVEL-KtB [dB]:	94,0

Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ L <sub>IB</sub> -POZICE 1 [dB]:	22,8	$\Delta$ L <sub>FB</sub> -POZICE 1 [dB]:	33,0	$\Delta$ L <sub>EB</sub> -POZICE 1 [dB]:	21,4
--	------	--	------	--	------



Cesta 10 - HEAD - POZICE 2 - A_H_10			
LEVEL-ZD [dB]:	-8,2	LEVEL-Zf [dB]:	0,0
		LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
		LEVEL-KtB [dB]:	94,0

Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

$\Delta$ LIB-POZICE 2 [dB]: 29,6     $\Delta$ LFB-POZICE 2 [dB]: 33,0     $\Delta$ LEB-POZICE 2 [dB]: 21,4



*Cesta 10 - HEAD - POZICE 3 - A\_H\_10*

LEVEL-ZD [dB]: -6,0    LEVEL-Zf [dB]: 0,0    LEVEL-Zt [dB]: 0,0

Pozorovatel - Pozice 3

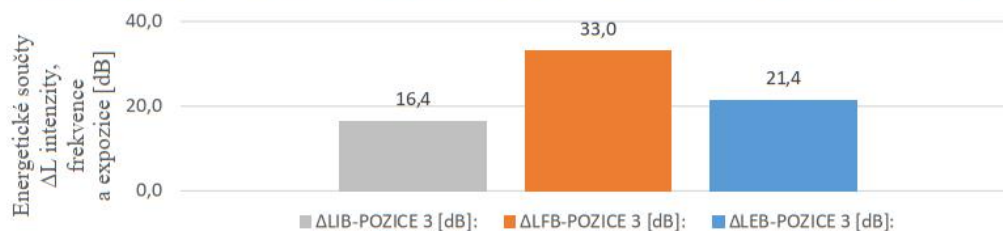
LEVEL-KIB [dB]: 70,0    LEVEL-KfB [dB]: 97,4    LEVEL-KtB [dB]: 94,0

Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3

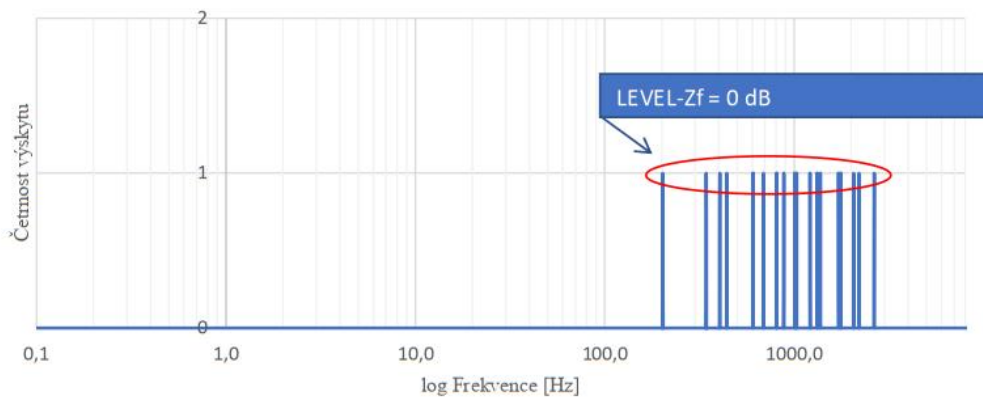


Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3

$\Delta$ LIB-POZICE 3 [dB]: 16,4     $\Delta$ LFB-POZICE 3 [dB]: 33,0     $\Delta$ LEB-POZICE 3 [dB]: 21,4



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1, 2, 3

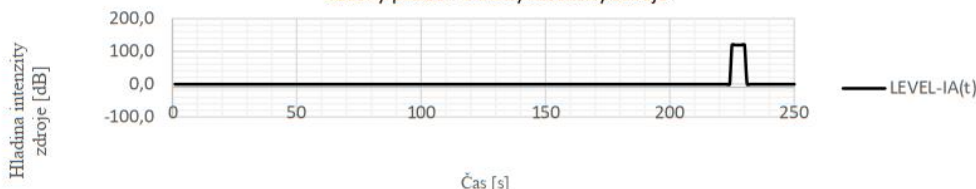


## 7.22.5. CESTY HOUKAČKY

### Zdroj - Houkačka - Pozice 1, 2, 3

Prostorový úhel Q [sr]: **12,6** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **1** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **5**

ID zdroje: A\_H\_11 Pozn.: Vysoký tón 660 Hz, Nízký tón 370 Hz podle TSI Loc&Pas  
Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



LEVEL-PAekv [dB]: **120,0** LEVEL-QA [dB]: **11,0** LEVEL-IAekv [dB]: **109,0**

Diskrétní tónové spektrum intenzity zdroje 660 Hz  $\pm$  30 Hz, 370 Hz  $\pm$  40 Hz)

LEVEL-fA [dB]: **0,0** LEVEL-FA [dB]: **120,0**

LEVEL-tA [dB]: **7,0** LEVEL-EA [dB]: **127,0**

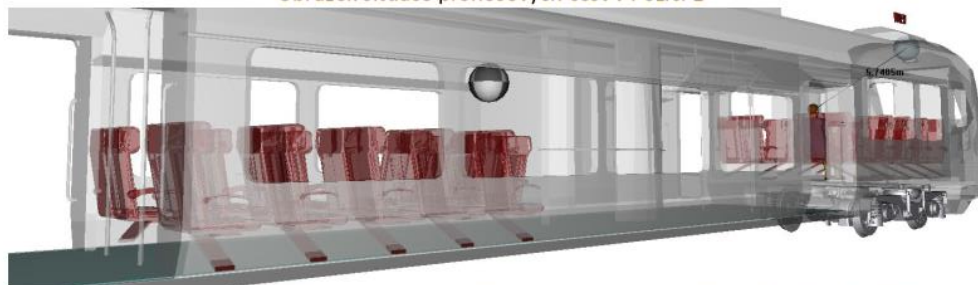
### Cesta 11 - HEAD - POZICE 1 - A\_H\_11

LEVEL-ZD [dB]: **15,1** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

### Pozorovatel - Pozice 1

LEVEL-KIB [dB]: **70,0** LEVEL-KfB [dB]: **58,4** LEVEL-KtB [dB]: **77,0**

Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ LIB-POZICE 1 [dB]: **23,9**  $\Delta$ LFB-POZICE 1 [dB]: **64,6**  $\Delta$ LEB-POZICE 1 [dB]: **50,0**



### Cesta 11 - HEAD - POZICE 2 - A\_H\_11

LEVEL-ZD [dB]: **22,5** LEVEL-Zf [dB]: **3,0** LEVEL-Zt [dB]: **0,0**

### Pozorovatel - Pozice 2

LEVEL-KIB [dB]: **70,0** LEVEL-KfB [dB]: **58,4** LEVEL-KtB [dB]: **77,0**

Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

$\Delta$ LIB-POZICE 2 [dB]: 16,5     $\Delta$ LFB-POZICE 2 [dB]: 64,6     $\Delta$ LEB-POZICE 2 [dB]: 50,0



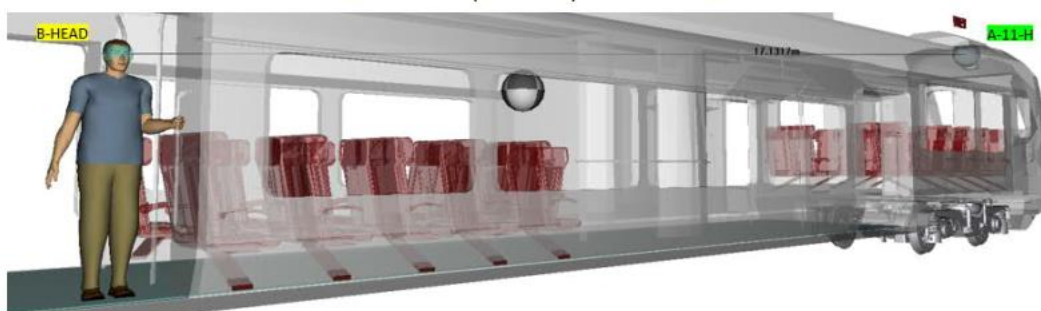
*Cesta 11 - HEAD - POZICE 3 - A\_H\_11*

LEVEL-ZD [dB]: 24,7    LEVEL-Zf [dB]: 3,0    LEVEL-Zt [dB]: 0,0

Pozorovatel - Pozice 3

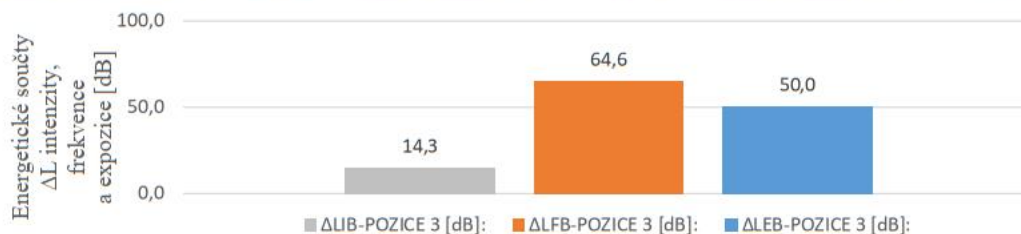
LEVEL-KIB [dB]: 70,0    LEVEL-KfB [dB]: 58,4    LEVEL-KtB [dB]: 77,0

Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3

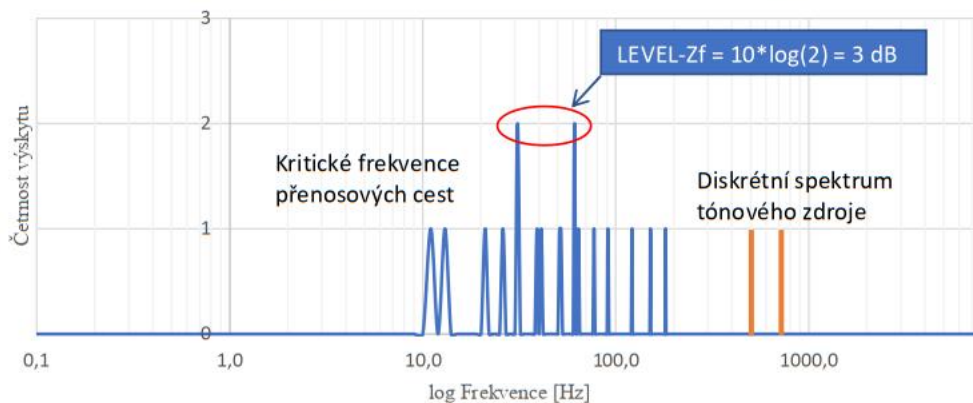


Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3

$\Delta$ LIB-POZICE 3 [dB]: 14,3     $\Delta$ LFB-POZICE 3 [dB]: 64,6     $\Delta$ LEB-POZICE 3 [dB]: 50,0



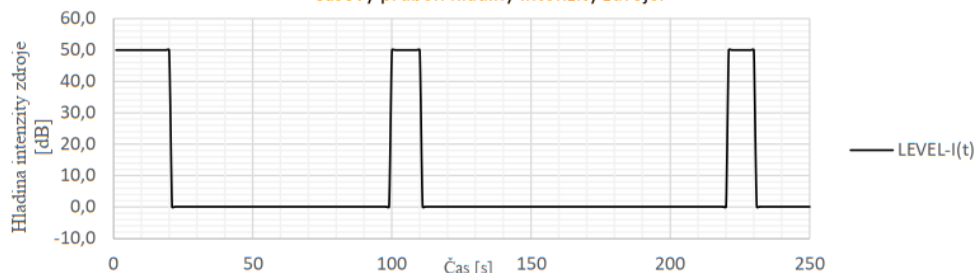
Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1, 2, 3





## 7.22.6. CESTY REPRODUKTORŮ

Zdroj - Zvuk od reproduktorů - Pozice 1			
Prostorový úhel Q [sr]:	6,3	Frekvenční rozsah $\Delta f$ [Hz]:	8000
		Časový rozsah $\Delta t$ [s]:	40
ID zdroje:	A_H_12		
	Pozn.: Platí pro všechny 4 pozice reproduktorů stejně		
	Časový průběh hladiny intenzity zdroje:		

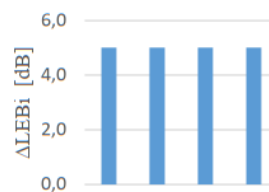
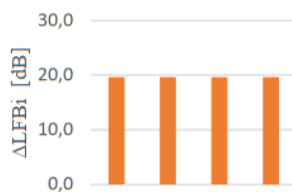


Zdroj A_H_12			
LEVEL-PAekv [dB]:	83,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0
		LEVEL-IAekv [dB]:	75,0
Pozn.: Úroveň známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru			
LEVEL-fA [dB]:	39,0	LEVEL-FA [dB]:	114,0
LEVEL-tA [dB]:	16,0	LEVEL-EA [dB]:	91,0
<i>Cesta 12-01 - HEAD - A_H_12</i>			
LEVEL-ZD [dB]:	21,6	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
		LEVEL-Zt [dB]:	0,0
<b>Pozorovatel - Pozice 1</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
		LEVEL-KtB [dB]:	86,0
$\Delta LIB-01$ [dB]:	-16,6	$\Delta LFB-01$ [dB]:	19,6
		$\Delta LEB-01$ [dB]:	5,0

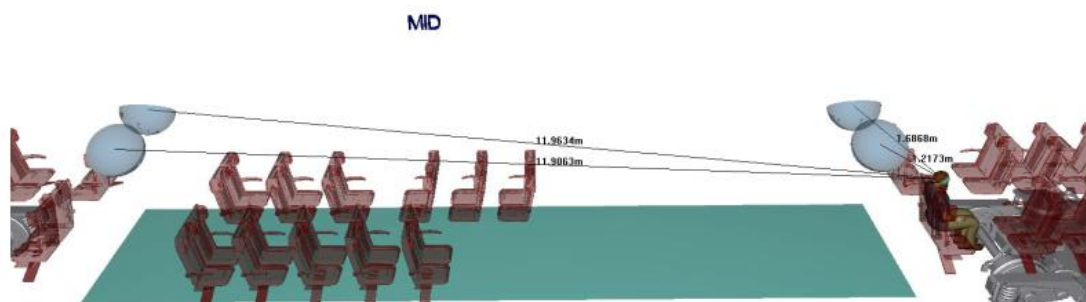
<i>Cesta 12-02 - HEAD - A_H_12</i>			
LEVEL-ZD [dB]:	21,5	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
		LEVEL-Zt [dB]:	0,0
<b>Pozorovatel - Pozice 1</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
		LEVEL-KtB [dB]:	86,0
$\Delta LIB-02$ [dB]:	-16,5	$\Delta LFB-02$ [dB]:	19,6
		$\Delta LEB-02$ [dB]:	5,0

<i>Cesta 12-03 - HEAD - A_H_12</i>			
LEVEL-ZD [dB]:	4,6	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
		LEVEL-Zt [dB]:	0,0
<b>Pozorovatel - Pozice 1</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
		LEVEL-KtB [dB]:	86,0
$\Delta LIB-03$ [dB]:	0,4	$\Delta LFB-03$ [dB]:	19,6
		$\Delta LEB-03$ [dB]:	5,0

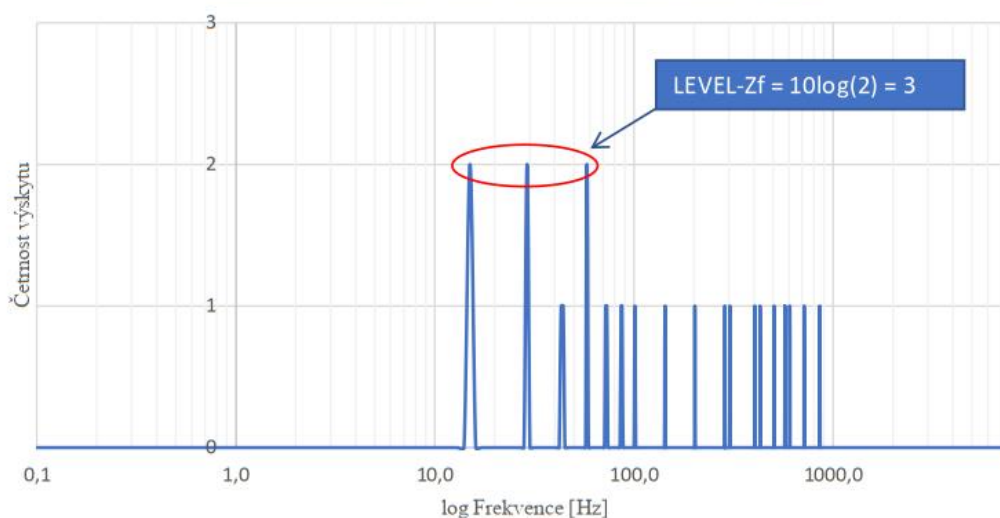
<i>Cesta 12-04 - HEAD - A_H_12</i>			
LEVEL-ZD [dB]:	1,6	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
		LEVEL-Zt [dB]:	0,0
<b>Pozorovatel - Pozice 1</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
		LEVEL-KtB [dB]:	86,0
$\Delta LIB-07$ [dB]:	3,4	$\Delta LFB-07$ [dB]:	19,6
		$\Delta LEB-07$ [dB]:	5,0



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1

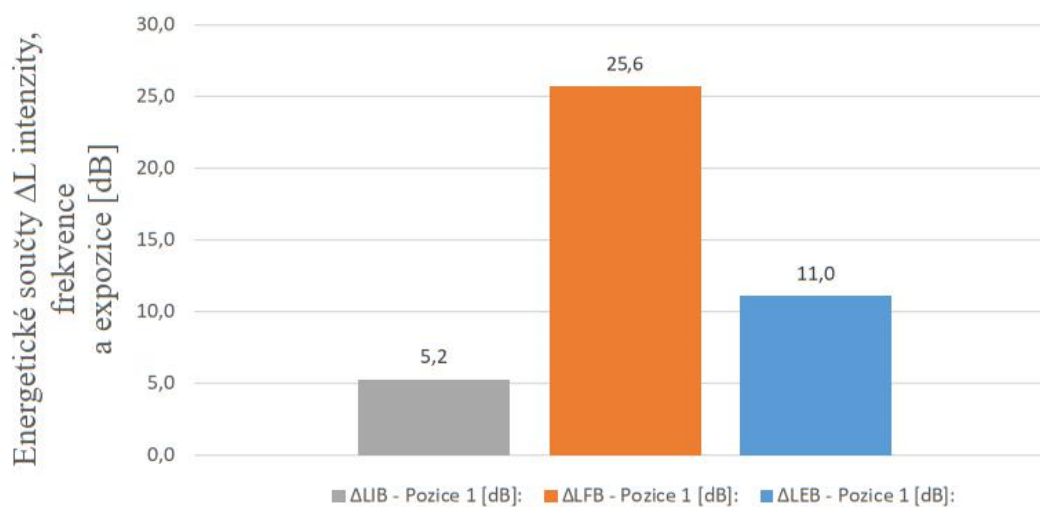


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta L_{IB}$  - Pozice 1 [dB]: **5,2**      $\Delta L_{FB}$  - Pozice 1 [dB]: **25,6**      $\Delta L_{EB}$  - Pozice 1 [dB]: **11,0**





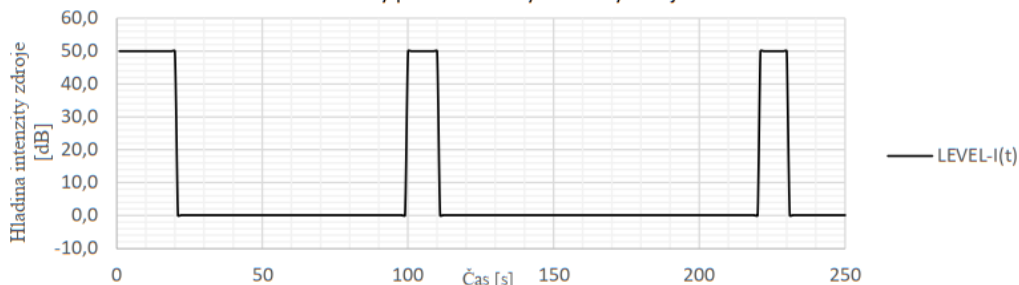
**Zdroj - Zvuk od reproduktorů - Pozice 2**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3**      Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000**      Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **40**

ID zdroje: **A\_H\_12**

Pozn.: Platí pro všechny 4 pozice reproduktorů stejně

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:

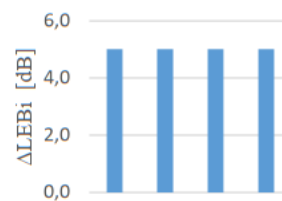
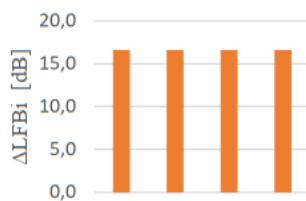
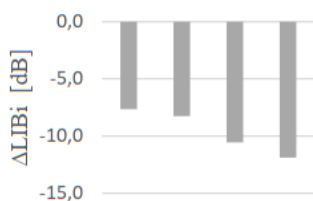


Zdroj A_H_12			
LEVEL-PAekv [dB]:	83,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0
LEVEL-IAekv [dB]:	75,0	Příslušná hodnota není známa - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru	
LEVEL-fA [dB]:	39,0	LEVEL-FA [dB]:	114,0
LEVEL-tA [dB]:	16,0	LEVEL-EA [dB]:	91,0
<i>Cesta 12-05 - HEAD - A_H_12</i>			
LEVEL-ZD [dB]:	12,7	LEVEL-Zf [dB]:	0,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
<b>Pozorovatel - Pozice 2</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta LIB-05$ [dB]:	-7,7	$\Delta LFB-05$ [dB]:	16,6
$\Delta LEB-05$ [dB]:	5,0		

Cesta 12-06 - HEAD - A_H_12			
LEVEL-ZD [dB]:	13,3	LEVEL-Zf [dB]:	0,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
<b>Pozorovatel - Pozice 2</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta LIB-06$ [dB]:	-8,2	$\Delta LFB-06$ [dB]:	16,6
$\Delta LEB-06$ [dB]:	5,0		

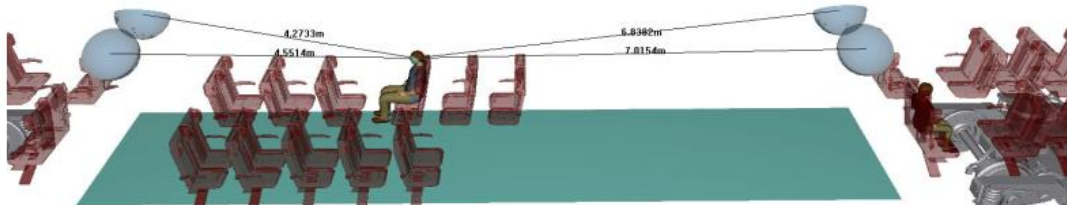
Cesta 12-07 - HEAD - A_H_12			
LEVEL-ZD [dB]:	15,6	LEVEL-Zf [dB]:	0,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
<b>Pozorovatel - Pozice 2</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta LIB-07$ [dB]:	-10,6	$\Delta LFB-07$ [dB]:	16,6
$\Delta LEB-07$ [dB]:	5,0		

Cesta 12-08 - HEAD - A_H_12			
LEVEL-ZD [dB]:	16,9	LEVEL-Zf [dB]:	0,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
<b>Pozorovatel - Pozice 2</b>			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta LIB-08$ [dB]:	-11,9	$\Delta LFB-08$ [dB]:	16,6
$\Delta LEB-08$ [dB]:	5,0		

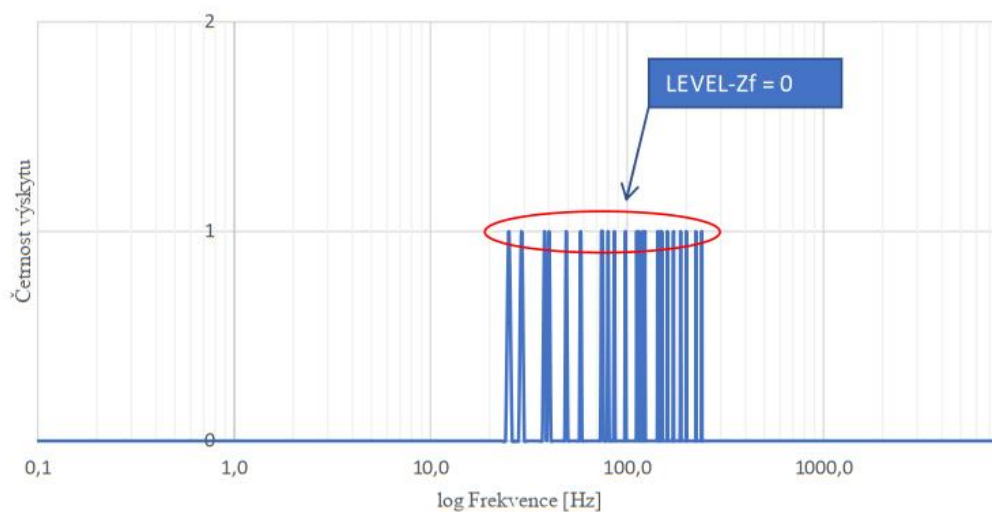




Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2  
MID

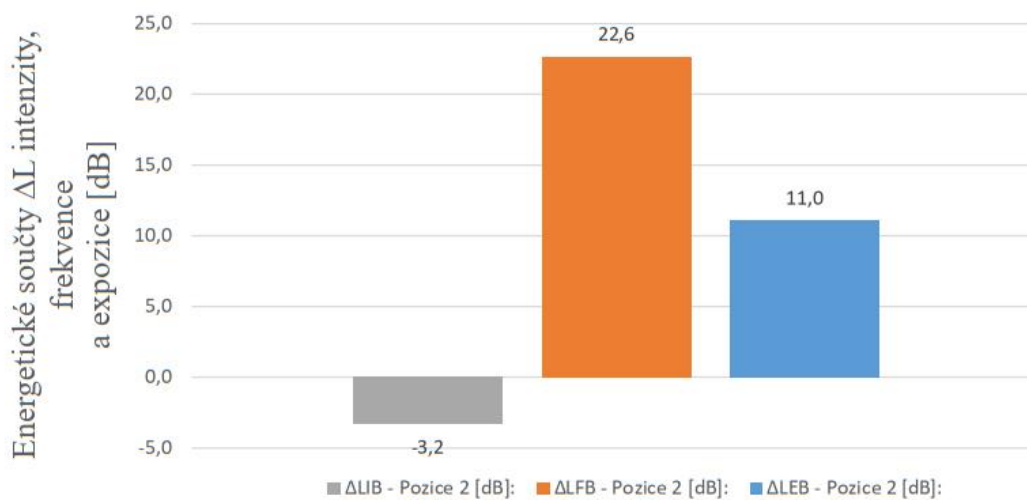


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 2



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

$\Delta$ L<sub>IB</sub> - Pozice 2 [dB]: -3,2     $\Delta$ L<sub>FB</sub> - Pozice 2 [dB]: 22,6     $\Delta$ L<sub>EB</sub> - Pozice 2 [dB]: 11,0





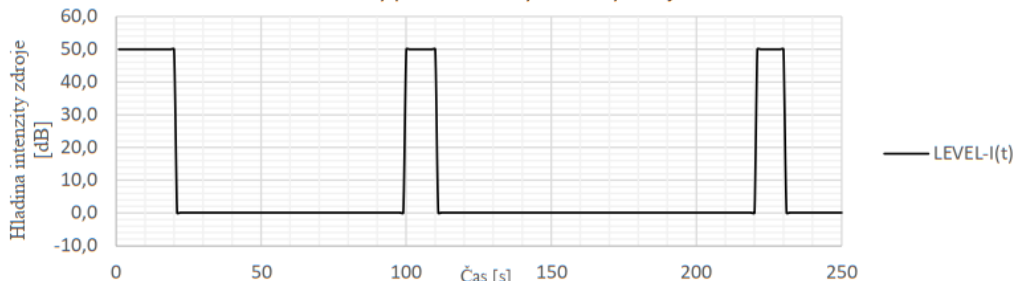
**Zdroj - Zvuk od reproduktorů - Pozice 3**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3**      Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000**      Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **40**

ID zdroje: A\_H\_12

Pozn.: Platí pro všechny 4 pozice reproduktorů stejně

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:

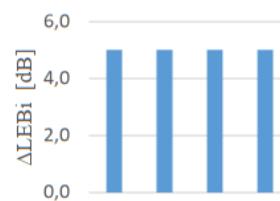
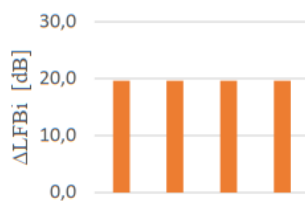


Zdroj A_H_12			
LEVEL-PAekv [dB]:	83,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0
LEVEL-IAekv [dB]:	75,0	Pozn.: není známa - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru	
LEVEL-fA [dB]:	39,0	LEVEL-FA [dB]:	114,0
LEVEL-tA [dB]:	16,0	LEVEL-EA [dB]:	91,0
Cesta 12-09 - HEAD - A_H_12			
LEVEL-ZD [dB]:	4,1	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
Pozorovatel - Pozice 3			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta$ LIB-09 [dB]:	0,9	$\Delta$ LFB-09 [dB]:	19,6
$\Delta$ LEB-09 [dB]:	5,0		

Cesta 12-10 - HEAD - A_H_12			
LEVEL-ZD [dB]:	-1,9	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
Pozorovatel - Pozice 3			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta$ LIB-10 [dB]:	6,9	$\Delta$ LFB-10 [dB]:	19,6
$\Delta$ LEB-10 [dB]:	5,0		

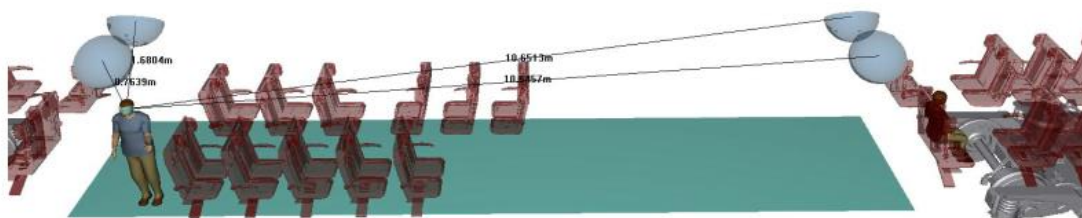
Cesta 12-11 - HEAD - A_H_12			
LEVEL-ZD [dB]:	20,6	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
Pozorovatel - Pozice 3			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta$ LIB-11 [dB]:	-15,6	$\Delta$ LFB-11 [dB]:	19,6
$\Delta$ LEB-11 [dB]:	5,0		

Cesta 12-12 - HEAD - A_H_12			
LEVEL-ZD [dB]:	20,5	LEVEL-Zf [dB]:	3,0
LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
Pozorovatel - Pozice 3			
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4
LEVEL-KtB [dB]:	86,0		
$\Delta$ LIB-12 [dB]:	-15,5	$\Delta$ LFB-12 [dB]:	19,6
$\Delta$ LEB-12 [dB]:	5,0		

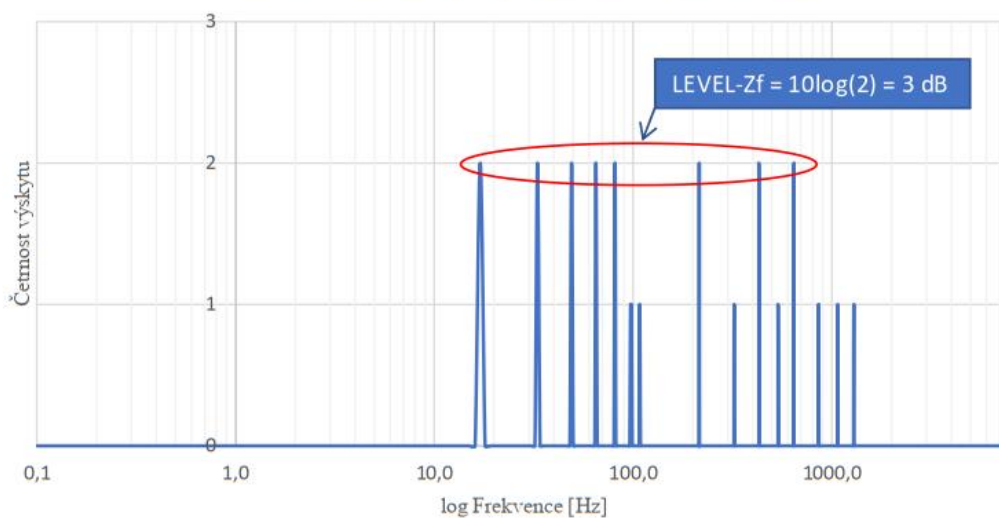


Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3

MID

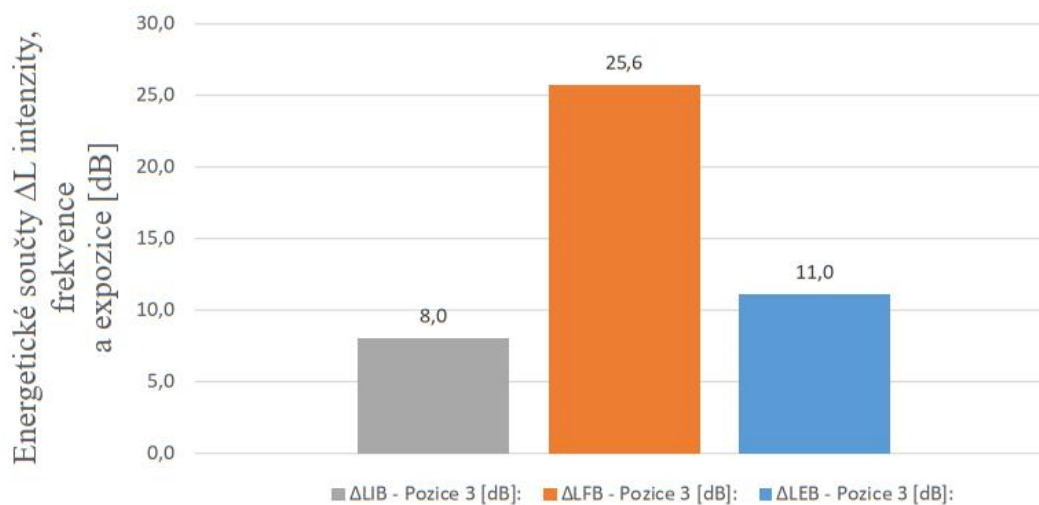


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 3



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3

**$\Delta$ LIB - Pozice 3 [dB]: 8,0     $\Delta$ LFB - Pozice 3 [dB]: 25,6     $\Delta$ LEB - Pozice 3 [dB]: 11,0**





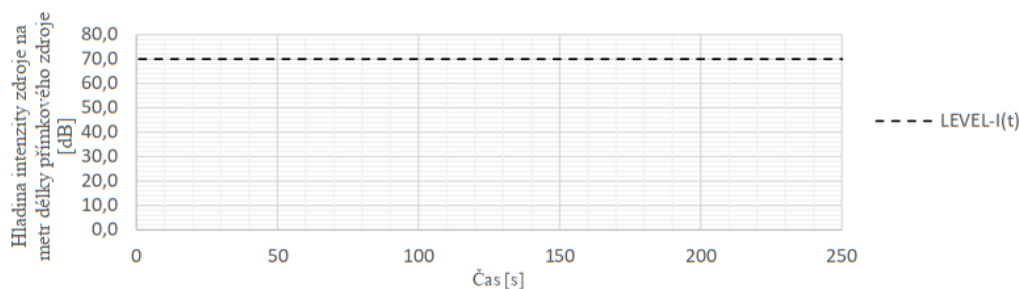
## 7.22.7. CESTY HLUKU STROPNÍCH VÝÚSTEK KLIMATIZACE

### Zdroj - Hluk stropních výústek klimatizace - Pozice 1

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_03-01,02,03,04,05,06,07

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Zdroj A_H_03-01					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	2,0	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 13 - HEAD - A_H_03-01					
LEVEL-ZD [dB]:	19,6	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-13-01 [dB]:	-19,6	$\Delta$ LFB-13-01 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-13-01 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-02					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	2,3	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 13 - HEAD - A_H_03-02					
LEVEL-ZD [dB]:	20,4	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-13-02 [dB]:	-20,4	$\Delta$ LFB-13-02 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-13-02 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-03					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>9,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	6,5	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 13 - HEAD - A_H_03-03					
LEVEL-ZD [dB]:	28,9	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-13-03 [dB]:	-28,9	$\Delta$ LFB-13-03 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-13-03 [dB]:	0,0



Zdroj A_H_03-04					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	1,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	3,0	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 13 - HEAD - A_H_03-04					
LEVEL-ZD [dB]:	20,7	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-13-04 [dB]:	-20,7	$\Delta$ LFB-13-04 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-13-04 [dB]:	0,0

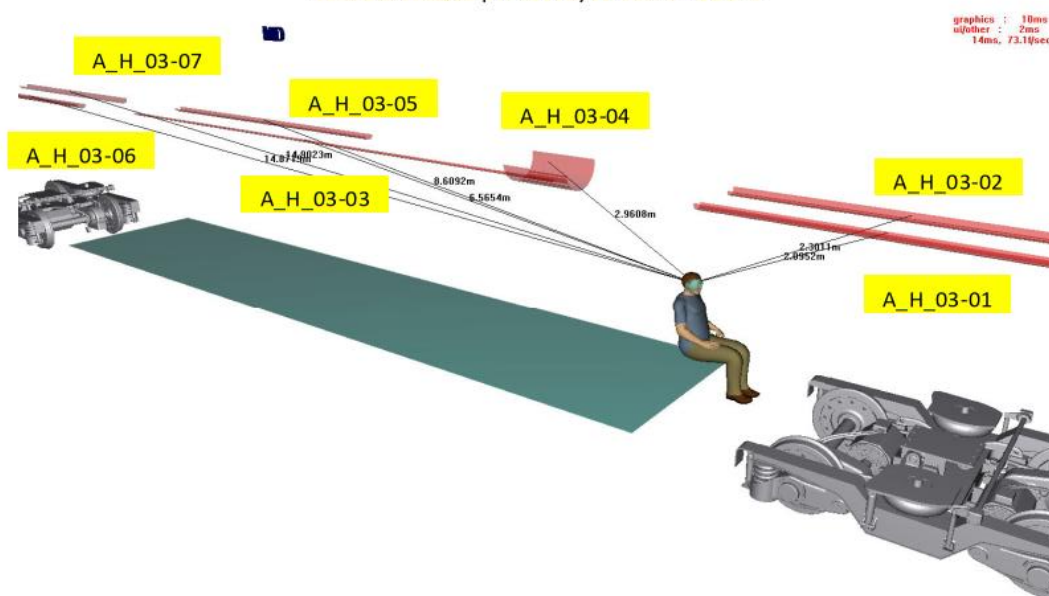
Zdroj A_H_03-05					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	5,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	8,6	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 13 - HEAD - A_H_03-05					
LEVEL-ZD [dB]:	30,1	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-13-05 [dB]:	-170,1	$\Delta$ LFB-13-05 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-13-05 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-06					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	14,9	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 13 - HEAD - A_H_03-06					
LEVEL-ZD [dB]:	34,6	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-13-06 [dB]:	-34,6	$\Delta$ LFB-13-06 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-13-06 [dB]:	0,0

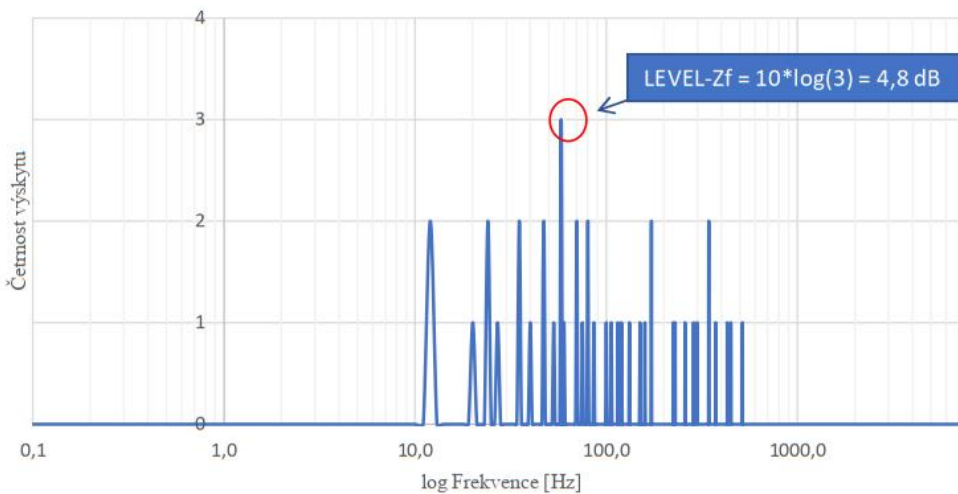
Zdroj A_H_03-07					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	14,9	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 13 - HEAD - A_H_03-07					
LEVEL-ZD [dB]:	34,6	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-13-07 [dB]:	-34,6	$\Delta$ LFB-13-07 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-13-07 [dB]:	0,0



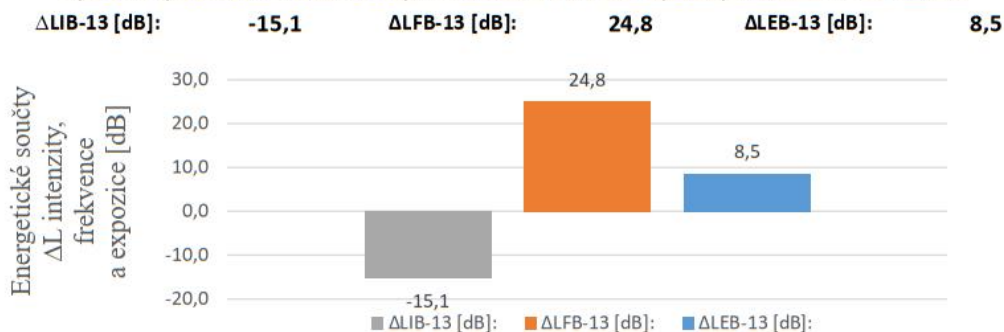
Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1



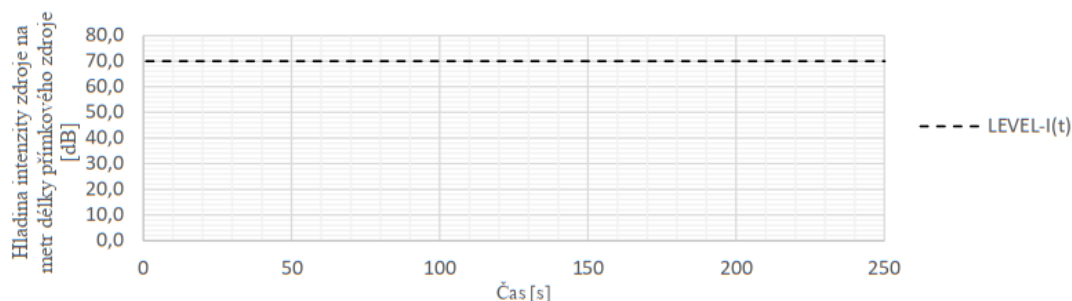


**Zdroj - Hluk stropních výústek klimatizace - Pozice 2**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_03-01,02,03,04,05,06,07

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Zdroj A_H_03-01					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	9,9	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 14 - HEAD - A_H_03-01					
LEVEL-ZD [dB]:	31,1	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-14-01 [dB]:	-31,1	$\Delta$ LFB-14-01 [dB]:	14,6	$\Delta$ LEB-14-01 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-02					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	9,8	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 14 - HEAD - A_H_03-02					
LEVEL-ZD [dB]:	31,0	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-14-02 [dB]:	-31,0	$\Delta$ LFB-14-02 [dB]:	14,6	$\Delta$ LEB-14-02 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-03					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>9,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	2,3	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 14 - HEAD - A_H_03-03					
LEVEL-ZD [dB]:	22,9	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-14-03 [dB]:	-22,9	$\Delta$ LFB-14-03 [dB]:	14,6	$\Delta$ LEB-14-03 [dB]:	0,0



Zdroj A_H_03-04					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	1,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	5,3	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 14 - HEAD - A_H_03-04					
LEVEL-ZD [dB]:	25,5	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-14-04 [dB]:	-25,5	ΔLFB-14-04 [dB]:	14,6	ΔLEB-14-04 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-05					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	5,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	1,6	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 14 - HEAD - A_H_03-05					
LEVEL-ZD [dB]:	19,0	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-14-05 [dB]:	-159,0	ΔLFB-14-05 [dB]:	14,6	ΔLEB-14-05 [dB]:	0,0

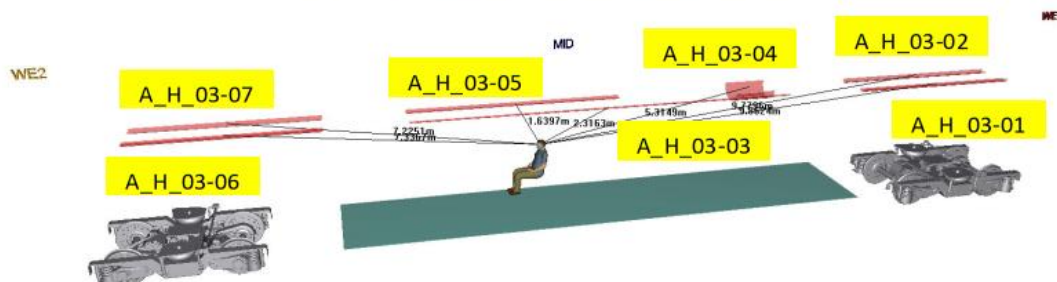
Zdroj A_H_03-06					
LEVEL-PAekv [dB]:	76,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	7,3	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 14 - HEAD - A_H_03-06					
LEVEL-ZD [dB]:	28,6	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-14-06 [dB]:	-28,6	ΔLFB-14-06 [dB]:	14,6	ΔLEB-14-06 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-07					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	7,2	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 14 - HEAD - A_H_03-07					
LEVEL-ZD [dB]:	28,5	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-14-07 [dB]:	-28,5	ΔLFB-14-07 [dB]:	14,6	ΔLEB-14-07 [dB]:	0,0

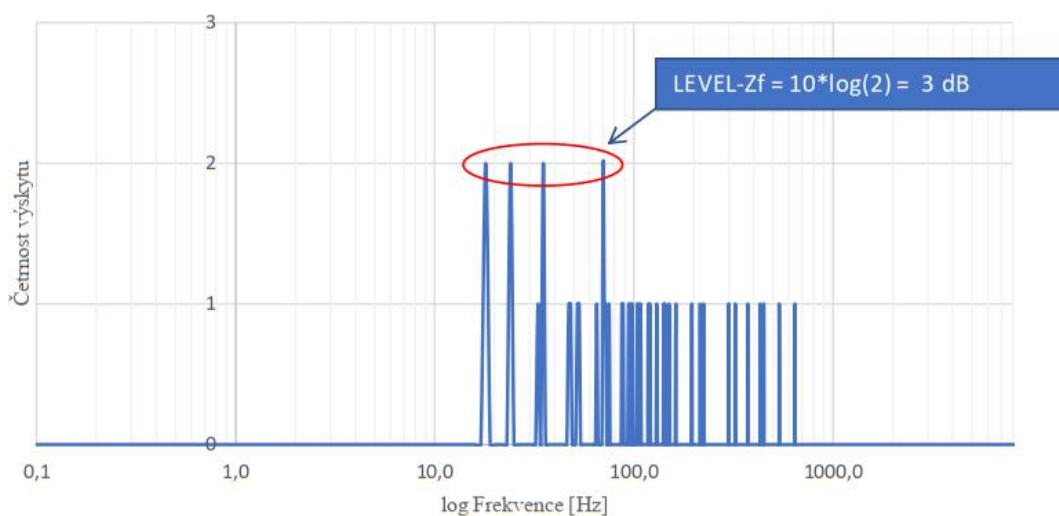




Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2

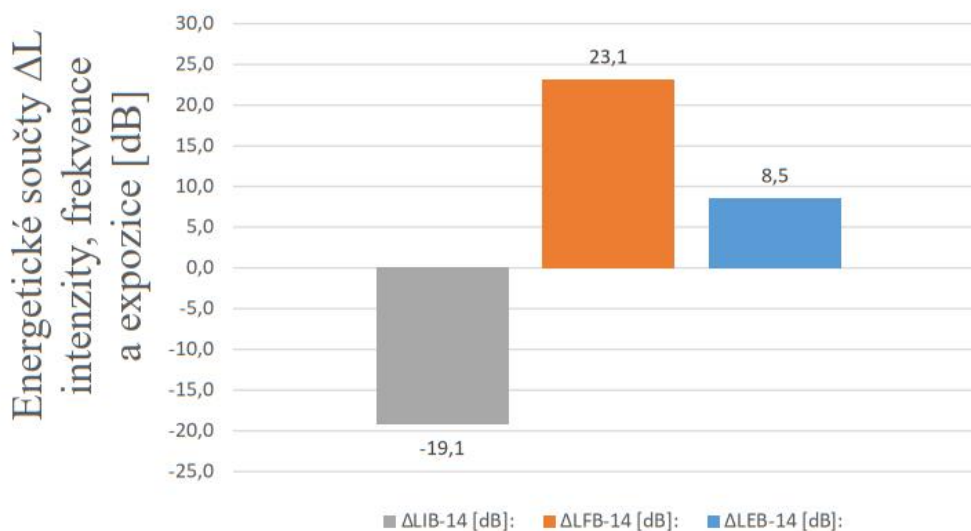


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 2



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

$\Delta LIB-14$  [dB]: **-19,1**       $\Delta LFB-14$  [dB]: **23,1**       $\Delta LEB-14$  [dB]: **8,5**



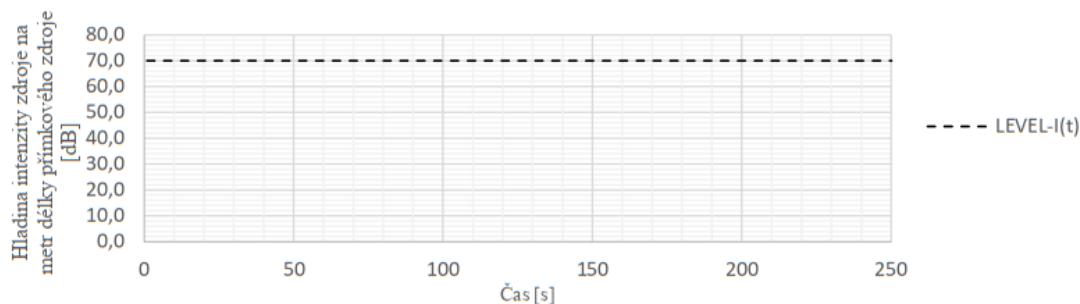


**Zdroj - Hluk stropních výústek klimatizace - Pozice 3**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_03-01,02,03,04,05,06,07

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Zdroj A_H_03-01					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	13,5	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 15 - HEAD - A_H_03-01					
LEVEL-ZD [dB]:	33,7	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta LIB-15-01$ [dB]:	-33,7	$\Delta LFB-15-01$ [dB]:	17,6	$\Delta LEB-15-01$ [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-02					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	13,6	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 15 - HEAD - A_H_03-02					
LEVEL-ZD [dB]:	33,8	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta LIB-15-02$ [dB]:	-33,8	$\Delta LFB-15-02$ [dB]:	17,6	$\Delta LEB-15-02$ [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-03					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>9,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	5,2	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 15 - HEAD - A_H_03-03					
LEVEL-ZD [dB]:	27,5	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta LIB-15-03$ [dB]:	-27,5	$\Delta LFB-15-03$ [dB]:	17,6	$\Delta LEB-15-03$ [dB]:	0,0



Zdroj A_H_03-04					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	1,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	9,0	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 15 - HEAD - A_H_03-04					
LEVEL-ZD [dB]:	30,1	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-15-04 [dB]:	-30,1	ΔLFB-15-04 [dB]:	17,6	ΔLEB-15-04 [dB]:	0,0

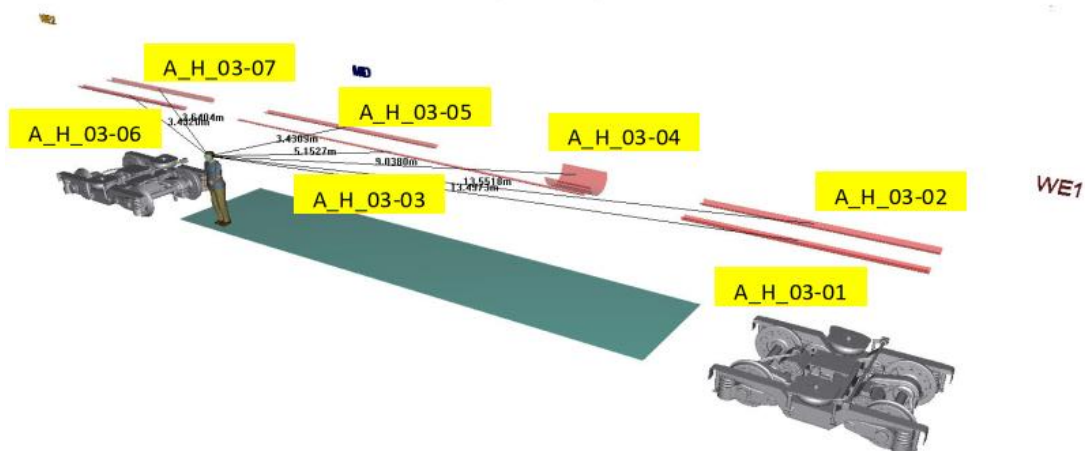
Zdroj A_H_03-05					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	5,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	3,4	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 15 - HEAD - A_H_03-05					
LEVEL-ZD [dB]:	23,4	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-15-05 [dB]:	-163,4	ΔLFB-15-05 [dB]:	17,6	ΔLEB-15-05 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_03-06					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	3,4	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 15 - HEAD - A_H_03-06					
LEVEL-ZD [dB]:	23,0	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-15-06 [dB]:	-23,0	ΔLFB-15-06 [dB]:	17,6	ΔLEB-15-06 [dB]:	0,0

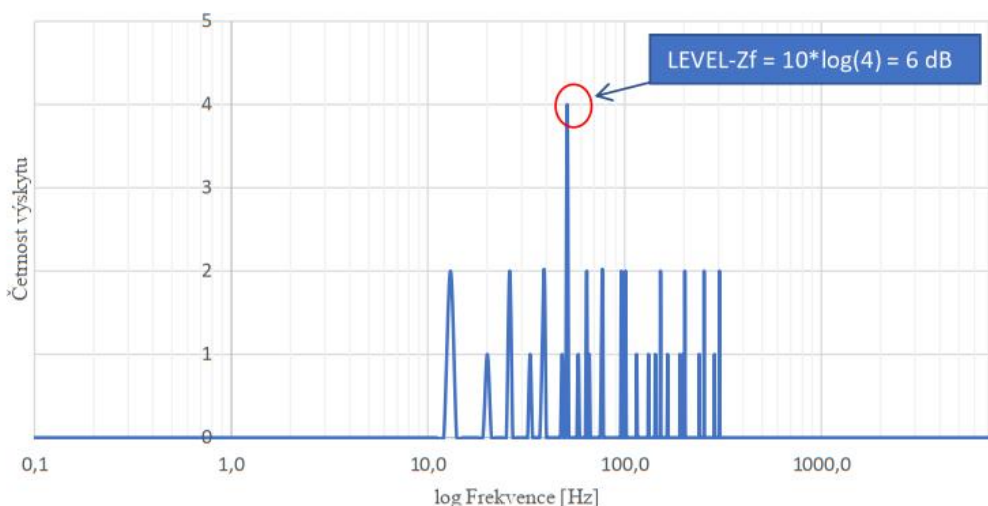
Zdroj A_H_03-07					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	3,6	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 15 - HEAD - A_H_03-07					
LEVEL-ZD [dB]:	23,3	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-15-07 [dB]:	-23,3	ΔLFB-15-07 [dB]:	17,6	ΔLEB-15-07 [dB]:	0,0



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 3



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3



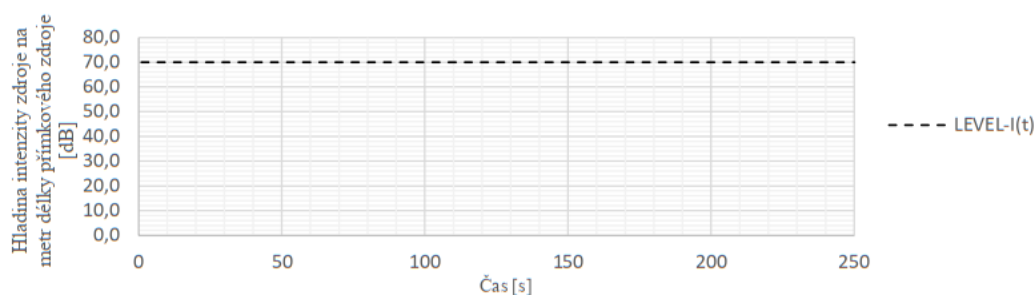
## 7.22.8. CESTY HLUKU PODLAHOVÝCH VÝÚSTEK KLIMATIZACE

### Zdroj - Hluk podlahových výústek klimatizace - Pozice 1

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_04-01,02,03,04,05,06,07

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Zdroj A_H_04-01					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	2,2	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 16 - HEAD - A_H_04-01					
LEVEL-ZD [dB]:	20,2	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-16-01 [dB]:	-20,2	$\Delta$ LFB-16-01 [dB]:	14,6	$\Delta$ LEB-16-01 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-02					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	2,8	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 16 - HEAD - A_H_04-02					
LEVEL-ZD [dB]:	21,7	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-16-02 [dB]:	-21,7	$\Delta$ LFB-16-02 [dB]:	14,6	$\Delta$ LEB-16-02 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-03					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>9,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	6,7	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 16 - HEAD - A_H_04-03					
LEVEL-ZD [dB]:	29,1	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-16-03 [dB]:	-29,1	$\Delta$ LFB-16-03 [dB]:	14,6	$\Delta$ LEB-16-03 [dB]:	0,0

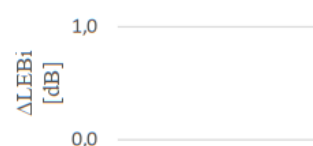


Zdroj A_H_04-04					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	1,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	3,6	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 16 - HEAD - A_H_04-04					
LEVEL-ZD [dB]:	22,2	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-16-04 [dB]:	-22,2	ΔLFB-16-04 [dB]:	14,6	ΔLEB-16-04 [dB]:	0,0

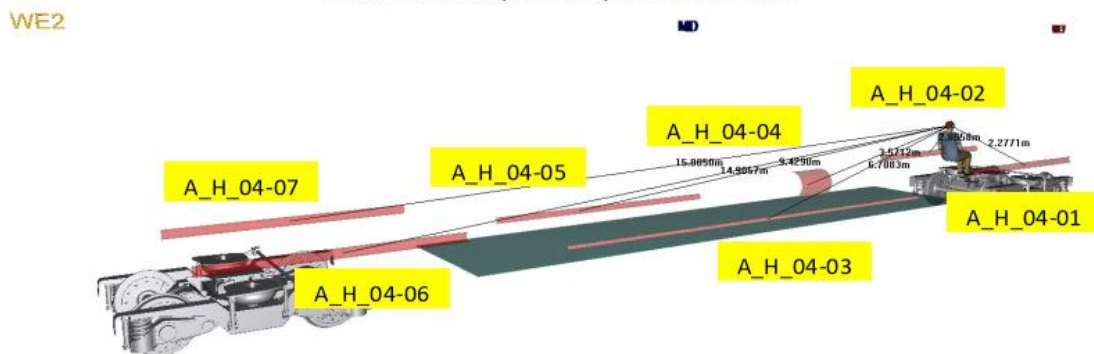
Zdroj A_H_04-05					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	5,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	9,4	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 16 - HEAD - A_H_04-05					
LEVEL-ZD [dB]:	30,8	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-16-05 [dB]:	-170,8	ΔLFB-16-05 [dB]:	14,6	ΔLEB-16-05 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-06					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	14,9	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 16 - HEAD - A_H_04-06					
LEVEL-ZD [dB]:	34,6	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-16-06 [dB]:	-34,6	ΔLFB-16-06 [dB]:	14,6	ΔLEB-16-06 [dB]:	0,0

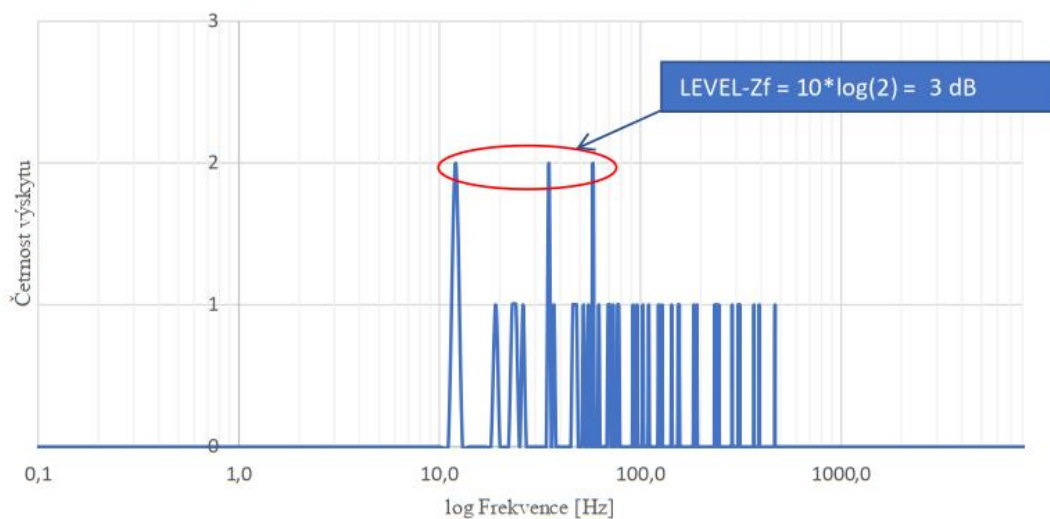
Zdroj A_H_04-07					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	15,0	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 16 - HEAD - A_H_04-07					
LEVEL-ZD [dB]:	34,6	LEVEL-Zf [dB]:	3,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 1					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-16-07 [dB]:	-34,6	ΔLFB-16-07 [dB]:	14,6	ΔLEB-16-07 [dB]:	0,0



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

**$\Delta$ LIB-16 [dB]: -16,1       $\Delta$ LFB-16 [dB]: 23,1       $\Delta$ LEB-16 [dB]: 8,5**



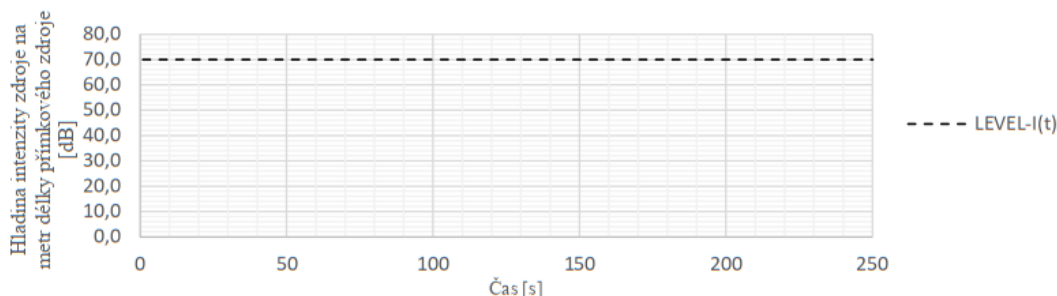


**Zdroj - Hluk podlahových výústek klimatizace - Pozice 2**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_04-01,02,03,04,05,06,07

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Zdroj A_H_04-01					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	10,0	LEVEL-EA [dB]:	94,0
<i>Cesta 17 - HEAD - A_H_04-01</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	31,2	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-17-01 [dB]:	-31,2	$\Delta$ LFB-17-01 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-17-01 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-02					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	9,7	LEVEL-EA [dB]:	94,0
<i>Cesta 17 - HEAD - A_H_04-02</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	31,0	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-17-02 [dB]:	-31,0	$\Delta$ LFB-17-02 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-17-02 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-03					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>9,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	2,8	LEVEL-EA [dB]:	94,0
<i>Cesta 17 - HEAD - A_H_04-03</i>					
LEVEL-ZD [dB]:	24,0	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-17-03 [dB]:	-24,0	$\Delta$ LFB-17-03 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-17-03 [dB]:	0,0





Zdroj A_H_04-04					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	1,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	5,0	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 17 - HEAD - A_H_04-04					
LEVEL-ZD [dB]:	25,0	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-17-04 [dB]:	-25,0	ΔLFB-17-04 [dB]:	16,4	ΔLEB-17-04 [dB]:	0,0

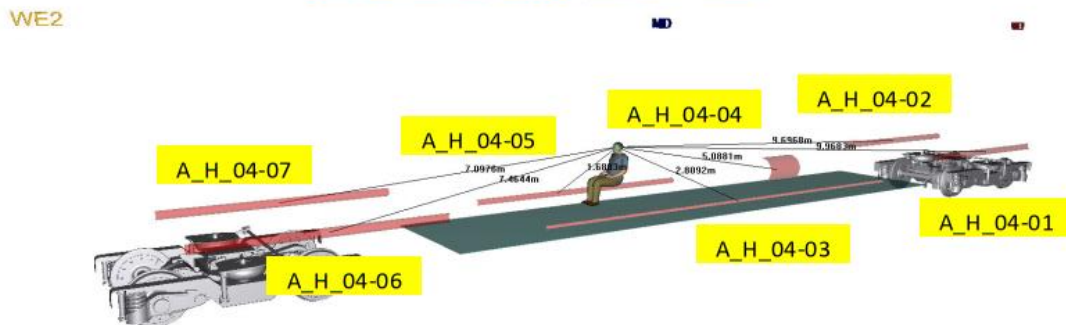
Zdroj A_H_04-05					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	5,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	1,7	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 17 - HEAD - A_H_04-05					
LEVEL-ZD [dB]:	19,3	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-17-05 [dB]:	-159,3	ΔLFB-17-05 [dB]:	16,4	ΔLEB-17-05 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-06					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	7,5	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 17 - HEAD - A_H_04-06					
LEVEL-ZD [dB]:	28,9	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-17-06 [dB]:	-28,9	ΔLFB-17-06 [dB]:	16,4	ΔLEB-17-06 [dB]:	0,0

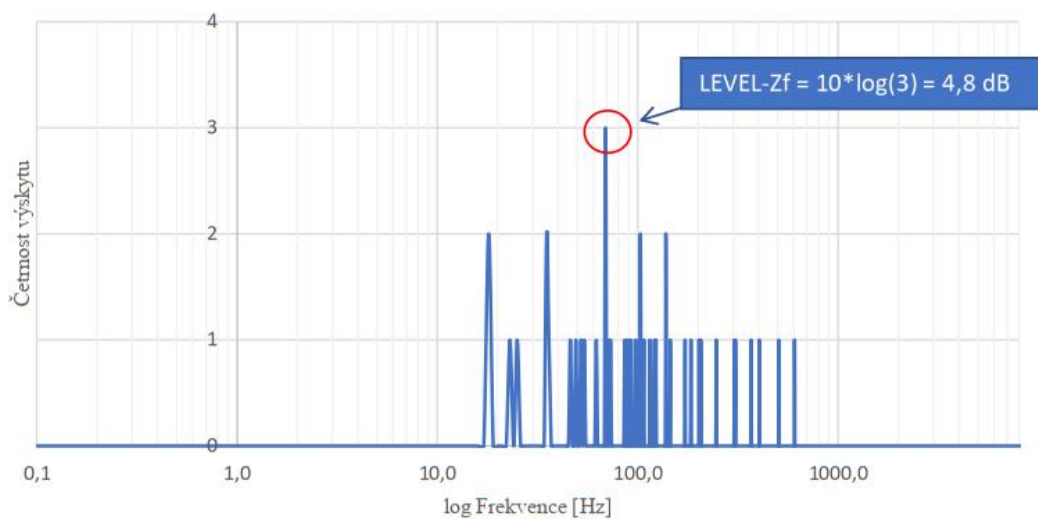
Zdroj A_H_04-07					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	7,1	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 17 - HEAD - A_H_04-07					
LEVEL-ZD [dB]:	28,4	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 2					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
ΔLIB-17-07 [dB]:	-28,4	ΔLFB-17-07 [dB]:	16,4	ΔLEB-17-07 [dB]:	0,0



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 2

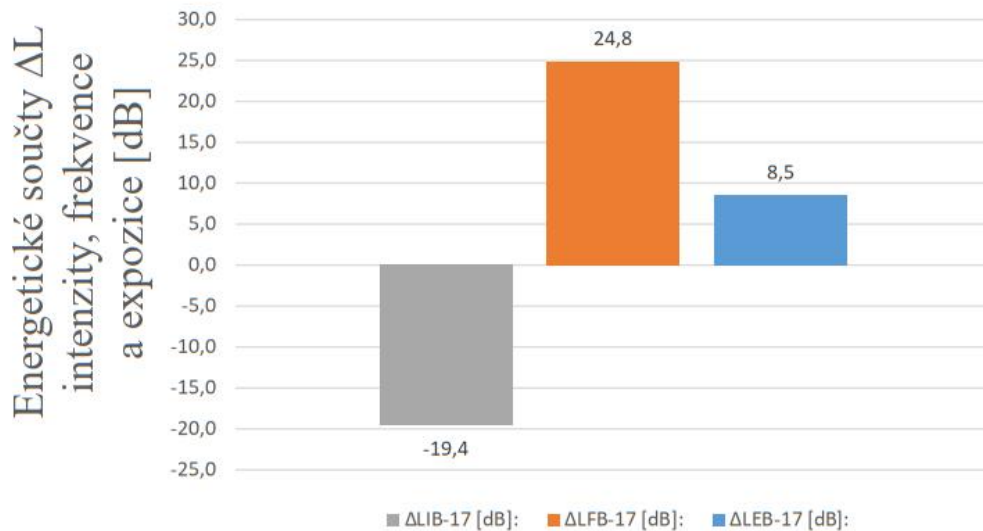


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 2



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

$\Delta\text{LIB-17 [dB]}: -19,4$       $\Delta\text{LFB-17 [dB]}: 24,8$       $\Delta\text{LEB-17 [dB]}: 8,5$



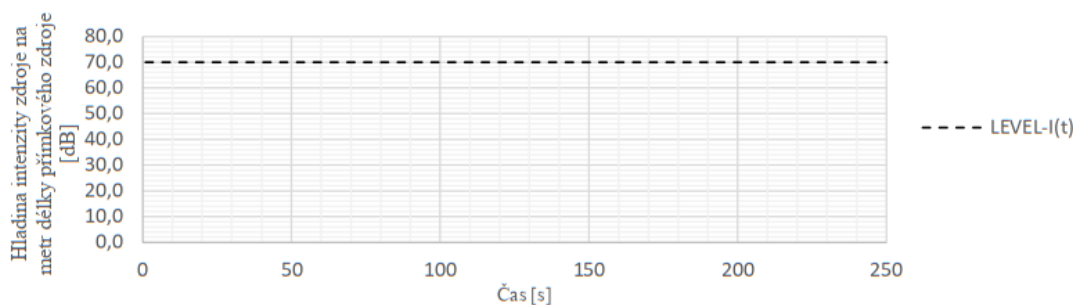


**Zdroj - Hluk podlahových vyústek klimatizace - Pozice 3**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [Hz]: **8000** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

ID zdroje: A\_H\_04-01,02,03,04,05,06,07

Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Zdroj A_H_04-01					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	13,5	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 18 - HEAD - A_H_04-01					
LEVEL-ZD [dB]:	33,7	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-18-01 [dB]:	-33,7	$\Delta$ LFB-18-01 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-18-01 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-02					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>4,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	13,7	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 18 - HEAD - A_H_04-02					
LEVEL-ZD [dB]:	33,8	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-18-02 [dB]:	-33,8	$\Delta$ LFB-18-02 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-18-02 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-03					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	<b>9,0</b>	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	5,3	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 18 - HEAD - A_H_04-03					
LEVEL-ZD [dB]:	27,6	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-KfB [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-18-03 [dB]:	-27,6	$\Delta$ LFB-18-03 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-18-03 [dB]:	0,0



Zdroj A_H_04-04					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	1,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	13,7	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 18 - HEAD - A_H_04-04					
LEVEL-ZD [dB]:	33,7	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-18-04 [dB]:	-33,7	$\Delta$ LFB-18-04 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-18-04 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-05					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	5,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	3,6	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 18 - HEAD - A_H_04-05					
LEVEL-ZD [dB]:	23,8	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-18-05 [dB]:	-163,8	$\Delta$ LFB-18-05 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-18-05 [dB]:	0,0

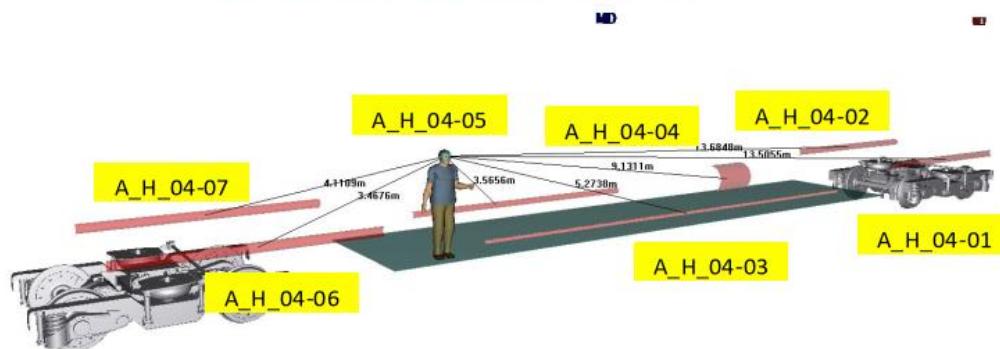
Zdroj A_H_04-06					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	3,5	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 18 - HEAD - A_H_04-06					
LEVEL-ZD [dB]:	23,1	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-18-06 [dB]:	-23,1	$\Delta$ LFB-18-06 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-18-06 [dB]:	0,0

Zdroj A_H_04-07					
LEVEL-PAekv [dB]:	79,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	70,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje není známá - uvažuje se plochá v celém slyšitelném spektru					
LEVEL-fA [dB]:	39,0	Délka zdroje [m]:	4,0	LEVEL-FA [dB]:	109,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0	Vzdálenost od zdr. [m]:	4,1	LEVEL-EA [dB]:	94,0
Cesta 18 - HEAD - A_H_04-07					
LEVEL-ZD [dB]:	24,3	LEVEL-Zf [dB]:	4,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
Pozorovatel - Pozice 3					
LEVEL-KIB [dB]:	70,0	LEVEL-Kfb [dB]:	97,4	LEVEL-KtB [dB]:	94,0
$\Delta$ LIB-18-07 [dB]:	-24,3	$\Delta$ LFB-18-07 [dB]:	16,4	$\Delta$ LEB-18-07 [dB]:	0,0

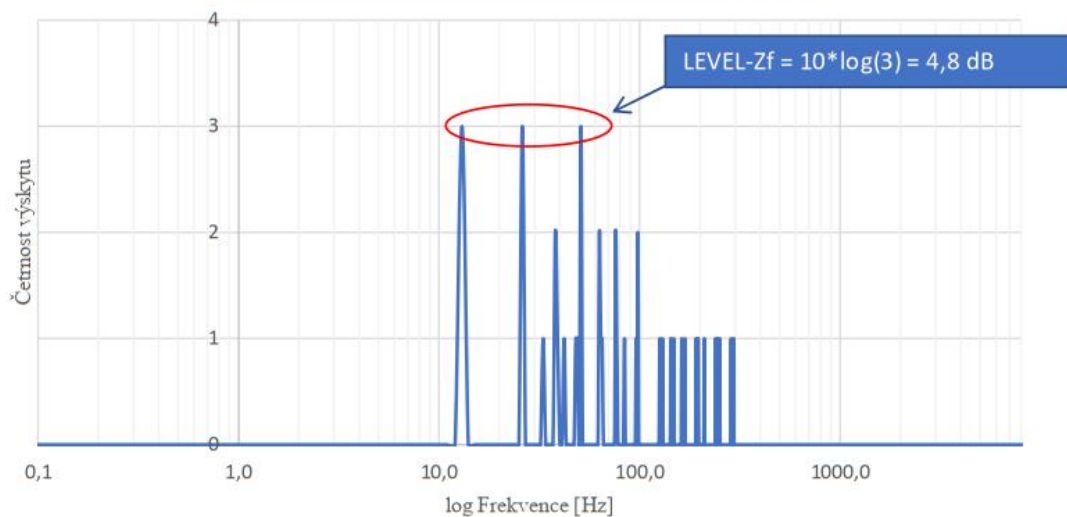


Obrázek situace přenosových cest v Pozici 3

WE2

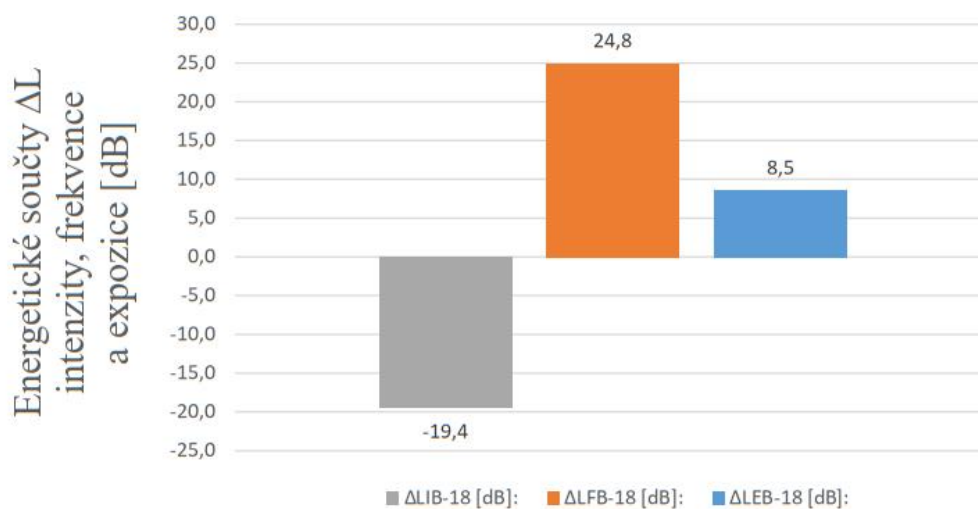


Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 3



Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3

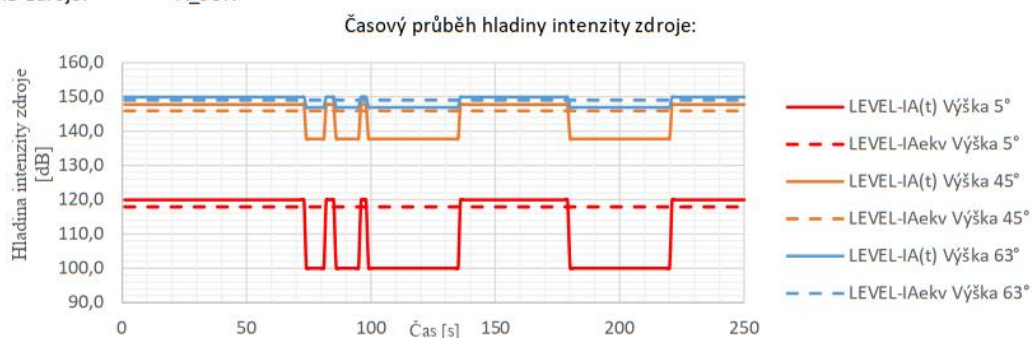
$\Delta$ LIB-18 [dB]: -19,4       $\Delta$ LFB-18 [dB]: 24,8       $\Delta$ LEB-18 [dB]: 8,5



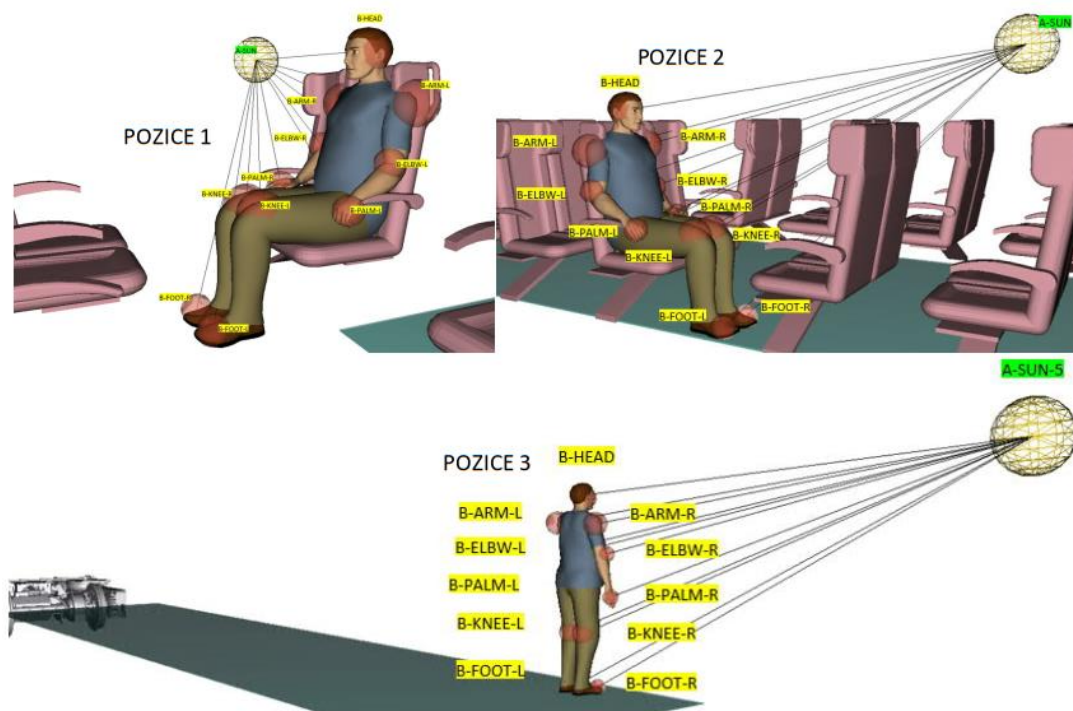
## 7.22.9. CESTY TEPELNÉ RADIACE SLUNCE

Pozn.: Výsledky cesty 19 odpovídají výsledkům cesty 20 a 21. Je publikována pouze cesta 19.

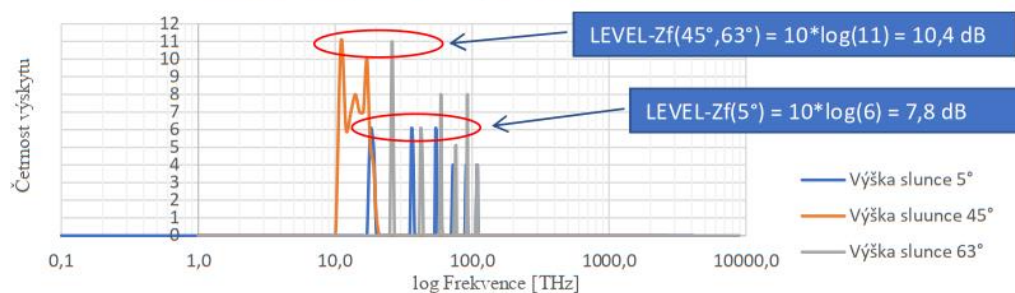
Zdroj - Tepelná radiace slunce - Pozice 1, 2, 3		
Prostorový úhel Q [sr]:	12,6	Frekvenční rozsah $\Delta f$ [THz]: 600
ID zdroje:	A_SUN	Časový rozsah $\Delta t$ [s]: 250



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1, 2, 3



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1, 2, 3





**Výška slunce na obzorem 5°**

LEVEL-PAekv [dB]: 128,9      LEVEL-QA [dB]: 11,0      LEVEL-IAekv [dB]: 117,9

Frekvenční charakteristika intenzity zdroje odpovídá spektru slunečního záření, tzv. rozbřesk

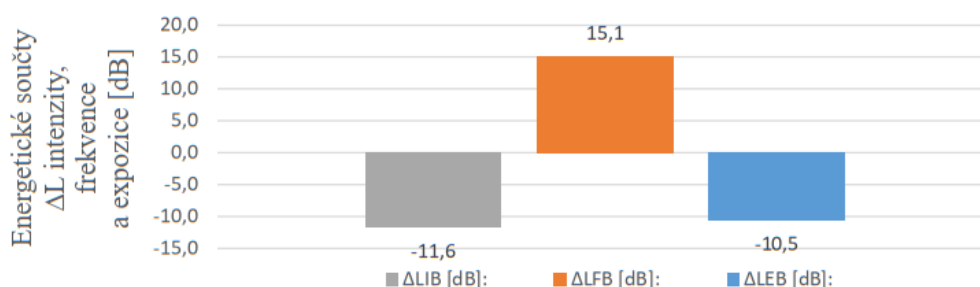
LEVEL-fA [dB]: 27,8      LEVEL-FA [dB]: 145,7

LEVEL-tA [dB]: 24,0      LEVEL-EA [dB]: 141,9

**Pozorovatel - Pozice 1, 2, 3**

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ LIB [dB]: -11,6       $\Delta$ LFB [dB]: 15,1       $\Delta$ LEB [dB]: -10,5



**Cesta 19 - B-HEAD**

qm [met]: 1	R [clo]: 0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]: 0,1	$\Delta T$ [K]: 1,0
LEVEL-Pot [dB]: 130,8	LEVEL-Dýchání [dB]: 130,8	LEVEL-Met [dB]: 137,2	
LEVEL-R [dB]: 0,0	LEVEL-Zf [dB]: 7,8	LEVEL-Zt [dB]: 0,0	
LEVEL-KIB [dB]: 138,8	LEVEL-KfB [dB]: 148,8	LEVEL-KtB [dB]: 162,8	
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]: -20,9	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]: 4,7	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]: -20,9	

**Cesta 19 - B-ARM-R**

qm [met]: 1	R [clo]: 1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]: 0,1	$\Delta T$ [K]: 3,0
LEVEL-Pot [dB]: 130,8	LEVEL-Dýchání [dB]: 130,8	LEVEL-Met [dB]: 137,2	
LEVEL-R [dB]: 3,3	LEVEL-Zf [dB]: 7,8	LEVEL-Zt [dB]: 0,0	
LEVEL-KIB [dB]: 138,8	LEVEL-KfB [dB]: 148,8	LEVEL-KtB [dB]: 162,8	
$\Delta$ LIB-ARM-R [dB]: -24,2	$\Delta$ LFB-ARM-R [dB]: 4,7	$\Delta$ LEB-ARM-R [dB]: -20,9	

**Cesta 19 - B-ARM-L**

qm [met]: 1	R [clo]: 1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]: 0,1	$\Delta T$ [K]: 3,0
LEVEL-Pot [dB]: 130,8	LEVEL-Dýchání [dB]: 130,8	LEVEL-Met [dB]: 137,2	
LEVEL-R [dB]: 3,3	LEVEL-Zf [dB]: 7,8	LEVEL-Zt [dB]: 0,0	
LEVEL-KIB [dB]: 138,8	LEVEL-KfB [dB]: 148,8	LEVEL-KtB [dB]: 162,8	
$\Delta$ LIB-ARM-L [dB]: -24,2	$\Delta$ LFB-ARM-L [dB]: 4,7	$\Delta$ LEB-ARM-L [dB]: -20,9	

**Cesta 19 - B-ELBW-R**

qm [met]: 1	R [clo]: 0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]: 0,1	$\Delta T$ [K]: 1,0
LEVEL-Pot [dB]: 130,8	LEVEL-Dýchání [dB]: 130,8	LEVEL-Met [dB]: 137,2	
LEVEL-R [dB]: 0,0	LEVEL-Zf [dB]: 7,8	LEVEL-Zt [dB]: 0,0	
LEVEL-KIB [dB]: 138,8	LEVEL-KfB [dB]: 148,8	LEVEL-KtB [dB]: 162,8	
$\Delta$ LIB-ELBW-R [dB]: -20,9	$\Delta$ LFB-ELBW-R [dB]: 4,7	$\Delta$ LEB-ELBW-R [dB]: -20,9	



<i>Cesta 19 - B-ELBW-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-L [dB]:	-20,9	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	4,7	$\Delta$ LEB-ELBW-L [dB]:	-20,9		

<i>Cesta 19 - B-PALM-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-R [dB]:	-20,9	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	4,7	$\Delta$ LEB-PALM-R [dB]:	-20,9		

<i>Cesta 19 - B-PALM-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]:	-20,9	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	4,7	$\Delta$ LEB-PALM-L [dB]:	-20,9		

<i>Cesta 19 - B-KNEE-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-R [dB]:	-24,2	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	4,7	$\Delta$ LEB-KNEE-R [dB]:	-20,9		

<i>Cesta 19 - B-KNEE-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-L [dB]:	-24,2	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	4,7	$\Delta$ LEB-KNEE-L [dB]:	-20,9		

<i>Cesta 19 - B-FOOT-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	5,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	1,1	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-R [dB]:	-22,0	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	4,7	$\Delta$ LEB-FOOT-R [dB]:	-20,9		

<i>Cesta 19 - B-FOOT-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	5,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	1,1	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-L [dB]:	-22,0	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	4,7	$\Delta$ LEB-FOOT-L [dB]:	-20,9		

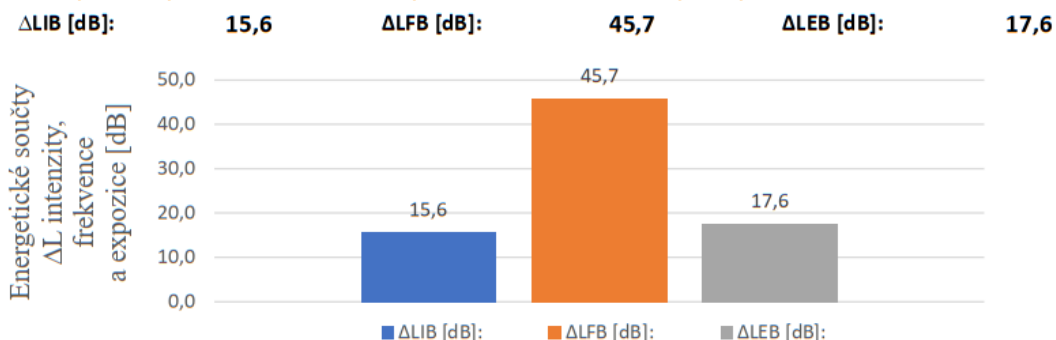




Výška slunce na obzorem 45°					
LEVEL-PAekv [dB]:	157,0	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	146,0
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje odpovídá spektru slunečního záření, tzv. rozbřesk					
LEVEL-fA [dB]:	27,8			LEVEL-FA [dB]:	173,7
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	169,9

**Pozorovatel - Pozice 1, 2, 3**

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1



Cesta 19 - B-HEAD							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	7,1	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	7,1		

Cesta 19 - B-ARM-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-R [dB]:	-24,2	$\Delta$ LFB-ARM-R [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-ARM-R [dB]:	7,1		

Cesta 19 - B-ARM-L							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-L [dB]:	3,8	$\Delta$ LFB-ARM-L [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-ARM-L [dB]:	7,1		

Cesta 19 - B-ELBW-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-R [dB]:	7,1	$\Delta$ LFB-ELBW-R [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-ELBW-R [dB]:	7,1		



<i>Cesta 19 - B-ELBW-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-L [dB]:	7,1	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-ELBW-L [dB]:	7,1		

<i>Cesta 19 - B-PALM-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-R [dB]:	-20,9	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-PALM-R [dB]:	7,1		

<i>Cesta 19 - B-PALM-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]:	7,1	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-PALM-L [dB]:	7,1		

<i>Cesta 19 - B-KNEE-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-R [dB]:	3,8	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-KNEE-R [dB]:	7,1		

<i>Cesta 19 - B-KNEE-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-L [dB]:	3,8	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-KNEE-L [dB]:	7,1		

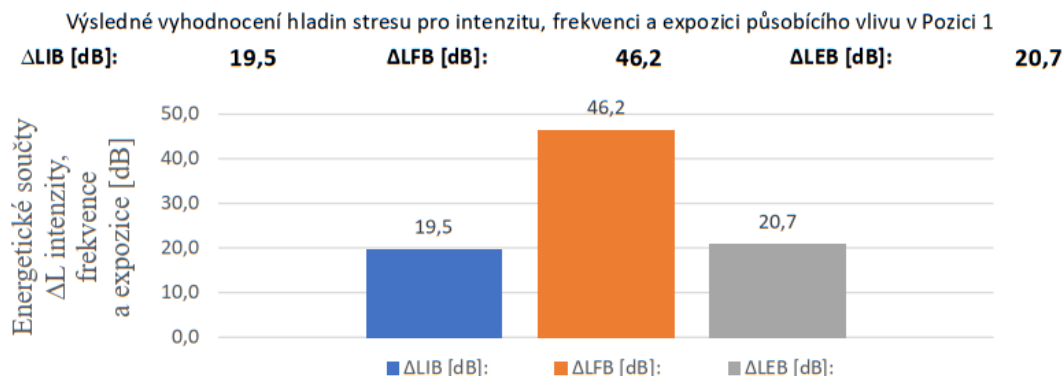
<i>Cesta 19 - B-FOOT-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	5,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	1,1	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-R [dB]:	6,0	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-FOOT-R [dB]:	7,1		

<i>Cesta 19 - B-FOOT-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	5,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	1,1	LEVEL-Zf [dB]:	10,4	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-L [dB]:	6,0	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	35,3	$\Delta$ LEB-FOOT-L [dB]:	7,1		



Výška slunce na obzorem 63°					
LEVEL-PAekv [dB]:	160,1	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	149,1
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje odpovídá spektru slunečního záření, tzv. rozbřesk					
LEVEL-fA [dB]:	27,8			LEVEL-FA [dB]:	176,9
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	173,1

Pozorovatel - Pozice 1, 2, 3
------------------------------



Cesta 19 - B-HEAD							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	10,3	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	35,8	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	10,3		

Cesta 19 - B-ARM-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-R [dB]:	6,9	$\Delta$ LFB-ARM-R [dB]:	35,8	$\Delta$ LEB-ARM-R [dB]:	10,3		

Cesta 19 - B-ARM-L							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-L [dB]:	6,9	$\Delta$ LFB-ARM-L [dB]:	35,8	$\Delta$ LEB-ARM-L [dB]:	10,3		

Cesta 19 - B-ELBW-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-R [dB]:	10,3	$\Delta$ LFB-ELBW-R [dB]:	35,8	$\Delta$ LEB-ELBW-R [dB]:	10,3		



<i>Cesta 19 - B-ELBW-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>0,155</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>1,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-L [dB]:	10,3	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	35,8	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	10,3		

<i>Cesta 19 - B-PALM-R</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>0,155</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>1,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-R [dB]:	10,3	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	35,8	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	10,3		

<i>Cesta 19 - B-PALM-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>0,155</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>1,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]:	10,3	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	35,8	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	10,3		

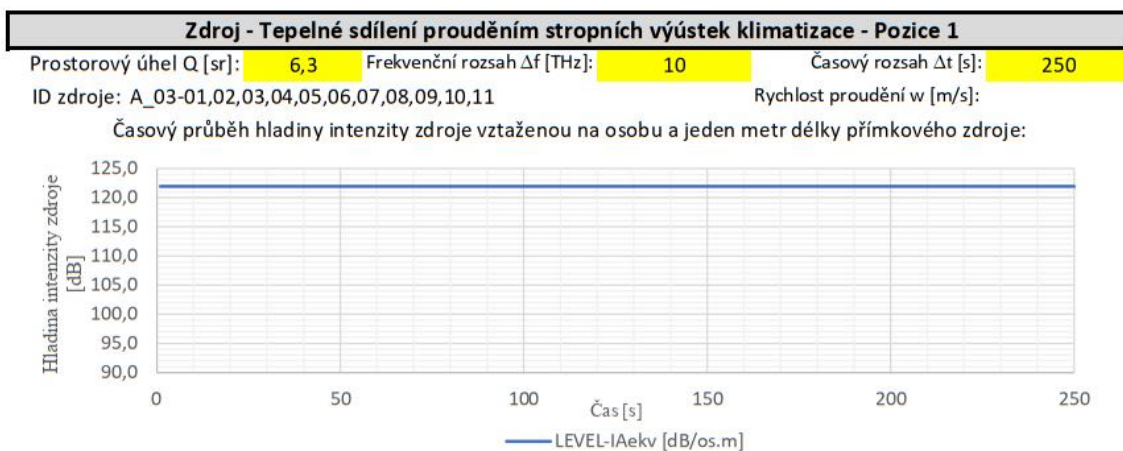
<i>Cesta 19 - B-KNEE-R</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>3,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-R [dB]:	6,9	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	35,8	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	10,3		

<i>Cesta 19 - B-KNEE-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>3,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	3,3	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-L [dB]:	6,9	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	35,8	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	10,3		

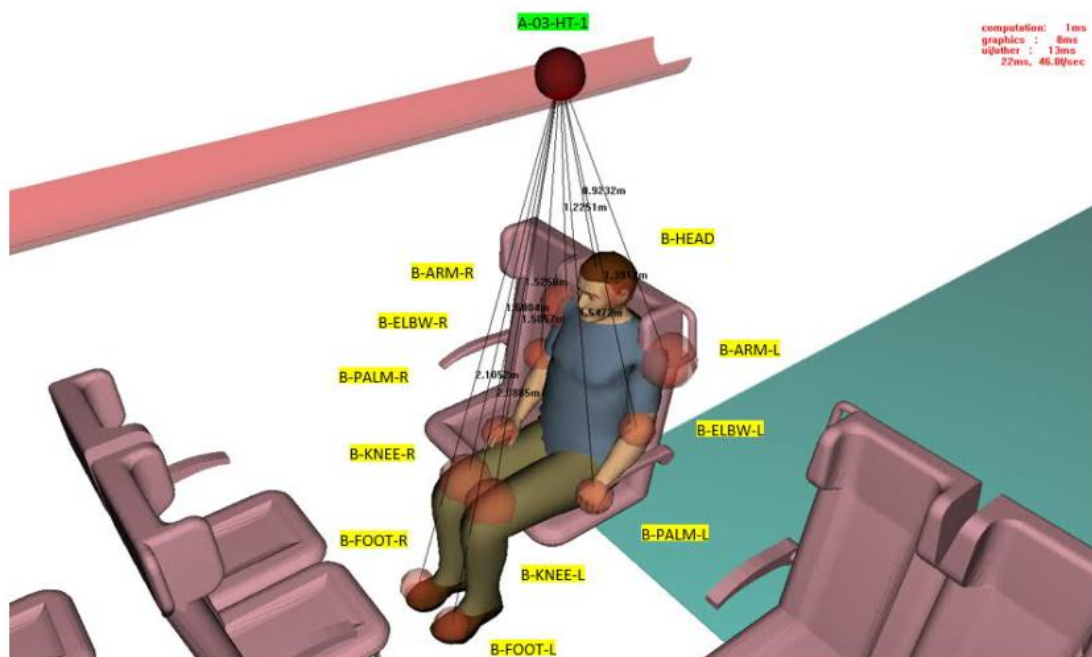
<i>Cesta 19 - B-FOOT-R</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>5,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	1,1	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-R [dB]:	9,2	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	35,8	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	10,3		

<i>Cesta 19 - B-FOOT-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>5,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-R [dB]:	1,1	LEVEL-Zf [dB]:	7,8	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	148,8	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-L [dB]:	9,2	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	35,8	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	10,3		

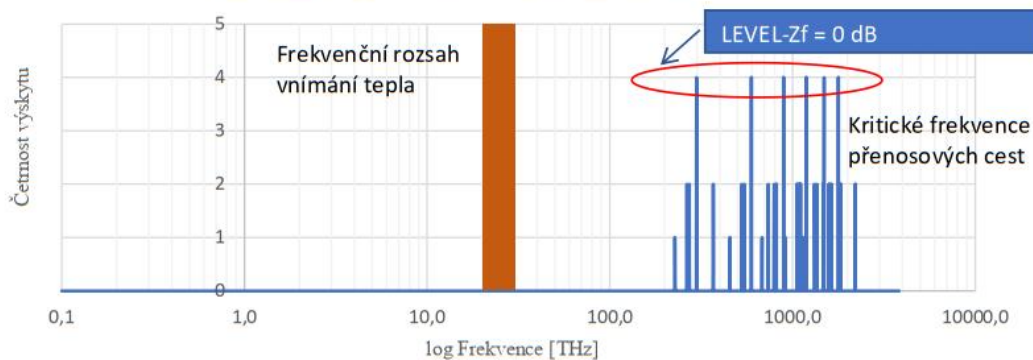
## 7.22.10. CESTY TEPLA STROPNÍCH VÝÚSTEK KLIMATIZACE



Obrázek situace nejkratších přenosových cest k Pozici 1



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1

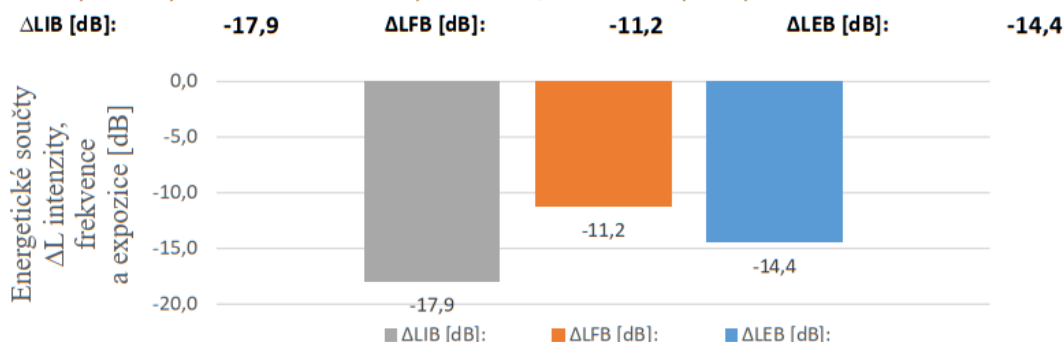




Výkon na vyústce na osobu na metr délky přímkového zdroje					
LEVEL-PAekv [dB]:	122,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	114,0
Teplota vyústky [°C]:	21,8	Teplota vzduchu [°C]:	22,0	Rychlost w [m/s]:	0,1
LEVEL-fA [dB]:	10,0			LEVEL-FA [dB]:	124,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	138,0

### Pozorovatel - Pozice 1

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1



Cesta 22 - B-HEAD							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	-0,9	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	149,2	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	-23,9	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	-25,2	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	-24,8		

Cesta 22 - B-ARM-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	4,9	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-R [dB]:	-29,7	$\Delta$ LFB-ARM-R [dB]:	-23,6	$\Delta$ LEB-ARM-R [dB]:	-24,8		

Cesta 22 - B-ARM-L							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	4,9	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-L [dB]:	-29,7	$\Delta$ LFB-ARM-L [dB]:	-23,6	$\Delta$ LEB-ARM-L [dB]:	-24,8		

Cesta 22 - B-ELBW-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	2,9	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-R [dB]:	-27,8	$\Delta$ LFB-ELBW-R [dB]:	-22,6	$\Delta$ LEB-ELBW-R [dB]:	-24,8		



<i>Cesta 22 - B-ELBW-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	2,9	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-L [dB]:	-27,8	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	-22,6	$\Delta$ LEB-ELBW-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 22 - B-PALM-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	3,5	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	147,9	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-R [dB]:	-28,4	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	-23,9	$\Delta$ LEB-PALM-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 22 - B-PALM-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	6,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	147,9	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]:	-24,8	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	-17,8	$\Delta$ LEB-PALM-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 22 - B-KNEE-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	6,8	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-R [dB]:	-31,7	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	-22,6	$\Delta$ LEB-KNEE-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 22 - B-KNEE-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	7,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-L [dB]:	-32,2	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	-22,6	$\Delta$ LEB-KNEE-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 22 - B-FOOT-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	9,8	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	143,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-R [dB]:	-34,6	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	-19,6	$\Delta$ LEB-FOOT-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 22 - B-FOOT-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	9,8	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-KfB [dB]:	143,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-L [dB]:	-34,6	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	-19,6	$\Delta$ LEB-FOOT-L [dB]:	-24,8		

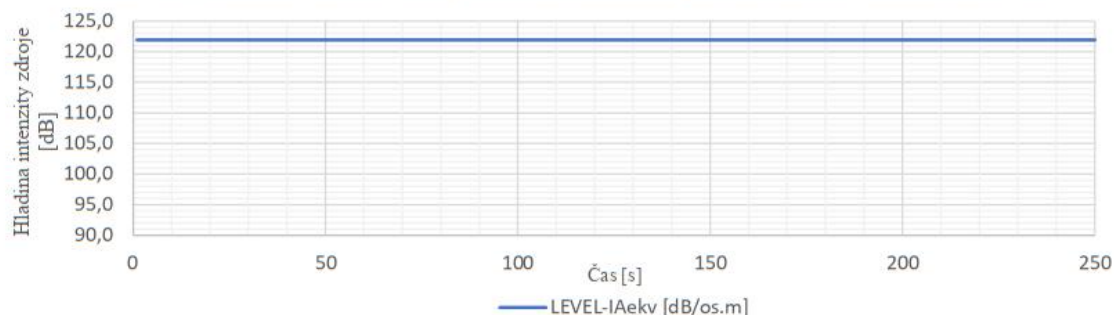
**Zdroj - Tepelné sdílení prouděním stropních výústek klimatizace - Pozice 2**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [THz]: **10** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

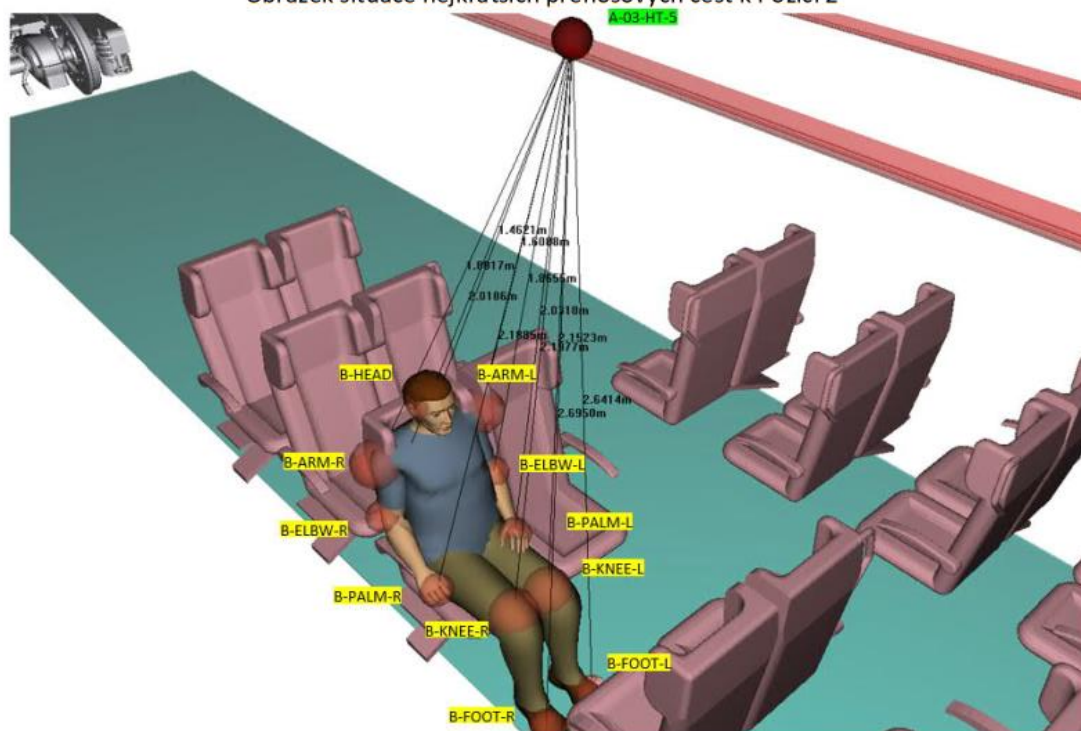
ID zdroje: A\_03-01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11

Rychlost proudění w [m/s]:

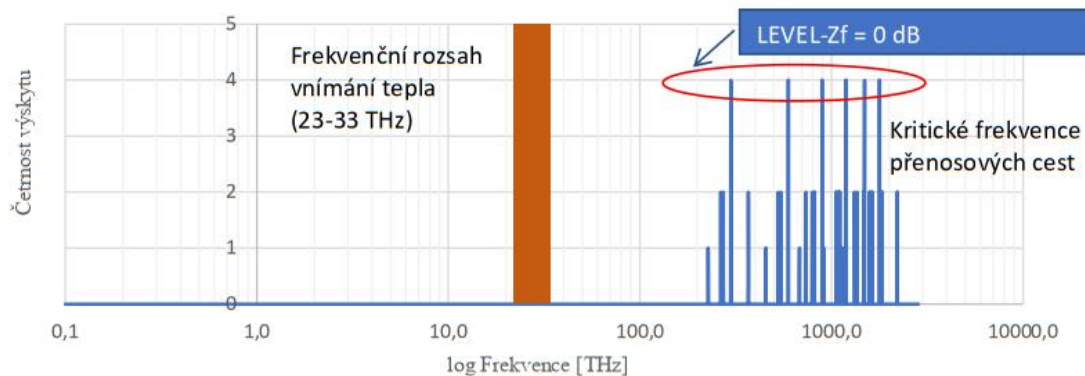
Časový průběh hladiny intenzity zdroje vztáženou na osobu a jeden metr délky přímkového zdroje:



Obrázek situace nejkratších přenosových cest k Pozici 2



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 2



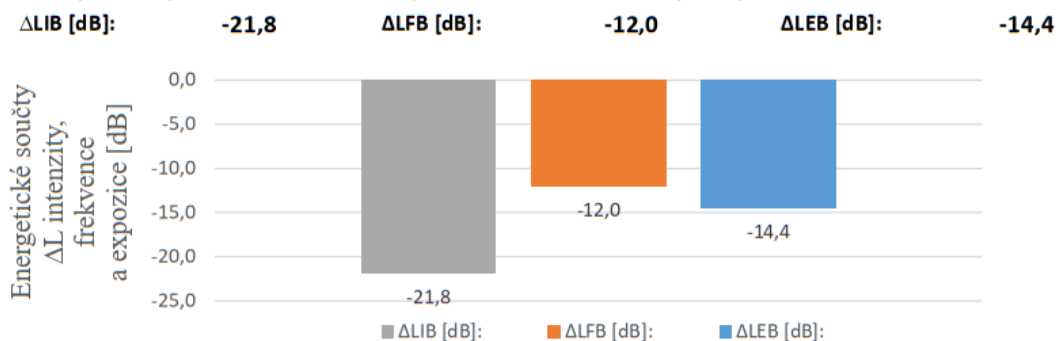




Výkon na vyústce na osobu na metr délky přímkového zdroje					
LEVEL-PAekv [dB]:	122,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	114,0
Teplota vyústky [°C]:	21,8	Teplota vzduchu [°C]:	22,0	Rychlost w [m/s]:	0,1
LEVEL-FA [dB]:	10,0			LEVEL-FA [dB]:	124,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	138,0

Pozorovatel - Pozice 2

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2



Cesta 23 - B-HEAD							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	3,5	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	149,2	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	-28,4	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	-25,2	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	-24,8		

Cesta 23 - B-ARM-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	8,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-R [dB]:	-33,3	$\Delta$ LFB-ARM-R [dB]:	-23,6	$\Delta$ LEB-ARM-R [dB]:	-24,8		

Cesta 23 - B-ARM-L							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	7,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-L [dB]:	-32,2	$\Delta$ LFB-ARM-L [dB]:	-23,6	$\Delta$ LEB-ARM-L [dB]:	-24,8		

Cesta 23 - B-ELBW-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	6,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-R [dB]:	-30,9	$\Delta$ LFB-ELBW-R [dB]:	-22,6	$\Delta$ LEB-ELBW-R [dB]:	-24,8		



<i>Cesta 23 - B-ELBW-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>0,155</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>1,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		

LEVEL-ZD [dB]:	5,6	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-L [dB]:	-30,4	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	-22,6	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 23 - B-PALM-R</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>0,155</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>1,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		

LEVEL-ZD [dB]:	6,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,9	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-R [dB]:	-31,3	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	-23,9	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 23 - B-PALM-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>0,155</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>1,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		

LEVEL-ZD [dB]:	6,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,9	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]:	-30,9	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	-23,9	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 23 - B-KNEE-R</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>3,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		

LEVEL-ZD [dB]:	10,2	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-R [dB]:	-163,7	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	-22,6	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 23 - B-KNEE-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>3,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		

LEVEL-ZD [dB]:	10,2	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-L [dB]:	-35,0	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	-22,6	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 23 - B-FOOT-R</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>3,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		

LEVEL-ZD [dB]:	12,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	143,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-R [dB]:	-36,8	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	-19,6	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 23 - B-FOOT-L</i>							
qm [met]:	<b>1</b>	R [clo]:	<b>1</b>	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	<b>0,1</b>	$\Delta T$ [K]:	<b>3,0</b>
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		

LEVEL-ZD [dB]:	11,6	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	143,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-L [dB]:	-36,5	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	-19,6	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	-24,8		

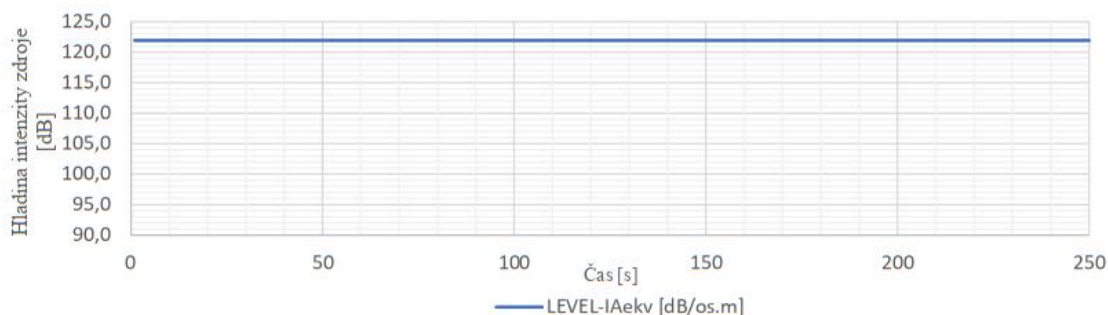
**Zdroj - Tepelné sdílení prouděním stropních výústek klimatizace - Pozice 3**

Prostorový úhel Q [sr]: **6,3** Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [THz]: **10** Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: **250**

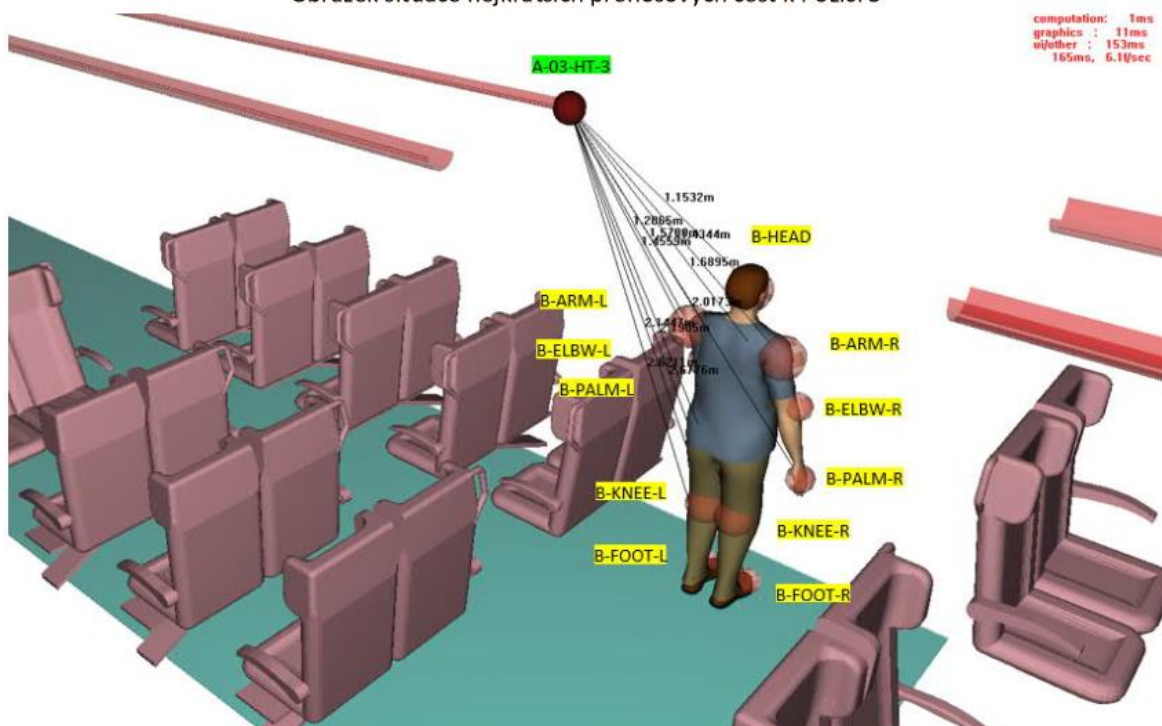
ID zdroje: A\_03-01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11

Rychlost proudění w [m/s]:

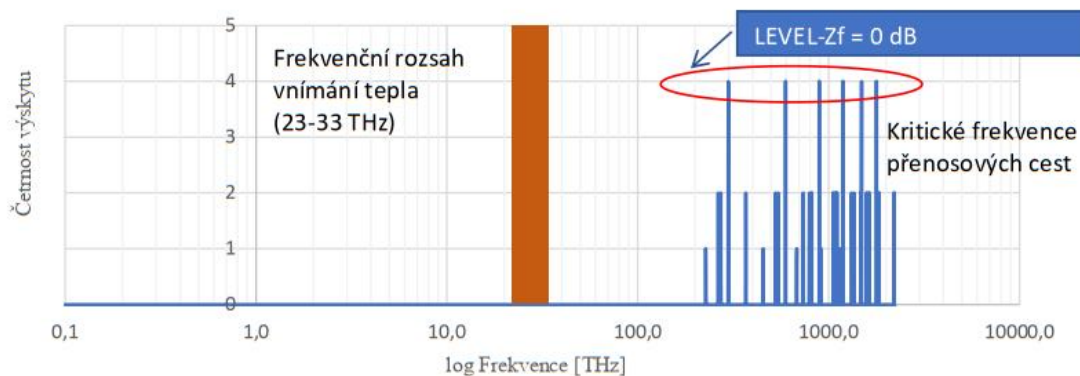
Časový průběh hladiny intenzity zdroje vztahenou na osobu a jeden metr délky přímkového zdroje:



Obrázek situace nejkratších přenosových cest k Pozici 3



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 3

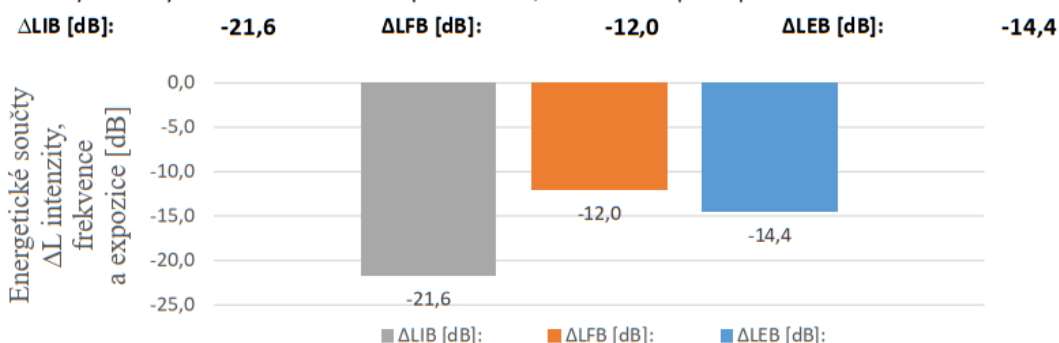




Výkon na vyústce na osobu na metr délky přímkového zdroje					
LEVEL-PAekv [dB]:	122,0	LEVEL-QA [dB]:	8,0	LEVEL-IAekv [dB]:	114,0
Teplota vyústky [°C]:	21,8	Teplota vzduchu [°C]:	22,0	Rychlost w [m/s]:	0,1
LEVEL-fA [dB]:	10,0			LEVEL-FA [dB]:	124,0
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	138,0

Pozorovatel - Pozice 2

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2



Cesta 24 - B-HEAD							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	3,5	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	149,2	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	-28,4	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	-25,2	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	-24,8		

Cesta 24 - B-ARM-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	8,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-R [dB]:	-33,3	$\Delta$ LFB-ARM-R [dB]:	-23,6	$\Delta$ LEB-ARM-R [dB]:	-24,8		

Cesta 24 - B-ARM-L							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	7,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ARM-L [dB]:	-32,2	$\Delta$ LFB-ARM-L [dB]:	-23,6	$\Delta$ LEB-ARM-L [dB]:	-24,8		

Cesta 24 - B-ELBW-R							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta$ T [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	6,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-R [dB]:	-30,9	$\Delta$ LFB-ELBW-R [dB]:	-22,6	$\Delta$ LEB-ELBW-R [dB]:	-24,8		



<i>Cesta 24 - B-ELBW-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	5,6	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-ELBW-L [dB]:	-30,4	$\Delta$ LFB-ELBW-L [dB]:	-22,6	$\Delta$ LKB-ELBW-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 24 - B-PALM-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	6,4	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,9	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-R [dB]:	-31,3	$\Delta$ LFB-PALM-R [dB]:	-23,9	$\Delta$ LKB-PALM-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 24 - B-PALM-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	0,155	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	1,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	6,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	147,9	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-PALM-L [dB]:	-30,9	$\Delta$ LFB-PALM-L [dB]:	-23,9	$\Delta$ LKB-PALM-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 24 - B-KNEE-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	10,2	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-R [dB]:	-35,0	$\Delta$ LFB-KNEE-R [dB]:	-22,6	$\Delta$ LKB-KNEE-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 24 - B-KNEE-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	10,2	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	146,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-KNEE-L [dB]:	-35,0	$\Delta$ LFB-KNEE-L [dB]:	-22,6	$\Delta$ LKB-KNEE-L [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 24 - B-FOOT-R</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	12,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	143,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-R [dB]:	-36,8	$\Delta$ LFB-FOOT-R [dB]:	-19,6	$\Delta$ LKB-FOOT-R [dB]:	-24,8		

<i>Cesta 24 - B-FOOT-L</i>							
qm [met]:	1	R [clo]:	1	účinnost $\mu_{\text{mech}}$ [-]:	0,1	$\Delta T$ [K]:	3,0
LEVEL-Pot [dB]:	130,8	LEVEL-Dýchání [dB]:	130,8	LEVEL-Met [dB]:	137,2		
LEVEL-ZD [dB]:	11,6	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0		
LEVEL-KIB [dB]:	138,8	LEVEL-Kfb [dB]:	143,6	LEVEL-KtB [dB]:	162,8		
$\Delta$ LIB-FOOT-L [dB]:	-36,5	$\Delta$ LFB-FOOT-L [dB]:	-19,6	$\Delta$ LKB-FOOT-L [dB]:	-24,8		

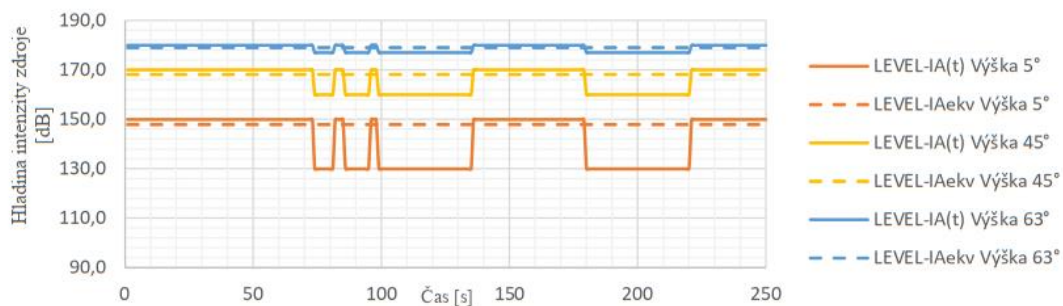
## 7.22.11. CESTY SVĚTELNÉ RADIACE SLUNCE

### Zdroj - Světelná radiace slunce - Pozice 1, 2, 3

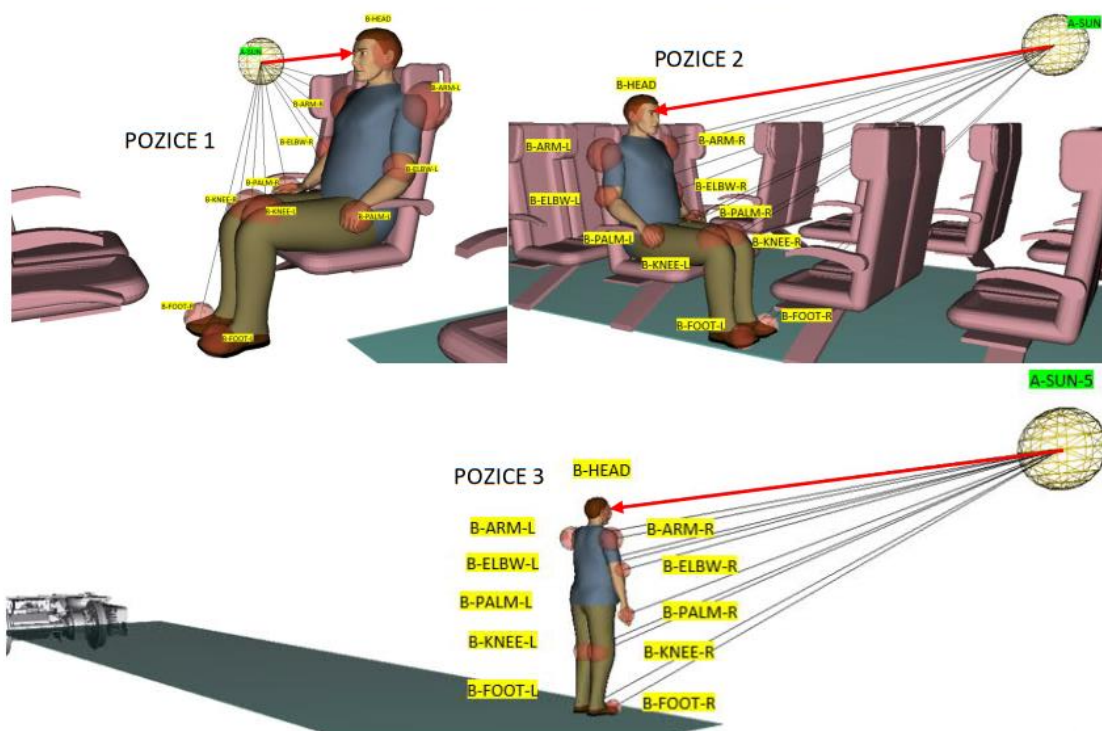
Prostorový úhel Q [sr]: 12,6 Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [THz]: 400 Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: 250

ID zdroje: A\_SUN

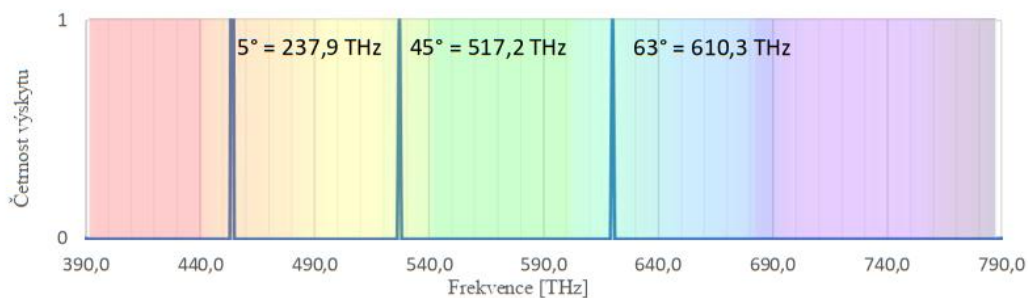
Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1, 2, 3



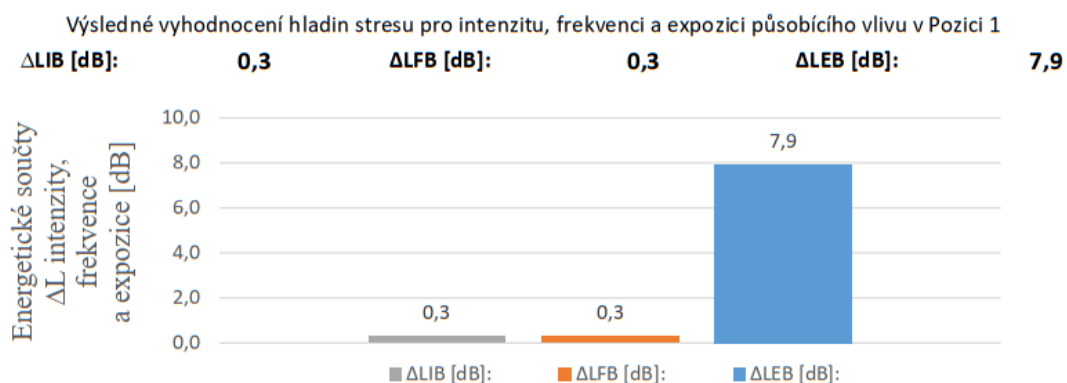
Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1, 2, 3





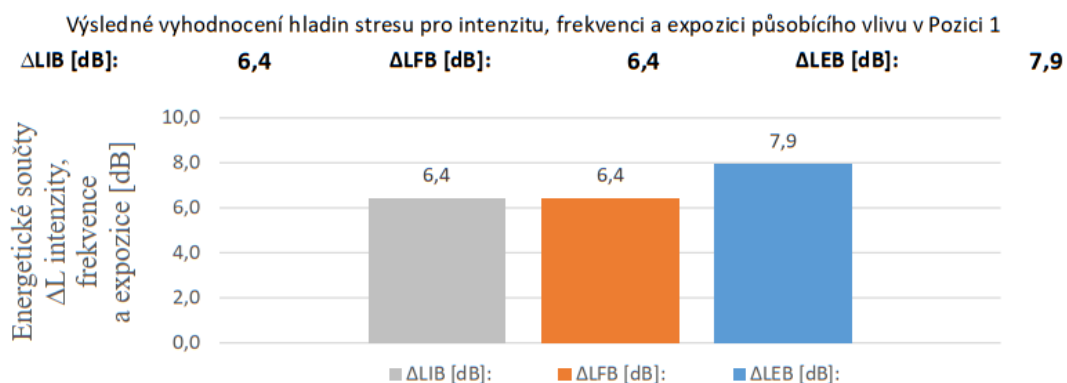
Výška slunce na obzorem 5°					
LEVEL-PAekv [dB]:	158,9	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	147,9
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje odpovídá spektru slunečního záření, tzv. rozbřesk					
LEVEL-fA [dB]:	26,0			LEVEL-FA [dB]:	173,9
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	171,9

### Pozorovatel - Pozice 1



Cesta 19 - B-HEAD					
	Úhel směru [°]	80,0	LEVEL-Směr [dB]:	7,6	
LEVEL-ZD [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
LEVEL-KIB [dB]:	140,0	LEVEL-KfB [dB]:	166,0	LEVEL-KtB [dB]:	164,0
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	0,3	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	0,3	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	7,9

### Pozorovatel - Pozice 2



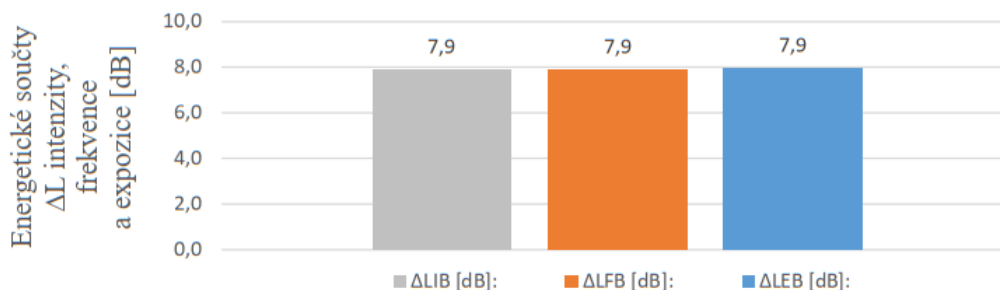
Cesta 20 - B-HEAD					
	Úhel směru [°]	45,0	LEVEL-Směr [dB]:	1,5	
LEVEL-ZD [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
LEVEL-KIB [dB]:	140,0	LEVEL-KfB [dB]:	166,0	LEVEL-KtB [dB]:	164,0
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	6,4	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	6,4	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	7,9



### Pozorovatel - Pozice 3

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ LIB [dB]: **7,9**       $\Delta$ LFB [dB]: **7,9**       $\Delta$ LEB [dB]: **7,9**



### Cesta 21 - B-HEAD

	Úhel směru [°]	<b>10,0</b>	LEVEL-Směr [dB]:	<b>0,1</b>	
LEVEL-ZD [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
LEVEL-KIB [dB]:	140,0	LEVEL-KfB [dB]:	166,0	LEVEL-KtB [dB]:	164,0
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	7,9	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	7,9	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	7,9

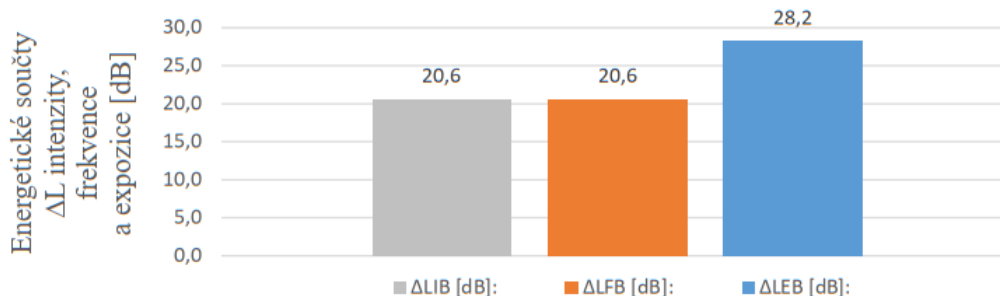
### Výška slunce na obzorem 45°

LEVEL-PAekv [dB]:	179,2	LEVEL-QA [dB]:	11,0	LEVEL-IAekv [dB]:	168,2
Frekvenční charakteristika intenzity zdroje odpovídá spektru slunečního záření, tzv. rozběsk					
LEVEL-fA [dB]:	26,0			LEVEL-FA [dB]:	194,2
LEVEL-tA [dB]:	24,0			LEVEL-EA [dB]:	192,1

### Pozorovatel - Pozice 1

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ LIB [dB]: **20,6**       $\Delta$ LFB [dB]: **20,6**       $\Delta$ LEB [dB]: **28,2**



### Cesta 19 - B-HEAD

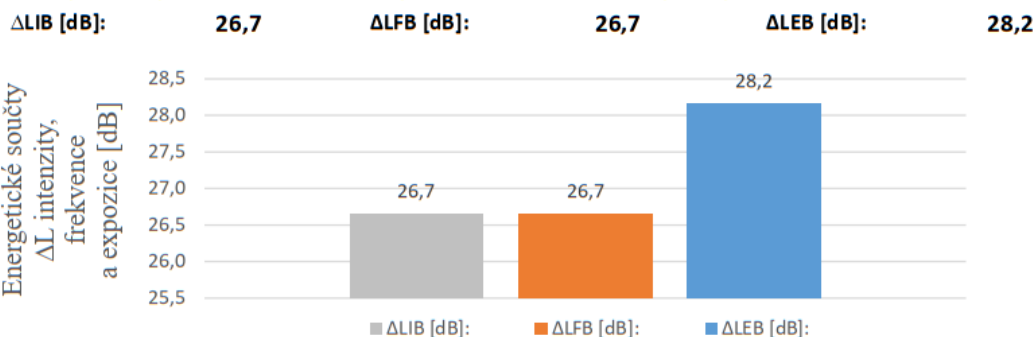
	Úhel směru [°]	<b>80,0</b>	LEVEL-Směr [dB]:	<b>7,6</b>	
LEVEL-ZD [dB]:	0,0	LEVEL-Zf [dB]:	0,0	LEVEL-Zt [dB]:	0,0
LEVEL-KIB [dB]:	140,0	LEVEL-KfB [dB]:	166,0	LEVEL-KtB [dB]:	164,0
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	20,6	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	20,6	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	28,2





### Pozorovatel - Pozice 2

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

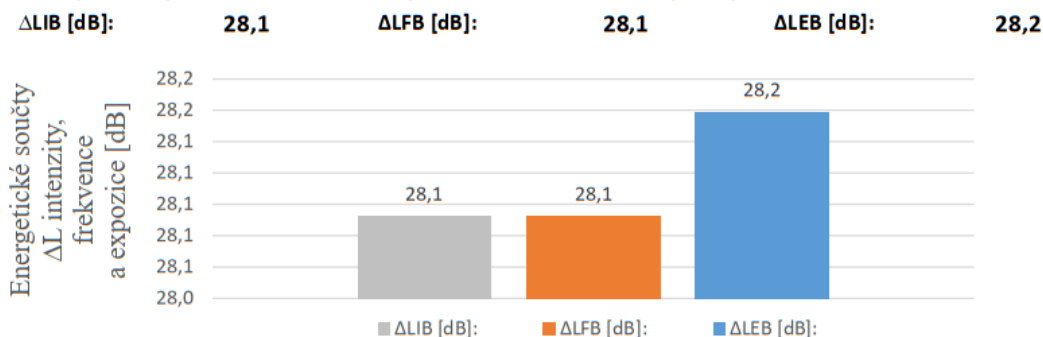


### Cesta 20 - B-HEAD

		Úhel směru [°]	<b>45,0</b>	LEVEL-Směr [dB]:	<b>1,5</b>
LEVEL-ZD [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zf [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zt [dB]:	<b>0,0</b>
LEVEL-KIB [dB]:	<b>140,0</b>	LEVEL-KfB [dB]:	<b>166,0</b>	LEVEL-KtB [dB]:	<b>164,0</b>
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	<b>26,7</b>	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	<b>26,7</b>	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	<b>28,2</b>

### Pozorovatel - Pozice 3

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3



### Cesta 21 - B-HEAD

		Úhel směru [°]	<b>10,0</b>	LEVEL-Směr [dB]:	<b>0,1</b>
LEVEL-ZD [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zf [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zt [dB]:	<b>0,0</b>
LEVEL-KIB [dB]:	<b>140,0</b>	LEVEL-KfB [dB]:	<b>166,0</b>	LEVEL-KtB [dB]:	<b>164,0</b>
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	<b>28,1</b>	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	<b>28,1</b>	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	<b>28,2</b>

### Výška slunce na obzorem 63°

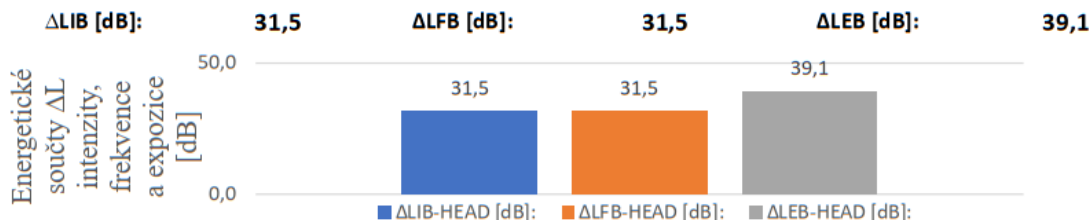
LEVEL-PAekv [dB]:	<b>190,1</b>	LEVEL-QA [dB]:	<b>11,0</b>	LEVEL-IAekv [dB]:	<b>179,1</b>
LEVEL-fA [dB]:	<b>26,0</b>			LEVEL-FA [dB]:	<b>205,1</b>
LEVEL-tA [dB]:	<b>24,0</b>			LEVEL-EA [dB]:	<b>203,1</b>

Frekvenční charakteristika intenzity zdroje odpovídá spektru slunečního záření, tzv. rozbřesk



### Pozorovatel - Pozice 1

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

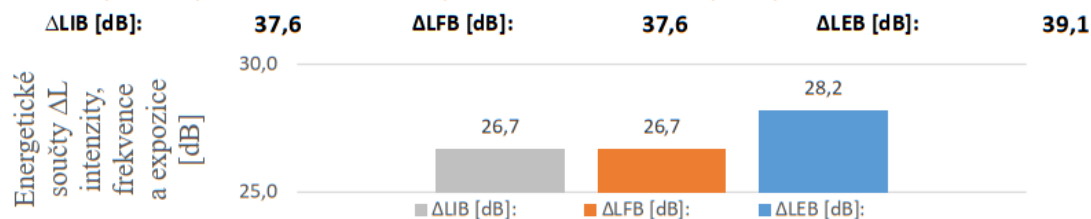


#### Cesta 19 - B-HEAD

		Úhel směru [°]	<b>80,0</b>	LEVEL-Směr [dB]:	<b>7,6</b>
LEVEL-ZD [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zf [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zt [dB]:	<b>0,0</b>
LEVEL-KIB [dB]:	<b>140,0</b>	LEVEL-Kfb [dB]:	<b>166,0</b>	LEVEL-KtB [dB]:	<b>164,0</b>
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	<b>31,5</b>	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	<b>31,5</b>	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	<b>39,1</b>

### Pozorovatel - Pozice 2

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 2

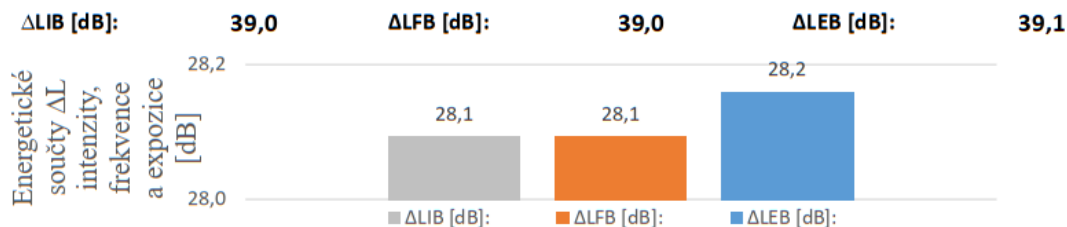


#### Cesta 20 - B-HEAD

		Úhel směru [°]	<b>45,0</b>	LEVEL-Směr [dB]:	<b>1,5</b>
LEVEL-ZD [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zf [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zt [dB]:	<b>0,0</b>
LEVEL-KIB [dB]:	<b>140,0</b>	LEVEL-Kfb [dB]:	<b>166,0</b>	LEVEL-KtB [dB]:	<b>164,0</b>
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	<b>37,6</b>	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	<b>37,6</b>	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	<b>39,1</b>

### Pozorovatel - Pozice 3

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 3



#### Cesta 21 - B-HEAD

		Úhel směru [°]	<b>10,0</b>	LEVEL-Směr [dB]:	<b>0,1</b>
LEVEL-ZD [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zf [dB]:	<b>0,0</b>	LEVEL-Zt [dB]:	<b>0,0</b>
LEVEL-KIB [dB]:	<b>140,0</b>	LEVEL-Kfb [dB]:	<b>166,0</b>	LEVEL-KtB [dB]:	<b>164,0</b>
$\Delta$ LIB-HEAD [dB]:	<b>39,0</b>	$\Delta$ LFB-HEAD [dB]:	<b>39,0</b>	$\Delta$ LEB-HEAD [dB]:	<b>39,1</b>

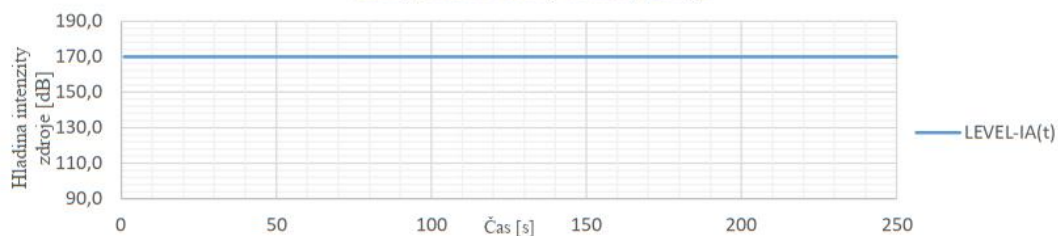
## 7.22.12. CESTY STROPNÍHO OSVĚTLENÍ

### Zdroj - Vnitřní stropní osvětlení - Pozice 1, 2, 3

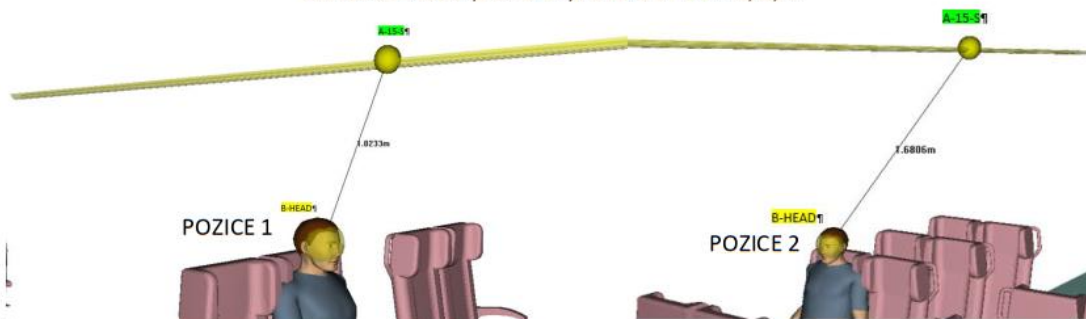
Prostorový úhel  $Q$  [sr]: 6,3 Frekvenční rozsah  $\Delta f$  [THz]: 400 Časový rozsah  $\Delta t$  [s]: 250

ID zdroje: A\_SUN

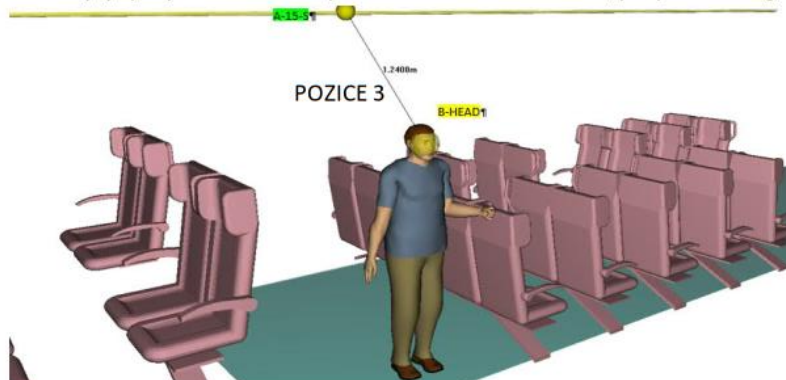
Časový průběh hladiny intenzity zdroje:



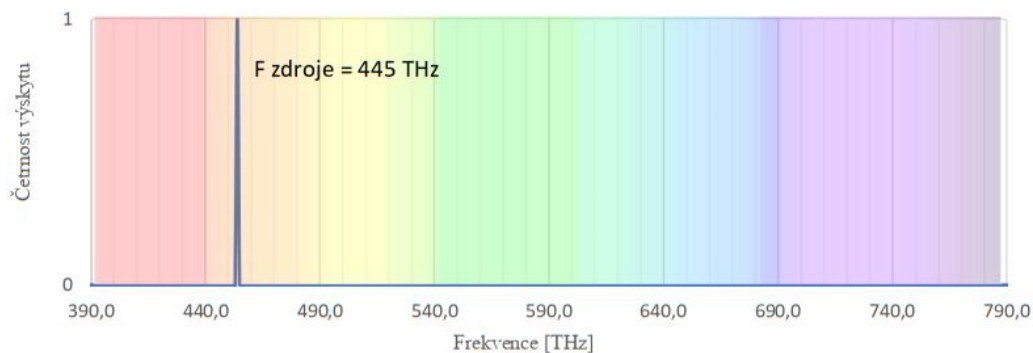
Obrázek situace přenosových cest v Pozici 1, 2, 3



Nejkratší vzdálenost od zdroje je pro pozici 1 a 2 cesta promítnuta ve frontální rovině, pro pozici 3 v sagitální rovině.



Kumulace kritických frekvencí přenosových cest v Pozici 1, 2, 3





### Intenzita zdroje vztažená na jeden metr délky přímkového zdroje

LEVEL-PAekv [dB]: 178,0      LEVEL-QA [dB]: 8,0      LEVEL-IAekv [dB]: 170,0

Frekvenční charakteristika intenzity zdroje odpovídá spektru slunečního záření, tzv. rozběsek

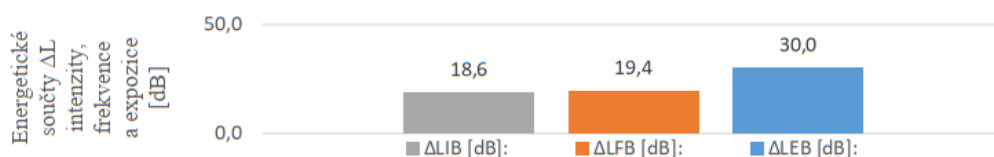
LEVEL-fA [dB]: 26,0      LEVEL-FA [dB]: 196,0

LEVEL-tA [dB]: 24,0      LEVEL-EA [dB]: 194,0

### Pozorovatel - Pozice 1

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ LIB [dB]: 18,6       $\Delta$ LFB [dB]: 19,4       $\Delta$ LEB [dB]: 30,0



### Cesta 25 - B-HEAD

LEVEL-ZD [dB]: 0,8      Úhel směru [°]: 85,0      LEVEL-Směr [dB]: 10,6

LEVEL-Zf [dB]: 0,0      LEVEL-Zt [dB]: 0,0

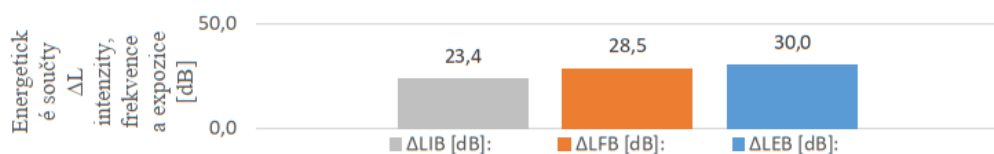
LEVEL-KIB [dB]: 140,0      LEVEL-Kfb [dB]: 166,0      LEVEL-KtB [dB]: 164,0

$\Delta$ LIB-HEAD [dB]: 18,6       $\Delta$ LFB-HEAD [dB]: 19,4       $\Delta$ LEB-HEAD [dB]: 30,0

### Pozorovatel - Pozice 2

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ LIB [dB]: 23,4       $\Delta$ LFB [dB]: 28,5       $\Delta$ LEB [dB]: 30,0



### Cesta 20 - B-HEAD

LEVEL-ZD [dB]: 5,1      Úhel směru [°]: 45,0      LEVEL-Směr [dB]: 1,5

LEVEL-Zf [dB]: 0,0      LEVEL-Zt [dB]: 0,0

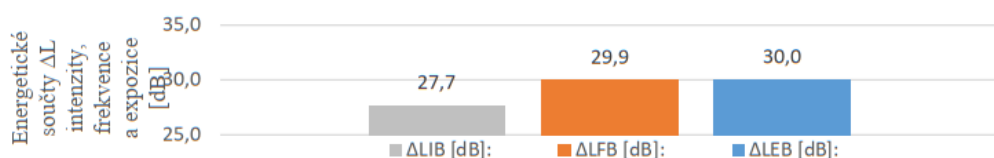
LEVEL-KIB [dB]: 140,0      LEVEL-Kfb [dB]: 166,0      LEVEL-KtB [dB]: 164,0

$\Delta$ LIB-HEAD [dB]: 23,4       $\Delta$ LFB-HEAD [dB]: 28,5       $\Delta$ LEB-HEAD [dB]: 30,0

### Pozorovatel - Pozice 3

Výsledné vyhodnocení hladin stresu pro intenzitu, frekvenci a expozici působícího vlivu v Pozici 1

$\Delta$ LIB [dB]: 27,7       $\Delta$ LFB [dB]: 29,9       $\Delta$ LEB [dB]: 30,0



### Cesta 21 - B-HEAD

LEVEL-ZD [dB]: 2,3      Úhel směru [°]: 10,0      LEVEL-Směr [dB]: 0,1

LEVEL-Zf [dB]: 0,0      LEVEL-Zt [dB]: 0,0

LEVEL-KIB [dB]: 140,0      LEVEL-Kfb [dB]: 166,0      LEVEL-KtB [dB]: 164,0

$\Delta$ LIB-HEAD [dB]: 27,7       $\Delta$ LFB-HEAD [dB]: 29,9       $\Delta$ LEB-HEAD [dB]: 30,0

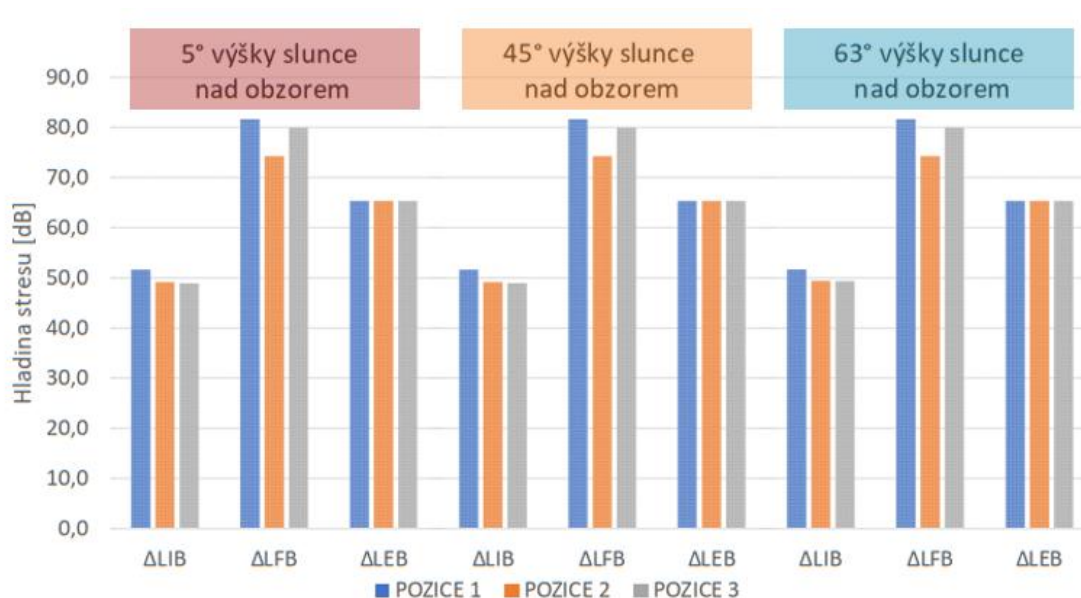
## 7.23. NÁVRH VYHODNOCENÍ PŘENOSOVÝCH FUNKCÍ

Výsledné hladiny stresu lze shrnout do následující tabulky. Výsledné hladiny stresu se mezi jednotlivými provozními režimy výšky slunce nad obzorem neliší.

Tabulka 61 - Výsledné hodnoty hladin stresu pro intenzitu, výkonově spektrální hustotu a expozici pro jednotlivé provozní režimy výšky slunce nad obzorem (5°, 45°, 63°), autor

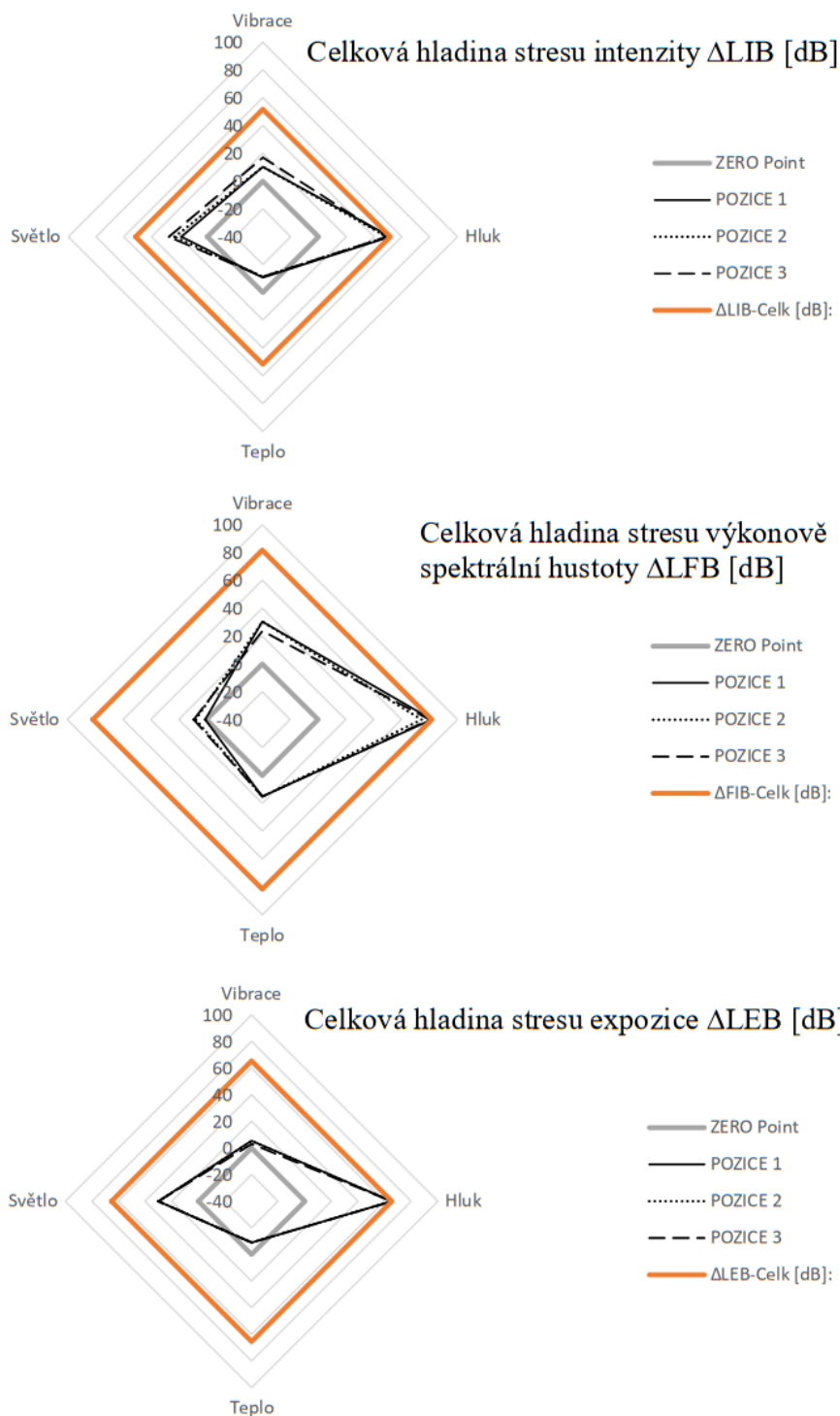
Označení hladiny stresu	Pozice 1	Pozice 2	Pozice 3	Výška slunce nad obzorem
$\Delta$ LIB	51,6	49,1	48,9	5°
$\Delta$ LFB	81,7	74,3	79,9	
$\Delta$ LEB	65,3	65,3	65,3	
$\Delta$ LIB	51,6	49,2	49,0	45°
$\Delta$ LFB	81,7	74,3	79,9	
$\Delta$ LEB	65,3	65,3	65,3	
$\Delta$ LIB	51,7	49,4	49,3	63°
$\Delta$ LFB	81,7	74,3	79,9	
$\Delta$ LEB	65,3	65,3	65,3	

Pro lepší představivost jsou výsledky v tabulce výše reprezentovány následujícím obrázkem, lze pozorovat stejné průběhy stresu ve všech pozicích mezi jednotlivými výškami.



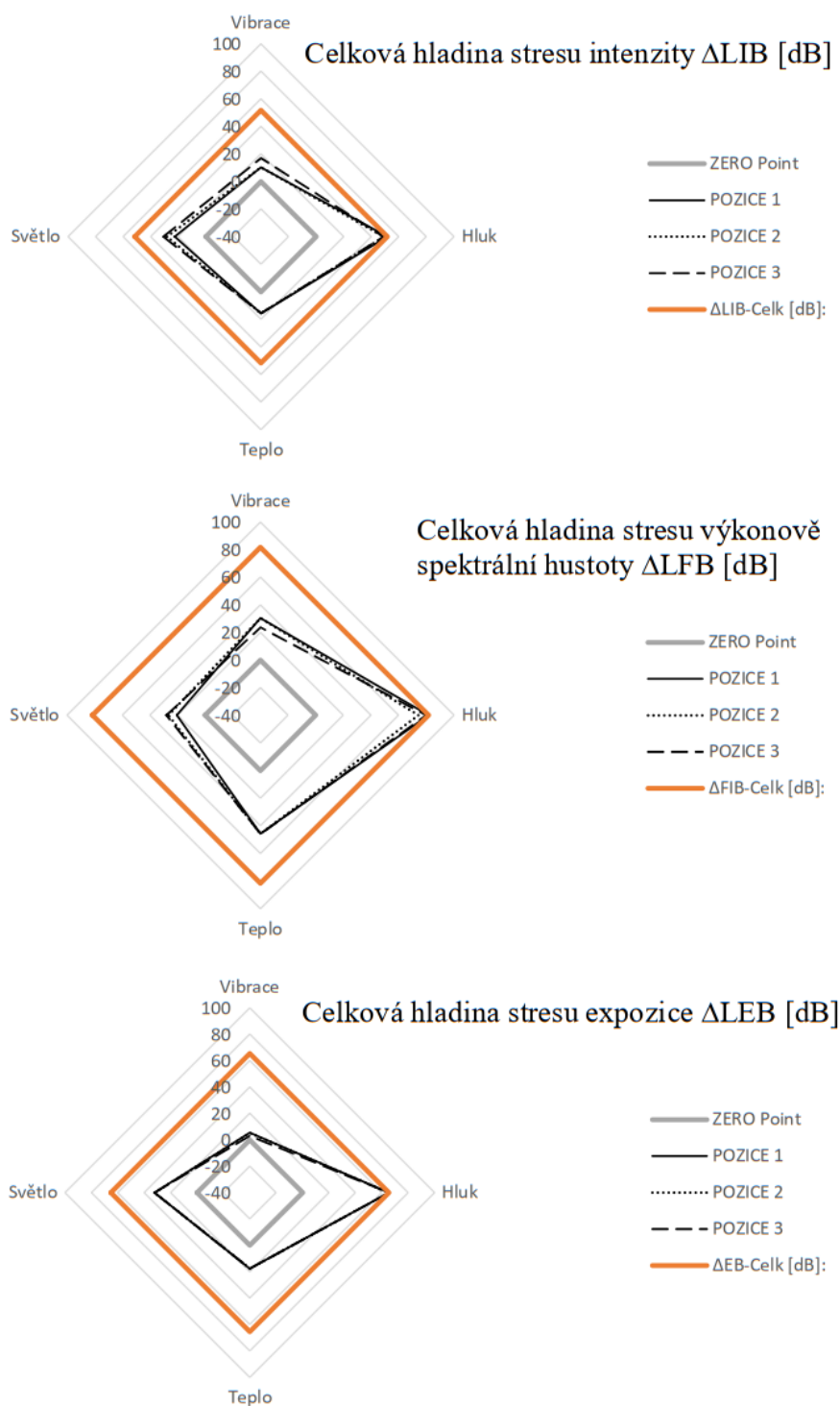
Obrázek 254 - Výsledné hodnoty hladin stresu pro intenzitu, výkonově spektrální hustotu a expozici pro jednotlivé provozní režimy výšky slunce nad obzorem (5°, 45°, 63°), autor

Stanovení celkových hladin stresu pro intenzitu, výkonově spektrální hustotu a expozici -  
Výška slunce nad obzorem 5°



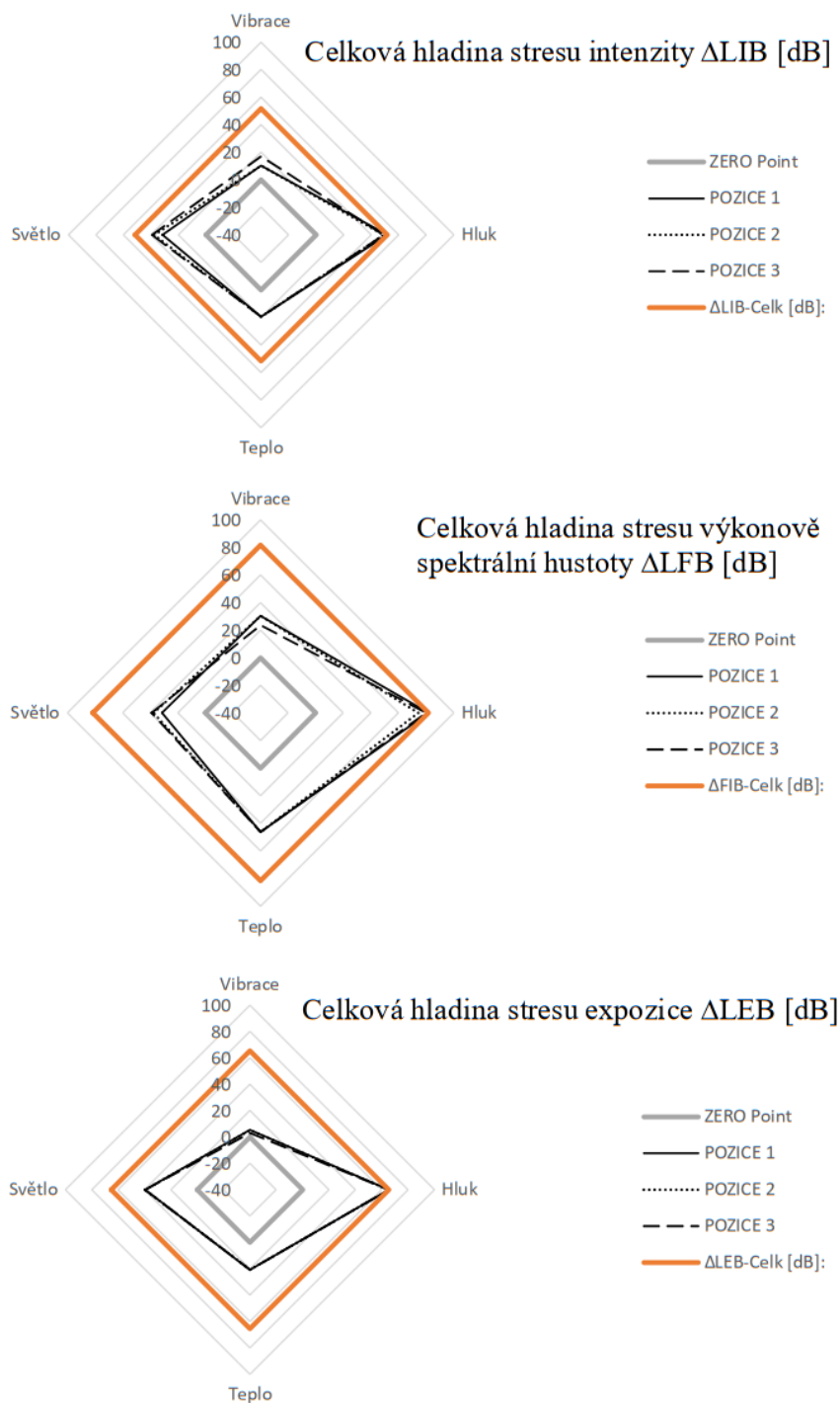
Obrázek 255 - Diagramy výsledků hladin stresu intenzity, výkonově spektrální hustoty a expozice pro režim výšky slunce nad obzorem 5°. Diagramy znázorňují dílčí výsledky hladin stresu pro jednotlivé vlivy a jejich energetický součet - celková hladina stresu, autor

Stanovení celkových hladin stresu pro intenzitu, výkonově spektrální hustotu a expozici -  
Výška slunce nad obzorem 45°



Obrázek 256 - Diagramy výsledků hladin stresu intenzity, výkonově spektrální hustoty a expozice pro režim výšky slunce nad obzorem 45°. Diagramy znázorňují dílčí výsledky hladin stresu pro jednotlivé vlivy a jejich energetický součet - celková hladina stresu, autor

Stanovení celkových hladin stresu pro intenzitu, výkonově spektrální hustotu a expozici -  
Výška slunce nad obzorem 63°



Obrázek 257 - Diagramy výsledků hladin stresu intenzity, výkonově spektrální hustoty a expozice pro režim výšky slunce nad obzorem 63°. Diagramy znázorňují dílčí výsledky hladin stresu pro jednotlivé vlivy a jejich energetický součet - celková hladina stresu, autor



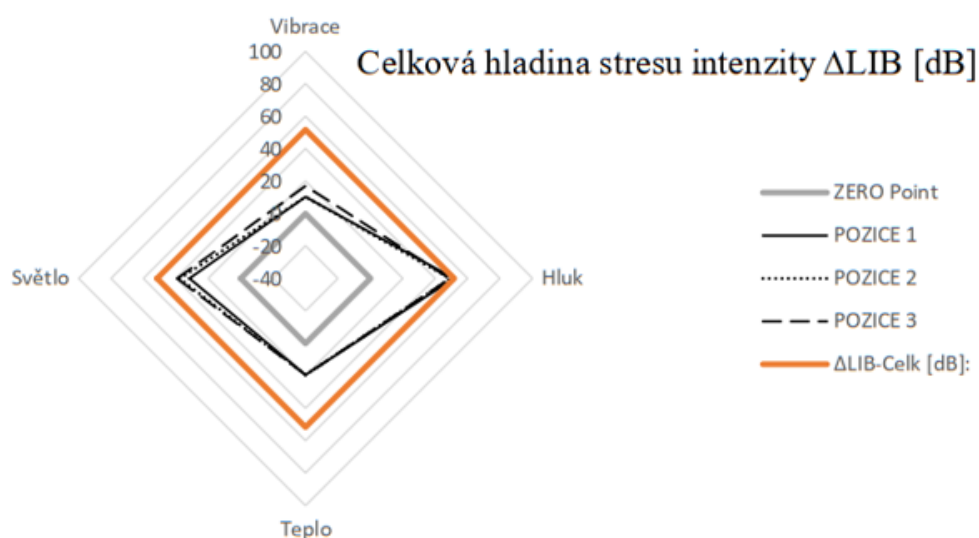
## 7.24. NÁVRH OPTIMALIZACE MATEMATICKÉHO MODELU

Pro každý provozní režim a pozici pozorovatele jsou spočítány hladiny stresu daných vlivů a jejich celková výsledná hladina. Návrh optimalizačního procesu umožňuje správně interpretovat výsledky a vyvodit jednoznačné závěry. Globálně jde optimalizační postup uplatnit jak na hladiny stresu intenzity, tak na výkonově spektrální hustotu a expozici. Přínosem návrhu metodiky je uplatnění optimalizačních kritérií na všech úrovních matematického modelu, tedy jak na vrcholových výsledcích, tak i na dílčích výsledcích jednotlivých cest, ba dokonce i při porovnávání výkonů samotných zdrojů. K tomu, aby se postupovalo systematicky a induktivně, se uplatňuje optimalizační pravidlo:

*„Optimalizační kritéria se nejdříve aplikují na vrcholovém výsledku celkové hladiny stresu a na jejích dílčích hladinách vlivu“*,

autor.

Následující praktický příklad hodnotí hladinu stresu intenzity pro pozorovatele v pozici 1 a provozním režimu výšky slunce nad obzorem 63°, viz obrázek níže.



Obrázek 258 - Výsledek hladin stresu pro provozní režim výšky slunce nad obzorem 63°, autor

Vizuálně na první pohled lze podle uvedeného diagramu usuzovat největší vliv hluku na celkovou hladinu stresu. Matematicky lze tento vizuální předpoklad potvrdit pomocí výpočtu optimalizačních kritérií, hladiny rovnoměrnosti, hladiny tonality a hladiny plasticity. Následující tabulka představuje hodnoty uvedené v diagramu.

Tabulka 62 - Výsledné hodnoty hladin stresu intenzity pro provozní režim výšky slunce nad obzorem 63° a v pozici 1 pozorovatele, autor

Výsledné hladiny stresu	Vibrace	Hluk	Teplo	Světlo	Celkové
$\Delta LIB$ [dB]	10,3	51,6	19,6	31,7	51,6

#### 7.24.1. HLADINA ROVNOMĚRNOSTI INTENZITY

Hladinu rovnoměrnosti lze spočítat jako rozdíl minimální a maximální hodnoty vlivu celkového hodnocení.

$$\text{Rovnice 80} \quad RM = [\Delta L_{MAX}] - [\Delta L_{MIN}] = 51,6 - 10,3 = 41,3 \text{ [dB]}$$

Hladina RM je větší než 10 dB, je **doporučena optimalizace**. Zatímco nejmenší vliv na cestovní diskomfort mají vibrace (především proto, že jako jediný vliv díky systému SIMPACK byly zahrnuty veškeré dynamické charakteristiky výpočetního modelu vozidla), největší podíl pak zastupuje hluk, který byl počítán s potlačením vlastní konstrukce vozidla.

#### 7.24.2. HLADINA TONALITY INTENZITY

Hladinu tonality lze vypočítat dle rovnice 70, str. 206. Tento výraz je určen především jako aplikace studie libovolného signálu, kdy lze odečíst expozici (celkovou energii) signálu s maximální hodnotou od celkové expozice studovaného signálu. Jde tedy o srovnání ekvivalentní energie celkového signálu s ekvivalentní energií tonální složky. V tomto případě lze výše uvedenou rovnici zjednodušit úpravou, kdy se od maximální hodnoty hladiny stresu (hluk) odečte energetický součet zbývajících hladin stresu (vibrace, teplo, světlo).

$$\text{Rovnice 81} \quad TN = \Delta L_{\text{hluk}} - (10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot \Delta L_{\text{vibrace}}}) + 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot \Delta L_{\text{teplo}}}) + 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot \Delta L_{\text{světlo}}})) = 51,6 - 32 = 19,6 \text{ [dB]}$$

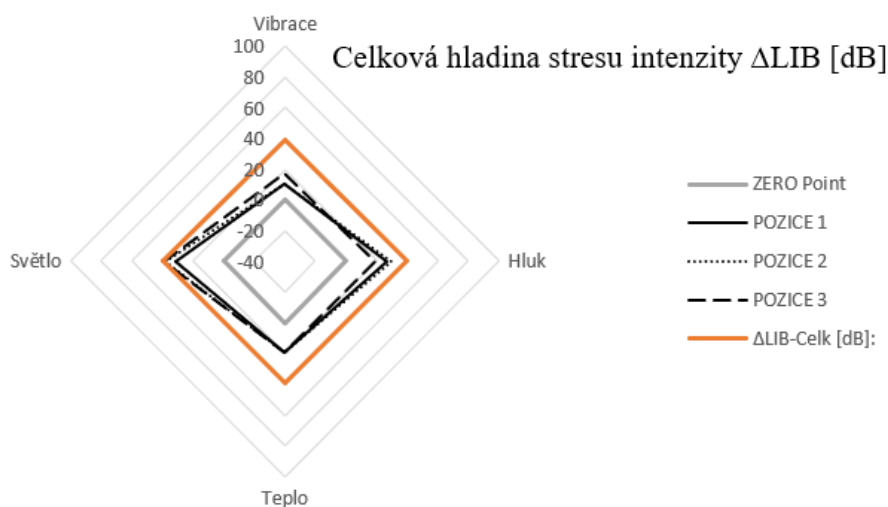
Hladina TN je větší než 10 dB, **doporučuje se optimalizace**. Stres vyvolaný hlukem je sto-násobně vyšší než je vliv zbývajících vlivů dohromady.

### 7.24.3. HLADINA PLASTICITY INTENZITY

Hladina plasticity se vypočítá jako rozdíl výsledné celkové hladiny stresu a modifikované celkové hladiny stresu. Modifikace spočívá v odebrání dílčí hladiny stresu, která má největší vliv na výslednou celkovou hodnotu. V tomto případě se nepočítá s hlukem generovaným pojezdem dvojkolí po kolejnici. Hladina plasticity se spočítá dle následující rovnice.

$$\text{Rovnice 82} \quad PL = \Delta L_{\text{celkové}} - \Delta L_{\text{modifikované}} = 51,6 - 39,4 = 12,5 \text{ [dB]}$$

Hladina PL je vyšší než 10 dB, **je doporučena optimalizace**. Vynecháním vlivu hluku dvojkolí je naznačen další optimalizační krok v pořadí, hladina stresu vyvolaná intenzitou osvětlení.



Obrázek 259 - Výsledek modifikované celkové hladiny stresu pro provozní režim výšky slunce nad obzorem 63°, autor

#### 7.24.4. HLADINA STRESU EXPOZICE

Dalším optimalizačním parametrem je samotná celková hladina stresu expozice  $\Delta LEB$ , která je rovna 65,3 dB. Její hodnota je větší než 10 dB, **je tedy doporučena optimalizace**. Hladina stresu expozice představuje celkové množství mechanické, akustické, tepelné a světelné energie převyšující požadované množství hygienického limitu. Převodem 65,3 dB na Jouly je spočítána energie:

$$\text{Rovnice 83} \quad E_{\text{expozice}} = 10^{6,53} J \cong 3,42 \cdot 10^6 J \cong 3,42 MJ \cong 815,89 kcal$$

Pro srovnání je použit vzorec na výpočet BMR, bazálního metabolického výdeje na den pro muže o parametrech: 185,5 cm vysoký, 100 kg těžký, 18 let starý, dle [30].

Rovnice 84

$$BMR = 66,473 + (13,7516 \cdot 100) + (5,0033 \cdot 185,5) + (6,755 \cdot 18) = 2248,2 kcal/den$$

Z uvedených rovnic vyplývá, že 816 kcal představuje třetinu energie bazálního metabolismu potřebnou na jeden den provozu základních životních funkcí člověka.

#### 7.24.5. HLADINA STRESU VÝKONOVĚ SPEKTRÁLNÍ HUSTOTY

Hladina stresu výkonově spektrální hustoty není optimalizačním kritériem. Hodnota hladiny představuje porovnání frekvenčního rozsahu působícího zdroje vůči požadovanému frekvenčnímu rozsahu v místě pozorovatele. V místě pozorovatele jsou započítána frekvenční vážení (filtr A, korekce vibrací, relativní citlivosti, apod.). V hladině stresu výkonově spektrální hustoty je rovněž započítána korekce přenosových cest – *kumulace frekvencí*. Maximální četnost v kumulaci frekvencí představuje potenciál, o kolik se navýší intenzita vlivu, dostanou-li se všechny dotyčné přenosy do fáze.

#### 7.24.6. OPTIMALIZACE NÁVRHU KONSTRUKCE VOZIDLA

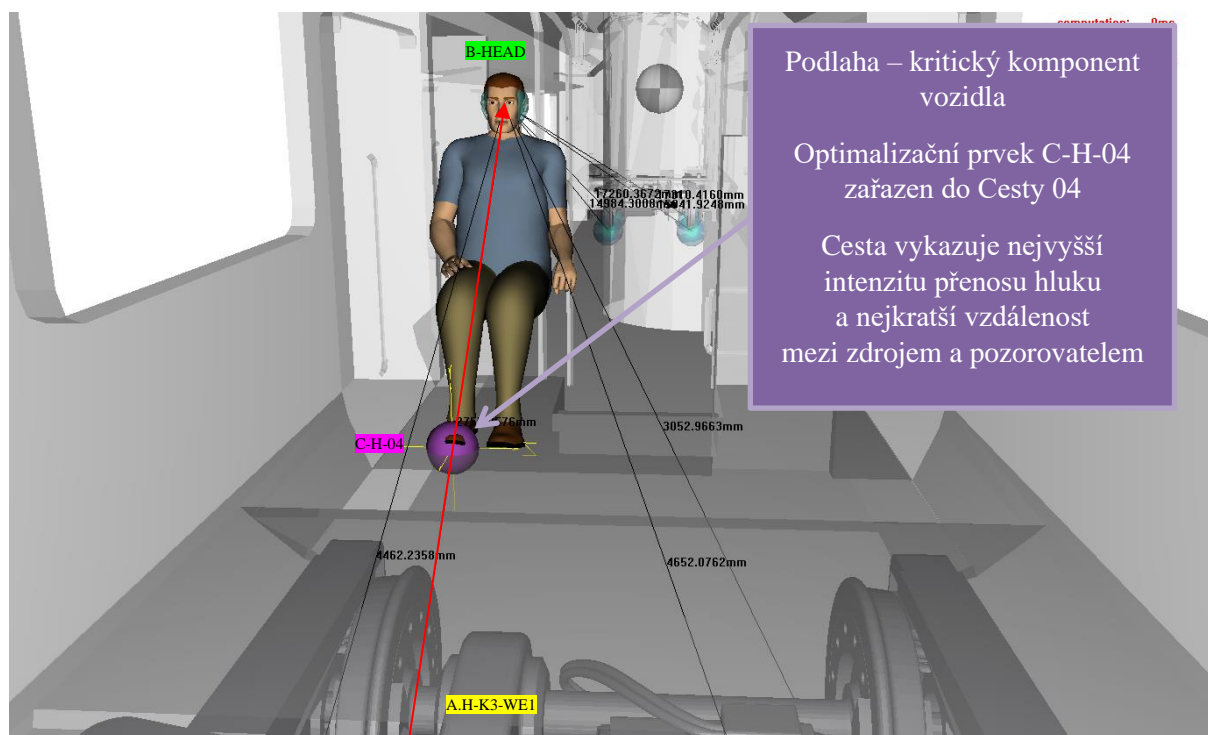
Optimalizační proces pokračuje stejným způsobem pro další kritické hladiny stresu mající největší vliv na celkovou hladinu stresu intenzity. Jinými slovy lze optimalizační proces přirovnat k práci sochaře, který otesává kámen k obrazu svému. Každý další přebytečný kus kamene odstraňuje s jasným cílem konečného díla. Analogicky, jako je cílem sochaře dosáhnout dokonalého tvaru sochy, je cílem optimalizace získat výsledný polygon celkové hladiny stresu do nulové plochy.



Obrázek 260 - Fotografie sochaře Josefa Stárka při tvorbě reprodukce sousoší Anatom pro štít Fakultní nemocnice v Olomouci

### 7.24.6.1. Návrh neprůzvučnosti podlahy

Podle metody pro určení příčin a následku cestovní pohody [5], str. 252 až 253, ve vztahu k plnění cílů jednotné optimalizace a modelu, bylo zjištěno, že lze určit parametr kritických komponent vozidla, který je specifický pro každý studovaný vliv zvlášť a je použitelný jako parametr optimalizačního procesu. Z evidence výpočtu přenosových cest hluku od dvojkolí je nejvíce kritická nejkratší cesta od zdroje A-H-K3-WE1 k pozorovateli B-HEAD v pozici 1. Hladinu stresu intenzity hluku 51,6 dB lze interpretovat jako tzv. *stupeň izolace*. V geometrickém modelu na průřezu konstrukčního rozhraní vozidla a vybrané nejkratší přenosové cesty je vytvořen optimalizační prvek vozidla C-H-04, viz následující obrázek.



Obrázek 261 - Integrace optimalizačního prvku návrhu konstrukce vozidla C-H-04 nejkratší přenosové cesty 04 pro pozici 1 pozorovatele, autor

Optimalizační prvek potom lze matematicky zapsat po vzoru [44], str. 348 -350:

Rovnice 85

$$C - H - 04 \rightarrow \Delta LIB = 51,6 = R + 10 \cdot \log \frac{S_{AB}}{S} = 10 \cdot \log \frac{1}{TR} + 10 \cdot \log \frac{S_{AB}}{S} \quad [dB]$$

, kde  $R$  [dB] značí zvukovou neprůzvučnost,  $S_{AB}$  [m<sup>2</sup>] představuje celkovou pohltivost vnitřního prostoru vozidla a  $S$  [m<sup>2</sup>] je dělicí plocha mezi zdrojem A-H-K3-WE1 a pozorovatelem B-HEAD v pozici 1.

V přípravě vstupů pro výpočet na str. 221 jsou navrženy energetické činitele přenosu a pohltivosti pro skříň vozidla a podlahu  $TR = 0,5$  a  $AB = 0,5$ . Potom bude výsledná neprůzvučnost rovna:

$$\text{Rovnice 86} \quad R = R_{skříň} + R_{podlaha} = 10 \cdot \log \frac{1}{0,5} + 10 \cdot \log \frac{1}{0,5} = 3 + 3 = 6 \text{ [dB]}$$

Celková neprůzvučnost konstrukce 6 dB je velmi málo. Lze uvažovat, že celková pohltivá plocha vnitřního prostoru je 10x větší než dělicí plocha přenosu (podlahy). Celková hladina pohltivosti bude tedy nabývat hodnoty 10 dB. Potom je hledána neprůzvučnost rovna 40 dB, a tomu odpovídá parametr energetického činitele přenosu  $TR$  o hodnotě 0,0001.

Z toho vyplývá, že zbývající část energie, která neprosteoupí konstrukcí vozidla, konkrétně pak  $1 - 0,0001 = 0,9999$  (99,99 %) =  $RF + AB$ , bude částečně odražena a částečně pohlcena konstrukčními materiály. Parametr odrazivosti  $RF$  je závislý na tzv. akustické tvrdosti materiálu (např. kov, sklo, laminát, apod.) povětšinou s hladkým odrazivým povrchem. Zbylá část energie je reprezentována parametrem pohltivosti  $AB$ , typickým pro akusticky měkké materiály (např. PU, dřevo, korek, kamená vata, apod.). Parametr  $AB$  vyjadřuje energii, která se buď přenesse akustickými můstky do jiné části konstrukce (parametr  $TP$ ), nebo se přemění na energii jinou (parametr  $TF$ ), například chvění nebo teplo. Transformovanou energii lze následně definovat jako tzv. *parazitní zdroj*. Parametr  $AB$  lze zapsat jako součet  $AB = TP + TF$ .

Stejným způsobem lze postupovat i u tlumení vibrací a chvění, kdy se uplatňují pružné tlumící prvky, které mechanickou energii absorbují a přeměňují na teplo. Výsledná izolace vibrací závisí na konečné impedanci pružného prostředí návrhu konstrukce nebo na změně hmotností pružných těles.

U tepla je stupeň izolace realizován pomocí tzv. tepelného odporu  $R$  [m<sup>2</sup>K/W], nebo jeho převrácenou hodnotou tepelné prostupnosti  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] nebo tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/mK].

Světelná energie se neřeší jinak. Jedním z nejpoužívanějších materiálových parametrem užívaným v návrhu barevného řešení a návrhu osvětlení prostoru je hodnota  $LRV$  [%]. Tyto hodnoty jsou odhadnutelné, orientačně měřitelné a tabulkově zpracované.

#### 7.24.6.2. Parazitní zdroje

Během optimalizace je nutné počítat i s tzv. *parazitními zdroji*. Na základě studie dveřních, mezivozových a nástupních systémů [6] a na základě studie akustických podnětů vnímané člověkem [10] bylo zjištěno, že tam kde bývají vibrace a mechanické chvění lze v mnoha případech uvažovat i zvukový projev. Pro mechanické, potažmo akustické, vlnění existuje společná frekvenční osa a jednu celkovou mechanickou energii rozličujeme na akustiku a vibrace podle způsobu vnímání frekvenčního spektra. Zatímco frekvence pod 20 Hz vnímá člověk taktilně, vnitřními orgány a celým tělem, pro frekvence nad 20 Hz začíná vnímat mechanické vlnění více jako zvuk.

Analogicky to funguje i pro vnímání elektromagnetického vlnění, kdy nižší frekvence 20 až 30 THz člověk vnímá jako teplo, nad 400 až do 800 THz jako světlo. Tepelné záření mezi 30 až 400 THz je vnímáno kůží jako bolest a pro oči jde o neviditelné elektromagnetické vlnění.

Chyby mohou nastat při optimalizaci systémového návrhu vozidla, kdy změnou jednoho parametru se automaticky mění parametr jiný. Například systém klimatizace, jak bylo zmíněno v přehledu současné problematiky, je sestaven z dílčích komponent a systémově aktivních prvků, jako jsou například kompresory a ventilátory. Je-li potřeba zvýšit nebo snížit přísun vzduchu na výústkách klimatizace a regulovat tím tepelné prostředí uvnitř vozidla, je potřeba zvýšit nebo snížit otáčky na ventilátorech. V takovém případě platí rovnice dle [44], str. 262, která vyjadřuje přírůstek akustického výkonu v závislosti na 5. mocnině podílu změny otáček.

$$\text{Rovnice 87} \quad LEVEL - P = 50 \cdot \log \frac{n_1}{n_2} \quad [dB]$$

Stejně tak může být interpretována změna tepelné intenzity na výústkách při změně rychlosti proudění vzduchu  $w$  [m/s]. S tím se současně mění akustická intenzita se 6. mocninou změny rychlosti proudění a třetí mocninou součinitele místní tlakové ztráty na výústce  $\xi$  [-], viz [44], str. 280., viz následující rovnice.



Rovnice 88  $LEVEL - I = 60 \cdot \log w + 31,8 \cdot \log \xi$  [dB]

Pro elektromagnetické vlnění jsou známy parametry jako tzv. světelná účinnost  $\mu$  [-], která vyjadřuje poměr mezi energií tepelnou a světelnou zdroje. Tento parametr je známý především u starších žárovek. S technologickým pokrokem se v dnešní době hojně využívají LED zdroje, které tuto vlastnost potlačují.

Teplo je významnou energií i z pohledu mechanického vlnění. Obecně platí, je-li mechanická energie mařena v tlumících prvcích, obvykle se uvolňuje určité množství tepelné energie, které vznikne přeměnou. V běžné akustice se tyto tepelné zisky neřeší, v mechanice pouze v opodstatněných případech. Pokud se jedná o tlumení velkých mechanických sil, tepelné projevy jsou nezanedbatelnou složkou v návrhu konstrukce vozidla.

Problémem parazitních zdrojů zůstává fakt, že se dá s velkou těžkostí exaktně vyjádřit jejich velikost podílu z celkového energetického toku. Návrh metodiky umožňuje s těmito parametry pracovat, je tedy na snaze tyto hodnoty přinejmenším odhadnout a do další iterace optimalizačního procesu započítat. Jejich výsledný vliv na celkové řešení bude v prvních iteracích jen velmi malý, avšak v detailních případech odladění návrhu matematického modelu mohou vnést nový úhel pohledu na problematiku návrhu vozidla.

## 8. DISKUZE K VÝSLEDKŮM

### 8.1. VLIVY PROSTŘEDÍ

V samém začátku bylo potřeba rozhodnout, které vlivy jsou určující ke stanovení optimálního prostředí. Hluk, vibrace, osvětlení a teplo jsou hlavní vlivy prostředí, které člověk fyziologicky vnímá a jsou dostatečně studovány na poli fyziky. Ačkoli první obavy zlých jazyků předkládaly otázky, cituji: „Jak je možné porovnávat hluk, vibrace, světlo a teplo? Vše je počítáno v jiných jednotkách.“, nebo „Nelze porovnávat jablka s ořechy s brambory a s meruňkami.“, apod. Tyto diskuze vedly k prokázání opaku.

Obrazně řečeno, přestože jablka, ořechy, brambory a meruňky vůči sobě vypadají jinak, z pohledu molekulární organické chemie představují soustavu molekul vody, bílkovin, cukrů a tuků, které svojí skladbou ovoce či zeleninu utvářejí. Výše jmenované základní stavební „kameny“ komplexně tvoří specifickou chuť, vůni, barvu a tvar daného ovoce či zeleniny. Důsledkem toho je možné přijímat ovoce a zeleninu jako potravu, tedy zdroj energie. Neboť právě voda, cukry, tuky a bílkoviny jsou velmi důležité pro fungování lidského metabolismu, termoregulace, pohybu apod.

Stejnou filozofií bylo přistoupeno k popisu fyzikálních vlivů prostředí. Hluk, vibrace, světlo a teplo jsou pouze formy energie, kterou člověk dokáže vnímat svými specifickými receptory. Historicky tak vznikly fyzikální obory popsané fyzikálními veličinami a jednotkami specifickými pro daný druh energie. Komplexní model lze samozřejmě popsat právě těmito specifickými veličinami a jim specifickými metodami hodnocení. Takové množství parametrů by muselo být podpořeno účelně naprogramovanou výpočetní technikou, je to možná alternativa.

Tato práce předkládá metodiku, která operuje s energiemi a výkony jednotlivých vlivů. Tím se podařilo převést hluk, vibrace, světlo a teplo do společných jednotek jako je jeden **Watt**, potažmo či jeden **Lumen**<sup>16</sup>. Výkon je toková veličina, která je evolučně závislá na okrajových podmínkách a na počátečních podmínkách.

---

<sup>16</sup> Pozn. Autora: Lumen je účinné vyjádření Wattu, tedy efektivní podíl zářivé energie známé jako světelný tok.

Energetický popis předkládá řadu výhod pro stanovení metodiky. Pro matematické operace lze používat energetické veličiny jako je účinnost, stupeň izolace, absorpce, reflexe, přenos, přeměna, emise a korekce. Zatímco účinnost lze využít k porovnávání jednotlivých energetických vlivů vůči sobě, stupeň izolace je v podstatě totéž, avšak je specifický pro daný typ fyzikálního vlivu. S tím potom souvisí materiálové parametry, energetické činitele jako jsou právě absorpce, reflexe, přenos, přeměna a emise. Jejich konfigurace nastavení je specifická pro každý materiál, nebo konstrukční uzel.

Výhodnou aplikací jsou korekce, které umožňují vnášet váhové filtry vnímání lidského faktoru, impedance přenosu, impedance prostředí apod. Všechny výše uvedené parametry představují základní vstupy pro stanovení metodiky a pochopení situace návrhu kolejového vozidla. Kolejové vozidlo je přímou aplikací matematiky a fyziky.

## 8.2. LOGARITMICKÁ FUNKCE

Na první pohled se může zdát, že použití logaritmů je zastaralé nebo nepotřebné, zejména v současné době počítačů a vysoké úrovně výpočetní techniky. Přes to všechno logaritmická funkce perfektně funguje na poli akustiky a elektrotechniky, kde se hojně využívá k specifickým dějům a fyzikálních procesům.

Další obrovskou výhodou logaritmické funkce je její psychofyzikální podstata. Jak již bylo zmíněno v práci samotné, lidské vnímání je exponenciální a vyjádření hodnot v hladinách velmi dobře vystihuje lidské vnímání.

Logaritmické funkce potom převádí matematické operace jako je násobení na součet a mocnění na násobení. Je-li potřeba energie sčítat, využívá se metody energetického sčítání logaritmů, kdy se hodnoty hladin stávají mocninami logaritmického základu 10, tedy odpovídající hodnotě výkonu ve Watech. Takové hodnoty lze sečíst a výsledek potom převést zpět přes logaritmickou funkci na energetickou hladinu.

Tato operace se projevila jako nejnáročnější, proto je doporučeno používat matematické řešiče, které mají vestavěné funkce pro energetické součty. Byl využit tabulkový procesor

MS Excel, který se jevil při vysoké složitosti matematického modelu jako nepřehledný a ve výsledku celkem pomalý.

V rámci disertační práce se nepodařilo experimentálně ověřit parametr exponentu  $a$ , který určuje, jak moc se hladina zvyšuje s rostoucí intenzitou. Metodika využívá hodnoty exponentu druhé mocniny pro případ výpočtu intenzity z efektivních veličiny, především u zvuku a zrychlení. Hladiny intenzit, impedanci, korekci apod. metodika vyjadřuje v prvních mocninách, tedy citlivostní parametr vnímání jednotlivých výkonů je pro všechny vlivy stejný.

S odkazem na Obrázek 150 – *Citlivosti vnímání dle Stevense*, str.126, existují experimentálně naměřené hodnoty exponentu pro různé vlivy. Tímto je v podstatě prokázána parametrická funkce logaritmického exponentu, kterou je možné dále studovat a zjišťovat například její hodnotu pro jízdní situace, apod.

Výzkum ovšem prokázal univerzálnost logaritmické funkce ve smyslu využití referenční hodnoty. Referenční hodnota intenzity,  $REF-I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ , dostatečně odpovídá použitelnosti metodiky, kdy hodnota jednoho Wattu odpovídá hladina  $120 \text{ dB}$ . Takto lze zahrnout i vnímání velmi malých energií s vyjádřením hladin vždy jako kladné číslo. Pokud by referenční hodnota odpovídala hodnotě jednoho Wattu, pak by hladina jednotkové intenzity byla rovna nule a hodnoty výkonu nižší než 1 by vycházely jako hladiny záporné. Referenční hodnota tedy v přeneseném významu udává „energetické dno“ k níž hladinu energie vztahujeme.

Logaritmická funkce je relativní. Je-li exponent citlivosti  $a$  pro všechny logaritmické funkce stejný, hodnota hladiny je pouze závislá na hodnotě efektivního výkonu a na zvolené referenční hodnotě. Stejný efektivní výkon pro všechny logaritmické funkce s různými referenčními hodnotami vyvolá různé hodnoty hladin, ovšem vyjadřující stejný výkon. Rozdíly hladin jsou dány právě rozdíly mezi referenčními hodnotami. Tato konstantnost platí i pro časové průběhy intenzit, do té chvíle, nezmění-li se exponent citlivosti  $a$  nebo referenční hodnota  $REF$ . Tyto změny vyvolají změny hladin, stále platí pravidlo, že hladiny vyjadřují ten samý výkon. Převedením logaritmu s danými hodnotami exponentu  $a$  a  $REF$  na exponenciální vyjádření lze získat zpět tu samou efektivní hodnotu.

### 8.3. POPIS METODIKY

K popisu metodiky je zapotřebí vytvořit geometrický a matematický model řešené situace. Cíleně je navržena metodika, kterou lze aplikovat během prvních koncepčních prací ve formě skic. Geometrická analýza sehrává v metodice významnou roli v popisu polohy, orientace a vzdálenosti prvků modelu. Integrace metodiky do 3D CAD prostředí [2] se osvědčila a pro účely metodiky lze využít i pokročilejší nástroje k popisu situace a prostoru, jako je 3D Human CAD Siemens PLM JACK&JILL, viz [121].

Ať již je nástroj pro sestavení studie jakýkoliv, výstupem musí být prostorové relace, které lze vyjádřit jako hladiny korekcí. Intenzita zdroje se zmenšuje se vzdáleností od zdroje. Primárně metodika využívá tzv. kvadratického zákona, nebo-li vyjádření prostorového úhlu v závislosti na kvadrátu vzdálenosti ku kulové ploše, kterou úhel zaujímá. Metodiku je možné rozšiřovat o další specifické popisy šíření intenzit, nicméně ve výpočtu takové případy nebyly zahrnuty.

Metodika umožňuje jak iterativní<sup>17</sup> přístup, tak i přístup agilní<sup>18</sup>. Jedním z prvků, které pomohli metodice vzniknout byl proces informačního „flow“. Návrh vozidla je velice komplexní téma, které zahrnuje velké množství informací. Metodika uvažuje taktéž zapojení více projekčních osob při řešení návrhu kolejového vozidla. Obor ekonomie a řízení kvality výroby naskýtá řadu metod hodnocení, mezi něž patří jedna z nejzákladnějších, tzv. Ishikawovy diagramy, nebo-li metoda „rybí kosti“.

Metodika je popsána celkem dvanácti diagramy se základním dělením na určující charakteristiku, jako je např. sensorická část lidského těla, materiál, zdroj), dále na frekvenční charakteristiku (váhy vnímání, frekvenční charakteristiky materiálů a zdrojů), na intenzitu vlivu (hygienické limity, energetické přenosové činitelé materiálů a intenzita zdroje) a na čas (hygienické limity, přenosové časy, expozice zdroje).

Bylo použito jednotné značení pro zdroje – písmeno **A**, pro pozorovatele písmeno **B**, pro rozhraní vozidla písmeno **C**. Stejně tak jsou použita písmená značení pro jednotlivé vlivy,

---

<sup>17</sup> Pozn. Autora: Iterativní přístup je rozumněn jako postupování krok za krokem a s každým dalším krokem se upřesňuje a vylepšuje metodický model výpočtu.

<sup>18</sup> Pozn. Autora: Agilní přístup je rozumněn jako iterativní přístup s rychlou reakcí na změnu parametrů.

jako je  $H$  pro hluk,  $V$  pro vibrace,  $S$  pro světlo a  $T$  pro teplo. Tímto vznikají patřičné kombinace vztahů mezi zdrojem a pozorovatelem, které je nutné popsat přenosovými funkcemi.<sup>19</sup>

#### 8.4. PROCES METODIKY

Návrh metodiky předkládá iterativní proces optimalizace, který začíná definicí studovaných zdrojů a vede k sestavení přenosových cest k pozorovateli. Výchozí fáze návrhu metodiky pomocí přenosových cest sestaví matematický model popisující prostředí tvořené definovanými zdroji. V této první fázi není uvažován samotný návrh konstrukce vozidla, jsou využity pouze prostorové dispozice návrhu vozidla. Tento způsob se jeví jako systematicky opodstatněný, neboť nejdříve seznámí projektanta s přímým vlivem generovaných zdrojů na specifické pozice lidského faktoru. Ve své podstatě je první fáze metodiky váhovým hodnocením působících vlivů.

Pro účely této práce byly použity tři odlišné pozice pro zástupce lidského faktoru, dospělého zdravého muže. Tyto pozice byly zvoleny pro to, aby lépe demonstrovaly rozdíly vnímání vlivem prostorového rozvržení návrhu vozidla. Více pozic vede k vyšší možnosti srovnání účinků jednotlivých vlivů mezi sebou a definovat nejvíce kritické přenosové cesty, které se použijí k optimalizačním krokům. Zajímavé je, že jako vedlejší produkt optimalizace během zpracování výsledků vznikla metoda hodnocení psychologického dojmu světelného prostředí a její měření, viz [4], str. 21, nebo příloha P03.

Výpočet přenosových cest v různých pozicích přinesl výsledky, které se liší v celkovém hodnocení pouze v desetínách decibel. Na druhou stranu s rostoucí optimalizací a integrací systémových prvků vozidla do matematické modelu se cíleně snižuje celková hladina stresu intenzity. Následkem snižování se začínají více prohlubovat rozdíly mezi jednotlivými pozicemi. Rozdíly ve výsledcích jednotlivých pozic lze pozorovat již z přímého výpočtu přenosových cest, viz. protokoly matematického modelu, kapitola 7.21, str. 356.

První fáze metodiky přináší komplexní porozumění působících vlivů na člověka při simulaci provozu návrhu vozidla.

---

<sup>19</sup> Pozn. Autora: K diskuzi: přenosové funkce, hladina stresu, události a poloha pozorovatele, řízení kvality

## 8.5. PŘENOSOVÉ ROVNICE METODIKY

Na první pohled se přenosové funkce definované na str. 208 jeví jako triviální. Jednotlivé parametry se pouze sčítají a odčítají, a to díky logaritmickým funkcím. Ve chvíli, kdy je definován výkon zdroje lze do přenosových rovnic vnášet parametry, které přidávají nebo odebírají energetický potenciál výkonu zdroje.

Sčítání a odčítání parametrů vnáší větší přehlednost komplexního matematického modelu, kdy lze každý parametr vyjádřit jako energetickou hladinu a snadněji tak porozumět výslednému vlivu parametru na konečné řešení.

Studie akustické a optické pohody [7], str. 12, prokázala, že velký vliv na cestovní pohodu cestujícího v přepravním procesu má komunikační a informační rozhraní kolejového vozidla. Návrh metodiky umožňuje omezeně počítat pouze přenos intenzity, avšak bez výpočtu přenosu intenzity nelze vyjádřit přenos výkonově spektrální hustoty a expozice. Z toho důvodu se jeví jako kompletní proces metodiky počítat všechny tři proudy zároveň a získat tak hodnotnější výsledky.

## 8.6. HODNOCENÍ METODIKY

Návrh metodiky se zabývá komplexním tématem různých vlivů prostředí. Přesto, že přenosové funkce (rovnice) jsou poměrně jednoduché na sestavení, nejslabším místem metodiky se jeví velký počet přenosových cest, zejména pak uvažuje-li se více pozic pozorovatele nebo více provozních režimů.

Sestavit komplexní systém přenosových cest je náročnou a nejvíce zodpovědnou částí metodiky. Je-li však jednou matematický model sestaven, výsledkem jsou celkem 3 čísla pro každou cestu, v konečném důsledku tři základní hladiny stresu – intenzity, VSH a expozice.

V praktické části byly představeny časové průběhy intenzit jednotlivých zdrojů, pro samotný výpočet byly využity jejich ekvivalentní hladiny, které jsou v průběhu času konstantní a reprezentují časový průběh náhodného procesu každého z vlivů. Jedním číslem

Lze pak vyjádřit ekvivalentní výkon, který reprezentuje množství energie náhodného procesu a se kterým se mnohem jednodušeji počítá.

Výsledné hladiny stresu potom představují výsledky energetické bilance působících vlivů. Ve své podstatě hladiny stresu představují „bezrozměrné“ číslo, které udává poměr intenzity přijaté vůči intenzitě požadované. Jde tedy o procentuální vyjádření v decibelech, o kolik se intenzita díky přenosu snížila.

Původně byl zamýšlen přímý součet dílčích hladin stresu jednotlivých vlivů, avšak z myšlenky se ustoupilo z důvodu nedostatečného opodstatnění, proč to tak dělat. Nakonec se celková hladina stresu pro všechny vlivy spočítá jako energetický součet, i za předpokladu, že se sčítají různé druhy energií. Nicméně tato myšlenka byla přehodnocena a následně bylo přistoupeno k výpočtu energetického součtu, kdy se výsledná celková hladina řídí největší hodnotou dílčí hladiny intenzity působícího vlivu.

## 8.7. PROCES OPTIMALIZACE

Do praktické části se již bohužel nevešly příklady optimalizace všech systémových celků vozidla. Avšak jeden názorný příklad návrhu akustické izolace podlahy byl zahrnut. Na uvedeném příkladu byly demonstrovány a položeny základní principy a vztahy pro postup optimalizace dalších systémových částí. Tyto principy byly publikovány v oblasti návrhu přenosových cest [3].

Hlavním ukazatelem optimalizace je celková hladina stresu, která se řídí největší dílčí hladinou stresu daného vlivu. Byly stanoveny optimalizační parametry jako je hladina plasticity, rovnoměrnosti, tonality, expozice a výkonově spektrální hustoty. Tyto parametry odpovídají optimalizačním kritériím, které slouží k získání opodstatnění optimalizačních kroků.

Byly navrženy limitní hodnoty optimalizačních kritérií, tak aby nejlépe vystihovaly situaci matematického modelu a vnesli ponětí o tom, zda je výsledná intenzita v místě pozorovatele dvakrát a desetkrát vyšší, nebo nižší, než je hodnota intenzity požadovaná. Metodika nenařizuje striktní použití těchto kritérií, mohou být změněny dle potřeb projektanta.



## 9. ZÁVĚR DIZERTAČNÍ PRÁCE

Návrh kolejových vozidel je složitý a nákladný proces, zejména ve fázi výroby a uvedení do provozu. Proto je žádoucí vynakládat větší úsilí v prvních fázích konceptu a snažit se odhalovat případné nedostatky již na papíře. Ačkoliv je vývoj konvenční železnice svázán řadou legislativních, normativních a zákaznickem specifikovaných pravidel, je potřeba se zaměřovat na oblasti zejména lidského faktoru, které nejsou dostatečně vtisknuty do předpisů a kde je možné tvořit a bádát.

Trend železniční dopravy roste a poptávka po kvalitní přepravě se projevuje již v návrhu kolejového vozidla. Stále více se cílí na konečného uživatele, tedy cestujícího, strojvedoucího nebo členy údržby. Existuje řada metod pro železniční aplikace, jak vyhodnotit kvalitu vnitřního prostředí vozidla. Metody jsou zaměřené na vlastní obor zájmu, tedy obor akustiky, fotometrie, dynamiky a řízení tepelného prostředí. Nebyla zjištěna jediná metodika, která by popisovala hodnocení vnitřního prostředí kolejového vozidla v souvislosti s parametry prostředí, jako je intenzita zvuku, intenzita zrychlení, intenzita osvětlení a intenzita tepla ve vztahu s lidským faktorem.

Cílem této práce bylo navrhnout jednotnou metodiku hodnocení vnitřního prostoru vozidla v souvislosti s návrhem a optimalizací jeho systémových komponent. Metodika představuje matematický model - nástroj, který je možné aplikovat v souladu s ergonomickými metodami a antropometrickými přístupy.

Přínosem této práce bylo prokázání možnosti hodnotit zdánlivě odlišné fyzikální světy jednotným matematickým přístupem, pomocí logaritmických funkcí. Filozofií metodiky je energetická synergie systému ČLOVĚK – PROSTŘEDÍ – VOZIDLO. Logaritmické funkce jsou aplikovány na základě Weber-Fechnerova zákona. Díky logaritmickým funkcím je zohledněna fyziologie vnímání podnětů okolního prostředí člověkem.

Princip metodiky je založen na sestavení pomyslných přenosových cest mezi potenciálními zdroji vozidla a místem pozorovatele. Samotná konstrukce vozidla v počáteční fázi není zahrnuta, jsou využity pouze časové průběhy intenzit pro jednotlivé zdroje, které vozidlo během simulovaného provozu generuje.

Výsledkem přenosových cest je výpočet tzv. *hladin stresu*, tedy rozdílu vypočítané hladiny intenzity v místě pozorovatele a hladiny intenzity požadované. Paralelně se ve vztahu k lidskému faktoru počítají dále hladiny stresu výkonově spektrální hustoty přenosu a jeho časové expozice.

Hladiny stresu intenzity se stávají hlavním optimalizačním parametrem. Jsou stanoveny optimalizační kritéria hodnocení prostředí, jako jsou hladina rovnoměrnosti, hladina plasticity a hladina tonality. Podle toho, zda-li hodnoty těchto optimalizačních hladin odpovídají stanoveným kritériím, přistupuje projektant k fázi systémové integrace kritických komponent.

Návrh metodiky je použitelný jak v koncepční fázi návrhu kolejového vozidla, tak v průběhu vývoje a realizace vozidla. V návrhu lze s každou úpravou parametrů metodiku iterativně opakovat a zvyšovat tak přesnost a komplexivitu návrhu. Tímto lze metodiku aplikovat jako kontrolní nástroj udržitelnosti kvality návrhu a lze získat komplexní porozumění celkové situace konceptu.

Kombinace grafického vyjádření, logaritmické matematiky a sestavení energetických cest ukázalo, že lze aplikovat funkční komplexní matematický model systému ČLOVĚK - VOZIDLO - PROSTŘEDÍ, který funguje jak na papíře s kalkulačkou a tužkou v ruce, tak i v oblasti 3D CAD a výpočetních software. Návrh metodiky,

- umožňuje přidávat nebo ubírat jednotlivé vlivy prostředí,
- je matematicky konzistentní,
- systematicky hodnotí parametry vozidla pomocí hladiny stresu,
- stanovuje celkový stupeň příslušné izolace kritického komponentu.

## 9.1. VÝZNAM PRÁCE PRO PRAXI

V oblasti konstrukce kolejového vozidla je mnoho oborů, které se vzájemně prolínají, doplňují a ovlivňují. Kolejová vozidla jsou v dnešní době navrhována především podle směrnic TSI, která kvalitu vnitřního prostředí vozidla neřeší. Vyhlášky UIC do jisté míry vnitřní prostředí kolejových (zejména konvenční železnice) vozidel předepisovaly s důsledkem unifikace konstrukčních řešení.

Zpracování vnitřní stavby vozidla je limitováno pouze otevřenou tržní ekonomikou a důsledky mohou být kontraproduktivní z důvodu ceny. Je na snaze tyto situace odhalovat již ve fázi návrhu vozidla a jít celkovému řešení naproti. Hlavní motivací je potom právě spokojený cestující a potenciál, který má konvenční i nekonvenční kolejová doprava.

Tato práce významně přispívá k rozvoji konstrukčního myšlení při návrhu kolejových vozidel. Zejména v návrhu vozidel osobní dopravy se více prosazují metody ergonomie a biomechaniky. V porovnání s předchozí prací autora „Modulární řešení regionální jednotky“ [12] zde nastává zásadní zlom v přístupu v návrhu interiéru. Ačkoliv předmětem diplomové práce bylo zhodnotit různá technická modulární řešení, výsledky disertační práce naznačují, že tento trend můžeme mít zásadní dopad na cestovní pohodu a vnímání celkového dojmu technického řešení. Zdánlivě jediný nedostatek jediné oblasti v kontextu návrhu interiéru může dehonestovat technologické aplikace vozidla jako celku. A to není cílem konstrukce kolejových vozidel.

## 9.2. MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU

Tato práce předkládá návrh metodiky a její rozbor krok po kroku. Tímto se otvírají dveře pro další vývoj metodiky, kde možné pokračovat v její rozvoji, zejména pak v oblastech:

- Výzkum v oblasti logaritmického exponentu  $a$  – *citlivostní parametr*
- Propracování rovnic přenosových funkcí
- Příprava pro 3D CAD rozhraní a potřebné algoritmy
- Upřesnění metod pro zpracování signálu a jejich hodnocení
- Upřesnění metod optimalizace a zpřesňování kritérií optimalizace



## 10. REFERENCE

- [1] MÁLEK, Lukáš, 2019. Ergonomie v kolejových vozidlech. In: 24. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA - PRORAIL: SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLAJOVÝCH VOZIDLÁCH. Žilina: Univerzita v Žilíně. ISBN 978-80-89276-59-2. 24(vol. 2), s. 27 – 35.
- Publikace online:  
[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2019\\_Lukas\\_Malek\\_Ergonomie\\_v\\_kolejovych\\_vozidlech.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2019_Lukas_Malek_Ergonomie_v_kolejovych_vozidlech.pdf)
- Publikace fyzicky dostupná na adrese (1): Univerzitní knihovna Univerzity v Žilíně, Vysokoškolákov 3236/24, 010 08 Žilina-Vlčince, web: <http://ukzu.uniza.sk/>
- Publikace fyzicky dostupná na adrese (2): Siemens Mobility s. r. o., Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web: <https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>
- [2] MÁLEK, Lukáš, 2019. Study of methodology integration into 3D Human CAD system: Setting of the method of railway vehicle components system integration to achieve the optimal environment in the vehicle's interior. Praha. Akademická studie. České vysoké učení technické. Vedoucí práce prof. Ing. Ladislav Rus, DrSc., s. 28.
- Publikace online:  
[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2019\\_Lukas\\_Malek\\_Study\\_of\\_methodology\\_integration\\_into\\_3D\\_Human\\_CAD\\_system.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2019_Lukas_Malek_Study_of_methodology_integration_into_3D_Human_CAD_system.pdf)
- Publikace fyzicky dostupná na adrese (1): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav 12120, Odbor automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, Technická 4, 160 00 Praha 6, web: <https://www.fs.cvut.cz/ustavy/sekce-ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel/ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel-12120/ustav-12120/>
- Publikace fyzicky dostupná na adrese (2): Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web: <https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>
- [3] MÁLEK, Lukáš, 2018. Evaluation of the travel comfort of the passengers - relationship between the vehicle and the environment. In: Efektivní dopravou k udržitelné mobilitě: VII. mezinárodní vědecká konference Dopravní fakulty Jana Pernera, Česká republika: Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera. 7(11). ISBN 978-80-7560-152-0 (pdf), s. 1195 – 1207.
- Publikace online (1):  
[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2018\\_Lukas\\_Malek\\_Evaluation\\_of\\_the\\_travel\\_comfort\\_of\\_the\\_passengers\\_Relationship\\_between\\_the\\_vehicle\\_and\\_the\\_environment.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2018_Lukas_Malek_Evaluation_of_the_travel_comfort_of_the_passengers_Relationship_between_the_vehicle_and_the_environment.pdf)

Publikace online (2):

<https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/71810/122135.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Publikace fyzicky dostupná na adrese (1): Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2, web: <https://www.upce.cz>

Publikace fyzicky dostupná na adrese (2): Siemens Mobility s. r. o.,  
Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web:  
<https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

Sborník online: <https://eshop.upce.cz/epub/9005277/>

- [4] MÁLEK, Lukáš. ARORA Rahul , 2017. Color perception and finishing strategies for solutions of interiors of rolling stocks. In: Railway Interiors Expo Conference 2017: Konference s mezinárodní účastí. Praha, Česká republika, s. 26.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2017\\_Lukas\\_Malek\\_Color\\_perception\\_and\\_finishing\\_strategies.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2017_Lukas_Malek_Color_perception_and_finishing_strategies.pdf)

Publikace fyzicky dostupná na adrese (1): UKi Media & Events, Abinger House, Church Street, Dorking Surrey RH4 1DF, Telephone: +44 (0) 1306 743744, Email: [info@ukimediaevents.com](mailto:info@ukimediaevents.com)

Publikace fyzicky dostupná na adrese (2): Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web: <https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

- [5] MÁLEK, Lukáš, 2017. PŘÍČINY A NÁSLEDKY CESTOVNÍ POHODY V NÁVRHU KOLEJOVÉHO VOZIDLA. In: Současné problémy v kolejových vozidlech 2017: XXIII. Konference s mezinárodní účastí. Pardubice, Česká republika: Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera. ISBN 978-807560-085-1, s. 249-257.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2017\\_Lukas\\_Malek\\_Priciny\\_a\\_nasledky\\_cestovni\\_pohody\\_v\\_navrhu\\_kolejoveho\\_vozidla.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2017_Lukas_Malek_Priciny_a_nasledky_cestovni_pohody_v_navrhu_kolejoveho_vozidla.pdf)

Publikace fyzicky dostupná na adrese: Univerzitní knihovna Univerzity Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2, web:  
<https://katalog.upce.cz/records/2c97783f-0336-4bc1-a197-cb4496d292fd?back=https%3A%2F%2Fkatalog.upce.cz%2Frecords%2F8a10e4df-5d06-4531-a144-03e9d03a43c2&group=2c97783f-0336-4bc1-a197-cb4496d292fd>

Informace o publikaci Web of Science online:

[https://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=E1LrI2KtJ76lAhjHnGb&page=7&doc=63](https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=E1LrI2KtJ76lAhjHnGb&page=7&doc=63)

Sborník zařazen do databáze Web of Science:

[https://apps.webofknowledge.com/OneClickSearch.do?product=WOS&search\\_mode=OneClickSearch&excludeEventConfig=ExcludelfFromFullRecPage&colName=WOS&SID=F1SkeVt3u965FEnXOYy&field=ED&value=Michalkova,%20BV](https://apps.webofknowledge.com/OneClickSearch.do?product=WOS&search_mode=OneClickSearch&excludeEventConfig=ExcludelfFromFullRecPage&colName=WOS&SID=F1SkeVt3u965FEnXOYy&field=ED&value=Michalkova,%20BV)

- [6] MÁLEK, Lukáš, 2017. Prezentace na téma: Dveřní, mezivozové a nástupní systémy v kolejových vozidlech. In: RailAcademy, Siemens Mobility s.r.o., s. 57.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2017\\_Lukas\\_Malek\\_Dverni\\_mezivozove\\_ve\\_nastupni\\_systemy\\_v\\_kolejovych\\_vozidlech.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2017_Lukas_Malek_Dverni_mezivozove_ve_nastupni_systemy_v_kolejovych_vozidlech.pdf)

Publikace dostupná fyzicky na adrese: Siemens Mobility s. r. o.,  
Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web:

<https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

- [7] MÁLEK, Lukáš, 2016. In: Akustická a optická pohoda. Mezinárodní odborná konference na téma Cestující v přepravním procesu, Vendryně 2016, vědecká konference Dopravní fakulty Jana Pernera, Česká republika: Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera, pod záštitou Českých drah a.s., s. 16.

Publikace online (1):

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2016\\_Lukas\\_Malek\\_Akusticka\\_a\\_opticka\\_pohoda.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2016_Lukas_Malek_Akusticka_a_opticka_pohoda.pdf)

Publikace online (2):

[https://kulatystul.upce.cz/2016/P%F8edn%E1%9Aky/04\\_Malek.pdf](https://kulatystul.upce.cz/2016/P%F8edn%E1%9Aky/04_Malek.pdf)

Publikace dostupná fyzicky na adrese (1): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav 12120, Odbor automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, Technická 4, 160 00 Praha 6, web:

<https://www.fs.cvut.cz/ustavy/sekce-ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel/ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel-12120/ustav-12120/>

Publikace dostupná fyzicky na adrese (2): Siemens Mobility s. r. o.,  
Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web:

<https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

Seznam příspěvků konference online:

<https://kulatystul.upce.cz/2016/Prispevky%20CZ.html>

- [8] MÁLEK, Lukáš, 2016. Setting of the method of railway vehicle components system integration to achieve the optimal environment in the vehicle's interior. Czech Technical University. Dissertation Study. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Ladislav Rus, DrSc., s. 25.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2016\\_Lukas\\_Malek\\_Dissertation\\_Study\\_Setting\\_of\\_the\\_method\\_of\\_railway\\_vehicle\\_components\\_system\\_integration\\_to\\_achieve\\_the\\_optimal\\_environment\\_in\\_the\\_vehicles\\_interior.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2016_Lukas_Malek_Dissertation_Study_Setting_of_the_method_of_railway_vehicle_components_system_integration_to_achieve_the_optimal_environment_in_the_vehicles_interior.pdf)

Publikace dostupná fyzicky na adrese (1): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav 12120, Odbor automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, Technická 4, 160 00 Praha 6, web:

<https://www.fs.cvut.cz/ustavy/sekce-ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel/ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel-12120/ustav-12120/>

Publikace dostupná fyzicky na adrese (2): Siemens Mobility s. r. o., Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web:

<https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

- [9] MÁLEK, Lukáš, PRELL, Roman, 2015. Prezentace na téma: Studie nástupu hendikepovaných cestujících při aplikaci specifikace TSI PRM. In: MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA - PRORAIL: SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLEJOVÝCH VOZIDLÁCH. Žilina: Univerzita v Žilině. s. 15.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2015\\_Lukas\\_Malek\\_Roman\\_Prell\\_Studie\\_nastupu\\_hendikepovanych\\_cestujicich\\_pri\\_aplikaci\\_specifikace\\_TSI\\_PRM.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2015_Lukas_Malek_Roman_Prell_Studie_nastupu_hendikepovanych_cestujicich_pri_aplikaci_specifikace_TSI_PRM.pdf)

Publikace fyzicky dostupná na adrese: Siemens Mobility s. r. o., Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web:

<https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

- [10] MÁLEK, Lukáš, 2014. Odezvy lidského organismu na akustické podněty: Odborné sympóziu projektu NOVIBRAIL - Hlukové emise a vibrace v systému železnice. Hlavní řešitel projektu: Výzkumný ústav železniční, a.s. ve spolupráci s Dopravní fakultou Jana Pernera Univerzita Pardubice a Výzkumným ústavem kolejových vozidel, s. r. o., Pardubice, s. 49.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2014\\_Lukas\\_Malek\\_Odezvy\\_lidskeho\\_organizmu\\_na\\_akusticke\\_podnety.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2014_Lukas_Malek_Odezvy_lidskeho_organizmu_na_akusticke_podnety.pdf)



Publikace fyzicky dostupná na adrese: Siemens Mobility s. r. o.,  
Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web:  
<https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

- [11] MÁLEK, Lukáš, 2014. Prezentace na téma: Úvod do estetiky kolejových vozidel. In: Design v konstrukci strojů: seminář Strojní fakulty ČVUT, Česká republika: České Vysoké Učení Technické v Praze, s. 32.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2014\\_Lukas\\_Malek\\_Uvod\\_do\\_estetiky\\_kolejovych\\_vozidel.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2014_Lukas_Malek_Uvod_do_estetiky_kolejovych_vozidel.pdf)

Publikace fyzicky dostupná na adrese: Siemens Mobility s. r. o.,  
Siemensova 1, 155 00 Praha 13 Stodůlky, web:  
<https://www.mobility.siemens.com/cz/cs.html>

- [12] MÁLEK, Lukáš, 2009. Modulární řešení regionální jednotky. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní, Odbor automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, U12120, DP2009–K01, s. 105. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Kolář, Csc.

Publikace online:

[https://www.lukasmalek.cz/publikace/2009\\_Lukas\\_Malek\\_DP\\_Modularni\\_rezeni\\_regionalni\\_jednotky.pdf](https://www.lukasmalek.cz/publikace/2009_Lukas_Malek_DP_Modularni_rezeni_regionalni_jednotky.pdf)

Publikace dostupná fyzicky na adrese: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav 12120, Odbor automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, Technická 4, 160 00 Praha 6, web:  
<https://www.fs.cvut.cz/ustavy/sekce-ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel/ustav-automobilu-spalovacich-motoru-a-kolejovych-vozidel-12120/ustav-12120/>

### *Akademické práce*

- [13] MARJANEN, Ykä, 2010. Validation and improvement of the ISO 2631-1 (1997) standard method for evaluating discomfort from whole-body vibration in a multi-axis environment. Loughborough. Disertace. Loughborough University.
- [14] BAUMRUK, Martin, 2011. Nové metody pro vývoj leteckých konstrukcí s ohledem na lidský faktor a ergonomii. Praha. Disertační práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Daniel Hanus, CSc.
- [15] STŘELKA, Eduard, 2017. Použití Ishikawových nástrojů řízení jakosti v různých typech výrob. Praha. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Mach CSc.



- [16] HRYZ, Petr, 2018. Čtyřnápravový elektrický trakční vůz pro regionální dopravu. Praha. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Kalivoda PhD.
- [17] MÁLEK, Lukáš, 2009. Modulární řešení regionální jednotky. Odbor automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Kolář, Csc.
- [18] FANGER, P. O., 1970. Thermal comfort : analysis and applications in environmental engineering. Denmark. Dizertační práce. Danmarks Tekniske Højskole.

### Článek

- [19] DUMITRIU, Mă a Mihai LEU. *Correlation between Ride Comfort Index and Sperling's Index for Evaluation Ride Comfort in Railway Vehicles*. Applied Mechanics and Materials [online]. 2018, vol. 880, s. 201-206. ISSN 16609336.
- [20] KUMAR, Vivek, Vikas RASTOGI a PM PATHAK, 2016. *Simulation for whole-body vibration to assess ride comfort of a low-medium speed railway vehicle*. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International. SAGE, 93(3), 225-236. DOI: 10.1177/0037549716679254.
- [21] ZHOU, Danfeng, Peichang YU, Lianchun WANG a Jie LI, 2017. An adaptive vibration control method to suppress the vibration of the maglev train caused by track irregularities: Maglev Engineering Center. Journal of Sound and Vibration. 408(0022-460X), 331-350.
- [22] ARSENE, Sorin a Ioan SEBESAN, 2016. *Analyze of aerodynamic forces acting on the Siemens Desiro railcar*. INCAS BULLETIN. 8(2), 15-24. DOI: 10.13111/2066-8201.2016.8.2.2. ISSN 2066-8201.
- [23] SU, Jufeng, Yamin SUN a Yuyang LIU, 2018. Complexity Study on the Unsteady Flow Field and Aerodynamic Noise of High-Speed Railways on Bridges. Complexity: Complexity of Construction Mega Infrastructure Project. 2018(Article ID 7162731), 16. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/7162731>.
- [24] Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr - Grundlagen der Schall- und Schwingungstechnik - Praxisorientierte Anwendung von Schall- und Erschütterungsmaßnahmen (F. Krüger u. a.). Bauphysik. 2001, vol. 23, no. 6, s. 377-377. ISSN 0171-5445
- [25] VAN DER MADE, Joost, 2019. Forward View: Having spearheaded the design of a futuristic train interior concept. Railway Interiors International. MA Aviation & Auto International, První(2019), 31 - 36. ISSN 1744-2281.

- [26] BASRI, Bazil a Michael J. GRIFFIN, 2014. The application of SEAT values for predicting how compliant seats with backrests influence vibration discomfort. *Applied Ergonomics*. 1(45), 1461 - 1474.
- [27] KUPKA, PhD., Libor, 2012. Hodnocení vibrací působících na řidiče sedícího na aktivně řízeném sedadle. *SGFEI03/2012 Univerzity Pardubice*. 7(3), 15.
- [28] What are we estimating when we fit Stevens' power law?, 2016. *Journal of Mathematical Psychology*. 2016(75), 137 - 149.
- [29] MATOUŠEK, CSC., PhDr. Oldřich, Mudr. Jaroslav BAUMRUK a Dr. Karel HELMICH, MÁLEK, MUDr. Bohuslav, ed., 1998. *Vibrace*. České centrum zdraví. Praha: Státní zdravotní ústav, 1. vydání(1), 1.
- [30] HARRIS, James Arthur; BENEDICT, Francis Gano. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. In: *Proc Natl Acad Sci U S A*. Washington: NAS, 1918. Dostupné online. DOI:10.1073/pnas.4.12.370. Svazek 4. S. 370–3.
- [31] BROACKES, Justin. Unilateral colour vision defects and the dimensions of dichromat experience. *Ophthalmic & Physiological Optics*. 2010, vol. 30, no. 5, s. 672-684. ISSN 0275-5408.
- [32] YOUNG, Thomas, 1802. Bakerian Lecture: On the Theory of Light and Colours. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 92:12–48. doi: 10.1098/rstl.1802.0004

### *Príspevek ve sborníku*

- [33] KAJIYA, James T., 1986. The rendering equation. In: *Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. Dallas: ACM. ISBN 0-89791-196-2.
- [34] SNĚHOTA, Pavel a Jiří HABEL, 2009. Prostorové rozložení jasu a barev a jeho vliv na zrakovou pohodu. *10th International Scientific Conference on Electric Power Engineering 2009*: Elsevier B.V.

### *Elektronická kniha*

- [35] BRINKERHOFF, Bram N, c2009. *Ergonomics: design, integration, and implementation* [online]. New York: Nova Science Publishers, xii, 288 p. [cit. 2015-02-04]. ISBN 978-160-6923-276. Dostupné z: <http://www.proquest.com/>
- [36] *Handbook of human factors and ergonomics* [online], c2012. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, xx, 1732 s. [cit. 2015-02-04]. ISBN 978-0-470-52838-9. Dostupné z: [https://aleph.cvut.cz:443/F?func=direct&doc\\_number=000745726&local\\_base=DUPL&format=999](https://aleph.cvut.cz:443/F?func=direct&doc_number=000745726&local_base=DUPL&format=999)

## *Publikace*

- [37] CHUNDELA, Lubor, 2013. Ergonomie. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [38] FEYNMAN, Richard Phillips, Matthew SANDS a Robert B. LEIGHTON, 2000. Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady. Havlíčkův Brod: Fragment. ISBN 978-80-7200-405-8. Kapitola 24: Přechodové jevy
- [39] Anthropometric Source Book: A Handbook of Anthropometric Data, Vol. 2. Technical Report NASA RP-1024.
- [40] OCHMANN, M., Berechnung psychoakustischer Metriken mit MATLAB für die Automobilindustrie [online]. [cit. 2015-1-31].
- [41] KUPILÍK, Václav, 1994. Zdravotní nezávadnost stavebních konstrukcí I: vlhkost a uvolňování škodlivin do ovzduší. Praha: Ústav stavebních informací Praha, 47 s. ISBN 80-853-8034-X.
- [42] MELKA, Alois, 2005. Základy experimentální psychoakustiky. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 327 s. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 80-733-1043-0.
- [43] NIGG, Benno Maurus a W HERZOG, c1999. Biomechanics of the musculo-skeletal system. 2nd ed. New York: Wiley, xii, 643 p. ISBN 04-719-7818-3.
- [44] NOVÝ, Richard, 2000. Hluk a chvění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 389 s. ISBN 80-010-2246-3. Komplet
- [45] NOVÝ, Richard, 2006. Technika prostředí. Praha: Vydavatelství ČVUT, 265 s. ISBN 80-010-2108-4. Kapitoly: 1, 2, 3, 4 a 8.
- [46] PARSONS, K. C. a Taylor & Francis eBooks (online SLUŽBA), 2014. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. Third. Boca Raton: CRC Press.
- [47] Příručka elektroakustiky, 1964. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. ISBN 04-550-64.
- [48] STEVENS, S. S. a Geraldine STEVENS, c1986. Psychophysics: introduction to its perceptual, neural, and social prospects. New Brunswick, U.S.A.: Transaction Books. ISBN isbn978-0-88738-643-5.
- [49] ŠIKL, Radovan, 2012. Zrakové vnímání. Praha: Grada, 312 s. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5. Kapitola 2: Světlo, oko, mozek; 3: Vnímání barev;

- [50] TILLMAN, Barry, David J. FITTS, Wesley E. WOODSON, Rhonda ROSE-SUNDHOLM a Peggy TILLMAN, [2016]. Human factors and ergonomics design handbook. Third edition. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-170287-4. Part 4: Human factors data, Chapter 40: Thermal Response; 41: Visual Response; 42: Auditory Response; 44: Acceleration Response; 45: Vibration Response; 50: Information Processing
- [51] KOLÁŘ, Josef a České vysoké učení technické v Praze. Strojní fakulta. *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 9788001042625;8001042626;.
- [52] WAGNER, Jaroslav. Encyklopedie železnice. Vyd. 1. Praha: Corona, 2007. ISBN 8086116441;9788086116440;8086116409;9788086116402;.
- [53] PLOCEK, Robert, 2009. *TRANSRAPID: Seminární práce k projektu Železniční síť ČR a Evropy*. 2009. Praha: ČVUT FD.
- [54] THOMPSON, David, Chris JONES a Pierre-Etienne GAUTIER. Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control [online].GB: Elsevier Science, 2009;2008;. ISBN 9780080451473;0080451470;.
- [55] FREIBAUER, Ladislav, Ladislav RUS a Josef ZHRÁDKA. Dynamika kolejových vozidel. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1991. ISBN 807030104X;9788070301043;.
- [56] HABEL, Jiří, 2011. Elektrické světlo 1: Řešené příklady, ČVUT Fakulta Elektrotechnická. Praha.
- [57] The Lighting Handbook: Zumtobel Lighting, 2018. 6th. Dornbirn.
- [58] VYCHYTIL, Jaroslav, Jan KAŇKA a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. Stavební světelná technika: přednášky. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 9788001060605;8001060608;.
- [59] DIMON, Theodore Jr., 2017. Anatomie těla v pohybu: Základní kurz anatomie kostí, svalů a kloubů. Druhé, revidované vydání. Praha: PRAGMA. ISBN 978-80-7549-158-9.
- [60] HERING, Ewald, 1878. Zur Lehre vom Lichtsinne: Sechs Mittheilungen an die Kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. 2nd ed. Wien: C. Gerold's Sohn

### *Vyhlášky UIC*

- [61] UIC 553 – Topení, ventilace a klimatizace v cestovních vozech



- [62] UIC 560 – Dveře, nástupy, okna, můstky a madla cestovních a zavazadlových vozů
- [63] UIC 561 – Mezivozové přechody cestovních vozů
- [64] UIC 562 – Police, věšáky a šatníky
- [65] UIC 563 – WC pro invalidy
- [66] UIC 565 – Pokyny pro vybavení vozů pro invalidy
- [67] UIC 566 – Zatížení vozové skříňe a jejich komponentů (pevnostní výpočty)
- [68] UIC 567 – Obecná ustanovení pro osobní vozy (sedadla)
- [69] UIC 651 – Uspořádání stanoviště strojvedoucího

*Normy pro železniční aplikace:*

- [70] ČSN EN 13129-1: Železniční aplikace - Klimatizace pro kolejová vozidla hlavních tratí
- [71] ČSN EN 14750-1: Železniční aplikace – Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla – Parametry pohodlí.
- [72] ČSN EN 15892: Železniční aplikace – Emise hluku – Měření hluku uvnitř kabiny strojvedoucího.
- [73] ČSN EN 16286-2: Železniční aplikace – Zařízení pro přechod mezi vozidly – Akustická měření.
- [74] ČSN EN ISO 3381: Železniční aplikace – Akustika – Měření hluku uvnitř kolejových vozidel.
- [75] DIN EN 12299: Železniční aplikace – Jízdní pohoda pro cestující – Měření a hodnocení
- [76] EN 12 663: Železniční aplikace - Konstrukční požadavky na skříňe kolejových vozidel, 2001
- [77] ČSN EN 14752: Dveřní systémy pro kolejová vozidla

### *Normy ergonomie:*

#### ***Teplo:***

- [78] ČSN ISO 7726: Tepelné prostředí. Přístroje a metody.
- [79] ČSN EN ISO 7730: Ergonomie tepelného prostředí – Analyticky stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu
- [80] ČSN EN ISO 7933: Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného stresu pomocí výpočtu předpovídané tepelné zátěže.
- [81] ČSN EN ISO 8996: Ergonomie tepelného prostředí – Určování metabolismu.
- [82] ČSN EN ISO 9920: Ergonomie tepelného prostředí – Hodnocení tepelné izolace oděvu a odporu oděvu proti odpařování.
- [83] ČSN EN ISO 11079: Ergonomie tepelného prostředí – Stanovení a interpretace stresu z chladu pomocí potřebné izolace oděvu – IREQ a místních účinků chladu.
- [84] ČSN EN ISO 13732-1: Ergonomie tepelného prostředí – Metody posuzování odezvy člověka na kontakt s povrchy – Horké povrchy.
- [85] ČSN EN ISO 13732-3: Ergonomie tepelného prostředí – Metody posuzování odezvy člověka na kontakt s povrchy – Chladné povrchy.
- [86] ČSN EN ISO 14505-2: Ergonomie tepelného prostředí – Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech – Stanovení ekvivalentní teploty.
- [87] ČSN EN ISO 14505-3: Ergonomie tepelného prostředí – Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech – Hodnocení tepelného komfortu pomocí zkušebních osob.
- [88] ČSN EN ISO 15265: Ergonomie tepelného prostředí – Strategie posuzování rizika pro prevenci tepelného stresu nebo diskomfortu v tepelném pracovním prostředí.
- [89] ČSN ISO 10551: Ergonomie tepelného prostředí – Stanovení vlivů tepelného prostředí použitím subjektivních posuzovacích stupnic.
- [90] ČSN EN ISO 9886: Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření.
- [91] ČSN ISO 28996: Ergonomie. Stanovení tepelné produkce organismu.

## ***Hluk***

- [92] ISO 1683 - Akustika. Vybrané referenční veličiny pro hladiny v akustice
- [93] ČSN 011404: Vibrace. Obecné metody pro měření.
- [94] ČSN 011603: Hluk. Metody měření.
- [95] ČSN EN ISO 9612: Akustika – Určení expozice hluku na pracovišti – Technická metoda.
- [96] ČSN ISO 1996-1: Akustika – Popis měření a hodnocení hluku prostředí – Základní veličiny a postupy pro hodnocení.
- [97] ČSN ISO 1996-2: Akustika – Popis měření a hodnocení hluku prostředí – Určování hladin hluku prostředí.
- [98] ČSN ISO 1999: Akustika – Odhad ztráty sluchu vlivem hluku.

## ***Vibrace:***

- [99] ČSN ISO 2631-1: Vibrace a rázy – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Všeobecné požadavky.
- [100] ČSN ISO 2631-2: Vibrace a rázy – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Vibrace v budovách – 1Hz až 80Hz.
- [101] ČSN ISO 2631-3: Vibrace a rázy – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Metoda hodnocení vibrací obsahující sdružené rázy.”
- [102] ČSN ISO 13091-1: Vibrace – Prahy vibrotaktilního cití při posuzování poruchy činnosti periferních nervů – Metody měření na konečcích prstů.
- [103] ČSN ISO 13091-2: Vibrace – Prahy vibrotaktilního cití při posuzování poruchy činnosti periferních nervů – Analýza a interpretace měření na konečcích prstů.
- [104] ČSN 01 1304: Veličiny, jednotky a značky v akustice

## ***Světlo:***

- [105] ČSN 360000: Světelné technické názvosloví.
- [106] ČSN 360004: Umělé světlo a osvětlení.
- [107] ČSN 360008: Oslnění, jeho hodnocení a zábrana
- [108] ČSN 360014: Měření denního osvětlení

- [109] ČSN 360015: Měření umělého osvětlení
- [110] ČSN 360450: Umělé osvětlení vnitřních prostorů.
- [111] ČSN EN 14500: Clony a okenice – Tepelná a zraková pohoda – Zkušební a výpočtové metody.
- [112] ČSN EN 14501: Clony a okenice – Tepelná a zraková pohoda – Funkční charakteristiky a klasifikace.

### *Webová stránka*

- [113] A Bit More About Thermal Cameras and the Images You Get With Them: Thermal Camera Imaging Brought to Your Daily Life, See Things Like Never Before, 2019. THERMAL IMAGING BLOG [online]. Internet: Thermal Imaging Blog [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://thermalimaging-blog.com/tag/thermal-images-2/>
- [114] Databáze demografických údajů za vybraná města ČR, 2019. Český statistický úřad [online]. Praha 10: Český statistický úřad [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/databaze-demografickych-udaju-za-vybrana-mesta-cr>
- [115] Defining Adult Overweight and Obesity, 2017. Centers for Disease Control and Prevention [online]. USA: U.S. Department of Health & Human Services [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/obesity/adult/defining.html>
- [116] DIALUX, 2020. DIALUX [online]. Lüdenscheid: DIALUX [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.dial.de/en/dialux/>
- [117] FEMTC 2011 - Evacuation Modeling Dependence on Input Parameters by Brian Salyers: Holmes Fire for the 2011 Fire and Evacuation Modeling Technical Conference, Youtube [online]. August 15-16, 2011 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=NDjbOh\\_oEwk&list=PLDC1455B5A72253D1&index=31&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=NDjbOh_oEwk&list=PLDC1455B5A72253D1&index=31&t=0s)
- [118] Human-centered design, simulation and ergonomics, 2019. SIEMENS [online]. Siemens Industry Software [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/tecnomatix/human-modeling-and-simulation.html>
- [119] Odeon website, 2020. Odeon website [online]. Odeon website: Odeon website [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://odeon.dk/>
- [120] Sdružené osvětlení, oslnění, 2014. Wikiskripta [online]. 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy: Česko [cit. 2020-01-16]. Dostupné z:



- [https://www.wikiskripta.eu/w/Sdru%C5%BEn%C3%A9\\_osv%C4%Bten%C3%AD,\\_osln%C4%Bn%C3%AD](https://www.wikiskripta.eu/w/Sdru%C5%BEn%C3%A9_osv%C4%Bten%C3%AD,_osln%C4%Bn%C3%AD)
- [121] SIEMENS PLM Software: JACK and JILL [online], [cit. 2017-07-16].  
Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com>
- [122] Tepelné čítí, 2014. Wikiskripta [online]. 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy: Česko [cit. 2020-01-10]. Dostupné z:  
[https://www.wikiskripta.eu/w/Tepeln%C3%A9\\_%C4%8Dit%C3%AD](https://www.wikiskripta.eu/w/Tepeln%C3%A9_%C4%8Dit%C3%AD)
- [123] <http://www.termokamery-flir.cz>
- [124] EfWING [online], 2020. Japonsko: Kawasaki Heavy Industry [cit. 2020-02-11]. Dostupné z:  
<http://global.kawasaki.com/en/mobility/rail/bogie/efwing.html>
- [125] Pohled z vlaku, 2020. Pohledzvlaku.cz [online]. Praha: Svět v bezpečí [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://pohledzvlaku.cz>
- [126] Mireo, 2020. Siemens Mobility [online]. Siemens [cit. 2020-04-11].  
Dostupné z:  
<https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/mireo.html>
- [127] Aerodynamická lokomotiva řady 386.001, 2020. Plzeňští strojívníci [online]. Plzeň: Plzeňští strojívníci [cit. 2020-04-11]. Dostupné z:  
<http://www.strojvedouciplzen.cz/index.php?page=fotografie&id=16833>
- [128] ČD Railjet, 2020. České dráhy website [online]. Praha: České dráhy [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/nase-vlakly/railjet/railjet/-25858/>
- [129] Plzeňská Škoda vyvíjí s akademiky unikátní laminátové metro, 2010.  
In: Lidovky.cz [online]. website: Lidové noviny [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: [https://www.lidovky.cz/byznys/doprava/plzenska-skoda-vyviji-s-akademiky-unikatni-laminatove-metro.A100419\\_112352\\_In-doprava\\_nev](https://www.lidovky.cz/byznys/doprava/plzenska-skoda-vyviji-s-akademiky-unikatni-laminatove-metro.A100419_112352_In-doprava_nev)
- [130] Acoustic properties of..., 2020. Signalprocessing.com [online]. USA: Signal Processing [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.signal-processing.com/table.php>
- [131] Trains Technical Insulation, 2018. ISOVER Technical Insulation, beyond comfort and safety [online]. website: Saint-Gobain [cit. 2020-04-19].  
Dostupné z: <https://www.isover-technical-insulation.com/trains>
- [132] Stadler, 2020. Stadlerrail.com [online]. website: Stadler [cit. 2020-04-19].  
Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/>
- [133] Alstom: Rolling Stock [online], 2020. website: Alstom [cit. 2020-04-19].  
Dostupné z: <https://www.alstom.com/our-solutions/rolling-stock>

- [134] Bombardier: Rolling Stock, 2020. Bombardier [online]. website: Bombardier [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://rail.bombardier.com>
- [135] Nora: Podlahové krytiny, 2020. Nora.com [online]. website: Nora [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.nora.com/>
- [136] First GTR Class 717 for Great Northern making its test rounds, 2018. Railcolornews.com [online]. Berlin: Railcolor [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://railcolornews.com/2018/03/13/uk-first-gtr-class-717-for-great-northern-making-its-test-rounds/>
- [137] TSI PRM, 2014. TSI [online]. Bruxelles: EU [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1300&from=CS#d1e34-168-1>
- [138] VAN DER MADE, Joost, 2018. Mecanoo: NS Vision Interior Train of the Future. Mecanoo.nl [online]. website: Mecanoo [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.mecanoo.nl/Projects/project/229/NS-Vision-Interior-Train-of-the-Future?t=0>
- [139] Nightjet plans mini-capsules for private travellers, 2019. Railgazette [online]. website: Railgazette.com [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/nightjet-plans-mini-capsules-for-private-travellers/55208.article>
- [140] Koncept cestovních kapslí pro Hyperloop v Dubai, 2018. BMW Group [online]. website: BMW [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0281035CS/spole%C4%8Dnost-designworks-a-virgin-hyperloop-one-spoj%C3%AD-sv%C3%A9-s%C3%ADly-p%C5%99i-tvorb%C4%9B-designu-prototypu-osobn%C3%AD-verze-kapsle-pro-hyperloop-v-dubaji?language=cs>
- [141] VivaRail, 2020. VivaRail.co.uk [online]. Stratford upon Avon: VivaRail [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://vivarail.co.uk/>
- [142] Deutsche Bahn, 2020. *Inside Bahn* [online]. Berlin: DB [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://inside.bahn.de/>
- [143] Škoda Transportation, 2020. Škoda [online]. website: Škoda [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/>
- [144] Simpack: Dassault Systeme Simulia, 2020. 3ds.com [online]. website: Dassault Systeme [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/simpack/product-modules/rail-modules/>
- [145] BORCAD, 2020. Borcad.cz [online]. website: Borcad [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.borcad.cz/>

- [146] Compin Fainsa, 2020. Compinfainsa.com [online]. website: Fainsa [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <http://www.compinfainsa.com/>
- [147] Drivers Seats, 2020. Driver-seats.com [online]. website: Drivers-seats [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.drivers-seats.com/>
- [148] Regiojet, 2020. Regiojet.cz [online]. Regiojet [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.regiojet.cz/>
- [149] Liebherr, 2019. Liebherr.com [online]. website: Liebherr [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/>
- [150] Teknoware, 2019. Teknoware.com [online]. website: Teknoware [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [www.teknoware.com](http://www.teknoware.com)
- [151] Syndrom nemocných budov: Bezpečnost práce, 2020. BOZP.cz [online]. website: BOZP [cit. 2020-08-29]. Dostupné z: <https://www.bozp.cz/aktuality/syndrom-nemocnych-budov/>
- [152] POSTŘEH [online]. Praha: Václav Daranský, 2007 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://www.postreh.com/phprs/view.php?cisloclanku=2007100703>

### *Příspěvek, obrázek na webu*

- [153] Bílé světlo, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%ADl%C3%A1>
- [154] Huygensův princip, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Huygens%C5%AFv\\_princip](https://cs.wikipedia.org/wiki/Huygens%C5%AFv_princip)
- [155] Hypothalamus, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hypothalamus>
- [156] Lumen, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lumen>
- [157] Mollierův diagram, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Mollier%C5%AFv\\_diagram](https://cs.wikipedia.org/wiki/Mollier%C5%AFv_diagram)
- [158] NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2017-07-15]. Dostupné z:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/National\\_Institute\\_for\\_Occupational\\_Safety\\_and\\_Health](https://en.wikipedia.org/wiki/National_Institute_for_Occupational_Safety_and_Health)
- [159] Prostorový úhel, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorov%C3%BD\\_%C3%BAhel](https://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorov%C3%BD_%C3%BAhel)
- [160] Radiozita, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radiozita>
- [161] Renderování, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Renderov%C3%A1n%C3%AD>
- [162] Snellův zákon, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Snell%C5%AFv\\_z%C3%A1kon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Snell%C5%AFv_z%C3%A1kon)
- [163] Stevens's power law, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stevens%27s\\_power\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Stevens%27s_power_law)
- [164] Železniční zkušební okruh Cerhenice, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD\\_zku%C5%A1ebn%C3%AD\\_okruh\\_Cerhenice](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_zku%C5%A1ebn%C3%AD_okruh_Cerhenice)
- [165] Weberův–Fechnerův zákon, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Weber%C5%AFv%E2%80%93Fechner%C5%AFv\\_z%C3%A1kon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Weber%C5%AFv%E2%80%93Fechner%C5%AFv_z%C3%A1kon)
- [166] Koněspřežná dráha, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kon%C4%9Bsp%C5%99e%C5%BE%C3%A1\\_dr%C3%A1ha](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kon%C4%9Bsp%C5%99e%C5%BE%C3%A1_dr%C3%A1ha)
- [167] Parní lokomotiva, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD\\_lokomotiva](https://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_lokomotiva)
- [168] Wienův posunovací zákon, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Wien%C5%AFv\\_posunovac%C3%AD\\_z%C3%A1kon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Wien%C5%AFv_posunovac%C3%AD_z%C3%A1kon)



- [169] Stefanova–Boltzmannova konstanta, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Stefanova%E2%80%93Boltzmannova\\_konstanta](https://cs.wikipedia.org/wiki/Stefanova%E2%80%93Boltzmannova_konstanta)
- [170] Přestup tepla, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Přestup\\_tepala](https://cs.wikipedia.org/wiki/Přestup_tepala)
- [171] Měrná tepelná kapacita, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Měrná\\_tepelná\\_kapacita](https://cs.wikipedia.org/wiki/Měrná_tepelná_kapacita)
- [172] Tepelná vodivost, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepelná\\_vodivost](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepelná_vodivost)
- [173] Intenzita osvětlení, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita\\_osvětlení](https://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita_osvětlení)
- [174] Motorový vůz M 290.0, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Motorový\\_vůz\\_M\\_290.0](https://cs.wikipedia.org/wiki/Motorový_vůz_M_290.0)
- [175] Velaro CRH, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRH380B-3661@GZN\\_\(20180923095033\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRH380B-3661@GZN_(20180923095033).jpg)
- [176] MAD, 2019. Prototyp nového čínského maglev vlaku je schopen jet rychlostí téměř 600 km/h. OTechnice.cz [online]. website: oTechnice [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://otechnice.cz/prototyp-noveho-cinskeho-maglev-vlaku-je-schopen-jet-rychlosti-temer-600-kmh/>
- [177] ODEZVA VOZIDEL NA BUZENÍ NÁHODNÝMI PROCESY: Přednáška vysokoškolského studia, 2007. FS ČVUT.
- [178] Engineering Toolbox: Air - Thermophysical Properties, 2003. Engineeringtoolbox.com [online]. website: engineeringtoolbox [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: [https://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d\\_156.html](https://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html)



## 11. ZKRATKY

- [Z1] Technical Specification of Interoperability, 2020. Directorate-General for Mobility and Transport [online]. 1049 Bruxelles/Brussel: European Commission [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/interoperability/interoperability>
- [Z2] Europe Union, 2020. Europe Union Website [online]. Bruxelles/Brussel: Europe Union [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://europa.eu/>
- [Z3] UIC, 2020. UIC The Worldwide Railway Organisation [online]. Paris: Union Internationale des Chemins de Fer [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://uic.org/>
- [Z4] VAL (Véhicule Automatique Léger), 2020. VAL Mini-Metro Line [online]. London, United Kingdom: Verdict Media Limited [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/val/>
- [Z5] Wz – Jakostní číslo chodu
- [Z6]  $N_{MV}$  – Jízdní index
- [Z7] EMS – Elektromagnetický systém dopravy
- [Z8] EDS – Elektrodynamický systém dopravy
- [Z9] INDUTRACK – Magnetický systém dopravy
- [Z10] Hyperloop – Systém dopravy ve vakuu, Hyperloop, 2020. Space X [online]. U.S.A.: Elon Musk [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.spacex.com/hyperloop>
- [Z11] PRM – Persons with Reduced Mobility – Osoby se sníženou mobilitou
- [Z12] HPL – High Pressure Laminate – Vysokotlaký laminát
- [Z13] CAD – Computer Aided Design – Počítačová podpora návrhu
- [Z14] MHD – Městská Hromadná Doprava
- [Z15] HVAC – Heat, Ventilation and Air Condition

## 12. PŘÍLOHY

*Příloha P01 – Motivation Book*

Setting of the method of railway vehicle components system integration to achieve the optimal environment in the vehicles interior.




**MOTIVATION BOOK**

PRAHA, 16.09.2019 Ing. Lukáš Málek

---





**MOTIVATION**



TRAVEL COMFORT AND INTERIOR DESIGN OF RAILWAY VEHICLE IS DEPENDENT ON AN OPEN COMMERCIAL MARKET.

**NO RULES** SYSTEM INTEGRATION OF COMPONENTS AT PRODUCER SIDE AND STANDARDS RECOMMENDATIONS.

FLEXIBILITY AT BID STAGE OF CONCEPT VEHICLE **ATTRACTIVENESS**

TRAIN OFFICE	FAMILY CLASS	CUSTOMER NEEDS	TIME FOR RELAX
			

EXAMPLE OF DUTCH VISION OF TRAVEL CULTURE

Příloha P01 – Motivation Book (pokračování)

# CONCEPT

How the box should look like to make a girl inside fine?

Relationship between HUMAN ENVIRONMENT VEHICLE

## OBJECTIVES

To propose the calculation method enabling to design the vehicles with expedient construction with regards to the passenger comfort.

# HUMAN FACTOR

PERCEPTION OF SOUND, ACCELERATION, LIGHT AND HEAT ENERGY

VISION

HEARING

SENSE OF HEAT

SENSE OF ACCELERATION

WEBER-FECHNER LAW

$$p = k \cdot \ln \frac{S}{S_0}$$

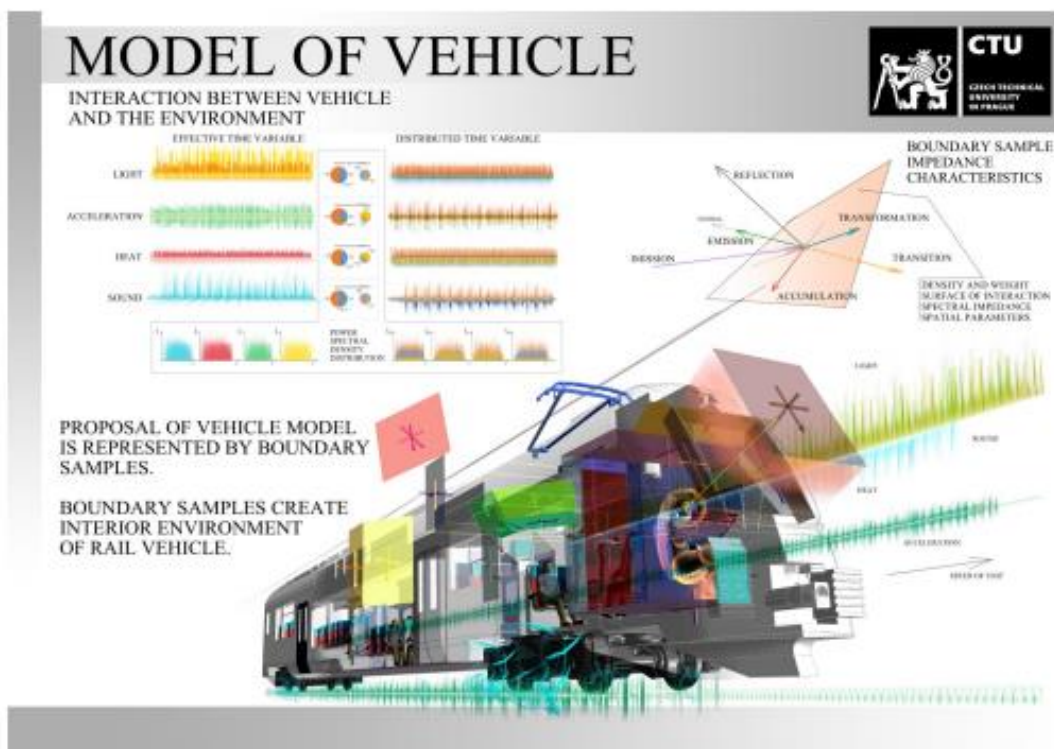
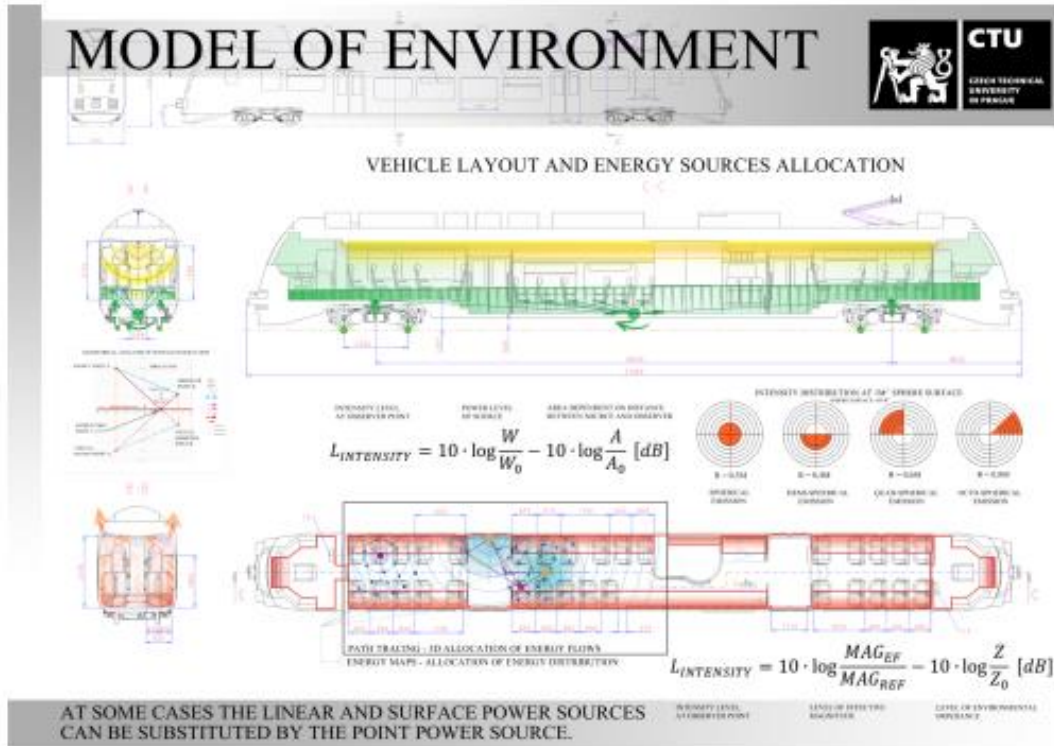
HYGIENIC THRESHOLDS

POWER	POWER LEVEL DEFINITION	REFERENCE VALUE
Acoustic power	$L_p = 10 \cdot \lg (W/W_0)$	$W_{0a} = 10^{-12} W$
Mechanical power		$W_{0m} = 10^{-12} W$
Lighting power		$W_{0l} = 10^{-17} W$
Thermal power		$W_{0t} = 10^{-7} W$

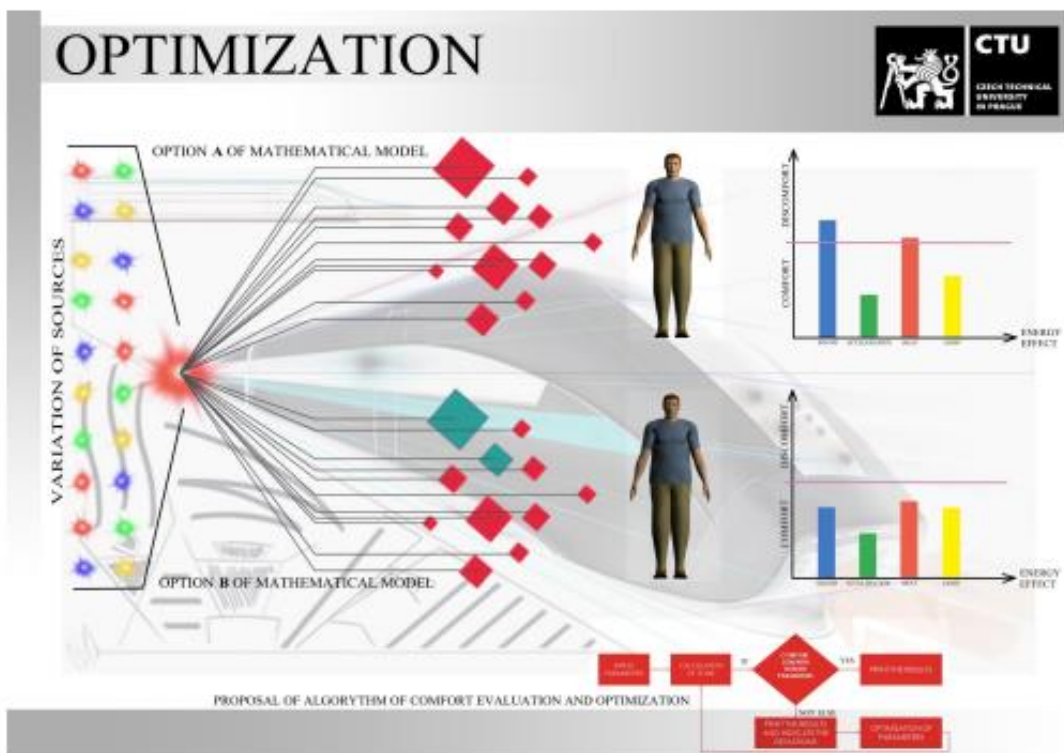
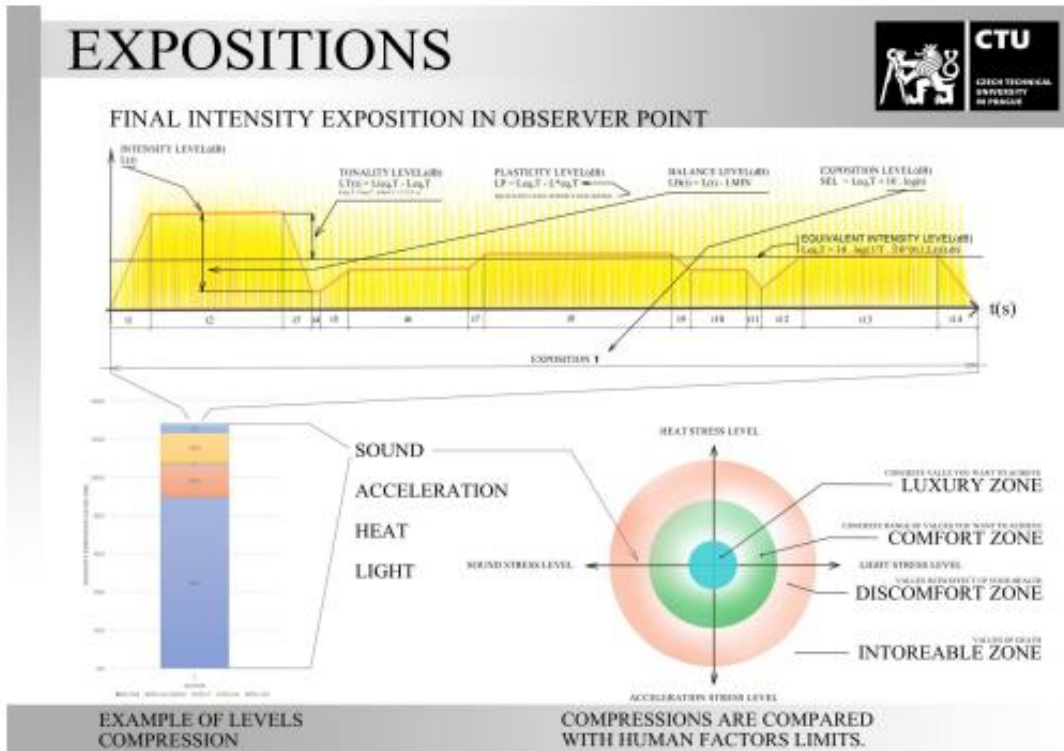
SENSIBILITY CORRECTION



*Příloha P01 – Motivation Book (pokračování)*



Příloha P01 – Motivation Book (konec)



*Příloha P02 – Experiment*

Název experimentu:

Objektivní vliv světelných podmínek barevného řešení interiéru kolejového vozidla na subjektivní vnímání cestujících.

Cíl experimentu:

Cílem je prokázat rozdíly světelných poměrů v interiéru kolejového vozidla za různých světelných podmínek (den, noc) a při různých provedení interiéru vozidel.

Nástroje:

Digitální fotoaparát Sony ILCE-5000L/BCEC

Program Adobe Photoshop CS3

Podmínky experimentu:

- Fotograf umístí fotoaparát doprostřed uličky oddílu pro cestující.
- Jsou vybrány 2 elektrické jednotky:
  - Společnost České Dráhy: elektrická jednotky řady 471 ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1\\_jednotka\\_471](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_jednotka_471))

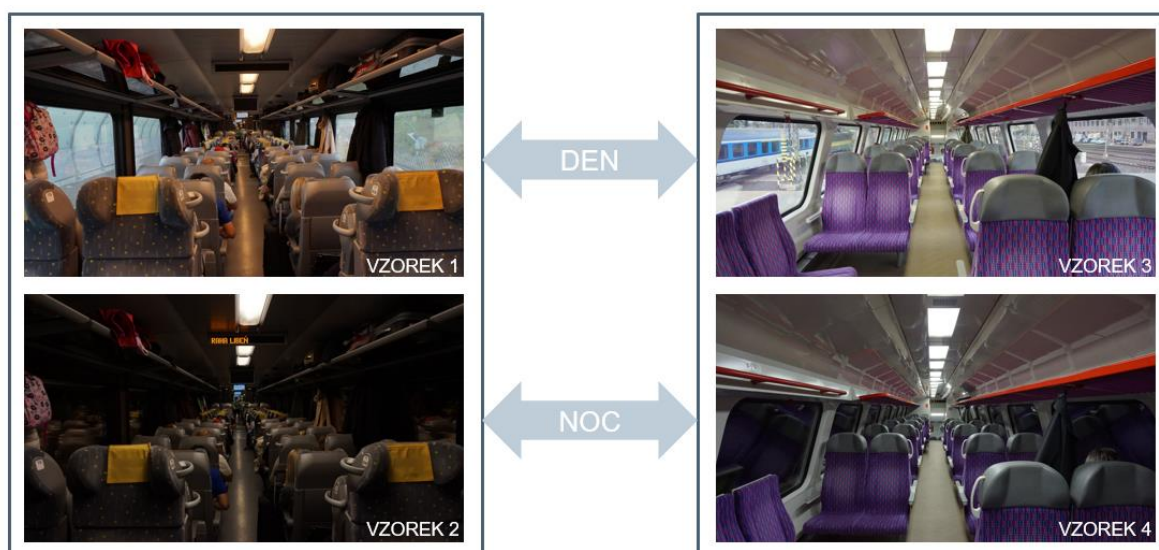


- Společnost LeoExpres: elektrická jednotka řady 480  
([https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1\\_jednotka\\_480](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_jednotka_480))



- Je zajištěno konstantní nastavení fotoaparátu při pořizování snímků
  - Citlivost: ISO 2000
  - Expozice: 1/200 s
  - Pevná světelnost:  $f = 5,6$
- Pořízené snímky (dále jen vzorky) jsou v ten samý den a při stejných světelných podmínkách v rozmezí 1 hodiny a za konstantního počasí.
- Vzorky reprezentující den a noc pro jednotku 471 jsou pořízeny v místě mezi Hlavním nádražím Praha a vjezdem do Vítkovického tunelu směr nádraží Libeň 15:05, 11.11.2017
- Vzorky reprezentující den a noc pro jednotku 480 jsou pořízeny v místě mezi Hlavním nádražím Praha a vjezdem do Vítkovického tunelu směr nádraží Libeň 15:43, 11.11.2017

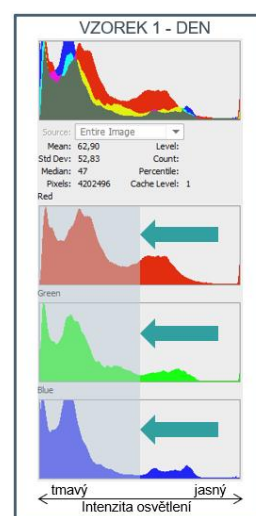




### Metodika hodnocení:

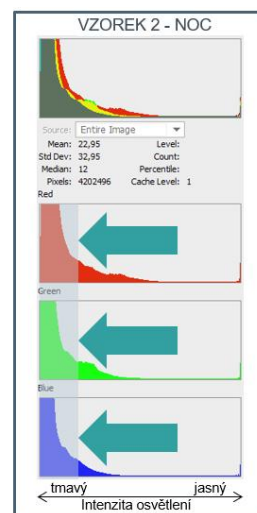
- Jsou pořízeny čtyři vzorky pro denní a noční režim interiéru dvou různých železničních elektrických jednotek 471 a 480, viz obrázek výše.
- Vzorky jsou vzájemně porovnány v programu Adobe Photoshop CS3 (možné použití i jiný grafický editor) z pohledu procentuálního rozložení barev a intenzity jasu fotografií.
- Výkonově spektrální hustoty RGB vzorků jsou vizuálně porovnány a vyvozeny závěry.
- Je provedena diskuze k výsledkům experimentu.

### Vzorek 1 (Jednotka 480 / den) – spektrální rozložení jasu červené, zelené a modré barvy fotografie



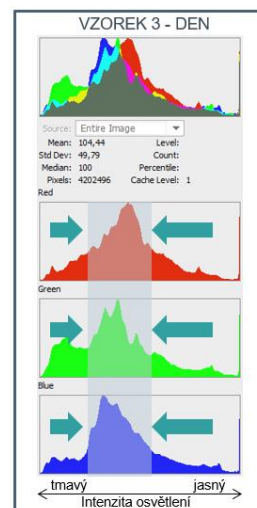
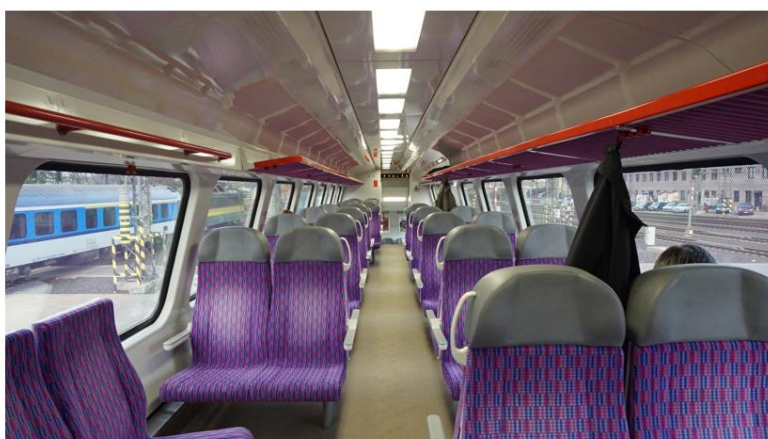
Zdroj: Adobe Photoshop

Vzorek 2 (Jednotka 480 / noc) – spektrální rozložení jasu červené, zelené a modré barvy fotografie



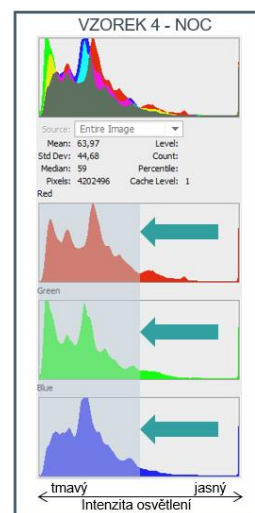
Zdroj: Adobe Photoshop

Vzorek 3 (Jednotka 471 / den) – spektrální rozložení jasu červené, zelené a modré barvy fotografie



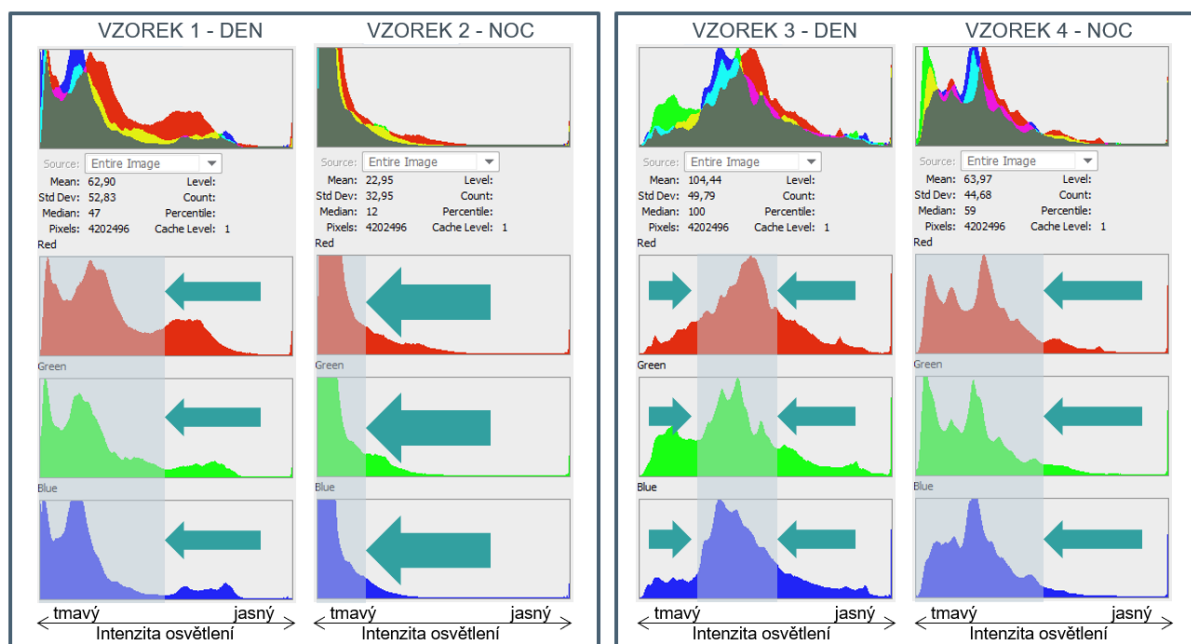
Zdroj: Adobe Photoshop

Vzorek 4 (Jednotka 471 / noc) – spektrální rozložení jasu červené, zelené a modré barvy fotografie



Zdroj: Adobe Photoshop

Visuální porovnání výkonově spektrální hustot jasu RGB všech vzorků mezi sebou:



Zdroj: Adobe Photoshop

Z porovnání výsledků spektrální analýzy barev RGB vyfotografovaných vzorků lze vyčíst:

- Pro denní režim osvětlení jednotky 480 je střední hodnota intenzity osvětlení 62,90.
- Pro noční režim osvětlení jednotky 480 je střední hodnota intenzity osvětlení 22,95.
- Pro denní režim osvětlení jednotky 471 je střední hodnota intenzity osvětlení 104,44.
- Pro noční režim osvětlení jednotky 471 je střední hodnota intenzity osvětlení 63,97.

### Diskuze k výsledkům:

Je patrný rozdíl v teplotě umělého osvětlení jednotek 471 a 480. Teplota středového osvětlení jednotky 480 je odhadnuto na 2800 až 3400 Kelvinů, u jednotky 471 je odhadnuto na 4000 až 5600 Kelvinů. Vliv teploty umělého osvětlení je efektivní zejména na probarvení barev.

Největší podíl na intenzitě prosvícení interiéru má kombinace barevného řešení interiéru vozidla a teploty umělého osvětlení. Přirozené osvětlení má minimální vliv na vyhodnocení výsledků, neboť rozdíly mezi denním a nočním rozdílem činí u obou elektrických jednotek 471 a 480 hodnoty intenzity cca 40.

Přibližně stejnou intenzitu osvětlení vykazují vzorky 1 a 4, tedy denní režim jednotky 480 a noční režim jednotky 471. I přes to, že hodnoty (62,90/63,97) jsou si velmi blízké, jednotka 480 má nižší intenzitu než jednotky 471. Patrným důvodem je právě teplota a intenzita umělého osvětlení a barevné řešení vnitřního interiéru vozidla.

### Závěr:

Z porovnání vzorků a zvážení diskuze nad výsledky objektivní analýzy intenzity osvětlení jednotek 471 a 480 je vyvozena úvaha, že jednotka 480 působí více dojmem dálkové dopravy, kde si cestující dokáže odpočinout po náročném dni apod. Naproti tomu jednotka 471 je navržena ve stylu městské a příměstské dopravy, kdy je vnitřní prostor vozidla prosvícen a je brán důraz na probarvení estetického řešení.

Z předpokladu, že náklady na provoz obou jednotek jsou stejné a technické řešení interiéru je cenově jednotné, jednotka 471 poskytuje více intenzity osvětlení než jednotka 480. Vizualně lze určit zásadní rozdíly v teplotě umělého osvětlení, barevného zpracování interiéru vozidla a materiálovém zpracování komponent.

### Výsledky tohoto experimentu byly prezentovány na konferenci Railway Interior Expo Conference 2017:

MÁLEK, Lukáš. ARORA Rahul , 2017. Prezentace na téma: Color perception and finishing strategies for solutions of interiors of rolling stocks. In: Rail Interior Conference 2017: Konference s mezinárodní účastí. Praha, Česká republika



*Příloha P03 – Analýza nálady za použití procentuálního rozdělení barev interiéru elektrické jednotky 471*

Popis analýzy:

- Analýza je založena na fotografické scéně interiéru elektrické jednotky 471.
- Fotografická scéna je převedena na procentuální rozložení základních barev:
  - Červená
  - Žlutá
  - Zelená
  - Azurová (cyan)
  - Modrá
  - Fialová (magneta)
- Základním barvám jsou přiřazeny základní psychologické efekty na člověka podle:

TILLMAN, Barry, David J. FITTS, Wesley E. WOODSON, Rhonda ROSE-SUNDHOLM a Peggy TILLMAN, [2016]. *Human factors and ergonomics design handbook*. Third edition. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-170287-4. str. 716, tabulka 41.20



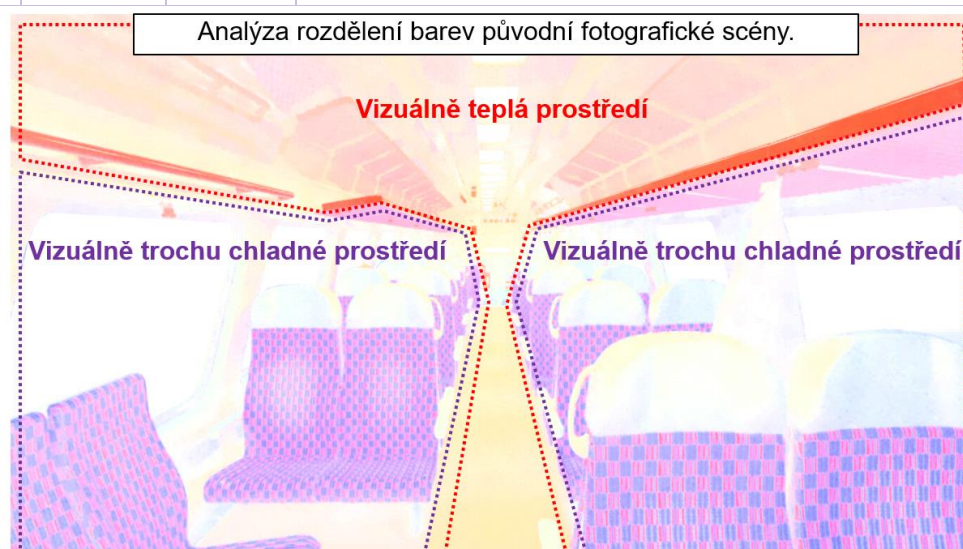
Zdroj: Lukas Malek, Sony ILCE-5000L/BCEC, ISO 2000, exposition 1/200 s, f=5,6; 2017

Výsledky tohoto experimentu byly prezentovány na konferenci Railway Interior Expo Conference 2017:

MÁLEK, Lukáš. ARORA Rahul , 2017. Prezentace na téma: Color perception and finishing strategies for solutions of interiors of rolling stocks. In: Rail Interior Conference 2017: Konference s mezinárodní účastí. Praha, Česká republika

- Hodnocení fotografické scény je založeno na kvalitativním hodnocení:
  - Vizuálně velmi teplé prostředí
  - Vizuálně teplé prostředí
  - Vizuálně trochu chladné prostředí
  - Vizuálně chladné prostředí
- Výslednou kvalita se určuje na základě procentuálního rozložení barev, viz následující tabulka.

Analýza rozdělení barev fotografické scény			
	Počet pixelů	%	Psychologické vlastnosti
<b>Červená</b>	2166706	31%	Pocitově teplý, stimulační, obecně vzrušující warm feeling, stimulating, generally exciting, ale klidný do té míry, že naznačuje ochrannou kvalitu, která je příjemná pro chuť k jídlu a je spojena s nebezpečím
<b>Žlutá</b>	1852424	26%	Teplý, poněkud vzrušující, veselý, pohodlný, spojený s příjemnou chutí
<b>Zelená</b>	242044	3%	Obecně chladný, mírně veselý, pohodlný, uklidňující, spojený s příjemným osvěžujícím zápachem
<b>Azurová</b>	374620	5%	Chladný, uklidňující, spojený s dobrým vkusem
<b>Modrá</b>	1097465	16%	Chladný, pohodlný, ochranný, uklidňující, i když může být mírně depresivní, pokud jsou jiné barvy tmavé, spojené s nevkusem
<b>Fialová</b>	1272742	18%	Mírně teplý, bohatý, ochranný, uklidňující, může být depresivní, spojený s příjemným zápachem, ale špatnou chutí
	Celkem pixelů	<b>Celkem %</b>	
	7006001	100%	



Zdroj: Lukas Malek, 2017



*Příloha P04 – Matematické odvození odrazu intenzity signálu od libovolného bodu v prostoru*

```

(* zadej bod A a B *)

In[2]= xA = 5; yA = 5; zA = 12;
      xB = 6; yB = 12; zB = 3;

In[5]= A = {xA, yA, zA}; B = {xB, yB, zB};

(* rovina odrazu  $\rho(x,y,z) = \rho(x,y,\theta)$ 

      vzdálenost průmětů bodů A a B do roviny  $\rho$ *)

In[6]= diAB = ((xB - xA)^2 + (yB - yA)^2)^{1/2}
Out[6]= 5 \sqrt{2}

In[7]= vecAB = { \frac{x_B - x_A}{diAB}, \frac{y_B - y_A}{diAB} }
Out[7]= { \frac{1}{5 \sqrt{2}}, \frac{7}{5 \sqrt{2}} }

In[9]= (*najdeme mminimum*)

In[15]= FindMinimum[ (zA^2 + d^2)^{1/2} + (zB^2 + (diAB - d)^2), d ]
Out[15]= {22.8656, {d -> 6.82391}}

In[27]= distMin = d /. Last[ FindMinimum[ (zA^2 + d^2)^{1/2} + (zB^2 + (diAB - d)^2)^{1/2}, d ] ]
Out[27]= 5.65685

In[12]= (*najdeme souřadnice*)

In[28]=  $\Delta xy = \{ \text{distMin} * \text{vecAB}[[1]], \text{distMin} * \text{vecAB}[[2]] \}$ 
Out[28]= {0.8, 5.6}

In[31]= x0 = xA +  $\Delta xy$ [[1]]
      y0 = yA +  $\Delta xy$ [[2]]
Out[31]= 5.8
Out[32]= 10.6

In[21]= (*bod odrazu 0 má souřadnice*)

In[33]= bod0 = {x0, y0, 0}
Out[33]= {5.8, 10.6, 0}

(*
a teď to zkusíme bez čísel:
souřadnice bodu A budeme značit Ax, Ay, Az
souřadnice bodu B obdobně
*)

```



$$\text{In[24]= vzdalenostAB} = \left( (Bx - Ax)^2 + (By - Ay)^2 \right)^{1/2}$$

$$\text{Out[24]=} \sqrt{(-Ax + Bx)^2 + (-Ay + By)^2}$$

$$\text{In[25]= jednotkovyVektorAB} = \left\{ \frac{Bx - Ax}{\text{vzdalenostAB}}, \frac{By - Ay}{\text{vzdalenostAB}} \right\}$$

$$\text{Out[25]=} \left\{ \frac{-Ax + Bx}{\sqrt{(-Ax + Bx)^2 + (-Ay + By)^2}}, \frac{-Ay + By}{\sqrt{(-Ax + Bx)^2 + (-Ay + By)^2}} \right\}$$

(**\*derivace podle "d"\***)

$$\text{In[35]=} D \left[ (Az^2 + d^2)^{1/2} + (Bz^2 + (\text{vzdalenostAB} - d)^2)^{1/2}, d \right]$$

$$\text{Out[35]=} - \frac{\sqrt{(-Ax + Bx)^2 + (-Ay + By)^2} - d}{\sqrt{Bz^2 + \left( \sqrt{(-Ax + Bx)^2 + (-Ay + By)^2} - d \right)^2}} + \frac{d}{\sqrt{Az^2 + d^2}}$$

$$\text{In[38]=} \text{Solve} \left[ D \left[ (Az^2 + d^2)^{1/2} + (Bz^2 + (\text{vzdalenostAB} - d)^2)^{1/2}, d \right] = 0, d \right]$$

$$\text{Out[38]=} \left\{ \left\{ d \rightarrow \frac{1}{Az^2 - Bz^2} \left( Az^2 \sqrt{Ax^2 + Ay^2 - 2Ax Bx + Bx^2 - 2Ay By + By^2} - \sqrt{Ax^2 Az^2 Bz^2 + Ay^2 Az^2 Bz^2 - 2Ax Az^2 Bx Bz^2 + Az^2 Bx^2 Bz^2 - 2Ay Az^2 By Bz^2 + Az^2 By^2 Bz^2} \right) \right\}, \right. \\ \left. \left\{ d \rightarrow \frac{1}{Az^2 - Bz^2} \left( Az^2 \sqrt{Ax^2 + Ay^2 - 2Ax Bx + Bx^2 - 2Ay By + By^2} + \sqrt{Ax^2 Az^2 Bz^2 + Ay^2 Az^2 Bz^2 - 2Ax Az^2 Bx Bz^2 + Az^2 Bx^2 Bz^2 - 2Ay Az^2 By Bz^2 + Az^2 By^2 Bz^2} \right) \right\} \right\}$$

$$\text{In[39]=} \text{reseni2} = d /. \text{Last} \left[ \text{Solve} \left[ D \left[ (Az^2 + d^2)^{1/2} + (Bz^2 + (\text{vzdalenostAB} - d)^2)^{1/2}, d \right] = 0, d \right] \right]$$

$$\text{Out[39]=} \frac{1}{Az^2 - Bz^2} \left( Az^2 \sqrt{Ax^2 + Ay^2 - 2Ax Bx + Bx^2 - 2Ay By + By^2} - \sqrt{Ax^2 Az^2 Bz^2 + Ay^2 Az^2 Bz^2 - 2Ax Az^2 Bx Bz^2 + Az^2 Bx^2 Bz^2 - 2Ay Az^2 By Bz^2 + Az^2 By^2 Bz^2} \right)$$

$$\text{In[45]=} \text{reseni2} * 1.0 /. \{Az \rightarrow zA, Bz \rightarrow zB, Ax \rightarrow xA, Ay \rightarrow yA, Bx \rightarrow xB, By \rightarrow yB\}$$

$$\text{In[46]=} 9.428090415820634`$$

$$\text{Out[46]=} 9.42809$$

$$\text{In[48]=} \text{vzdalenostAB} * 1.0 /. \{Az \rightarrow zA, Bz \rightarrow zB, Ax \rightarrow xA, Ay \rightarrow yA, Bx \rightarrow xB, By \rightarrow yB\}$$

$$\text{Out[48]=} 7.07107$$

$$\text{In[55]=} \text{reseni1} = \frac{1}{Az^2 - Bz^2} \left( Az^2 \sqrt{Ax^2 + Ay^2 - 2Ax Bx + Bx^2 - 2Ay By + By^2} - \sqrt{Ax^2 Az^2 Bz^2 + Ay^2 Az^2 Bz^2 - 2Ax Az^2 Bx Bz^2 + Az^2 Bx^2 Bz^2 - 2Ay Az^2 By Bz^2 + Az^2 By^2 Bz^2} \right) + \\ 1.0 /. \{Az \rightarrow zA, Bz \rightarrow zB, Ax \rightarrow xA, Ay \rightarrow yA, Bx \rightarrow xB, By \rightarrow yB\}$$

$$\text{Out[55]=} 5.65685$$

(**\* takže to souhlasí a reseni1 je řešením minima \***)

## Manchester Benchmarks for Rail Vehicle Simulation

### INTRODUCTION AND AIMS

The benchmarks presented here were agreed at the International Workshop 'Computer Simulation of Rail Vehicle Dynamics' at Manchester Metropolitan University on June 23rd and 24th 1997.

The aim of producing these benchmarks is to allow railway vehicle suspension designers and researchers investigating vehicle dynamic behaviour to assess the suitability of the various software packages that now exist for simulation of such behaviour. The intention is not to provide accurate validation of the software packages, although comparison of the results should prove useful in assessing the effect of the various techniques and approximations made. There are several existing benchmarks but these have generally been relatively complex with the aim of proving the validity of the various software routines. The results of the existing benchmarks, where published, may be useful to the software authors, but they are inconclusive and they do not say very much about the ease or otherwise of carrying out typical simulations.

The benchmark models have been chosen to represent typical vehicles and track cases which provide examples of the modelling tasks often carried out. The vehicles are simplified but still contain examples of more complex elements. The level of detail given in this document is such that all participants will be able to produce a suitable model. The exact modelling methods are not specified but are left to the modellers. Flexibility is also extended to the rail-wheel modelling to allow for the various methods used in this key aspect of the simulation of a railway vehicle.

The statement of methods is a critical part of this benchmark exercise. It relates to the aim to provide information to users of the various packages and allows the participants to explain their approach to the various approximations made during the modelling.

The preliminary results from simulations carried out using the major simulation packages were presented at a special meeting on 15th December 1997. At this meeting several changes were agreed to the benchmark models and track cases and to the methods of presentation of results with the aim of eliminating minor ambiguities. Simulation results from most of the major packages will now be submitted for inclusion in the special edition of *Vehicle System Dynamics* together with a statement of the procedures carried out and approximations made in these modelling exercises. Methods of inputting the required data, possibilities for output of the results and typical computation times will also be presented.

It is intended that, if the benchmarks prove useful, the process will continue with new vehicles or track cases being added to reflect current modelling requirements.

## SUMMARY

### Vehicle Models

The two benchmark vehicles and the various test cases have been carefully chosen to represent typical vehicles and track cases being modelled by designers and researchers. The vehicle models are not intended to represent actual vehicles (although the bogie vehicle is based partly on a simplified version of the ERRI benchmark #1 which is in turn based on an existing coach and bogies).

Benchmark vehicle 1 is a general passenger coach with two bogies and a simple primary suspension. Benchmark vehicle 2 is a two axle freight vehicle with load dependent friction damping. Both models are as simple as practically possible and further simplifications during the simulation may be carried out by the package operator if desired. All bodies should be considered rigid.

### Track Cases

Four track cases have been chosen to run with the benchmark vehicle models to represent typical real situations and to allow common dynamic behaviour to be seen in the simulation.

### Summary of Benchmark Requirements

Both benchmark vehicles should be set up and the zero speed (or low speed) eigenvalues should be calculated up to 10 Hz. This is to allow comparison of the models. Non-linearities may be ignored or linearised.

Benchmark vehicle model 1 should then be run with track cases 1, 2 and 3.

Benchmark vehicle model 2 should then be run with track cases 2, 3 and 4.

### Statement of Methods

In addition to the eigenvalues and the simulation results a statement of the methods used in setting up the two vehicle models is requested. This statement should illustrate the steps required for creating the model and the track cases, for running the simulation and for presenting the results in the required format.

Reference should be made to any approximations made during the modelling and the chosen numerical simulation routines should be stated.

The aim of this statement is to show the prospective modeller how to set up a model using the particular package and how to obtain the desired results and is an important part of the submission. Some indication of the time taken to carry out the various setting up stages and also the simulation itself would also be useful.

## VEHICLES

### Vehicle Specification - Benchmark Vehicle 1

This is based on the ERRI B176 benchmark vehicle, without yaw dampers, and with the following major simplifications:-

- Simple primary suspension
- Symmetric vehicle
- Non-inclined dampers with simple damping rates

The model of this vehicle should be run with track cases 1,2, and 3.

### Masses and Inertias

#### *Wheelsets*

Mass	1813 kg
Roll inertia	1120 kgm <sup>2</sup>
Pitch inertia	112 kgm <sup>2</sup>
Yaw inertia	1120 kgm <sup>2</sup>

#### *Bogies*

Mass	2615 kg
Roll inertia	1722 kgm <sup>2</sup>
Pitch inertia	1476 kgm <sup>2</sup>
Yaw inertia	3067 kgm <sup>2</sup>

#### *Body*

Mass	32000 kg
Roll inertia	56800 kgm <sup>2</sup>
Pitch inertia	1970000 kgm <sup>2</sup>
Yaw inertia	1970000 kgm <sup>2</sup>

### Suspension Characteristics

#### *Primary suspension*

*(4 per bogie)*

Longitudinal stiffness	31391 kN/m
Nominal damping in parallel	15 kNs/m
Damping series stiffness	60000 kN/m
Lateral stiffness	3884 kN/m
Nominal damping in parallel	2 kNs/m
Damping series stiffness	7500 kN/m
Vertical stiffness	1220 kN/m

#### *Secondary springs (see note 1)*

*(2 per bogie)*

Longitudinal shear stiffness	160 kN/m
Lateral shear stiffness	160 kN/m

Vertical stiffness	430 kN/m
Bending stiffness	10.5 kNm/rad
<i>Secondary roll bar</i>	<i>(1 per bogie)</i>
Stiffness	940 kNm/rad
<i>Secondary longitudinal traction rod</i>	<i>(1 per bogie)</i>
Stiffness	5000 kN/m
Nominal damping in parallel	25 kNs/m
Damping series stiffness	10000 kN/m
<i>Secondary lateral bumpstop</i>	<i>(1 per bogie)</i>
Symmetric characteristic	

---

0	25	30	35	40	45	50	55	60	65	/mm
0	0	0.60	1.76	3.73	6.87	11.58	17.17	29.2	230.0	/kN

---

### Damper Characteristics

<i>Primary vertical dampers</i>	<i>(4 per bogie)</i>
Damping rate	4 kNs/m
Series stiffness	1000 kN/m
<i>Secondary lateral dampers</i>	<i>(2 per bogie)</i>
Damping rate	32 kNs/m
Series stiffness	6000 kN/m
<i>Secondary vertical dampers</i>	<i>(2 per bogie)</i>
Damping rate	20 kNs/m
Series stiffness	6000 kN/m

### Vehicle Dimensions

Bogie semi pivot spacing	9500 mm
Bogie semi wheelbase	1280 mm
Wheel radius	460 mm
Height above rail level of bogie cg	600 mm
Height above rail level of body cg	1800 mm
Longitudinal and lateral offset of body cg from body centre	0 mm

### Suspension Geometry

*Primary springs (see Note 2)*

*if using elements with a fixed line of action:-*

Longitudinal semi spacing	(x1)	1280 mm
Lateral semi spacing	(y1)	1000 mm
Height above rail level	(h1)	460 mm



<i>if using elements with variable line of action:-</i>		
Longitudinal element		
Wheelset end semi-spacing	(x1)	1280 mm
Bogie frame end semi-spacing	(x2)	830 mm
Lateral element		
Wheelset end semi-spacing	(y1)	1000 mm
Bogie frame end semi-spacing	(y2)	600 mm
Vertical element		
Height of wheelset end	(h1)	460 mm
Height of bogie frame end	(h2)	880 mm
<i>Secondary springs</i>		
Longitudinal semi spacing	(x3)	9500 mm
Lateral semi spacing	(y3)	1000 mm
Height above rail level of top	(h3)	1130 mm
Height above rail level of bottom	(h4)	525 mm
<i>Secondary longitudinal traction rod (see note 2)</i>		
Height above rail level	(h5)	600 mm
Longitudinal semi-spacing, bogie end	(x3)	9500 mm
<i>if using elements with variable line of action:-</i>		
Longitudinal semi-spacing, body end	(x4)	8300 mm
<i>Secondary lateral bumpstop</i>		
Height above rail level	(h6)	650 mm
<i>Primary vertical dampers</i>		
Longitudinal semi spacing	(x1)	1280 mm
Lateral semi spacing	(y1)	1000 mm
Height above rail level of wheelset end	(h1)	460 mm
Height above rail level of bogie frame end	(h2)	880 mm
<i>Secondary lateral dampers</i>		
Lateral semi spacing of bolster end	(y4)	665 mm
Lateral semi spacing of bogie end	(y5)	230 mm
Height above rail level	(h7)	700 mm
<i>Secondary vertical dampers</i>		
Lateral semi spacing	(y6)	1300 mm
Height above rail level of top	(h8)	925 mm
Height above rail level of bottom	(h9)	400 mm

**Note 1**

Where the software package offers an integrated shear spring element which includes the effects of vertical load on the lateral forces and end moments, this type of element should be used. If a software package does not offer this type of element, the geometry and parameters of the spring elements chosen to represent the shear spring should be reported in the benchmark report.

**Note 2**

If a software package allows suspension elements whose line of action remains fixed irrespective of perpendicular movements of their ends, then this type of element should be used, acting through the given point, and may have zero or arbitrary length. For software packages which only offer suspension elements which change the line of action in response to movements of their ends, the given geometry should be used. The vehicle is shown in Figures V1a and V1b

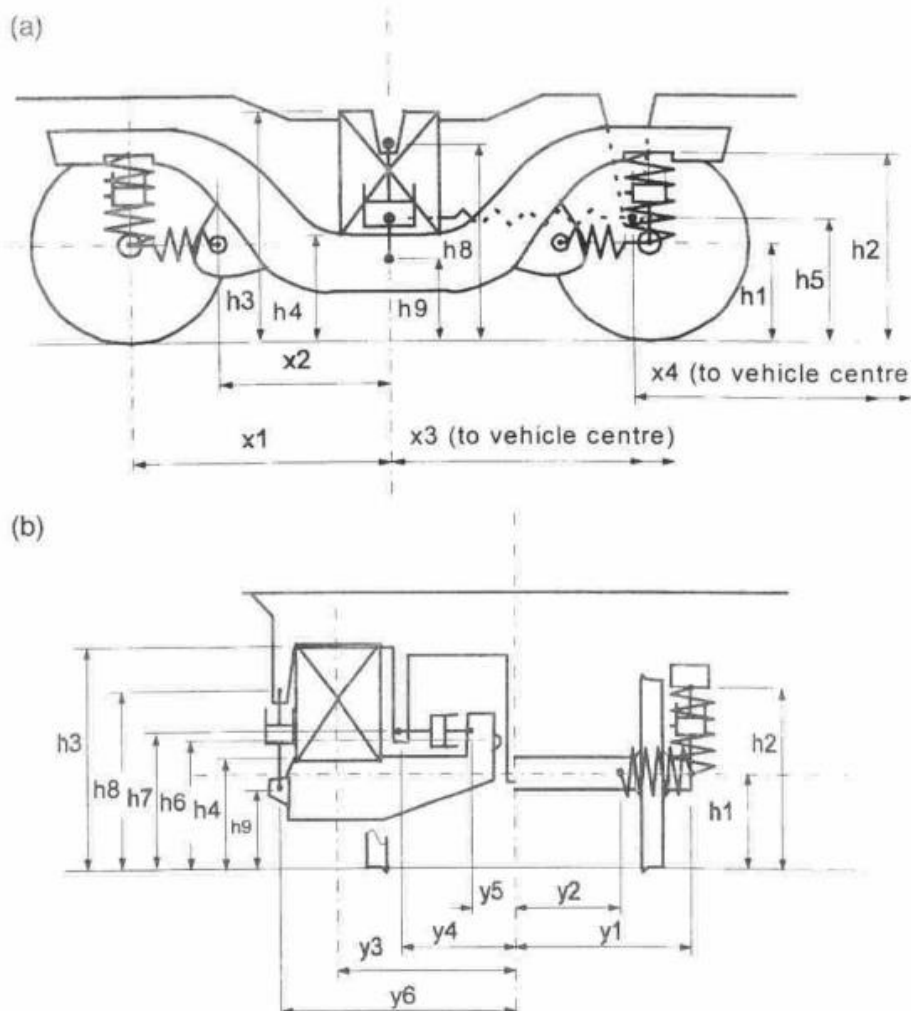


Fig. V1a. Benchmark vehicle 1 (side view). Fig. V1b. Benchmark vehicle 1 End view and section of bogie

Příloha P06 – Antropometrické rozměry

Table 2 — Germany — Statistical summary

No.	ISO 7250-1 measurement		Sample size n	Mean	SD	P1	P5	P50	P95	P99
		Age	Male							
			Female							
			Total							
1	4.1.1	Body mass (weight), kg	Male				64	79	100	
			Female				52	66	87	
			Total							
2	4.1.2	Stature (body height)	Male				1 650	1 750	1 855	
			Female				1 535	1 625	1 720	
			Total							
3	4.1.3	Eye height	Male				1 530	1 630	1 735	
			Female				1 430	1 515	1 605	
			Total							
4	4.1.4	Shoulder height	Male				1 345	1 450	1 550	
			Female				1 260	1 345	1 425	
			Total							
5	4.1.5	Elbow height	Male				1 025	1 100	1 175	
			Female				960	1 020	1 080	
			Total							
6	4.1.6	Iliac spine height, standing	Male							
			Female							
			Total							
7	4.1.7	Crotch height	Male				760	830	905	
			Female				710	775	830	
			Total							
8	4.1.8	Tibial height	Male				430	460	480	
			Female				400	425	450	
			Total							
9	4.1.9	Chest depth, standing	Male				195	225	270	
			Female				165	190	235	
			Total							
10	4.1.10	Body depth, standing	Male				260	285	380	
			Female				245	290	345	
			Total							
11	4.1.11	Chest breadth, standing	Male							
			Female							
			Total							
12	4.1.12	Hip breadth, standing	Male				340	360	385	
			Female				340	365	400	
			Total							
13	4.2.1	Sitting height (erect)	Male				855	910	965	
			Female				810	860	910	
			Total							
14	4.2.2	Eye height, sitting	Male				740	795	855	
			Female				705	755	805	
			Total							
15	4.2.3	Cervicale height, sitting	Male							
			Female							
			Total							

*Příloha P06 – Antropometrické rozměry - pokračování*

Table 2 (continued)

No.	ISO 7250-1 measurement		Sample size <i>n</i>	Mean	SD	P1	P5	P50	P95	P99
16	4.2.4	Shoulder height, sitting	Male				570	625	670	
			Female				540	590	630	
			Total							
17	4.2.5	Elbow height, sitting	Male				210	240	285	
			Female				185	230	275	
			Total							
18	4.2.6	Shoulder-elbow length	Male				330	365	400	
			Female				290	320	350	
			Total							
19	4.2.7	Elbow-wrist length	Male							
			Female							
			Total							
20	4.2.8	Shoulder (biacromial) breadth	Male				370	405	435	
			Female				345	370	400	
			Total							
21	4.2.9	Shoulder (bideitoid) breadth	Male				440	480	525	
			Female				395	435	485	
			Total							
22	4.2.10	Elbow-to-elbow breadth	Male				415	480	555	
			Female				395	485	555	
			Total							
23	4.2.11	Hip breadth, sitting	Male				350	375	420	
			Female				360	390	460	
			Total							
24	4.2.12	Lower leg length (popliteal height)	Male				410	450	490	
			Female				375	415	450	
			Total							
25	4.2.13	Thigh clearance	Male				130	150	180	
			Female				125	145	175	
			Total							
26	4.2.14	Knee height	Male				495	535	585	
			Female				460	500	545	
			Total							
27	4.2.15	Abdominal depth, sitting	Male				200	280	330	
			Female				205	250	325	
			Total							
28	4.2.16	Thorax depth at the nipple	Male							
			Female							
			Total							
29	4.2.17	Buttock-abdomen depth sitting	Male							
			Female							
			Total							
30	4.3.1	Hand length	Male				175	189	207	
			Female				162	177	193	
			Total							
31	4.3.2	Palm length perpendicular	Male				104	111	121	
			Female				92	100	108	
			Total							

Příloha P06 – Antropometrické rozměry - pokračování

Table 2 (continued)

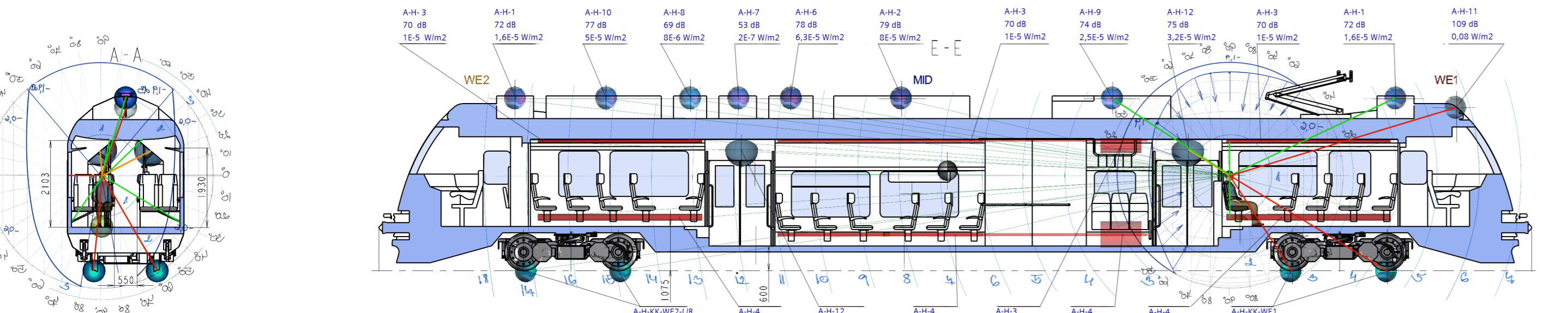
No.	ISO 7250-1 measurement		Sample size n	Mean	SD	P1	P5	P50	P95	P99
32	4.3.3	Hand breadth at metacarpals	Male				80	87	94	
			Female							
			Total							
33	4.3.4	Index finger length	Male				68	75	83	
			Female				62	69	77	
			Total							
34	4.3.5	Index finger breadth, proximal	Male				19	21	23	
			Female				17	19	21	
			Total							
35	4.3.6	Index finger breadth, distal	Male				17	18	20	
			Female				14	16	18	
			Total							
36	4.3.7	Foot length	Male				245	265	285	
			Female				225	245	260	
			Total							
37	4.3.8	Foot breadth	Male				92	101	111	
			Female				83	92	102	
			Total							
38	4.3.9	Head length	Male				185	195	205	
			Female				170	185	195	
			Total							
39	4.3.10	Head breadth	Male				145	155	165	
			Female				140	150	160	
			Total							
40	4.3.11	Face length (nasion-menton)	Male				105	115	130	
			Female				95	110	125	
			Total							
41	4.3.12	Head circumference	Male				545	570	600	
			Female				520	545	570	
			Total							
42	4.3.13	Sagittal arc	Male				330	350	375	
			Female				310	330	360	
			Total							
43	4.3.14	Bitragion arc	Male				340	365	385	
			Female				320	335	360	
			Total							
44	4.4.1	Wall-acromion distance	Male							
			Female							
			Total							
45	4.4.2	Grip reach; forward reach	Male				685	740	815	
			Female				625	690	750	
			Total							
46	4.4.3	Elbow-grip length	Male				325	350	390	
			Female				295	315	350	
			Total							
47	4.4.4	Fist (grip axis) height	Male				730	765	825	
			Female				670	715	760	
			Total							

*Příloha P06 – Antropometrické rozměry - pokračování*

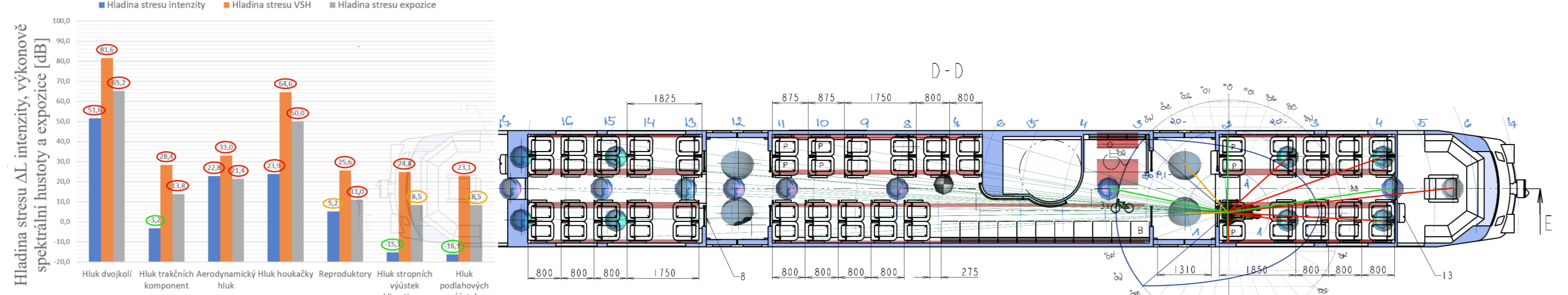
Table 2 (continued)

No.	ISO 7250-1 measurement		Sample size <i>n</i>	Mean	SD	P1	P5	P50	P95	P99
48	4.4.5	Forearm-fingertip length	Male				440	475	510	
			Female				400	430	465	
			Total							
49	4.4.6	Buttock-popliteal length (seat depth)	Male				450	495	540	
			Female				435	485	530	
			Total							
50	4.4.7	Buttock-knee length	Male				565	610	655	
			Female				545	590	640	
			Total							
51	4.4.8	Neck circumference	Male				335	380	410	
			Female				305	345	385	
			Total							
52	4.4.9	Chest circumference	Male				870	975	1 110	
			Female				850	990	1 180	
			Total							
53	4.4.10	Waist circumference	Male				700	875	1 010	
			Female				665	790	990	
			Total							
54	4.4.11	Wrist circumference	Male				160	175	190	
			Female				150	165	180	
			Total							
55	4.4.12	Thigh circumference	Male				490	570	640	
			Female				485	565	670	
			Total							
56	4.4.13	Calf circumference	Male				325	375	415	
			Female				325	360	415	
			Total							

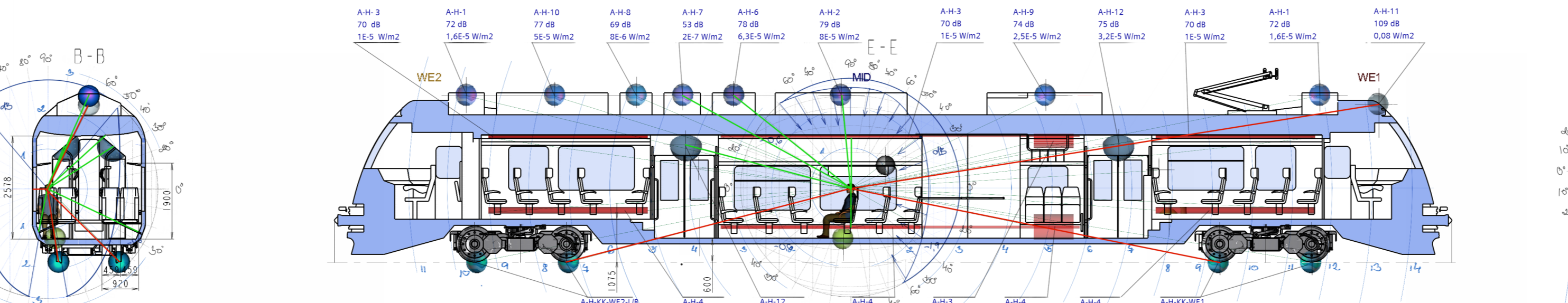
**POZICE 1 - Vliv hluku na cestujícího**



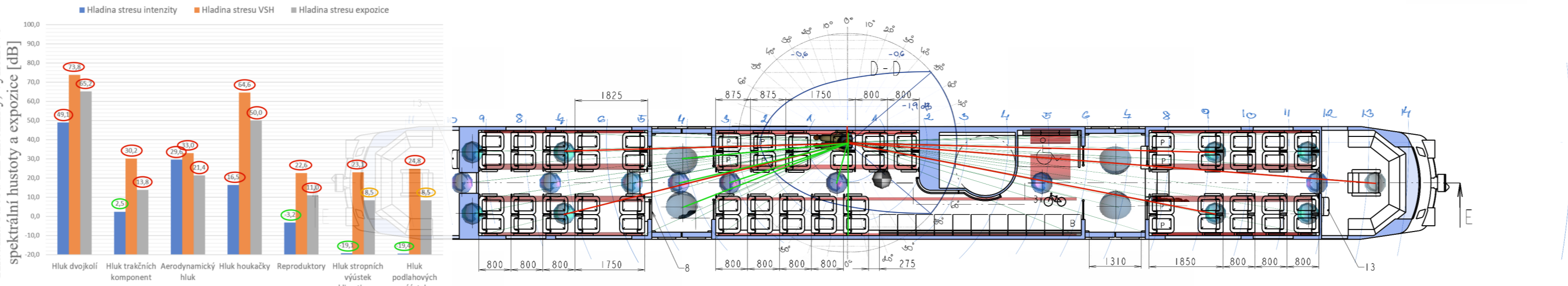
**VÝSLEDKY HODNOCENÍ HLADIN STRESU**



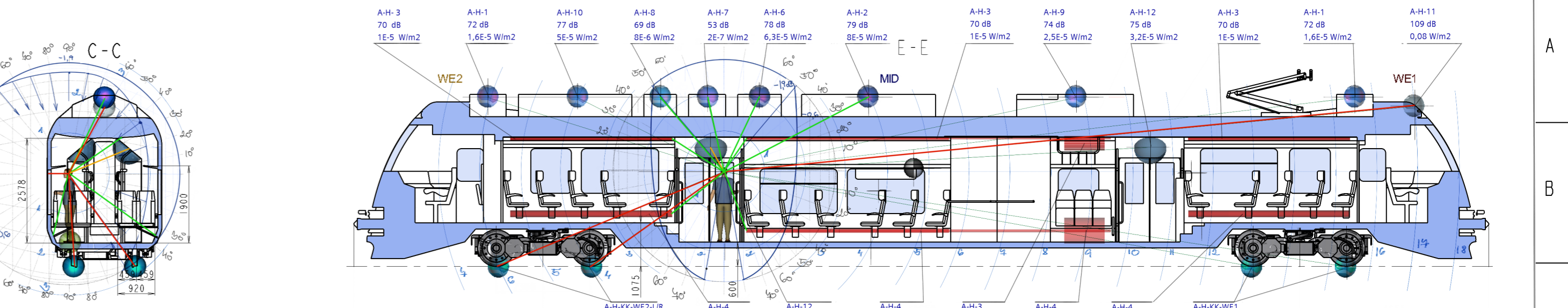
**POZICE 2 - Vliv hluku na cestujícího**



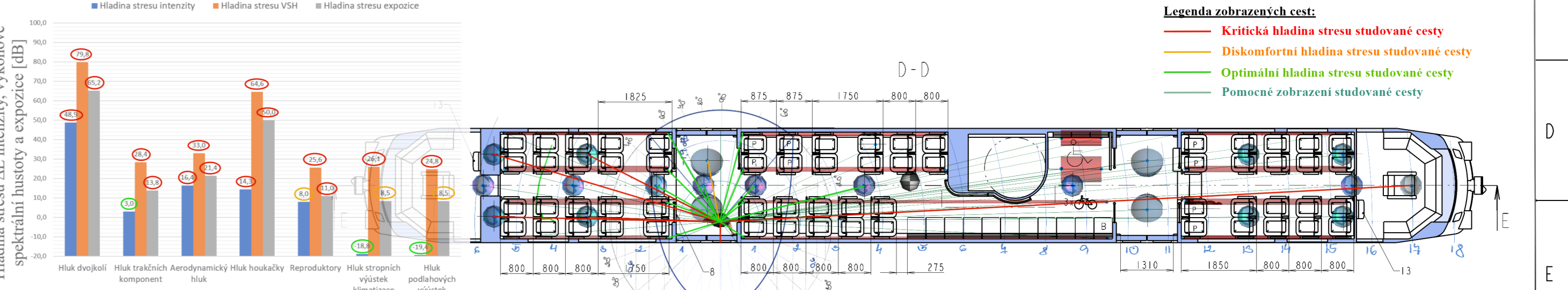
**VÝSLEDKY HODNOCENÍ HLADIN STRESU**



**POZICE 3 - Vliv hluku na cestujícího**

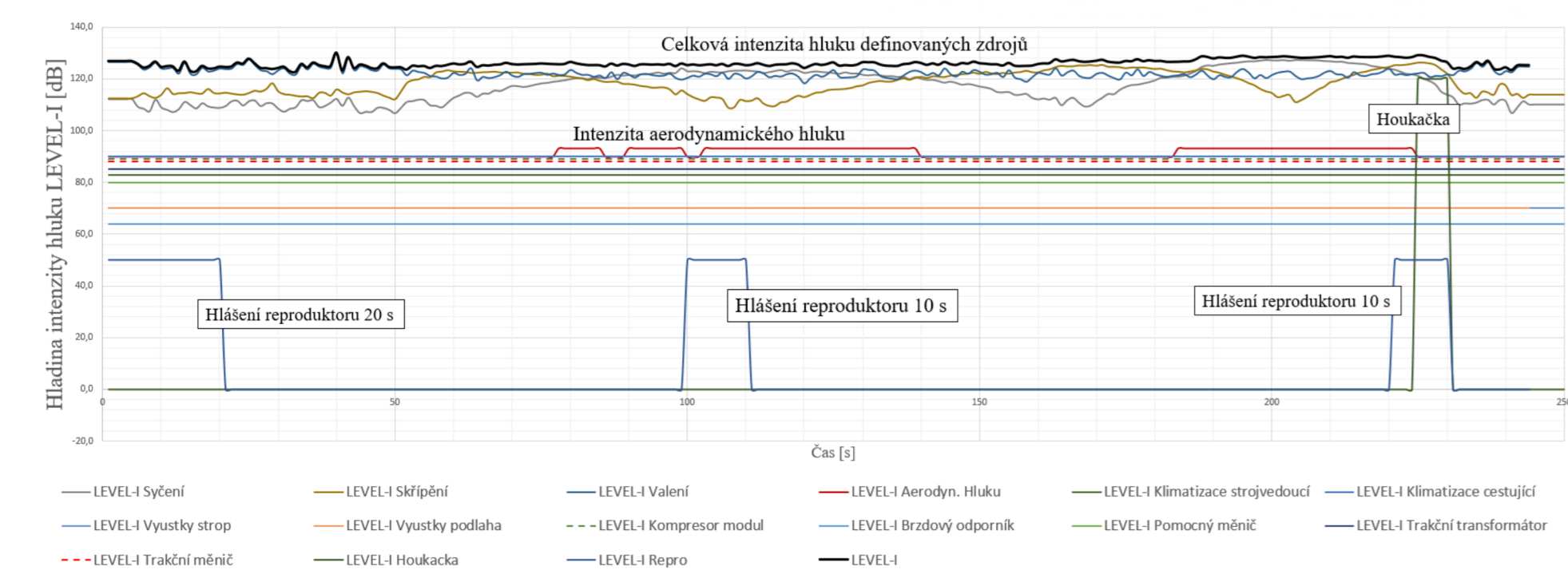


**VÝSLEDKY HODNOCENÍ HLADIN STRESU**

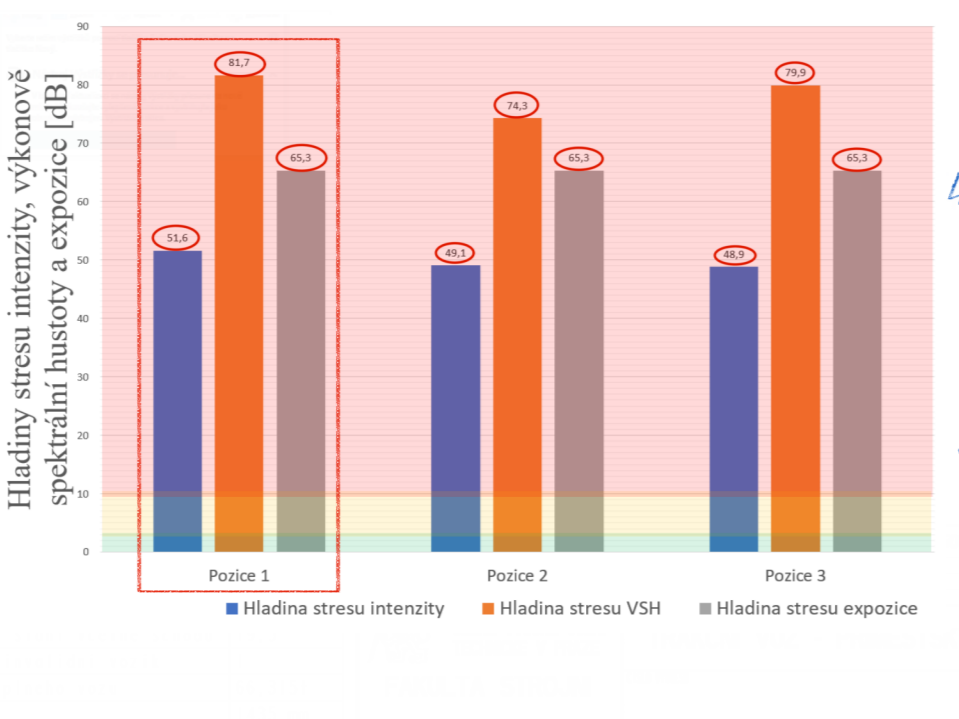


- Legenda zobrazení cest:**
- Kritická hladina stresu studované cesty
  - Diskomfortní hladina stresu studované cesty
  - Optimální hladina stresu studované cesty
  - Pomocné zobrazení studované cesty

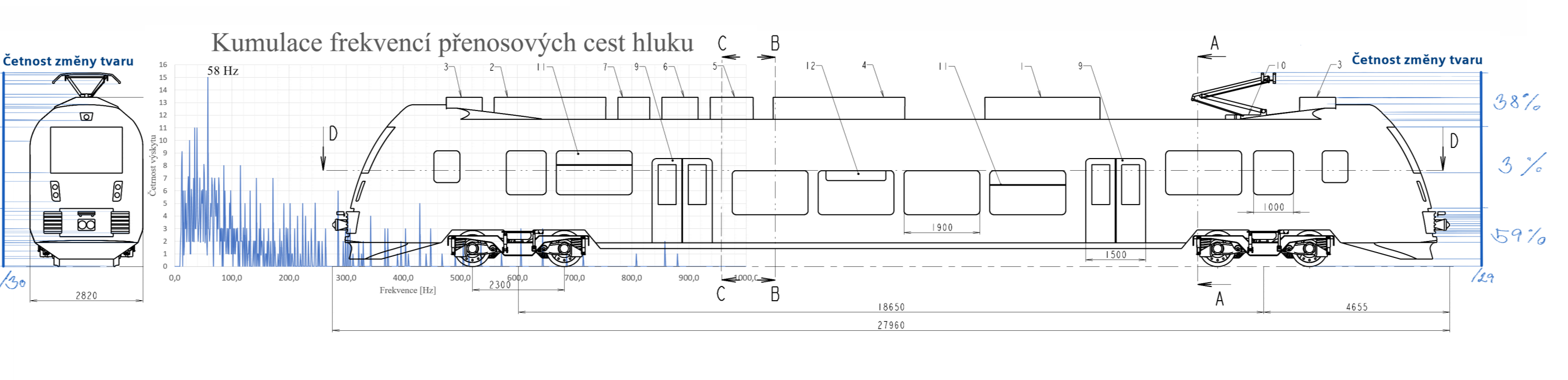
**ČASOVÉ EXPOZICE INTENZIT HLUKU ZDROJŮ**



**CELKOVÉ HODNOCENÍ HLADIN STRESU**



**KUMULACE AERODYNAMICKÉHO HLUKU V ZÁVISLOSTI NA TVARU VOZIDLA**



**POPIS ZDROJŮ A TECHNICKÉ PARAMETRY VOZIDLA**

**Značení aktivních zdrojů vozidla**

Číslo	Název	Hluk [dB]
1	Klimatizace strojvedoucí	A-H-1
2	Klimatizace cestující	A-H-2
3	Výústky klimatizací – strop	A-H-3
4	Výústky klimatizací – podlaha	A-H-4
5	Okno – nouzové větrání	A-H-5
6	Kompresor modul	A-H-6
7	Brzdový odporník	A-H-7
8	Pomocný měnič	A-H-8
9	Trakční transformátor	A-H-9
10	Trakční měnič	A-H-10
11	Houkačka	A-H-11
12	Reproduktor dopravního hlášení	A-H-12
13	Slunce	A-SUN
14	Styk kolo-kolejnice	A-KK-WE

HLADINA VZDÁLENOSTI	HLADINA SMĚRU	HLADINA ČETNOSTI
D [m], L [dB], I [dB]	Q [dB], L [dB], I [dB]	n [dB], L [dB], I [dB]
0.1 -20.0, 2.1 6.4, 14 22.9	0.1 -10.0	1 0.0, 1E+02 20.0
0.2 -14.0, 2.2 6.8, 15 23.5	0.2 -7.0	2 3.0, 1E+03 30.0
0.3 -10.5, 2.3 7.2, 16 24.1	0.4 -4.0	3 4.8, 1E+04 40.0
0.4 -8.0, 2.4 7.6, 17 24.6	0.8 -1.0	4 6.0, 1E+05 50.0
0.5 -6.0, 2.5 8.0, 18 25.1	1 0.0	5 7.0, 1E+06 60.0
0.6 -4.4, 2.6 8.3, 19 25.6	1.6 2.0	6 7.8, 1E+07 70.0
0.7 -3.1, 2.7 8.6, 20 26.0	2 3.0	7 8.5, 1E+08 80.0
0.8 -1.9, 2.8 8.9, 21 26.4	3.2 5.1	8 9.0, 1E+09 90.0
0.9 -0.9, 2.9 9.2, 22 26.8	6.3 8.0	9 9.5, 1E+10 100.0
1 0.0, 3 9.5, 23 27.2	12.6 11.0	10 10.0, 1E+11 110.0
1.1 0.8, 4 12.0, 24 27.6		
1.2 1.6, 5 14.0, 25 28.0		
1.3 2.3, 6 15.6, 26 28.3		
1.4 2.9, 7 16.9, 27 28.6		
1.5 3.5, 8 18.1, 28 28.9	10 0.1	0.1 -10.0, 0.7 -1.5
1.6 4.1, 9 19.1, 29 29.2	25 0.4	0.2 -7.0, 0.8 -1.0
1.7 4.6, 10 20.0, 30 29.5	50 1.9	0.3 -5.2, 0.9 -0.5
1.8 5.1, 11 20.8, 31 29.8	60 3.0	0.4 -4.0, 1 0.0
1.9 5.6, 12 21.6, 32 30.1	75 5.9	0.5 -3.0, 2 3.0
2 6.0, 13 22.3, 33 30.4	85 10.6	0.6 -2.2, 3 4.8

POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV
1	TRAKČNÍ TRANSFORMÁTOR	12	INFORMAČNÍ PANEĽ
2	TRAKČNÍ MĚNIČ	13	POMOCNÉ SEDADLO
3	KLIMATIZACE STROJVEDOUČÍ		
4	KLIMATIZACE CESTUJÍCÍ		
5	KOMPRESORMODUL		
6	BRZDOVÝ ODOPRNÍK		
7	POMOCNÝ MĚNIČ		
8	SKRINKA NOUZ. SPRÁHLA		
9	DVOUKRÍDLÉ DVĚŘE		
10	SBERAC		
11	OKNO - NOUZOVÉ VĚTRÁNÍ		

NAVRH	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMŮŽNOSTI	NEBĚŽÍ
KRESLE	Lukas Malek		NOVĚ REF.			66 315	150
SKUPINĚ			PROJVOŠLÉ				
TECHNOLÓ			SESTĚŘA				
			STĚŘA V				

**TRAKČNÍ VUZ - PRIMĚSTSKÝ**

ČÍSLO VÝKRESU: NÁVRH GRAFICKÉHO ŘEŠENÍ HLUKU VOZIDLA PRO CESTUJÍCÍ V POZICÍCH 1, 2, 3

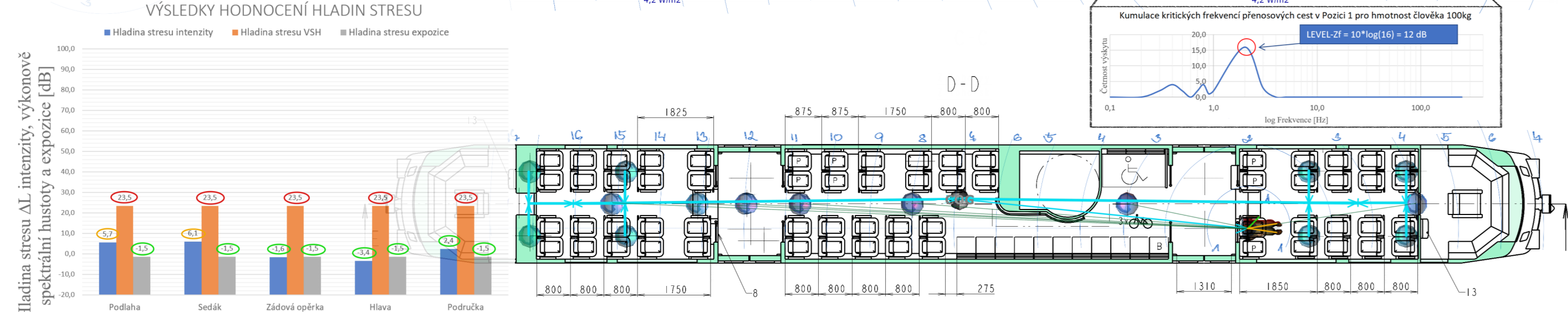
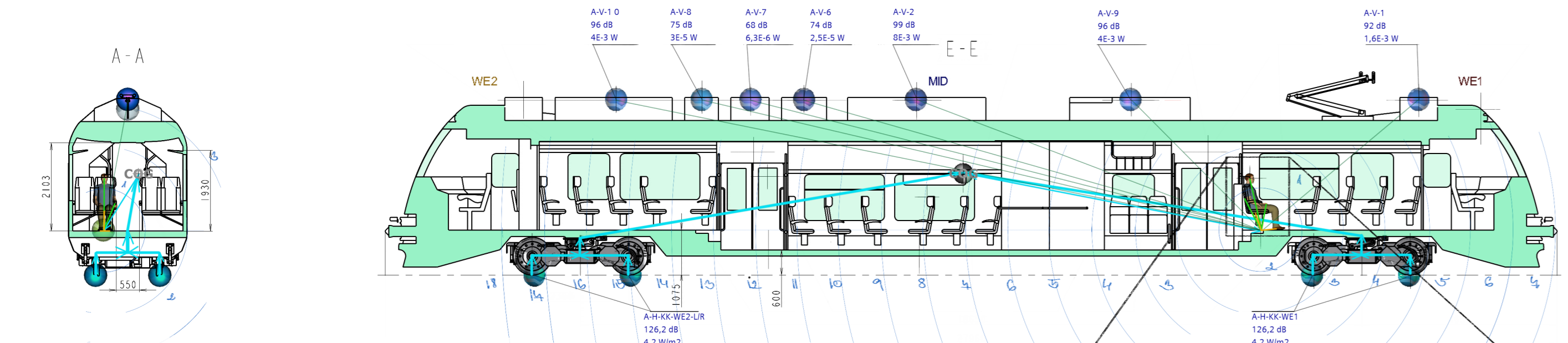
**FAKULTA STROJNÍ Příloha P07**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

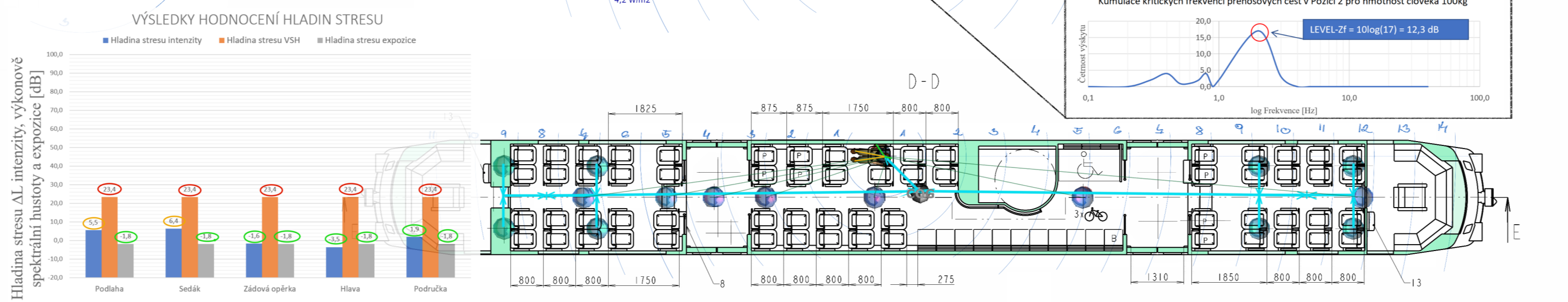
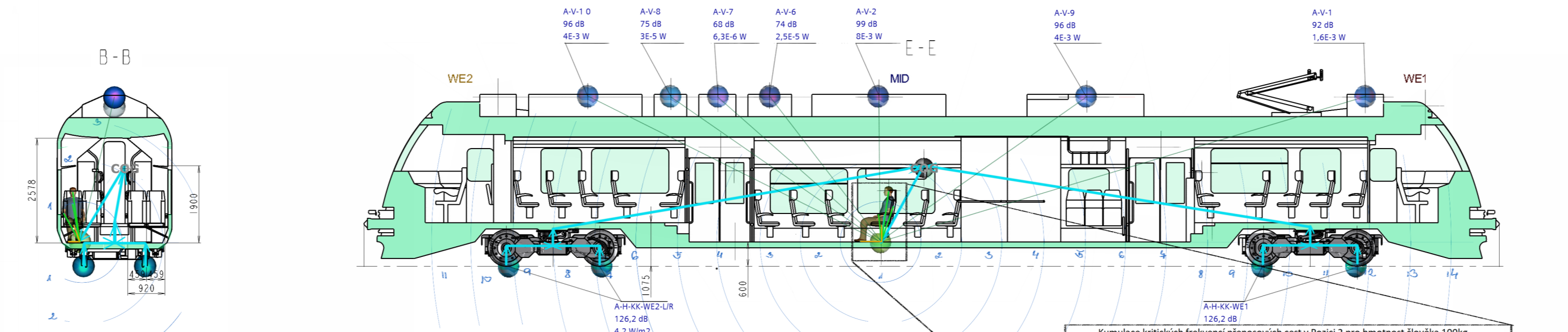
**TRAKČNÍ VUZ - PRIMĚSTSKÝ**

ČÍSLO VÝKRESU: NÁVRH GRAFICKÉHO ŘEŠENÍ HLUKU VOZIDLA PRO CESTUJÍCÍ V POZICÍCH 1, 2, 3

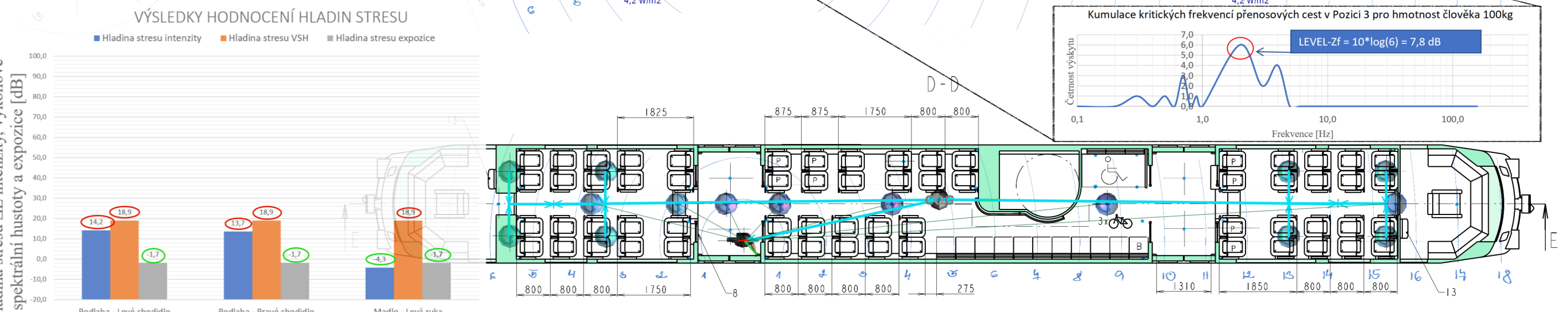
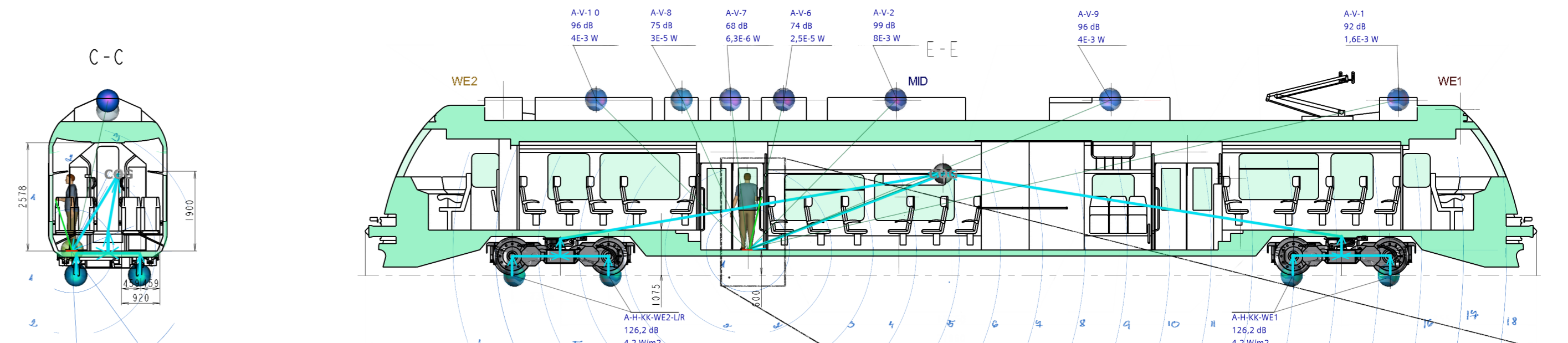
### POZICE 1 - Vliv vibrací na cestujícího



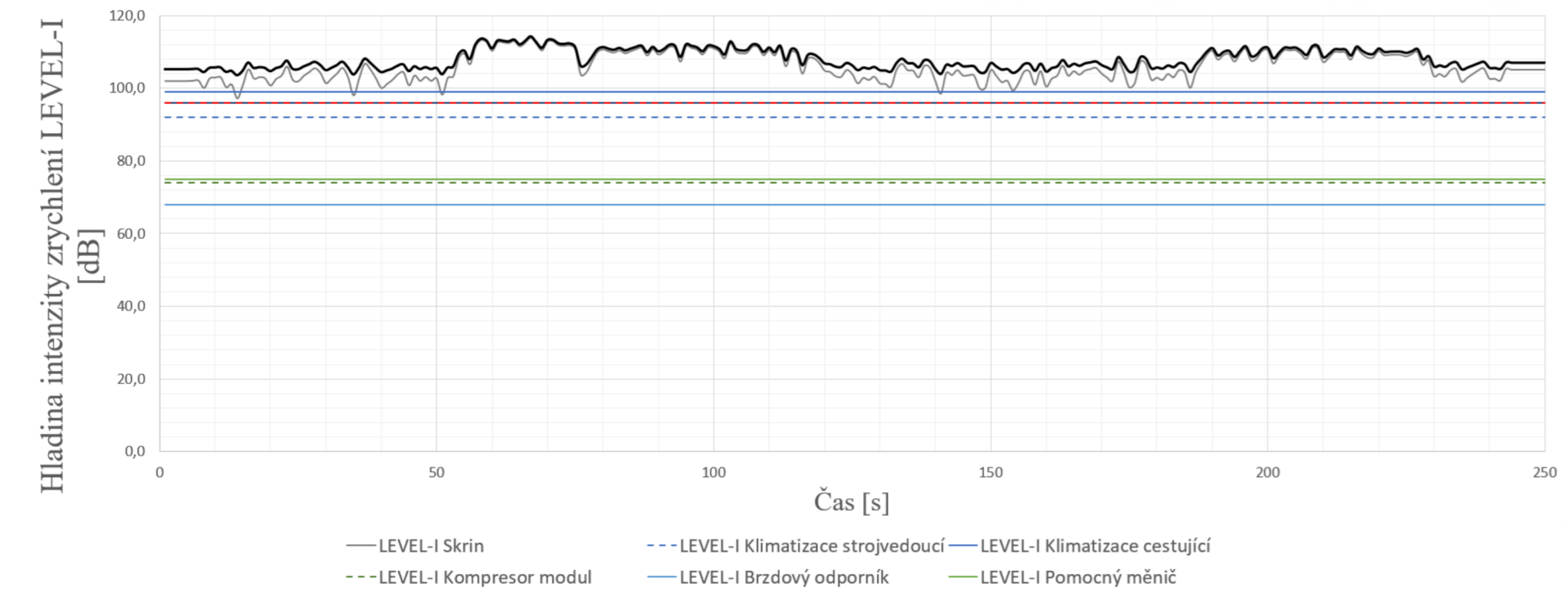
### POZICE 2 - Vliv vibrací na cestujícího



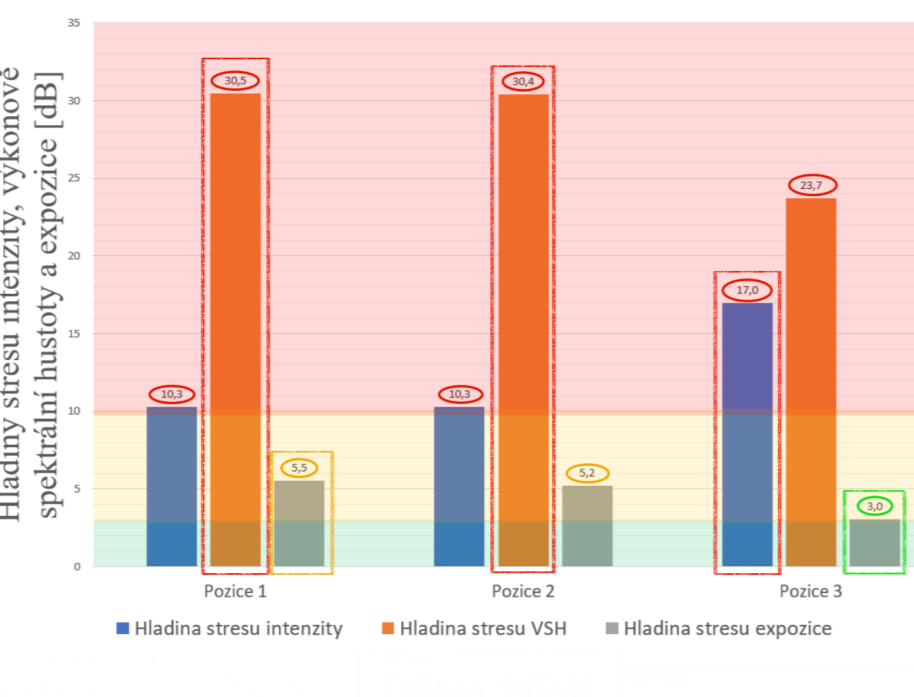
### POZICE 3 - Vliv vibrací na cestujícího



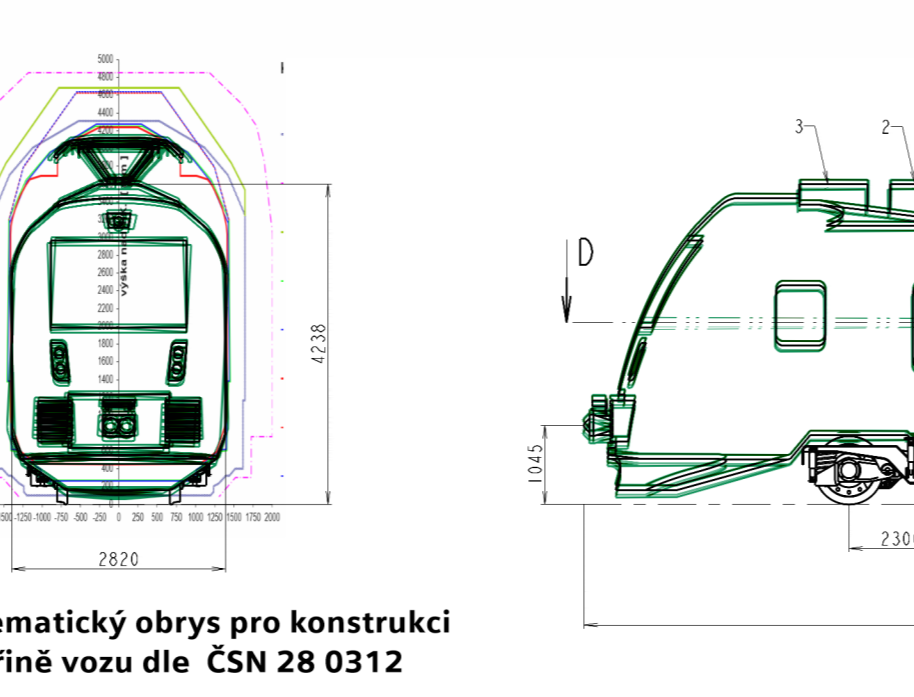
### ČASOVÉ EXPOZICE INTENZIT VIBRAČÍ ZDROJŮ



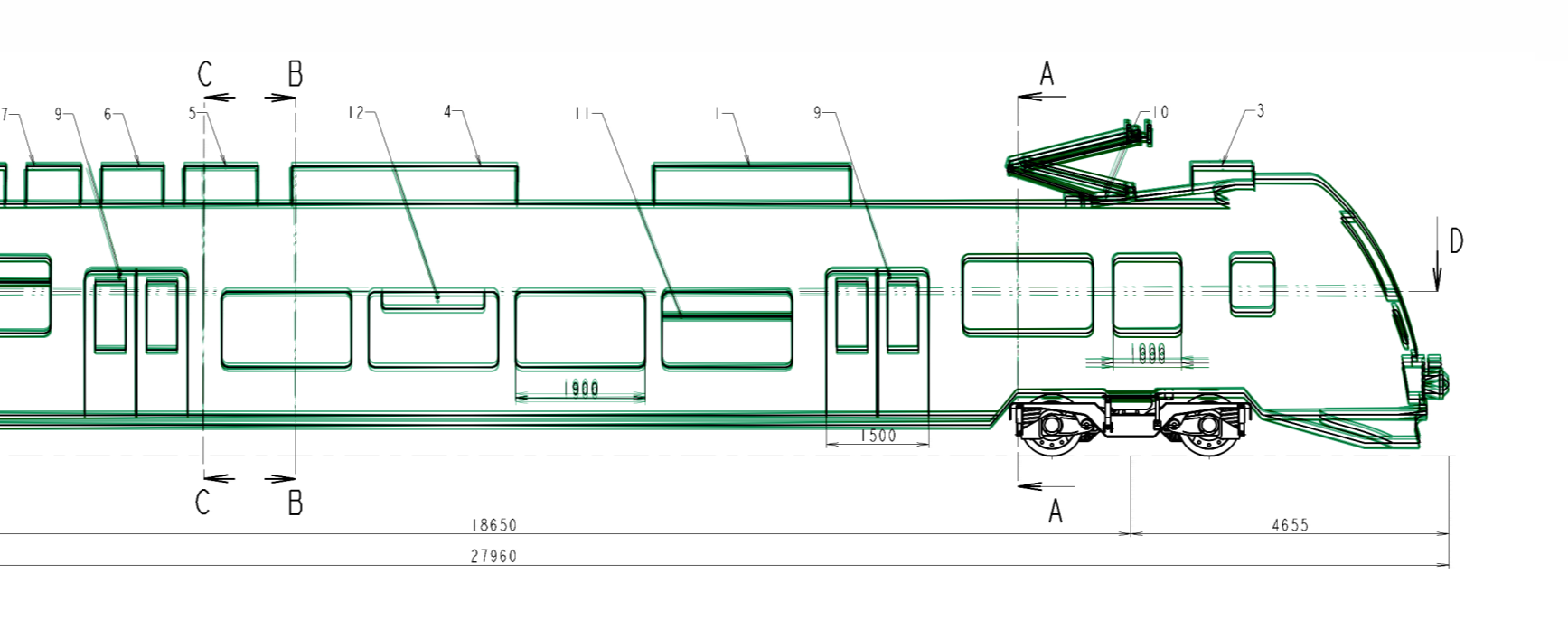
### CELKOVÉ HODNOCENÍ HLADIN STRESU



### POHYBY SKŘÍŇĚ NÁVRHU VOZIDLA



### POHLEDY VOZIDLA



### POPIS ZDROJŮ A TECHNICKÉ PARAMETRY VOZIDLA

**Značení aktivních zdrojů vozidla**

Legenda zobrazených cest:	HLADINA VZDÁLENOSTI	HLADINA SMĚRU	HLADINA ČETNOSTI
— Kritická hladina stresu studované cesty	D [m] LQ [dB] D [m] LQ [dB]	Q [Hz] LQ [dB] H [m] LQ [dB]	H [m] LQ [dB] H [m] LQ [dB]
— Diskomfortní hladina stresu studované cesty	1.1 0.8 4 12.0 24 27.6	10 0.1 0.1 -10.0	1.1 0.0 1.1 -10.0
— Optimální hladina stresu studované cesty	1.2 1.6 5 14.0 25 28.0	1.1 0.0 1.1 -10.0	2 3.0 1E+03 30.0
— Studované cesty řešené systémem SIMPACK	1.3 2.3 6 15.6 26 28.3	1.1 0.0 1.1 -10.0	3 4.8 1E+04 40.0
— Pomocné zobrazení studované cesty	1.4 2.9 7 16.9 27 28.6	1.1 0.0 1.1 -10.0	4 6.0 1E+05 50.0
	1.5 3.5 8 18.1 28 28.9	10 0.1 0.1 -10.0	5 7.0 1E+06 60.0
	1.6 4.1 9 19.1 29 29.2	1.6 2.0 6 7.8 1E+07 70.0	6 8.5 1E+08 80.0
	1.7 4.6 10 20.0 30 29.5	2 3.0 7 8.5 1E+08 80.0	8 9.5 1E+10 100.0
	1.8 5.1 11 20.8 31 29.8	3.2 5.1 8 9.0 1E+09 90.0	
	1.9 5.6 12 21.6 32 30.1	6.3 8.0 9 9.5 1E+10 100.0	
	2 6.0 13 22.3 33 30.4	12.6 11.0 10 10.0 1E+11 110.0	

**Legenda zobrazených cest:**

- Kritická hladina stresu studované cesty
- Diskomfortní hladina stresu studované cesty
- Optimální hladina stresu studované cesty
- Studované cesty řešené systémem SIMPACK
- Pomocné zobrazení studované cesty

POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV
1	TRAKČNÍ TRANSFORMÁTOR	12	INFORMAČNÍ PANEĽ	1	Max. rychlost [km/h]
2	TRAKČNÍ MĚNIČ	13	POMOCNÉ SEDADLO	2	Sedadel celkem
3	KLIMATIZACE CESTUJÍCÍ			3	Z toho vyhrazených zn.P
4	KLIMATIZACE CESTUJÍCÍ			4	Z toho sklápacích sedadel
5	KOMPRESORMODUL			5	Pocet stojících c. na m2
6	BRZDOVÝ ODPORNIK			6	Pocet stojících cestujících
7	POMOCNÝ MĚNIČ			7	Celkova kapacita vozu
8	SKRINKA NOUZ. SPRÁĽO			8	Plocha ke stání včetně schodu
9	TRAKČNÍ MĚNIČ			9	Míst pro invalidní vozík
10	STYK KOLA-KOLEJNICE			10	Hmotnost plného vozu
11	OKNO - NOUZOVE VĚTRÁNÍ			11	Rozchod

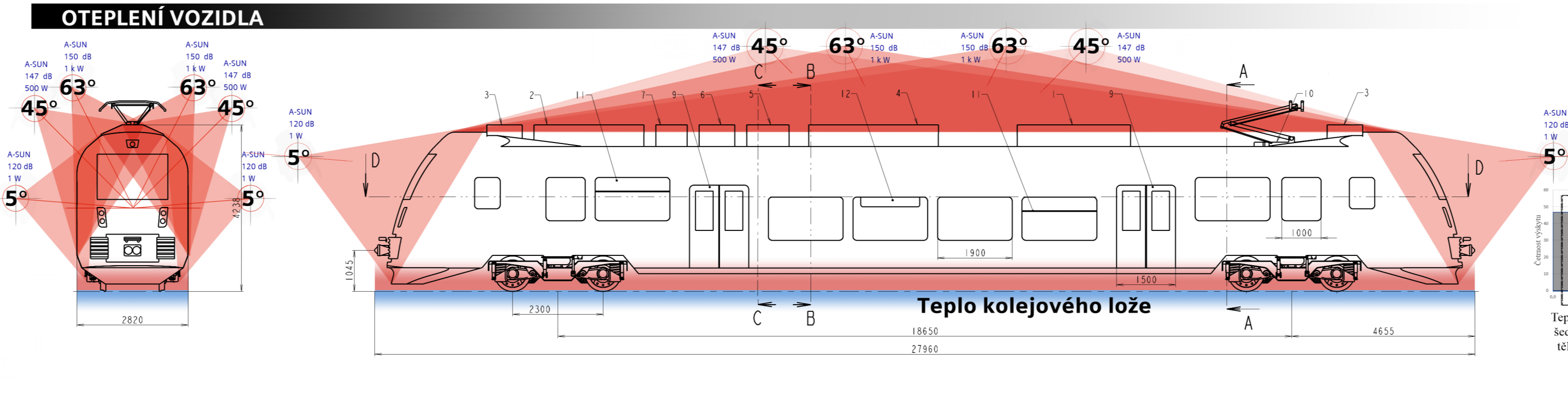
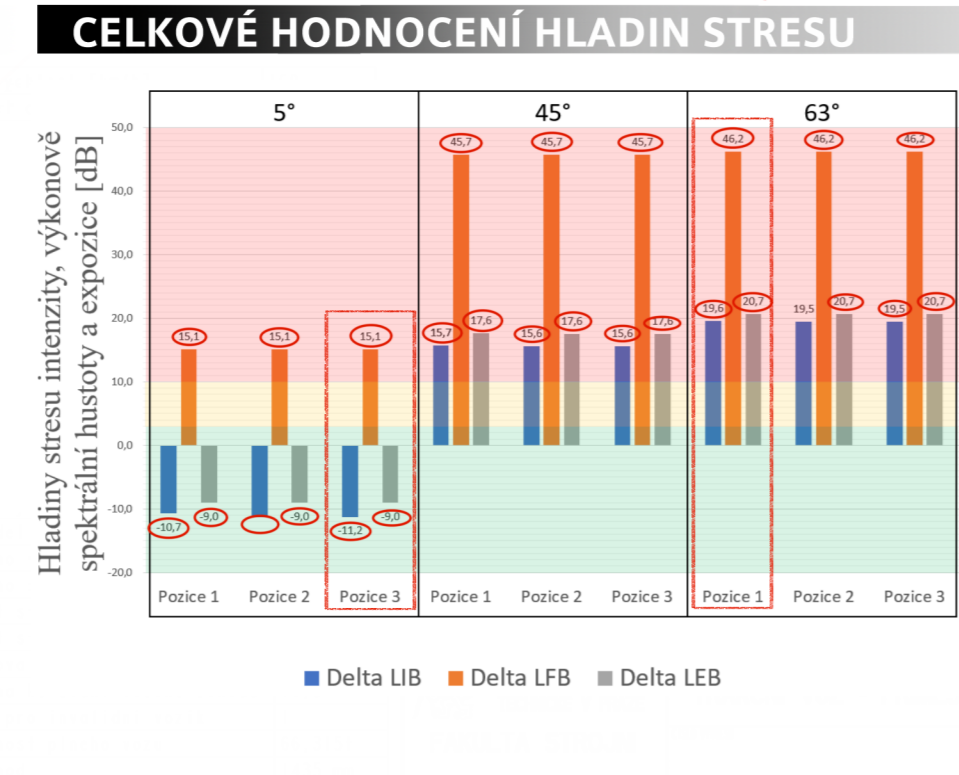
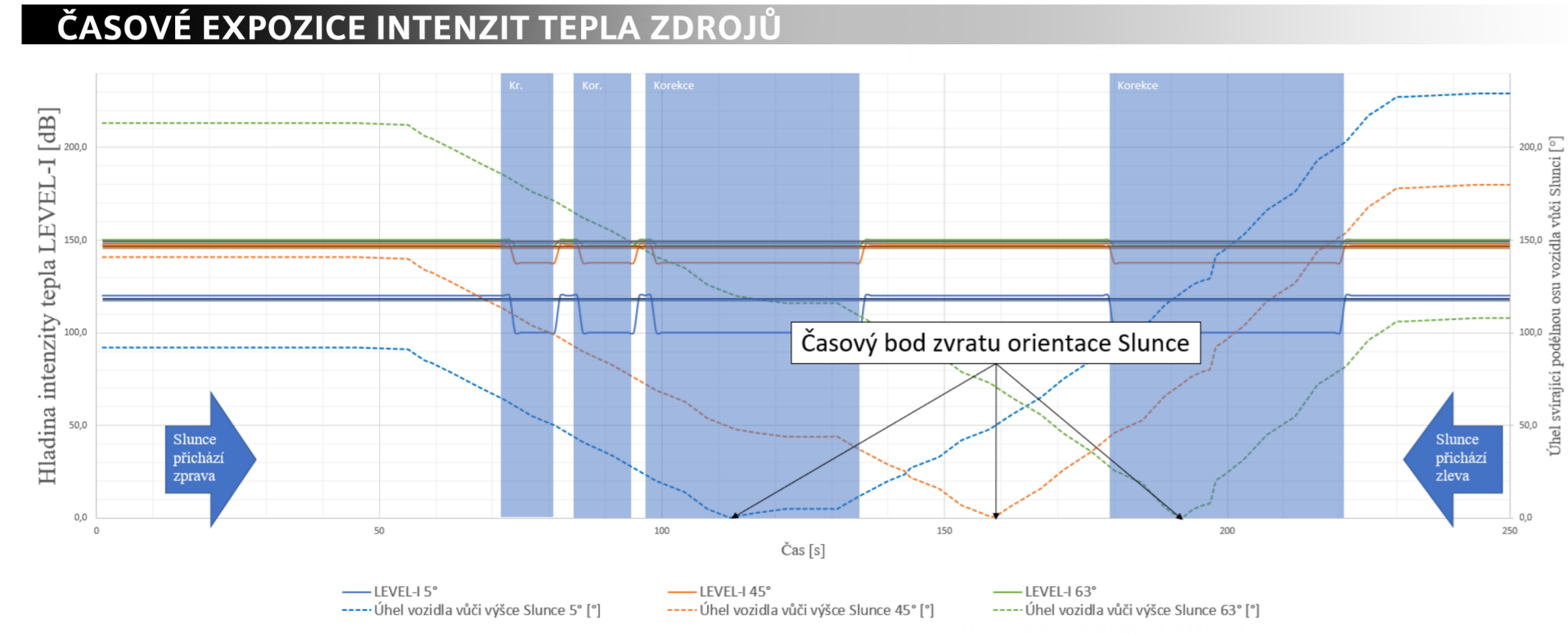
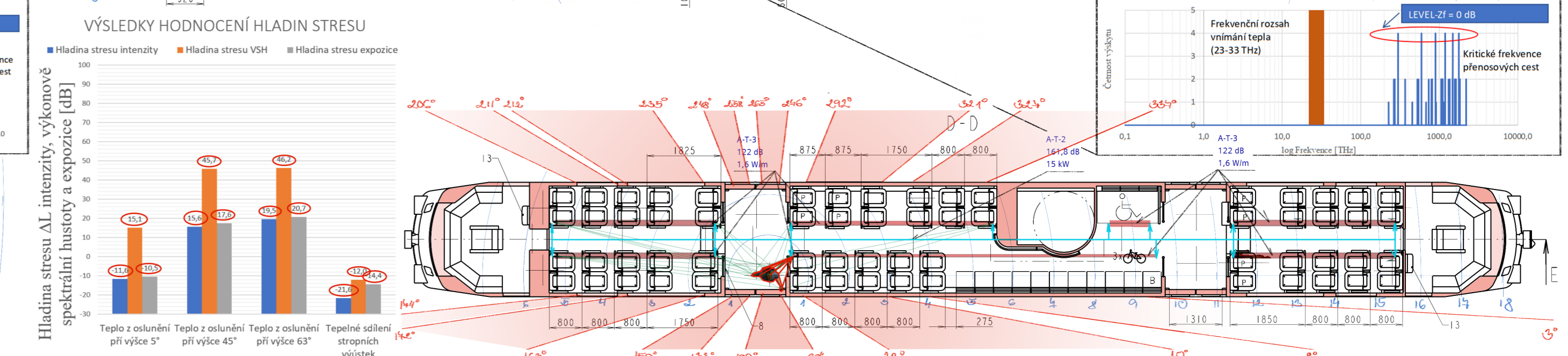
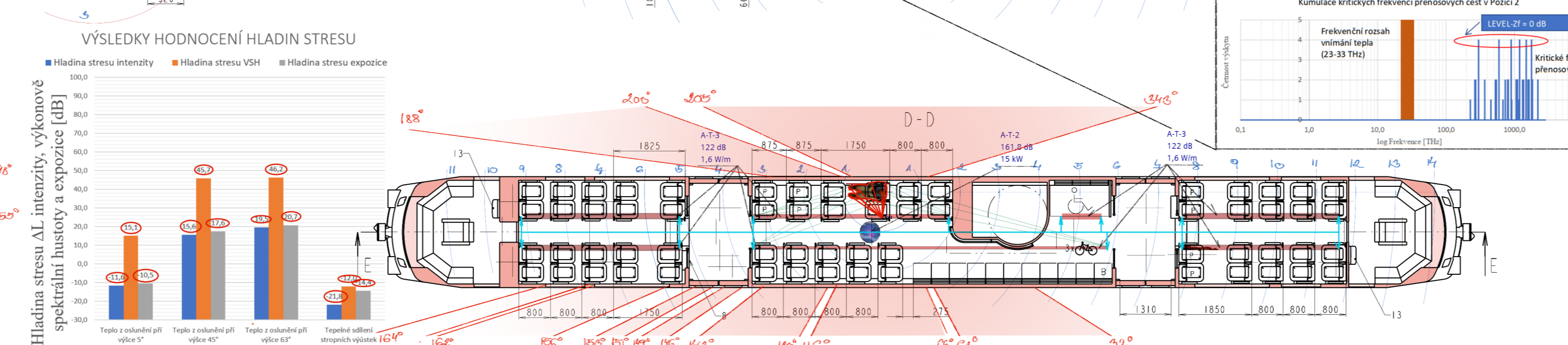
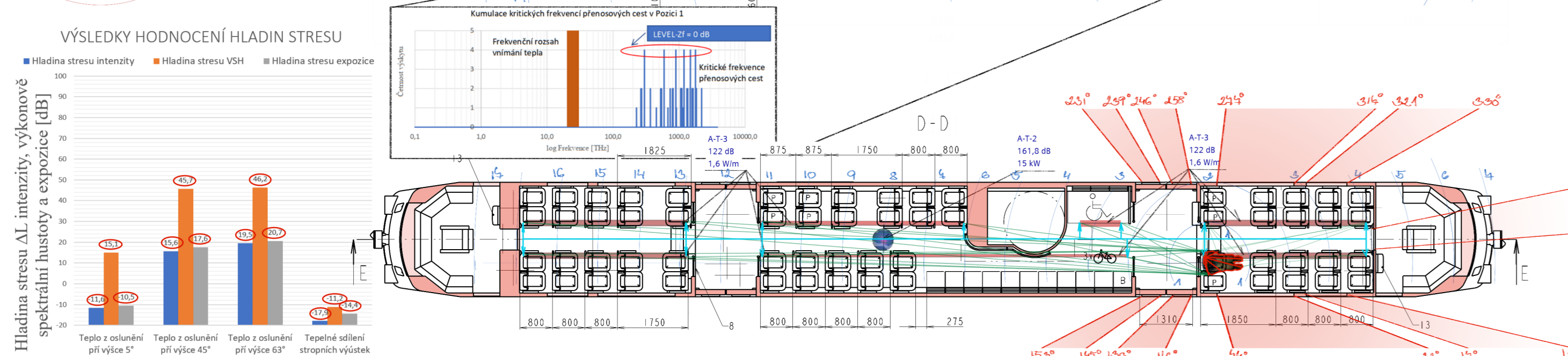
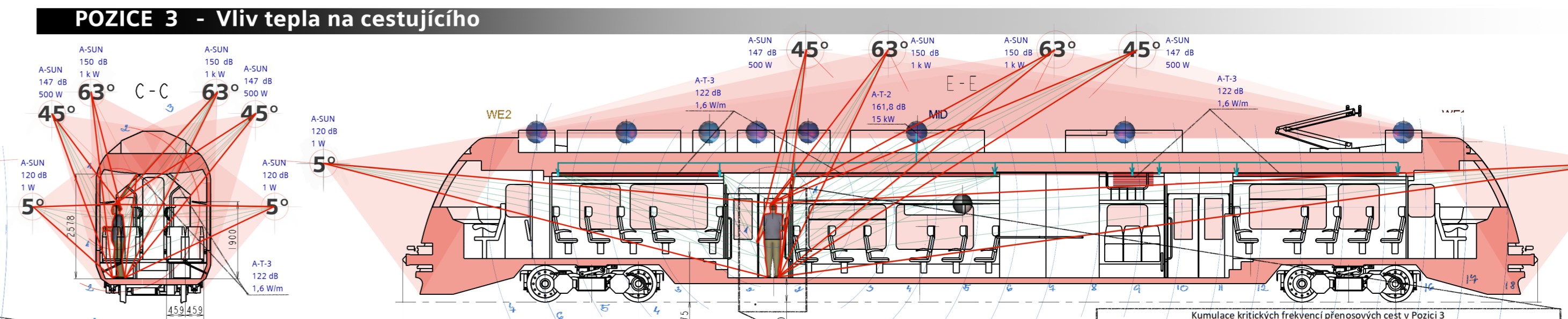
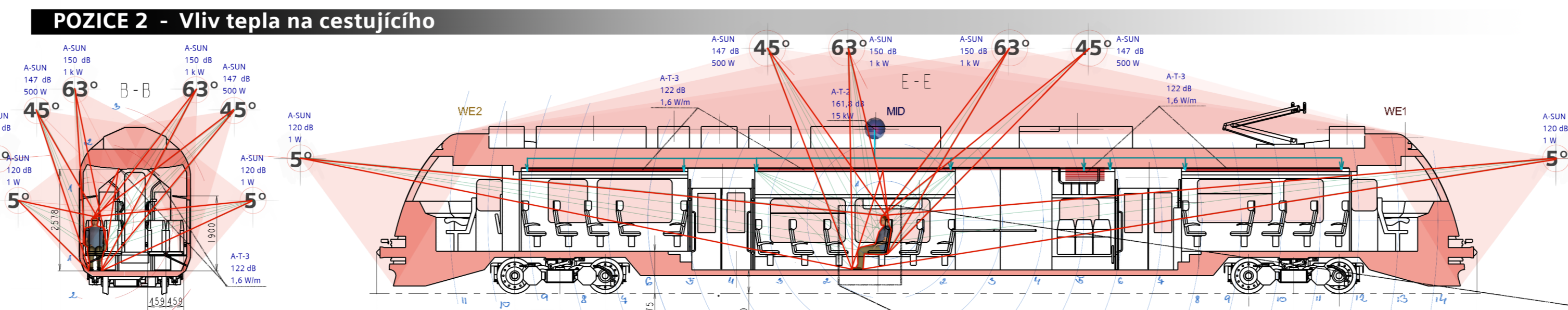
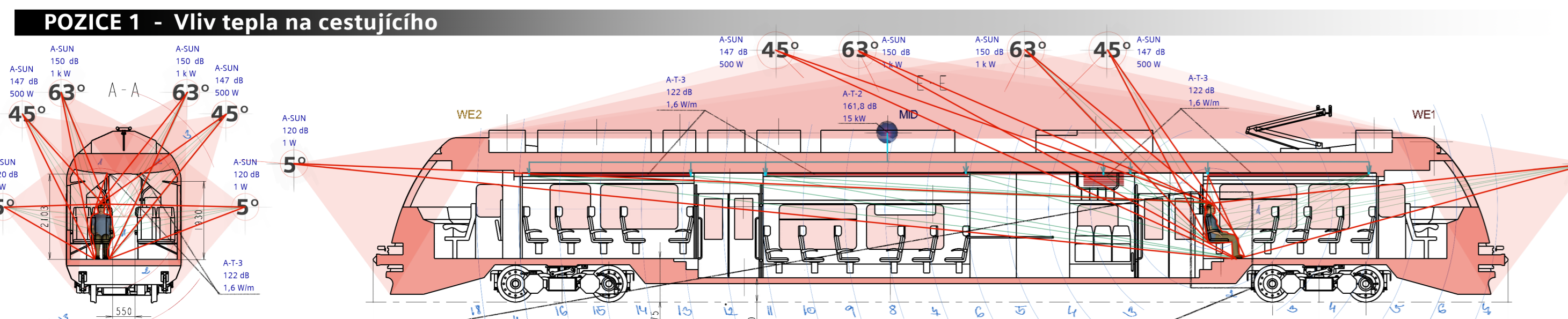
NAVĚR	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST PRŮMĚRNĚ	NEBĚTNO
NAVĚR	Lukas Malek		STATIK			66 315 kg	150
SKUPINĚ			PRŮMĚRNĚ			C. SVĚTLIK	
TECHNICKĚ			SCHVALIL			KUSOVNA	

**TRAKČNÍ VUZ - PRIMĚSTSKÝ**

**FAKULTA STROJNÍ Příloha P08**

CÍLOVÝ VÝKRES  
NÁVHR GRAFICKÉHO ŘEŠENÍ VIBRAČÍ VOZIDLA  
PRO CESTUJÍCÍ V POZICÍCH 1, 2, 3





### POPIS ZDROJŮ A TECHNICKÉ PARAMETRY VOZIDLA

**Značení aktivních zdrojů vozidla**

**Aktivní zdroje vozidla**

- Klimatizace cestující
- Výustky klimatizace – strop
- Slunce

**Teplota**

- A-T-2
- A-T-3
- A-SUN

Kumulace frekvencí přenosových cest tepla

**Legenda zobrazených cest:**

- Kritická hladina stresu studované cesty
- Diskomfortní hladina stresu studované cesty
- Optimální hladina stresu studované cesty
- Studované cesty řešené systémem HVAC
- Pomocné zobrazení studované cesty

HLADINA VZDÁLENOSTI				HLADINA SMĚRU				HLADINA ČETNOSTI			
D [m]	LD [dB]	D [m]	LD [dB]	Q [dB]	LD [dB]	n [dB]	n [dB]	n [dB]	n [dB]	n [dB]	n [dB]
0.1	-20.0	2.1	6.4	14	22.9	0.1	-10.0	1	0.0	1E+02	20.0
0.2	-14.0	2.2	6.8	15	23.5	0.2	-7.0	2	3.0	1E+03	30.0
0.3	-10.5	2.3	7.2	16	24.1	0.4	-4.0	3	4.8	1E+04	40.0
0.4	-8.0	2.4	7.6	17	24.6	0.8	-1.0	4	6.0	1E+05	50.0
0.5	-6.0	2.5	8.0	18	25.1	1	0.0	5	7.0	1E+06	60.0
0.6	-4.4	2.6	8.3	19	25.6	1.6	2.0	6	7.8	1E+07	70.0
0.7	-3.1	2.7	8.6	20	26.0	2	3.0	7	8.5	1E+08	80.0
0.8	-1.9	2.8	8.9	21	26.4	3.2	5.1	8	9.0	1E+09	90.0
0.9	-0.9	2.9	9.2	22	26.8	4.3	8.0	9	9.5	1E+10	100.0
1	0.0	3	9.5	23	27.2	12.6	11.0	10	10.0	1E+11	110.0
1.1	0.8	4	12.0	24	27.6	10	0.1	0.1	-10.0	0.7	-1.5
1.2	1.6	5	14.0	25	28.0	25	0.4	0.2	-7.0	0.8	-1.0
1.3	2.3	6	15.6	26	28.3	50	1.9	0.3	-5.2	0.9	-0.5
1.4	2.9	7	16.9	27	28.6	60	3.0	0.4	-4.0	1	0.0
1.5	3.5	8	18.1	28	28.9	10	0.1	0.1	-10.0	0.7	-1.5
1.6	4.1	9	19.1	29	29.2	25	0.4	0.2	-7.0	0.8	-1.0
1.7	4.6	10	20.0	30	29.5	50	1.9	0.3	-5.2	0.9	-0.5
1.8	5.1	11	20.8	31	29.8	60	3.0	0.4	-4.0	1	0.0
1.9	5.6	12	21.6	32	30.1	75	5.9	0.5	-3.0	2	3.0
2	6.0	13	22.3	33	30.4	85	10.6	0.6	-2.2	3	4.8

POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV
1	TRAKČNÍ TRANSFORMÁTOR	12	INFORMAČNÍ PANEĽ
2	TRAKČNÍ MENIČ	13	POMOCNÉ SEDADLO
3	KLIMATIZACE STROJVEDOUČI		
4	KLIMATIZACE CESTUJÍCÍ		
5	KOMPRESORMODUL		
6	BRZDOVÝ OPORNÍK		
7	POMOCNÝ MENIČ		
8	SKRINKA NOUZ. SPRÁHLA		
9	DOUKRÍDLÉ DVĚŘE		
10	SBERAC		
11	OKNO - NOUZOVE VĚTRÁNÍ		

POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV
1	TRAKČNÍ TRANSFORMÁTOR	12	INFORMAČNÍ PANEĽ
2	TRAKČNÍ MENIČ	13	POMOCNÉ SEDADLO
3	KLIMATIZACE STROJVEDOUČI		
4	KLIMATIZACE CESTUJÍCÍ		
5	KOMPRESORMODUL		
6	BRZDOVÝ OPORNÍK		
7	POMOCNÝ MENIČ		
8	SKRINKA NOUZ. SPRÁHLA		
9	DOUKRÍDLÉ DVĚŘE		
10	SBERAC		
11	OKNO - NOUZOVE VĚTRÁNÍ		

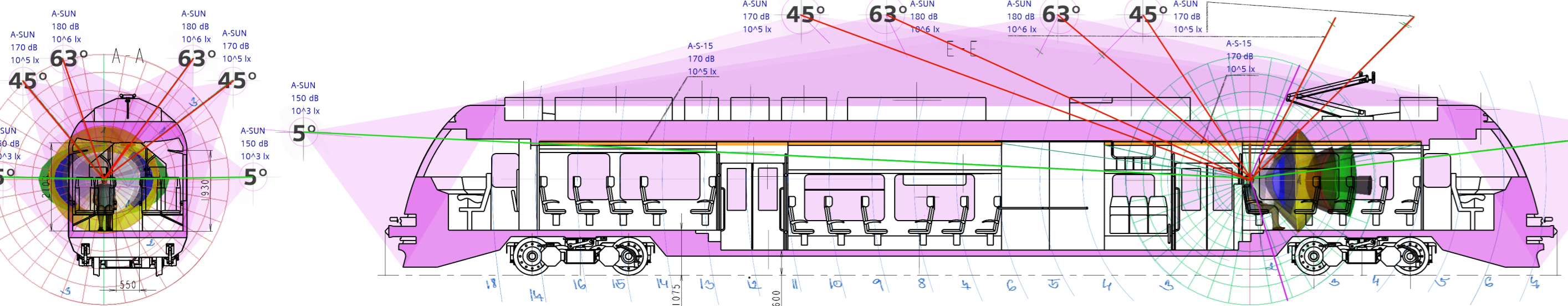
NAVRH	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HNOUITOS	66 315	kg	NEBETRO	150
KRESLE	Lukas Malek		NOVĀ REF.			PROJIZOŠE			C. SVĚTLKO	
SKUPINĀTE			SESTĀVA			SESTĀVA			KUSOVNĀ	
TECHNOL.			SCHVALIL			STĀVĀ V.				

FAKULTA STROJNĀ  
Příloha P09

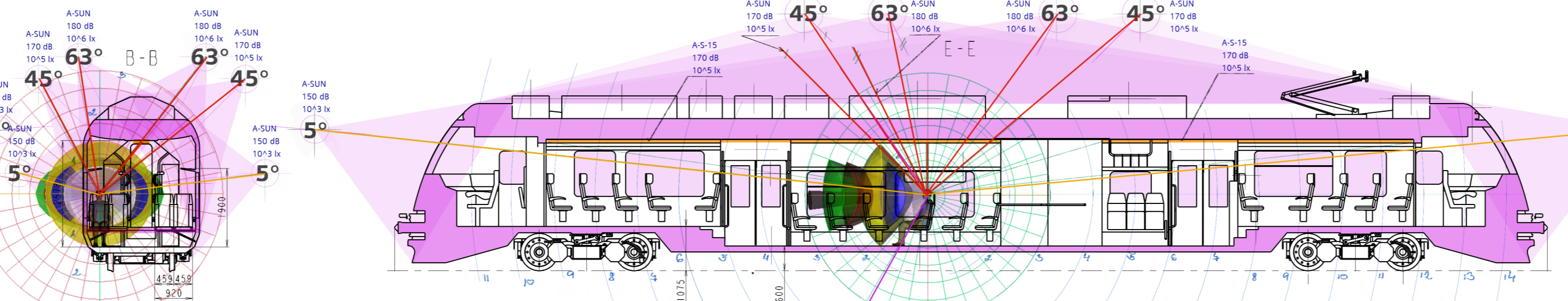
TRAKČNÍ VUZ - PRIMĚSTSKÝ

CÍSĽO VÝKRESU  
NÁVRH GRAFICKĚHO ŘEŠENÍ TEPLA VOZIDLA  
PRO CESTUJÍCÍ V POZICÍCH 1, 2, 3

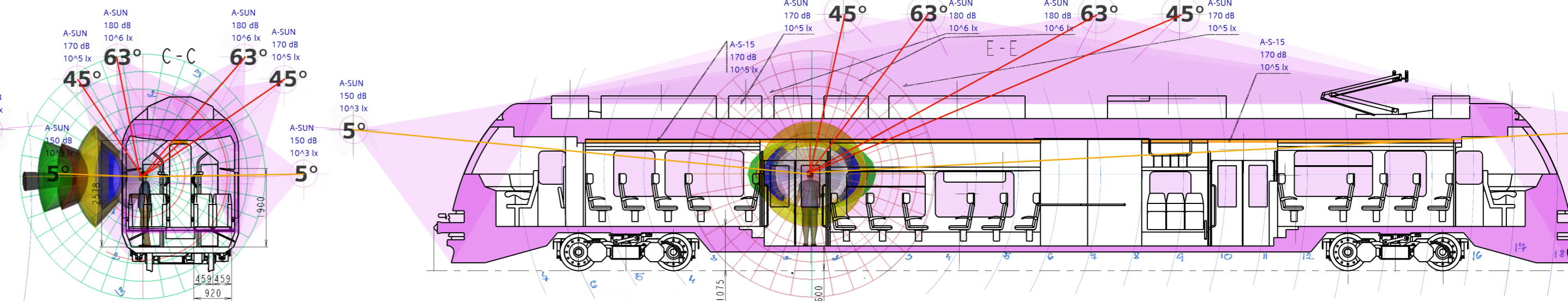
### POZICE 1 - Vliv světla na cestujícího



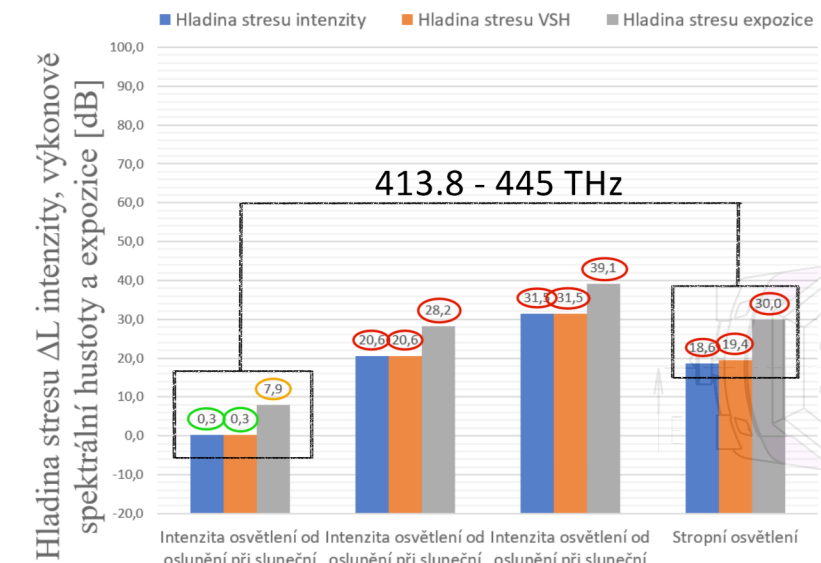
### POZICE 2 - Vliv světla na cestujícího



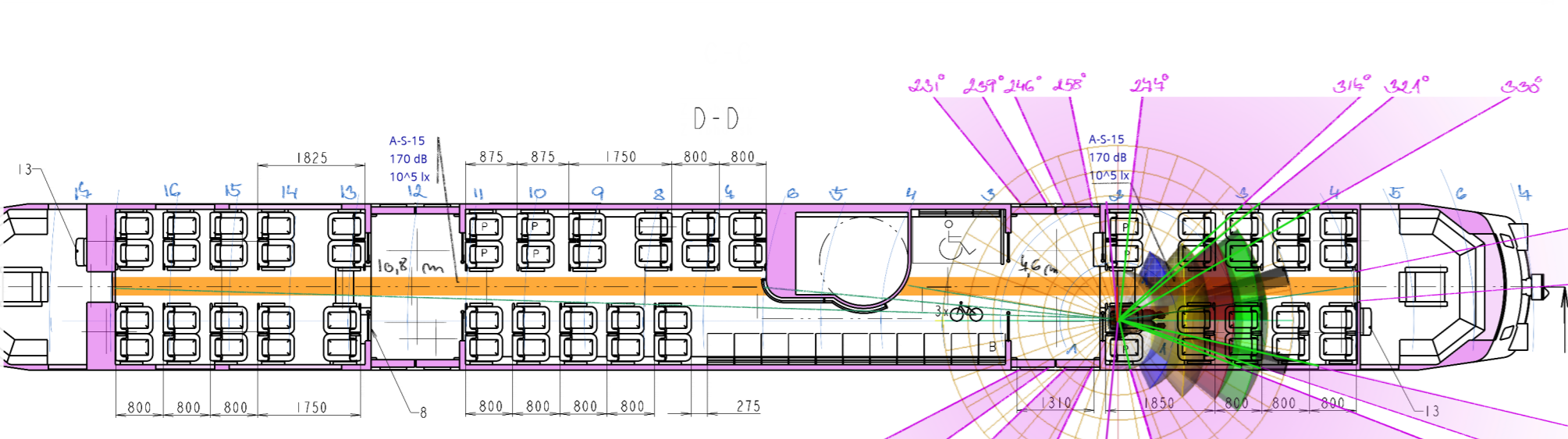
### POZICE 3 - Vliv světla na cestujícího



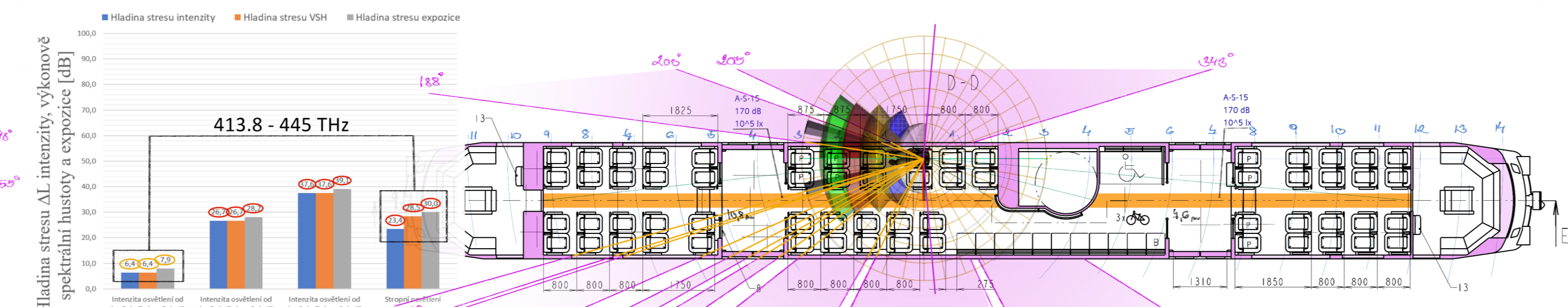
### VÝSLEDKY HODNOCENÍ HLADIN STRESU



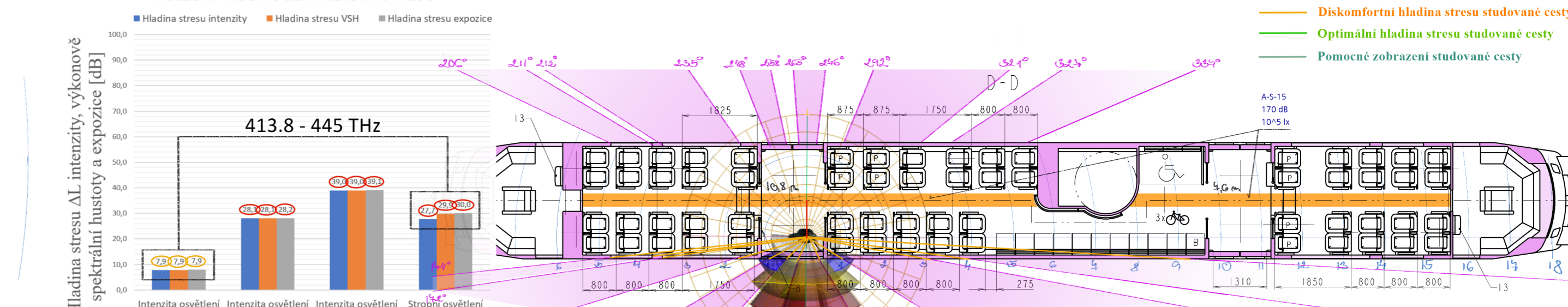
### VÝSLEDKY HODNOCENÍ HLADIN STRESU



### VÝSLEDKY HODNOCENÍ HLADIN STRESU

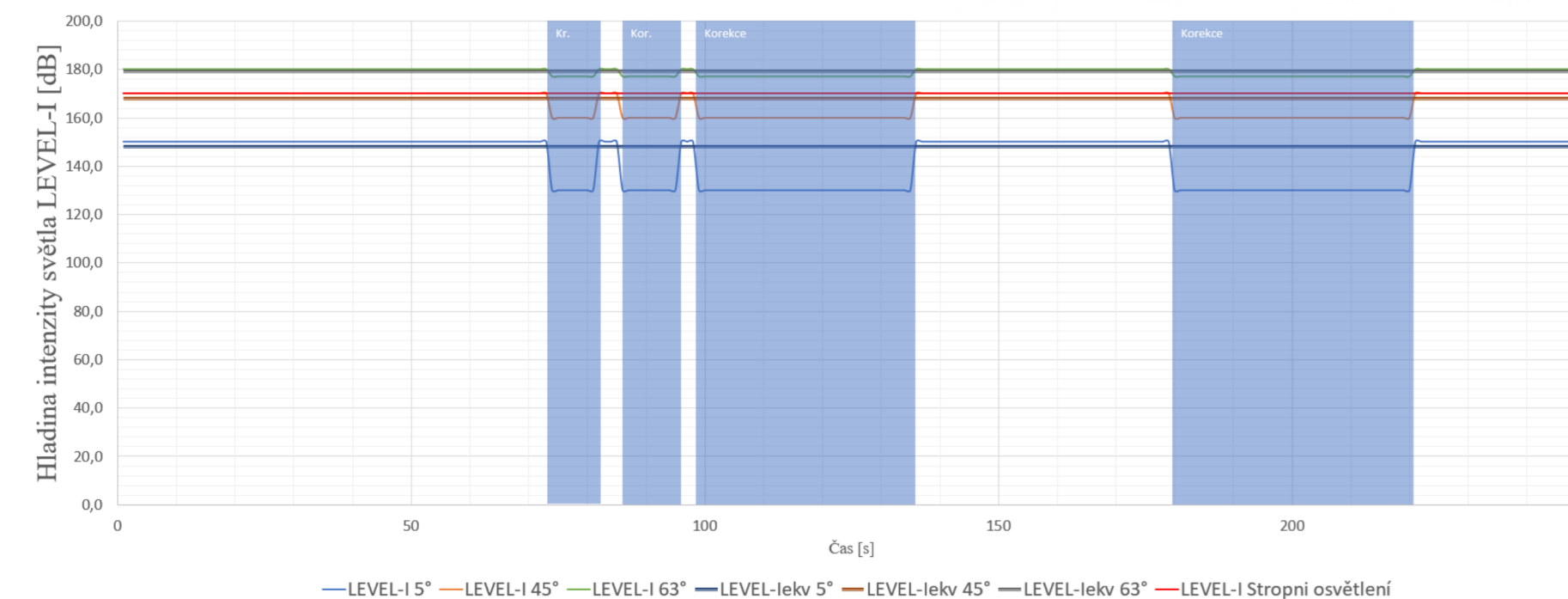


### VÝSLEDKY HODNOCENÍ HLADIN STRESU

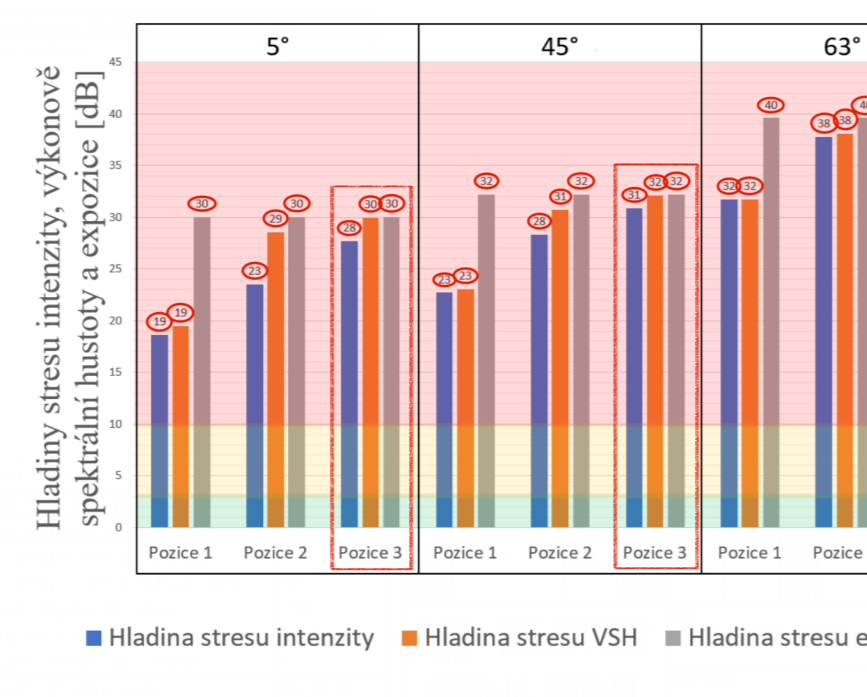


- Legenda zobrazených cest:**
- Kritická hladina stresu studované cesty
  - Diskomfortní hladina stresu studované cesty
  - Optimální hladina stresu studované cesty
  - Pomocné zobrazení studované cesty

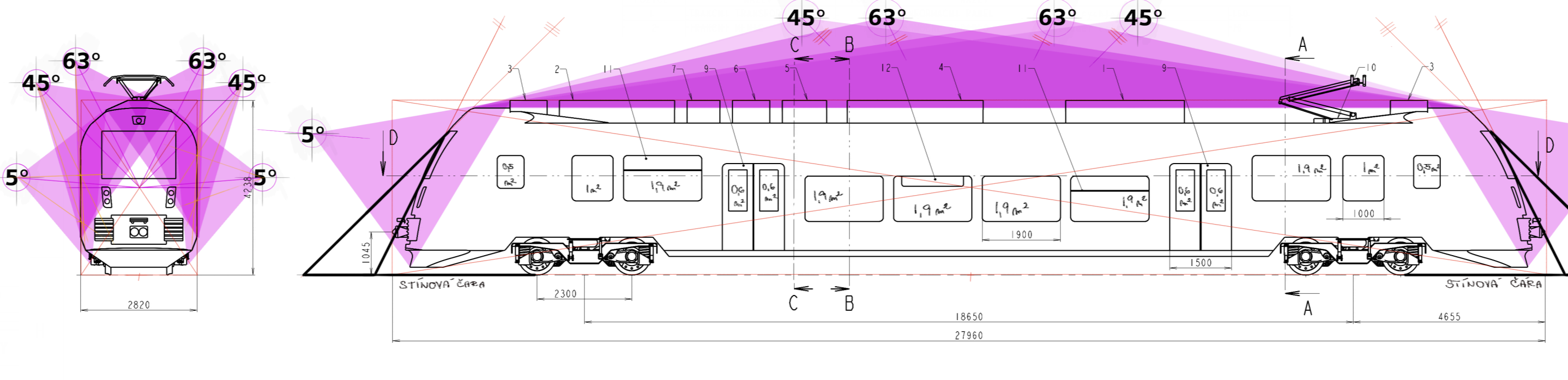
### ČASOVÉ EXPOZICE INTENZIT OSVĚTLENÍ ZDROJŮ



### CELKOVÉ HODNOCENÍ HLADIN STRESU



### OSLUNĚNÍ VOZIDLA



### POPIS ZDROJŮ A TECHNICKÉ PARAMETRY VOZIDLA

#### Značení aktivních zdrojů vozidla

**Aktivní zdroje vozidla**

**Stropní osvětlení**

Slunce [A-SUN]

Světlo [A-S-15]

HLADINA VZDÁLENOSTI				HLADINA SMĚRU				HLADINA ČETNOSTI					
D [m]	L0 [dB]	D [m]	L0 [dB]	Q [dB]	L0 [dB]	n [dB]	Ln [dB]	n [dB]	Ln [dB]	f [Hz]	Lf [dB]	n [dB]	Ln [dB]
0.1	-20.0	2.1	6.4	14	22.9	0.1	-10.0	1.1	0.0	1E+02	20.0	0.1	-10.0
0.2	-14.0	2.2	6.8	15	23.5	0.2	-7.0	2	3.0	1E+03	30.0	0.3	-10.5
0.3	-10.5	2.3	7.2	16	24.1	0.4	-4.0	3	4.8	1E+04	40.0	0.4	-8.0
0.4	-8.0	2.4	7.6	17	24.6	0.8	-1.0	4	6.0	1E+05	50.0	0.5	-6.0
0.5	-6.0	2.5	8.0	18	25.1	1	0.0	5	7.0	1E+06	60.0	0.6	-4.4
0.6	-4.4	2.6	8.3	19	25.6	1.6	2.0	6	7.8	1E+07	70.0	0.7	-3.1
0.7	-3.1	2.7	8.6	20	26.0	2	3.0	7	8.5	1E+08	80.0	0.8	-1.9
0.8	-1.9	2.8	8.9	21	26.4	3.2	5.1	8	9.0	1E+09	90.0	0.9	-0.9
0.9	-0.9	2.9	9.2	22	26.8	6.3	8.0	9	9.5	1E+10	100.0	1	0.0
1	0.0	3	9.5	23	27.2	12.6	11.0	10	10.0	1E+11	110.0	1.1	0.8
1.1	0.8	4	12.0	24	27.6	27.6	17.0	11	10.8	1E+12	120.0	1.2	1.6
1.2	1.6	5	14.0	25	28.0	30.0	18.0	12	11.2	1E+13	130.0	1.3	2.3
1.3	2.3	6	15.6	26	28.3	31.0	19.0	13	11.5	1E+14	140.0	1.4	2.9
1.4	2.9	7	16.9	27	28.6	31.5	19.5	14	11.6	1E+15	150.0	1.5	3.5
1.5	3.5	8	18.1	28	28.9	10	0.1	0.1	-10.0	0.7	-1.5	1.6	4.1
1.6	4.1	9	19.1	29	29.2	25	0.4	0.2	-7.0	0.8	-1.0	1.7	4.6
1.7	4.6	10	20.0	30	29.5	50	1.9	0.3	-5.2	0.9	-0.5	1.8	5.1
1.8	5.1	11	20.8	31	29.8	60	3.0	0.4	-4.0	1	0.0	1.9	5.6
1.9	5.6	12	21.6	32	30.1	75	5.9	0.5	-3.0	2	3.0	2	6.0
2	6.0	13	22.3	33	30.4	85	10.6	0.6	-2.2	3	4.8		

POZICE	NÁZEV	POZICE	NÁZEV
1	TRAKČNÍ TRANSFORMÁTOR	12	INFORMAČNÍ PANEL
2	TRAKČNÍ MENIC	13	POMOCNÉ SEDADLO
3	KLIMATIZACE STROJVEDOUCÍ		
4	KLIMATIZACE CESTUJÍCÍ		
5	KOMPRESORMODUL		
6	BRZDOVÝ OPORNÍK		
7	POMOCNÝ MENIC		
8	SKRINKA NOUZ. SPRÁHLA		
9	DVOUKRIDLÉ DVĚŘE		
10	SBERAC		
11	OKNO - NOUZOUE VĚTRÁNÍ		

NAVRH:	Lukas Malek	Podpis:		Datum:		STATIK:		Podpis:		Datum:		HMŮRNOST:	66 315 kg	NEBĚHO:	150
SKUPINÁŘ:		PROJEKTANT:		PROJEKTANT:		PROJEKTANT:		PROJEKTANT:		PROJEKTANT:		PROJEKTANT:		PROJEKTANT:	
TECHNICKÝ:		TECHNICKÝ:		TECHNICKÝ:		TECHNICKÝ:		TECHNICKÝ:		TECHNICKÝ:		TECHNICKÝ:		TECHNICKÝ:	