

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**



**Diplomová práce**

**Vibrační izolace velikostního klasifikátoru pevných  
částic**

**Bc. Jaroslav Šťastný**

© 2022 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jaroslav Štátný

Technika a technologie v dopravě a  
spojích Silniční a městská automobilová  
doprava

Název práce

**Vibrační izolace velikostního klasifikátoru pevných částic**

Název anglicky

**Vibration insulation of particulate matter size classifier**

---

### Cíle práce

Stručná rešerše měření produkce pevných částic dle počtu a imisního zatížení ovzduší touto látkou. Stručná rešerše možnosti pružného a jednoduchého uložení přístroje při měření za jízdy po běžných veřejných komunikacích.

Navržení rozebíratelného rámu pro velikostní klasifikátor pevných částic eliminující škodlivý vliv vibrací (šum naměřených koncentrací) a zhotovení parametrických modelů pro výkresovou dokumentaci.

Vytvoření výkresové dokumentace a fyzická realizace rámu.

Experimentální odzkoušení a vyhodnocení přínosu vibračně izolačního rámu za jízdy vozidla, podle možnosti i pro různé nastavení tuhosti uložení přístroje.

### Metodika

Diplomová práce je zaměřena na vytvoření odpruženého uložení na vibrace citlivého přístroje pro měření koncentrace pevných částic. Toto uložení bude realizováno nafukovacími vzduchovými vaky a bude umožňovat jeho provoz v běžném osobním automobilu včetně bezpečného uchycení bezpečnostním pásem. Součástí diplomové práce je rovněž porovnání výsledků měřených velikostním klasifikátorem bez a s realizovaným systémem uložení, případně za jeho různých parametrů.

## Doporučený rozsah práce

50

## Klíčová slova

počet částic, vibrace, emise, imise, ovzduší, výfukové plyny

---

## Doporučené zdroje informací

Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS™) Spectrometer Model 3090, Operation and Service Manual, TSI Inc. 2015.

KAUL, Sudhir. Vibration isolation— background. Modeling and Analysis of Passive Vibration Isolation Systems [online]. Elsevier, 2021, 2021, s. 1-26 [cit. 2022-01-21]. ISBN 9780128194201. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-819420-1.00007-8

VESTAD, Håvard a Martin STEINERT. A low-cost vibration isolation chamber – Making high precision experiments accessible. HardwareX [online]. 2022, 11 [cit. 2022-01-21]. ISSN 24680672. Dostupné z: doi:10.1016/j.ohx.2022.e00264

---

## Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

## Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pechout, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2022

**doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 03. 03. 2022

---

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Vibrační izolace velikostního klasifikátoru pevných částic" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2022

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Martinu Pechoutovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, čas a také cenné rady poskytnuté v průběhu vytváření mé diplomové práce. Rád bych také poděkoval mé rodině a přátelům za jejich podporu a trpělivost.

# Vibrační izolace velikostního klasifikátoru pevných částic

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem rozebíratelného rámu pro velikostní klasifikátor pevných částic eliminující škodlivý vliv vibrací a rázů. V úvodní části se práce věnuje problematice pevných částic v ovzduší, jejich vzniku, vlivu pevných částic na lidské zdraví, imisnímu zatížení ovzduší touto látkou, popisu a principu velikostního klasifikátoru TSI EEPS 3090 a možnostem běžně používaného pružného uložení. Ve druhé části se práce věnuje samotnému konstrukčnímu návrhu a fyzické realizaci rámu. Byl navržen a realizován rám s jednou odnímatelnou stěnou pro snadné vkládání přístroje. Součástí práce je také vytvořená výrobní dokumentace.

**Klíčová slova:** pevné částice, počet částic, vibrace, emise, imise, ovzduší, výfukové plyny, EEPS, velikostní rozdělení pevných částic

# **Vibration insulation of particulate matter size classifier**

## **Abstract**

This thesis deals with the design of a demountable frame for a solid particle size classifier eliminating the harmful effects of vibration and shocks. In the introduction part, the thesis deals with the problem of particulate matter in the air, its origin, the effect of particulate matter on human health, the immission load of this substance in the air, the description and principle of the TSI EEPS 3090 size classifier and the possibilities of the commonly used flexible mounting. The second part of the thesis deals with the actual structural design and physical implementation of the frame. A frame with one removable wall for easy insertion of the instrument was designed and implemented. Thesis also includes used manufacturing documentation.

**Keywords:** particulate matter, particle number, vibration, emissions, immissions, air, exhaust gases, EEPS, particle size distribution

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>13</b>
2.1 Cíl práce .....	13
<b>3 Metodika .....</b>	<b>13</b>
<b>4 Pevné částice .....</b>	<b>14</b>
4.1 Vznik pevných částic .....	14
4.2 Velikostní rozdělení pevných částic.....	16
4.3 Vliv pevných částic na lidské zdraví.....	17
4.4 Znečištění ovzduší částicemi.....	19
4.4.1 Imisní limity.....	21
<b>5 Velikostní klasifikátor TSI EEPS™ 3090.....</b>	<b>22</b>
5.1 Popis přístroje.....	22
5.2 Princip funkce přístroje .....	24
5.3 Počítačový program .....	26
<b>6 Příklady pružného uložení .....</b>	<b>27</b>
6.1 Pružinový tlumič vibrací.....	27
6.2 Pryžové silentbloky .....	28
6.3 Vzduchové pružiny .....	28
<b>7 Konstrukční návrh vibrační izolace .....</b>	<b>29</b>
7.1 Příprava .....	29
7.2 Použitý software.....	29
7.3 Rám z profilů z hliníkové slitiny.....	29
7.3.1 Demontovatelná část rámu.....	32
7.3.2 Oka pro popruh .....	34
7.3.3 Spojovací materiál .....	35
7.3.4 Výplně stěn .....	35
7.3.5 Vzduchové vaky .....	36
7.4 Celkový model sestavy izolačního rámu.....	37
7.5 Modely dílů určených pro 3D tisk .....	38
7.5.1 Háč pro bezpečnostní pás .....	38
7.5.2 Ruční šrouby .....	39
7.5.3 Utěsnění okna .....	40
<b>8 Fyzická realizace izolačního rámu.....</b>	<b>41</b>
8.1 Příprava materiálu .....	41



8.2	Obrábění profilů .....	42
8.3	Výroba dílů – 3D tisk .....	43
8.4	Plastové výplně .....	43
8.5	Vzduchové vaky .....	45
8.6	Upínací destičky .....	45
8.7	Sestavení rámu .....	46
8.7.1	Spodní část .....	46
8.7.2	Přední demontovatelná část .....	47
8.7.3	Boky a zadní stěna .....	47
8.7.4	Oka pro popruh .....	48
8.7.5	Sestavený rám .....	49
<b>9</b>	<b>Měření a vyhodnocení přínosu.....</b>	<b>50</b>
9.1	Měření .....	50
9.2	Vyhodnocení .....	59
<b>10</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>60</b>
<b>11</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>61</b>
<b>12</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>64</b>

## **Seznam obrázků**

<b>Obrázek 1</b>	– Schematické znázornění pevné částice [4] .....	15
<b>Obrázek 2</b>	- Hmotnostní a početní spektra pevných částic s velikostním rozdělením [6] .....	16
<b>Obrázek 3</b>	- Porovnání velikostí, částice versus lidský vlas [8] .....	17
<b>Obrázek 4</b>	- Dýchací ústrojí a velikostní rozdělení PM [11].....	18
<b>Obrázek 5</b>	– Globální mapa průměrných ročních koncentrací PM <sub>2,5</sub> [14] .....	19
<b>Obrázek 6</b>	– Roční průměrné koncentrace PM <sub>2,5</sub> a PM <sub>10</sub> v ČR [15] .....	20
<b>Obrázek 7</b>	– Fyzické provedení částicového analyzátoru TSI EEPS <sup>TM</sup> 3090 [17] .....	23
<b>Obrázek 8</b>	– Schéma toku vzduchu uvnitř EEPS při měření [16] .....	24
<b>Obrázek 9</b>	– Výchozí zobrazení programu Engine Exhaust Particle Sizer Program [18].....	26
<b>Obrázek 10</b>	– Fotografie a schéma vibroizolační komory pro citlivé měřicí přístroje [19]....	27
<b>Obrázek 11</b>	– Silentblok [20] .....	28
<b>Obrázek 12</b>	– Vzduchové pružiny-vlnovce od firmy Rubena [21] .....	28
<b>Obrázek 13</b>	– Renderovaný 3D model sestavy rámu .....	31

<b>Obrázek 14</b> – Tvar průřezu profilů 20x40 a 20x20 .....	32
<b>Obrázek 15</b> – Detail připojení demontovatelné části rámu .....	32
<b>Obrázek 16</b> – Konstrukce demontovatelné části rámu .....	33
<b>Obrázek 17</b> – Rozložený pohled demontovatelné části rámu .....	33
<b>Obrázek 18</b> – Celkový a rozložený pohled sestavy oka pro popruh .....	34
<b>Obrázek 19</b> – Profil 5 20x20 .....	35
<b>Obrázek 20</b> – Model celkové sestavy izolačního rámu z prostředí programu Solid Edge.....	37
<b>Obrázek 21</b> – Pohledy na hák pro bezpečnostní pás .....	38
<b>Obrázek 22</b> – Pohledy na ruční hlavici šroubu.....	39
<b>Obrázek 23</b> – Rozložený pohled sestavy okenních výplní.....	40
<b>Obrázek 24</b> – Sestava výplní a zadního skla Škody Karoq z prostředí Solid Edge .....	40
<b>Obrázek 25</b> – Řezy a zobrazení průchozích děr a zahloubení v profilech .....	42
<b>Obrázek 26</b> – Detail obrobeného profilu 20x20 .....	42
<b>Obrázek 27</b> – Snímek tištěných dílů ze sliceru Cura.....	43
<b>Obrázek 28</b> – Zalití šroubů epoxydovým lepidlem .....	43
<b>Obrázek 29</b> – Nařezané PMMA desky a ukázka seříznutého rohu .....	44
<b>Obrázek 30</b> – Prostor pro utahování šroubů rohovníků.....	44
<b>Obrázek 31</b> – Vzduchový vak a detail zahnutého ventilku .....	45
<b>Obrázek 32</b> – Upínací destičky.....	45
<b>Obrázek 33</b> – Sestavování konstrukce dna, detail spojení profilů rohovníkem a výsledek ....	46
<b>Obrázek 34</b> – Průběh sestavování demontovatelné části.....	47
<b>Obrázek 35</b> – Průběh sestavování boků a zadní části rámu.....	48
<b>Obrázek 36</b> – Použitý materiál a sestavení upínacího oka .....	48
<b>Obrázek 37</b> – Výsledný sestavený rám a jeho umístění v automobilu.....	49
<b>Obrázek 38</b> – Vozík s EEPS při experimentálním měření .....	50
<b>Obrázek 39</b> – Mapa s trasou jízdy a naměřenými koncentracemi částic v ovzduší .....	57

## Seznam tabulek

<b>Tabulka 1</b> – Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [12].....	21
<b>Tabulka 2</b> – Vybrané údaje technické specifikace TSI EEPS <sup>TM</sup> 3090 [16] .....	22
<b>Tabulka 3</b> – Materiál použitý na rám od firmy Haberkorn s.r.o.....	30
<b>Tabulka 4</b> – Spojovací materiál .....	35
<b>Tabulka 5</b> – Přířezy PMMA výplní do stěn rámu .....	36
<b>Tabulka 6</b> – Rozměry vzduchových vaků .....	36
<b>Tabulka 7</b> – Umístění, délky a počty kusů řezaných hliníkových profilů.....	41
<b>Tabulka 8</b> – Porovnání jednotlivých variant s vibračně izolačním rámem a bez něho .....	54

## Seznam grafů

<b>Graf 1</b> - Celková koncentrace PM – jízda bez vaků, podlaha 10 s stacionárně / 10 s jízda.....	51
<b>Graf 2</b> - Celková koncentrace PM – jízda s vaky, podlaha 10 s stacionárně / 10 s jízda .....	51
<b>Graf 3</b> - Celková koncentrace PM – jízda bez vaků po dlažbě 10 s stacionárně / 10 s jízda...52	
<b>Graf 4</b> - Celková koncentrace PM – jízda s vaky po dlažbě 10 s stacionárně / 10 s jízda.....52	
<b>Graf 5</b> - Celková koncentrace PM – jízda bez vaků, po silnici 10 s stacionárně / 10 s jízda ..53	
<b>Graf 6</b> - Celková koncentrace PM – jízda s vaky, po silnici 10 s stacionárně / 10 s jízda .....	53
<b>Graf 7</b> – Hodnota šumu velikostního klasifikátoru EEPS .....	56
<b>Graf 8</b> - Velikostní spektrum pevných částic v místech měření s koncentrací větší než 50 000 částic na cm <sup>3</sup> .....	58

# 1 Úvod

Laboratorní a jiné měřicí přístroje jsou ve většině případů velice citlivé na vibrace, které vnášejí do měření nežádoucí šum a znehodnocují tak naměřené hodnoty. Většinou není problém přístroj umístit mimo zdroje vibrací a vyhnout se tak téměř zcela tomuto problému. Avšak odlišná situace nastává například v případě umístění na vibrace citlivého přístroje dovnitř vozidla, kdy vibrace přenášené od vozidla značně znehodnocují naměřené hodnoty, které jsou následně nepoužitelné.

Zdárným příkladem toho je velikostní klasifikátor od firmy TSI Exhaust Engine Particulate Sizer model 3090, který je při využití pro měření koncentrace pevných částic v ovzduší umístěný ve vozidle za jízdy. Tento přístroj je velice citlivý na vibrace a při takovém měření vzniká značný šum v naměřených hodnotách. Pokud by se měřily koncentrace například na dopravou značně vytižených ulicích měst, je možné najít způsob, jak s přístrojem zastavit, naměřit koncentrace v daném místě a přesunout se na další pozici. Problémem ale mohou být silniční tunely, kde zastavení možné normálně není. Vzhledem k tomu, že hlavními zdroji nanočástic jsou spalovací motory dopravních vozidel, tak jsou právě tato místa velmi bohatá na vysoké koncentrace těchto velmi jemných a menších pevných částic.

Proto je hlavní motivací pro tvorbu této práce vytvoření rámu pro pružné uložení tohoto přístroje s cílem eliminace škodlivých vibrací přenášených na velikostní klasifikátor a možnosti nerušeného měření i za jízdy vozidla.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Cílem práce je návrh konstrukce rámu pro velikostní klasifikátor pevných částic eliminující škodlivý vliv vibrací přenášejících se například z automobilu při jízdě po běžných veřejných komunikacích na měřicí zařízení a způsobující šum naměřených koncentracích. Součástí je také vytvoření parametrických 3D modelů a výkresová dokumentace, podle níž je rám fyzicky zrealizován.

Následuje experimentální odzkoušení a vyhodnocení přínosu konstrukce vibračně izolačního rámu za jízdy.

Cílem teoretické části práce je stručná rešerše problematiky pevných částic, měření produkce pevných částic dle počtu a imisního zatížení ovzduší touto látkou. A rešerše možností jednoduchého pružného uložení přístroje při měření za jízdy vozidla.

## 3 Metodika

Předmětem této diplomové práce je konstrukční návrh a následná fyzická realizace vibrační izolace velikostního klasifikátoru pevných částic od firmy TSI s názvem EEPS Model 3090. Součástí práce je stručná rešerše problematiky pevných částic v ovzduší, vlivu pevných částic na lidské zdraví, imisnímu zatížení ovzduší ve světě a v České republice a imisním limitům v ČR. Následně je popsán přístroj EEPS, princip jeho funkce a příklady používaných možností pružného uložení.

V dalších částech se práce věnuje samotnému konstrukčnímu návrhu rámu a jeho doplňků. Jednotlivé 3D modely všech součástí jsou navrženy pomocí programu Solid Edge včetně přiložené výkresové dokumentace. Specifikován je také zvolený a k realizaci použitý materiál. Následně je v dalších částech popsána a obrazově zdokumentována fyzická realizace rámu společně s porovnáním výsledků měřených koncentrací pevných částic při použití izolačního rámu a bez něho.

## 4 Pevné částice

Pevné částice, také označované zkratkou PM z anglického Particulate Matter, suspendované (rozptýlené) částice, tuhé částice nebo polétavý prach jsou všudypřítomné malé částice v atmosféře. Tyto částice o velikosti několika mikrometrů se dostávají společně se vdechovaným vzduchem do lidského těla, do plic, a přímo působí na jeho zdraví.

### 4.1 Vznik pevných částic

V atmosféře se určité množství pevných částic vyskytuje přirozeně. Takové částice vznikají přirozenou cestou v přírodě. Do ovzduší se dostávají při erupcích sopek (sopečný prach), požárech, písečných bouřích nebo při erozi půdy. Tyto přírodní zdroje ale v Evropě značně svým množstvím převyšují částice pocházející z lidské činnosti. Zdrojem je například těžba nerostných surovin, tavení rud, jemné průmyslové opracování materiálů, obdělávání půdy, stavebnictví, částice vznikající při opotřebování brzdných kotoučů a destiček, a v neposlední řadě procesy spalování. [1]

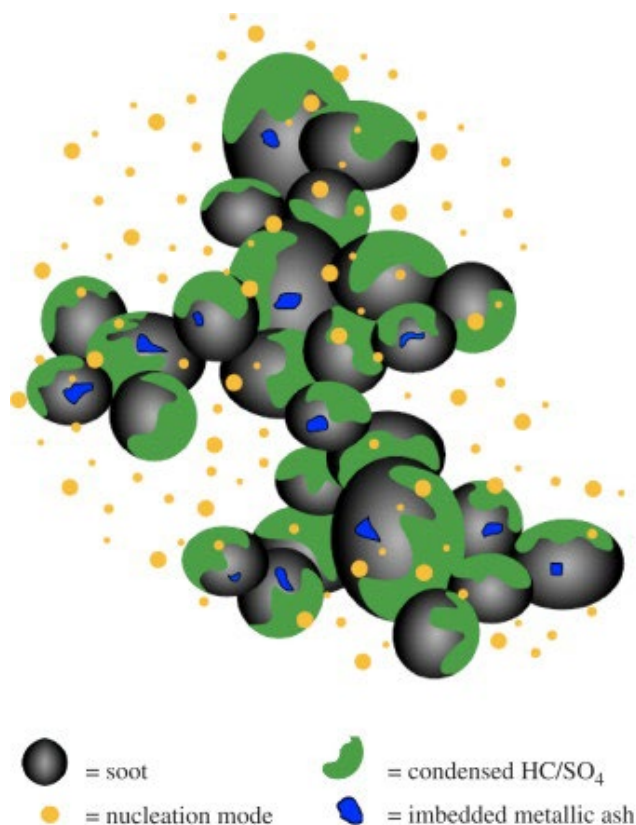
Za provozu spalovacích motorů je součástí výfukových plynů velké množství různých látek v nejčastěji plynném nebo kapalném, a právě pevném skupenství, které se tak dostávají do okolního ovzduší a působí na lidské zdraví a životní prostředí. Koncentrace těchto látek se odlišuje například v závislosti na druhu motoru, provozním režimu nebo technickém stavu konkrétního motoru. [2]

Pevné částice produkované spalovacími motory s vnitřní tvorbou směsi vznikají nejčastěji v důsledku nedokonalého promísení paliva a vzduchu. Tyto produkty jsou tvořeny zejména primárním uhlíkem při spalování neodpařených kapek paliva v prostředí s vysokou teplotou při extrémně nízkých lokálních hodnotách přebytku vzduchu. Proto pevné částice v emisích souvisí zejména s kvalitou rozprášení paliva při jeho vstřikování do spalovacího prostoru. [2] [3]

Součástí pevných částic jsou i jejich organické složky SOF z anglického spojení Soluble organic fraction, pocházející z nespáleného paliva, motorového oleje, produktů částečného spalování a pyrolýzy. SOF vznikají tehdy, když je nespálené palivo a mazací olej nahromaděn ve šterbinách válce nebo jeho chladných místech bez možnosti oxidace nebo pyrolýzy (tepelného rozkladu). Tyto směsi se za vysokých teplot nachází ve výfukovém potrubí v plynném skupenství, ale při zchlazení a zředění některé z méně

těkavých sloučenin mohou sorbovat na povrch částic. Pokud je málo adsorpčních míst, organické sloučeniny mohou kondenzovat například v kyselinu sírovou a tvořit jádra nanočástic. [3]

Na obrázku 1 níže je schematicky znázorněna podoba pevné částice. Jádro částice zobrazeno černou barvou je tvořeno ze shluku uhlíku, na jádře jsou zeleně adsorbované uhlovodíky nebo zkondenzované sulfáty. Modře jsou vyobrazeny částičky navázaného kovového popela a žlutě nukleační mód.

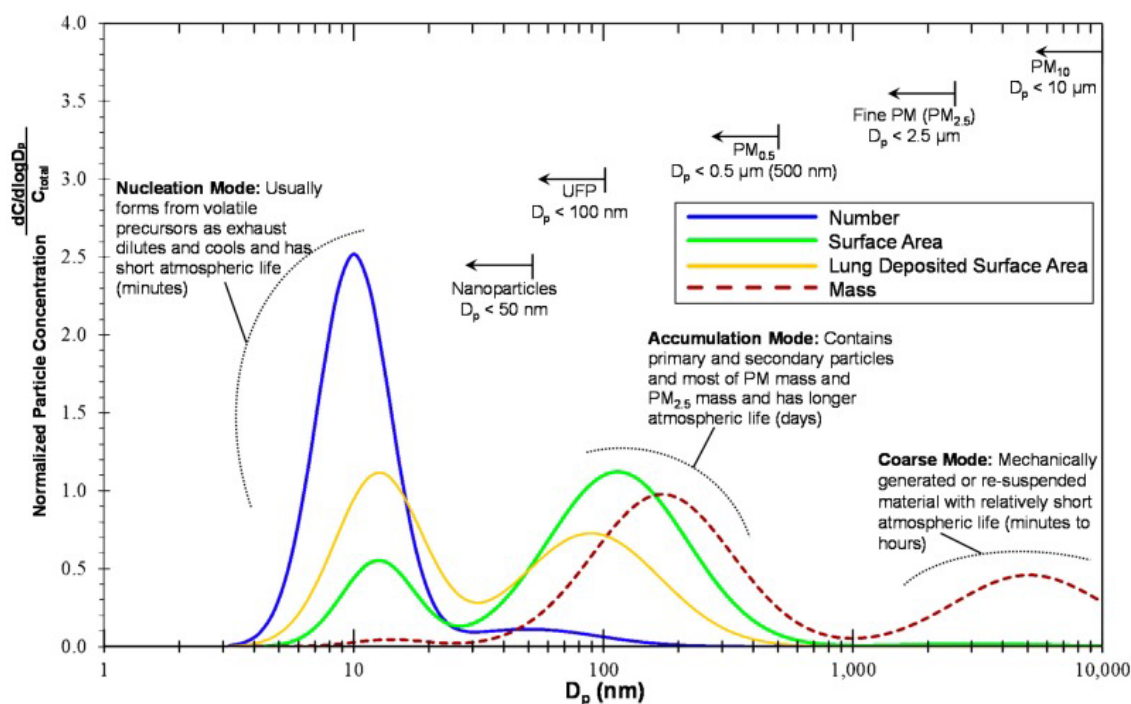


**Obrázek 1** – Schematické znázornění pevné částice [4]

Vznik pevných částic se nechá rozdělit do třech módů – nukleačního, akumulárního a hrubého módu. Jednotlivé módy, koncentrace, velikost (průměr) a hmotnost pevných částic jsou zobrazeny v grafu na obrázku 2.

Při nukleačním módu vznikají ty nejmenší částice nazývané jako ultrajemné částice. Vznikají nukleačními procesy přeměnou plynu na pevné částice. V akumulárním módu se částice koagulují, srážejí z menších částic. Hrubý mód zahrnuje částice, které vznikají spíše usazováním a následným unášením ze stěn spalovacího prostoru a výfukového systému. [5]

Převážná většina hmotnosti částic se nachází v akumulacím módu, kde je rozsah velikostí částic 0,1- 0,3  $\mu\text{m}$ . Na druhou stranu se největší počet nejmenších částic nachází v nukleačním módu.



Obrázek 2 - Hmotnostní a početní spektra pevných částic s velikostním rozdělením [6]

## 4.2 Velikostní rozdělení pevných částic

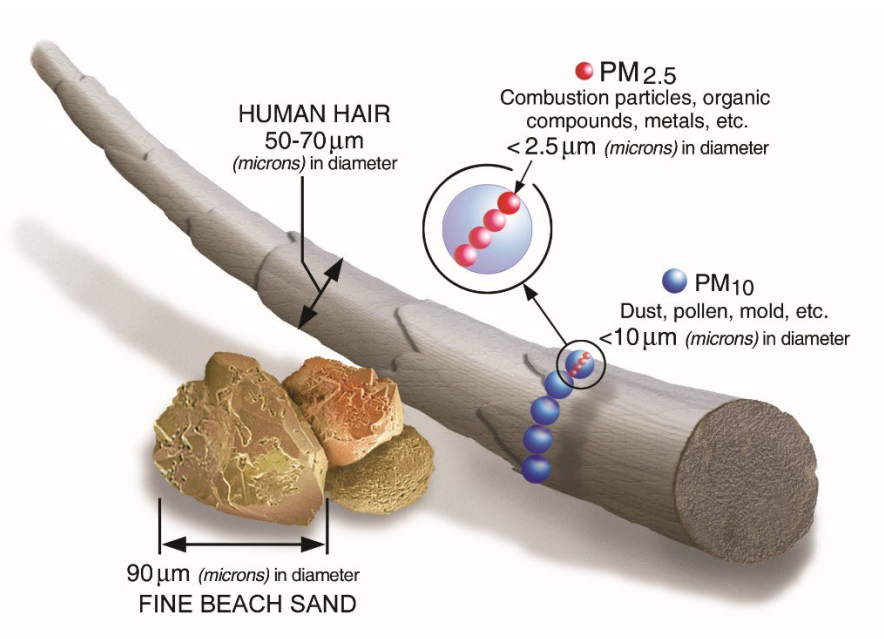
Pevné částice se rozdělují do několika velikostních skupin podle jejich prahové hodnoty maximálního aerodynamického průměru. Aerodynamický průměr je definován jako průměr koule o hustotě  $1000 \text{ kg/m}^3$  se stejnou konečnou rychlostí způsobenou gravitační silou v klidném ovzduší, jako má částice za obvyklých podmínek teploty, tlaku a relativní vlhkosti. [7]

Jednotlivé kategorie jsou označeny zkratkou PM doplněnou o index, který označuje prahovou hodnotu maximálního rozměru částice ( $PM_x$ ).

- $PM_{10}$  – hrubé částice s aerodynamickým průměrem  $\leq 10 \mu\text{m}$
- $PM_{2,5}$  – jemné částice s aerodynamickým průměrem  $\leq 2,5 \mu\text{m}$
- $PM_1$  – velmi jemné částice s aerodynamickým průměrem  $\leq 1 \mu\text{m}$
- $PM_{0,1}$  – ultrajemné částice s aerodynamickým průměrem  $\leq 0,1 \mu\text{m} = 100 \text{ nm}$
- Nanočástice s aerodynamickým průměrem  $\leq 50 \text{ nm}$



Pro porovnání je na obrázku 3 níže zobrazena velikostní kategorie částic  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  vedle průměru lidského vlasu pohybujícího se kolem  $50-70\ \mu\text{m}$ .

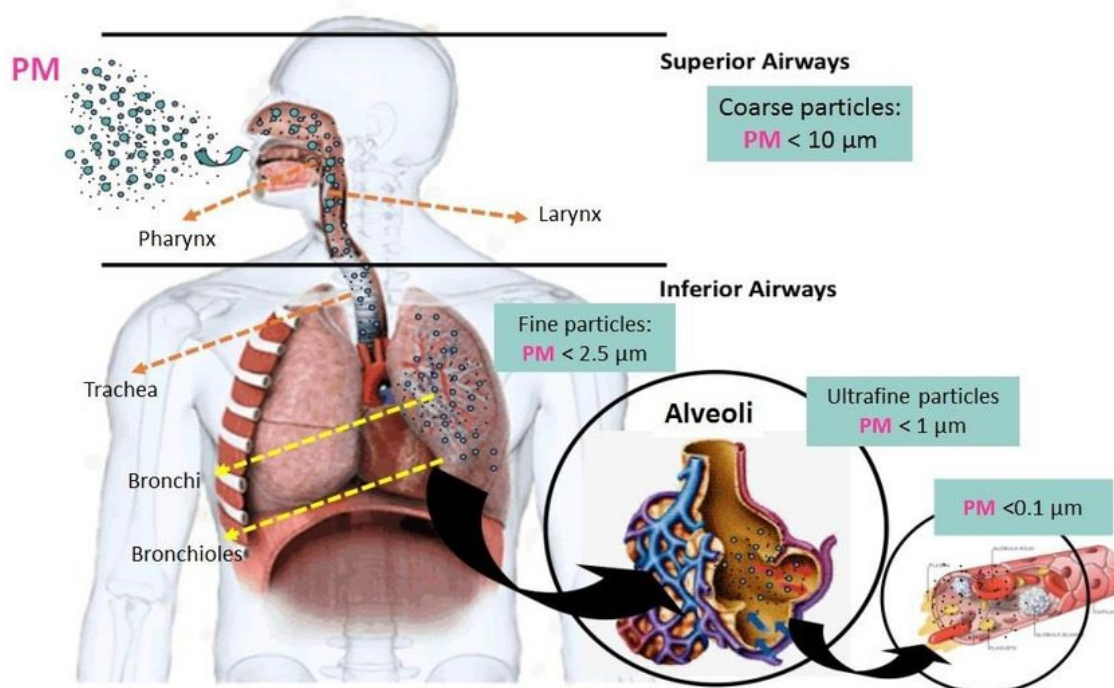


*Obrázek 3 - Porovnání velikostí, částice versus lidský vlas [8]*

### 4.3 Vliv pevných částic na lidské zdraví

Za běžných podmínek člověka v prostředí můžeme považovat jako vstupní cestu do organismu dýchací ústrojí. Obsah vdechovaného vzduchu se může uplatnit ve všech úrovních dýchacího ústrojí člověka. Mezi známé účinky pevných částic patří především dráždění sliznice dýchacích cest, ovlivnění funkce řasinkového epitelu horních cest dýchacích a snižování samočisticí funkce a obranyschopnosti dýchacího traktu samotného. Tím se vytvářejí zvláště vhodné podmínky pro rozvoj různých respiračních infekcí a postupně možný přechod ke vzniku chronických onemocnění. Epidemiologické studie zabývající se asociacemi mezi koncentracemi  $PM_{10}$  a výkyvy celkové úmrtnosti na respirační a kardiovaskulární onemocnění v evropských a amerických městech svými výsledky potvrdily tyto negativní účinky. [9] [10]

Rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje průnik a ukládání částic v dýchacím ústrojí je jejich velikost neboli průměr.



**Obrázek 4 - Dýchací ústrojí a velikostní rozdělení PM [11]**

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, největší množství částic spektra u vznětového motoru, tvoří nejmenší nanočástice s průměrem menším než 50 nm. Čím menší částice jsou tím déle dokáží setrvat v ovzduší a mohou se potenciálně společně se vdechovaným vzduchem dostat do těla. Nejvíce problematické jsou karcinogenní látky, které jsou adsorbované (navázané) na povrchu částic. Na obrázku 4 je znázorněno, kde se jednotlivé velikosti částic zachycují. Můžeme vidět, že na rozdíl od částic  $PM_{10}$ , které jsou postupně zachycovány v hltanu a hrtanu, částic o velikosti  $PM_{2,5}$  zachycujících se v plicích v průduškách a průdušinkách a částic  $PM_1$  které pronikají až do plicních sklípků, jsou ultrajemné částice  $PM_{0,1}$  a nanočástice schopné dostat se přes plicní sklíčky až do krevního oběhu. Tak se dostávají dále ke krví zásobeným orgánům a mohou se zde kumulovat.

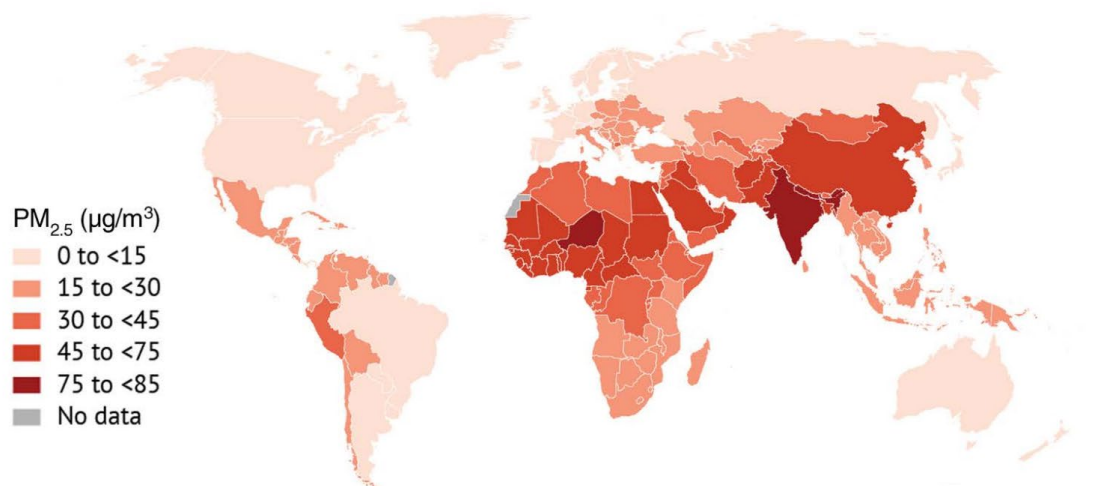
#### 4.4 Znečištění ovzduší částicemi

V rámci výskytu množství částic a látek v ovzduší jsou zavedeny dva pojmy – emise a imise.

**Emise** – jako emise se označuje množství látek vyloučených konkrétním emisním zdrojem do ovzduší. Zdroji emisí mohou být spalovací motory, elektrárny, komíny atd. Je to proces vnášení látek do ovzduší.

**Imise** – je výsledné znečištění danou látkou v ovzduší, které je výsledkem rozptýlu emisí z jednotlivých zdrojů. Rozptýlení látek je ovlivněno různými faktory jako jsou meteorologické podmínky (rychlost větru, srážky). V Zákonu o ochraně ovzduší je imise definována jako úroveň znečištění a vyjádřena jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky v ovzduší nebo její depozice na zemský povrch za jednotku času. [12] [13]

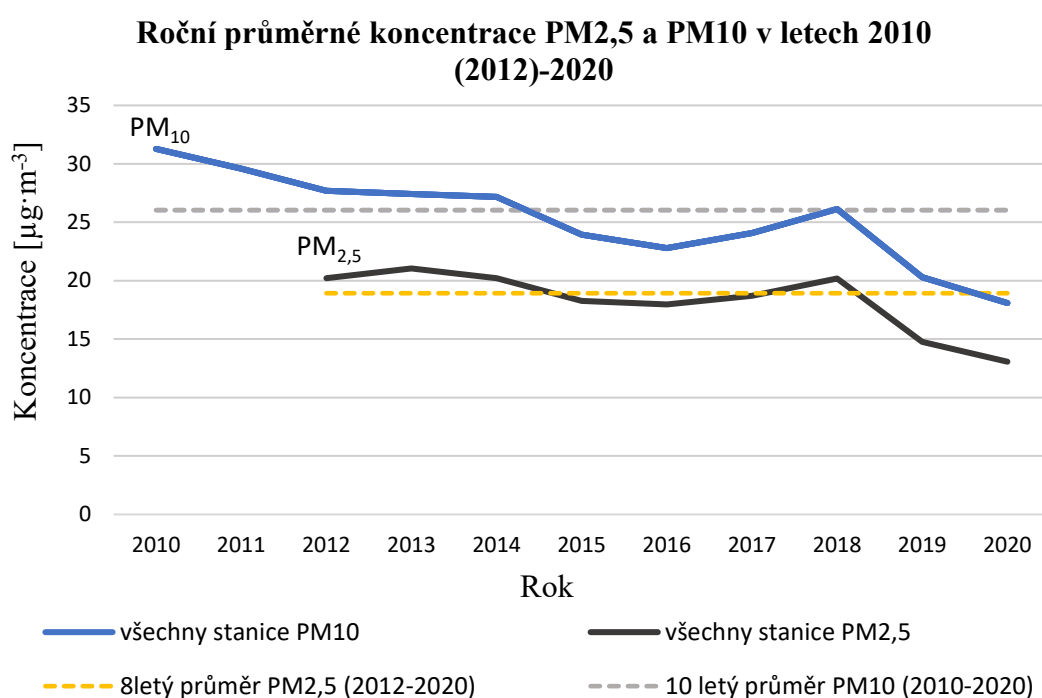
Znečištění ovzduší částicemi  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  je jedním z hlavních problémů kvality ovzduší ve světě. Průměrně se výskyt  $PM_{2,5}$  celosvětově mírně od roku 2010 snižuje. Avšak v oblastech jako je například severní Afrika, nebo Střední východ se koncentrace zvyšují. Jak je vidět na obrázku 5 nejvyšší koncentrace znečištění jsou v Jihovýchodní Asii a Africe. Právě v těchto nejvíce znečištěných oblastech nedochází k trvalému zlepšování koncentrací.



**Obrázek 5** – Globální mapa průměrných ročních koncentrací  $PM_{2,5}$  [14]

Vývoj ročních průměrných koncentrací znečištění ovzduší částicemi PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> v České republice má podle zhodnocení ČHMÚ od roku 2018 klesající tendenci. Oproti desetiletému průměru ročních koncentrací z let 2010 až 2019 poklesla koncentrace PM<sub>10</sub> o 30 %. Koncentrace PM<sub>2,5</sub> zaznamenaly snížení oproti osmiletému průměru z let 2012 až 2019 o 31 %. [15]

Vývoj průměrných ročních koncentrací na všech měřicích stanicích v ČR, které sleduje a provozuje ČHMÚ, je zobrazen v grafu na obrázku 6.



**Obrázek 6** – Roční průměrné koncentrace PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub> v ČR [15]

Tento pokles je dán zčásti faktory, které nelze ovlivnit jako mohou být zlepšené rozptylové podmínky (rychlost větru, teplotní zvrstvení atmosféry). Faktory, které ale ovlivnit lze jsou například modernizace kotlů pro vytápění v domácnostech, opatření pro zachycení PM na velkých průmyslových zdrojích a také obnova vozového parku. Ačkoliv průměrný věk osobních automobilů v ČR v roce 2020 byl 15,3 roku, tak právě u nových automobilů filtry pevných částic DPF, jež jsou povinně instalovány ve vozech se vznětovými motory od roku 2009 (emisní norma Euro 5) a od roku 2017 (emisní norma Euro 6c platná od roku 2018) montované také filtry pevných částic GPF pro zážehové motory, zabezpečují spolehlivé čištění výfukových plynů od pevných částic. Bohužel velká část dopravních vozidel se spalovacími motory včetně lokomotiv, stavebních strojů nebo motorů malé mechanizace není filtry pevných částic vybavena, nebo je filtrů majiteli

záměrně zbavena a generuje velké množství částic menších než měřených PM<sub>2,5</sub> hlavně z kategorie nanočástic.

Účinnosti stanovené dle hmotnostní koncentrace částic ve výfukových plynech dosahují tyto filtry takové, že je nižší, než koncentrace na nejvíce znečištěných místech v České republice. [2]

#### 4.4.1 Imisní limity

Imisním limitem se rozumí nejvyšší přípustná stanovená hodnota úrovně znečištění ovzduší danou látkou v tomto případě pevnými částicemi. V České republice jsou imisní limity pevných částic v ovzduší stanovené v Zákoně o ochraně ovzduší (zákon č. 201/2012 sb.). Hodnoty limitů se vyjadřují jako hmotnost znečišťující látky na jednotku objemu při standardizovaných referenčních podmínkách (tlaku 1013, 25 hPa a teplotě 273,15 K). [12]

Maximální přípustné průměrné denní limity pro pevné částice v České republice jsou uvedeny v tabulce číslo 1. Pro částice PM<sub>10</sub> je denní limit 50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a může být naměřen nejvíce 35krát za rok. Za jeden kalendářní rok je průměrná přípustná hodnota 40  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a pro částice PM<sub>2,5</sub> je 20  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Denní limit pro částice PM<sub>2,5</sub> není zákonem stanoven a maximální počet překročení limitů za celý rok je nulový pro obě kategorie částic.

**Tabulka 1** – Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení [12]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	35
Částice PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	0
Částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ *	0

\*imisní limit PM<sub>2,5</sub> platný od 1.1.2020, do roku 2019 platil limit 25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Pro velikostní kategorie částic PM<sub>1</sub> a menší zákon imisní limity neřeší. Částice PM<sub>1</sub> jsou v rámci měření Českým hydrometeorologickým ústavem vyhodnocovány pouze na 12 měřicích stanicích v ČR. V roce 2020 byla naměřena nejvyšší roční koncentrace 15,4  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a maximální denní koncentrace 58,3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  na měřicí stanici ČHMÚ Brno – Svatoplukova. [15]

## 5 Velikostní klasifikátor TSI EEPS™ 3090

Měřicí přístroj spektrometr pro měření velikosti částic od firmy TSI s označením EEPS™ (Engine Exhaust Particle Sizer) 3090 je přístrojem, pro který je zkonstruován rám popsáný v druhé části této práce jako izolace od okolních vibrací přenášených na tento citlivý přístroj od automobilu.

### 5.1 Popis přístroje

Model 3090 dokáže poskytnout údaje o množství a velikosti pevných částic v měřeném vzorku výfukových plynů nebo vzorku vzduchu z okolního ovzduší. Přístroj je určen především pro kontinuální měření částic ve výfukových plynech zážehových a vznětových motorů, emisí částic z opotřebení brzd a pneumatik, stavu filtrů pevných částic a částic rozptýlených v ovzduší. Velikostní rozsah přístroje se pohybuje od 5,6 nm do 560 nm. Dokáže tedy měřit i částice z nejmenší velikostní kategorie, nanočástic.

V tabulce číslo 2 jsou uvedeny technické specifikace spektrometru.

*Tabulka 2 – Vybrané údaje technické specifikace TSI EEPS™ 3090 [16]*

Parametr	Hodnota
Rozměry (Š x V x H)	704 x 343 x 439 mm
Hmotnost	32 kg
Velikostní rozsah měřených částic	5,6 - 560 nm
Rozlišení	16 kanálů na dekádu (32 celkem)
Počet kanálů elektrometrů (zesilovačů náboje)	22
Měřicí frekvence	10 Hz
Průtok měřeného vzduchu	10 l/min
Rozsah teploty měřeného vzduchu	10-52 °C
Napájení	100-240 V, 50/60 Hz, max 170 W

Fyzické provedení klasifikátoru je zobrazeno na obrázku 7. Na přední straně, ve vystupujícím panelu, se nachází 6,4palcový LCD displej a kruhový ovladač, s jejichž pomocí si může uživatel zobrazit v reálném čase nastavené parametry, měřené hodnoty a současný stav přístroje. Zadní panel EEPS obsahuje napájecí konektor, datová připojení, analogové vstupní a výstupní konektory, nasávací vstup pro vstupní cyklónový filtr, výstup s vsuvkou a chladicí ventilátor s ochrannou mřížkou.



**Obrázek 7** – Fyzické provedení částicového analyzátoru TSI EEPS<sup>TM</sup> 3090 [17]

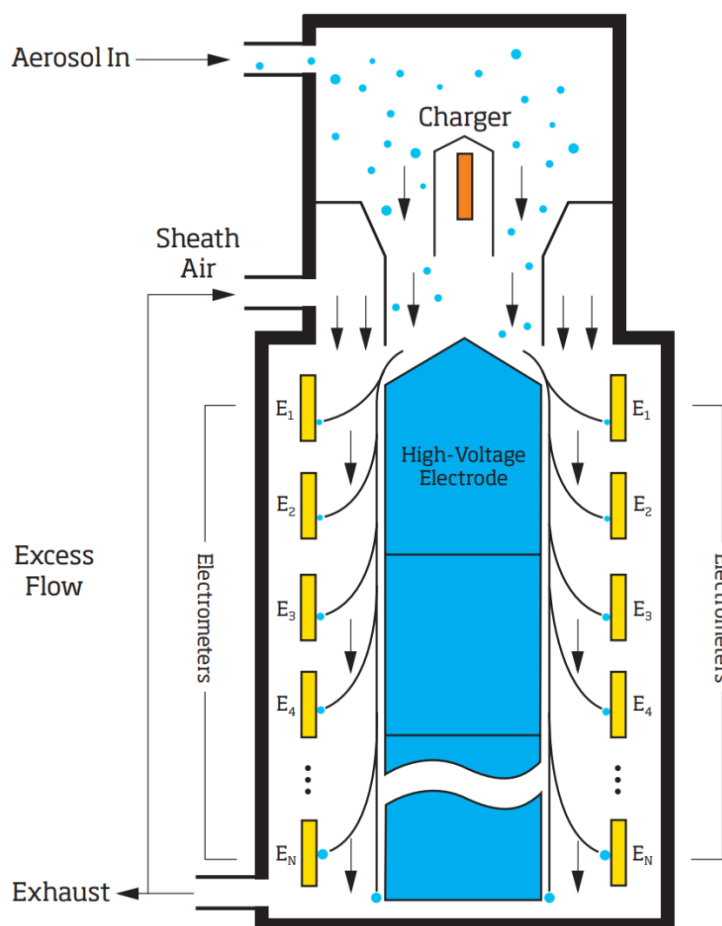
Boční strany tvoří kovové krycí bočnice s madly pro pohodlnou manipulaci s přístrojem. Celkově je přístroj robustní a dovoluje relativně snadnou manipulaci.

Při měření částic výfukových plynů je k přístroji připojeno také termoředicí zařízení, nazývané jako ředička. Pokud se měří pouze okolní vzduch, není ředičky zapotřebí a vzduch je nasáván přímo do přístroje pouze přes cyklónový filtr. Pro napájení přístroje je většinou využíváno jednoho nebo více 12 V akumulátorů. Toto napětí je měničem napětí transformováno na potřebné vyšší napětí.

## 5.2 Princip funkce přístroje

Velikostní klasifikátor provádí rozdělení velikostí částic na základě diferenciální klasifikace elektrické pohyblivosti. Částice vstupují do přístroje jako součást aerosolového proudu vzduchu průtokem 10 l/min přes první stupeň vstupní filtrace – cyklonový filtr. Cyklon zachycuje částice o průměru větším jak 1  $\mu\text{m}$ , které jsou mimo měřicí rozsah a způsobovali by rušení. Vyfiltrovaný vzorek poté vstupuje do horní části přístroje, kde jsou částice nabity pomocí dvou unipolárních difuzních nabíječů, které produkují příslušně nabitě ionty a ty se s částicemi ve vzorku mísí. Aby se snížil počet vysoce kladně nabitých částic, je vzorek nejdříve nabit záporným nábojem. Poté jsou částice nabíjeny kladným nábojem. [18]

Schéma proudění vzduchu a vnitřní uspořádání součástí přístroje je zobrazeno na obrázku číslo 8.



**Obrázek 8** – Schéma toku vzduchu uvnitř EEPS při měření [16]



Nabité částice pokračují skrz prstencovou mezeru do klasifikační oblasti (měřící sloupec třídění) vytvořenou mezi dvěma soustřednými válci, do tohoto prostoru přes HEPA filtr proudí čistý vzduch, se kterým se částice setkávají. Proud čistého vzduchu obklopuje centrální vysokonapěťovou elektrodu a brání tak částicím v aerosolu, aby se k ní přiblížily. Centrální elektroda je připojena ke kladnému pólu a skládá se ze tří částí s rozdílnou hodnotou napětí. Na vnějším plášti válce se nachází 22 vzájemně elektricky izolovaných záporných elektrod. Tyto snímací elektrody jsou připojeny k citlivým zesilovačům. Částice unášené proudem vzduchu přes elektrické pole vytvořené mezi elektrodami (válci) jsou odpuzovány od centrální elektrody a postupně zachycovány na jednotlivých záporných elektrodách rovnoměrně rozmístěných po celé délce válce. Po dopadnutí na elektrody jim kladně nabitě částice předají svůj náboj a tím se indukuje elektrický proud, který je následně zesílen, převeden na digitální signál a pomocí mikrokontrolerů zpracován. [18]

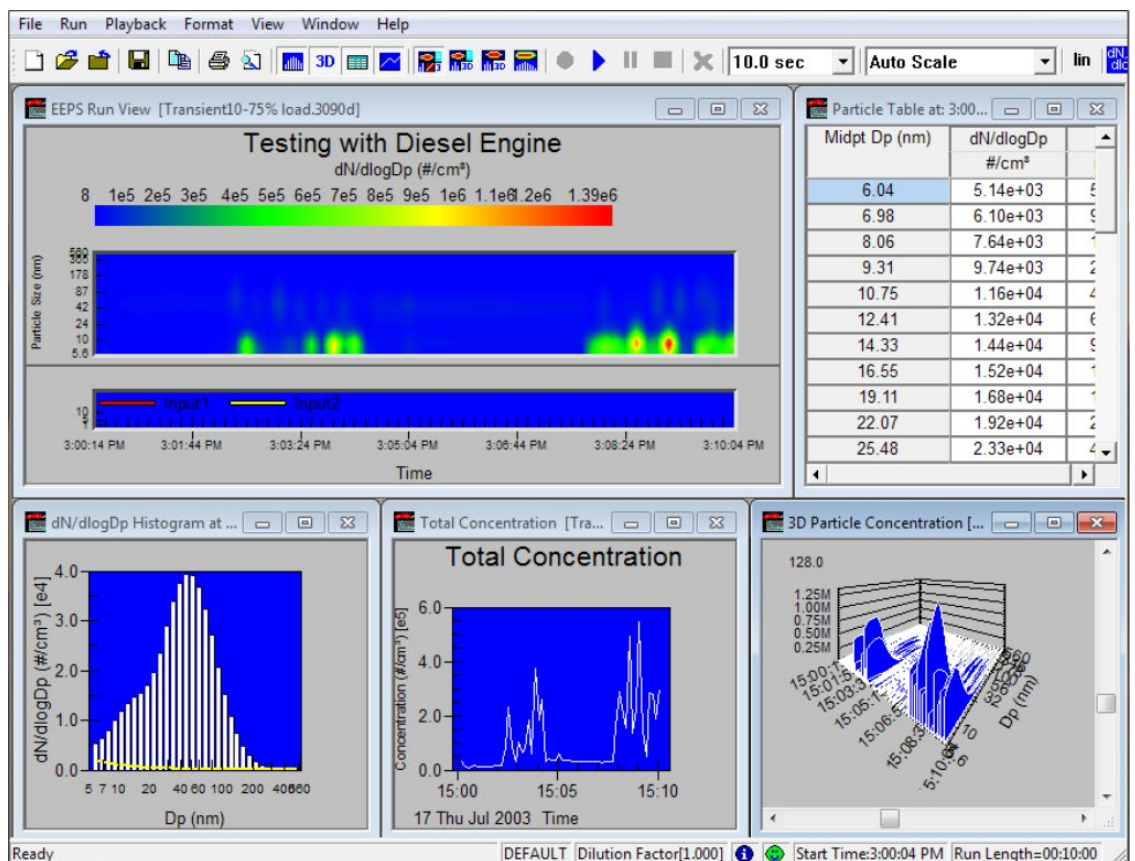
Částicím s vyšší hmotností trvá delší časový úsek, než jsou dostatečně vychýleny a dopadnou na elektrody, tudíž jsou zachycovány na elektrodách ve spodní části a naopak. Vyhodnocování velikosti a množství částic ve vzduchu je tedy prováděno podle doby, místa a četnosti dopadu na elektrody.

### 5.3 Počítačový program

Pro klasifikátor EEPS je od výrobce TSI dostupný program s názvem Engine Exhaust Particle Sizer Program. Rozhraní programu umožňuje sbírat, zobrazovat a analyzovat naměřená data. Program je spustitelný na počítačích s operačním systémem Windows. Na obrázku 9 je snímek z výchozího uspořádání jednotlivých oken programu. Zobrazení dat v jednotlivých oknech v programu může být následující:

- Zobrazení grafu průběhu velikosti částic v čase
- Tabulka s koncentracemi pro jednotlivé velikosti částic a celková koncentrace
- Histogram velikostního rozdělení
- Graf celkové koncentrace
- Trojrozměrný graf časového průběhu koncentrace a velikosti částic

Pořadí v seznamu odpovídá pořadí jednotlivých grafů v obrázku zleva doprava po řádcích.



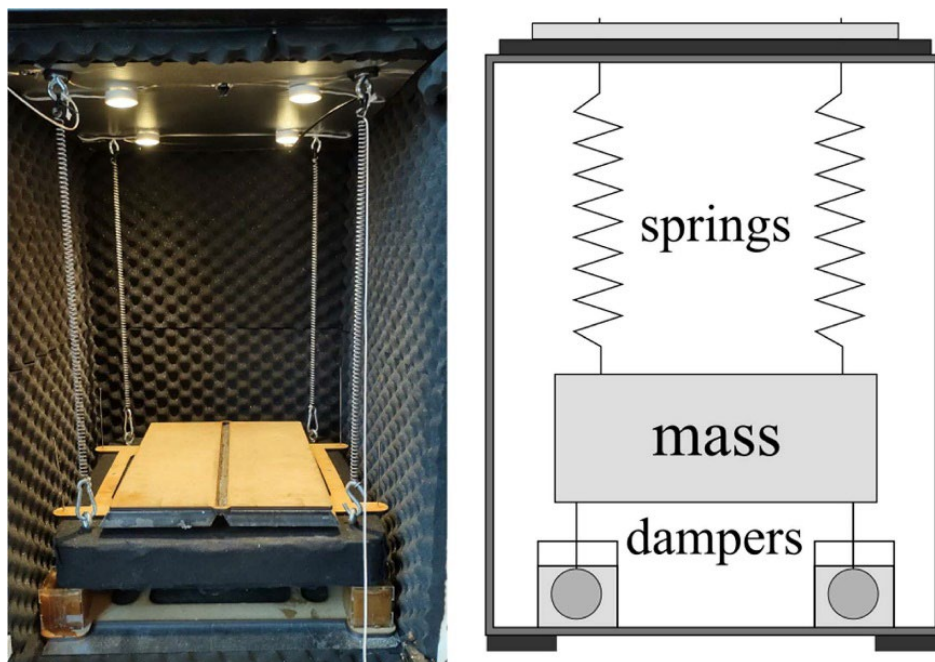
Obrázek 9 – Výchozí zobrazení programu Engine Exhaust Particle Sizer Program [18]

## 6 Příklady pružného uložení

Velikostní klasifikátor částic, jehož popisu se věnuje předchozí kapitola, je vzhledem k velmi malým hodnotám elektrického proudu, které se v průběhu měření na jednotlivých měřicích elektrodách objevují v jednotkách nanoampérů a ještě menších femtoampérů, velice citlivý na vibrace. Nežádoucí vibrace způsobují šum, který velice ovlivňuje naměřená data. Při otřesech se v grafu časového průběhu velikosti částic objevují maxima, která nejsou skutečná. Proto jsou v této kapitole vybrány tři možnosti pasivního pružného uložení a to za pomoci pružin, pryžových silentbloků a vzduchových měchů, jehož fyzické realizaci se věnuje druhá část práce.

### 6.1 Pružinový tlumič vibrací

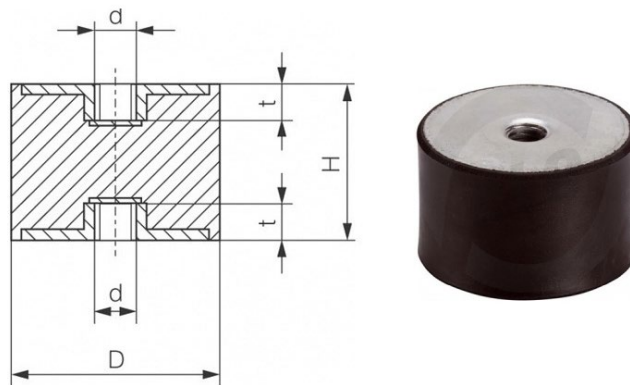
Pružina umístěná mezi povrchem přenášejícím vibrace nebo rázy a předmětem, který chceme od vibrací izolovat je jednou ze základních a nejjednodušších možností pasivního izolátoru. Pružina působí proti směru rázů, které na ni působí, se deformuje, čímž pohlcuje energii. Na obrázku 10 je fotografie a schéma fyzicky realizované vibroizolační komory pro citlivé laboratorní přístroje. Betonová deska, na kterou se umísťuje přístroj je zavěšena na pružinách a pod deskou jsou jako tlumiče použity čtyři nádoby zaplněné medem.



*Obrázek 10 – Fotografie a schéma vibroizolační komory pro citlivé měřicí přístroje [19]*

## 6.2 Pryžové silentbloky

Další možností izolace přístroje do zdroje vibrací je použití pryžových silentbloků. Elastomery využívané k výrobě silentbloků jsou elastické polymery, které při deformaci dokáží dobře absorbovat mechanickou energii z vibrací a rázů. Silentbloky jsou nejčastěji využívány ve vozidlech k uložení motorů, náprav, stabilizátorů, výfukového potrubí atd. Příklad jednoduchého silentbloku s ocelovými částmi s vnitřními zavity a kaučukovým tělem na obrázku 11.



*Obrázek 11 – Silentblok [20]*

## 6.3 Vzduchové pružiny

Vzduchové pružiny se využívají obecně k tlumení vibrací, rázů a také pro nastavování výšky. Často k odpružení podvozků nákladních vozidel, autobusů nebo kolejových vozidel. V menším provedení se používají na odpružení sedadel nákladních vozidel nebo autobusů. Hlavní výhodou oproti ocelové pružině je možnost měnit charakteristiku pružiny zvýšením nebo snížením tlaku uvnitř měchu. [21]

Dva příklady vzduchových pružin od českého výrobce Rubena jsou na obrázku číslo 12.



*Obrázek 12 – Vzduchové pružiny-vlnovce od firmy Rubena [21]*

## **7 Konstrukční návrh vibrační izolace**

V této kapitole je popsána práce na konstrukčním návrhu rámu. Práce spočívala ve vytvoření 3D parametrických modelů a výkresů vyráběných dílů.

### **7.1 Příprava**

Při přípravě na tvorbu konstrukčního návrhu a parametrických modelů rozebíratelného izolačního rámu byla zvolena kombinace dvou průřezů hliníkových profilů.

Celková konfigurace rámu tvoří pevnou obálku pro izolační prvky, kterými je přístroj obklopen. Jako izolační prvky pro pružné uložení přístroje byly zvoleny vzduchové vaky. Těmi je přístroj obklopen ze všech stran tak, aby se eliminovala možnost přímého dotyku přístroje a rámu, respektive vozidla. Rám dovoluje snadnou demontáž jedné stěny, aby se mohl velikostní klasifikátor vyjmout, nebo vložit do rámu bez složitého rozmontování. Součástí je také prvek zajištění poutacích pásů na konstrukci rámu pro bezpečné uchycení celku ve vozidle.

### **7.2 Použitý software**

Na tvorbu parametrických modelů a výkresů bylo využito počítačového 3D CAD softwaru Siemens Solid Edge ve verzi 2021. Program běží na operačním systému Microsoft Windows a poskytuje funkce modelování těles, sestav, tvorbu 2D výkresů, provádění simulací, PLM funkce a další. Byl vybrán z důvodu předchozích dobrých zkušeností autora s prací v programu a znalostí jeho prostředí.

### **7.3 Rám z profilů z hliníkové slitiny**

Jak již bylo zmíněno, rám je navržen z hliníkových profilů s povrchovou úpravou eloxováním. Hlavní konstrukce se skládá ze dvou průřezů 20x20 a 40x20 mm. Použit byl také nejmenší průřez 20x10 mm, který tvoří oka pro uchycení popruhu. Popruh je použit z důvodu stažení a zajištění přístroje z vrchní části přes vzduchový vak umístěný na přístroji.

Hliníkové profily byly vybrány od výrobce Haberkorn s.r.o. Výrobce ve svém CAD centru poskytuje ke stažení také samotné 3D modely nabízeného sortimentu a profily, kterých bylo využito nevyjímaje. Vybrané byly profily z nejmenší nabízené konstrukční

řady 5, pozinkované drážkové matice M5, několik sad úhelníků a plastové krytky pro čela profilů. Sada úhelníku pro jednoduché rohové spojení dvou profilů obsahuje samotný úhelník, dva šrouby s válcovou hlavou a drážkové matice M5 a plastovou krytku úhelníku. Všechny vybrané a objednané profily, spojovací materiál a ostatní materiál (příslušenství) použitý na rám (od firmy Haberkorn s.r.o.) je shrnut v tabulce 3 níže.

**Tabulka 3 – Materiál použitý na rám od firmy Haberkorn s.r.o.**

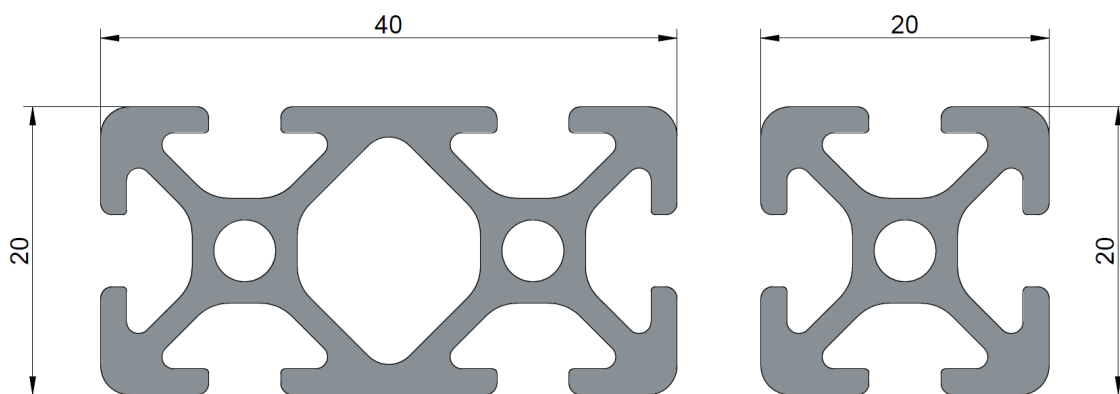
<b>Hliníkové profily</b>			
<b>Počet kusů</b>	<b>Název výrobku</b>	<b>Číslo výrobku</b>	<b>Délka [mm]</b>
8 ks	Profile 5 20x20, natural*	0.0.370.03	1250
4 ks	Profile 5 40x20, natural	0.0.370.04	1250
1 ks	Profile 5 20x10, natural	0.0.391.02	400
*Odstín přírodní			
<b>Příslušenství</b>			
<b>Počet kusů</b>	<b>Název výrobku</b>	<b>Číslo výrobku</b>	
4 ks	Cap* 5 20x20, black	0.0.370.09	
4 ks	Cap 5 40x20, black	0.0.370.11	
6 ks	Cap 5 20x10, black	0.0.391.12	
*Krytka (záslepka) čela			
<b>Spojovací materiál</b>			
<b>Počet kusů</b>	<b>Název výrobku</b>	<b>Číslo výrobku</b>	
20 ks	Angle Bracket Set* 5 20x20	0.0.425.02	
30 ks	T-Slot Nut** 5 St M5, bright zinc-plated	0.0.370.01	
*Sada úhelníku (rohovníku) **Drážková matice			

Na obrázku 13 je renderovaný 3D model sestavy rámu z hliníkových profilů společně se čtyřmi hliníkovými destičkami, které nejsou nakupovanými díly. Zobrazeny jsou také oranžově zbarvené ruční šrouby a uchycení pro bezpečnostní pás automobilu, které jsou určeny pro výrobu technologií FDM 3D tisku a detailněji popsány v další podkapitole práce.



*Obrázek 13 – Renderovaný 3D model sestavy rámu*

Spojení jednotlivých profilů je kromě spojovacích úhelníků v rozích provedeno za pomoci šroubových spojů. Závity jsou vyřezané v čelech profilů do děr, které jsou podél celých profilů. U větších profilů 40x20, které jsou umístěny naležato a jsou v nich pro šrouby vyvrtané průchozí díry (skrz delší stranu dlouhou 40 mm) byly zvoleny šrouby s metrickým závitem M5 a válcovou hlavou s vnitřním inbusem o délce 50 mm. Pro spojení v ostatních případech, kdy je průchozí díra vrtaná přes stranu profilu dlouhou 20 mm, byly zvoleny šrouby stejného druhu o délce 30 mm. Díry využitě pro závity jsou viditelné na průřezech dvou profilů na obrázku 14.



**Obrázek 14** – Tvar průřezu profilů 20x40 a 20x20

Tyto profily z hliníkové slitiny z nejmenší nabízené konstrukční řady 5 byly zvoleny především z důvodu nízké hmotnosti, prostoru v drážkách pro vkládání drážkových matic a také zmíněných dutých středů využitých pro závity.

### 7.3.1 Demontovatelná část rámu

Pro snadné vložení přístroje do rámu už umístěného na zadní sedadlo vozidla je vytvořena demontovatelná stěna. Stěna je uchycena pomocí šroubů přes čtyři hliníkové destičky o rozměrech 36x46 mm se třemi dírami. Každá destička je dvěma šrouby pevně uchycena k demontovatelné části, tak aby nevyčnívala do prostoru při vkládání nebo vyjímání přístroje z rámu. Třetí šroub je opatřen plastovou rukojetí pro snadné povolení. Závity tvoří šroubům drážkové matice nasazené v profilech. Samotná konstrukce demontovatelné části je zobrazena na obrázku 16, detail na připojení v rozloženém pohledu na obrázku 15 a rozložený pohled sestavy rámu na obrázku 17.

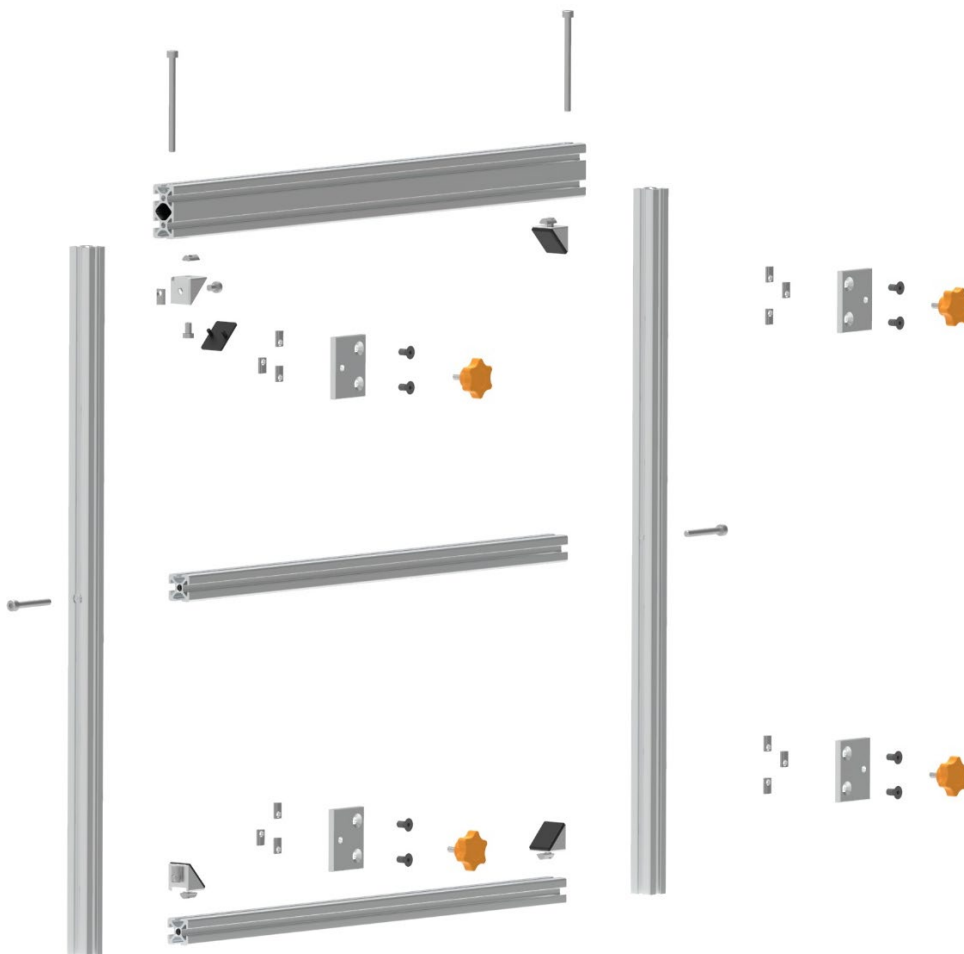


**Obrázek 15** – Detail připojení demontovatelné části rámu





*Obrázek 16 – Konstrukce demontovatelné části rámu*

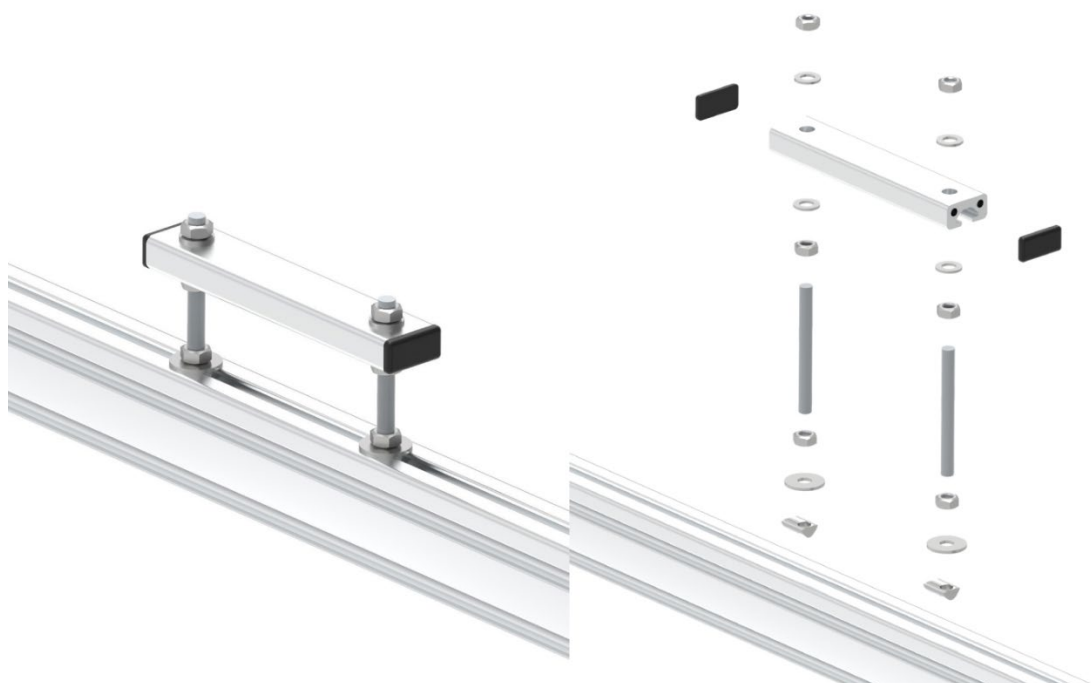


*Obrázek 17 – Rozložený pohled demontovatelné části rámu*

### 7.3.2 Oka pro popruh

Součástí rámu jsou také dvě zmíněná oka na vrchní části rámu pro uchycení pojistného popruhu a zajištění klasifikátoru v rámu z horní strany. Každé je vytvořeno z hliníkového profilu o rozměru 20x10 mm o délce 100 mm, dvou kusů závitové tyče o délce 51 mm, šesti matic, čtyř plochých podložek, dvou velkých plochých podložek a dvou plastových krytek čel profilů.

Závitové tyče jsou v profilu uchyceny v nasunutých drážkových maticích na užší straně vrchních profilů. Celkový a rozložený pohled jednoho oka a profilu je zobrazen na obrázku 18.



**Obrázek 18** – Celkový a rozložený pohled sestavy oka pro popruh

### 7.3.3 Spojovací materiál

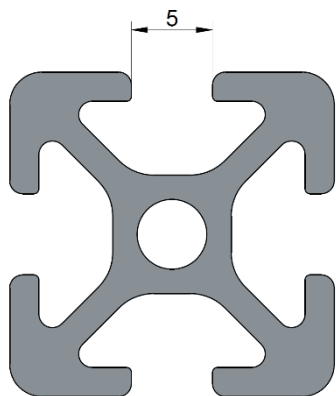
V následující tabulce 4 je sepsán ostatní spojovací materiál potřebný pro sestavení rámu.

*Tabulka 4 – Spojovací materiál*

Spojovací materiál			
Název výrobku	Rozměr	Norma	Počet kusů
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním inbusem	M5x30	DIN 912	20 ks
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním inbusem	M5x50	DIN 912	10 ks
Šroub se zápusťnou hlavou s vnitřním inbusem	M5x10	DIN 7991	10 ks
Šroub s šestihrannou hlavou	M5x16	DIN 933	4 ks
Závitová tyč	M5	DIN 975	1 ks
Matice šestihranná přesná	M5	DIN 934	12 ks
Podložka plochá	M5	DIN 125A	8 ks
Podložka velkoplošná	M5	DIN 9021	4 ks

### 7.3.4 Výplně stěn

Součástí rámu jsou také plastové výplně stěn. Materiál na výplně byl zvolen průhledný polymer polymethylmethakrylát (PMMA) také známý jako plexisklo. Vzhledem k tomu, že profily z konstrukční řady 5 mají v celém průřezu drážku o šířce 5 mm, jak je vidět na obrázku 19, byly použity desky tloušťky 5 mm, aby se co nejvíce eliminoval pohyb



desek v drážce. Zároveň je tato tloušťka dostatečná pro tlakové síly působící na stěny přes vzduchové vaky.

Výplně jsou vloženy do spodní a všech bočních stěn rámu.

Počet a rozměry jednotlivých desek jsou sepsány v tabulce 5 na další straně.

*Obrázek 19 – Profil 5 20x20*

**Tabulka 5 – Přířezy PMMA výplně do stěn rámu**

PMMA desky tl. 5 mm	
Rozměr [mm]	Počet kusů
460x260	1 ks
460x245	1 ks
550x240	2 ks
550x285	2 ks
500x260	1 ks
500x265	1 ks
510x140	2 ks
510x160	1 ks

### 7.3.5 Vzduchové vaky

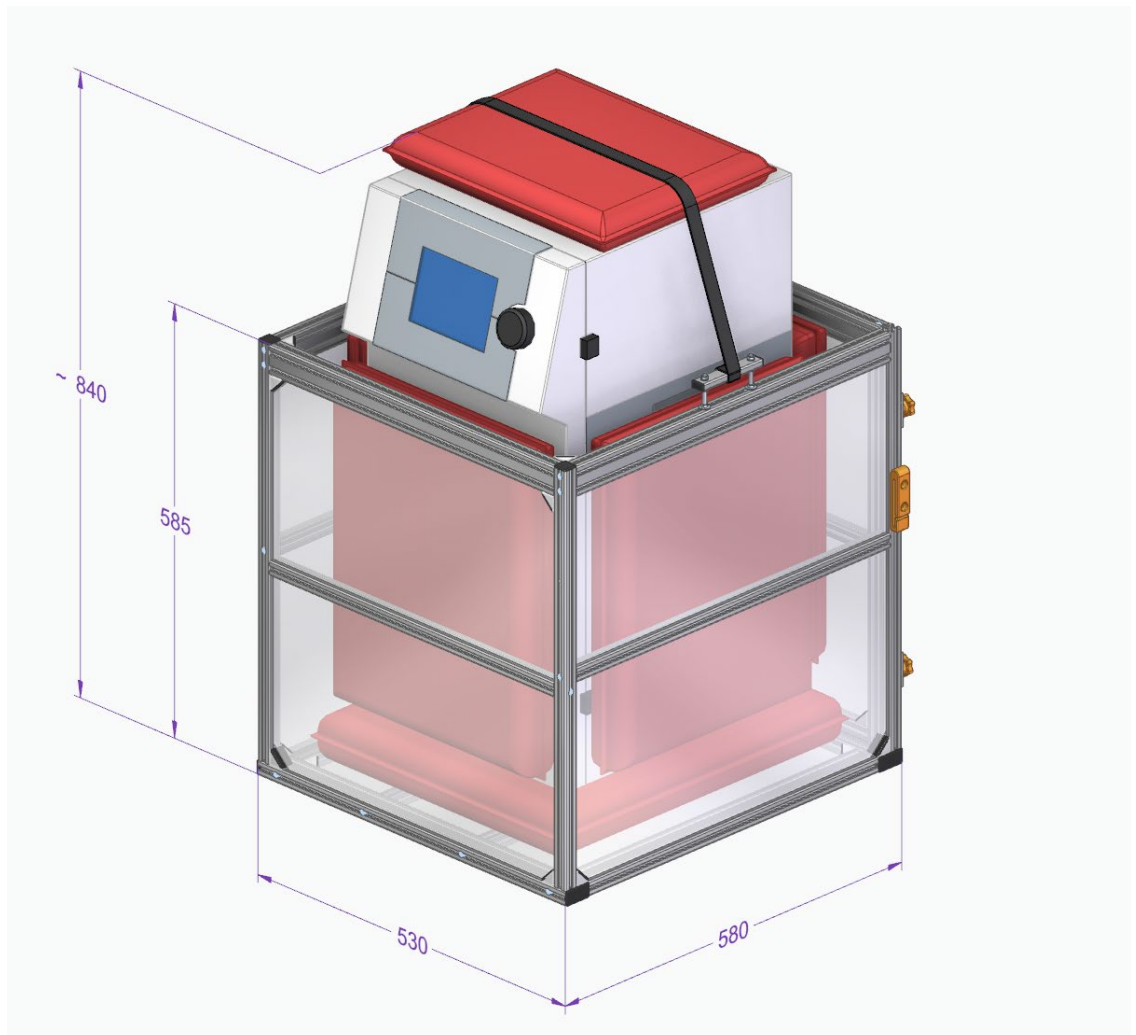
Soupis rozměrů a množství vzduchových vaků potřebných k realizaci vibrační izolace je v tabulce 6. Vaky a jejich modely byly zamýšleny jako dvě k sobě slepené plochy s okrajem (přehybem) po obvodu. Nafukování by mělo být ideálně přes ventily (např. TR413) používané u bezdušových pneumatik osobních automobilů. Výhodou použití těchto ventilů je možnost huštění běžnými koncovkami hadic hustilek nebo kompresorů a případně změření tlaku uvnitř vaku pneu měřiči.

**Tabulka 6 – Rozměry vzduchových vaků**

Nafukovací vzduchové vaky		
Rozměr [mm]	Umístění	Počet kusů
500x430	Pod přístroj, dno	1 ks
450x350	Boky přístroje	4 ks
300x380	Horní část přístroje	1 ks

## 7.4 Celkový model sestavy izolačního rámu

Na následujícím obrázku je zobrazen 3D model celkové sestavy izolačního rámu jako celek se všemi doplňky, vzduchovými vaky (jejich přibližný model), přístrojem EEPS 3090, plastovými výplněmi stěn rámu a stahovacím popruhem. Na obrázku jsou také zakótovány hlavní rozměry sestavy. Červeně jsou zobrazeny izolační nafukovací vzduchové vaky.



*Obrázek 20 – Model celkové sestavy izolačního rámu z prostředí programu Solid Edge*

## 7.5 Modely dílů určených pro 3D tisk

Některé modely doplňků k rámu byly navrhovány s vědomím toho, že výroba proběhne pomocí technologie 3D tisku FDM. V následujících podkapitolách jsou jednotlivé díly detailněji představeny.

### 7.5.1 Hák pro bezpečnostní pás

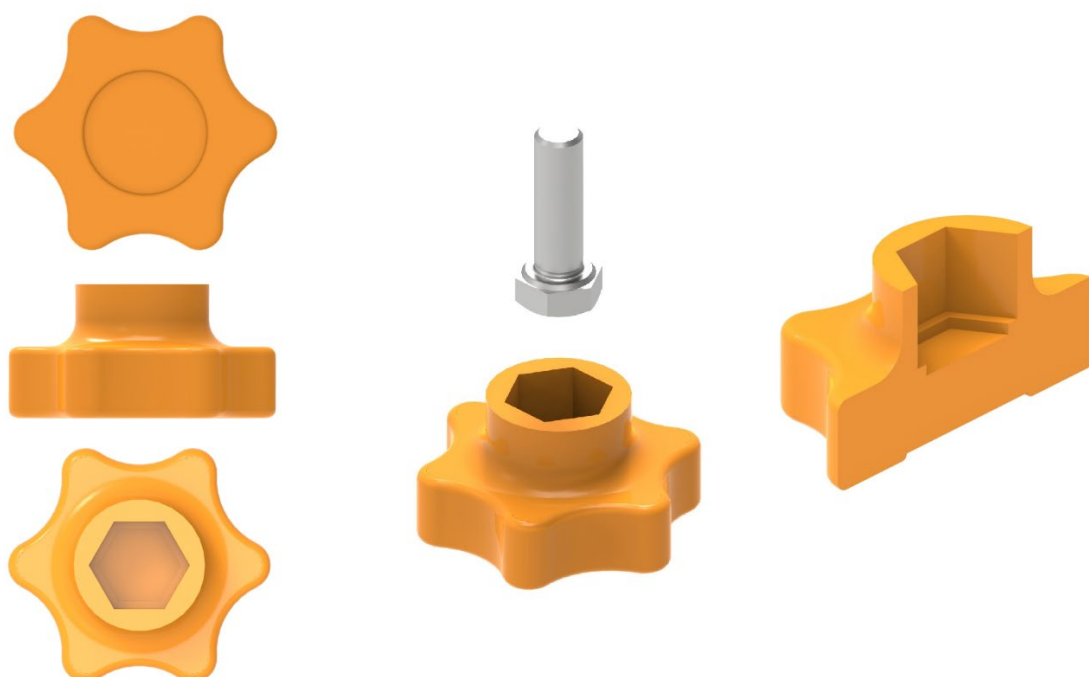
Prvním modelem je uchycení bezpečnostního pásu k rámu. Umožňuje nasunutí pásu skrz úzkou drážku do vnitřní štěrbiny, ve které je pásu zamezen pohyb ve vertikálním směru. Hák je k rámu připevněn dvěma šrouby M5 se zápusťnou hlavou a drážkovými maticemi v hliníkovém profilu. Pro šrouby jsou vytvořeny průchozí díry přes přední část háku a ve druhé zadní části jsou vytvořeny díry se zkosením a 2 mm zapuštěním, aby nedocházelo k případnému poškození bezpečnostního pásu o hlavy šroubů. Pravý a přední pohled na výsledný model je na obrázku 21 včetně rozloženého pohledu (šrouby, hák, matice) a řezu rovinou přes středy děr vpravo.



*Obrázek 21 – Pohledy na hák pro bezpečnostní pás*

### 7.5.2 Ruční šrouby

Pro šrouby, kterými je připevněna demontovatelná část rámu, byly vytvořeny modely hlavic šroubů pro snadné a rychlé utahování a povolování pouze rukou. Ve středu hlavice je vytvořeno vyříznutí pro šroub s šestihrannou hlavou společně s osazením pro snadné vystředění pozice hlavy šroubu po jeho vložení. Zafixování šroubu a vyplnění prostoru mezi hlavicí a dříkem šroubu je zamýšleno zalitím dvousložkovou epoxidovou pryskyřicí. Hlavní pohledy na samotný model, rozložený pohled na sestavu šroubu a hlavice a řez rovinou středem modelu je viditelný na obrázku 22.



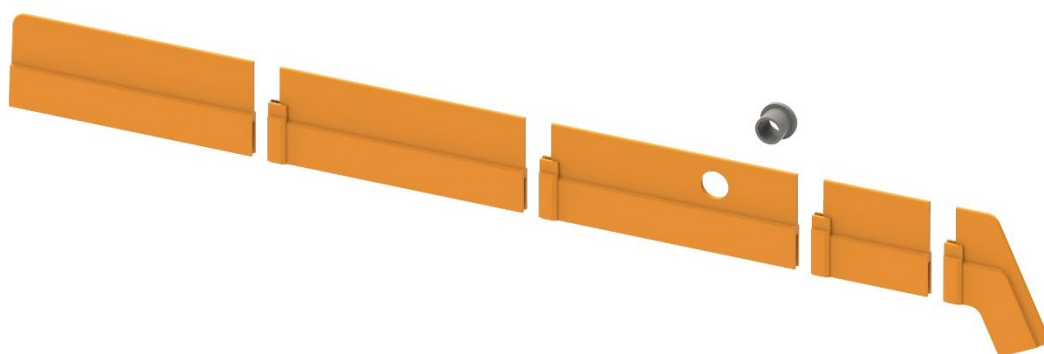
*Obrázek 22 – Pohledy na ruční hlavici šroubu*

### 7.5.3 Utěsnění okna

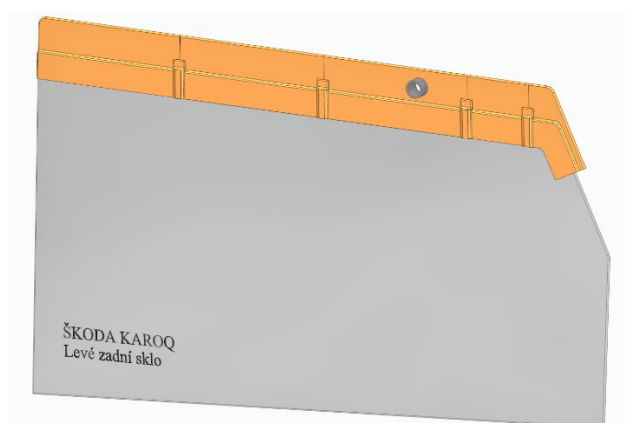
Součástí modelů určených k výrobě metodou 3D tisku je také utěsnění otevřeného okna v levých zadních dveřích vozidla. Oknem se při měření koncentrace protahuje hadice velikostního klasifikátoru, přes kterou si přístroj nasává vzduch.

Vzhledem k unikátním tvarům a rozměrům vzniklých mezer po otevření oken byly modely výplní vytvořeny na konkrétní vozidlo. V tomto případě to byl automobil Škoda Karoq. Sestava utěsnění se skládá z pěti kusů výplní. Dva krajní kusy, dva „standardní rovné“ a jeden kus s průchodkou pro hadici. Rozdělení na více částí je hlavně kvůli maximálním rozměrům tiskových ploch běžných 3D tiskáren.

Výplně mají ve spodní části vytvořené rozšíření a drážku, kterou se nasazují na sklo. Jak je patrné na rozloženém pohledu na obrázku 23, ve spodní části mají výplně po stranách vytvořené přesazení, kterým objímají předchozí výplň a tvoří po složení pevný celek. V horní části jsou stejně široké jako samotné sklo, zde jsou to 3 mm a po dovršení dosednou do prostoru mezi dveřní těsnění jako sklo. Sestava i s modelem zadního skla je na obrázku 24.



**Obrázek 23** – Rozložený pohled sestavy okenních výplní



**Obrázek 24** – Sestava výplní a zadního skla Škody Karoq z prostředí Solid Edge



## 8 Fyzická realizace izolačního rámu

Po konstrukčním návrhu byl objednan zvolený materiál a práce pokračovala fyzickou realizací rámu. V této kapitole je zdokumentována práce na realizaci rámu.

### 8.1 Příprava materiálu

Hliníkové profily objednané v délce 1250 mm v případě rozměru 20x20 a 40x20 mm a délce 400 mm u rozměru 20x10 bylo nutné nařezat na požadované délky. V tabulce níže jsou shrnuty délky a počty kusů přířezů. Na posledním řádku jsou také čtyři kusy závitové tyče pro vytvoření upínacích ok.

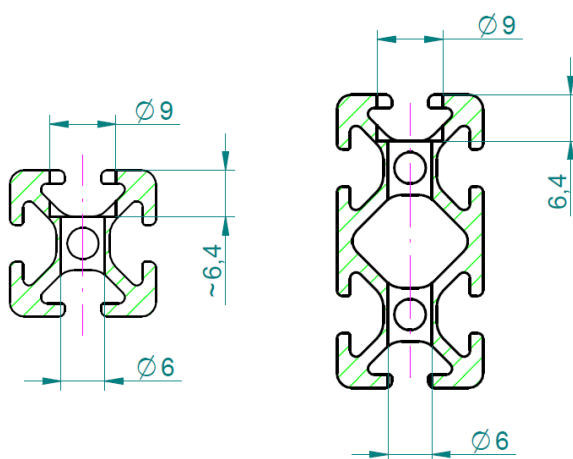
*Tabulka 7 – Umístění, délky a počty kusů řezaných hliníkových profilů*

<b>Profil 20x20</b>		
<b>Umístění</b>	<b>Délka [mm]</b>	<b>Počet kusů</b>
Stojky, hlavní	565	4 ks
Boční příčky	540	2 ks
Příčka, zadní část	490	1 ks
Příčky, demontovatelná část	450	2 ks
Stojky, demontovatelná část	525	2 ks
Příčky, dno	500	2 ks
<b>Profil 40x20</b>		
Vrchní příčky, boční část	540	2 ks
Vrchní příčky, přední a zadní část	490	2 ks
Dno, přední a zadní část	530	2 ks
Dno, boční část	500	2 ks
<b>Profil 20x10</b>		
Oka pro popruh	100	2 ks

Závitová tyč M5		
Umístění	Délka [mm]	Počet kusů
Oka pro popruh	52	4 ks

## 8.2 Obrábění profilů

Nařezané profily bylo nutné obrobit. K tomu byly vytvořeny výrobní výkresy k jednotlivým kusům. Všechna výrobní výkresová dokumentace je součástí přílohy této práce. U všech profilů byly prováděny čtyři druhy obrábění. Vyvrtny byly průchozí díry pro dřívky šroubů a frézováno bylo zhloubení k vytvoření prostoru a rovné dosedací plochy pro válcové hlavy šroubů. Díry a zhloubení z výkresů je zobrazeno na obrázku níže.



**Obrázek 25** – Řezy a zobrazení průchozích děr a zhloubení v profilech

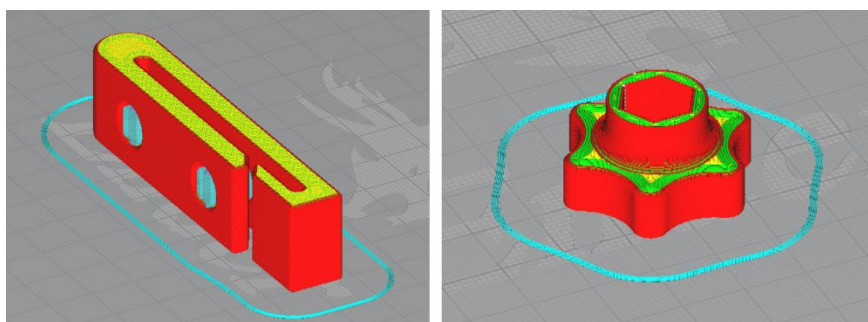
Další operací bylo vytvoření závitů v čelech profilů. Vyřezány byly závity M5. Fotografie vyvrtných průchozích děr a vyfrézovaných zhloubení je na obrázku 26.



**Obrázek 26** – Detail obrobeného profilu 20x20

### 8.3 Výroba dílů – 3D tisk

V době mezi obráběním a čekáním na dodání plastových výplní byly ve sliceovacím programu připraveny soubory s G/M kódy jednotlivých modelů pro tisk. Použit byl slicer Ultimaker Cura a tiskárna Creality Ender 3. Na obrázku 27 jsou snímky ze sliceovacího programu, kde jsou vidět samotné modely tištěných dílů. Barevně odlišeny jsou jednotlivé linky podle svého druhu (zde vnější a vnitřní perimetry, podpory a vrchní povrchové „zažehlení“).



*Obrázek 27 – Snímek tištěných dílů ze sliceru Cura*

Po vytisknutí ručních hlavice pro šrouby bylo nutné ještě šrouby do hlavice vložit a zalít lepidlem. Vytisknuté díly a zalévání je zobrazeno na následujícím obrázku.



*Obrázek 28 – Zalití šroubů epoxydovým lepidlem*

### 8.4 Plastové výplně

Některým objednaným přířezům z PMMA desek bylo nutné před vložením do drážek profilů odříznout rohy kvůli prostoru pro rohovníky v rozích rámu. Rohy byly odříznuty 35 mm od kraje na obě strany. V případě, kdy jsou ale rohovníky i v rozích profilu, který uzavírá výplň po jejím vložení, bylo nutno odříznout rohy tak, aby vznikl prostor pro vložení klíče a utažení šroubů v rohovnících. Po řezání byla místa řezu pilníkem začištěna a zbavena ostrých hran. Objednané desky a proces odřezávání rohů je vidět na obrázku

29. Všechny desky jsou z obou stran opatřené ochrannou fólií proti poškrábání, proto mají na fotografiích mléčné zbarvení.



**Obrázek 29** – Nařezané PMMA desky a ukázka seříznutého rohu

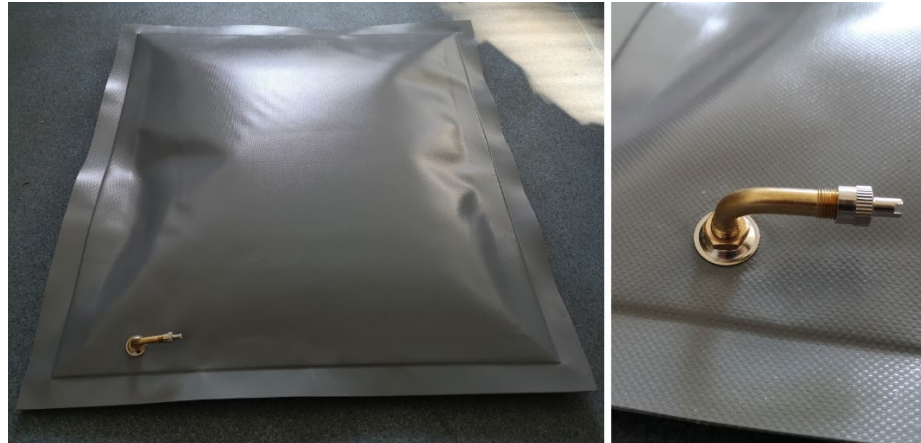
Na následující fotografii je detail desky s větší odříznutou částí rohu a utahování šroubu klíčem. Deska je již zbavena ochranné fólie.



**Obrázek 30** – Prostor pro utahování šroubů rohovníků

## 8.5 Vzduchové vaky

Nafukovací vzduchové vaky jsou vyrobeny podle poptávaných požadavků. Vyrobeny jsou z PVC tkaniny s gramáží 750 g/m<sup>2</sup> v šedé barvě. Osazeny jsou zahnutými ventily umístěnými u krajů vaků. Typ a rozměry ventilů odpovídají standardně používaným u pneumatik běžných osobních automobilů. Fotografie nafouknutého vaku a ventilku je na obrázku 31.



*Obrázek 31 – Vzduchový vak a detail zahnutého ventilku*

## 8.6 Upínací destičky

Upínací destičky pro demontovatelnou část rámu a díry v nich byly vyřezány laserem z 5mm hliníkové desky. Následně byla vytvořena zahloubení pro šrouby a ručně zabroušeny ostré hrany. Opracování destiček a hotové výrobky jsou zachyceny na obrázku níže.



*Obrázek 32 – Upínací destičky*

## 8.7 Sestavení rámu

### 8.7.1 Spodní část

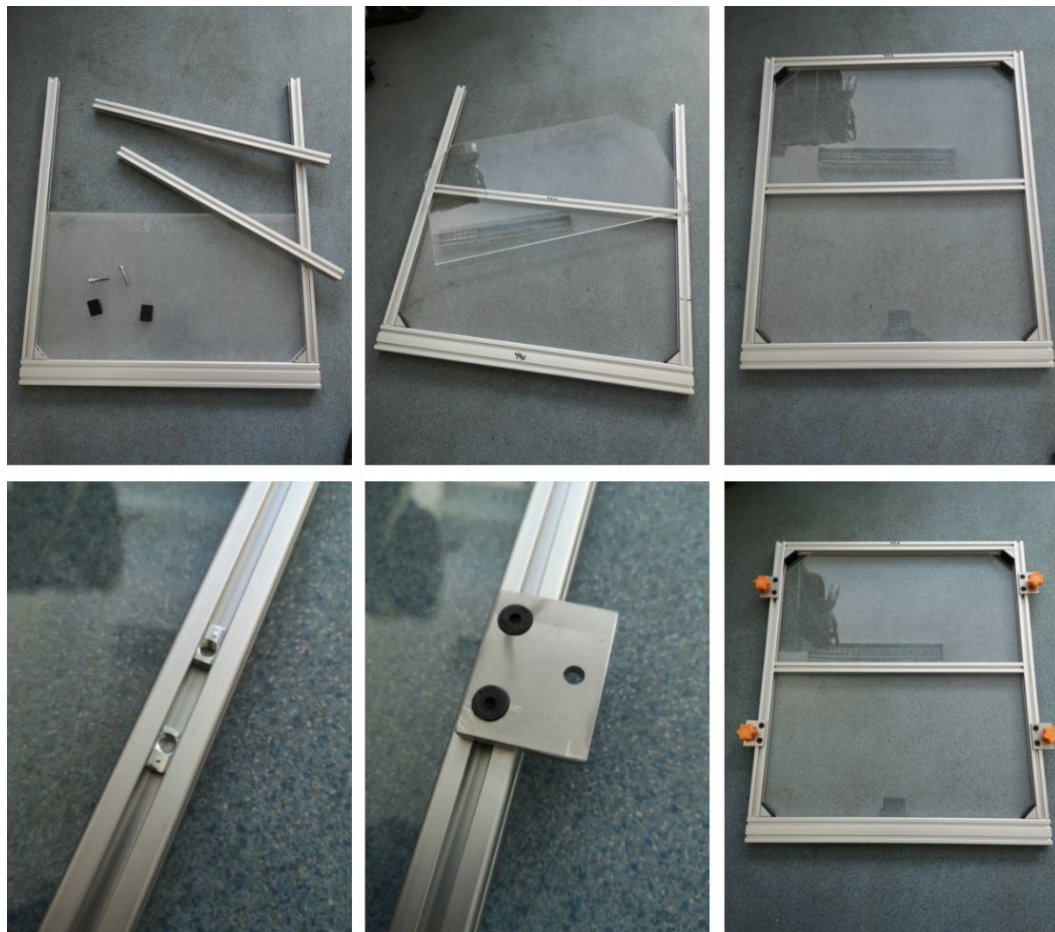
Sestavování samotné konstrukce rámu započalo sestavením dna. K tomu byly použity nařezané profily 40x20 o délkách 500 a 530 mm a profily 20x20 o délce 500 mm.



**Obrázek 33** – Sestavování konstrukce dna, detail spojení profilů rohovníkem a výsledek

### 8.7.2 Přední demontovatelná část

Jako další byla sestavena přední demontovatelná část celého rámu. Použito bylo obou větších průřezů profilů. Profil 40x20 v délce 490 mm a dva kusy profilu 20x20 dlouhé 450 mm a 525 mm. Postupně byly vloženy také výplně a jako poslední připevněny upínací destičky. Průběh je zobrazen na fotografiích na obrázku 34.



*Obrázek 34 – Průběh sestavování demontovatelné části*

### 8.7.3 Boky a zadní stěna

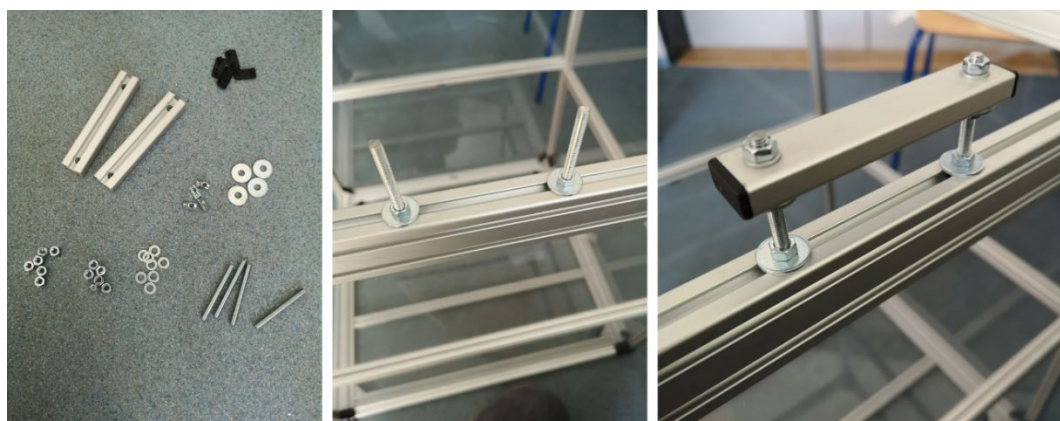
Po samostatném sestavení spodní a přední části byly postupně vytvářeny boky a zadní stěna a upevňovány ke spodní části (dnu) rámu. Jako první byly připevněny všechny hlavní stojky z profilu 20x20 dlouhé 565 mm. Upevněny byly jak šrouby ze spodu, tak pomocí rohovníků ke zvýšení tuhosti. Poté byly vytvořeny boky rámu z dvou kusů od každého z větších průřezů profilů délky 540 mm a akrylátových výplní. Jako poslední následovalo sestavení zadní části z jednoho kusu profilu průřezu 20x20 a 40x20 o délce 490 mm, příslušných výplní a natlačení černých plastových krytek do čel všech profilů. Průběh sestavování je zdokumentován na následujících fotografiích.



*Obrázek 35 – Průběh sestavování boků a zadní části rámu*

#### 8.7.4 Oka pro popruh

Jako poslední byla vytvořena oka z nejmenších profilů, závitových tyček, matic a podložek na bočních stranách rámu pro uchycení stahovacího popruhu. Oka jsou použitelná i jako madla pro úchop při manipulaci se samotným rámem. Použitý materiál a výsledné oko je na obrázku 36.



*Obrázek 36 – Použitý materiál a sestavení upínacího oka*



### 8.7.5 Sestavený rám

Jako poslední byl k rámu připevněn hák pro bezpečnostní pás a lepidlem zafixovány drážkové matice pro upínání demontovatelné části. Na fotografiích níže je samotný rám po sestavení. Byl umístěn na zadním sedadle automobilu bez a s vloženými vaky a velikostním klasifikátorem EEPS.



*Obrázek 37 – Výsledný sestavený rám a jeho umístění v automobilu*

## 9 Měření a vyhodnocení přínosu

### 9.1 Měření

Za účelem vyhodnocení míry přínosu vytvořeného rámu bylo provedeno experimentální měření s přístrojem umístěným v rámu s vaky a bez vaků. K měření byl použit pevný neodpružený vozík s ocelovou konstrukcí a dřevěnou deskou na čtyřech malých kolech. Na vozík byl umístěn přístroj EEPS Model 3090 v rámu s vaky a následně bez nich. Pro zajištění napájení přístroje a zároveň možnému pohybu bez omezení byly na vozík umístěny také dva akumulátory a měnič napětí z 12V na 230V. Ke sběru dat a ovládání byl k přístroji připojen přenosný počítač, který byl také umístěn na vozík. Velikostní klasifikátor v rámu na vozíku společně s potřebným vybavením pro měření je na obrázku níže.

Měření začínalo vždy deseti vteřinami v klidu ve stacionární poloze a po uplynutí této doby následovala desetivteřinová jízda. Jízda probíhala po třech druzích povrchů. Byla to litá podlaha, dlažba s výraznými spárami a pozemní komunikace s výraznými nerovnostmi.

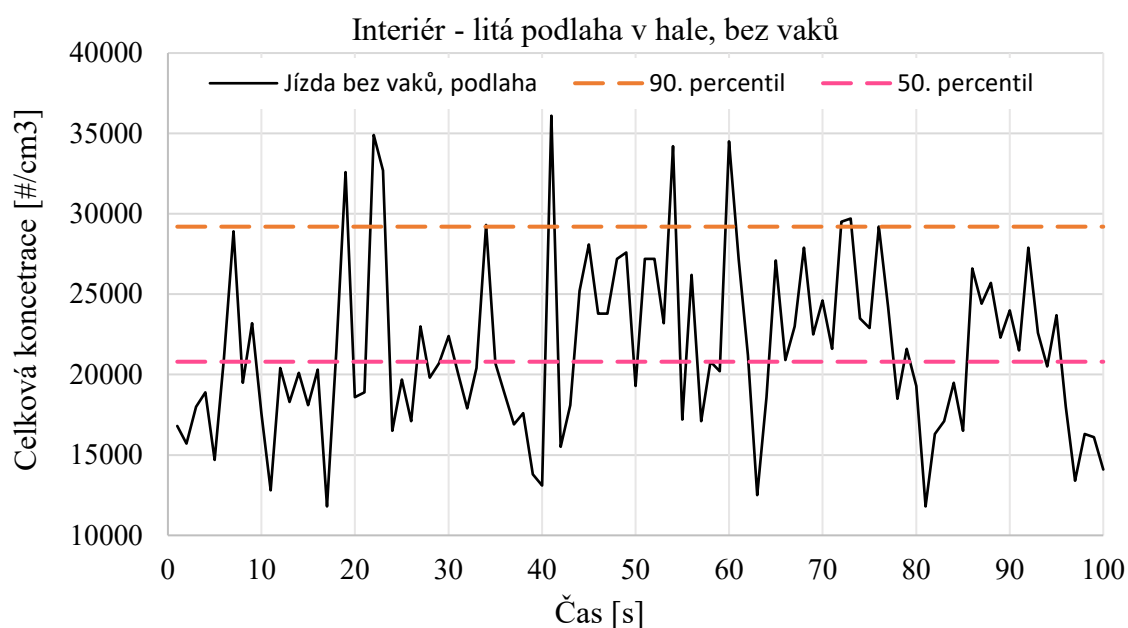
Z naměřených hodnot byly vytvořeny grafy pro jízdy na všech variantách povrchu s přístrojem ve vibračně izolačním rámu a s přístrojem přímo na vozíku bez izolace.



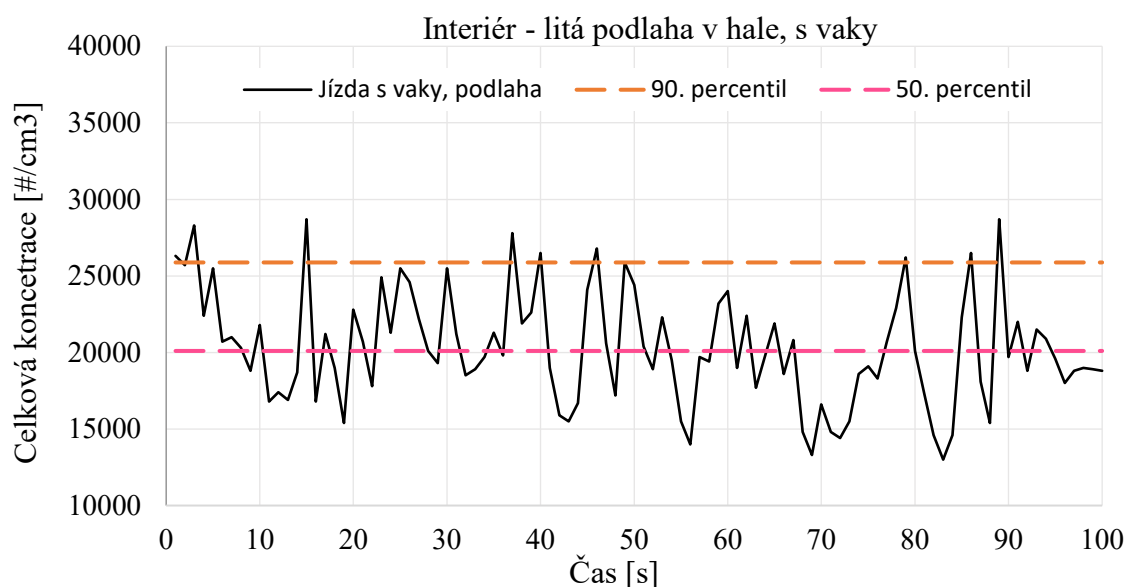
**Obrázek 38** – Vozík s EEPS při experimentálním měření

V následujících grafech jsou zobrazeny naměřené hodnoty celkových koncentrací pevných částic na všech možnostech povrchu. Prvním porovnávaným povrchem byla litá podlaha v hale Technické fakulty ČZU. První v pořadí je vždy graf s daty z jízdy bez izolačních vaků. Součástí grafů je také 90. a 50. percentil pro lepší vizuální porovnání a dále je s jejichž pomocí číselně vyjádřen přínos vibrační izolace.

Z grafů (viz. graf 1 a graf 2) je patrné snížení prudkých nárůstů koncentrací způsobených vibracemi. Avšak vzhledem k poměrně rovnému povrchu podlahy zde není znatelný tak veliký rozdíl.

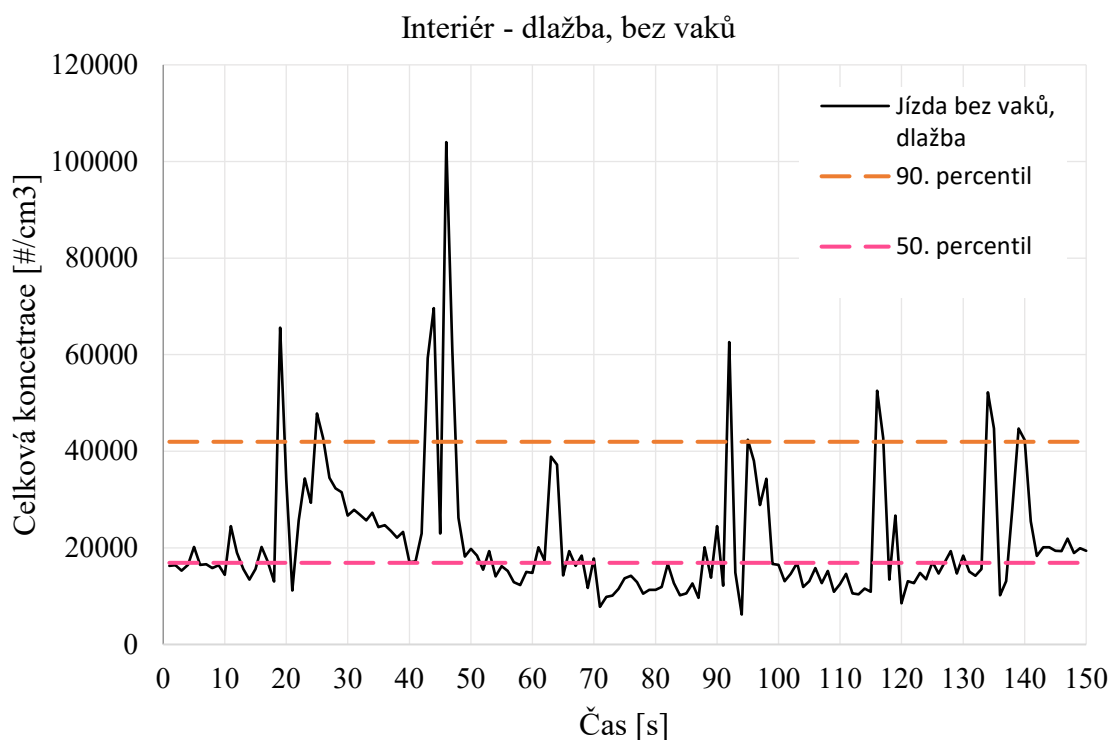


**Graf 1** - Celková koncentrace PM – jízda bez vaků, podlaha 10 s stacionárně / 10 s jízda

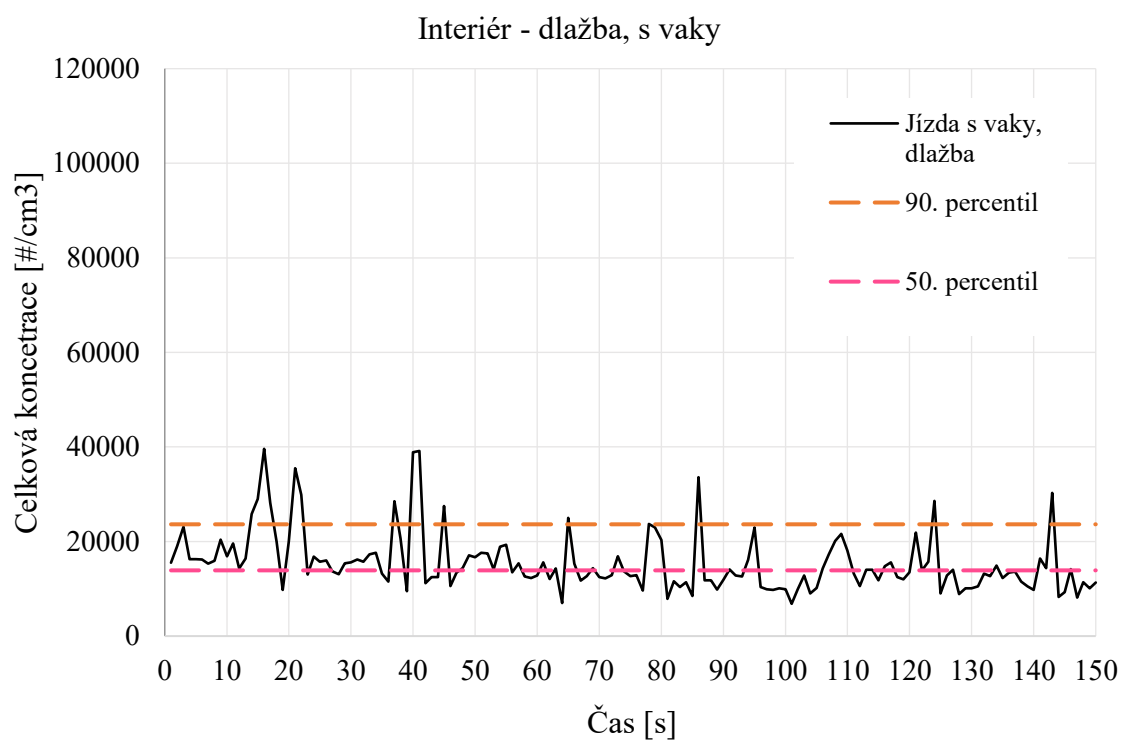


**Graf 2** - Celková koncentrace PM – jízda s vaky, podlaha 10 s stacionárně / 10 s jízda

Dalším povrchem, na kterém proběhlo měření, byla dlažba s výraznými spárami. Zde je již na grafech 3 a 4 zlepšení dobře viditelné. V grafu 3 jsou výrazné vrcholy nárůstu koncentrací způsobených otřesy, které na grafu 4 nevidíme.

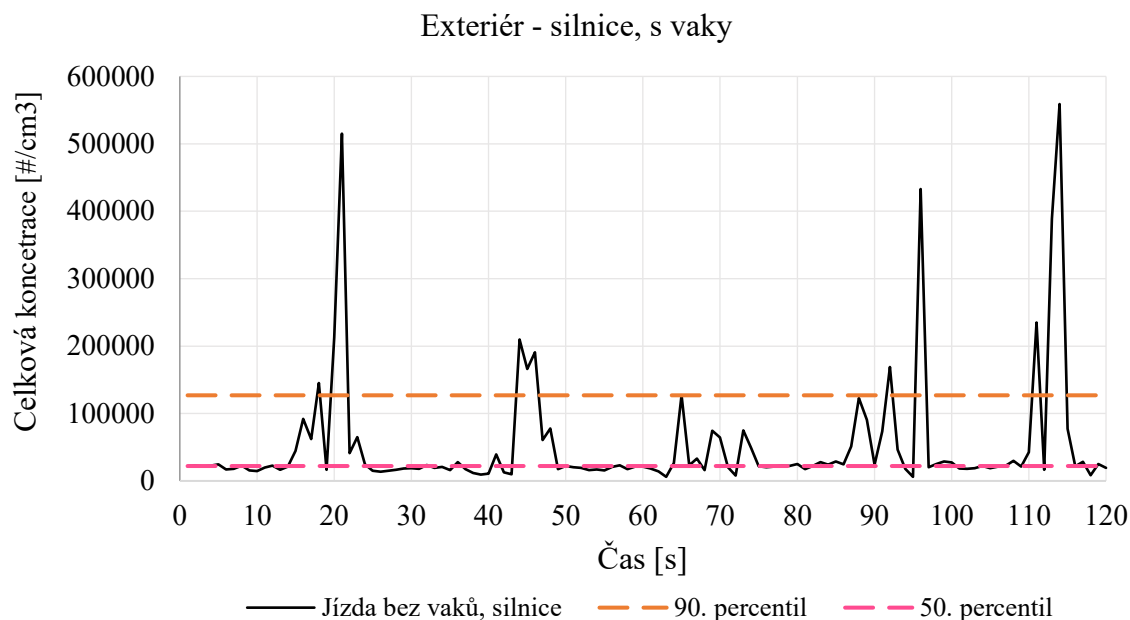


**Graf 3** - Celková koncentrace PM – jízda bez vaků po dlažbě 10 s stacionárně / 10 s jízda

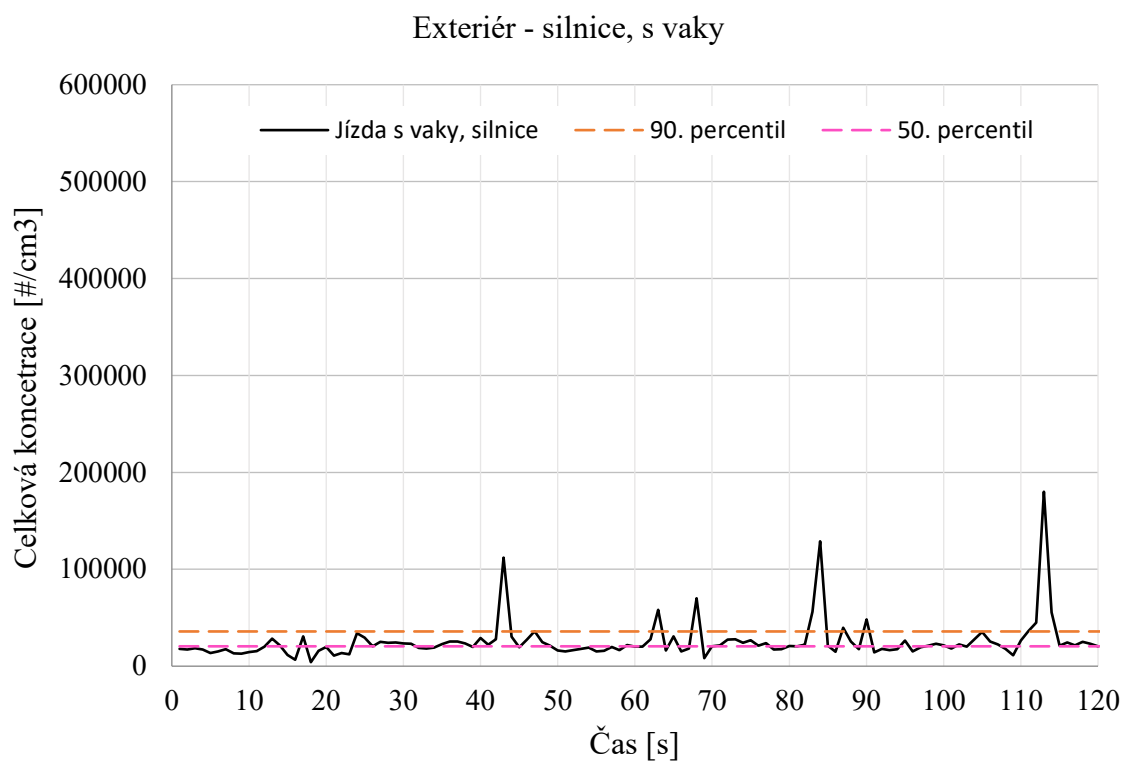


**Graf 4** - Celková koncentrace PM – jízda s vaky po dlažbě 10 s stacionárně / 10 s jízda

Z naměřených dat při jízdě po asfaltovém povrchu na pozemní komunikaci je při porovnání grafů 5 a 6 patrné výrazné zlepšení po umístění klasifikátoru do rámu mezi tlumící vaky. V prvním grafu můžeme vidět výrazné špičky naměřených koncentrací, které se po přejezdech po nerovnostech dostávají do vysokých fiktivních hodnot.



**Graf 5** - Celková koncentrace PM – jízda bez vaků, po silnici 10 s stacionárně / 10 s jízda



**Graf 6** - Celková koncentrace PM – jízda s vaky, po silnici 10 s stacionárně / 10 s jízda

V následující tabulce jsou zaneseny hodnoty 90. a 50. percentilu pro jednotlivé varianty – povrchy a poměry jejich hodnot při použití vibračně izolačního rámu a bez použití rámu.

**Tabulka 8 – Porovnání jednotlivých variant s vibračně izolačním rámem a bez něho**

	90. percentil		
Varianta-povrch	Bez vibračně izolačního rámu	Použití vibračně izolačního rámu	
A – Podlaha v hale	29 200	25 880	
B – Dlažba	41 960	23 640	
C – Silnice	127 000	35 830	
	50. percentil		
A – Podlaha v hale	20 800	20 100	
B – Dlažba	16 900	13 900	
C – Silnice	22 100	20 500	
	Poměr 90. a 50. percentilu jednotlivých variant		
	Bez vibračně izolačního rámu	Použití vibračně izolačního rámu	Rozdíl mezi poměry
A – Podlaha v hale	1,40	1,29	0,12
B – Dlažba	2,48	1,70	0,78
C – Silnice	5,75	1,75	4,0

Po tomto měření bylo provedeno další měření za jízdy v provozu po pozemních komunikacích v Praze. Velikostní klasifikátor a přenosný počítač pro záznam dat byl umístěn na zadním sedadle vozidla. Vybavení pro napájení bylo umístěno do prostoru zavazadlového prostoru vozidla. Při měření byl také zaznamenávána poloha a rychlost z GPS signálu. Rychlost byla navíc získávána také za pomoci diagnostického softwaru z řídicí jednotky vozidla.

Trasa jízdy je zobrazena v mapě na obrázku 39. Trasa vedla částečně i přes tunelový komplex Blanka – Dejvický a Bubenečský tunel. Právě jízda skrz tunely zapříčinila ztrátu GPS signálu, a proto je v mapě trasa zobrazena dvěma nepřesnými přímkovými spojnicemi.

V mapě jsou zobrazeny průměrné koncentrace pevných částic za dobu stání na označených místech. V případě tunelu je v mapě zobrazena průměrná koncentrace za celý průjezd. Průměrná koncentrace je zobrazena i pro druhý zpáteční průjezd. Celkový počet staticky měřených míst je 21. Ke každému místu a průjezdu je přidána průměrná hodnota koncentrace pevných částic na  $\text{cm}^3$ .

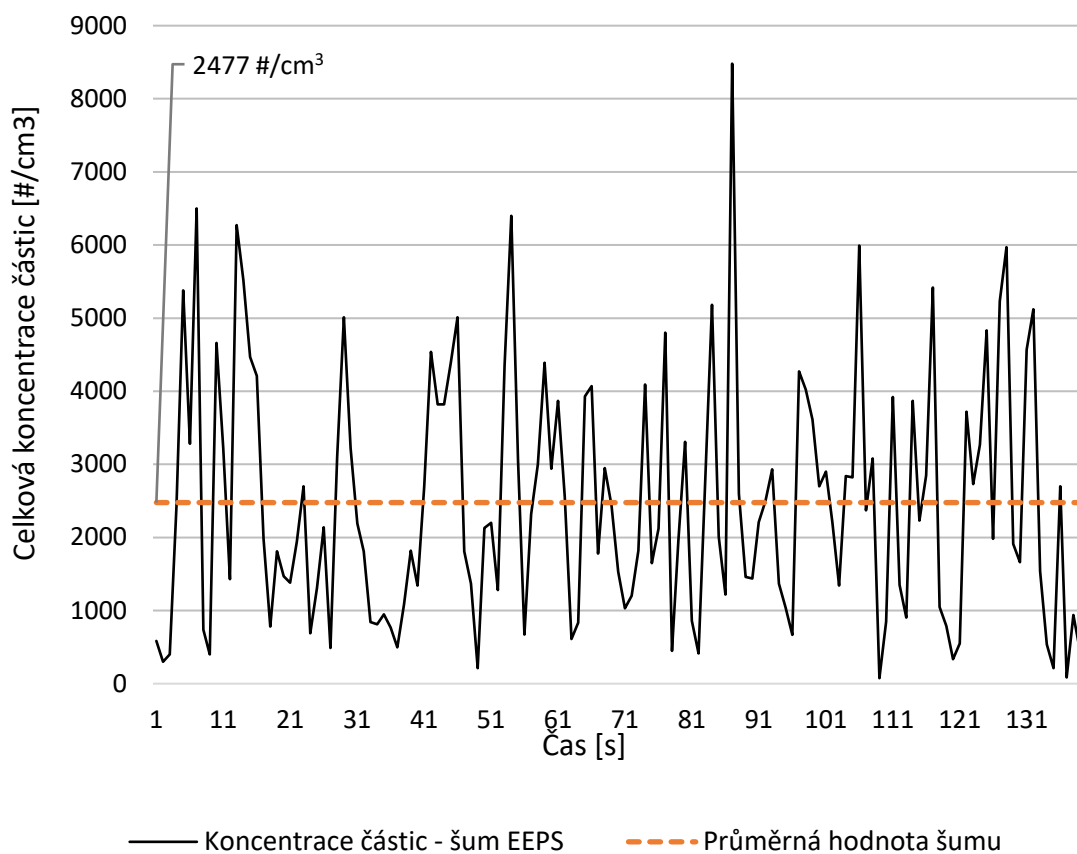
Měření probíhalo ve večerních hodinách mimo dopravní špičku. Avšak v tunelech nebo na velkých křižovatkách i za nižší intenzity dopravy byly koncentrace velmi vysoké. V mapě můžeme vidět, že na těchto místech byly hodnoty koncentrací větší než 50 tisíc částic na  $\text{cm}^3$ .

Z naměřených dat byl také vytvořen graf (viz graf 8) zobrazující velikostní rozdělení počtu pevných částic na těchto místech s celkovou koncentrací větší než 50 tisíc částic na  $\text{cm}^3$ . Do grafu byly zahrnuty také naměřené hodnoty z křižovatky Svatovítská – M. Horákové. Vzhledem k delšímu stání a měření poblíž ostatních vozidel, byla tato křižovatka přidána do velikostního rozdělení z důvodu porovnání s ostatními místy. Jak je z grafu patrné velikostní rozložení částic je podobné jako na ostatních místech a můžeme tedy říci, že zdrojem jsou opravdu spalovací motory vozidel.

Z grafu je patrné, že nejmenších částic od 6 do přibližně 20 nm je největší množství. Částice těchto velikostí jsou právě ty nejnebezpečnější pro lidské zdraví, které dokáží v ovzduší setrávat nejdéle.

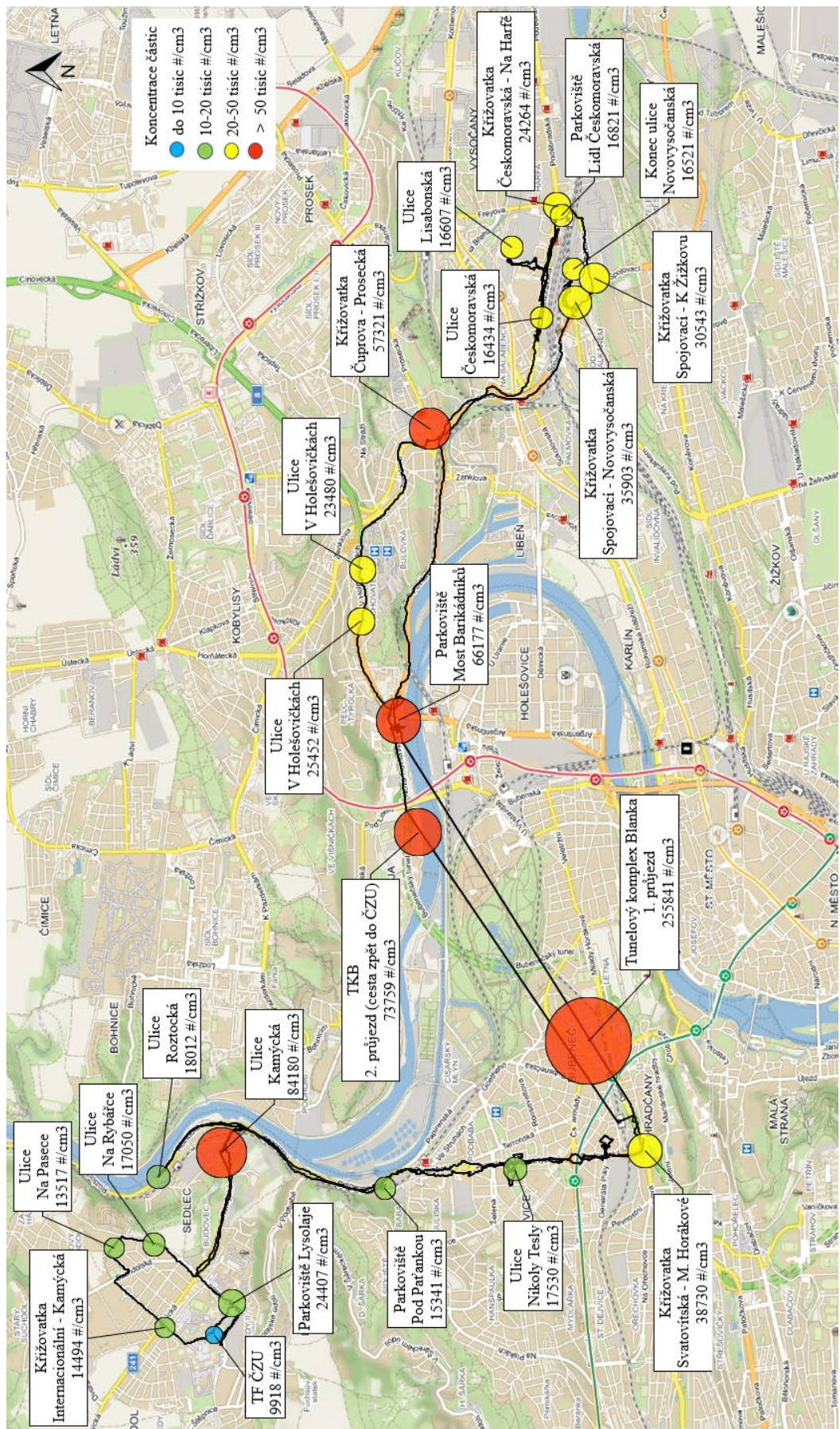
Za účelem zpřesnění výsledků byl po měření na sání klasifikátoru připojen vzduchový filtr skupiny H HEPA. Tím se zabránilo vstupu pevných částic do přístroje a následně bylo možné z dat zjistit šum samotného přístroje. Šum je vypočítán jako průměr z celkové koncentrace částic po zařazení filtru. Graf šumu a jeho průměrná hodnota je zobrazena v grafu 7. Tato hodnota byla následně odečtena od naměřených koncentrací jednotlivých velikostí částic a celkových koncentrací.

### Šum přístroje po přiložení HEPA filtru na vstup



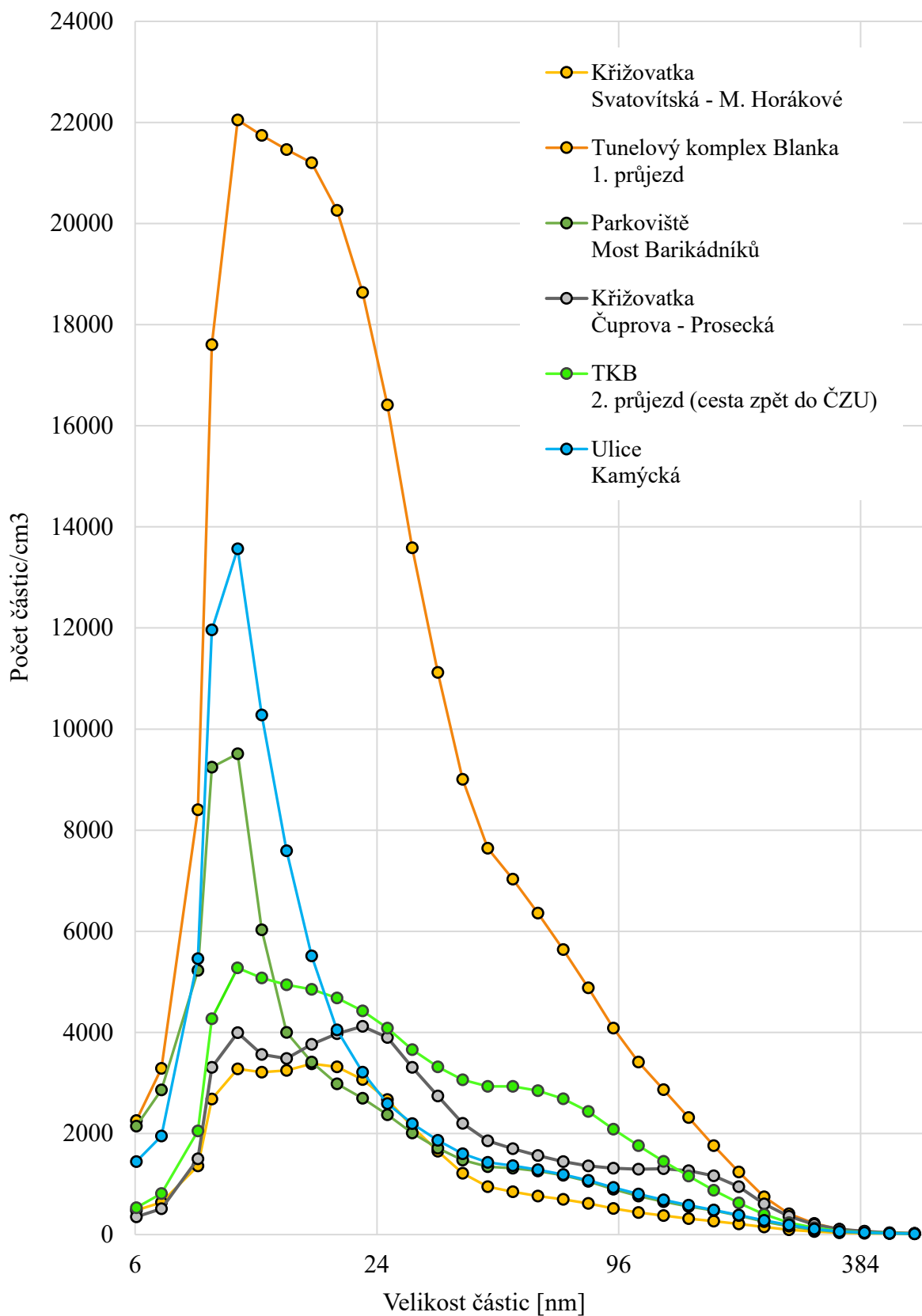
**Graf 7** – Hodnota šumu velikostního klasifikátoru EEPS





Obrázek 39 – Mapa s trasou jízdy a naměřenými koncentracemi částic v ovzduší

Velikostní spektrum pevných částic v místech s koncentrací >50 000 částic/cm<sup>3</sup>



**Graf 8** - Velikostní spektrum pevných částic v místech měření s koncentrací větší než 50 000 částic na cm<sup>3</sup>

## 9.2 Vyhodnocení

Z provedených měření na jednotlivých površích můžeme konstatovat, že použití vytvořeného vibračně izolačního rámu má kladný přínos v podobě snížení škodlivého vlivu vibrací přenášených na velikostní klasifikátor pevných částic EEPS 3090.

K porovnání průměrných hodnot celkových koncentrací pevných částic pro jednotlivé povrchy byly do grafů zaneseny 50. a 90. percentil. Pro každou variantu povrchu byl vypočten poměr 90. a 50. percentilu při použití vibračně izolačního rámu a při jízdě bez něho a nakonec byl vypočítán rozdíl těchto poměrů.

U varianty A došlo při jízdě po podlaze v hale pouze k mírnému zlepšení. Podle rozdílu poměrů, který vyšel 0,12, je to nejmenší míra zlepšení, což je dáno rovným povrchem podlahy bez výrazných nerovností, které by způsobovali vibrace. V případě varianty B během jízdy po dlažbě v interiéru došlo již k většímu zlepšení, kde rozdíl činil 0,78. Zde spáry mezi jednotlivými dlaždicemi způsobovali při přejezdech značné otřesy, které ale rám dokázal eliminovat, což bylo důvodem zlepšení výsledku. Během jízdy po silnici před halou bylo zaznamenáno největší zlepšení oproti jízdě bez tlumení kdy zde rozdíl poměrů percentilů dosáhl největší hodnoty 4. Povrch silnice byl značně poškozen a přejezdy probíhaly přes různé nerovnosti a výtluky.

Při měření za reálného provozu ve vozidle lze očekávat ještě příznivější hodnoty, kdy ve vozidle dochází ke tlumení vibrací a rázů díky samotnému podvozku vozidla a částečně také vlivem pružného sedadla uvnitř, na kterém je rám s velikostním klasifikátorem částic umístěn.

## 10 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit rozebíratelný rám pro velikostní klasifikátor pevných částic eliminující škodlivý vliv vibrací. Po vytvoření rámu bylo provedeno vyhodnocení přínosu eliminace vibrací na měřicí přístroj a měření koncentrací pevných částic v reálném provozu po veřejných pozemních komunikacích. K práci jsou přiložena zpracovaná 3D CAD data a výkresová dokumentace použita při výrobě rámu.

V první části práce je popsána problematika pevných částic v ovzduší, vliv pevných částic na lidské zdraví, imisní zatížení pevnými částicemi ovzduší a legislativou dány imisní limity v České republice. Následuje popis velikostního klasifikátoru pevných částic EEPS Model 3090 od výrobce TSI, princip jeho funkce a příklady používaných možností pružného uložení.

V druhé, praktické části se práce věnovala samotnému konstrukčnímu návrhu a vytvoření rámu. Na výrobu rámu byly zvoleny profily z hliníkové slitiny. Tyto profily byly zvoleny hlavně z důvodu nízké hmotnosti a zároveň dostatečné pevnosti pro tento případ. Hlavním izolačním prvkem je šest nafukovacích vaků, které obklopují zařízení ze všech stran a eliminují přenos vibrací. Stěnové výplně rámu jsou tvořeny akrylátovými deskami.

Z následného experimentálního měření byla získána data, ze kterých můžeme říci, že ve všech variantách měření docházelo k eliminaci nežádoucích vibrací přenášených na velikostní klasifikátor, které mají negativní vliv na výsledky měření. Největší míra zlepšení v naměřených hodnotách byla pozorována při jízdě po nerovném povrchu silnice, kdy se eliminovaly vysoké fiktivní hodnoty v naměřených koncentracích pevných částic. V tomto případě dosahoval rozdíl mezi poměry vyhodnocovaných percentilů naměřených celkových koncentrací pevných částic nejvyšší hodnoty ze všech variant povrchů, na kterých bylo měření uskutečněno.

Vytvořený rám nám dovoluje měření koncentrací pevných částic v ovzduší i za jízdy vozidla bez negativního vlivu vibrací přenášených na velikostní klasifikátor. Díky tomu můžeme měřit i v místech kde není možnost zastavení a vytvoření vzorků za klidového stavu vozidla. Naměřené přesnější hodnoty koncentrací pevných částic nám dovolují získat lepší obrázek o stavu ovzduší v těchto místech a následně provést nebo doporučit opatření spojená s eliminací zdrojů tohoto znečištění.

## 11 Seznam použitých zdrojů

- [1] BRZEZINA, Jáchym. Suspendované částice (PM). *Český hydrometeorologický ústav Brno* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/12/01/suspendovane-castice-pm-otazky-a-odpovedi/>
- [2] PECHOUT, Martin. *Spalovací motory – základní přehled*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. ISBN 978-80-213-2984-3.
- [3] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [4] *Journal of Aerosol Science*. 2007, . ISSN 0021-8502. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2007.08.001>.
- [5] *Journal of Aerosol Science*. 1998, . ISSN 0021-8502. Dostupné také z: [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(97\)10037-4](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(97)10037-4)
- [6] BALDAUF, Richard W., Robert B. DEVLIN, Robert GIANNELLI, Beth HASSETT-SIPPLE, Heejung JUNG, Giorgio MARTINI, Katherine WALKER a Peter GEHR. *Ultrafine Particle Metrics and Research Considerations: Review of the 2015 UFP Workshop: International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- [7] *ČSN EN 1540: Expozice pracoviště - Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [8] Particulate Matter (PM) Pollution. *United States Environmental Protection Agency* [online]. United States Environmental Protection Agency [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- [9] Abating Potentially Dangerous Particles 2.5 µm and Smaller. *Semiconductor Digest* [online]. Semiconductor Digest, 2020 [cit. 2022-03-17].

- [10] NEMMAR, Abderrahim, Jørn HOLME, Irma ROSAS, Per SCHWARZE a Ernesto ALFARO-MORENO. Recent Advances in Particulate Matter and Nanoparticle Toxicology: A Review of the In Vivo and In Vitro Studies. *BioMed Research International* [online]. 2013, **2013**, 1-22 [cit. 2022-03-17]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2013/279371
- [11] FIORELLA, Barraza. *Human exposure assessment related to oil activities in Ecuador: from the air quality monitoring to the study of metallic contaminants transfer in the soil-plant continuum*. Toulouse, 2017. Universite Toulouse 3 Paul Sabatier.
- [12] *Zákon o ochraně ovzduší*. In: . Česká Republika, 2012, ročník 2012, číslo 201. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/201\\_2012.pdf](https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/201_2012.pdf)
- [13] BRZEZINA, Jáchym. Emise nejsou imise. *Český hydrometeorologický ústav Brno* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2021/02/27/emise-nejsou-imise/>
- [14] *State of Global Air 2020* [online]. Boston: MA:Health Effects Institute, 2020, [cit. 2022-03-17]. ISSN 2578-6873.
- [15] Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020: IV.1 Suspendované částice. *Informační web Českého hydrometeorologického ústavu* [online]. ČHMÚ, 2021 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://info.chmi.cz/rocenka/ko2020/4-1.php#container4-1-14>
- [16] Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS™) Spectrometer Model 3090, Spec Sheet. In: *TSI* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: [https://tsi.com/getmedia/a01ec52e-f39f-4312-8f9a-fded71631a69/3090\\_Engine\\_Exhaust\\_Particle\\_Sizer\\_A4\\_2980351\\_WEB?ext=.pdf](https://tsi.com/getmedia/a01ec52e-f39f-4312-8f9a-fded71631a69/3090_Engine_Exhaust_Particle_Sizer_A4_2980351_WEB?ext=.pdf)
- [17] Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) 3090. In: *TSI* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: [https://tsi.com/getmetafile/e550817b-bf58-4cad-9565-98d6efa1bbec/3090\\_01](https://tsi.com/getmetafile/e550817b-bf58-4cad-9565-98d6efa1bbec/3090_01)

- [18] *Engine Exhaust Particle Sizer™ (EEPS™) Spectrometer Model 3090, Operation and Service Manual*, TSI Inc. Minneapolis, US, 2015.
- [19] VESTAD, Håvard a Martin STEINERT. *A low-cost vibration isolation chamber – Making high precision experiments accessible*, [online]. 2022, [cit. 2022-03-17]. ISSN 2468-0672. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00264>.
- [20] Silentblok 100/50 Typ3 M16. In: *ELOTECHNIK* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/silentblok-100-50-typ3-m16.html>
- [21] Vlnovce vzduchového pružení. *Rubena* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.rubena.eu/cz/produkty/vzduchove-pruzeni-silove-prvky/vlnovce-vzduchoveho-pruzeni/>

## **12 Seznam příloh**

Příloha č. 1 – 3D CAD data, modely (ve formátu STEP)

Příloha č. 2 – Výkresová dokumentace