

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**  
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**  
**ÚSTAV PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

Vliv vnitřních a vnějších zdrojů na koncentraci aerosolu  
v prostorách tělocvičny

The effect of indoor and outdoor sources on aerosol  
concentrations in a gym

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Diplomantka: Adéla Hytychová

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Martin Braniš, CSc.

září 2008

**Tato práce vznikla za podpory  
programu NPVII v rámci  
projektu č. 2B08077 INAIR**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím dále uvedené literatury, a souhlasím s jejím zapůjčením s podmínkou, že veškeré použité údaje budou řádně citovány.

v Praze dne .....*4.9.2008*.....

*Hytychová*  
Adéla Hytychová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěla poděkovat panu Doc. RNDr. Martinu Branišovi, CSc., vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení, tvůrčí připomínky, lidský přístup a všestrannou pomoc, kterou mi věnoval při zpracování této práce.

Dále děkuji panu PaedDr. Jiřímu Šafránkovi za spolupráci, vedení v základních školách Brána jazyků a Petřiny – sever za umožnění provádět zde měření a Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutí dat.

Mé poděkování patří také rodičům, kteří mě po celou dobu studia podporovali, všem blízkým za pomoc a podporu a Zdeňkovi.

## ABSTRAKT

V diplomové práci byly sledovány 24 - hodinové koncentrace aerosolu pomocí kaskádového impaktoru Sioutas (PCIS) v tělocvičně základní školy v Praze 1 s paralelním měřením koncentrací ve venkovním prostředí na školním dvoře. Měření probíhalo od listopadu 2005 do srpna 2006 v 8 kampaních v délce 7 – 10 dní. Aerosol byl odebírán v pěti velikostních frakcích na stupních impaktoru A B C, D a P (A: 2,5 – 10  $\mu\text{m}$ , B: 1,0 – 2,5  $\mu\text{m}$ , C: 0,5 – 1,0  $\mu\text{m}$ , D: 0,25 – 0,5  $\mu\text{m}$ , P: < 0,25  $\mu\text{m}$ ). Koncentrace byly stanoveny gravimetricky.

Průměrná koncentrace  $\text{PM}_{2,5}$  za celé sledované období, 70 monitorovaných dní, získaná sečtením stupně B – P, byla vyšší ve venkovním prostředí než v tělocvičně (29,27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  venku a 23,93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  uvnitř). Limit navržený WHO vnější koncentrace překročily v 57 % (40 dní), vnitřní koncentrace v 50 % (35 dní).

Hodnoty naměřené impaktorem Sioutas byly srovnány s hodnotami ze stanice AIM a byla zjištěna vysoká míra korelace mezi oběma metodami (Pearsonův korelační koeficient 0,937). Vliv přítomnosti cvičenců se projevil výrazně jen u hrubší frakce aerosolu na stupních impaktoru A a B. Poměr vnitřních a vnější koncentrací v obou případech přesáhl 1, pro dny bez přítomnosti osob se hodnoty poměru výrazně snížily (< 1). Na zbývajících stupních C – P, zachytávající jemný aerosol, byly zaznamenány pouze malé rozdíly mezi poměry koncentrací uvnitř a venku pro dny s přítomností a bez přítomnosti osob (hodnoty poměrů byly < 1). To poukazuje na to, že hrubé částice mají svůj zdroj uvnitř, zatímco zdrojem jemných částic je hlavně venkovní prostředí. 40 % hmotnosti aerosolu je obsaženo v nejjemnější frakci < 0,25  $\mu\text{m}$ , ve venkovním prostředí je to 36 %.

Byl také posuzován vliv fyzikálních faktorů na koncentrace aerosolu jednotlivých velikostních frakcí, jako nejsilnější činitel se projevila rychlost větru. Porovnáním zimního a letního období se ukázal propad jemných frakcí v létě a jejich nárůst v zimě, hrubé frakce ovlivněné nebyly.

Naše výsledky ukázaly, že v tělocvičně jsou u poloviny dní překračovány limitní koncentrace. To naznačuje, že cvičení v těchto prostorách může mít negativní dopad na lidské zdraví, neboť při fyzické aktivitě roste minutová ventilace a částice se dostávají hlouběji do dýchacího systému. Riziko je větší u dětí, jelikož patří mezi citlivou skupinu obyvatel.

## ABSTRACT

In the thesis were monitored 24 - hour concentrations of aerosol using cascade impactor Sioutas (PCIS) in the gym and parallel on the school yard of the primary school in Prague 1. Measurements took place from November 2005 to August 2006 in 8 periods of 7 – 10 days. Aerosol was taken in 5 size fractions of impactor stages A, B, C, D and P (A: 2.5 – 10  $\mu\text{m}$ , B: 1.0 – 2.5  $\mu\text{m}$ , C: 0.5 – 1.0  $\mu\text{m}$ , D: 0.25 – 0.5  $\mu\text{m}$ , P: < 0.25  $\mu\text{m}$ ). Concentrations were determined gravimetrically.

The average concentration of  $\text{PM}_{2.5}$  for 70 days of monitoring, obtained as sum of B – P stages, was higher outdoors than in the gym (29.27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  outdoors and 23.93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  inside). The limit set by the WHO exceeded external concentrations in 57% (40 days) and the internal concentrations in 50 % (35 days).

The values measured on the impactor Sioutas were compared with the values of the AIM station and was found a high degree of correlation between the two methods (Pearson's correlation coefficient 0.937)

The influence of exercisers presence in the yard showed significant only for coarse aerosol fractions of A and B stages. The ratio of internal and external concentrations in both cases exceeded 1, for days without exercisers the ratio value substantially decreased (< 1). On the remaining C – P stages reflecting the fine aerosol, have been reported only minor differences between the ratios of concentrations inside and outside for days with the presence and non-presence of persons (the ratios were < 1). This indicates that coarse particles have its source inside, while a source of fine particles is mainly an outdoor environment. 40 % of the aerosol weight is contained in the finest fraction < 0.25  $\mu\text{m}$ , in outdoor environment it is 36 %.

The influence of physical factors on the aerosol concentration for each size fraction was also considered, as the strongest factor is apparent wind speed. Comparing the winter and summer period has proved fall of fine fractions in the summer and the increase in the winter, coarse fractions are not affected.

Our results showed that in the gym half of days exceeded the limits of concentration. This suggests that exercising in these areas may have a negative impact on human health, because when physical activity is growing, negative ventilation and particles are moving deeper into the respiratory system. The risk is greater for children as belonging to the vulnerable population groups.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Literární přehled problematiky</b>	<b>8</b>
1.1.1	Legislativa	8
1.1.2	Atmosférické aerosoly	10
1.1.3	Zdravotní účinky aerosolů	11
1.1.3.1	Depozice aerosolů v dýchacím systému	11
1.1.3.2	Epidemiologické účinky aerosolů	13
1.1.4	Vnitřní ovzduší škol	15
1.1.5	Vliv fyzické aktivity na zdraví člověka	17
<b>1.2</b>	<b>Cíle práce</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>METODIKA</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Kaskádový impaktor Sioutas</b>	<b>19</b>
2.1.1	Princip metody	19
<b>2.2</b>	<b>Lokalita</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Umístění přístroje</b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Období měření</b>	<b>23</b>
<b>2.5</b>	<b>Pracovní postup</b>	<b>24</b>
<b>2.6</b>	<b>Kolokace</b>	<b>25</b>
<b>2.7</b>	<b>Doprovodná a převzatá data</b>	<b>25</b>
<b>2.8</b>	<b>Zpracování dat</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>VÝSLEDKY</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Fyzikální faktory</b>	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Popisná statistika</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Průzkumová analýza vstupních dat</b>	<b>32</b>
3.3.1	Korelace mezi fyzikálními faktory	32
3.3.2	Korelační a regresní analýza mezi hmotnostními koncentracemi	33
3.3.3	Korelace hodnot PM <sub>2,5</sub> s údaji z AIM	36
3.3.4	Vliv přítomnosti osob	38
3.3.5	Poměry frakcí vnitřního a vnějšího prostředí	40
3.3.6	Korelace hmotnostních koncentrací aerosolu s fyzikálními faktory	42
<b>3.4</b>	<b>Vliv faktorů léto/zima</b>	<b>44</b>

<b>3.5</b>	<b>Porovnání tělocvičen</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Porovnání výsledků</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>Překročení limitu</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>56</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b>	<b>58</b>
	<b>GRAFICKÉ PŘÍLOHY</b>	<b>63</b>

# 1 ÚVOD

Znečištění ovzduší je dnes celosvětovou příčinou řady úmrtí a výskytů nemocí dýchacích cest.

Ve 20. století se začalo znečištění ovzduší věnovat větší pozornost, zejména v souvislosti se známými katastrofami jako například v roce 1952 v Londýně, kdy na následky znečištění onemocnělo velké množství lidí a bylo příčinou úmrtí téměř 4000 osob. To vedlo k rozvoji monitoringu znečišťujících látek a snahám snížit emise škodlivin na únosnou míru pomocí nejrůznějších zákonů a opatření v praxi.

Podle studie Evropské unie způsobuje znečištění ovzduší každým rokem smrt 310 – ti tisíc obyvatel členských států.

V České republice se kvalita ovzduší po roce 1989 výrazně zlepšila. K tomuto pozitivnímu trendu snížení emisí přispělo zejména odsíření elektráren. Ovšem v posledních letech došlo ke stagnaci a také opětovnému zhoršování ovzduší. Současným největším problémem jsou prachové částice pocházející především z automobilové dopravy, lokálních topenišť a průmyslu. Problematika prachového znečištění se netýká pouze velkých měst a průmyslových oblastí, ale i malých obcí, v důsledku čehož zde pak dochází ke vzniku různých smogových situací. V Evropě snižuje jemný prach v ovzduší průměrný věk každého Evropana o devět měsíců.

Velká pozornost je také věnována vnitřnímu prostředí, neboť lidé zde tráví až 90 % svého času. Škodliviny sem pronikají z venkovního prostředí, ale celá řada látek má svůj vlastní zdroj uvnitř.

## 1.1 Literární přehled problematiky

### 1.1.1 Legislativa

Vnější ovzduší je předmětem právní úpravy práva životního prostředí. Ovzduší uvnitř budov a jiných subjektů, takzvané vnitřní ovzduší, je upraveno v rámci práva zdravotnického, hygienického a pracovněprávních předpisů. Hlavní cílem je omezit znečišťování ovzduší na únosnou míru s využitím prostředků nejlepší dostupné technologie (BAT- Best Available Technology). Jde o průběžné snižování znečištění na udržitelnou a technicky dosažitelnou úroveň, především stanovením emisních limitů.



Základním obecně závazným předpisem v oblasti ochrany ovzduší je zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (Damahorský et al., 2007).

V roce 2003 byla přijata vyhláška č. 6/2003, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb.

Evropská unie vydala řadu směrnic, které upravují limitní hodnoty pro znečišťující látky. Tyto směrnice pak členské státy musejí implementovat do své národní legislativy. Česká republika tak učinila již zmíněným zákonem č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší.

Největší pozornost je věnována prašnému aerosolu, neboť v současné době spolu s ozónem patří mezi nejproblematictější škodlivinu. Základní normou v tomto směru je rámcová směrnice 96/62/EC „On ambient air quality and management“ vydaná Evropskou komisí (EC) v roce 1996 (internet [1]).

Již existující směrnice pro oxid siřičitý a prašný aerosol (EC, 1980; EC, 1989), oxid dusičitý (EC, 1985), olovo (EC, 1982) a ozon (EC, 1992), jsou postupně nahrazovány dceřinými směrnicemi druhé generace a připravovány jsou také směrnice pro ty znečišťující příměsi, které dosud nebyly legislativně upraveny (Hůnová, 2004)

První dceřiná direktiva 1999/30/EC (EC, 1999) upravuje imisní limity a měření prašného aerosolu (internet [1]).

Většina států přešla k měření torakální frakce  $PM_{10}$  a je tendence přecházet k měření ještě jemnějších frakcí  $PM_{2,5}$  a  $PM_1$ , jelikož bylo v epidemiologických studiích prokázáno, že u jemnějších frakcí jsou zdravotní účinky významnější.

Imisní limit pro stadium 1  $PM_{10}$  pro 24 - hodinovou koncentraci byl stanoven na  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s počtem překročení maximálně 35 za rok a pro roční průměrnou koncentraci  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Termín dosažení byl stanoven na 1.1. 2005 s nulovou mezí tolerance. Pro stadium 2, k 1.1. 2010 byly stanoveny limity pro 24 - hodinovou koncentraci  $PM_{10}$  na  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s maximálním počtem 7 překročení, mez tolerance bude stanovena později a pro roční průměr koncentrace na  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s nulovou mezí tolerance (internet[1]).

V USA byl stanoven imisní limit také pro  $PM_{2,5}$ . V roce 2006 EPA (Environmental Protection Agency) stanovila limit NAAQS (National Ambient Air Quality Standards) pro  $PM_{2,5}$  pro 24 - hodinovou koncentraci na  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (internet[2])

WHO navrhla pro  $PM_{2,5}$  směrné hodnoty (Air Quality Guidelines) pro 24 - hodinovou koncentraci  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a roční průměrnou koncentraci  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (internet[3]). Imisní limit pro členské státy EU zatím stanoven nebyl (internet[1]).

Vyhláška č. 6/2003 Sb. stanoví limitní hodinové koncentrace pro vnitřní prostředí staveb pro PM<sub>10</sub> na 150 µg/m<sup>3</sup> a pro PM<sub>2,5</sub> na 80 µg/m<sup>3</sup> (internet[4]).

### 1.1.2 Atmosférické aerosoly

Atmosférický aerosol je soubor částic pevné nebo kapalné fáze suspendovaných v plynném prostředí o velikosti pohybující se od cca 1 nm po 100 µm. Největší hustota pravděpodobnosti výskytu je velikost kolem 0,3 µm. Aerosoly mají významný podíl na vzniku srážek a ovlivňují teplotní bilanci Země (internet[5]). Jsou dvoufázovým systémem a zahrnují širokou řadu jevů jako je dým, kouř, opar, mlha, prach, mrak a smog (Hinds, 1999).

Atmosférické částice (PM) mohou být přirozeného nebo antropogenního původu. Jsou emitovány buď přímo do ovzduší jako primární aerosolové částice nebo jsou formovány chemickými reakcemi různých látek v atmosféře a nazývají se sekundární aerosolové částice.

Primární částice jsou tvořeny zejména mechanickými procesy jako je zvětrávání nebo dalšími procesy a to drcení a podobně. Typicky se vyskytují ve velikostech větší než 2,5 µm. Významnými komponentami jsou půdní látky, například Fe, Si, Ca, Mg a organický materiál jako částice pylu a spory (Salomon et al., 2001).

Bioaerosoly, částice různého biologického původu, jsou tvořené pylem, spory hub nebo fragmenty houbového mycelia, bakteriálními buňky a spory, viry, jednobuněčnými a podobně a jsou všudypřítomné jak ve venkovním tak vnitřním prostředí. Ve venkovním ovzduší, pro částice větší než 0,2 µm, je 30% z nich biologického původu (Reponen et al., 2001).

Prekurzory sekundárních antropogenních částic jsou oxidy dusíku, síry a organické sloučeniny, emitované většinou spalovacími procesy. Reakční produkty těchto sloučenin zahrnují širokou paletu látek, hodně z nich se vyskytuje za normálních atmosférických podmínek jak v plynné tak v kondenzované fázi (např. plynná fáze HNO<sub>3</sub> a NH<sub>3</sub> s pevným NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Sekundární částice jsou obvykle menší než 2,5 µm a skládají se převážně z nitrátů, sulfátů, organického a elementárního uhlíku (saze) (Salomon et al., 2001)

Zdrojem přirozeného pozadového aerosolu je půdní prach, částičky mořské soli, rostlinné zbytky, vulkanický prach, lesní požáry, dále vzniká konverzí plynu na částice a tvorbou fotochemických částic z par isoprenu a monoterpenů uvolněných ze stromů.

Městský aerosol, který se nachází v nejnižší hladině atmosféry nad velkými městy, má převážně antropogenní zdroje. V silně znečištěných městech rozvojových zemí, během epizod znečištění ovzduší, se hmotnostní koncentrace aerosolu pohybuje v rozmezí několika desítek µg/m<sup>3</sup> do 1 mg/m<sup>3</sup>. Velikostní distribuce městského aerosolu je složitá, jelikož je to směs

aerosolů z různých zdrojů a rozdílných velikostních distribucí. Graf velikostní distribuce, kterému nejvíce vyhovuje logaritmicko-normální rozdělení, je trimodální, charakterizovaný modem nukleačním, akumulacním a modem hrubých částic. Každý z modů má odlišné zdroje, velikost, chemické složení a způsob vzniku (Hinds, 1999).

Částice nukleačního modu, ultrajemné částice, mají aerodynamický průměr  $< 0,1 \mu\text{m}$ , do prostředí se dostávají ze spalovacích procesů a atmosférickými fotochemickými reakcemi (Pope et al., 2006). Tento mod není vždy přítomen, ale většinou se nachází v blízkosti dálnic (Hinds, 1999). Primární ultrajemné částice mají velmi krátkou životnost, řádově od několika vteřin po desítky minut a rychle koagulují a/nebo kondenzují mezi sebou nebo s částicemi z akumulacního modu.

Jemné částice,  $\text{PM}_{2,5}$ , pocházejí především z přímých emisí spalovacích procesů, hoření dřeva a uhlí, industriálních procesů jako hutnictví, cementárny, ocelárny a další. Jemné částice se také skládají z produktů přeměn zahrnující sulfáty a nitráty, které jsou utvářeny konverzí primárních oxidů síry a dusíku a sekundárních organických aerosolů z emisí těkavých organických látek (Pope et al., 2006). V atmosféře setrvávají dny až týdny (Hinds, 1999).

Částice hrubého modu  $> 2,5 \mu\text{m}$  vznikají zejména suspenzí nebo resuspenzí prachu, zeminy a ostatních materiálů zemské kůry, dále ze zemědělství, z povrchové těžby hornin, vulkanické činnosti, větrné bouře atd. Také jsou tvořeny solnými částicemi, pylem, spory a dalšími rostlinnými částmi (Pope et al., 2006). Odstranění z troposféry probíhá v řádu pár hodin či dní (Hinds, 1999).

### **1.1.3 Zdravotní účinky aerosolů**

#### **1.1.3.1 Depozice aerosolů v dýchacím systému**

Riziko zapříčiněné inhalací částic závisí jak na jejich chemickém složení tak na místě, kde se částice v dýchacím systému usadí. Dýchací soustava člověka je systém s velice účinným obranným mechanismem omezující přístup aerosolu do citlivých částí plic. Můžeme ji rozdělit na tři oblasti, každá z nich pokrývá několik anatomických jednotek. Tyto oblasti se výrazně liší stavbou, průtokem vzduchu, funkcí, dobou zdržení vzduchu a citlivostí vůči usazeným částicím. První sekce, oblast horních cest dýchacích, nasofaryngeální, zahrnuje nos, ústa, hltan, hrtan. Druhá sekce, oblast dolních cest dýchacích, tracheobronchiální, začíná

průdušnicí a je ukončena průdušinkami a poslední sekce alveolární, je tvořena plicními sklípky, kde dochází k výměně plynů mezi krví a vzduchem.

Dospělý člověk denně prodýchá 10-25 m<sup>3</sup> (12-30 kg) vzduchu za den. Povrch oblasti, kde dochází k výměně plynů, je přibližně 75 m<sup>2</sup>. V klidu se při každém nádechu a výdechu vymění 0,5 l vzduchu. Během fyzické námahy se tento objem může až pětkrát zvýšit. Jakmile se částice dostanou do plic, zůstávají zde různou dobu, což závisí na jejich chemickém složení, místě usazení a mechanismu odstranění.

První dva oddíly dýchacího systému pokrývá mukociliární epitel s vrstvičkou hlenu, který je společně s nečistotami pomalu posouván činností řasinek do nosohltanu, kde je podvědomě polykán a přechází do trávicího traktu. Mukociliární eskalátor transportuje částice z dýchacího traktu v řádu hodin. Poslední oddíl, alveolární oblast, v důsledku výměny plynů nemá ochranou hlenovou vrstvu a proto jsou zde deponované nerozpustné částice odstraňovány velice pomalu, přes jeden měsíc nebo rok. Pomalu se rozpouštějí nebo jsou pohlceny alveolárními makrofágy. Rozpuštěné částice procházejí skrz tenkou alveolární membránu do krevního oběhu.

Inhalované částice se mohou usazovat na různých místech respiračního systému komplexem dějů depozičních mechanismů nebo mohou být vydechnuty. Nejdůležitějšími jsou impakce, usazování a difúze, intercepce a elektrostatická depoziční. V místě kontaktu s dýchací stěnou se částice usadí a dále už nejsou uvolněné do okolí. Místo a vzdálenost usazení částic závisí na velikosti částic, hustotě, tvaru, geometrii dýchacích cest a intenzitě dýchání.

Impakce je omezena na částice velkých rozměrů, nad 10 μm, které se nacházejí v blízkosti stěn dýchacích trubic v horních cestách dýchacích. Díky velké hmotnosti částice nemohou sledovat proudění vzduchu a tak ulpívají na jejich vlhkém povrchu. Největší depoziční impakcí je v místě rozdělení průdušnice na průdušky. Pravděpodobnost impakce je nejvyšší v bronchiální oblasti.

Usazování je nejdůležitější v dolních cestách dýchacích a v alveolárním regionu, kde je nízká rychlost proudění vzduchu a malé rozměry dýchacích cest. Sedimentace má největší maximum v horizontálně orientovaných dýchacích cestách. Nejvíce se usazují částice od několika setin mikrometru až po mikrometry.

Difúze submikronových velikostí částic vede ke zvýšení pravděpodobnosti usazení v dolních cestách dýchacích, kde dýchací cesty jsou úzké a zdržení vzduchu poměrně dlouhé. Difúze je převládající depoziční mechanismus pro částice menší než 0,5 μm (Cheng, 2003, Hinds, 1999).

Intercepce je proces, během kterého se částice, aniž by se odchýlily z proudnice, zachytí díky svému tvaru na povrchu dýchací trubice. Pravděpodobnost intercepce závisí na blízkosti částice u dýchací stěny a na poměru mezi velikostí částic a průměrem dýchací trubice, který je většinou malý i v nejmenších průdušinkách. Výjimkou jsou dlouhá vlákna, které jsou velké v jednom rozměru, ale mají malý aerodynamický průměr. Mohou se pohybovat napříč křivolakými dýchacími cestami, kde mají vysokou pravděpodobnost intercepce z důvodu zkřížení vláknité částice v trubici.

Celková depozice je kombinací depozic aerosolových částic ve všech oblastech dýchacího systému. Frekvence dýchání, objem inhalovaného vzduchu, trvání pauzy mezi nádechy a výdechy ovlivňuje depozici vdechovaných částic. Pro částice s aerodynamickým průměrem větším než  $0,5 \mu\text{m}$  je typické, že čím je nižší dechová frekvence, tím větší je frakční depozice, jelikož je více času pro gravitační usazování (Cheng, 2003, Hinds, 1999). Pro částice větší než  $1 \mu\text{m}$ , depozice roste s průměrnou rychlostí vzduchu díky rychlosti, je to závislý mechanismus setrvačné impakce. Při pauze mezi nádechy a výdechy vzrůstá depozice částic všech velikostí, obzvláště u větších částic a delších pauz.

Depozice částic v horních cestách dýchacích je vysoce variabilní a závisí na mnoha faktorech. Na dýchání ústy či nosem, rychlosti proudění vzduchu a velikosti částic.

Vzduch vdechovaný nosem je oteplen, zvlhčen a dál prochází nosními chodbami. Největší částice jsou odstraněny usazováním a impakcí, hlenem přeneseny do nosohltanu a spolknuty.

Pro dýchání ústy, při vdechování  $30 \text{ l/min}$  vzduchu, se usadí přibližně 20% částic o aerodynamickém průměru  $5 \mu\text{m}$  a 70% částic  $\text{PM}_{10}$  před tím, než vdechnutý vzduch dosáhne hrtanu.

Pro dýchání ústy a nosem platí, že depozice v horních cestách dýchacích vzrůstá s dechovou rychlostí.

Depozice v alveolární oblasti závisí na velikosti částic, dechové frekvenci a dechovém objemu a snižuje se, když je depozice v předcházejících sekcích vysoká. Částice o velikosti  $0,1-1 \mu\text{m}$  se podílejí na alveolární depozici 10-20%. Při dýchání ústy je největší depozice pro částice o velikosti  $3 \mu\text{m}$  s účinností 50% a při dýchání nosem je maximum alveolární depozice u částice okolo  $2 \mu\text{m}$  10-20% (Hinds, 1999).

### **1.1.3.2 Eidemiologické účinky aerosolů**

Jednou z nejvýznamnějších a nejsledovanějších vlastností aerosolových částic je jejich vliv na zdraví člověka. Na toto téma byla provedena řada epidemiologických studií, které se

snažily prokázat, zda existuje pozitivní korelace mezi zvýšenou koncentrací aerosolu a výskytem různých onemocnění.

Dříve byla vyšší morbidita a mortalita přisuzovaná z velké části epizodám extrémního znečištění ovzduší a bylo tak přijato spojení mezi kardiovaskulárním onemocněním a velmi vysokou koncentrací PM. Jako například v Londýně v roce 1952, kdy maximální koncentrace SPM a SO<sub>2</sub> dosahovaly u obou látek 5000 µg/m<sup>3</sup>. Později se však ukázal i vliv menších koncentrací. Má se za to, že krátkodobým nárůstem PM<sub>2,5</sub> o 10 µg/m<sup>3</sup> se mortalita zvýší o 1% (Pope et al., 2006).

Obě velké studie, Harvard Six Cities a ACS (American Cancer Society), které byly zaměřené na vliv dlouhodobé expozice a mortality prokázaly, že mortalita v důsledku nemocí srdce a plic velmi úzce souvisí s koncentracemi sulfátů, zejména oxidem siřičitým a PM<sub>2,5</sub>. ACS dále poukazuje na spojení rakoviny plic s aerosolovým znečištěním (Pope et al., 2006). Zvýšení koncentrace jemných částic a oxidu siřičitého při dlouhodobé expozici o 10 µg/m<sup>3</sup>, způsobí nárůst rizika úmrtnosti u kardiopulmonálních onemocnění o 6% a u rakoviny plic o 8% (Pope et al., 2002).

Komplexní vyhodnocení výsledků poskytuje přesvědčivé důkazy o tom, že expozice jemným částicím má nepříznivé dopady na srdce, plíce, kardiovaskulární soustavu atd. (Pope et al., 2006, Mittleman, 2007)

Brunekreef a Forsberg (2005) zkoumali vliv hrubých částic (PM<sub>2,5</sub> - PM<sub>10</sub>) na mortalitu a morbiditu. Řada studií doložila nezávislost působení hrubých částic na denní mortalitu. Při sledování chronických plicních onemocnění, astmatu a respiračních onemocnění se ukázalo, že hrubé částice mají silnější nebo stejně silné účinky jako jemné částice a předpokládají, že mohou způsobit nepříznivé odezvy v plicích vedoucích k hospitalizaci. Jedna práce z Číny spojuje respirační problémy dětí s expozicí vysokých hladin hrubých částic, naproti tomu studie v Kalifornii našla jen malé důkazy o dlouhodobých účincích hrubých částic na morbiditu, stejně jako v práci autorů Pope et al. (2002), kteří při měření hrubé frakce a TSP (Total Suspended Particles) neprokázali jejich spojení s mortalitou.

Dětem je při studiu vlivu prašného aerosolu na zdraví věnována zvláštní pozornost, jelikož jejich imunitní systém a plíce během expozice nejsou ještě plně vyvinuté, takže je tu možnost jiné odezvy na znečištění než u dospělých. Děti mají větší plochu povrchu plic na kilogram váhy těla než dospělí a při klidové dechové frekvenci prodýchají o 50% více vzduchu. Výsledky naznačují, že dětství je kritická expoziční doba, kdy znečištěné ovzduší může mít trvalé následky na respirační systém (Schwarz, 2004, Pope et al., 2006). Frakční depozice částic 2 µm během dýchání v klidu u dětí ve věku 7-14 let je stejná jako u dospělých, avšak

jelikož mají menší plíce a vyšší minutovou ventilaci vzhledem k velikosti plic, jsou náchylnější k akutním toxickým účinkům částic. V porovnání s dospělými přijímají zvýšené dávky polutantů do plic, což má vliv na jejich morbiditu (Bennet et al., 1998).

Woodruff et al. (2006) pozorovali novorozeneckou úmrtnost a došli k závěru, že každé navýšení  $PM_{2,5}$  o  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  přibližně zdvojnásobuje riziko úmrtí novorozenců v důsledku respiračních chorob a také byl pozorován syndrom náhlého úmrtí kojenců.

Expozice prашného aerosolu dětí je spojená s deficitem plicních funkcí, nárůstem respiračních onemocnění, chronickou bronchitidou, astmatem, alergiemi, zvýšenou absencí ve školách a hospitalizacemi v důsledku nemocí dýchacího systému (Pope et al., 2006).

#### 1.1.4 Vnitřní ovzduší škol

Na téma vnitřní prostředí škol byla napsaná celá řada článků. Děti patří mezi citlivou a zranitelnou skupinu populace, jelikož citlivě reagují na zhoršenou kvalitu ovzduší. Ve školách tráví značnou část svého času, okolo 30% (Fromme et al., 2007) a proto se mnoho autorů snaží zhodnotit, jaký vliv mají znečišťující látky vyskytující se ve školách na děti.

EPA vypracovala pro školy program, Indoor Air Quality (IAQ) Tools for Schools (TfS), který je komplexním prostředkem pomáhající školám zachovávat zdravé prostředí ve školních budovách. Ukazuje školám, jak uskutečnit praktický plán ke zlepšení problémů vnitřního ovzduší škol (internet[6]).

Vnitřní ovzduší škol je kombinací fyzikálních, chemických a biologických faktorů. Je ovlivněno penetrací látek z vnějšího ovzduší, ale také vlastními vnitřními zdroji. Patří mezi ně stavební materiály, podlahové krytiny, zařízení a lidské aktivity. Mnoho studií uvádí, že přítomnost žáků, jejich aktivita, má vliv na zvýšení koncentrace částic v porovnání s časem kdy přítomni nejsou. Je to dáno tvorbou částic jejich aktivitou a resuspenzí již dříve usazených částic (Braniš et al., 2005, Fromme et al., 2007, Poupard et al., 2005, Roorda-Knape et al., 1998, Lee et al., 2000, Janssen et al., 1997, Fox et al., 2005, Diapouli et al., 2006).

Nejčastějšími sledovanými látkami jsou oxid uhličitý, oxid dusičitý, těkavé organické látky, formaldehyd, bakterie (*Staphylococcus*, *Micrococcus* (Maroni et al., 1993)) a aerosoly.

Norback et al. (1990) studovali na šesti základních školách vztahy těkavých organických látek, respirabilního prachu a personálních faktorů k prevalenci a incidenci takzvaného Sick building syndromu (SBS). Vyšší koncentrace oxidu uhličitého a prašnosti poukazovaly na špatné větrání, koncentrace VOC pozitivně korelovala s teplotou a iritace očí měla souvislost

s prašným aerosolem. SBS tak souvisel s respirabilním prachem, kouřením a psychosociálním klimatem.

Lee et al. (2000) sledovali v Hong Kongu pět tříd, kde probíhal vnitřní a venkovní monitoring několika znečišťujících látek a zjistil, že nejzávažnější problémem zde je respirabilní frakce prašného aerosolu ( $PM_{10}$ ) a oxid uhličitý.

Výsledky jasně ukazují, že expozice prašného aerosolu ve školách je vysoká. Zvýšené koncentrace aerosolu a jejich korelace s vysokými koncentracemi oxidu uhličitého (Poupard et al., 2005, Fromme et al., 2007) naznačují, že nedostatečná ventilace hraje důležitou roli ve znečištění ovzduší ve školách. Dochází k zabránění transportu a odstranění zvláště větších částic z interiéru ven, jejich usazení na povrchu a následné resuspenzi (Fromme et al., 2007).

Koncentrace  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  byly uvnitř vyšší než odpovídající koncentrace venku (Diapouli et al., 2006, Janssen et al., 1997, Roorda-Knape et al., 1998, Morawska, 2003). Extrémně vysoké koncentrace byly naměřeny v kabinetech učitelů, kde se kouří a velmi zvýšené hodnoty  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  byly rovněž zjištěny v tělocvičně zapříčiněné zde intenzivní fyzickou aktivitou (Diapouli et al., 2006).

Významný faktor je umístění školy. V městských oblastech se většina základních škol nachází v blízkosti vozovek (Korenstein et al., 2002). Doprava je jedním z hlavních zdrojů polutantů jako oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, benzenu, prašného aerosolu, zejména jemných a ultrajemných částic, těkavých organických látek a dalších a má proto nepříznivé účinky na zdraví (Wu et al., 2006, Ciccone et al., 1998, Green et al., 2004). Tyto látky mohou způsobovat kardiopulmonální mortalitu (Hoek et al., 2002, Brugge et al., 2007), zvýšené riziko respirační onemocnění zvláště astmatu, pokles plicní funkce (Gauderman et al., 2007, Brugge et al., 2007, Brunekreef et al., 1997), komplikace po narození (Wilhelm a Ritz, 2003, Brugge et al., 2007), bronchitidu a obtíže při dýchání (Ciccone et al., 1998). Brunekreef et al. (1997) zjistili, že pokles plicní funkce souvisel s dopravou silněji u dětí žijících ve vzdálenosti menší než 300 m od dálnice. Dlouhodobá expozice znečištění z dopravy může zkrátit očekávanou délku života (Hoek et al., 2002).

Záleží také na vzdálenosti školy od silnice, hustotě dopravního provozu a procentě času po směru větru. Koncentrace uvnitř i venku významně roste s provozem a klesá se vzdáleností od vozovky (Janssen et al., 2001). Autoři Zhu et al. (2002) sledovali koncentrace prašného aerosolu a oxidu uhelnatého a vyzpozorovali patrný exponenciální pokles těchto látek v průběhu 20 - 100 metrů od silnice.



### 1.1.5 Vliv fyzické aktivity na zdraví člověka

Je nesporným faktem, že pravidelná fyzická aktivita působí blahodárně na zdraví člověka a přispívá k dlouhověkosti. Lékaři a další odborníci proto cvičení podporují. Nicméně lidé cvičící v městských oblastech mohou být nevědomě vystaveni riziku, které představuje znečištění pocházející z automobilové dopravy a dalších zdrojů a může způsobit například kardiovaskulární a respirační onemocnění (Sharman, 2005).

Mnoho autorů se zaměřilo na to, jaký je dopad fyzické aktivity ve znečištěném prostředí na lidské zdraví. Někteří zkoumali zdravé jedince (Atkinson, 1996, Cambell et al., 2005, Carlisle, et al., 2001, Villarreal-Calderón et al., 2002, Bräuner et al., 2007, Daigle et al., 2003, Rundell et al., 2007, Bennet et al., 1998 ), jiní provedli studie s již nemocnými lidmi (Mittleman, 2007, Pekannen et al., 2002). Například Pekannen et al. (2002) posuzovali spojení třech modů městského aerosolu a výskytu deprese segmentu ST (poruchy na srdci vedoucí k infarktu) během opakovaných sérií cvičení u skupiny osob s ischemickou chorobou srdeční. Došli k závěru, že jemné a ultrajemné částice mají dopad na kardiovaskulární morbiditu a mortalitu díky zvýšené citlivosti k infarktu.

Při fyzické námaze lidé přijímají ve srovnání s klidovým režimem zvýšené dávky polutantů, což má několik příčin. Během aktivity roste minutová ventilace a tím se úměrně zvyšuje množství vdechovaných polutantů. Převažuje dýchání ústy, takže se vzduch, obsahující velké částice, účinně vyhne obrannému filtračnímu mechanismu v nosní dutině. Rostoucí rychlost proudu vzduchu dopravuje polutanty hlouběji do dýchacího traktu (Atkinson, 1996, Carlisle, et al., 2001) a roste difúzní kapacita plic (Carlisle, et al., 2001). Po cvičení v městském prostředí je navíc několik dní poškozen mukociliární epitel sloužící k odvedení částic z tracheobronchiálního úseku (Atkinson, 1996).

Daigle et al. (2003) uvádějí, že celková respirační frakční depozice ultrajemných částic, které se usazují v alveolárním regionu, během cvičení vrostla o 32% oproti klidovým hodnotám, roste s klesající velikostí částic a minutová ventilace se 3,3 krát zvýšila.

Ultrajemné částice přímo působí na vaskulární endotel, protože se jejich značná frakce přemístí z plicních sklípků do oběhového systému. Mohou tak dlouhodobě působit na kardiovaskulární soustavu (Rundell et al., 2007) a také způsobovat systémový oxidativní stres s poškozením DNA (Bräuner et al., 2007).

## 1.2 Cíle práce

Cílem této práce bylo provedení dlouhodobého měření koncentrací aerosolů v prostorách tělocvičny základní školy v Praze 1 v pěti velikostních frakcích pomocí kaskádového impaktoru Sioutas za účelem zjištění, jakým koncentracím jsou zde děti vystaveny během fyzické aktivity. Simultánně docházelo k měření venkovních koncentrací, aby se zhodnotily rozdílné koncentrace v těchto prostředích a dále k popsání vlivu venkovního ovzduší na vnitřní. Hodnotil se vliv cvičících osob a meteorologických údajů na koncentrace aerosolu.

Jedna měřicí kampaň byla provedena současně ve dvou tělocvičnách základních škol různého místa, abychom zjistili případné rozdíly v koncentracích vlivem jiného umístění škol.

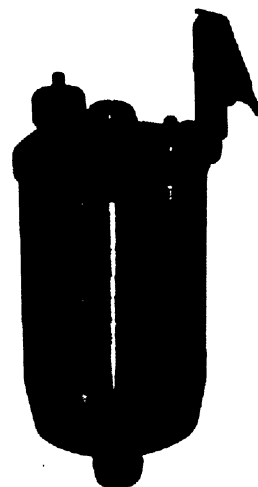
Námi zjištěné koncentrace pak byly porovnány s údaji naměřenými v blízké stanici AIM a také s výsledky autorů, kteří se zabývali zkoumáním vnitřního a vnějšího prostředí škol.

## 2 METODIKA

V této práci byla sledována expozice prašného aerosolu dětí v tělocvičně základní školy se současným měřením venkovních koncentrací. Zjišťovanou škodlivinou byl prašný aerosol v pěti velikostních frakcích  $< 0,25 \mu\text{m}$ ,  $0,25 - 0,5 \mu\text{m}$ ,  $0,5 - 0,1 \mu\text{m}$ ,  $1,0 - 2,5 \mu\text{m}$  a  $> 2,5 \mu\text{m}$ .

### 2.1 Kaskádový impaktor Sioutas

Pro naši studii jsme k odběru příslušných frakcí aerosolu použili kaskádový impaktor Sioutas, PCIS (Personal Cascade Impactor Sampler), SKC, Inc, USA. Je to separační metoda, která slouží ke stanovení koncentrací částic ve vymezených velikostních intervalech. Vzduch je nasáván pumpou, prochází přes filtr, na kterém dochází k zachycení dané velikostní frakce aerosolu. Částice se dělí podle svých setrvačných rychlostí.



Částice o aerodynamickém průměru  $\text{PM}_x$  jsou zachytávány s účinností přibližně 50%, menší částice téměř se 100% účinností. Velikostní frakce lze pak následně analyzovat gravimetricky, chemicky a mikroskopicky, přičemž my jsme prováděli gravimetrické stanovení. obrázek č. 1: PCIS, zdroj internet[7]

#### 2.1.1 Princip metody

Impaktor Sioutas se skládá ze čtyř impakčních stupňů, je zakončený koncovým filtrem a umožňuje separaci a záchyt vzdušného aerosolu v pěti frakcích. Proud vzduchu přichází vstupní destičkou. Akcelerační destička, která je součástí každého patra, obsahuje protáhlou obdélníkovou trysku (štěrbinu), jež se v každém patře zužuje. Díky tomu se vzduch postupně urychluje a je umožněna separace na základě setrvačných rychlostí. Těžší částice nestačí sledovat proudnice vzduchu a jsou zachyceny na sběrné destičce. Lehčí částice proudnice sledují a procházejí do dalších stupňů, kde dochází k jejich dělení a záchytu podle stejného principu.

Pokles tlaku přes impaktor je nízký a to 2,7 kPa, což umožňuje velmi tichý chod impaktoru důležité při osobní expozici, k čemuž přispívá i malá váha okolo 150 gramů (Misra et al., 2002, Singh et al., 2003).

Hlavní parametr určení záchytu částic vychází se Stokesova čísla mající 50% pravděpodobnost impakce částic.

Každý stupeň impaktoru popisuje takzvaný 50% - ní „cut-point“, kdy částice s aerodynamickým průměrem  $d_{50}$  jsou zachyceny s účinností právě 50% na daném stupni. Pro dané čtyři stupně impaktoru byly navrženy jednotlivé „cut – point“ při průtoku 9 l/min uvedené v tabulce č. 1 (Misra et al., 2002).

Stupeň impaktoru	50% „cut – point“ navržené
A	2,5 $\mu\text{m}$
B	1,0 $\mu\text{m}$
C	0,50 $\mu\text{m}$
D	0,25 $\mu\text{m}$

Tabulka č. 1: Navrhnuté „cut – point“ impaktoru

Částice jsou tak separovány do pěti velikostních frakcí  $< 0,25 \mu\text{m}$ ,  $0,25 - 0,5 \mu\text{m}$ ,  $0,5 - 1,0 \mu\text{m}$ ,  $1,0 - 2,5 \mu\text{m}$  a  $> 2,5 \mu\text{m}$ . (podle navrhnutých „cut – point“). Zatěžovací test pro částice ukázal, že každý stupeň může zachytit nanejvýš 3,16 mg jemných a 0,7 mg hrubých částic bez ztráty sběrné účinnosti.

Částice s vyšším aerodynamickým průměrem než je „cut – point“ daného stupně jsou zachytávány na PTFE filtru o průměru 25 mm. Částice s nižším aerodynamickým průměrem než je  $0,25 \mu\text{m}$  se zachytávají na koncovém PTFE filtru o průměru 37 mm.

Ztráty na každém patře PCIS jsou zcela nízké, to znamená v rozmezí 10% nebo méně a vzrůstají s velikostí částic. Z pozorování je zřejmé, že ztráty jsou způsobené především setrvačnou depozicí na stěnách akceleračních trysek impaktoru.

Strmost křivky sběrné účinnosti pro každý stupeň impaktoru pro teflonový filtr může být stanovena na základě geometrické směrodatné odchylky, tabulka č. 2 (Misra et al., 2002).

Stupeň impaktoru ( $\mu\text{m}$ )	Směrodatná geometrická odchylka ( $\sigma_g$ )
0,25	1,28
0,50	1,25
1,0	1,25
2,5	1,19

Tabulka č. 2: Směrodatné geometrické odchylky pro stupně impaktoru

Schopnost impaktoru isokinetického odběru částic při mírných rychlostech větru byla vyhodnocena ve větrném tunelu v zařízení School of Public Health, UCLA. Při rychlosti větru do 8 km/h se ukázalo, že sběrná účinnost částic a separační vlastnosti impaktoru nejsou ovlivněné rychlostmi větru pro částice do 10  $\mu\text{m}$  aerodynamického průměru (Singh et al., 2003).

## 2.2 Lokalita

Pro tuto studii byla vybrána tělocvična v základní škole Brána jazyků, v Mikulandské ulici 5/314 na Praze 1. Škola je v centru Prahy v bezprostřední blízkosti rušných komunikací s intenzivní dopravou, která je významným zdrojem jemných a ultrajemných aerosolových částic, obrázek č. 2.



Obrázek č. 2: Mapa polohy základní školy Brána jazyků  
Vysvětlivky: 1 Základní škola Brána jazyků, Mikulandská 5/314, Praha 1  
2 ulice Národní  
3 ulice Spálená

Tělocvična se nachází v přízemí budovy školy. Je obdélníkového tvaru o rozměrech zhruba 16,6 m (délka), 7,2 m (šířka) a 4,9 m (výška). Větrání je uskutečněno okny umístěných po celé jedné delší straně tělocvičny orientovanými do dvora se školním hřištěm. Místnost není vybavená žádným ventilačním a klimatizačním zařízením. Podlaha je pokrytá parketami a pravidelně se vytírá jedenkrát až dvakrát denně.

Měření probíhalo ještě v prostorách druhé tělocvičny v základní škole Petřiny - sever, v ulici Na Okraji 43/305 na Praze 6. Byla zvolena pro srovnání se školou umístěné v centru. Měřila se zde IX kampaň. Škola se nachází stranou městského ruchu obklopená zelení ve vzdálenosti několik desítek metrů od rušné komunikace, obrázek č. 3.



Obrázek č. 3: Mapa polohy základní školy Petřiny – sever  
Vysvětlivky: 1 Základní škola Petřiny – sever, Na Okraji 43/305, Praha 6  
2 ulice Předvoje  
3 ulice Na Petřinách

Tělocvična obdélníkového tvaru je ve druhém patře školy s rozměry přibližně 16,15 m (délka), 11,4 m (šířka) a 6 m (výška). Větrání se provádí pouze okny směřujícími do zahrady. Podlahu pokrývá plastová krytina s frekvencí vytírání jedenkrát až dvakrát denně.

## 2.3 Umístění přístroje

Umístění měřicích přístrojů uvnitř tělocvičny bylo zvoleno s ohledem na to, aby přístroje byly co nejméně nápadné pro děti a návštěvníky a také, aby nehrozilo jejich poškození v důsledku zde provozovaných sportovních aktivit, jako například míčové hry.

V tělocvičně školy Brána jazyků v Praze 1 bylo z těchto důvodů vybráno místo v rohu místnosti u okna. Vzduch byl odebírán ve výšce asi 2,2 metry. Jiná poloha přístrojů nebyla možná, jelikož zde byla možnost jejich zabezpečení a nehrozilo tak jejich poškození.

Současně s měřením uvnitř tělocvičny probíhalo souběžné měření koncentrací aerosolu ve vnějším ovzduší. Měřicí technika byla umístěna na střeše přístěnku ve školním dvoře ve výšce asi čtyř metrů od země.

V základní škole Petřiny-sever v Praze 6 byla měřicí aparatura umístěna ve výklenku stěny tělocvičny naproti oknům ve výšce okolo 3 metrů. Venkovní odběr aerosolů probíhal na střeše školy, asi 15 metrů od zemského povrchu.

## 2.4 Období měření

Měření bylo uskutečněno ve dnech od 30.11.2005 – 29.8.2006 v tělocvičně základní školy Brána jazyků v osmi kampaních celkem 70 dní tak, aby byla pokrytá všechna roční období. V celém sledovaném období také každá kampaň zahrnovala víkend, kdy byla tělocvična prázdná. Tyto dny posloužily jako srovnávací se dny, kdy v tělocvičně byli cvičící, stejně jako kampaň VIII, která proběhla v srpnu o prázdninách.

Ve dnech od 26.11.2007 – 3.12.2007 byla provedena IX kampaň, kdy se měřilo paralelně ve dvou tělocvičnách se současným venkovním měřením, ve škole Brána jazyků a na Petřinách – sever po dobu 8 dnů, tabulka č. 3.

Číslo kampaně	Datum	Počet dnů měření
I (B)*	30.11.05 - 6.12.05	7
II (B)	17.1.06 – 26.1.06	10
III (B)	17.2.06 – 24.2.06	8
IV (B)	14.3.06 – 23.3.06	10
V (B)	19.4.06 – 27.4.06	9
VI (B)	23.5.06 – 31.5.06	9
VII (B)	20.6.06 – 28.6.06	9
VIII (B)	22.8.06 – 29.8.06	8
IX (B+P)**	26.11.07 – 3.12.07	8

Tabulka č. 3: Časový rozvrh kampaní

\* měření v základní škole Brána jazyku, Mikulandská 5/314, Praha 1

\*\* měření v základní škole Brána jazyku v Mikulandské 5/314, Praha 1 a v základní škole Petřiny – sever, Na Okraji 43/305, Praha

## 2.5 Pracovní postup

Používali jsme filtry SKC, PTFE w/Lam PTFE Support, No, Support Pad, 0,5  $\mu\text{m}$ , 25 mm, které byly umístěné na sběrných destičkách a jako koncové filtry byly použity membránové filtry Pallflex PTFE, 37mm s podpurným kroužkem, s velikostí pórů 2 mikrometry.

Příprava filtrů, vážení a práce s impaktorem probíhala ve stopové laboratoři G.B. Marshalla. Filtry byly váženy na vahách Mettler - Toledo MX5 vybavených ionizačním vysokonapěťovým rámem Haug U-electrode ionizer (model PRX-U), který sloužil pro odstranění elektrického náboje na filtrech.

Vážení filtrů z kampaně VIII a IX probíhalo v nově vybudované váhově ÚŽP.

Filtry byly zpracovávány v čistém laminárním boxu HOLTEN série 100 a umístěny do předem přesně označených plastových krabiček (petri slides Millipore). Veškerá manipulace s filtry probíhala pomocí pinzety. Otevřené plastové krabičky s filtry byly dány na 24 hodin do exsikátoru pro zbavení vlhkosti. Po vyjmutí se jednotlivé filtry vážily, každý nejméně dvakrát s přesností na 1  $\mu\text{g}$ .

Čisté impaktory byly rozebrány a naplněny filtry, do každého impaktoru pět filtrů, 4 filtry o průměru 25 mm a 1 filtr o průměru 37 mm. Filtry s průměrem 25 mm byly upevněny přídržnými plastovými kroužky k jednotlivým impakčním destičkám, koncový filtr se umístil do rozložené výstupní destičky a byl přichycen svěrným kroužkem a o-kroužkem. Impaktory se sestavily a byly vloženy do dvou mikrotenových sáčků. Impaktory byly vyměňovány vždy kolem 8 hodiny ráno, aby výměna nebyla ovlivněna činností v tělocvičně a aby nebyla rušena výuka. Po přinesení na místo měření byla vypnuta pumpa, do protokolu zapsán čas vypnutí, běh pumpy a údaje o proteklém vzduchu. Exponované impaktory byly vyměněny za neexponované, spustila se pumpa a zaznamenal se čas spuštění. Exponované impaktory byly přeneseny do laboratoře, v laminárním boxu rozebrány, filtry dány do plastových misek (Petri slides) a umístěny do exsikátoru na 24 hodin. Poté proběhlo vážení, minimálně dvakrát každý filtr. Zvážené filtry byly opět uloženy v plastových miskách a uskladněny do krabic. Jednotlivé díly impaktoru byly omyté v isopropylalkoholu, vysušené v boxu a připravené pro další plnění.

Poslední den kampaně byly na místo měření přineseny impaktory se slepými filtry (blank). Impaktory byly uchyceny stejným způsobem k pumpě jako při práci s předchozími, avšak pumpa nebyla spuštěna. Ihned byly sňaty, přeneseny do laboratoře a zpracovány stejným



způsobem jako při práci s exponovanými filtry. Tyto filtry posloužily k vypočtení detekčního limitu.

Každé kampani předcházela kalibrace. Impaktor byl naplněný pouze reprezentativním koncovým filtrem. Výstup impaktoru byl spojen s pumpou, vstup s bublinkovým průtokoměrem Gillian a pumpa byla seřízena na požadovaný průtok 9 l/min. Po skončení kampaně se měření průtoku opakovalo, jelikož mohlo dojít ke vzrůstu podtlaku na koncovém filtru vlivem usazování částic. Někdy proběhla kontrola průtoku během kampaně.

K sání vzduchu byly použity dva typy pump. Pro vnitřní prostředí „tiché pumpy“ Air Diagnostic and Engineering (USA) a pro vnější prostředí pumpy Bagheera (ČR).

## 2.6 Kolokace

Singh et al. (2003) provedli kolokaci impaktoru Sioutas s dalšími přístroji jako MOUDI (Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor), SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) a APS (Aerodynamic Particle Sizer).

PCIS a MOUDI prokázaly pro hmotnostní koncentraci hrubých částic  $PM_{10-2,5}$  velmi vysokou korelaci ( $R^2 = 0,95$ )

Pro jemnou frakci  $PM_{2,5}$  velmi vysokou korelaci s PCIS prokázal jak MOUDI ( $R^2 = 0,90$ ) tak tandem SMPS – APS ( $R^2 = 0,77$ ).

## 2.7 Doprovozná a převzatá data

Po celou dobu probíhajících měřících kampaní byla uvnitř a venku měřena a zaznamenávána teplota a relativní vlhkost vzduchu pomocí externí sondy digitálního záznamového teploměru a vlhkoměru Commeter D3121 s možností přímého zobrazení vypočtené teploty rosného bodu. Naměřené hodnoty byly ukládány v nastavitelném časovém intervalu 15 minut do vnitřní, energeticky nezávislé paměti. Kapacita paměti pro automatický necyklický záznam je 8124 záznamů všech veličin a pro cyklický záznam 7644. Uvedené počty záznamů jsou maximálně možné a jsou dosaženy pouze tehdy, pokud nebyl záznam od smazání paměti přerušen komunikací s počítačem, vypnutím a zapnutím záznamu nebo celého přístroje, tabulka č. 4 (internet[7]).

	Teplota	Relativní vlhkost *
Rozsah měření	-30 až +105 °C	0 až 100% RV
Rozlišení	0,1 °C	0,1% RV
Přesnost	± 0,4 °C	± 2,5% RV v rozsahu 5 až 95% RV při 23 °C

Tabulka č. 4: Technické parametry teploměru a vlhkoměru Commeter D3121

\* údaj je teplotně kompenzován v celém teplotním rozsahu

Dále byl v tělocvičně k dispozici dotazník, kde vyučující zaznamenávali počty cvičících, trvání a typ aktivity

Pro srovnání našich naměřených dat byla převzata data průměrných hodinových koncentrací PM<sub>2,5</sub> pro venkovní prostředí ze stanice AIM (automatický imisní monitoring) v Praze 5 Mlynářka – AMLYA č. 775, která je vzdálená 3,3 km od místa měření a kde se ke stanovení dané velikostní frakce používá radiometrická metoda  $\beta$ -atenuace. Je to metoda, která využívá absorpci beta záření příslušnou frakcí aerosolu zachycenou na filtrační pásce. Úbytek beta záření je ekvivalentní hmotnosti zachyceného aerosolu. Ze znalosti proleklého vzduchu se dá vypočítat hmotnostní koncentrace aerosolu v analyzovaném vzduchu. Stanice je umístěna na svahu asi 50 metrů od frekventované komunikace.

Údaje o rychlosti větru byly převzaty ze stanice AIM Libuš (ALIBA č. 774) na Praze 4.

## 2.8 Zpracování dat

Ze zjištěných hmotností filtrů před a po expozici s byl spočten průměr a odečtením zjištěna navážka. Ze znalosti průtoku, času běhu pumpy a navážky byla spočtena 24 - hodinová průměrná hmotnostní koncentrace aerosolu pro jednotlivé velikostní frakce daných pater impaktoru.

Pro jednotlivé stupně impaktoru A, B C, D a P, které odpovídají velikostním frakcím > 2,5  $\mu$ m, 1,0 – 2,5  $\mu$ m, 0,5 – 1,0  $\mu$ m, 0,25 – 0,5  $\mu$ m a < 0,25  $\mu$ m v tomto pořadí (v následujícím textu pak budeme používat značení písmenem pro jednotlivé stupně, jako A, B atd.), byli pomocí programu MS EXCEL spočteny základní popisné statistiky jako je aritmetický průměr, směrodatná odchylka, medián, maximum a minimum. Frakci PM<sub>2,5</sub> jsme

spočetli sečtením stupňů B C, D a P. Hrubou frakci, kterou dále značíme HF, jsme dostali sečtením stupně A se stupněm B.

Slepých filtrů (blank) o průměru 25 mm bylo získáno 60 a o průměru 37 mm 15. Detekční limit, spočten jako  $3 \sigma$  rozdílu hmotnosti blanků před a po expozici, byl pro 25 mm filtry  $0,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a pro 37 mm filtry  $3,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pod detekčním limitem bylo zjištěno 28 filtrů (5 %) o průměru 25 mm z celkového počtu 560 exponovaných a 11 filtrů (4 %) o průměru 37 mm z celkového počtu 140 exponovaných.

Počty cvičenců byly pro potřeby statistické analýzy vynásobeny počtem hodin, které cvičenci strávili v tělocvičně. Tak byl získán indikátor „osobohodiny“.

Celý soubor dat byl také rozdělen na dny s přítomností a nepřítomností cvičenců v tělocvičně pro analýzu vlivu vnitřních zdrojů.

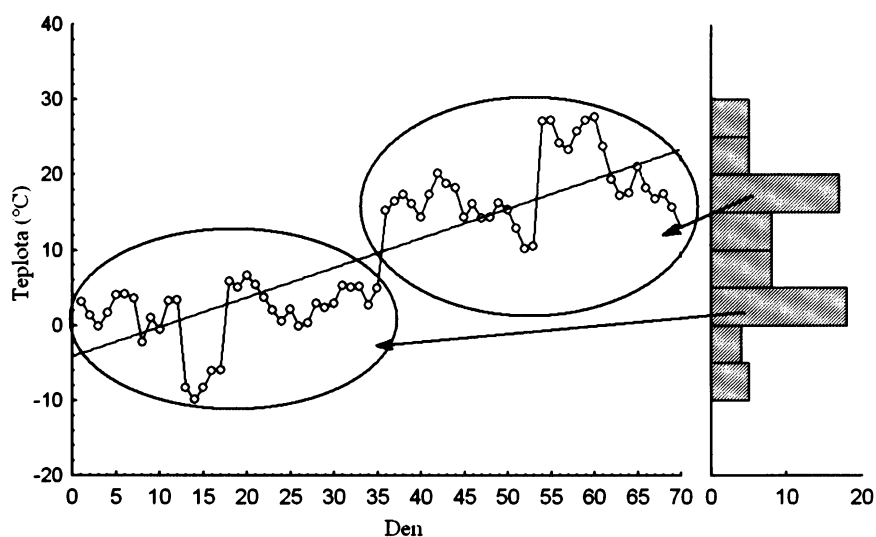
Průzkumová analýza dat byla provedena pomocí statistického programu ORIGIN 7.0 a MS EXCEL.

### 3 VÝSLEDKY

#### 3.1 Fyzikální faktory

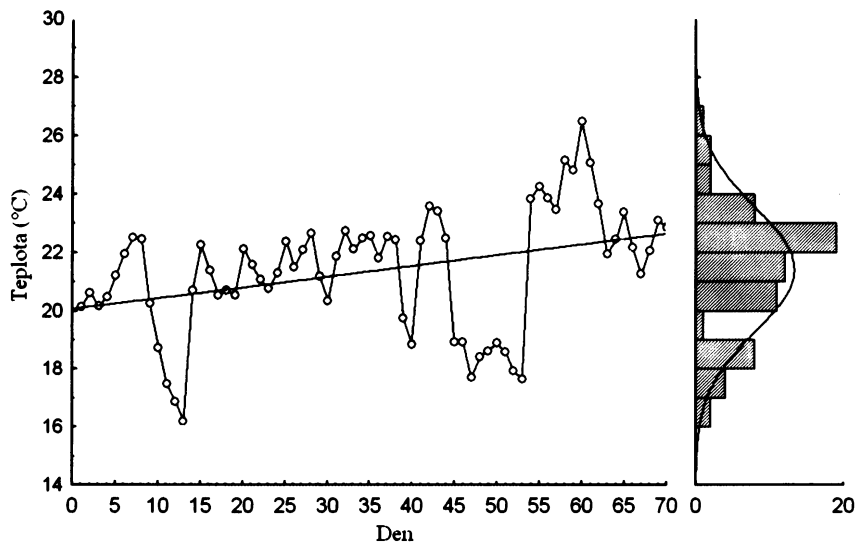
- *Teplota*

Venkovní teplota dosahovala v průměru  $9,87\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 9,68\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vykazovala výrazné změny během roku - vliv ročních období zimy a léta, jak znázorňuje graf č. 1. Venkovní teplota v zimě byla konstantní s hodnotou  $1,37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v létě byla konstantní s hodnotou  $18,37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zimní období je do 35 dne.



Graf č. 1: Časový průběh teploty venkovního prostředí s histogramem. Oblasti dat v kroužkách značí zimní a letní období

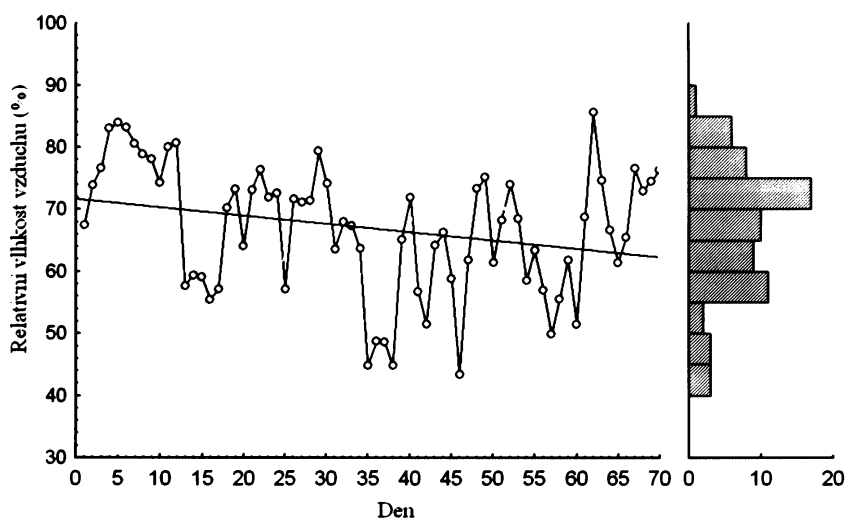
Průměrná teplota uvnitř tělocvičny se pohybovala kolem  $21,4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jak je patrné z grafu č. 2, teplota uvnitř se v průběhu roku měnila jen velmi málo, v průměru o  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je to dáno udržováním stále teploty uvnitř tělocvičny – v zimě se topí. Histogram znázorňuje, že jde o normální rozdělení. Teplota uvnitř se během roku mírně zvyšovala, což je v souladu s korelací s venkovní teplotou.



Graf č. 2: Časový průběh teploty uvnitř tělocvičny s histogramem

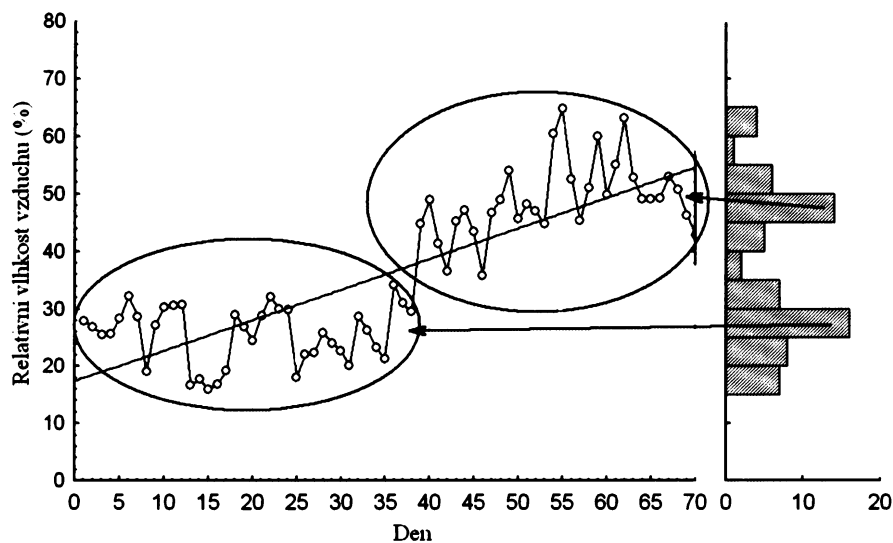
- **Relativní vlhkost**

Relativní vlhkost vzduchu ve venkovním ovzduší během roku mírně klesala s průměrnou hodnotou  $66,98 \% \pm 10,31 \%$ , graf č. 3, což je v souladu s tím, že teplota venku rostla, graf č. 1. Čím teplejší vzduch, tím více páry je schopen pojmout.



Graf č. 3: Časový průběh relativní vlhkosti vzduchu venkovního prostředí s histogramem

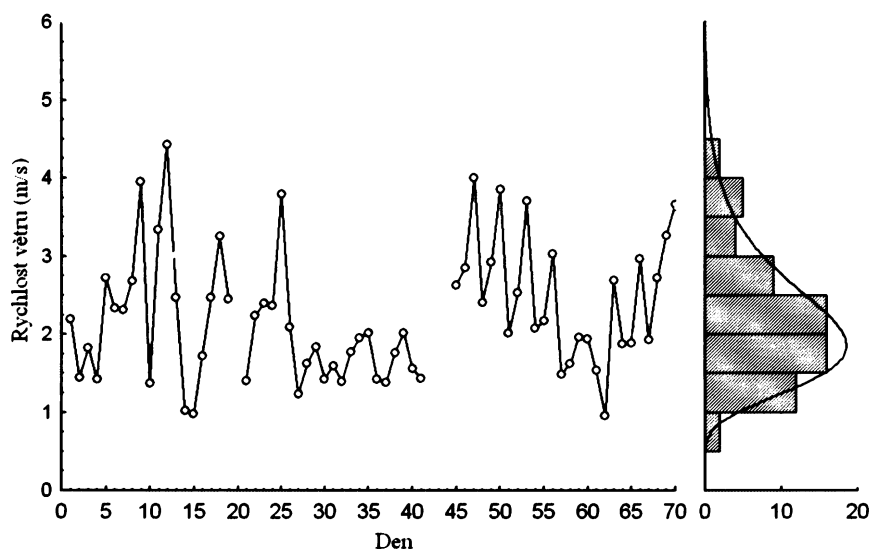
Uvnitř je situace odlišná, jak ukazuje graf č. 4. Průměrná vlhkost za celý rok byla  $36,4 \% \pm 13,21 \%$ . Během roku se relativní vzdušná vlhkost výrazně zvyšovala, v zimě se pohybovala kolem hodnoty  $25 \% \pm 4,81 \%$ , v létě kolem hodnoty  $47,72 \% \pm 8,10 \%$ . Zimní období je do 35 dne.



Graf č. 4: Časový průběh relativní vlhkosti vzduchu uvnitř tělocvičny s histogramem. Oblast dat v kroužkách značí zimní a letní období

- **Rychlost větru**

Graf č. 5 ukazuje, že rychlost větru se během roku příliš nelišila s průměrnou hodnotou  $2,24 \text{ m/s} \pm 0,82 \text{ m/s}$ . Nespojené body jsou v důsledku chybějících dat.



Graf č. 5: Časový průběh rychlosti větru s histogramem

### 3.2 Popisná statistika

Pohled na všechna data naměřená venku a uvnitř ukazuje, že koncentrace ve venkovním prostředí jsou vyšší než uvnitř tělocvičny, s výjimkou frakce na stupni A a HF dle očekávání.

Průměrná koncentrace PM<sub>2,5</sub> venku je 29,27 µg/m<sup>3</sup> ± 15,21 µg/m<sup>3</sup>, tabulka č. 5 a uvnitř 23,93 µg/m<sup>3</sup> ± 12,01 µg/m<sup>3</sup>, tabulka č. 6. Hodnoty v tabulkách jsou uvedeny v µg/m<sup>3</sup>.

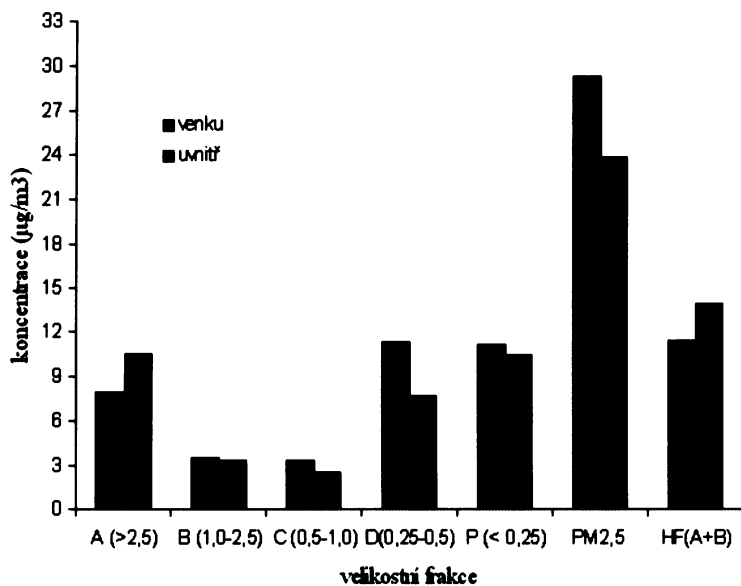
Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	7,94	5,01	6,16	26,55	1,64
B	3,49	1,81	3,28	8,86	0,30
C	3,30	2,43	2,61	13,34	0,08
D	11,31	6,95	11,27	25,67	1,15
P	11,18	7,28	10,04	46,80	3,04
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	29,27	15,21	29,14	79,27	6,29
HF (A+B)	11,43	6,50	9,91	34,81	1,98

Tabulka č. 5: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru ve vnějším prostředí v µg/m<sup>3</sup>, n = 70

Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	10,52	7,86	9,9	29,03	0,15
B	3,35	2,08	2,9	11,83	0,45
C	2,49	1,66	2,4	8,04	0,26
D	7,73	5,16	7,1	21,60	1,01
P	10,36	6,10	9,7	33,04	1,55
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	23,93	12,01	25,0	58,45	4,22
HF (A+B)	13,87	9,46	13,7	40,85	0,94

Tabulka č. 6: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru ve vnitřním prostředí v µg/m<sup>3</sup>, n = 70

Grafické znázornění koncentrací aerosolu jednotlivých velikostních frakcí v tělocvičně a venku ukazuje graf č. 6. Je patrné, že k celkové hmotnosti aerosolu nejvíce přispívá frakce stupně A, D a P.



Graf č. 6: Koncentrace aerosolu jednotlivých frakcí v tělocvičně a ve venkovním prostředí

### 3.3 Průzkumová analýza vstupních dat

Jelikož hodnoty parametrů kvality ovzduší mají obvykle logaritmicko-normální rozdělení, byla na ně aplikována před ověřováním hypotéz o středních hodnotách hmotnostních koncentrací logaritmická transformace. Naměřená data ale ve skutečnosti nemají přesné logaritmicko-normální rozdělení, protože koncentrace jednotlivých frakcí závisí na fyzikálních faktorech (teplota (T), relativní vlhkost (RH), vítr (WV), osoby (OS/H)) a tak data jsou tedy spíše směsí více logaritmicko-normálních rozdělení.

Při vyšetřování korelací hmotnostních koncentrací aerosolu jednotlivých velikostních frakcí mezi sebou a s fyzikálními faktory budeme užívat Spearmanův korelační koeficient.

Pro korelace mezi fyzikálními faktory si vystačíme s Pearsonovým korelačním koeficientem.

#### 3.3.1 Korelace mezi fyzikálními faktory

Tabulka č. 7 ukazuje vztahy mezi meteorologickými faktory. Vztah vnitřní teploty a větru je charakterizován korelačním koeficientem s hodnotou -0,39, z čehož plyne, že vítr snižuje teplotu uvnitř tělocvičny. Korelace mezi teplotou uvnitř a venku je významná, s Pearsonovým korelačním koeficientem 0,44. Relativní vlhkost uvnitř výrazně kladně koreluje s teplotou venku s hodnotou koeficientu 0,90. Vztah relativní vlhkosti ve venkovním prostředí s teplotou venku popisuje Pearsonův korelační koeficient s hodnotou -0,28.



Faktor	T uvnitř	RH uvnitř	WV	T venku	RH venku
T uvnitř	1				
RH uvnitř	0,24	1			
WV	-0,39	0,12	1		
T venku	0,44	0,90	0,04	1	
RH venku	-0,23	0,00	0,16	-0,28	1

Tabulka č. 7: Korelace meteorologických faktorů, n = 70

Vysvětlivky: Červeně vyznačené korelace jsou významné na hladině  $\alpha = 0,05$

Modře vyznačené korelace jsou na hranici významnosti

V zimě je parciální korelace teploty uvnitř a větru při konstantní RH uvnitř, OS/H, Den nevýznamná, ale v létě je tato korelace významná a vysoká se Spearmanovým koeficientem -0,62. Důvodem je to, že v zimě se nevětralo, ale v létě ano.

### 3.3.2 Korelační a regresní analýza mezi hmotnostními koncentracemi

Pro tyto korelace jsme použili Spearmanův korelační koeficient.

Korelace pro venkovní ovzduší jsou zaznamenány v tabulce č. 8. Všechny sousední stupně spolu korelují. Nejvyšší korelace je u HF a stupně A, 0,96. PM<sub>2,5</sub> koreluje se všemi stupni impaktoru. Oproti vnitřnímu prostředí je významná také korelace na stupni D s A, se Spearmanovým koeficientem 0,49.

Stupeň impaktoru	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
A	1						
B	0,68	1					
C	0,58	0,74	1				
D	0,49	0,41	0,57	1			
P	-0,02	-0,06	0,06	0,35	1		
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	0,48	0,50	0,63	0,85	0,67	1	
HF (A+B)	0,96	0,82	0,65	0,50	-0,02	0,53	1

Tabulka č. 8: Korelace hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru ve venkovním prostředí, n = 70

Vysvětlivky: Červeně vyznačené korelace jsou významné na hladině  $\alpha = 0,05$

Jednotlivé korelace uvnitř tělocvičny jsou uvedeny v tabulce č. 9. Nejvyšší korelaci 0,97 vykazuje hrubá frakce se stupněm A. Stupeň P je korelován pouze s PM<sub>2,5</sub>.

Stupeň impaktoru	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
A	1						
B	0,53	1					
C	0,42	0,47	1				
D	0,16	0,13	0,53	1			
P	0,18	0,01	0,04	0,11	1		
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	0,33	0,35	0,55	0,71	0,61	1	
HF (A+B)	0,97	0,67	0,44	0,16	0,16	0,37	1

Tabulka č. 9: Korelace hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru uvnitř tělocvičny, n = 70  
Vysvětlivky: Červeně vyznačené korelace jsou významné na hladině  $\alpha = 0,05$

Korelace hmotnostních koncentrací jednotlivých velikostních frakcí vnitřního prostředí tělocvičny s venkovním ovzduším jsme provedli následovně. Veličinou, která nás v tomto případě zajímá, je Spearmanova parciální korelace jednotlivých hmotnostních koncentrací venku vs. uvnitř při konstantních fyzikálních faktorech. Zde narážíme na problém, jaké fyzikální faktory zvolit za konstantní, protože je zřejmé, že například WV naprosto nezávisí na OS/H, stejně tak hmotnostní koncentrace jednotlivých frakcí venku nezávisí ze zřejmých důvodů na OS/H, RH a T uvnitř. Z tohoto důvodu by byl výpočet těchto korelací založený na datech z celého roku při všech fyzikálních faktorech braných jako konstantní zřejmě zatížen nezanedbatelnou chybou. Například Spearmanova korelace OS/H s frakcemi venku vychází kolem 0,4 a navíc statisticky významně. Je však zřejmé, že tato veličina naprosto nemůže ovlivnit venkovní koncentrace. Korelace je tak náhodná.

Pro minimalizaci těchto efektů jsme pro výpočet těchto korelací zvolili data, kdy děti v tělocvičně nebyly a Spearmanovy parciální korelace jsme počítali při konstantních proměnných Den, WV, tabulka č. 10 a také Den, WV a T venku, tabulka č. 11. Tímto zvolením dat jsme zajistili nezávislost hmotnostních koncentrací venku/uvnitř na veličině OS/H.

Druhý výpočet korelací při konstantních Den, WV a T venku jsme provedli z důvodu, že teplota uvnitř je středně silně korelována s teplotou venku (viz tabulka č. 7) a lze tedy předpokládat, že i vnitřní koncentrace budou veličinou T venku přímo ovlivněny. Ve

skutečnosti ale pouze prostřednictvím T uvnitř. Teplota uvnitř je uměle regulována, jak již bylo řečeno dříve, během roku se příliš nemění (kapitola 3.1, graf č. 2) S rostoucí venkovní teplotou roste jen velmi málo a tedy by venkovní teplota neměla hmotnostní koncentrace uvnitř významně ovlivnit. Proto byl proveden výpočet i bez konstantní T venku pro ověření naší domněnky. Odpovědi se nám dostalo také z analýzy fyzikálních faktorů s jednotlivými frakcemi (kapitola 3.3.6), kdy jsme zjistili velmi malou závislost jednotlivých koncentrací na teplotě. Výpočet s T venku konstantní a bez T venku poslouží tedy spíše k ověření konzistence prezentovaného modelu.

Tabulky č. 10 a č. 11 potvrzují, že hmotnostní koncentrace jednotlivých frakcí téměř nezávisí na teplotě. Rozdíly statisticky významných korelačních koeficientů v případech T venku konstantní a bez teploty jsou zanedbatelné.

Je vidět, že jemné venkovní frakce podstatně ovlivňují vnitřní jemné frakce ( $PM_{2,5}$ ) se Spearmanovým koeficientem 0,76. Tato závislost rychle narůstá směrem k jemnějším frakcím, pro stupeň C je Spearmanův koeficient 0,40, pro D 0,53 a pro P je 0,81. Z analýzy vyplývá, že koncentrace hrubých vnitřních frakcí nejsou ovlivněné vnějšími.

Stupeň impaktoru	A out	B out	C out	D out	P out	$PM_{2,5}$ out (B+C+D+P)	HF out (A+B)
A in	0,22	0,14	0,36	0,21	-0,09	0,13	0,16
B in	0,50	0,32	0,10	-0,06	-0,12	0,02	0,49
C in	0,51	0,39	0,40	0,35	0,03	0,31	0,50
D in	0,17	0,18	0,43	0,53	0,37	0,52	0,15
P in	0,11	0,13	0,67	0,54	0,81	0,67	0,14
$PM_{2,5}$ in (B+C+D+P)	0,24	0,24	0,72	0,64	0,73	0,76	0,26
HF in (A+B)	0,31	0,22	0,39	0,15	-0,14	0,12	0,26

Tabulka č. 10: Parciální korelace hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru uvnitř a venku při konstantních Den, WV, n = 24

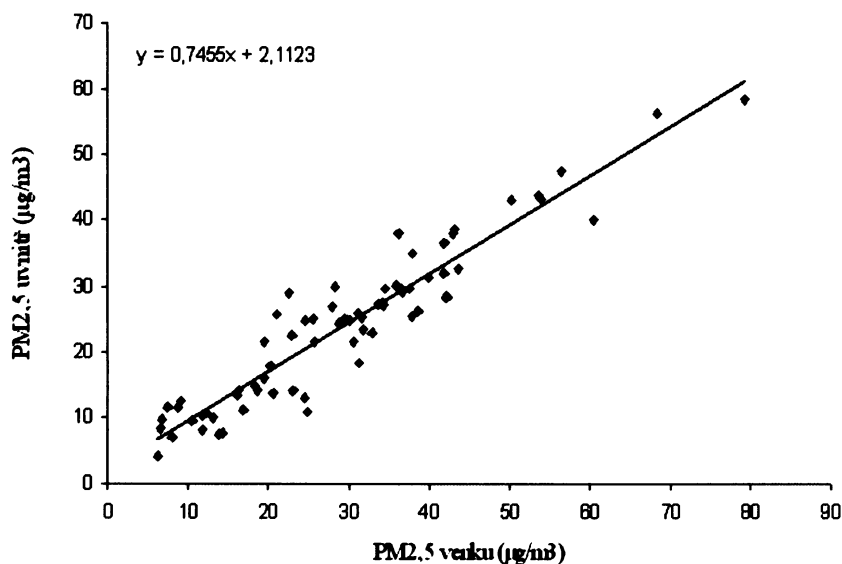
Vysvětlivky: Červeně vyznačené korelace jsou významné na hladině  $\alpha = 0,05$   
Modře vyznačené korelace jsou na hranici významnosti

Stupeň impaktoru	A out	B out	C out	D out	P out	PM <sub>2,5</sub> out (B+C+D+P)	HF out (A+B)
A in	0,20	0,13	0,39	0,22	-0,12	0,13	0,13
B in	0,46	0,32	0,14	-0,05	-0,17	0,01	0,46
C in	0,57	0,39	0,40	0,35	0,04	0,31	0,55
D in	0,19	0,18	0,43	0,53	0,38	0,52	0,16
P in	0,07	0,12	0,71	0,55	0,81	0,67	0,10
PM <sub>2,5</sub> in (B+C+D+P)	0,23	0,24	0,74	0,65	0,74	0,76	0,26
HF in (A+B)	0,34	0,22	0,39	0,15	-0,14	0,12	0,27

Tabulka č. 11: Parciální korelace hmotnostních koncentrací jednotlivých pater impaktoru uvnitř a venku při konstantních Den, WV a T out, n = 24

Vysvětlivky: Červeně vyznačené korelace jsou významné na hladině  $\alpha = 0,05$   
Modře vyznačené korelace jsou na hranici významnosti

Graf č. 7 ukazuje lineární regresi PM<sub>2,5</sub> uvnitř tělocvičny s venkovním prostředím pro všechna naměřená data. Korelační koeficient je 0,94.

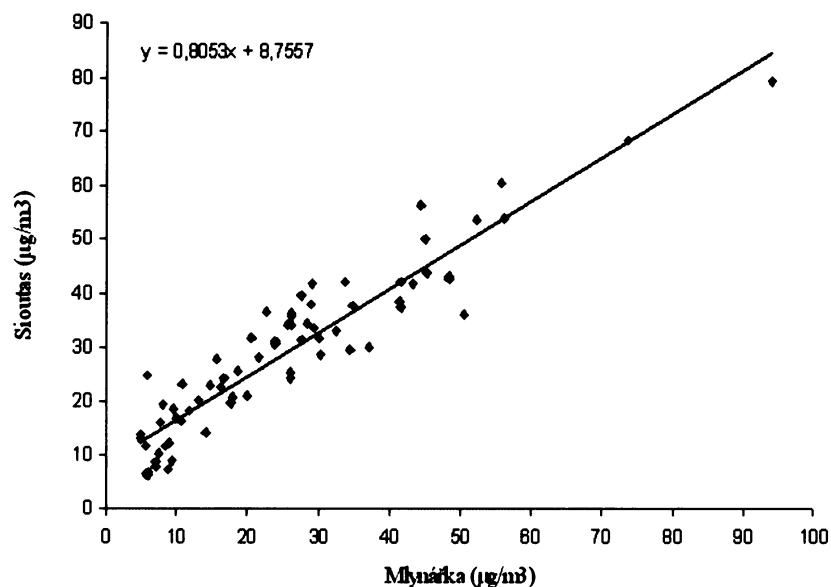


Graf č. 7: Korelace aerosolu PM<sub>2,5</sub> mezi tělocvičnou a venkovním prostředím

### 3.3.3 Korelace hodnot PM<sub>2,5</sub> s údaji z AIM

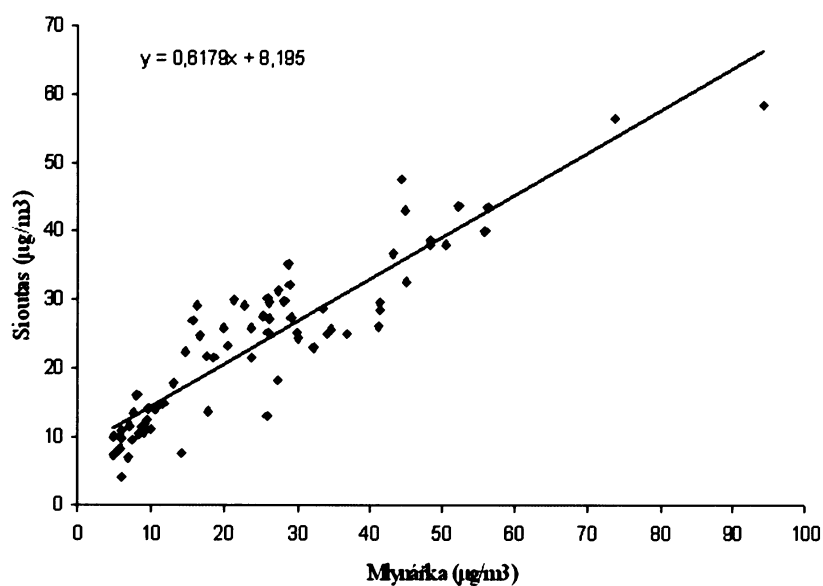
Pro srovnání našeho měření jsme venkovní 24 - hodinové koncentrace PM<sub>2,5</sub> porovnali s údaji převzaté z AIM ze stanice Mlynářka na Praze 5. Ačkoliv je stanice vzdálená 3,3 km od

místa měření, korelace je velmi vysoká. Graf č. 8 znázorňuje lineární regresi mezi kaskádovým impaktorem Siutas a stanicí Mlynářka používající pro stanovení dané frakce metodu  $\beta$  – atenuace. Pearsonův korelační koeficientem pro 70 párů dat je 0,937.



Graf č . 8: Venkovní korelace impaktoru Sioutas s daty z AIM Mlynářka

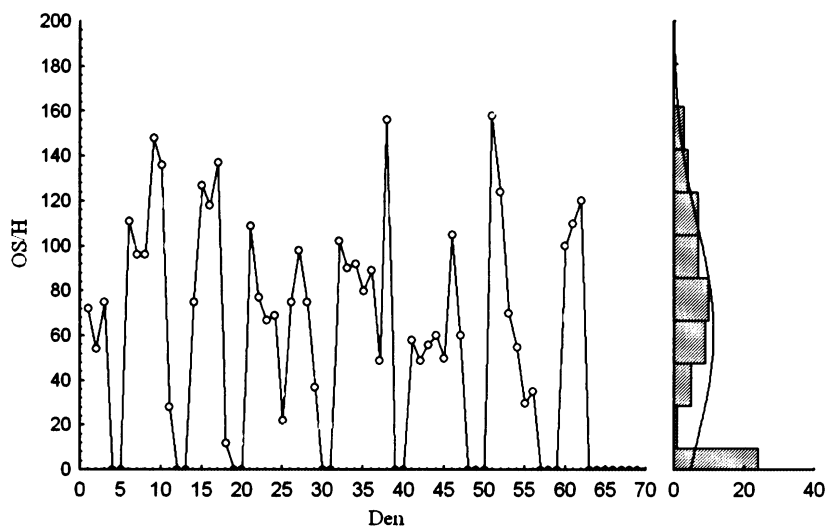
Hodnoty  $PM_{2,5}$  naměřené uvnitř tělocvičny rovněž dobře korelují s údaji z AIM s korelačním koeficientem 0,91, graf č. 9



Graf č . 9: Vnitřní korelace impaktoru Sioutas s daty z AIM Mlynářka

### 3.3.4 Vliv přítomnosti osob

Počet osob se během roku výrazně neměnil. Soubor má normální rozdělení s hodnotou  $82,87 \text{ OS/H} \pm 36,11 \text{ OS/H}$ , graf č. 10.



Graf č. 10: Časový průběh OS/H v tělocvičně s histogramem

Data jsou v tabulkách rozdělena tak, kdy v tělocvičně děti byly a tudíž se zde vykonávala fyzická aktivita, tabulka č. 12, což jsou veškeré všední dny bez dvou pátků (26.5.06 a 23.6.06) a kdy přítomni nebyly, tabulka č. 13. Sem jsou zahrnuté víkendy, dva pátky a období prázdninové kampaně. Přítomnost cvičících má vliv na všechny velikostní frakce v porovnání s volnými dny. Nejvíce je to patrné u stupně A, kde je průměr  $14,77 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 6,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a HF s průměrem  $18,99 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 7,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tabulka č.12, oproti volným dnům – A má průměr  $2,36 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 2,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a HF s průměrem  $4,05 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 2,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tabulka č. 13.

Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	14,77	6,18	14,62	29,03	2,50
B	4,21	1,98	3,98	11,83	1,61
C	3,10	1,57	2,87	8,04	0,76
D	9,80	5,27	8,70	21,60	1,01
P	11,33	6,71	9,86	33,04	2,94
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	27,72	11,66	27,51	58,45	8,32
HF (A+B)	18,99	7,38	18,66	40,85	4,63

Tabulka č. 12: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru ve vnitřním prostředí za přítomnosti osob v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 46

Celkově jsou všechny hodnoty nejnižší pro dny bez přítomnosti osob v tělocvičně, tabulka č. 13.

Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	2,36	2,27	1,40	9,46	0,15
B	1,69	0,94	1,36	4,10	0,45
C	1,33	1,18	0,97	5,21	0,26
D	5,15	3,86	4,20	16,21	1,03
P	8,49	4,23	7,83	17,58	1,55
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	16,67	9,12	14,25	43,11	4,22
HF (A+B)	4,05	2,99	2,76	12,69	0,94

Tabulka č. 13: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru ve vnitřním prostředí bez přítomnosti osob v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 24

Tabulky č. 14 a č. 15 popisují situaci ve venkovním prostředí. Je vidět, že hodnoty jsou vyšší ve všedních dnech, tabulka č. 14, než o víkendech a prázdninách, tabulka č. 15, což je dáno nejspíš tím, že o víkendech a prázdninách je menší automobilový provoz, primární zdroj jemných částic.

Porovnáním dnů bez přítomnosti osob v tělocvičně, tabulka č. 13 a venku, tabulka č. 15, jsme zjistili, že jemné frakce jsou jen nepatrně vyšší ve venkovním prostředí, ale průměrná koncentrace na stupni A je zde více jak dvaapůlkrát vyšší v porovnání s vnitřkem tělocvičny.

Stejný trend jako aritmetický průměr ukazuje i medián, který ve většině případů nabývá trochu nižších hodnot oproti průměru.

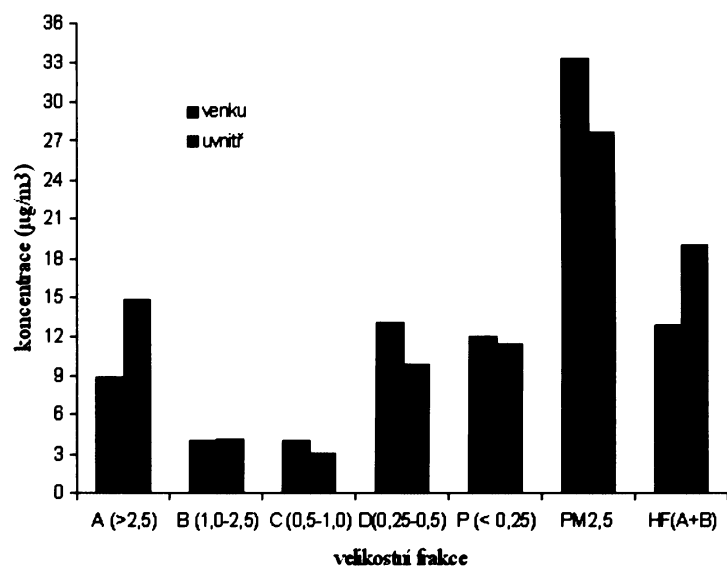
Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	8,88	5,21	7,18	26,55	2,55
B	4,07	1,80	3,93	8,86	1,52
C	4,04	2,56	3,68	13,34	0,38
D	13,07	7,12	14,38	25,67	1,15
P	12,09	8,41	10,45	46,80	3,04
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	33,27	15,97	34,18	79,27	6,53
HF (A+B)	12,95	6,70	10,66	34,81	4,37

Tabulka č. 14: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru ve vnějším prostředí za přítomnosti osob v tělocvičně v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 46

Stupeň imaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	6,15	4,14	5,51	15,70	1,64
B	2,37	1,24	2,04	6,07	0,30
C	1,88	1,30	1,66	5,55	0,08
D	7,92	5,23	7,10	24,76	1,18
P	9,43	3,92	9,41	16,81	3,92
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	21,60	10,09	19,94	50,10	6,29
HF (A+B)	8,52	5,03	7,62	18,60	1,98

Tabulka č. 15: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů imaktoru ve vnějším prostředí bez přítomnosti osob v tělocvičně v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 24

Graf č. 11 ukazuje podíl jednotlivých frakcí aerosolu na jeho celkové hmotnosti uvnitř a venku. Převládá jemná frakce nad hrubou. Je patrné, že přítomnost osob v porovnání s venkovním prostředím nejvíce ovlivňuje patro A a hrubou frakci, nepatrně patro B. Ostatní velikostní frakce jsou i za přítomnosti osob uvnitř tělocvičny vyšší ve venkovním prostředí.



Graf č. 11: Koncentrace aerosolu jednotlivých frakcí v tělocvičně a ve venkovním prostředí

V příloze 1, 2, 3 a 4 jsou znázorněny 24 – hodinové koncentrace jednotlivých frakcí aerosolu v tělocvičně a venku za přítomnosti a nepřítomnosti cvičenců.

### 3.3.5 Poměry frakcí vnitřního a vnějšího prostředí

Pro zhodnocení schopnosti částic pronikat z vnějšího prostředí do vnitřního prostředí se používá I/O poměr. Je-li poměr I/O větší než 1, ukazuje to, že vnitřní prostředí má svůj



vlastní zdroj prašného aerosolu, poměr menší než 1 poukazuje na nepřítomnost vnitřních zdrojů.

V tabulce č. 16 jsou uvedené poměry hmotnostních koncentrací jednotlivých frakcí na příslušných stupních impaktoru z celého souboru dat.

	Stupeň impaktoru						
	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
I/O poměr	1,13	0,93	0,76	0,70	0,94	0,82	1,08

Tabulka č. 16: Medián I/O poměrů hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru, n = 70

Další poměry byly spočteny z dat rozdělených na přítomnost a nepřítomnost cvičících. V tělocvičně při fyzické aktivitě jsou všechny I/O poměry vyšší. Tento jev se nejvíce projevil u patra A s poměrem 2,02. PM<sub>2,5</sub> je ovlivněná průnikem částic z venkovního prostředí, poměr je 0,83, tabulka č. 17.

V době prázdné tělocvičny se poměr u stupně A velmi snížil na 0,32, tabulka č. 18. Toto se předpokládalo, neboť aktivita osob podporuje resuspenzi a tvorbu částic.

	Stupeň imaktoru						
	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
I/O poměr	2,02	1,09	0,80	0,73	0,96	0,83	1,59

Tabulka č. 17: Medián I/O poměrů hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru pro dny s přítomností osob, n = 46

	Stupeň imaktoru						
	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
I/O poměr	0,32	0,73	0,69	0,68	0,88	0,80	0,43

Tabulka č. 18: Medián I/O poměrů hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru pro dny bez přítomnosti osob, n = 24

### 3.3.6 Korelace hmotnostních koncentrací aerosolu s fyzikálními faktory

Následující korelace byly spočítány ze všech naměřených dat se Spearmanovými korelačními koeficienty.

- **Korelace ve venkovním prostředí**

Korelace s teplotou při konstantní RH, WV, Den byla statisticky významná jen s frakcí na stupni A se Spearmanový korelačním koeficientem 0,33 a hrubou frakcí s koeficientem 0,30. S frakcí patra D je na hranici významnosti, -0,23, avšak oproti předchozím je záporná. Prokázalo se, že na ostatní frakce nemá vliv.

Relativní vlhkost snižuje hrubé frakce a to frakci A, B a HF, se Spearmanovými korelačními koeficienty -0,43, -0,43 a -0,45 v tomto pořadí. Na hranici významnost je frakce na stupni P.

Vítr ovlivňuje všechny frakce, všechny snižuje, tudíž vycházejí záporné Spearmanovy korelační koeficienty. Působí stejně jak na hrubé (-0,67) tak jemné (-0,67) frakce, tabulka č. 19.

Faktor	Stupeň imaktoru						
	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
T	0,33	0,18	-0,05	-0,23	0,17	-0,06	0,30
RH	-0,43	-0,43	0,13	-0,07	-0,23	-0,21	-0,45
WV	-0,68	-0,55	-0,58	-0,58	-0,50	-0,67	-0,67

Tabulka č. 19: Parciální korelace hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů imaktoru s fyzikálními faktory ve venkovním prostředí, n = 70

Vysvětlivky: Červeně vyznačené korelace jsou významné na hladině  $\alpha = 0,05$

Modře vyznačené korelace jsou na hranici významnosti

Nejvýznamnější činitele ovlivňující hmotnostní koncentrace aerosolu jednotlivých stupňů jsou vítr, relativní vlhkost a teplota v tomto pořadí.

- **Korelace ve vnitřním prostředí tělocvičny**

Do vnitřního prostředí jsme rovněž zahrnuli působení větru. Parciální korelace jednotlivých frakcí měřených uvnitř s teplotou přitom vychází při konstantní RH, OS/H, Den kladná, což je v rozporu s tím, že venku jsou parciální korelace frakcí s teplotou nevýznamné a teplota venku se mění hodně, zatímco uvnitř velmi málo. Tento paradox se odstraní tím,

pokud budeme uvažovat, že jednotlivé koncentrace uvnitř závisí také na větru, jako je větrání, průvan a podobně. Po této aplikaci vychází i parciální korelace jednotlivých frakcí s teplotou uvnitř tělocvičny většinou jako nevýznamné.

Vnitřní teplota dle očekávání neovlivňuje hrubé frakce ale pouze jemné a to na stupni D se Spearmanovým koeficientem 0,35 a frakci PM<sub>2,5</sub> s koeficientem 0,33. Frakce stupně P je na hranici významnosti.

Relativní vlhkost má vliv pouze na frakci D, která je na hranici významnosti se Spearmanovým koeficientem -0,24.

Vítr ovlivňuje všechny frakce, působí více na jemné, Spearmanův koeficient u PM<sub>2,5</sub> vychází -0,62.

Na hmotnostní koncentrace na stupních A, B, C a frakci HF nejméně působí přítomnost osob (OS/H) provozující fyzickou aktivitu. Velmi významně ovlivňují HF se Spearmanovým koeficientem 0,73 a hmotnostní koncentrace aerosolu na stupních impaktoru A, B a také C. Spearmanův koeficient je nižší pro PM<sub>2,5</sub>, 0,26, což splňuje předpoklad, jelikož hrubé frakce snáze podléhají resuspenzi, tabulka č. 20.

Faktor	Stupeň imaktoru						
	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
T	0,01	0,21	0,17	0,35	0,22	0,33	0,03
RH	-0,08	0,03	-0,05	-0,24	0,08	-0,11	-0,07
OS/H	0,73	0,55	0,35	0,21	-0,18	0,26	0,73
WV	-0,26	-0,35	-0,24	-0,49	-0,54	-0,62	-0,31

Tabulka č. 20: Parciální korelace hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru s fyzikálními faktory v tělocvičně, n = 70

Vysvětlivky: Červeně vyznačené korelace jsou významné na hladině  $\alpha = 0,05$

Modře vyznačené korelace jsou na hranici významnosti

Pro vnitřní prostředí jsou pak nejméně významnější činitelé osoby, vítr, teplota. Relativní vlhkost je nevýznamná.

### 3.4 Vliv faktorů léto/zima

Následující analýza se týká šetření vlivů faktorů léto/zima, uvnitř/venku na průměrné hodnoty hmotnostních koncentrací pro jednotlivé frakce.

Data jsme rozdělili na dva soubory, léto a zimu a tyto pak na data naměřená uvnitř tělocvičny a venku. Brali jsme v úvahu dny, kdy děti byly v tělocvičně přítomny a k nim paralelně údaje z venku. Období léto jsme uvažovali od kampaně V, 19.4. – 27.7. 06 až po kampaň VII, 20.6. – 28.2. 06 . Zimu jsme uvažovali od kampaně I, 30.11. 06 – 6.12. 06 po kampaň IV, 14.3. 06 – 23.3. 06.

K analýze jsme použili logaritmicky transformovaná data a dvoufaktorovou ANOVU na jednotlivé frakce. K vyhodnocení významnosti jednotlivých faktorů jsme použili Tukeyův test mnohonásobného porovnávání.

1. faktor je roční období, má úroveň léto/zima
2. faktor je lokace s úrovněmi uvnitř/venku

Z této analýzy vyplývá, že hrubé frakce nejsou ovlivněné ročním obdobím, zatímco jemné frakce ano. Jak se dalo očekávat, u frakce patra A je významné i prostředí, tabulka č. 21.

Stupeň impaktoru	Faktory	Statisticky významné na hladině $\alpha = 0,05$
A	léto/zima	NE
	uvnitř/venku	ANO
B	léto/zima	NE
	uvnitř/venku	NE
C	léto/zima	ANO
	uvnitř/venku	NE
D	léto/zima	ANO
	uvnitř/venku	ANO
P	léto/zima	ANO
	uvnitř/venku	NE

Tabulka č. 21: Vliv faktorů léto/zima , uvnitř/venku na hmotnostní koncentrace jednotlivých stupňů impaktoru

Z průměrných hmotnostních koncentrací pro  $PM_{2,5}$  je patrný propad letních jemných frakcí oproti zimním a to pro všechny brané soubory dat dělených na uvnitř vs. venku a přítomnost vs. nepřítomnost cvičících, tabulka č. 22.

Faktor	Uvnitř	Venku
Zima přítomni	32,94 ± 10,64	40,41 ± 14,58
Zima nepřítomni	21,51 ± 11,02	30,06 ± 11,00
Léto přítomni	20,31 ± 8,80	23,13 ± 12,08
Léto nepřítomni	14,26 ± 7,27	17,37 ± 6,50

Tabulka č. 22: Průměrné koncentrace PM<sub>2,5</sub> a směrodatné odchylky v zimě a létě ve vnitřním a vnějším prostředí, v µg/m<sup>3</sup>

Korelační analýzou bylo zjištěno, že ve venkovním prostředí v zimním období teplota snižovala koncentraci aerosolu PM<sub>2,5</sub>, hodnota korelačního koeficientu je -0,51, naopak v letním období koncentrace rostla se stoupající teplotou, korelační koeficient dosahuje hodnoty 0,35. Ve vnitřním prostředí tělocvičny významná korelace mezi teplotou a PM<sub>2,5</sub> byla nalezena jen v létě s korelačním koeficientem 0,42.

### 3.5 Porovnání tělocvičen

V době od 26.11. 2007 – 3.12. 2007 proběhla kampaň IX současně v tělocvičnách základní školy Brána jazyků v Praze 1 a základní školy Petřiny – sever na Praze 6. Zajímalo nás, zda se vyskytnou nějaké podstatné rozdíly v hmotnostních koncentracích jednotlivých frakcí ve vnitřním a vnějším ovzduší, jelikož každá škola má odlišnou polohu.

Předpokládalo se, že v tělocvičně Petřiny – sever na Praze 6 budou koncentrace nižší, neboť je umístěna dál od frekventované silnice ve srovnání se školou Brána jazyků v Praze 1, která se nachází v centru města v bezprostřední blízkosti komunikací. Výrazné rozdíly se však neprokázaly, což může být způsobeno malým počtem dat, měření probíhalo 8 dnů.

Větší rozdíl byl pozorován ve frakci stupně A. V tělocvičně Brána jazyků byl průměr pro tuto frakci 15,29 µg/m<sup>3</sup> ± 9,88 µg/m<sup>3</sup>, tabulka č. 23 a pro Petřiny – sever byl průměr 11,34 µg/m<sup>3</sup> ± 10,08 µg/m<sup>3</sup> tabulka č. 24. Vysoké směrodatné odchylky a vzdálenost maxim a minim jsou v důsledku zahrnutí do dat i víkend, to je, kdy byla tělocvična prázdná. Další trochu znatelnější rozdíl můžeme pozorovat u patra B. Celkový pohled na hrubou frakci a PM<sub>2,5</sub> ukazuje prakticky zanedbatelné rozdíly, obě hodnoty jsou nepatrně zvýšené v tělocvičně Petřiny – sever.

Pohled na „osobohodiny“ v tělocvičnách ukazuje, že vyšší počet cvičenců byl v Petřinách – sever a to v průměru o 14.

Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	15,29	9,88	14,87	29,11	2,04
B	2,73	1,42	3,01	5,12	0,77
C	1,92	0,93	1,65	3,62	0,73
D	3,97	4,28	2,00	11,17	0,20
P	6,13	2,76	4,91	11,93	3,84
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	14,75	7,58	11,48	25,82	6,83
HF (A+B)	18,02	10,90	17,01	34,23	4,17

Tabulka č. 23: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru v tělocvičně Brána jazyků, Praha 1, v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 8

Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	11,34	10,08	10,32	26,40	0,12
B	4,92	3,37	5,56	8,60	0,50
C	1,62	1,35	0,94	3,68	0,39
D	2,48	1,49	2,26	5,20	0,59
P	6,10	3,14	5,22	11,53	2,91
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	15,11	6,45	16,27	24,34	6,38
HF (A+B)	19,05	18,27	14,07	56,59	0,62

Tabulka č. 24: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru v tělocvičně Petřiny - sever, Praha 6, v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 8

Venkovní koncentraci se ukázaly vyšší v oblasti školy Brána jazyků na Praze 1 u všech velikostních frakcí v porovnání s venkovním ovzduším školy Petřiny – sever v Praze 6, tabulka č. 25 a č. 26.

Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	4,21	1,81	4,02	7,29	2,26
B	2,08	1,41	1,20	4,56	1,00
C	2,04	1,90	1,34	6,22	0,36
D	5,71	4,84	5,27	12,84	0,59
P	9,18	6,02	8,13	21,53	2,36
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	19,42	13,93	17,77	44,43	4,82
HF (A+B)	6,29	3,11	5,51	11,86	3,37

Tabulka č. 25: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru ve vnějším ovzduší základní školy Brána jazyků, Praha 1, v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 8

Stupeň impaktoru	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	medián	maximum	minimum
A	2,53	1,84	2,02	6,66	0,48
B	1,35	0,91	0,97	3,15	0,56
C	1,53	1,20	1,02	3,71	0,56
D	5,50	5,62	3,34	15,66	1,01
P	4,90	3,19	4,41	10,18	1,78
PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	13,29	10,69	8,81	31,58	4,00
HF (A+B)	3,88	2,36	3,25	8,88	1,04

Tabulka č. 26: Charakteristika hmotnostních koncentrací stupňů impaktoru ve vnějším ovzduší základní školy Petřiny - sever, Praha 6, v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 8

Porovnání poměrů I/O ukazuje, že v tělocvičně Petřiny – sever musí být výraznější zdroj hrubého aerosolu, tedy pro frakce na stupních A a B, příčina je pravděpodobně ve vyšším počtu cvičících. U jemné frakce jsou poměry vyšší u frakce PM<sub>2,5</sub> a frakce na stupni P, tabulka č. 27 a č. 28.

	Stupeň impaktoru						
	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
I/O poměr	3,73	1,15	1,16	0,47	0,69	0,81	2,92

Tabulka č. 27: Medián I/O poměrů hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru v tělocvičně Brána jazyků, Praha 1, v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 8

	Stupeň impaktoru						
	A	B	C	D	P	PM <sub>2,5</sub> (B+C+D+P)	HF (A+B)
I/O poměr	5,24	2,17	0,87	0,43	1,21	1,00	3,44

Tabulka č. 28: Medián I/O poměrů hmotnostních koncentrací jednotlivých stupňů impaktoru v tělocvičně Petřiny – sever v Praze 6, v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 8

## 4 DISKUZE

Měření koncentrací aerosolu v pěti velikostních frakcích kaskádovým impaktorem Sioutas v tělocvičně základní školy v Praze 1 bylo v této práci prováděno téměř rok, mezi listopadem 2005 a srpnem 2006. Většina studií, které byly zaměřeny na měření koncentrací aerosolu ve třídách sledovaly obvykle pouze jednu velikostní frakci, nejčastěji PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, případně PM<sub>1</sub>, údaje byly získány až na výjimky odlišnou měřicí metodou než v naší práci a také jich převážná většina trvala daleko kratší dobu (Braniš et al., 2004, Fromme et al., 2007, Liu et al., 2003, Ekmekcioglu et al., 2006, Diapouli et al., 2007, Roorda-Knappe et al., 1998, Lee et al., 2000, Korenstein et al., 2002, Na et al., 2004, Janssen et al., 1997, Janssen et al., 2001, Poupard et al., 2005).

Průměrná koncentrace aerosolu PM<sub>2,5</sub>, získána sečtením hmotnostních koncentrací na stupních B C, D a P, za celé sledované období byla nejvyšší ve venkovním prostředí na dvoře školy s hodnotou 29,27 µg/m<sup>3</sup> ± 15,21 µg/m<sup>3</sup>. Ve vnitřním prostředí tělocvičny byla koncentrace nejnižší, 23,93 µg/m<sup>3</sup> ± 12,01 µg/m<sup>3</sup>. Na stanici AIM Mlynářka byla 25,47 µg/m<sup>3</sup> ± 17,70 µg/m<sup>3</sup>. Koncentrace aerosolu na jednotlivých stupních impaktoru jsou kromě stupně A a hrubé frakce (A+B) vyšší ve venkovním prostředí na dvoře školy.

Pro dny s přítomností cvičících v tělocvičně byla průměrná koncentrace PM<sub>2,5</sub> 27,72 µg/m<sup>3</sup> ± 11,66 µg/m<sup>3</sup> s odpovídající venkovní koncentrací 33,27 µg/m<sup>3</sup> ± 15,97 µg/m<sup>3</sup>. Přítomnost cvičenců se projevila zejména u stupně A, kdy se v porovnání s volnými dny koncentrace na tomto stupni zvýšila více než šestkrát, z 2,36 µg/m<sup>3</sup> ± 2,27 µg/m<sup>3</sup> na 14,77 µg/m<sup>3</sup> ± 6,18 µg/m<sup>3</sup> a dále u hrubé frakce, kdy koncentrace oproti volným dnům vzrostla téměř pětkrát, z 4,05 µg/m<sup>3</sup> ± 2,99 µg/m<sup>3</sup> na 18,99 µg/m<sup>3</sup> ± 7,38 µg/m<sup>3</sup>.

Porovnáním jednotlivých stupňů impaktoru bylo zjištěno, že na celkové hmotnosti aerosolu se nejvíce podílejí jemné frakce na stupni D a P, tedy aerosol PM<sub>0,5</sub>. Uvnitř tělocvičny se nejjemnější velikostní frakce pod 0,25 mikrometrů odpovídající stupni P, která je zároveň nejtoxičtější, neboť proniká nejhluběji do plic a tím se zvyšuje nárůst respiračních onemocnění, chronické bronchitidy, alergií, astmatu atd. (Pope et al., 2006) a nepříznivě působí na kardiovaskulární sousatvu (Rundell et al., 2007), na koncentraci aerosolu PM<sub>2,5</sub>, která dosahuje průměrné hodnoty 27,72 µg/m<sup>3</sup> ± 11,66 µg/m<sup>3</sup>, podílí největší měrou, téměř 41 %, s průměrem koncentrace 11,33 µg/m<sup>3</sup> ± 6,71 µg/m<sup>3</sup>.



Významný podíl na celkové hmotnosti aerosolu  $PM_{10}$  má i hrubá frakce stupně A, což poukazuje na to, že také resuspenze přispívá k hmotnosti aerosolu velkou měrou. O významu resuspenze již dříve usazených částic a tvorby částic plynoucích z aktivity osob se zmiňují také Poupard et al. (2005).

Pro porovnání 24 - hodinových koncentrací  $PM_{2,5}$  získaných impaktorem Sioutas byly použity údaje ze stanice AIM Mlynářka na Praze 5. I přes to, že stanice je od místa měření vzdálená 3,3 km, je zde velká shoda s oběma měřicími metodami. Korelační koeficient mezi údaji z dvoru školy a stanicí AIM pro 70 párů dat je až pozoruhodně vysoký a to 0,937. Mezi vnitřním prostředím tělocvičny a stanicí AIM byl zjištěn korelační koeficient 0,91. Vysoký korelační koeficient 0,94 byl rovněž zjištěn mezi tělocvičnou a dvorem školy. To naznačuje, že venkovní koncentrace této velikostní frakce výrazně ovlivňují vnitřní prostředí tělocvičny a ukazuje to, že tyto částice mají výrazný společný zdroj, kterým je pravděpodobně automobilová doprava, jakožto významný původce jemných částic.

Rovnice regresní přímky naznačuje dobrou srovnatelnost mezi oběma metodami. Směrnice regresní přímky je 0,81 a poměr mezi AIM a Sioutas je za celé sledované období 0,83. Impaktor Sioutas tedy oproti AIM Mlynářka nadhodnocuje přibližně o 16 %. Toto se může vysvětlit rozdílnou polohou mezi oběma místy či systematickou chybou impaktoru Sioutas, nebo působením obou faktorů.

Korelační analýza mezi hmotnostními koncentracemi aerosolu jednotlivých pater pro venkovní a vnitřní prostředí zvláště ukázala, že sousední stupně impaktoru spolu dobře korelují, přičemž vyšší Spearmanovi korelační koeficienty byly zjištěny pro venkovní prostředí. Nejvyšší korelační koeficient pro venkovní ovzduší byl nalezen mezi stupněm A a hrubou frakcí (A+B) s hodnotou 0,96. Uvnitř tělocvičny hodnota koeficientu byla prakticky totožná, 0,97. Těsná korelace byla také zjištěna mezi  $PM_{2,5}$  a stupni D a P pro obě prostředí, přičemž oba koeficienty jsou trochu vyšší v prostředí školního dvora.

Pro korelaci hmotnostních koncentrací jednotlivých velikostních frakcí uvnitř tělocvičny s venkovním prostředím jsme vycházeli z dat, kdy děti v tělocvičně nebyly přítomné k zajištění nezávislosti hmotnostních koncentrací na veličině OS/H. Nejtěsnější korelace byla nalezena u stupně P se Spearmanovým korelačním koeficientem 0,81, což potvrzuje předpoklad velkého ovlivnění vnitřních jemných frakcí venkovními. U stupňů A a B nebyla prokázána závislost, tudíž by koncentrace hrubých frakcí neměly být ovlivňované venkovními.

Pronikání částic různých velikostí z venkovního prostředí do vnitřního popisuje poměr koncentrací aerosolu uvnitř a venku (I/O poměr). Poměr větší než jedna dokládá přítomnost vlastního zdroje aerosolových částic. Pro dny bez přítomnosti osob v tělocvičně je poměr pro

všechny velikostní frakcí, jak hrubých tak jemných, menší než jedna. U stupně P je tento poměr nejvyšší, s hodnotou 0,88, což naznačuje vliv nějakého vnitřního zdroje. Jelikož poměry byli počítány z celého roku, můžeme toto přisoudit topení během zimního období. Ve všedních dnech hodnoty poměrů všech hmotnostních koncentrací aerosolu vzrostly. Nejvyšší nárůst je pozorován pro stupně A a B, kde hodnota poměru přesáhla 1 a to 2,02 a 1,09 v tomto pořadí. Toto zvýšení je s největší pravděpodobností způsobeno přítomností cvičenců v tělocvičně. U jemných frakcí byly nalezeny jen malé rozdíly poměrů koncentrací uvnitř a venku mezi dny s přítomností a bez přítomnosti cvičenců, což opět poukazuje na to, že zdroj jemných částic je převážně ve venkovním prostředí

Po celou dobu měření byly sledovány i meteorologické údaje. Nejvyšší korelace byla nalezena mezi venkovní teplotou a relativní vlhkostí v tělocvičně s korelačním koeficientem 0,90. Významná korelace byla zjištěna mezi teplotou uvnitř tělocvičny a větrem s Pearsonovým korelačním koeficientem -0,39, korelace větru a venkovní teploty prokázána nebyla. Středně silná korelace byla nalezena mezi vnitřní a venkovní teplotou s koeficientem 0,44. Pro venkovní ovzduší mezi teplotou a relativní vlhkostí byl zjištěn korelační koeficient -0,28, naopak uvnitř tělocvičny mezi stejnými faktory byl kladný korelační koeficient na hranici významnosti 0,24.

Z hlediska ovlivnění jednotlivých velikostních frakcí aerosolu fyzikálními faktory se ve venkovním prostředí nejvýznamněji uplatňuje rychlost větru. Z našich výsledků vyplývá, že vítr snižuje všechny koncentrace aerosolu na jednotlivých stupních impaktoru. Pro hrubé frakce a  $PM_{2,5}$  byl nalezen shodný Spearmanův korelační koeficient -0,67. Druhý nejvýznamnější činitel byla relativní vlhkost vzduchu, která snižuje frakce stupňů A, B. Na ostatní vliv nemá, pouze se stupněm P je na hranici významnosti. Nejmenší vliv prokázala teplota, která vykázala kladný korelační koeficient pouze se stupněm A.

Uvnitř tělocvičny se jako nejsilnější faktor ukázal vliv přítomnosti cvičenců. Mezi ukazatelem „osobohodin“ a stupněm A byla nalezen nejvyšší korelační koeficient s hodnotou 0,73. Mezi OS/H a stupněm B byl zjištěn rovněž vysoký korelační koeficient 0,55. To potvrzuje již zmíněný předpoklad, že na rozdíl od jemných částic, které z velké části pronikají do vnitřního prostředí z venku, mají hrubé částice svůj zdroj uvnitř. Tímto zdrojem je resuspenze a tvorba částic způsobená pohybem osob v tělocvičně, manipulace s nářadím, údery míčů o stěny a podobně. Domněnka byla potvrzena korelační analýzou mezi jednotlivými frakcemi venkovního prostředí s vnitřními. Jemné frakce vykázaly vysokou korelaci, naopak u hrubých korelace prokázána nebyla. Další faktor ovlivňující koncentrace aerosolu na jednotlivých stupních impaktoru je vítr, který všechny frakce snižuje. Výraznější

projev je u jemných částic na stupních D a P. Teplota v tělocvičně neovlivňuje hrubší frakce, ale jemné náležící stupni D, oproti venkovnímu prostředí Spearmanův korelační koeficient nabývá kladných hodnot 0,35 a na hranici významnosti je stupeň P. Relativní vlhkost byla pro všechny frakce vyhodnocena jako nevýznamná.

Po rozdělení souboru na zimu a léto z analýzy vyplynulo, že hrubé frakce A a B nejsou ovlivněné ročním obdobím, jemné frakce ano. U frakce na stupni A je významné také prostředí, což se předpokládala vzhledem k vysoké resuspenzi aerosolu v tělocvičně díky přítomnosti cvičenců. Byl zjištěn propad letních jemných frakcí oproti zimním. V tělocvičně koncentrace aerosolu PM<sub>2,5</sub> v zimním období byla  $32,94 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 10,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ve venkovním prostředí  $40,41 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 14,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V létě byly koncentrace uvnitř a venku nižší,  $20,31 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 8,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $23,13 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 12,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$  v tomto pořadí. Venku koncentrace PM<sub>2,5</sub> v zimě s rostoucí teplotou klesala, v letním období koncentrace rostla se stoupající teplotou. Uvnitř se vliv teploty projevil pouze v letním období. To se může vysvětlit tím, že v zimě je nízká teplota vhodným faktorem pro formaci aerosolu i pro dobu jeho setrvání v atmosféře. V létě je vysoká teplota vhodným faktorem pro tvorbu oxidativního smogu, jehož jsou částice významnou součástí (Hinds, 1999).

Jedna kampaň byla provedená pro srovnání současně ve dvou tělocvičnách. Tělocvičny byly různého umístění, na základní škole Petřiny – sever v Praze 6 dále od centra a základní škole Brána jazyků na Praze 1 v centru města. Bylo zjištěno, že v tělocvičně se koncentrace jednotlivých velikostních frakcí minimálně odlišují, hrubá i jemná frakce je nepatrně zvýšená v tělocvičně Petřiny – sever. Venku jsou všechny koncentrace vyšší v okolí školy Brána jazyků. To se může vysvětlit centrální polohou školy, kde je větší automobilový provoz a tedy zdroj jemné frakce a pracovními činnostmi, které přispívají k tvorbě hrubého aerosolu. Z mediánů I/O poměrů vyplynulo, že poměry frakcí stupně A, B a P jsou vyšší v tělocvičně Petřiny – sever. Medián poměru PM<sub>2,5</sub> zde dosáhl hodnoty 1. Medián poměru hmotnostní koncentrace na stupni C v tělocvičně Brána jazyků byl 1,16 oproti tělocvičně Petřiny – sever, kde hodnota byla 0,87. Vyšší poměr hrubé frakce v tělocvičně Petřiny – sever může být vysvětlen větším počtem cvičenců. Předpoklad, že jemné frakce budou vyšší v tělocvičně Brána jazyků díky centrální poloze se nepotvrdil.

## 4.1 Porovnání výsledků

Ward et al. (2007) prováděli měření koncentrací aerosolu stejnou technikou jako v naší práci kaskádovým impaktorem Sioutas, v Montaně, v Libby. Měření probíhalo ve dvou školách, na základní a střední, od ledna do března roku 2005. Studie byla pouze popisná, sloužila k zhodnocení vlivu topení dřevem na vnitřní koncentrace aerosolu.

Vnitřní odběr PM frakcí v obou školách probíhal jednou týdně, po dobu kampaně bylo provedeno 9 měření. Výsledky s našimi závěry nejsou srovnatelné, jelikož zde nebyl hodnocen vliv přítomnosti osob a dále jejich naměřená jemná frakce vykazuje zkreslené hodnoty, neboť do této frakce nebyl započítán stupeň P.

Braniš et. al (2005) uskutečnili měření 12ti hodinových hmotnostních koncentrací PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub> v univerzitní posluchárně třemi Harvard impaktory. Venku byla měřena koncentrace aerosolu PM<sub>10</sub>. Průměrná denní 12ti hodinová koncentrace v posluchárně pro PM<sub>2,5</sub> byla 21,9 μg/m<sup>3</sup> a pro PM<sub>1</sub> 13,7 μg/m<sup>3</sup>, to jsou koncentrace o něco nižší než odpovídá našemu měření. Nalezli statisticky významnou korelaci (r = 0,68) mezi počtem studentů a hrubou frakcí (PM<sub>10-2,5</sub>) uvnitř posluchárny, což se shoduje s naším korelačním koeficientem mezi „osobohodinami“ a stupněm A v tělocvičně (r = 0,73). To dokazuje, že přítomnost osob je důležitý zdroj hrubých částic ve vnitřním prostředí.

S výjimkou hrubé frakce zjistili, že všechny vnitřní frakce negativně korelují s rychlostí větru. V naší práci byla prokázána vysoká záporná korelace i s hrubou frakcí. Rovněž našli kladnou korelaci mezi relativní vlhkostí uvnitř a venku a PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub> na rozdíl od našich výsledků, kdy korelace byla záporná a statisticky nevýznamná.

V Aténách na sedmi základních školách v různých prostředích, mezi nimiž byla i tělocvična, bylo provedeno simultánní měření vnitřních a venkovních koncentrací PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> pomocí Harvard impaktoru a přístroje DustTrak (Diapouli et al., 2007). Průměrné vnitřní koncentrace PM<sub>2,5</sub> se pohybovaly mezi 22,06 μg/m<sup>3</sup> a 198,58 μg/m<sup>3</sup>, průměr 82,65 μg/m<sup>3</sup>. Koncentrace jsou vyšší než v naší práci, neboť měření probíhalo i v učitelských kabinetech, kde se kouřilo a kouření je významným zdrojem jemných částic. Venkovní koncentrace se pohybovaly mezi 23,32 μg/m<sup>3</sup> a 99,00 μg/m<sup>3</sup> s průměrem 56,25 μg/m<sup>3</sup>. Studie v Aténách probíhala v zimě, v porovnání s naší průměrnou zimní koncentrací je aténská vyšší.

Práce z Athén hovoří o jasném vztahu mezi PM<sub>2,5</sub> a množstvím lidí v tělocvičně a třídách, který byl vypořádan z denního průběhu koncentrací. U nás je tento vztah patrný hlavně pro

hrubý aerosol ( $r = 0,73$ ).  $PM_{2,5}$  uvnitř tělocvičny s „osobohodinami“ tak výrazně nekoreluje ( $r = 0,26$ ).

I/O poměr pro  $PM_{2,5}$  v tělocvičně a třídách přesáhl 1, námi zjištěný medián poměru byl 0,83.

Ekmekcioglu a Keskin (2006) stanovili hmotnostní koncentrace  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  a jejich prvkové složení na pěti základních školách v Turecku, Istanbulu. Pro odběr vzorků byl použit impaktor (Airmetrics Minivol) a hmotnostní koncentrace byly stanoveny gravimetricky. Denní vzorky byly odebírány mezi 10 – 18 hodinou. Průměrná koncentrace  $PM_{2,5}$  byla  $70,9 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tedy mnohem vyšší než ukázaly naše výsledky a  $PM_{10}$   $221,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 11,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vysledovali, že jemné frakce mají svůj hlavní zdroj v automobilové dopravě a také vysoký počet studentů a nedostatečná údržba podlahových krytin může k tomuto přispívat. Poměry denních a víkendových  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  koncentrací naznačily, že pravděpodobný zdroj hrubých částic ve vnitřním prostředí je resuspenze v důsledku aktivity studentů, což je v souladu s výsledky naší práci. Výsledky z istanbulských škol ukázaly, že jsou-li situované v blízkosti velkého dopravního zatížení mají vnitřní koncentrace  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  vyšší než příslušné limity WHO. U nás se překročení limitu událo v 50% dní.

Lee a Chang (2000) sledovali kvalitu vnitřního ovzduší v pěti třídách různých škol v Hong Kongu se současným měřením venkovních koncentrací. Sledovanou škodlivinou byla frakce prašného aerosolu  $PM_{10}$  pomocí přístroje Dust Trak (TSI). Automobilové emise ( $PM_{2,5}$ ) byly hlavní příčinou vysokých koncentrací a průnik částic ovlivňoval vnitřní koncentrace, stejně jak to naznačily výsledky naší práci. Porovnáním škol se ukázalo, že třídy vybavené klimatizačním zařízením vykazují nižší vnitřní koncentrace než třídy bez klimatizace.

Autoři Fromme et al. (2007) hodnotili vnitřní prostředí škol v Mnichově. V zimním období výzkum probíhla v 92 třídách, na jaře v 75 třídách. Aerosol  $PM_{2,5}$  byl stanoven za pomoci impaktoru gravimetricky,  $PM_{10}$  a rovněž  $PM_{2,5}$  byl měřen také kontinuálně laserovým spektrometrem (LAS). Průměrná koncentrace  $PM_{2,5}$  (získaná gravimetricky) v zimě ( $38,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) byla vyšší než na jaře ( $22,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Naše výsledky rovněž ukázaly propad letních frakcí ( $20,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oproti zimním ( $32,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Počet žáků kladně koreloval s  $PM_{10}$ , s  $PM_{2,5}$  nikoliv. To poukazuje na resuspenzi větších částic z povrchu místnosti

v důsledku fyzické aktivity žáků, koncentrace se snižovaly, když žáci přítomni nebyli, to je v souladu s našim měřením.

Diapouli et al. (2007) měřili vnitřní a vnější koncentrace ultrajemných částic v sedmi aténských základních školách přístrojem CPC (Condensation Particle Counter). Nejvyšší venkovní koncentrace byla nalezeny kolem dvou škol s největším dopravním zatížením. I/O poměr koncentrací byl ve všech místech nižší než 1, což je v souladu s našimi výsledky pro jemné frakce. Vnitřní koncentrace ve školách projevily svou proměnlivost během školního dne pouze, když zde byly významné změny v obývaní, což byl případ tělocvičny, počítačové laboratoře a knihovny. U nás se tento jev ukázal významný především pro hrubé částice.

Denní změny vnitřních koncentrací v sídlech sledovaly příslušné venkovní koncentrace a tím bylo naznačeno, že hlavní příspěvek vnitřních koncentrací ultrajemných částic je venkovní prostředí, to je v souladu s našimi výsledky.

Další studie provedená kaskádovým impaktorem Sioutas byla realizována na Ústavu pro životní prostředí. Gadas (2006) ve své diplomové práci hodnotil koncentrace  $PM_{2,5}$  ve studentském klubu a baru Mrtvá Ryba v Praze 2. K měření použil tři techniky, mezi nimiž také impaktor Sioutas. Jelikož měření probíhalo ve vnitřním prostředí s jiným charakterem, koncentrace se výrazně odlišují, rozdíl je obrovský u frakcí na stupni B, C, D a P. Velmi vysoké hodnoty u těchto stupňů v porovnání s našimi výsledky jsou způsobeny vlivem kouření, jakožto silný zdroj jemných a ultrajemných částic. Koncentrace hrubých částic, stupeň A, je v tělocvičně naopak o něco vyšší, neboť v tělocvičně je oproti baru větší pohyb a různá aktivita osob a tím také silnější resuspenze a tvorba částic. Gadas zjistil poměr I/O koncentrací u stupně A s hodnotou 1,20, námi zjištěný I/O poměr byl 2,02. Jako názorný příklad rozdílnosti koncentrací poslouží tabulka č. 29.

Prostředí	Stupeň impaktoru				
	A	B	C	D	P
Tělocvična	9,74	3,08	1,39	4,36	5,29
Bar	8,3	73,3	70	67,5	55,5

Tabulka č. 29: Ukázka 24 - hodinové koncentrace jednotlivých velikostních frakcí impaktoru v tělocvičně Brána jazyků a v baru Mrtvá ryba, v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## 4.2 Překročení limitu

Důležitým ukazatelem kvality ovzduší je rovněž sledování překračování imisních limitů pro látky, pro než byl limit stanoven.

Pro prašný aerosol byla v České republice stanovena limitní koncentrace pouze pro velikostní frakci aerosolu  $PM_{10}$  pro 24 - hodinové koncentrace na  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a pro roční průměrnou koncentraci  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Imisní limit pro frakci  $PM_{2,5}$  zatím stanoven nebyl. Evropská unie navrhuje roční průměrnou koncentraci na  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

WHO navrhla pro  $PM_{2,5}$  směrné hodnoty pro 24 - hodinovou koncentraci  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a roční průměrnou koncentraci stanovila na  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Za celé sledované období 70 dní, vnější koncentrace překročily limit navržený WHO v 57 % (40 dní) a vnitřní koncentrace v 50 % (35 dní). Po rozdělení dat na zimní (35 dní) a letní (35 dní) období se ukázalo, že vnější koncentrace v zimě limit překročily v 86 % (30 dní) a v létě v 29 % (10 dní), vnitřní koncentrace rovněž ukázaly vyšší procento překročení limitu v zimě než v létě a to v 71 % (25 dní) a 29 % (10 dní) v tomto pořadí. Hodnoty naměřené na stanici AIM Mlynářka za stejné sledované období překročily limitní koncentrace v 47 % ( 70 dní), to je o 10% méně než u dat získané impaktorem Sioutas.

NEA (National Environment Agency vydala směrné hodnoty pro specifické fyzikální parametry týkající se vnitřního prostředí, tabulka č. 30 (internet[9]).

Fyzikální parametr	Přijatelné rozmezí
Teplota vzduchu	22.5-25.5 (°C)
Relativní vlhkost vzduchu	< 70 (%)
Pohyb vzduchu	< 0.25 (m/s)

Tabulka č. 30: Směrné hodnoty fyzikálních parametrů podle NEA

Směrná hodnota pro relativní vlhkost vzduchu za celé sledované období překročena nebyla. Teplota byla v tělocvičně za celé sledované období v průměru nižší než navržená směrná hodnota ( $21 \text{ °C} \pm 2,01 \text{ °C}$ ). V 69 % (48 dní) teplota byla nižší než směrná hodnota, pouze v jednom případě hodnota byla převýšena.

## 5 ZÁVĚR

V diplomové práci byla dlouhodobě sledována velikostní distribuce hmotnosti aerosolu  $PM_{10}$  pomocí kaskádového impaktoru Sioutas ve vnitřním prostředí tělocvičny se současným měřením ve venkovním prostředí.

Průměrná koncentrace jemných frakcí  $PM_{2,5}$  byla za celé sledované období ve srovnání s tělocvičnou vyšší ve venkovním prostředí školního dvora, ale i tak došlo v tělocvičně v 50% dní k překročení směrné hodnoty WHO. Koncentrace jemných částic v zimním období byly oproti létu vyšší.

Z velikostních charakteristik aerosolu jsme zjistili, že na celkové hmotnosti částic menších než  $2,5 \mu m$  se největší měrou podílí nejmenší velikostní frakce aerosolu  $< 0,25 \mu m$  odpovídající stupni impaktoru P. To je velmi znepokojující poznatek, neboť tyto částice jsou v důsledku své schopnosti pronikat nejhloběji do plic, až do plicních sklípků, považované za nejnebezpečnější. Tento fakt se násobí také tím, že během fyzické aktivity u cvičících roste minutová ventilace, takže se i množství vdechnutých polutantů zvyšuje. Zároveň převažuje dýchání ústy, tudíž se částice snadněji vyhnou filtračnímu aparátu v nosní dutině. Děti patří mezi nejrizikovější skupinu populace, neboť jejich plíce a imunitní systém není ještě plně vyvinut, takže je riziko odezvy na znečištění v porovnání s dospělými silnější.

Vyšší vnitřní koncentrace ve velikostní frakci  $10 - 2,5 \mu m$ , stupeň impaktoru A, poukázaly na přítomnost vnitřního zdroje hrubých částic, které mohou mít stejně jako jemné částice rovněž negativní dopady na lidské zdraví. Tímto zdrojem je především resuspenze zapříčiněná přítomností osob a generace částic aktivitou vykonávanou v tělocvičně. U jemných částic se výrazný vnitřní zdroj neprojevil, jejich koncentrace jsou zejména ovlivňovány průnikem částic z vnějšího prostředí. To ukázal také I/O poměr, které byl pro jemné částice s přítomností i bez přítomnosti cvičenců menší než 1, u hrubých částic za přítomnosti osob poměr přesáhl 1, ve volných dnech byly hodnoty poměrů pod 1.

Z fyzikálních faktorů se jako nejvýznamnější činitel ukázala být rychlost větru.

Zvýšená koncentrace jemných a hrubých částic v tělocvičně naznačuje, že u citlivých jedinců může docházet v důsledku fyzické námahy ke zdravotním komplikacím. Ke zlepšení situace by mohla přispět častější údržba podlahových krytin, zavedení klimatizačního systému s dokonalou filtrací vzduchu a vzhledem k centrální poloze tělocvičny i omezení automobilové dopravy, jakožto významného zdroje jemných částic.



I přes to, že pravidelné cvičení je odbornou veřejností všeobecně doporučováno, měla by se brát v úvahu možná zdravotní rizika u lidí provozující fyzickou aktivitu v městských oblastech zatížených dopravou a dalšími znečišťujícími zdroji.

Jelikož jedna kampaň byla provedená současně v tělocvičně v centru a na okraji města a výsledky neukázaly významné rozdíly, bylo by zajímavé v dalších studiích provést dlouhodobější měření v tělocvičně umístěné na okraji Prahy pro získání většího počtu dat a tedy zajistit ucelenější a přesnější závěry. Vhodné by také bylo provést měření v tělocvičně v malé obci pro porovnání rozdílnosti zdrojů jemných částic, zejména pocházející z lokálních topenišť.

## POUŽITÁ LITERATURA

- Internet [1]: Právní předpisy EU a jejich důsledků monitorování prašného aerosolu (PM<sub>10</sub>) pro Českou republiku dostupné z: <http://www.chmi.cz/uoco/limit/pub2.html>, c2001 [cit. 2008-04-15]
- Internet [2]: Air and radiation dostupné z: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>, c2008, [cit. 2008-06-12]
- Internet [3]: WHO air quality guidelines dostupné z: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_PHE_OEH_06.02_eng.pdf), c2005, [cit. 2008-06-12]
- Internet [4]: Vyhláška dostupné z: <http://tzb-info.cz/t.py?t=15&i=320>, c2001-2008, [cit. 2008-07-8]
- Internet [5]: Chemie životního prostředí dostupné z: <http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-atmosfera-02-aerosoly.pdf>, [cit. 2008-06-18]
- Internet [6]: IAQ Tools for schools program dostupné z: <http://www.epa.gov/iaq/schools/index.html>, c2008, [cit. 2008-06-18]
- Internet [7]: Kaskádový osobní imactor Sioutas dostupné z: <http://chromservis.cz/item/sioutas-personal-cascade-impactor-optimized-at-9-l-min?lang=CZ>, [cit. 2008-06-18]
- Internet [8]: Commeter D3121 dostupné z: <http://www.perfektum.cz/upload/vyrobky/365/cd34f85211.pdf>, c2007, [cit. 2008-06-25]
- Internet [9]: E. Indoor air quality guidelines dostupné z: <http://app.nea.gov.sg/cms/htdocs/article.asp?pid=1424>, c2002, [cit. 2008-08-18]
- Atkinson, G. (1996): Air pollution and exercise, *Sports exercise and injury*, 2: 1-8
- Bennet, W. D., Zeman, K. L. (1998): Deposition of fine particles in children spontaneously breathing at rest, *Inhalation toxicology*, 10: 831-842
- Braniš, M., Řezáčová, P., Domasová, M. (2005): The effect of outdoor and indoor human activity on mass concentration of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>1</sub> in a classroom, *Environmental research*, 99: 143-149
- Bräuner, E. V., Forchhammer, L., Møller, P., Simonsen, J., Glasius, M., Wählin, P., Raaschou-Nielsen, O., Loft, S. (2007): Exposure to ultrafine particles from

- ambient air and oxidative stress-induced DNA damage, *Environmental health perspectives*, 115, (8):1177-1182
- Brugge, D., Durant, J. L., Rioux, Ch. (2007): Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: A review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks, *Environmental health*, 6: 23
- Brunekreef, B., Forsberg, B. (2005): Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health, *European respiratory journal*, 26: 309-318
- Brunekreef, B., Janssen, N. A., de Hartog, J., Harssema, H., Knape, M., van Vliet, P. (1997): Air pollution from , truck traffic and lung function in children living near motorways, *Epidemiology*, 8, (3): 298-303
- Cambell, M. E., Li Q., Gingrich, S. E., Macfarlane, R. G., Cheng, S. (2005): Should people be physically active outdoors on smog alert days?, *Revue canadienne de santé publique*, 96, (1): 24-28
- Carlisle, A. J., Sharp N. C. C. (2001): Exercise and outdoor ambient air pollution, *British journal of sports medicine*, 35: 214-222
- Ciccone, G., Forastiere, F., Agabiti, N., Biggeri, A., Bisanti, L., Chellini, E., Corbo, G., Dell'Orco, V., Dalmaso, P. (1998): Road traffic and adverse respiratory effects in children, *Occupational and environmental medicine*, 55: 771-778
- Daigle, Ch. C., Chalupa, D. V., Gibb, F. R., Morrow, P. E., Obersdörster, G., Utell, M. J., Frampton, M. W. (2003): Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise, *Inhalation toxicology*, 15: 539-552
- Damahorský, M. a kolektiv (2007): *Právo životního prostředí 2. přepracované vydání*, Praha: C.H. Beck
- Diapouli, E., Chaloulakou, A., Spyrellis, N. (2007): Indoor and outdoor particulate matter concentrations at schools in the Athens area, *Indoor and built environment*, 16, (1): 55-61
- Diapouli, E., Chaloulakou, A., Spyrellis, N. (2007): Levels of ultrafine particles in different microenvironments – Implication to children exposure, *Science of the total environment*, 388: 128-136
- Ekmekcioglu D., Keskin, S. S. (2007): Charakterization of indoor air particulate matter in selected elementary schools in Istanbul, Turkey, *Indoor and built environment*, 16, (2): 169-176

- Fox, A., Harley, W., Feigley, Ch., Salzberg, D., Toole, Ch., Sebastian, A., Larsson, L. (2005): Large particles are responsible for elevated bacterial marker levels in school air upon occupation, *Journal of environmental monitoring*, 7:450-456
- Fromme, H., Twardella, D., Dietrich, S., Heitmann, D., Schierl, R., Liebl, B., Rűden, H. (2007): Particulate matter in the indoor air classroom-exploratory results from Munich and surrounding area, *Atmosferic environment*, 41: 854-866
- Gadas, P. (2006): Aerosoly ve vnitřním ovzduší budov, ÚŽP PřF UK, diplomová práce
- Gauderman, W. J., Vora, R., McConnell, R., Berhane, K., Gilliland, F., Thomas, D., Lurmann, F., Kunzli, N., Jerrett, M., Peters, J. (2007): Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study, published online January 26, [www.thelancet.com](http://www.thelancet.com), DOI:10.1016/S0140-6736(07)60037-3
- Green, R. S., Smorodinsky, S., Kim, J. J., McLaughlin, R., Ostro, R. (2004): Proximity of California public schools to busy roads, *Environmental health perspectives*, 112, (1): 61-66
- Hinds, C. W. (1999): *Aerosol technology – properties, behavior and measurement of airborne particles*, John Wiley and sons, New York
- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., van den Brant, P. (2002): Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study, *Lancet*, 360: 1203-1209
- Hůnová, I., Janoušková, S. (2004): *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*, Karolinum, Praha
- Cheng, Y. S. (2003): Aerosol deposition in the extrathoracic region, *Aerosol science and technology* 37: 659-671
- Janssen, N. A. H., Hoek, G., Harssema, H., Brunekreef, B. (1997): Childhood exposure to PM<sub>10</sub>: relation between personal, classroom, and outdoor concentration, *Occupational and environmental medicine*, 54: 888-894
- Janssen, N. A. H., van Vliet, P. H. N., Aarts, F., Harssema, H., Brunekreef, B. (2001): Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways, *Atmosferic environment* 35: 3875-3884
- Korenstein, S., Piazza, B. (2002): An exposure assessment of PM<sub>10</sub> from a major highway interchange: Are children in nearby schools at risk?, *Journal of environmental health*, 65, (2): 9-17
- Lee, S. C., Chang, M. (2000): Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, *Chemosphere*, 41: 109-113

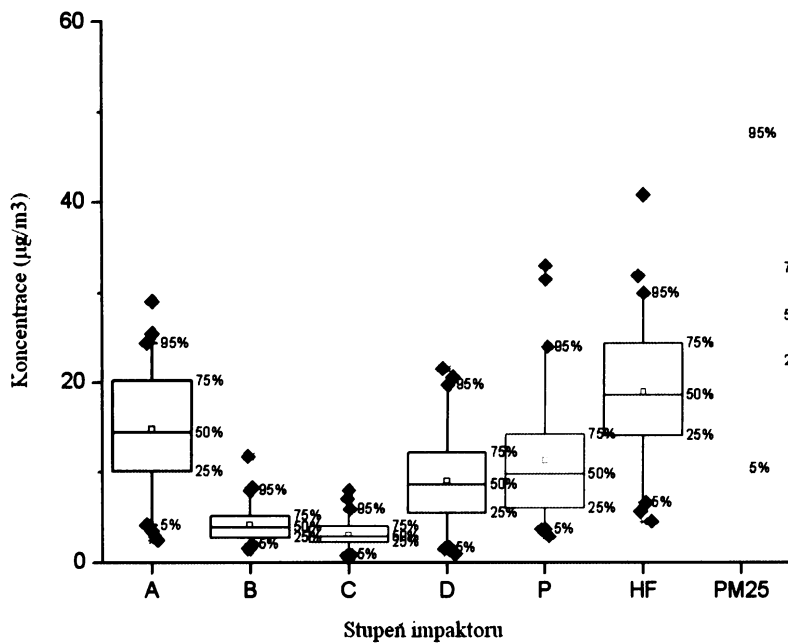
- Maroni, M., Bersani, M., Cavallo, D., Anversa, A., Alcini, D. (1993): Microbial contamination in buildings: comparison between seasons and ventilation systems, *Indoor air 93*, proceedings of the 6th international conference on indoor air quality and climate, 4: 137-142
- Misra, Ch., Singh, M., Shen, S., Sioutas, C., Hall, P. M. (2002): Development and evaluation of personal cascade impactor sampler (PCIS), *Aerosol science*, 33: 1027-1047
- Mittleman, M. A. (2007): Air pollution, exercise, and cardiovascular risk, *The new England journal of medicine*, 357, (11): 1147-1149
- Morawska, L., Hitchins, H. C., Mengersen, K., Gilber, D. (2003): Characteristics of particles number and mass concentrations in residential houses in Brisbane, Australia, *Atmospheric environment*, 37: 4195-4203
- Na, K., Sawant, A. A., Cocker, D. R., (2004): Trace elements in fine particulate matter within a community in western Riverside County CA: focus on residential sites and a local high school, *Atmospheric environment*, 38: 2867-2877
- Norbäck, D., Torgén, M., Edling, C. (1990): Volatile organic compounds, respirable dust and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools, *British journal of industrial medicine*, 47: 733-741
- Pekkanen, J., Peters, A., Hoek, G., Tiittanen, P., Brunekreef, B., Hartog, J., Heinrich, J., Ibaldo-Mulli, A., Kreyling, W. G., Lanki, T., Timonen, K. L., Vanninen, E. (2002): Particulate air pollution and risk of ST-segment depression during repeated submaximal exercise tests among subject with coronary heart disease, *Circulation*, 106: 933-938
- Pope, A. C., Burnett, R. T., Thun, M. J., Cykle, E. E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G. D. (2002): Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *The journal of the american medical association*, 287: 1132-1141
- Pope, A. C., Dockery, D. W. (2006): Health effect of fine particulate air pollution: Lines that connect, *Journal of air and waste management association*, 56: 709-742
- Poupard, O., Blondeau, P., Iordache, V., Allard, F. (2005): Statistical analysis of parameters influencing the relationship between outdoor and indoor air quality in schools, *Atmospheric environment*, 39: 2071-2080
- Reponen, T., Willeke, K., Grinsphun, S., Nevalainen, A. (2001): Biological particle sampling, Chapter 24, *Aerosol Measurements: Principles, techniques and applications*, Van Nostrand Reinhold Company Incorporated, New York, NY

- Roorda-Knape, M. C., Janssen, N. A. H., de Hartog, J. J., van Vliet, P. H. N., Harssema, H., Brunekreef, B. (1998): Air pollution from traffic in city districts near major motorways, *Atmospheric environment*, 32, (12): 1921-1930
- Rundell, K. W., Hoffman, J. R., Caviston, R., Bulbulian, R., Hollenbach, A. M. (2007): Inhalation of ultrafine and fine particulate matter disrupt systematic vascular function, *Inhalation toxicology*, 19: 133-140
- Salomon, P. A., Norris, G., Landis, M., and Tolocka, M. (2001): Chemical analysis methods for atmospheric aerosol components, Chapter 11, *Aerosol Measurements: Principles, techniques and applications*, Van Nostrand Reinhold Company Incorporated, New York, NY
- Schwarz, J. (2004): Air pollution and children's health, *Pediatrics*, 113: 1037-1043
- Sharman, J. E. (2005): Clinicians prescribing exercise: is air pollution a hazard?, *Medical journalist associates*, 182, (12): 606-607
- Singh, M., Misra, Ch., Sioutas, C. (2003): Field evaluation of a personal cascade impactor sampler (PCIS), *Atmospheric environment*, 37: 4781-4793
- Villarreal-Calderón, A., Acuña, H., Villarreal-Calderón, J., Garduño, M., Henríquez-Roldán, C. F., Calderón-Garcidueñas, L., Valencia-Salazar, G. (2002): Assessment of physical education time and after-school outdoor time in elementary and middle school student in South Mexico City: the dilemma between physical fitness and adverse health effect of outdoor pollutant exposure, *Archives of environmental health*, 57, (5): 450-460
- Ward, T. J., Noonan, C. W., Hooper, K. (2007): Results of an indoor size fractionated PM school sampling program in Libby, Montana, *Environ monit assess*, 130: 163-171
- Woodruff, T. J., Parker, J. D., Schoendorf, K. C. (2006): Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) air pollution and selected cause of postnatal infant mortality in California, *Environmental health perspectives*, 114: 786-790
- Wu, Y., Batterman, S. A. (2006): Proximity of schools in Detroit, Michigan to automobile and truck traffic, *Journal of exposure science and environmental epidemiology*, 16: 457-470
- Zhu, Y., Hinds, W. C., Kim, S., Shen, S., Sioutas, C. (2002): Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic, *Atmospheric environment*, 36, (27): 4323-4335

# GRAFICKÉ PŘÍLOHY

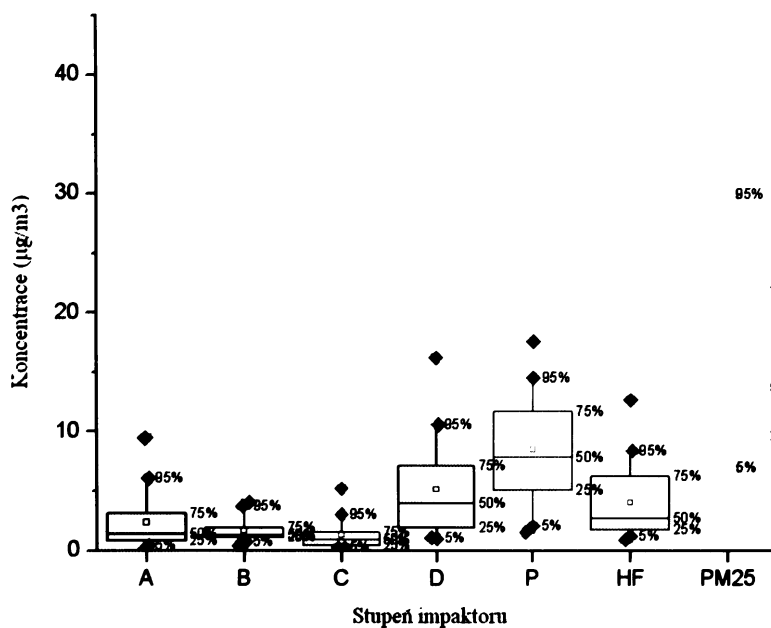
## Příloha 1

24 – hodinové průměrné koncentrace jednotlivých frakcí aerosolu v tělocvičně za přítomnosti cvičenců



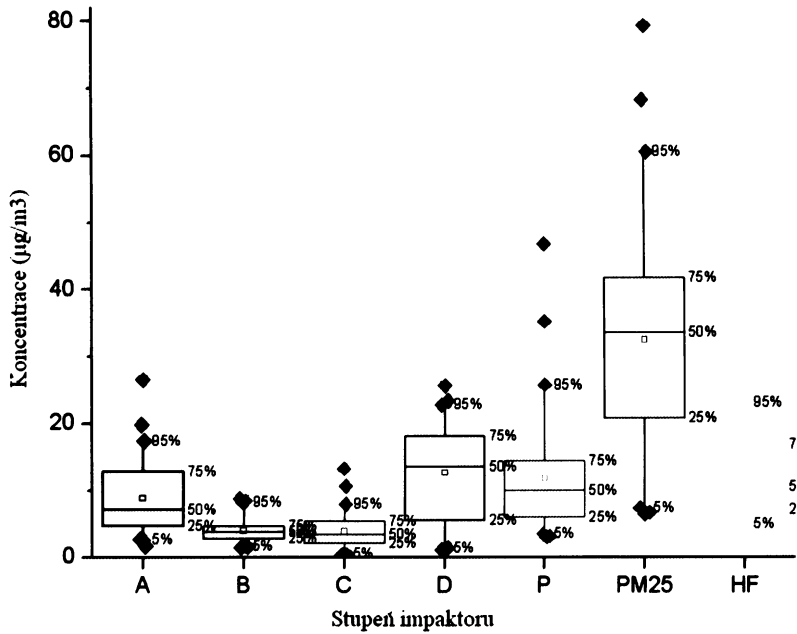
## Příloha 2

24 – hodinové průměrné koncentrace jednotlivých frakcí aerosolu v tělocvičně bez přítomnosti cvičenců



### Příloha 3

24 – hodinové průměrné koncentrace jednotlivých frakcí aerosolu ve venkovním prostředí za přítomnosti cvičenců



### Příloha 4

24 – hodinové průměrné koncentrace jednotlivých frakcí aerosolu ve venkovním prostředí bez přítomnosti cvičenců

