



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

KONCENTRACE JEMNÝCH ČÁSTIC VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ BUDOV

THE CONCENTRATION OF FINE PARTICLES IN THE INDOOR ENVIRONMENT OF BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Turčina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Klaudia Köbölová

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Lukáš Turčina
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce:	Ing. et Ing. Klaudia Kőbőlová
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Koncentrace jemných částic ve vnitřním prostředí budov

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na problematiku znečištění vzduchu jemnými částicemi ve vnitřním prostředí budov. V rámci řešení bude zpracován stručný přehled teorie problematiky jemných částic v ovzduší. Popsány budou měřicí techniky využívané pro identifikaci částic. Detailně bude popsáno měření s aparaturou v majetku Energetického ústavu. Vlastní měření koncentrací částic bude provedeno v dohodnutých vnitřních prostorách budov. Hodnocen bude režim užívání (aktivita/noc) na množství identifikovaných částic, význam materiálů povrchů a přítomnost dalšího vybavení a zařízení.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracovat přehled problematiky jemných částic rozptýlených ve vuduchu.
2. Popsat techniky využívané pro měření jemných částic.
3. Realizovat měření jemných částic ve vnitřních prostorech budov.
4. Vyhodnotit vliv režimu užívání prostor, přítomnost spotřebičů a materiálů povrchů na naměřenou koncentraci a velikost částic."

Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, M., Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

KANTOR, R., Částice v ovzduší a možnosti jejich měření, 2017. Bakalářská práce VUT FSI.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Otázka zdravia je venovaná veľká pozornosť. Zdravie človeka je však ovplyvnené najmä tým, čo sa do ľudského tela počas života dostáva. Preto je kladený dôraz prevažne na kvalitu vody, potravy, ovzdušia či celkovo prostredia, v ktorom ľudia žijú. Táto bakalárska práca je zameraná na problematiku jemných častíc vo vnútornom prostredí budov, v ktorom ľudia strávia väčšinu svojho života. Množstvo týchto častíc sa do okolitého ovzdušia dostáva z každodenných procesov, ktoré ľudia vykonávajú v domácnosti. Vysoká koncentrácia jemných častíc má za následok väčšiu pravdepodobnosť, že sa tieto častice dostanú do ľudského tela, kde následne môžu spôsobovať závažné zdravotné problémy. Teoretická časť pojednáva nielen o zložení, veľkosti a vplyve jemných častíc na životné prostredie, ale aj na techniky identifikácie a merania jemných častíc, či o metódach čistenia vnútorného ovzdušia. Praktická časť je zameraná na experimentálne meranie jemných častíc vo vnútornom prostredí budov počas každodenných činností, ako sú varenie, upratovanie či používanie niektorých zariadení. Výsledky merania dokázali, že najmä pri varení a pečení sa do vnútorného ovzdušia dostáva obrovské množstvo častíc, najmä častice PM₁, ktorým zatiaľ nie je venovaná dostatočná pozornosť. A preto je dôležité nájsť vhodné opatrenia na elimináciu týchto častíc.

Kľúčové slová

Koncentrácia, jemné častice, vnútorné prostredie budov, ovzdušie, zdravie, metódy merania častíc, domácnosť, varenie, upratovanie

ABSTRACT

The issue of health is given a great deal of attention. However, human health is mainly affected by what enters the human body during life. Therefore, the emphasis is mainly on the quality of water, food, air or the overall environment in which people live. This bachelor thesis is focused on the issue of fine particles in the indoor environment of buildings, in which people spend most of their lives. Many of these particles enter the ambient air from the daily processes that people perform in the households. A high concentration of fine particles results in a greater probability of these particles entering the human body, where they can subsequently cause serious health problems. The theoretical part deals not only with the structure, size and impact of fine particles on the environment, but also on techniques for identification and measurement of fine particles, or methods of indoor air purification. The practical part is focused on the experimental measurement of fine particles in the indoor environment of buildings during everyday activities such as cooking, cleaning or using some equipment. The measurement results have shown that, especially during cooking and baking, a huge amount of particles enters the indoor air, especially PM₁ particles, which have not yet received sufficient attention. Therefore, it is important to find suitable measures to eliminate these particles.

Key words

Concentration, fine particles, indoor environment of buildings, air, health, methods of particle measurement, household, cooking, cleaning

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

TURČINA, Lukáš. *Koncentrace jemných částic ve vnitřním prostředí budov*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132240>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Klaudia Köbölová.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Koncentrace jemných částic ve vnitřním prostředí budov vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a zdrojov uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum

Meno a Priezvisko

POĎAKOVANIE

Rád by som týmto spôsobom poďakoval Ing. et Ing. Klaudii Köbölovej za cenné rady, pripomienky a pomoc počas vypracovania bakalárskej práce. Taktiež ďakujem svojim rodičom za veľkú podporu a všetkým, ktorí čo i len maličkosťami prispeli k tomu, že je táto práca hotová.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	TEORETICKÁ ČASŤ.....	12
2.1	Jemné částice rozptýlené vo vzduchu.....	12
2.2	Zloženie částic	12
2.3	Rozdelenie veľkostných frakcií částic	12
2.3.1	PM ₁₀	13
2.3.2	PM _{2,5}	13
2.3.3	PM ₁	14
2.3.4	PM _{0,1}	14
2.4	Vplyv PM částic na zdravie človeka	14
2.5	Ochorenia spôsobené prítomnosťou PM částic	15
2.6	Epidemiologické štúdie	16
2.7	Vplyv PM částic na životné prostredie	17
2.8	Kvalita ovzdušia	17
2.9	PM částice v domácnostiach.....	18
2.10	Zdroje PM částic v domácnosti	19
2.10.1	Varenie	19
2.10.2	Vykurovanie	22
2.10.3	Upratovanie a iná ľudská aktivita.....	23
2.11	Čistenie ovzdušia v domácnosti.....	24
2.11.1	HEPA filtre.....	24
2.11.2	Elektrostatické odlučovače.....	26
2.12	Techniky využívané pre meranie jemných částic	27
2.13	Meranie veľkosti částic.....	27
2.13.1	Laserová difrakcia	28
2.13.2	Gravitačná sedimentácia.....	29
2.14	Meranie koncentrácie částic	30
2.14.1	Gravimetrická metóda	30
2.14.2	Optické metódy	31
3	PRAKTICKÁ ČASŤ	32
3.1	Popis experimentálnej aparatury.....	32
3.2	Popis merania jemných částic.....	33
3.3	Výsledky meraní	35
3.3.1	Varenie špagiet bez ventilácie.....	35
3.3.2	Varenie (vyprážanie) na elektrickom sporáku bez ventilácie	36
3.3.3	Varenie (vyprážanie) na elektrickom sporáku s prirodzenou ventiláciou...38	
3.3.4	Varenie (vyprážanie) na plynovom sporáku s digestorom a prirodzenou ventiláciou	39
3.3.5	Varenie (rúra na pečenie) bez ventilácie	41
3.3.6	Upratovanie izby bez ventilácie	43
3.3.7	Spustenie aróma difuzéru v izbe bez ventilácie	44
3.3.8	Použitie fénu na vlasy v izbe bez ventilácie.....	46
3.3.9	Zapálenie sviečky v izbe bez ventilácie	47

4	DISKUSIA.....	49
5	ZÁVER	51
6	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....	52
7	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	57
8	ZOZNAM OBRÁZKOV	58

1 ÚVOD

Práve žijeme v dobe, kedy celým svetom otriasa pandémia Covid-19. Nielen, že to pre ľudí spôsobilo množstvo obmedzení a starostí, ale kvôli vírusu, ktorý sa môže ľahko dostať do ľudského tela, sa množstvo ľudí ocitne v situácii, kedy bojuje o život. Žiaľ, je aj veľa takých, ktorí tento boj prehrajú. Každý jeden deň počúvame, aká zlá je situácia v nemocniciach, koľko pozitívnych prípadov pribudlo a koľko z nich sa dostane do stavu, kedy nie sú schopní sami dýchať a potrebujú pomoc umelej pľúcnej ventilácie. Práve dýchacie orgány sú tie najkritickejšie. Veľa ľudí si až teraz uvedomuje, aká dôležitá je kvalita okolitého ovzdušia, ktoré celý život vdychujeme. Nie sú to len vírusy a baktérie, ale vo veľkej miere na zdravie človeka vplyvajú jemné častice emitované vo vzduchu. Tie sa dokážu dostávať práve cez dýchaciu sústavu hlboko do ľudského tela a spôsobovať nielen dýchacie problémy, ale aj rakovinu či dokonca smrť.

Práve týmto časticiam je venovaná táto práca. Jemné častice sú neoddeliteľnou súčasťou látok znečisťujúcich prostredie, najmä ovzdušie. Medzi prirodzené zdroje, ktoré do ovzdušia emitujú jemné častice, patrí príroda. Či už počas sopečnej erupcie, veternej či prachovej búrky alebo lesných požiarov sa do ovzdušia vylučujú tuhé znečisťujúce látky. Avšak veľká časť škodlivých a nežiadúcich jemných častíc je vytváraná a produkovaná ľudskou činnosťou. Medzi najvýznamnejšie ľudské zdroje patrí poľnohospodárstvo, priemyselné procesy, spaľovanie paliva, ale aj ťažba ropy a uhlia, kameňa či štrku. Pre tieto zdroje sú určené zákony a normy, ktoré limitujú koncentráciu vypúšťania týchto častíc do ovzdušia. Avšak sú tu aj zdroje, ktoré vyprodukovávajú množstvo jemných častíc vo vnútornom prostredí budov. Tie nie sú nijak obmedzované a vo veľkej miere ohrozujú zdravie ľudí. Je to hlavne tým, že ľudia trávajú väčšinu svojho života práve vo vnútornom prostredí. Ide o obydlia, školy či kancelárie. Možno sa to nezdá, ale každodenné procesy, ktoré ľudia vykonávajú, ako sú varenie, vykurovanie, upratovanie, fajčenie či používanie rôznych zariadení, emituje do vnútorného prostredia jemné častice.

To, z čoho sú tieto častice zložené, aká je ich veľkosť a vplyv na zdravie človeka, je popísané v úvode teoretickej časti tejto práce. Následne sú bližšie popísané zdroje častíc v domácnosti, metódy na identifikáciu a meranie častíc a taktiež aj princípy čistenia vnútorného ovzdušia.

Druhá, praktická časť, je zameraná na experimentálne meranie jemných častíc vo vnútornom prostredí budov počas každodenných činností, ako sú varenie, upratovanie či používanie niektorých zariadení. Taktiež je popísaná experimentálna aparátúra, ktorá bola na tieto merania využívaná. Následný detailný popis jednotlivých meraní a rozanalyzované výsledky by mali pomôcť k lepšiemu vnímaniu a dôležitosti toho, ako sú, prípadne, ako by bolo lepšie, keby boli, tieto každodenné procesy vykonávané.

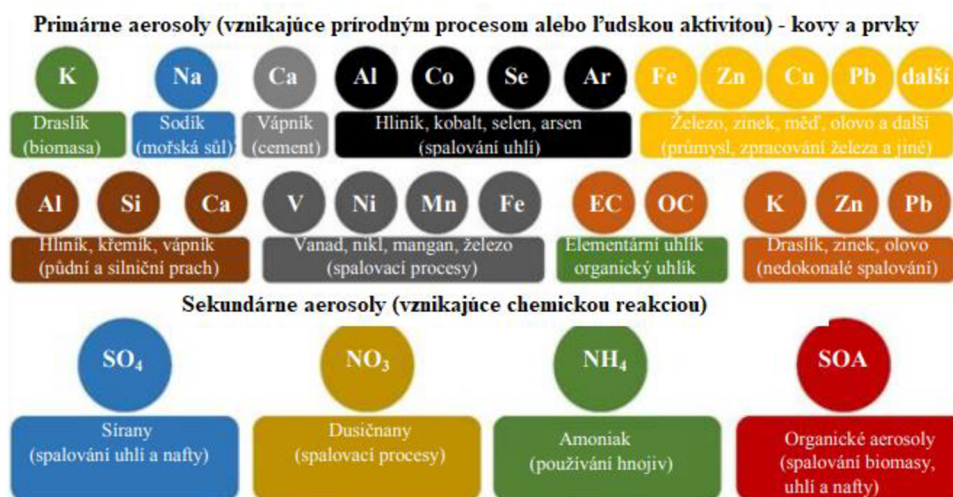
2 TEORETICKÁ ČASŤ

2.1 Jemné částice rozptýlené vo vzduchu

Částice rozptýlené v ovzduší sú najčastejšie označované pod skratkou PM (z anglického Particulate Matter), teda v preklade tuhé alebo prachové částice. Pod PM spadajú všetky pevné a kvapalné částice, tak jemné, že sú schopné suspenzie vo vzduchu či plyne. Klasifikujú sa ako látky, ktoré sa líšia zložením a veľkosťou, podieľajú sa na znečistení vonkajšieho a vnútorného ovzdušia, majú škodlivý vplyv na životné prostredie a predovšetkým na zdravie človeka. Veľkosť PM částic sa pohybuje od niekoľkých nanometrov do desiatok mikrometrov.

2.2 Zloženie částic

Existuje množstvo príčin vzniku částic, ktoré sú následne rozptýlené do okolitého vzduchu. Zdrojom týchto částic môže byť prírodný proces, ako napríklad sopečná erupcia, veterná či prachová búrka alebo lesný požiar. Veľkou časťou vytvárania a produkovania částic je aj ľudská aktivita a človekom tvorené činnosti. Medzi najvýznamnejšie ľudské zdroje patrí poľnohospodárstvo, priemyselné procesy, spaľovanie paliva, ale aj ťažba ropy a uhlia, kameňa či štrku [1]. Pevné částice vznikajú aj možno na prvý pohľad neočakávanými procesmi. Obyčajným zapálením sviečky, cigarety, varením na plynovom alebo elektrickom sporáku či použitím spreja na vlasy [2]. PM částice a ich zloženie závisí na spôsobe, ako částice vznikli (napríklad, či sú produktom prírodným, umelým alebo vznikli chemickou reakciou). Podľa toho sa delia na primárne a sekundárne. Avšak všeobecne sú tvorené z dvoch hlavných zložiek. Z organického uhlíka a z anorganických prvkov, ako sú sírany, dusičnany, oxidy kremíku, vápnik, draslík, sodík, hliník, železo a horčík, viď. obrázok 2.1 nižšie. Organický uhlík a čierny uhlík tvoria 50 % až 70 % agregovaných emisií PM částic. Prvky ako olovo, arzén, selén a zinok sú tiež súčasťou, avšak minoritnou zložkou tuhých částic [3].



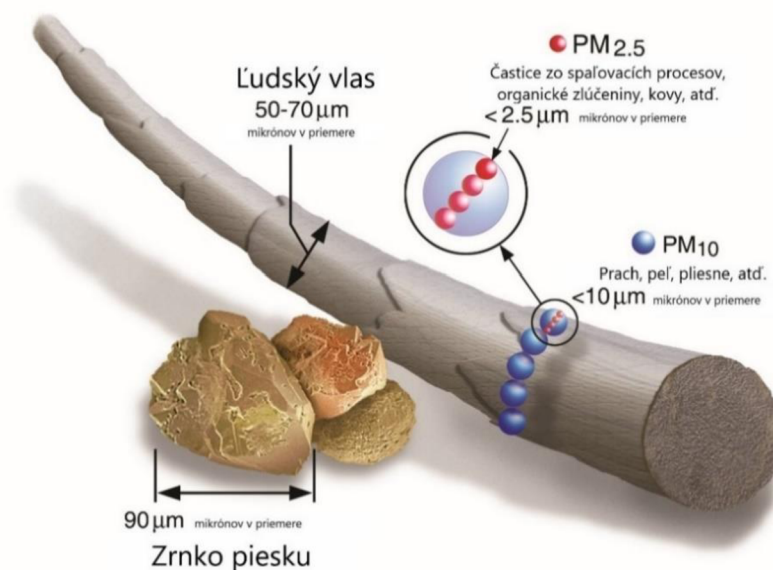
Obrázok 2.1 - Zloženie primárnych a sekundárnych částic [4]

2.3 Rozdelenie veľkostných frakcií částic

PM částice sa rozdeľujú podľa veľkostných frakcií na hrubé částice (PM₁₀), jemné částice (PM_{2,5}), submikrometrové částice (PM₁) a ultra-jemné částice (PM_{0,1}). Označenie PM částic je podľa pravého dolného indexu, ktorý určuje maximálnu veľkosť částice (aerodynamický priemer) v mikrometroch. A teda za částice s označením PM₁₀ sa považujú také, ktorých veľkosť sa pohybuje v rozmedzí 2,5 až 10 μm. PM_{2,5} majú aerodynamický priemer 2,5 μm a menej [5].

Dopad a vplyv PM částic na zdravie človeka podmienilo takéto rozdelenie na veľkostné frakcie. Všeobecne najviac merané a známe sú prvé dve spomenuté frakcie. Čím je frakcia menšia, tým je vplyv na ľudský organizmus negatívnejší [2].

Veľkosť a tým pádom aj hmotnosť či chemické zloženie častíc výrazne ovplyvňuje aj schopnosť šírenia sa vzduchom. Pre lepšiu predstavu veľkosti PM častíc je porovnanie s ľudským vlasom či zrnkom piesku na obrázku 2.2. Čím väčší aerodynamický priemer majú častice, tým menšiu vzdialenosť dokážu prekonať. Hrubé častice (PM₁₀) dokáže vietor premiestniť desiatky až stovky kilometrov. Avšak pri jemných časticiach (PM_{2,5}) sa vzdialenosť pohybuje v tisíckach kilometrov [5].



Obrázok 2.2 - Porovnanie veľkosti častíc [6]

2.3.1 PM₁₀

Hrubé častice - ide o častice (aerosóly) s aerodynamickým priemerom 2,5 až 10 μm . Primárne sú produkované mechanickými procesmi, ako napríklad rozptýlený cestný prach, procesmi v priemysle a poľnohospodárstve, abrazívnymi mechanickými procesmi, či vulkanickou činnosťou. V týchto časticiach sú teda viac obsiahnuté kovy, uhlík alebo oxid kremičitý [7].

PM₁₀ tvoria takú provizórnu hranicu, pretože s väčšími časticami ako PM₁₀ si už ľudský organizmus dokáže poradiť. Ostávajú zachytené na chlpkoch v nose, poprípade ich človek vykašle, a tak sa ich zbaví. Toto už však neplatí pri časticiach menších ako 10 μm , ktoré patria medzi tzv. extrathorakálne frakcie a väčšinou sa dostanú do horných dýchacích ciest a preniknú za hrtan. Na rozdiel od jemných častíc však tieto hrubé častice sú značne väčšie s väčšou hmotnosťou a tým menšou schopnosťou šíriť sa a udržať vo vzduchu (častice PM₁₀ sa udržia vo vzduchu pár hodín). Tým predstavujú menšiu hrozbu na zdravie človeka [8].

2.3.2 PM_{2,5}

Jedná sa o jemné častice menšieho priemeru (do 2,5 μm), ale objemovo významnejšie frakcie. Sú ľahšie, a preto ich zotrvanie vo vzduchu je dlhšie (niekoľko dní), a taktiež ich možnosť prekonávať vzdialenosti je väčšia. Tým pádom aj pravdepodobnosť vdýchnutia je väčšia a tieto častice majú závažný vplyv na ľudský organizmus. Jemné častice sa dostanú cez nosné dutiny až do dolných dýchacích ciest a pľúc. Z častíc o rozmeroch 1-2 μm ich až 90 % ostáva v pľúcach [9].

Záleží na míře znečistenia ovzdušia, ale napríklad v Prahe sa človeku môže dostať do respiračného systému takmer 0,01 gramu, čomu zodpovedá niekoľko miliárd častíc PM_{2,5} [9]. Kvôli ukladaniu sa hlboko v ľudskom organizme a veľkému počtu častíc rozptýlenom v ovzduší patrí táto frakcia medzi najnebezpečnejšie.

Jemné častice sú emitované hlavne v energetickom priemysle či doprave pri rôznych spaľovacích procesoch. Vznikajú aj pri chemických reakciách v atmosfére. V domácnosti sa s nimi môžeme stretnúť pri varení, upratovaní, vykurovaní či fajčení [10].

Tieto jemnejšie častice obsahujú vyšší podiel organických látok ako hrubšie frakcie. Je to zapríčinené najmä neúplným spaľovaním palív na báze uhlíka. Uhlíkové sadze zložené z organického a elementárneho uhlíku sú hlavnou zložkou jemnejších častíc a spájajú sa s významne zvýšeným rizikom úmrtia na rakovinu pľúc či inými závažnými respiračnými ochoreniami [1; 10].

2.3.3 PM₁

Častice, ktorých aerodynamický priemer je menší ako 1 μm, tvoria tzv. respirabilnú frakciu. Sú to veľmi jemné častice prachu, ktoré sa udržia vo vzduchu veľmi dlho a sú nesmierne nebezpečné pre človeka. Prachové častice často prenikajú až do pľúcnych mechúrikov (alveol) [11].

Najvýznamnejšie sledované parametre pri týchto veľkostiach sú ich povrch a počet a nie ich váha, pretože tieto jemnejšie (menšie) častice dosahujú vysoké koncentrácie, pokiaľ ide o ich počet, ale ich hmotnosť je veľmi malá v porovnaní s hrubšou frakciou, kde sú hmotnosti častíc násobne väčšie, a preto sú aj sledované [12].

2.3.4 PM_{0,1}

Ultra-jemné častice, alebo aj UFP (z anglického ultra fine particles). Takéto označenie sa používa pri časticiach menších ako 0,1 μm. Patria medzi najjemnejšie častice, kvôli svojej nízkej váhe sa nemusia nikdy usadiť a pri vdychnutí sa dostávajú cez pľúcne mechúriky až do krvi. Častice PM_{0,1} veľmi negatívne vplyvajú nielen na dýchaciu sústavu, ale aj na krvný obeh [13].

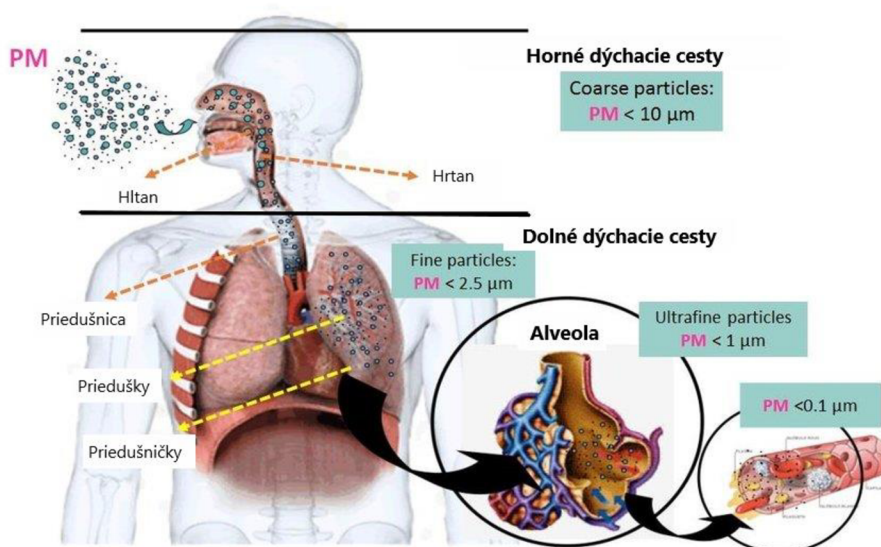
Sú produkované najmä dôsledkom spaľovacích procesov, fotochemickými reakciami či kondenzáciou kovov a organických zlúčenín [14].

Ako pri PM₁ tak aj pri PM_{0,1} sú sledované a dôležité parametre tvar, počet, ale aj chemické zloženie. Sú schopné na svojom povrchu prenášať iné veľmi toxické látky, napríklad ťažké kovy alebo polyaromatické uhľovodíky. Naviazané toxické látky sa cez krvný obeh dostávajú do celého tela [12].

2.4 Vplyv PM častíc na zdravie človeka

Jedným z najdôležitejších faktorov spojených s PM časticami je práve vplyv týchto častíc na ľudský organizmus. Častice sa nachádzajú v našej bezprostrednej blízkosti, či už vo vnútornom prostredí budov alebo vonkajšom priestranstve a pre človeka tak vytvárajú ľudským okom neviditeľný zdroj nebezpečenstva.

Jemné častice sa primárne vdychovaním dostávajú hlbšie do nášho tela a spôsobujú rad komplikácií, s ktorými musí organizmus bojovať. Častice sa spolu s vdychovaným vzduchom dostávajú do pľúc sústavou postupne vetviacich sa trubíc, ktorých priemer je stále menší a menší. A tak predovšetkým veľkosť častíc určuje, kde presne pozdĺž dýchacieho systému sa budú ukladať, a tak spôsobovať problémy v prírodnej či dýchacej časti ústrojenstva [15].



Obrázok 2.3 - Ukladanie častíc v dýchacom ústrojenstve [16]

Ako je vidieť na obrázku 2.3, rozmerovo väčšie častice PM_{10} sa dokážu zachytávať v horných dýchacích cestách v nose či nosohltane, prípadne v hlienoch, a je možné ich dostať von z tela, napríklad vysmrkaním či vykašľaním. Čím menšie častice sa dostanú do tela, tým sa pravdepodobnosť ohrozenia dôležitých orgánov zväčšuje. Častice $PM_{2,5}$ sa dostávajú do dolných dýchacích ciest a ohrozujú pľúca, priedušnicu, priedušky a priedušničky. Takéto postupné usádzanie v týchto orgánoch zapríčiňuje vážne zdravotné problémy. Najjemnejšie častice PM_1 a $PM_{0,1}$ vnikajú až do pľúcnych alveol a do krvného riečiska, a tým ohrozujú orgány v celom ľudskom tele [17].

Avšak vdychovanie nie je jediný spôsob, ako sa jemné častice dostávajú do ľudského tela. Oči či prípadné nedoliečené zranenia vytvárajú bránu pre vniknutie do organizmu. A taktiež, množstvo častíc sa tam dostane prostredníctvom jedla alebo vody, ktoré človek počas dňa zje a vypije [5].

PM častice môžu vytvárať aj dvojitú hrozbu. Tá spočíva v tom, že nielen samotné častice spôsobujú problémy, ale na povrchu týchto častíc môžu byť naviazané alebo absorbované ďalšie cudzie nebezpečné látky, ktoré by následným premiestnením do celého tela mohli zapríčiniť ešte závažnejšie problémy. Medzi látky, ktoré môžu byť naviazané na častice, patria prchavé organické látky (VOC), polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH) a ťažké kovy. Najmä VOC v ľudskom organizme ohrozujú dýchaciu sústavu, ale aj ďalšie dôležité orgány, na ktoré pôsobia karcinogénne. Ťažké kovy sú zas veľmi toxické [2].

Najohrozenejšou skupinou ľudí sú pacienti s ochorením srdca alebo pľúc a starší ľudia, ktorých imunitný systém je už oslabený alebo deti s nie úplne vyvinutým organizmom [17].

2.5 Ochorenia spôsobené prítomnosťou PM častíc

Zvýšená koncentrácia jemných častíc v ovzduší v našom okolí je spojená so zdravotnými problémami a ochoreniami rôzneho typu. Medzi menej závažné a život neohrožujúce patria napríklad kašeľ, upchatý nos, ťažkosti s dýchaním, zhoršená astma, podráždenie citlivejších miest, vznik infekcie či alergická reakcia. Bohužiaľ, existuje aj množstvo ochorení, ktoré už sú omnoho závažnejšie, ťažko liečiteľné, ba dokonca môžu byť aj smrteľné. Patria tu rôzne druhy rakoviny pľúc, ochorenia dýchacích ciest, kardiovaskulárne ochorenia, nepravidelný srdcový rytmus, infarkt myokardu, mozgová príhoda, cukrovka typu 2, demencia, strata kognitívnych funkcií, nízka pôrodnosť u žien, predčasný pôrod alebo aj predčasná smrť [17; 18].

Podľa novej celonárodnej štúdie z Harvardskej univerzity Harvard TH Chan School of Public Health súvisí množstvo emitovaných jemných častíc vo vzduchu (najmä $PM_{2,5}$) so zvýšenou úmrtnosťou na ochorenie Covid-19. Ide o prvú štúdiu, ktorá skúmala a porovnávala úroveň znečistenia ovzdušia tuhými časticami a počtom úmrtí na Covid-19 vo viac ako 3000 krajoch Spojených štátov amerických (USA). Výsledky napríklad ukázali, že len mierne zvýšenie dlhodobej expozície jemných častíc v ovzduší vedie k veľkému nárastu úmrtnosti na ochorenie Covid-19, a to aj pri zohľadnení ďalších faktorov, ako sú počasie, počet pozitívne testovaných na Covid-19, socioekonomických a behaviorálnych premenných, obezita či fajčenie. Zistilo sa, že u človeka žijúceho desaťročia v oblasti s vysokou úrovňou znečistenia vzduchu jemnými časticami, je pravdepodobnosť úmrtia na Covid-19 až o 8 % vyššia ako u niekoho, kto žije v oblasti s mierou znečistenia iba o jeden mikrogram na kubický meter menšou [19; 20]. Štúdia taktiež ukázala, že najhustejšie osídlená oblasť USA Manhattan, keby za posledných 20 rokov znížil priemernú koncentráciu jemných častíc o jeden mikrogram na kubický meter, tak by s najväčšou pravdepodobnosťou táto mestská časť New Yorku zaznamenala o 248 úmrtí na Covid-19 menej [21].

2.6 Epidemiologické štúdie

Určujúcim faktorom štatistík je zaťaženie chorobou vyplývajúce z vystavenia človeka v znečistenom ovzduší. Zo všetkých látok, ktoré sa podieľajú na znečistení okolitého ovzdušia, práve jemné tuhé častice majú najväčší vplyv na ľudské zdravie.

Zaťaženie chorobou je možné vyjadriť počtom (mierou) predčasných úmrtí (úmrtia, ktoré nastanú pred vekom, ktorý je daný ako priemerný vek života), alebo pomocou YLL (z anglického Years of life lost), čo by sme mohli preložiť ako stratené roky života dôsledkom predčasného úmrtia [22].

Podľa svetovej zdravotníckej organizácie WHO (z anglického World Health Organization) sa odhaduje, že kvôli znečisteniu ovzdušia jemnými časticami zomrie na svete okolo 7 miliónov ľudí ročne. Len v Európe vystavenie sa časticiam PM znižuje priemernú dĺžku života v priemere o takmer 1 rok (najmä z dôvodu zvýšeného rizika kardiovaskulárnych a respiračných chorôb a rakoviny pľúc) [23; 24].

Európska agentúra pre životné prostredie EEA (z anglického European Environment Agency) udáva odhady z roku 2019, ktoré hovoria, že v Európe na následky prítomnosti častíc $PM_{2,5}$ predčasne zomrie 400 000 ľudí každý rok. Aj keď je toto číslo stále veľmi vysoké, tak v porovnaní so štatistikami z roku 1990 je počet ľudí, ktorí zomreli predčasne, asi o 60 % nižší [25].

WHO udáva, že v roku 2016 samotné znečistenie vzduchu spôsobilo 4,2 milióna úmrtí, a z toho až 90 % obetí je v krajinách s nízkym a stredným príjmom, hlavne v Ázii a Afrike a za nimi nasledujú oblasti východného Stredomoria, Európa a Amerika. Asi 3 miliardy ľudí, čo je viac ako 40 % svetovej populácie, nemá vo svojich domovoch prístup k čistým palivám a technológiám na varenie, ktoré sú hlavným zdrojom znečisťovania ovzdušia v domácnosti [24].

Na Slovensku predčasne zomiera takmer päťtisíc ľudí ročne kvôli zlej kvalite okolitého ovzdušia. Pre porovnanie, v roku 2015 zomrelo na Slovensku 4242 ľudí vplyvom alkoholu a 310 ľudí v dôsledku dopravných nehôd. Takže čistejším ovzduším by sme mohli predĺžiť život značnej časti obyvateľov [26].

V Českej republike je počet predčasných úmrtí zapríčinených znečistením ovzdušia zhruba o polovicu viac ako na Slovensku. V roku 2017 to bolo približne jedenásťtisíc úmrtí, a z toho najväčší podiel, až 5700, je pripísaný jemným časticam. Zvyšné úmrtia sú spojené s oxidmi dusíka NO_x , karcinogénnym benzo(a)pyranom BaP a prízemným ozónom O_3 [27].

2.7 Vplyv PM částic na životné prostredie

Okrem obzvlášť zásadného vplyvu PM částic na ľudské zdravie, majú aj zničujúci dopad na životné prostredie, ktorého je človek súčasťou. Ako aj pri vplyvoch na zdravie, tak aj pri životnom prostredí záleží na veľkosti a chemickom zložení částic. Rôzne rozmery a rôzne naviazané prvky na časticách budú aj rôzne pôsobiť a mať negatívny vplyv na naše okolie. Častice, prenášajúce sa na veľké vzdialenosti vetrom, na ktorých sú naviazané sírany, nitrídy alebo dusičnany, sa ukladajú na zemi či vo vode, prípadne neustále ostávajú vo vzduchu a vo veľkej miere ovplyvňujú ovzdušie, pôdu, vodu, zmeny klímy a celkový ekosystém a biodiverzitu [28].

Vážnosť, ktorú musíme klásť na životné prostredie, je obrovská a veľa ľudí si neuvedomuje, že v konečnom dôsledku práve prostredie, v ktorom žijeme, priamo ovplyvňuje ľudské zdravie, kvalitu života, ale aj samotné prežitie populácie.

2.8 Kvalita ovzdušia

WHO označuje práve suspendované PM častice spolu s oxidmi dusíka NO_x , oxidmi síry SO_x (prevažne SO_2 – oxid siričitý) a prízemným ozónom O_3 za látky najviac znečisťujúce ovzdušie. Tieto látky vplývajú na tvorenie oparu či smogu tvoriaceho sa nielen v mestách a dedinách, ale aj v malebných prírodných oblastiach, ako sú lesy, hory a národné parky. Pre obyvateľov je takýto pokles viditeľnosti veľmi nebezpečný, a to aj z dôvodu väčšej pravdepodobnosti dopravnej nehody či ohrozenia chodcov [29].

Miera znečistenia ovzdušia závisí aj od vzdialenosti a nadmorskej výšky, v ktorej boli znečisťujúce látky vypustené, od meteorologických podmienok vrátane vetra či teploty vzduchu, od chemických premien (reakcia na slnečné žiarenie, reakcie medzi znečisťujúcimi látkami), a od topografie a geografických podmienok [29].

Spojením viacerých faktorov, ľudských aj klimatických, sa stáva ovzdušie nesmierne škodlivé pre ľudí, životné prostredie ale aj infraštruktúru. EEA uviedla, že v roku 2015 bola približne jedna štvrtina Európanov žijúcich v mestských oblastiach vystavená takej miere znečistenia ovzdušia, ktorá prekračuje normy kvality ovzdušia Európskej únie a 96 % obyvateľov Európskej únie žijúcich v mestských oblastiach dýchalo vzduch, ktorý je podľa WHO považovaný za zdraviu škodlivý. Tieto štatistiky sa väčšinou vzťahujú na ovzdušie v mestách, pretože miera znečistenia ovzdušia na vidieku či v prírodných oblastiach je porovnateľne menšia [29].

Snahou Európskej únie je bojovať proti znečisteniu ovzdušia a to tým, že stanovuje hodnoty koncentračných limitov znečisťujúcich látok v ovzduší a normy pre zdroje emisií znečisťujúcich látok. Členské štáty Európskej únie a obyvatelia týchto štátov musia stanovené normy striktno dodržiavať.

Po prvýkrát sa stanovili limity Európskej únie (EÚ) roku 1980 a tieto limity sa týkali koncentrácie SO_2 v ovzduší [29]. V nasledujúcich rokoch sa spisovali ďalšie smernice a aktualizovali sa limitné hodnoty, ktoré sa týkali ostatných látok znečisťujúcich ovzdušie. V roku 2008 bola vydaná smernica o kvalite okolitého ovzdušia, v ktorej sú stanovené normy kvality (vrátane limitných hodnôt) pre koncentráciu látok znečisťujúcich ovzdušie, ktoré majú najväčší vplyv na zdravie občanov [29]. Podľa tejto smernice musia všetky členské štáty vymedziť na svojom území tzv. zóny kvality ovzdušia. V týchto zónach je vykonávané priebežné hodnotenie kvality ovzdušia a je neustále meraná miera znečistenia. Členské štáty následne zozbierajú údaje zo svojich oblastí a každý rok ich nahlasujú komisii a EEA. Komisia tieto údaje porovnáva s najaktuálnejšími normami EÚ uvedených v smerniciach o kvalite okolitého ovzdušia. Ak sa stane, že niektorý štát prekročí tieto normy, následne musí čo najskôr vypracovať plány, v ktorých sa zaoberá riešením tohto problému. Komisia tieto plány zhodnotí a ak usúdi pretrvávajúce nedodržiavanie noriem, podnikne právne kroky [29].

2.9 PM částice v domácnostech

Vo svete je prioritne venovaná pozornosť koncentrácii jemným tuhým časticiam, ktoré sa nachádzajú v exteriéri. Meranie častíc prebieha najmä v okolí hlavných ciest s frekventovanou dopravou, v blízkosti priemyselných areálov, či oblastiach so zvýšenou mierou znečistenia prostredia.

Avšak aj vo vnútorných prostrediach budov má svoje opodstatnenie sledovanie a meranie PM častíc. A je dokonca ešte dôležitejšie, pretože ľudia trávajú priemerne až 90 % svojho času v interiéroch [30]. Či už ide o domácnosti, kancelárie, školy, škôlky alebo nemocničné či ubytovacie zariadenia, mal by byť veľký dôraz kladený na vnútornú kvalitu ovzdušia. Kvalita je jednak ovplyvnená zmesou znečisťujúcich látok vnášaných do vnútorného prostredia zvonka, ale aj množstvom znečisťujúcich látok pochádzajúcich zo zdrojov vnútri budov. Medzi zdroje v domácnostiach, ktoré majú najväčší vplyv na zhoršenú kvalitu ovzdušia, patria krby a pece na spaľovanie tuhých palív, sviečky, spreje, alebo varné dosky (plynové aj elektrické), na ktorých si ľudia pravidelne pripravujú jedlo a mnohé iné, ktoré možno vidieť na obrázku 2.4.



Obrázok 2.4 - Zdroje polutantov v domácnosti [31]

Kvôli nepriaznivej kvalite vnútorného prostredia sú každý rok stratené približne 2 milióny rokov života obyvateľov EÚ, prevažne nadmernou koncentráciou pevných častíc [30]. Odhaduje sa, že až 80 % chorôb súvisí s prítomnosťou častíc PM_{2,5} v interiéri budov [30]. V skutočnosti práve častice nachádzajúce sa vo vnútornom prostredí môžu byť bioaktívnejšie ako častice z vonkajšieho prostredia, a to z dôvodu prítomnosti endotoxínov. Endotoxín sa nachádza v gramnegatívnych baktériách, ktoré sú obsiahnuté najmä v potravinách, živočíšnych produktoch či určitých druhoch liečiv. Vyvoláva zápalové reakcie najmä v oblasti dýchacích ciest a gastrointestinálneho traktu [32].

Obzvláště najzranitelnější skupinou lidí sú deti a starší ľudia, a to z dôvodu dlhšieho času stráveného vnútri a takisto aj zníženou imunitou.

Koncentrácia častíc vo vnútornom prostredí budov nie je konštantná, ale mení sa podľa rôznych faktorov. Záleží predovšetkým na množstve zdrojov znečisťovania, na priestore, na forme a kvalite vetrania, ale aj na časovej variabilite. Aj keď je v domácnostiach zabezpečené premiešanie vzduchu, tak koncentrácia častíc v jednotlivých izbách bude odlišná. Podobne odlišná bude aj koncentrácia častíc, ak sa bude merať cez deň alebo v noci. Celková kvalita ovzdušia v interiéroch je výsledkom komplexnej súhry medzi kvalitou budovy, kvalitou vonkajšieho ovzdušia, efektívnosťou vetrania, počtom zdrojov znečisťovania a miery, do akej sú škodlivé [30].

Zlepšením vetrania či prípadným filtrovaním vzduchu pri jeho prechode do budovy, utesňovaním budov či znižovaním znečistenia spôsobeného zdrojmi, by bolo bývanie pre obyvateľov nielen zdravšie ale aj pohodlnejšie [30; 2].

2.10 Zdroje PM častíc v domácnosti

2.10.1 Varenie

Varenie v domácnostiach je považované za jeden z veľmi podstatných zdrojov emitovania jemných častíc do okolia, ktoré majú nepriaznivé účinky na ľudské zdravie. Počas varenia je človek týmto účinkom vystavený, pretože sa generujú častice PM₁₀, PM_{2,5}, ale aj submikrometrové (PM₁) a ultra-jemné častice (PM_{0,1}). Okrem tuhých častíc, ktoré sa produkujú počas varenia, je to aj oxid uhličitý, čierny uhlík, PAH a oxidy dusíka [33].

Množstvo emitovaných PM častíc počas varenia nie je vždy rovnaké. Vplývajú na to rôzne faktory. Medzi zásadné faktory patrí typ a kvalita zdroja (plynový alebo elektrický sporák), spôsob varenia (vyprážanie, pečenie, grilovanie, dusenie,...), veľkosť horáku (platničky), teplota varenia, typ panvice či hrncov, typ a miera vetrania, ale aj použité potraviny, prísady a najmä oleje [34].

Typ zdroja

Najväčšie rozdiely emitovania jemných častíc počas varenia sú spôsobené tepelným zdrojom, na ktorom je varenie uskutočňované. Zdroje vo vyspelých krajinách sú typicky plynové alebo elektrické sporáky. Avšak v mnohých rozvojových krajinách, ako sú Uganda, Ghana, Bangladéš, Pakistan či India, sa stále používajú tuhé palivá ako tepelný zdroj pri varení. Varenie na tuhom palive zodpovedá produkcii výrazne vyšších koncentrácií PM častíc v porovnaní s plynovým alebo elektrickým zdrojom [34].

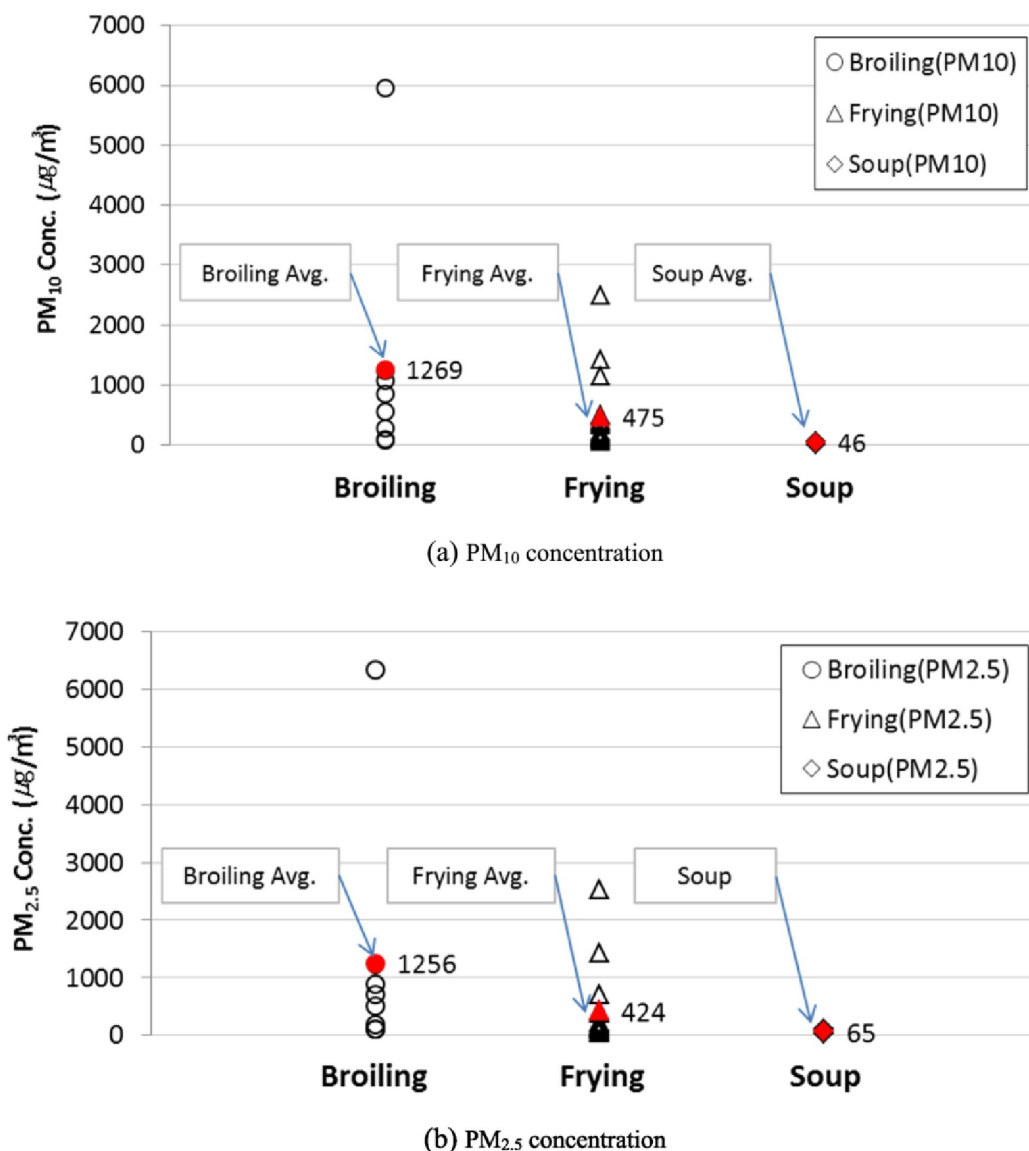
Táto časť je však zameraná na plynové a elektrické sporáky a ich porovnanie množstva emitovaných častíc. V štúdií Zhang a kol. [34] porovnávali koncentrácie častíc emitovaných do ovzdušia počas varenia na plynovom a elektrickom sporáku. Meranie prebiehalo po dobu 26 až 28 minút za rovnakých podmienok, pri žiadnej ventilácii, na rovnakom type panvice a s rovnakými použitými surovinami. Merali sa jemné PM_{2,5} a ultra-jemné PM_{0,1} častice. Výsledky ukázali, že koncentrácie pri použití plynového sporáku boli $2,65 \times 10^5$ častíc/cm³ PM_{0,1} a $12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}. Pri elektrickom sporáku boli koncentrácie menšie, a to $0,35 \times 10^5$ častíc/cm³ PM_{0,1} a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}. Pri ďalších meraniach sa meralo vyprážanie pri vyššej teplote a určitej miere ventilácie. Koncentrácia bola taktiež vyššia pri plynovom sporáku $6,04 \times 10^5$ častíc/cm³ PM_{0,1} a $63,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5} v porovnaní s elektrickým $1,65 \times 10^5$ častíc/cm³ PM_{0,1} a $22,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}.

Zo štúdie vyplýva, že miera emitovania častíc pri používaní plynového sporáku je porovnateľne vyššia ako pri varení na elektrickom sporáku. V priemere týchto meraní nastal pokles častíc PM_{2,5} o 42 % v prospech elektrického sporáku. Pri časticiach PM_{0,1} bol pokles výraznejší, a to až o 80 %, čo je takmer dvojnásobný pokles jemnejšej frakcie častíc. Tento rozdiel by mohol byť spôsobený samotným plynným plameňom, ktorý prispieva k tvorbe najmä ultra-jemných častíc viac ako elektrická špirála [34].

Spôsob varenia

Ďalšie rozdiely koncentrácie častíc vo vnútorných prostrediach počas varenia má za následok spôsob, akým je varenie prevádzané. Či už ide o vyprážanie, pečenie či dusenie, tak každý spôsob produkuje inak veľké koncentrácie jemných častíc.

V mestskej oblasti Soulu v Kórei sa v priebehu júla 2015 vykonávali merania koncentrácie emitovaných častíc v 30 bytových zariadeniach. Niektoré byty boli vybavené plynovým a ďalšie elektrickým sporákom. Bolo možné využívať ako prirodzené tak aj mechanické vetranie pomocou odsávača pár (digester) [33]. Priemerné hodnoty merania koncentrácie PM₁₀ a PM_{2,5} častíc pri rôznych spôsobov varenia zobrazuje obrázok 2.5.



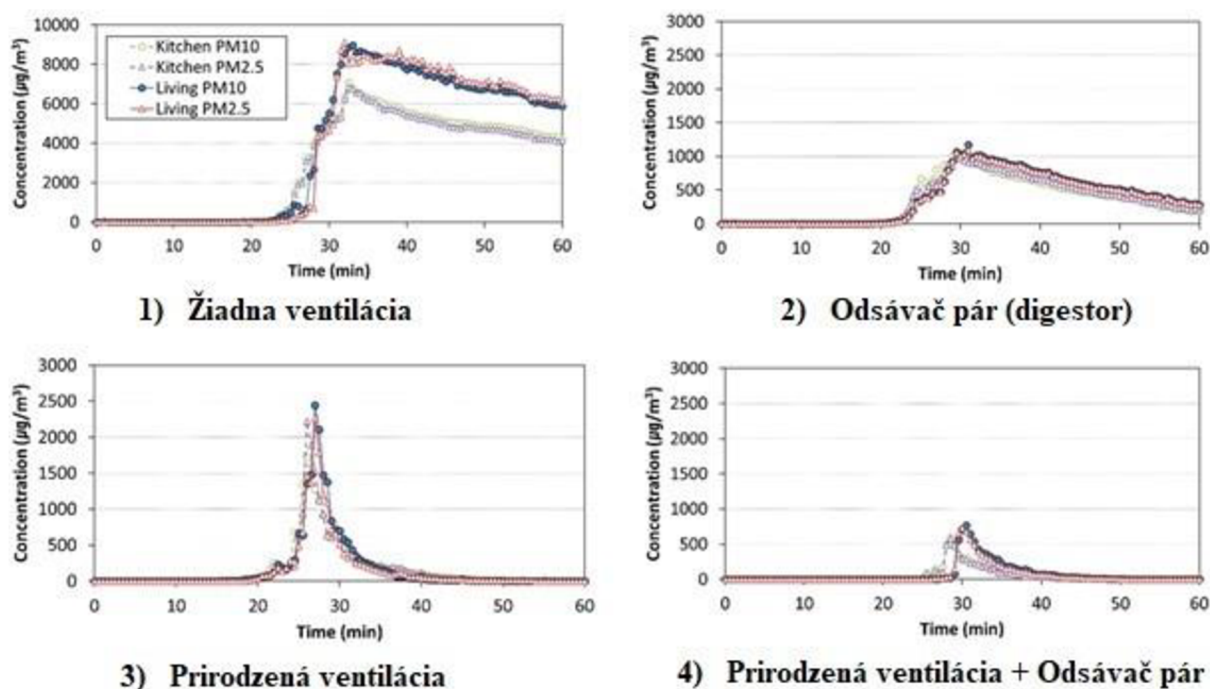
Obrázok 2.5 - Koncentrácia častíc PM₁₀ a PM_{2,5} pri troch typoch varenia [33]

Priemerná hodnota pri grilovaní potravín bola 1269 µg/m³ PM₁₀ a 1256 µg/m³ PM_{2,5}. V prípade vyprážania nastal pokles hmotnostnej koncentrácie o 63 % pri časticiach PM₁₀ a o 66 % pri časticiach PM_{2,5}. Tretí spôsob, ktorý bol meraný, bolo varenie polievky. Tu boli hmotnostné koncentrácie omnoho menšie. Konkrétne koncentrácia častíc PM₁₀ poklesla o 96 % a PM_{2,5} o 95 %. Najvyššie namerané koncentrácie boli 5960 µg/m³ PM₁₀ a 6320 µg/m³ PM_{2,5}. Obidve pri spôsobe varenia, ktorým bolo grilovanie [33].

Typ vetrania

V dnešnej dobe je veľmi populárne používať tzv. digestory, čo sú mechanické odsávače pár počas varenia. Tie zabezpečujú určitú formu vetrania vnútorných priestorov. Avšak použitie týchto odsávačov pár nie je úplne uspokojivé a dostatočné na odstránenie jemných častíc. A to z dôvodu, že výkon takýchto odsávačov pár je ovplyvnený vzduchotesnosťou, prirodzeným vetraním, ale aj umiestnením, tvarom a objemom vzduchu v budove, ktorý pri prirodzenom vetraní, či netesnostiach nie je rovnaký [33].

Koncentrácie častíc majú schopnosť zotrvať vo vnútornom ovzduší po dobu až 14 hodín, pokiaľ nie je zapríčinené vetranie. Takisto koncentrácia nepretrváva len v miestnosti, v ktorej sa nachádzal zdroj emitovania častíc, ale prenáša sa aj do priľahlých miestností. Pri otvorených dverách vo väčšej miere, pri zavretých v menšej, ale určite nie nulovej miere [33].



Obrázok 2.6 - Koncentrácia častíc PM_{10} a $PM_{2,5}$ podľa typu vetrania [33]

Obrázok 2.6 predstavuje grafy koncentrácie jemných častíc a ich časovej zotrvačnosti v miestnostiach na základe typu vetrania. V prvom prípade, kedy nie je zabezpečená žiadna ventilácia, sa koncentrácia častíc rýchlo zvýši na $9136 \mu\text{g}/\text{m}^3$ od začiatku varenia a potom bola udržiavaná na hodnote $6111 \mu\text{g}/\text{m}^3$, prípadne $4125 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Po uvarení bola dokonca koncentrácia častíc v kuchyni nižšia ako v priľahlej obývacej izbe kvôli disperzii jemných častíc.

V druhom prípade bol zapnutý odsávač pár (digestor). Pri tomto meraní bola koncentrácia častíc v kuchyni aj izbe znížená v porovnaní s prvým prípadom. Takisto aj najvyššia nameraná koncentrácia bolo menšia o 86 % ako v prvom prípade. Po ukončení varenia sa koncentrácia PM_{10} ustálila na hodnote $284 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v izbe a $212 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v kuchyni. Avšak táto koncentrácia zostáva v kuchyni a izbe po dlhú dobu a vnútorný priestor nie je teda účinne vyvetraný.

V treťom prípade boli otvorené okná v izbe pre prirodzené vetranie a digestor nebol v prevádzke. Koncentrácia sa rýchlo zvýšila na hodnotu $1729 \mu\text{g}/\text{m}^3$ prípadne $2443 \mu\text{g}/\text{m}^3$ po 5 minútach varenia, ale už po 18 až 21 minútach koncentrácia klesla na hodnoty zhodné s hodnotami pred začiatkom varenia, prípadne ešte nižšie. Z toho vyplýva, že prirodzené vetranie je veľmi účinné na odstránenie jemných častíc, pokiaľ by vonkajšie prostredie nebolo ešte viac znečistené ako to vnútorné.

V poslednom prípade bolo použité ako aj prirodzené vetranie, tak aj vetranie pomocou digestoru. Najvyššia koncentrácia častíc sa pohybovala v rozmedzí od $578 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $765 \mu\text{g}/\text{m}^3$, čo je najnižšia hodnota zo všetkých prípadov. Po 6 až 7 minútach sa koncentrácia znížila pod $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Použitie prirodzeného vetrania spolu s prevádzkou digestora zvýšilo rýchlosť vetrania a zostávajúce jemné častice boli kontinuálne odstraňované [33].

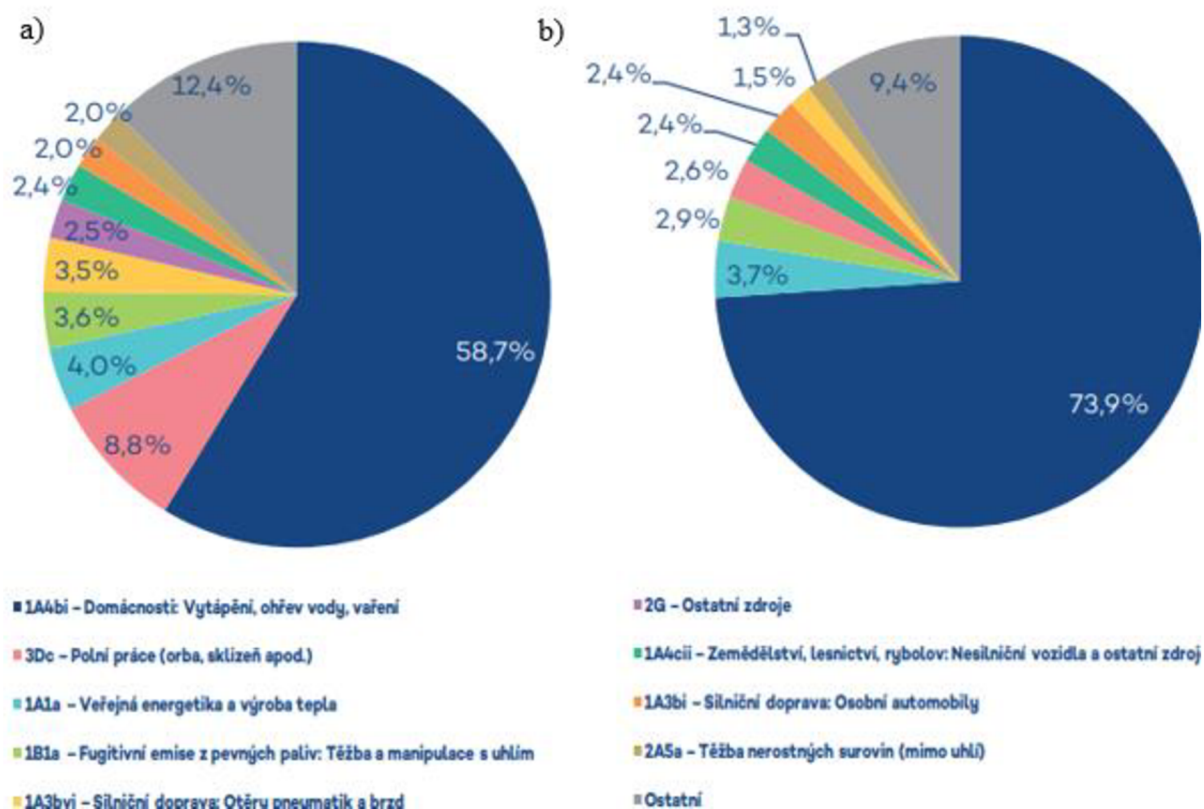
Z týchto meraní nám vyplýva, že pri použití digestora je najvyššia nameraná koncentrácia nižšia až o 86 % oproti prípadu, kedy nebola použitá žiadna ventilácia, ale po ukončení varenia bol pokles častíc pozvoľný a častice tak dlhšiu dobu ostávali v miestnosti. Pri prirodzenej ventilácii ako type vetrania bola najvyššia nameraná koncentrácia o 73 % menšia v porovnaní so žiadnou ventiláciou, a o 13 % väčšia v porovnaní s digestorom. Avšak po ukončení varenia sa častice znížili omnoho rýchlejšie a vzduch v miestnosti bol skôr čistejší. Ako najúčinnjší spôsob vetrania pri varení sa môže považovať kombinácia digestora a prirodzeného vetrania. Pri tomto spôsobe vetrania bola najvyššia nameraná koncentrácia až o 92 % nižšia a zároveň proces eliminácie častíc po varení bol efektívnejší a rýchlejší.

2.10.2 Vykurovanie

Ďalším zdrojom, pomocou ktorého sa jemné častice dostávajú nielen do vonkajšieho ale aj vnútorného ovzdušia, je vykurovanie. Každý jeden druh vykurovania zabezpečuje určité emitovanie častíc, no ich koncentrácia záleží práve na type zdroja vykurovania, na použitom palive, na obsahu kyslíka, efektívite horenia a dosahovanej teplote. Medzi vykurovacie systémy, ktoré produkujú najviac jemných častíc, patria krby alebo kotly na tuhé palivá. Spaľovanie uhlia, dreva, peliet či biomasy sú hlavným prispievateľom PM častíc do ovzdušia. Do vnútorného prostredia sa častice vo veľkej miere dostávajú najmä pri rozkurovaní alebo prikladaní paliva. Vplyv technológie a účinnosti kotlov a ich emisná trieda podľa požiadaviek Ekodesign veľmi ovplyvňujú mieru znečistenia ovzdušia (najmä vonkajšieho) [35].

Z obrázku 2.7 je vidieť, že najväčším zdrojom emisií častíc v roku 2018 bola práve domácnosť a to najmä domáce vykurovanie, ohrev vody a varenie. Pre PM_{10} to predstavuje 58,7 % a pre $\text{PM}_{2,5}$ až 73,9 % z celkovej produkcie emisií častíc [36].

Medzi vykurovacie systémy, ktorých dopad na znečistenie ovzdušia jemnými časticami považujeme za menší, patria vykurovanie radiátormi alebo podlahové vykurovanie. Avšak aj tieto zdroje majú značnú zásluhu na výskyte PM častíc. Častice sa zvyknú ukladať na blízkych povrchoch, ktorých teplota je vyššia v dôsledku vykurovania [37].

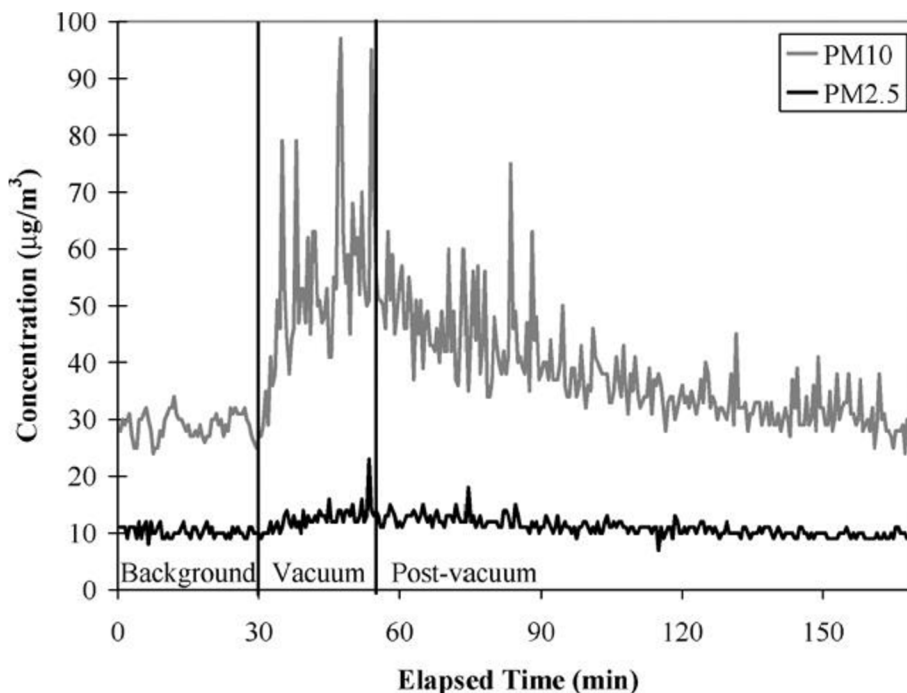


Obrázok 2.7 Podiel sektorov NFR (Nomenclature for Reporting) na celkových emisiách
a) PM₁₀ a b) PM_{2,5} [36]

2.10.3 Upratovanie a iná ľudská aktivita

Jemné častice, ktoré už sú vyprodukované niektorým zo zdrojov, sa zvyknú po určitom čase ukladať a usadzovať na povrchy, ktoré sa v budovách nachádzajú. Môže to byť podlaha, nábytok či rôzne spotrebiče. Tieto usadené častice ostávajú v pokoji, pokiaľ im niečo nedá podnet na to, aby sa opäť začali emitovať do prostredia. Takýmto podnetom je vo väčšine prípadov ľudská aktivita. Obyčajný pohyb v domácnosti rozvíri vzduch a častice začnú poletovať v okolí. Len obyčajný vstup do miestnosti a chôdza môže zvýšiť koncentráciu jemných častíc o 100 % [38]. Ďalšou aktivitou zapríčiňujúcou produkciu PM častíc je upratovanie. Utieranie prachu, vysávanie alebo luxovanie. Tieto aktivity už len tým, že ich človek vykonáva a pritom sa pohybuje, víri vzduch a častice sú emitované do prostredia. Navyše prístroje, ktoré využíva, ako napríklad vysávač, parný čistič či žehlička tiež produkujú ďalšie jemné častice. Chôdza po laminátovej podlahe emituje menej jemných prachových častíc ako pri rovnako zaprášenom koberci, kde sa prach drží na povrchu koberca. Avšak vysávanie laminátovej podlahy emitovalo do vzduchu viac častíc PM₁₀ ako pri vysávaní koberca [39].

Obrázok 2.8 znázorňuje meranie častíc PM₁₀ a PM_{2,5} v obytnom dome pred, počas a po vysávaní. Z grafu je možné vyčítať, že koncentrácia častíc PM_{2,5} mala len malý nárast, hlavne ku koncu vysávania. Naproti tomu nárast koncentrácie PM₁₀ bol veľmi prudký, počas vysávania dosahoval koncentráciu až 100 µg/m³ a keď sa vysávanie skončilo, tak koncentrácia začala pozvoľne klesať. Koncentrácia sa asi až po 120 minútach po ukončení vysávania dostala na hodnoty pred vysávaním [40].



Obrázok 2.8 - Koncentrácia častíc PM_{10} a $PM_{2,5}$ pri vysávaní [39]

Obmedzenie koncentrácie častíc ľudskou aktivitou je veľmi náročné, pretože každý sa v domácnosti pohybuje a takisto upratovanie je dôležité. Pravidelným a častým upratovaním dokonca môžeme znížiť koncentráciu častíc, ak sa nám pritom podarí viac častíc odstrániť ako vyprodukovať.

Ostatnými zdrojmi, ktorými ľudia produkujú značné množstvo častíc, sú predovšetkým fajčenie cigariet, pálenie sviečok alebo vonných tyčiniek, používanie sprejov, ako napríklad lak na vlasy či antiperspirant.

2.11 Čistenie ovzdušia v domácnosti

Jemné častice rozptýlené v interiéri, ktoré sa vyprodukovali zo zdrojov PM častíc spomenutých v predchádzajúcej kapitole, je možné aj účinne odstraňovať. Po odstránení týchto častíc bude ovzdušie v obydliach nielen čistejšie, ale predovšetkým zdravšie pre ľudský organizmus.

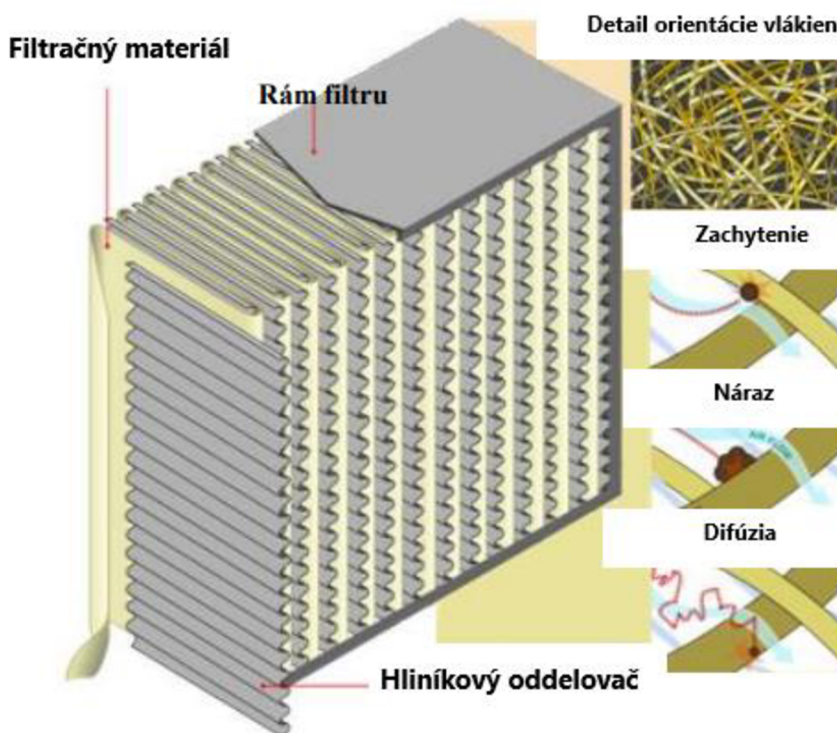
Existujú dva rozličné typy čističov ovzdušia používaných v domácnostiach. Prvý typ čističov pracuje na princípe mechanických filtrov. Do zariadenia je nasávaný vzduch z prostredia, ktorý následne prechádza cez priestor určený na filtráciu. Jemné častice sú zachytávané a usadzujú sa na filtračnom materiáli. Tento typ čističov je veľmi účinný, avšak po dlhšej dobe používania vznikajú tlakové straty a výkon kvôli veľkému množstvu zachytených častíc na filtračnom materiáli je obmedzený. Vo filtroch následne treba vymeniť filtračný materiál, prípadne celý filter nahradiť za nový. Druhý typ čističov je už o niečo zložitejší. Pracuje na fyzikálnom princípe elektrického náboja a chemickom procese ionizácie.

2.11.1 HEPA filtre

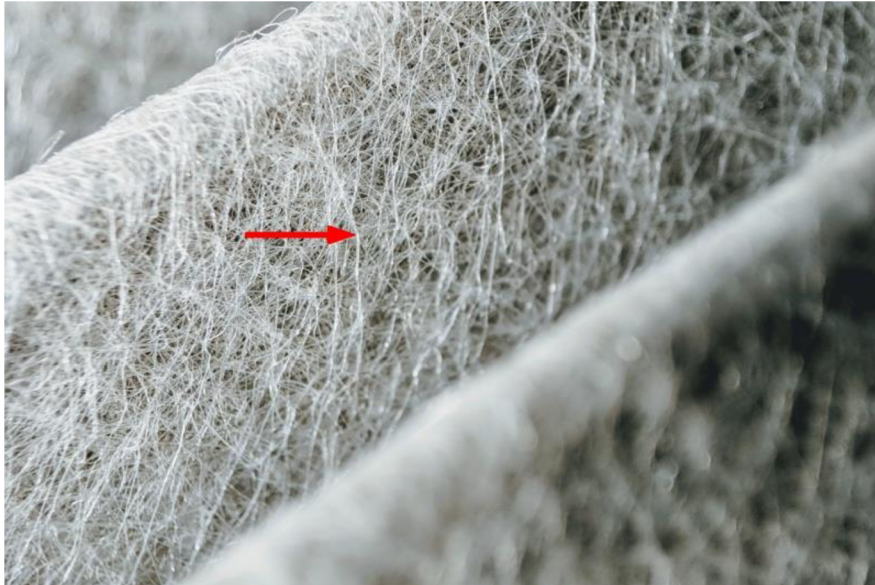
HEPA filtre (z anglického High efficiency particulate air filters) - ide o vysokoúčinnú filtráciu vzduchu a zachytávanie PM častíc. Sú to filtre vzduchu, ktoré sú navrhnuté tak, aby s veľmi veľkou účinnosťou dokázali zachytiť veľmi malé častice emitované v ovzduší. HEPA filtre musia spĺňať štandard, ktorý v roku 1983 stanovilo Americké ministerstvo energetiky (DOE). Normy sú nastavené tak, že filtre musia byť schopné zachytávať všetky častice, ktoré sú rovné alebo väčšie ako $0,3 \mu\text{m}$ a to s účinnosťou najmenej 99,97 % [41].

Prvá myšlienka k návrhu HEPA filtrov sa zrodila v 40. rokoch 20. storočia výskumnou spoločnosťou Arthur D. Little v rámci projektu Manhattan. Projekt sa zaoberal vývojom prvej atómovej bomby a cieľom filtrov bolo obmedzenie šírenia rádioaktívnej kontaminácie. Vývojári pracovali na schopnosti zachytávať pevné častice vzniknuté skondenzovaním plynov a kvapalných aerosólov na tuhú formu. Vďaka vysokej účinnosti filtrov sa začali označovať ako absolútne filtre a následne po roku 1950 boli komerčne predstavené a dostali obchodný názov HEPA filtre. Predávali sa najmä na elimináciu pevných častíc, vírusov, baktérií, plesní či peľu vo vnútornom ovzduší. Inštalácia filtrov prebiehala prevažne v nemocniciach alebo spoločnostiach na výrobu farmaceutických výrobkov. Zavedenie prísnych zákonov o znečistení ovzdušia v 70. a 80. rokoch zvýšil povedomie o HEPA filtroch a začali sa inštalovať vo veľkom do firiem, kancelárií, lietadiel, ale aj do domácností. Dnes sa označenie HEPA používa primárne v USA a v Európe sú označené ako filtre triedy S [42; 43].

HEPA filtre sú mechanické filtre vyrobené z niekoľkých stoviek tisíc pevne prepletených sklenených vlákien o priemere 0,5 až 2 μm . Tieto vlákna sú skrútené a otočené do nespočetne veľa smerov tak, aby vytvorili vláknité bludisko, do ktorého sa zachytávajú častice a nečistoty, vid' obrázok 2.9 a obrázok 2.10. Následne čistý vzduch zbavený nečistôt opúšťa filter. Tieto filtre patria medzi najrozšírenejšie a najpoužívanejšie čističe vzduchu v domácnostiach [44].



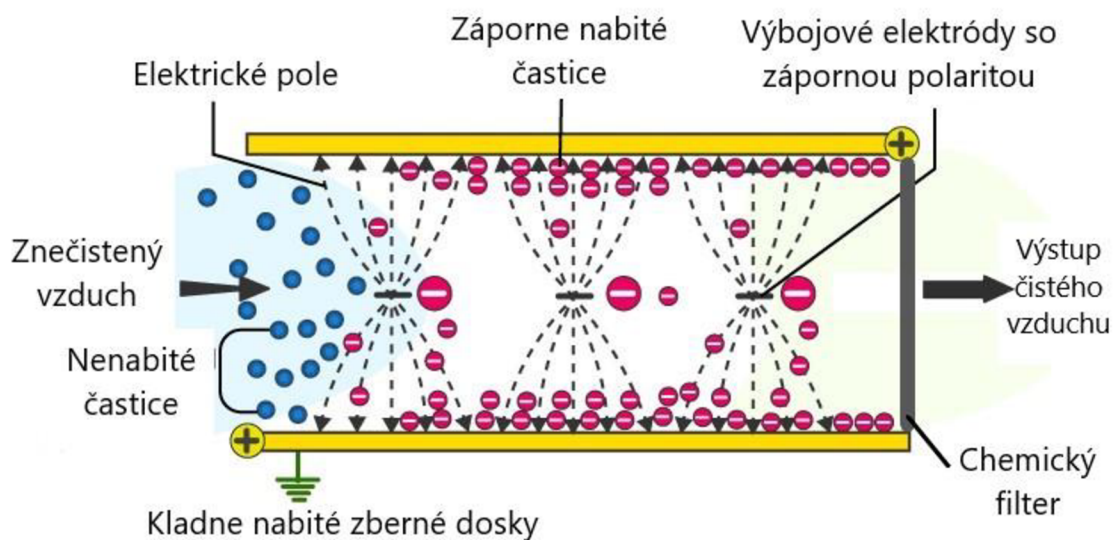
Obrázok 2.9 - HEPA filter s funkčným popisom [45]



Obrázok 2.10 - Vlákna HEPA filtru pod mikroskopom [44]

2.11.2 Elektrostatické odlučovače

Elektrostatický odlučovač alebo tiež elektrostatický čistič vzduchu je zariadenie na čistenie ovzdušia, ktoré využíva fyzikálny princíp elektrostatickej sily na zachytávanie a zadržiavanie pevných častíc, iných nečistôt a kvapôčok aerosólov emitovaných vo vzduchu. Pozostáva z mechanického filtru na odstránenie najväčších častíc, následne prebieha proces ionizácie, kedy sú častice nabité na rovnaký, kladný náboj. Kladne nabité častice prechádzajú do ďalšej časti, kde sa nachádzajú záporne nabité elektródy a zberné dosky, ktoré priťahujú kladne častice a tie na nich ostávajú zachytené. Odlučovač zachytáva častice bez toho, aby výrazne bránil toku plynu, vid' obrázok 2.11. Tento plyn ešte zvykne v poslednej časti odlučovača prechádzať cez chemický filter, ktorý zachytáva plynné zložky a zápach. Zachytené častice na elektródach a zberných doskách sa čistia pretrepávaním či zoškrabaním a zlikvidujú sa bezpečným, ekologickým spôsobom [46].



Obrázok 2.11 - Pracovný princíp elektrostatického odlučovača [47]

História elektrostatických odlučovačov siaha do začiatku 20. storočia, kedy americký profesor a chemik Dr. Frederick Gardner Cottrell z Kalifornskej univerzity v Berkeley, požiadal na základe experimentov o patent na zariadenie, ktoré nabilo častice a zhromažďovalo ich pomocou elektrostatickej sily. Toto zariadenie ako prvé našlo využitie na zber hmly s kyselinou sírovou a výparov oxidu olovnatého, ktoré poškodzovali vinice v severnej časti Kalifornie [48].

Hoci sú elektrostatické odlučovače účinné, avšak ich využitie je prevažne len pre priemysel. Do domácnosti sa používajú minimálne. Je to spôsobené jedným konkrétnym rizikom, ktorým je ozón. Ozón, ale aj oxidy dusíka, sú vedľajším produktom procesu nabíjania častíc a uvoľňujú sa tak do ovzdušia. Takže v skutočnosti toto zariadenie vytvára ozónové znečistenie, ktoré môže mať vplyv na zdravotné problémy. Z tohto dôvodu sú HEPA filtre efektívnejšie, použiteľnejšie a zdravšie pre domácnosti [48].

Ďalšou formou pre zlepšenie a čistenia vzduchu sú ultrafialové čističe vzduchu. Tieto zariadenia však nezachytávajú pevné častice, pretože neobsahujú žiadny filter. Ultrafialové čističe sú zamerané na odstraňovanie škodlivých mikrobiálnych častíc, ako sú rôzne mikroorganizmy, baktérie alebo vírusy. Tieto častice nie sú zachytávané na filtri, ale priamo lúč ultrafialového svetla ich osvieti, tým dôjde ku genetickým a bunkovým zmenám, čo ich v konečnom dôsledku úplne zničí. Táto forma čistenia pomáha pacientom s alergiami, astmou či pľúcnymi problémami [49].

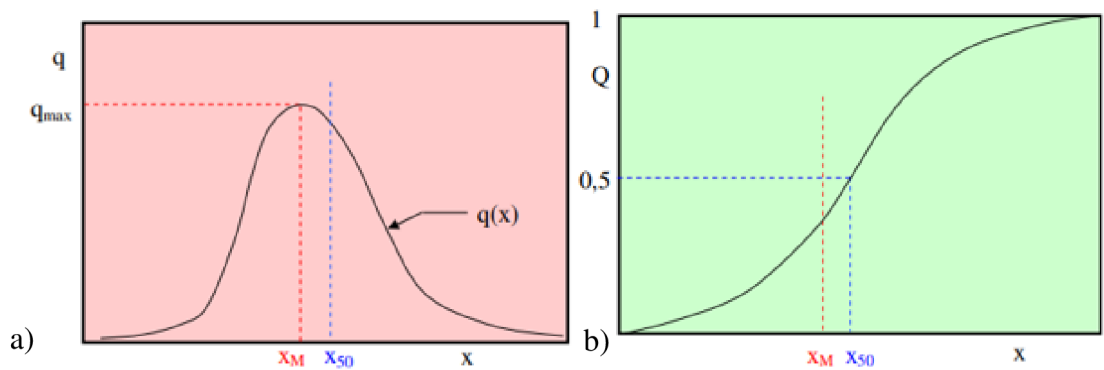
2.12 Techniky využívané pre meranie jemných častíc

Každá domácnosť, kancelária, či škola má rozličnú mieru znečistenia vzduchu. Niektoré sú na tom lepšie a iné zas horšie. Pre ľudí, ktorí väčšinu svojho života trávia práve v týchto priestoroch, je kvalita ovzdušia zásadná. Preto hlavný dôraz je kladený na sledovanie a monitorovanie zloženia vzduchu a prítomnosti látok a častíc negatívne vplyvujúcich na zdravie človeka. Existuje niekoľko techník a metód na meranie jemných častíc emitovaných vo vnútornom ovzduší. Tieto metódy sú delené podľa toho, či ide o meranie veľkosti alebo koncentrácie častíc.

2.13 Meranie veľkosti častíc

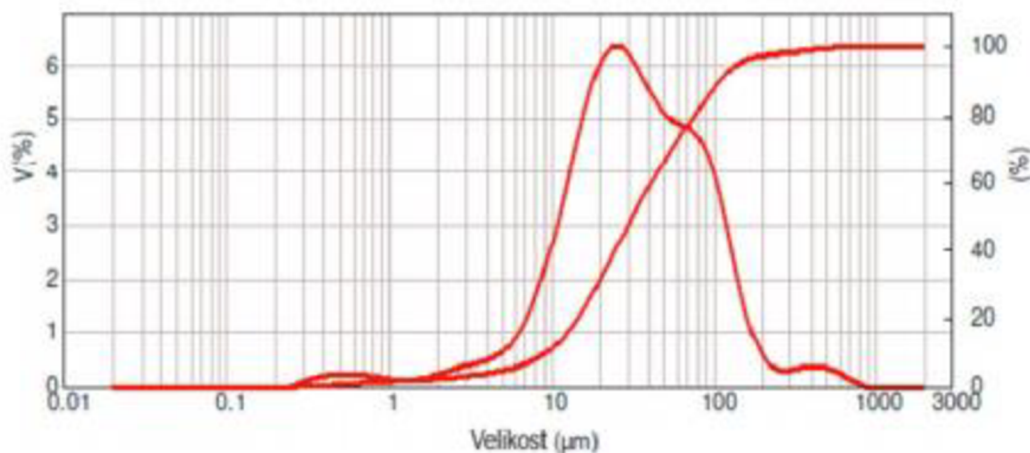
Ide o metódy merania, kedy sa merajú tzv. distribučné veľkosti častíc. Takže nie je zisťovaná veľkosť iba jednej častice, ale nameria sa priemer veľkosti častíc distribuovaných v určitom priestore a čase [50].

Na vyjadrenie sa najčastejšie používa distribučná krivka, resp. distribučný histogram a kumulatívna krivka. Distribučná krivka je deriváciou kumulatívnej krivky a pomocou nej je možné zistiť, aký percentuálny podiel z celkového počtu častíc pripadá na častice s určitou veľkosťou. Pre znázornenie zvyšovania podielu častíc v určitom analyzovanom systéme pri postupnom zväčšovaní veľkosti častíc sa používa kumulatívna krivka. Výsledná podoba distribučnej a kumulatívnej krivky závisí od metódy, ktorá je na meranie častíc použitá [51].



Obrázok 2.12 - Frekvenčná distribučná krivka a), kumulatívna krivka b) [51]

Obrázok 2.12 a) predstavuje frekvenčnú distribučnú krivku (g – počet častíc, x – veľkosť častíc, x_M – rozmer najväčšieho počtu častíc, q_{max} – počet častíc s najväčším rozmerom, x_{50} – stredná hodnota rozmeru častíc – medián). A obrázok 2.12 b) predstavuje kumulatívnu krivku (Q – relatívny počet častíc s rozmerom x vzťahovaný, x – veľkosť častíc, x_M – rozmer najväčšieho počtu častíc, x_{50} – stredná hodnota rozmeru častíc – medián) [51].



Obrázok 2.13 - Objemová distribúcia veľkosti častíc získaná z laserovej difrakcie [52]

Na obrázku 2.13 je konkrétny graf s hodnotami objemových distribúcií získanými metódou obrazovej analýzy a laserovej difrakcie. Znáznomená je distribučná aj kumulatívna krivka [40₂].

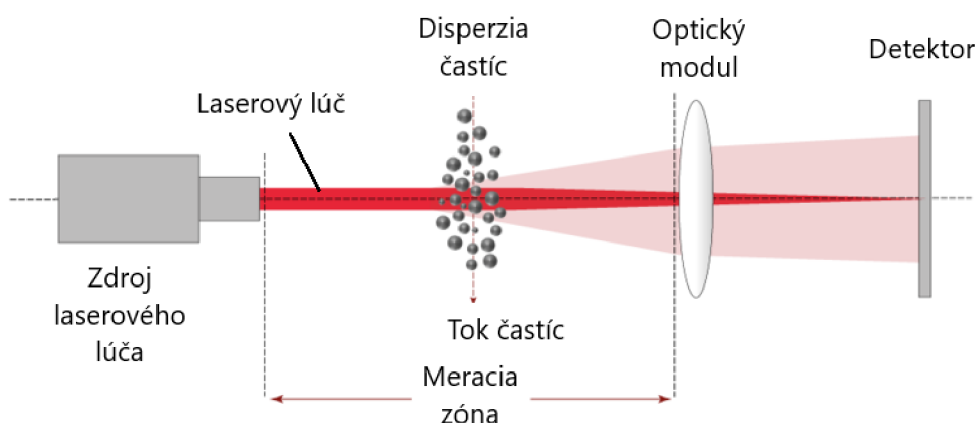
Meranie distribúcie veľkostí jemných častíc v ovzduší sa nerobí len raz, ale všeobecne sa vykonáva kombináciou niekoľkých meraní vzorky. Častice sú namerané, klasifikuje sa distribučná veľkosť a následne sú detegované a vyhodnocované optickými prístrojmi alebo elektrometrami. Dáta z nich vytvorené môžeme preniesť do počítača a pomocou programov na to určených ďalej pracujeme s nameranými informáciami. Pri meraní distribúcie veľkosti častíc sú využívané fyzikálne vlastnosti a procesy, ako napríklad difúzia, Brownov pohyb, aerodynamika či optická a elektrická pohyblivosť [50].

2.13.1 Laserová difrakcia

Laserová difrakcia alebo laserová difrakčná spektroskopia patrí medzi najefektívnejšie a najpoužívanejšie metódy na určovanie veľkosti častíc. Dokáže identifikovať a zmerať distribučnú veľkosť častíc v širokom rozsahu od 20 nm až po 2000 μm .

Za vznik teórií, ktoré definujú fungovanie laserovej difrakcie, sú považovaní nemeckí fyzici Joseph von Fraunhofer a Gustav Mie. Teória podľa Fraunhofera bola predstavená začiatkom roku 1800. Išlo o matematický popis difrakcie svetla na častice dvojrozmerného tvaru pri danej vlnovej dĺžke a maximálnom rozptyle svetla. Následne až potom, ako James Clerk Maxwell predstavil svoje rovnice, definujúce vzťah elektriny s magnetizmom, bolo možné vytvoriť presnú teóriu rozptylu svetla. O ňu sa postaral v roku 1908 Gustav Mie. Táto teória už pracuje s relatívnou intenzitou rozptýleného svetla ako funkcie veľkosti častíc, uhlu pozorovania a vlnovej dĺžky. Na rozdiel od Fraunhoferovej metódy, metóda podľa Mieho je schopná modelovať rozptyl, ktorý je výsledkom lomu, odrazu a absorpcie svetla vznikajúceho pri interakcii svetla s trojrozmerným objektom (časticou) [53].

Obrázok 2.14 znázorňuje princíp tejto metódy. Ide o vzájomný vzťah medzi rozptylom laserového lúča a veľkosťou povrchu častice. Svetlo z laserového lúča dopadá na povrch častice, pri prechode časticou dochádza k lomu svetla, a tým pádom sa mení uhol svetelného lúča. Na základe informácie o intenzite a veľkosti uhla, pod ktorým sa laserový lúč láme, dokáže detektor analyzovať a určovať, o akú veľkosť častice ide. Častice s veľkým aerodynamickým priemerom rozptyľujú svetlo v malom uhle s vysokou intenzitou a naopak pri malých veľkostiach častíc je uhol veľký a intenzita menšia. Avšak ak dôjde k odrazu či absorpcii svetla, tak je to pre takéto meranie kontraproduktívne a musí sa s tým vysporiadať systém pri výpočte veľkosti častíc.



Obrázok 2.14 - Pracovný princíp laserovej difrakcie [54]

Medzi výhody, ktoré plynú z použitia metódy laserovej difrakcie, patria:

- široký dynamický rozsah zaznamenania veľkostí častíc,
- rýchlosť merania a krátka doba generovania výsledkov,
- možnosť opakovaných meraní, pri ktorých sa zanalyzuje veľké množstvo častíc,
- okamžitá spätná väzba (neustále monitorovanie),
- kalibrácie nie je potrebná,
- osvedčená technika.

Najmä vďaka týmto výhodám je táto metóda v porovnaní s inými jednoduchšia, rýchlejšia a používanjšia [55; 56].

2.13.2 Gravitačná sedimentácia

Pri metóde gravitačnej sedimentácie je meraná a analyzovaná rýchlosť, pri ktorej sa častice postupne usádzajú v kvapalnom prostredí. Keďže je táto metóda založená na samotnej gravitácii, čo je interakcia medzi zemskou príťažlivosťou a hmotnými objektami, tak rýchlosť

usadzovania je priamoúmerne závislá na hmotnosti častíc. Hmotnosť jednotlivých častíc je zase určená veľkosťou a hustotou. Veľké častice sú usadzované porovnateľne rýchlejšie ako častice o menšom priemere a s menšou hustotou. Tie nemusia byť usadené vôbec [57].

Základným pilierom, na ktorom táto metóda stojí, je dnes známy Stokesov zákon. V roku 1851 anglicko-írsky fyzik a matematik George Gabriel Stokes odvodil a sformuloval zákon pre odporovú silu pôsobiacu na sférické objekty priťahované zemskou príťažlivosťou. Na základe Stokesovho zákona môžeme popísať metódu gravitačnej sedimentácie, avšak musíme dbať na to, že ekvivalentný priemer častice je definovaný ako priemer dokonale hladkej, tuhej gule s rovnakou hustotou, ktorá sa v suspenzii usadzuje s rovnakou vertikálnou rýchlosťou pri laminárnom prúdení [58].

V reálnej situácii však každá častica má svoj rozličný tvar, veľkosť a hustotu (nemožno ju považovať za dokonalú). V dnešnej dobe sa rýchlosť, akou sa častice usadzujú, určuje meraním röntgenového prenosu v kvapalnom prostredí v konkrétnych výškach a časových intervaloch. Na základe rozdielu rýchlostí a rozdielu hmotností sa počíta s distribúciou veľkosti častíc [59]. Meranie touto metódou je uskutočnené v krátkom časovom rámci, a preto nie je schopné zachytiť príliš veľké častice usadené za veľmi krátku dobu. Taktiež príliš maličké častice, ktoré nie sú schopné sedimentácie a vplyvom Brownovho pohybu sú rozptýlené v celom priestore. Pre lepšiu sedimentáciu by bolo lepšie použiť nie gravitáciu, ale odstredivú silu. V prístroji, ako je ultracentrifúga, je slabá gravitačná sila nahradená omnoho vyššou odstredivou silou. Pod vplyvom odstredivej sily dokážu sedimentovať aj tie najmenšie častice [60; 61].

2.14 Meranie koncentrácie častíc

Meranie koncentrácie jemných častíc v prostredí, v ktorom ľudia trávajú množstvo času, je druhým typom metód, ktorými môžeme merať nielen veľkosť častíc, ale aj analyzovať ich koncentráciu. Časové a priestorové koncentrácie sa v každom vnútornom priestore významne líšia. Pre obavy z účinkov vystavenia sa PM časticiam na zdravie je dôležité monitorovanie miest, v ktorých ľudia trávajú najviac času. Používané meracie prístroje sú založené na rôznych princípoch merania koncentrácie jemných častíc. Zaznamenávaná môže byť koncentrácia počtu, objemu hmoty, ale aj plochy povrchu častíc. Ide len o to, ktorú z metód konkrétne prístroje využívajú.

Pre meranie koncentrácie jemných častíc v ovzduší sa používa množstvo metód a prístrojov. Dve najpoužívanejšie metódy budú spomenuté nižšie.

2.14.1 Gravimetrická metóda

Táto metóda sa používa pri určovaní koncentrácie jemných častíc emitovaných v ovzduší, ale aj koncentrácie spalín distribuovaných prostredníctvom spaľovania tuhých palív pri domácom vykurovaní či ohreve vody v kotloch. Prístroje používajúce gravimetrickú (vážiacu) metódu sa považujú za jedny z najpresnejších pri meraní koncentrácie častíc PM₁₀ [62].

Princíp, na ktorom je táto technika založená, spočíva v nasávaní vzduchu, v ktorom sú koncentrované jemné častice, následnom zachytení na vopred predváženom filtri a po zachytení častíc je filter odvážený znova. Takže výsledná hmotnostná koncentrácia je stanovená odvážením filtra pred a po odbere vzorky, kedy je určený čistý prírastok hmotnosti, a následne je tento prírastok vydelený nameraným objemom vzorky. Gravimetrická metóda má aj tú výhodu, že častice zachytené vo filtri je možné analyzovať aj chemickými procesmi.

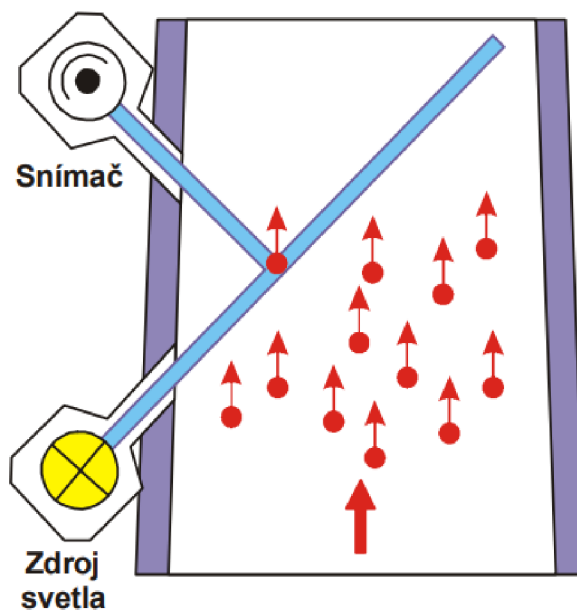
Stanovenie hmotnostných koncentrácií jemných častíc je veľmi závislé od podmienok a množstva kondenzovania na filtri. Preto je vyžadovaná starostlivá úprava filtra a balenie za prísnych kontrolovaných podmienok teploty a vlhkosti. Dôležitý je aj vhodný výber filtra na

konkrétne podmienky. V najpoužívanejších a najstabilnejších filtroch sa používa sklenené vlákno spolu s fluorovaným polymérom PTFE (polytetrafluorethylén).

Pre správne výsledky merania je nevyhnutné presné váženie a dodržiavanie protokolov o vážení. Gravimetrická metóda je označovaná ako referenčná a používa sa pri meraní limitov znečistenia ovzdušia v rámci EÚ. Aplikácie tejto metódy sú užitočne najmä pri poskytovaní rýchlej predstavy koncentrácie PM častíc v ovzduší na danom mieste a pri určení miesta, ktoré je najintenzívnejšie znečistené. Je však spojená aj s vyššími prevádzkovými nákladmi, pretože je obmedzená na manuálny proces váženia [62].

2.14.2 Optické metódy

Optické metódy sú používané pre monitorovanie koncentrácie PM častíc v reálnom čase. Pre meranie sú využívané optické prístroje, ktoré sú založené na princípe rozptylu, absorpcie alebo zániku svetla spôsobeného prítomnosťou jemných tuhých častíc. Pri optickej detekcii sú častice osvetľované svetelným lúčom zdroja z fotometra, vid' obrázok 2.15. Tento lúč je v závislosti na koncentrácii častíc rozptýlený, sčasti alebo úplne absorbovaný, či úplne zanikne. Všetko je to snímané a zachytené fotodetektorom s vysoko citlivým fotoelektrickým sensorom. Následne systém prístroja vyhodnotí podnety senzora a dokáže určiť koncentráciu častíc v meranej oblasti. Zdrojom svetla v optických prístrojoch je väčšinou laserový lúč alebo LED dióda.



Obrázok 2.15 - Princíp merania koncentrácie častíc rozptylom svetla [63]

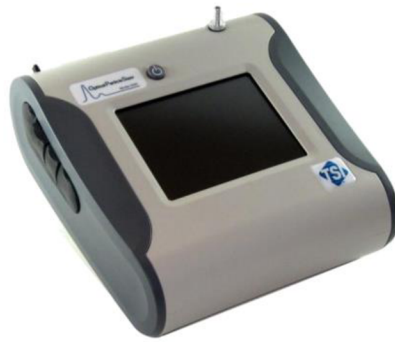
Medzi najpoužívanejšie prístroje, využívajúce túto metódu, patria optický analyzátor častíc (OPS – z anglického optical particle sizer) a optický čítač častíc (OPC – z anglického optical particle counter). Využívajú laserový lúč na osvetlenie emitovaných častíc a veľmi presný fotodetektor na meranie rozptýleného svetla. OPS a OPC prístroje sa vyznačujú schopnosťou merania v reálnom čase, nízkymi prevádzkovými nákladmi, ale aj nižšou presnosťou. Bývajú pravidelne kontrolované a kalibrované pomocou gravimetrických prístrojov. Obvykle sa používajú na výskum tuhých častíc [62].

3 PRAKTICKÁ ČASŤ

V rámci praktickej časti sú opísané experimentálne merania jemných častíc emitovaných vo vnútornom prostredí budov. Primárnym účelom experimentálneho merania bolo zistiť, ako sa zmení koncentrácia jemných častíc pri bežných procesoch, ktoré ľudia v domácnosti vykonávajú denne. Išlo najmä o domáce aktivity, ako sú upratovanie a varenie za rôznych podmienok, ale aj použitie zariadení ako je fén, aróma difuzér či zapálenie obyčajnej sviečky. Na meranie bol použitý optický spektrometer, ktorý zaznamenával početné koncentrácie jemných častíc v miestnosti.

3.1 Popis experimentálnej aparatúry

Prístroj, ktorý bol použitý na meranie, je spektrometer označovaný pod skratkou OPS (z anglického Optical Particle Sizer), teda v preklade optický analyzátor častíc. Konkrétne ide o model 3330 od americkej spoločnosti TSI znázornený na obrázku 3.1.



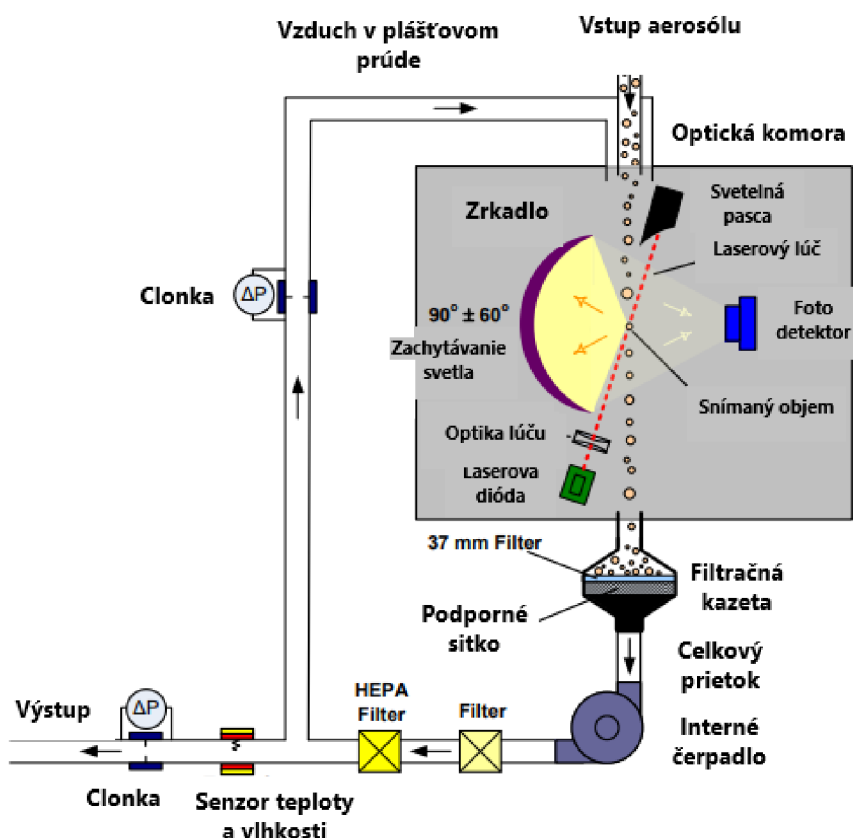
Obrázok 3.1 – OPS Model 3330 [64]

OPS spektrometer zabezpečuje pomerne presné meranie počtu a rozdelenia častíc s optickým priemerom v škále od 0,3 do 10 μm . Pracuje na princípe optického odrazu od jednotlivých častíc. Častice sú osvetľované laserovým lúčom v tvare tenkého lúča sústredeného pod vstupnú trysku. Ako častice prechádzajú cez tento lúč, rozptyľujú svetlo vo forme impulzov, ktoré sú súčasne počítané a rozdeľované podľa veľkosti. Koncentrácia meraná OPS spektrometrom je veľmi citlivá na prietok, a preto je tento prietok presne regulovaný na $1,0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \pm 5 \%$. Je tu tiež oddelený plášťový prúd s prietokom $1,0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, ktorý udržiava častice sústredené v snímanom objeme. Plášťový prúd je úplne uzavretý v rámci prístroja. Výstup z čerpadla je filtrovaný HEPA filtrom a recirkulovaný späť do komory s cieľom zabezpečiť plášťový prúd. Dva tlakové prevodníky monitorujú prietok aerosólu a plášťového prúdu a upravujú napätie čerpadla na udržiavanie prietokov v rámci ich špecifikácií [64].

Obrázok 3.2 znázorňuje častice, ktoré prechádzajú cez lúč a svetlo odrazené časticami je zachytávané na eliptickom zrkadle a sústredené na fotodetektor. Prebytočné laserové svetlo je sústredené na svetelnú pascu alebo laserovú klapku [64].

Celé spracovanie signálu sa vykonáva v elektronike prístroja. Limitné hodnoty sa nastavujú tak, že prístroj stále počíta 50 % z 0,3 μm častíc. Impulzy častíc sú počítané individuálne a sú usporiadané do 16 kanálov na základe výšky ich impulzov. Maximálny rozmer častice, ktorý je možné zaznamenať, je 10 μm . Častice nad 10 μm budú počítané, nie však rozdelené podľa veľkosti [64].

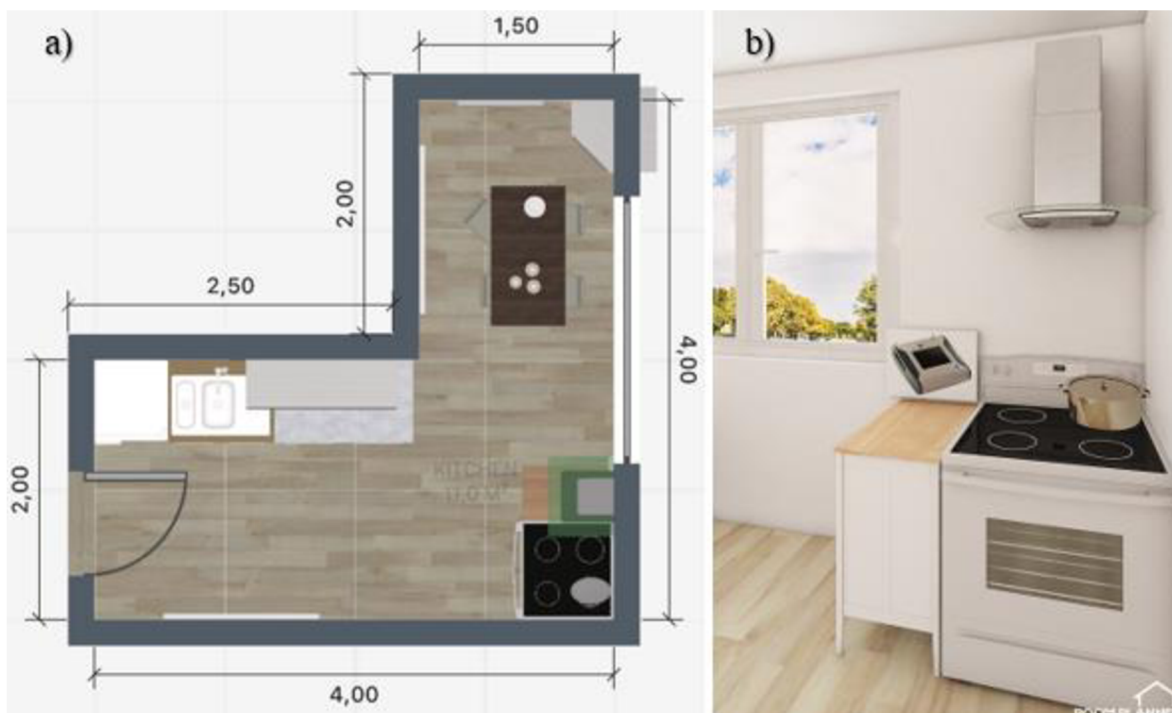
Častice vystupujúce z komory sú zachytávané na gravimetrickom filtri. Filter je vyberateľný a vzorkovaný aerosól sa môže použiť na chemickú analýzu po odobratí vzorky. Čerpadlo je chránené pred časticami kazetovým filtrom. Za čerpadlom sa nachádza hrubý filter a HEPA filter [64].



Obrázok 3.2 – Dráha prúdenia vzorky v prístroji OPS Model 3330 [64]

3.2 Popis merania jemných častíc

Meranie koncentrácie jemných častíc sa uskutočňovalo vo vnútornom prostredí obytného priestoru. Využité boli dve plne zariadené kuchyne, obidve o rozlohe približne 11 m^2 . Jedna bola vybavená elektrickým sporákom, elektrickou rúrou a oknom pre možnosť zabezpečenia prirodzenej ventilácie. V druhej kuchyni sa nachádzal plynový sporák, odsávač pár (digestor), a taktiež aj okno pre prístup vzduchu zvonka. V týchto kuchyniach sa merali častice, ktoré boli emitované počas varenia. Vždy za určitých podmienok a určitý čas prebiehali merania, ktoré budú podrobnejšie popísané v nasledujúcej kapitole (3.3). OPS spektrometer sa pri meraní nachádzal približne 60 až 80 centimetrov od zdroja produkujúceho častice, v tomto prípade od sporáku, na ktorom prebiehalo varenie. Schému rozloženia nábytku v miestnosti a taktiež aj umiestnenie samotného OPS spektrometra je možné vidieť na obrázku 3.3.



Obrázok 3.3 – Schéma kuchyne a) pohľad zhora b) pohľad z vnútra

Merania, pri ktorých bola sledovaná koncentrácia jemných častíc emitovaných pri upratovaní, zapálení sviečky, používaní aróma difuzéru či fénu na vlasy, prebiehali v izbe o rozlohe približne 16 m². Prirodzené vetranie v izbe je zabezpečené ventiláciou cez okno. OPS bol pri meraní umiestnený tak isto ako aj v kuchyni, približne 60 až 80 centimetrov od zdroja produkujúceho častice, v tomto prípade od sviečky, aróma difuzéru alebo fénu na vlasy. Upratovanie, ktoré bolo taktiež záujmom merania, zahŕňalo vysávanie, umývanie či utieranie prachu v celej izbe. Schému rozloženia nábytku v izbe a taktiež aj umiestnenie samotného OPS spektrometra je možné vidieť na obrázku 3.4.



Obrázok 3.4 - Schéma izby a) pohľad zhora b) pohľad z vnútra

Vykonané merania sa skladali z troch častí. Práva časť zahrňovala meranie tzv. pozadia, kde bola sledovaná koncentrácia častíc v priestore pred vykonaním činnosti. Tieto koncentrácie slúžili ako základné hodnoty pre vyhodnotenie. Koncentrácia pozadia bola sledovaná po dobu 5-10 minút. Následne sa začala druhá časť experimentu, ktorá zahrňovala analýzu koncentrácií častíc uvoľnených pri bežných, ba až každodenných činnostiach v domácnosti, ako varenie, upratovanie, spustenie difuzéra a fěnu. Po ukončení jednotlivých aktivít bola sledovaná opäť koncentrácia pozadia v miestnosti, kde bol kladený dôraz na vplyv aktivít na koncentráciu častíc a na rozptýlenie častíc v priestore. V miestnosti sa počas merania nachádzala vždy len jedna osoba a prístup do ďalších izieb bol eliminovaný zatvorenými dverami. Následne sa namerané dáta z OPS spektrometra importovali do počítača a spracovali v programe Excel.

3.3 Výsledky meraní

V tejto kapitole sú podrobne popísané a graficky znázornené výsledky jednotlivých meraní, ktoré boli vykonávané. Najskôr sú opísané merania varenia, ktoré prebiehali v kuchyni. Následne bude analyzovaná koncentrácia častíc pri upratovaní, zapálení sviečky či zapnutia aróma difuzéru a fěnu. Tieto merania prebiehali v izbe.

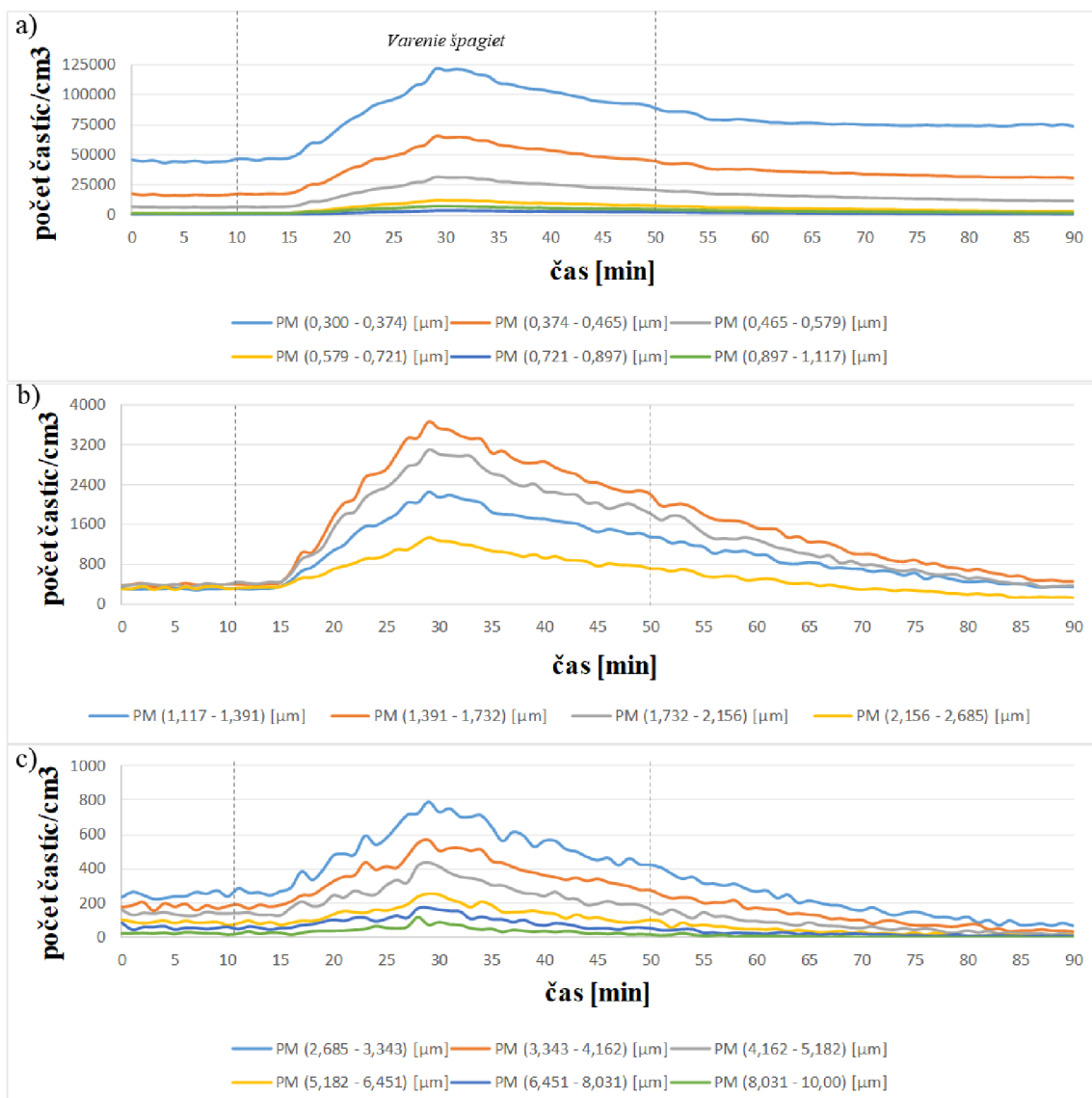
Priložené grafy znázorňujú závislosť početných koncentrácií častíc na čase. Meranie prebiehalo vždy pred, počas a po vykonaní aktivít ako varenie, upratovanie či používanie zariadení. Jednotlivé koncentrácie sú rozdelené do troch grafov. Prvý graf obsahuje koncentráciu najjemnejších častíc, ktoré boli merané. Ide o veľkosti častíc od 0,3 do 1,117 μm . Takže tento graf reprezentuje častice PM_{10} . Druhý graf reprezentuje častice $\text{PM}_{2,5}$, pretože znázorňuje koncentráciu častíc o veľkosti od 1,117 do 2,685 μm . V treťom grafe je priebeh najväčšej meranej koncentrácie a to sú častice o veľkosti od 2,685 do 10 μm . Ide o častice so spoločným názvom PM_{10} .

3.3.1 Varenie špagiet bez ventilácie

V priebehu tohto merania boli sledované emitované častice počas varenia špagiet. Toto varenie prebiehalo bez akejkoľvek ventilácie na elektrickom sporáku za použitia dvoch platní. Na jednej platni prebiehalo samotné varenie špagiet, kedy sa do hrnca nalialo približne 4 litre vody, ktorá bola privedená k varu. Nasledovalo vloženie špagiet do vriacej vody a varenie pod pokrievkou približne 10 minút za občasného premiešania. Na druhej platni sa v panvičke rozpálil olivový olej. Po rozpálení sa mierne znížila teplota platne a osmažila sa cibuľa. Následne boli pridané ďalšie ingrediencie pre prípravu omáčky. Celé varenie aj so zahrnutím rozpálenia platní prebiehalo po dobu približne 30 minút.

Na obrázku 3.5 je vidieť priebeh jednotlivých početných koncentrácií častíc pred, počas a po varení špagiet. Prvých 10 minút bolo venovaných ustáleniu častíc v miestnosti a zmerania počiatkovej koncentrácie častíc v kuchyni. V tomto čase sa nikto nenachádzal v miestnosti a ani neprebíhala žiadna aktivita. Najjemnejšia frakcia častíc PM_{10} bola ustálená na hodnote okolo 50 000 častíc/ cm^3 . Častice $\text{PM}_{2,5}$ dosahovali hodnoty 400 častíc/ cm^3 a PM_{10} zhruba 250 častíc/ cm^3 . Následne po tejto dobe sa začalo varenie. Už po zhruba 4 minútach po vstupe kuchára do kuchyne, začatím prípravy na varenie a rozpálením platne sa koncentrácie častíc začali zreteľne zvyšovať. Po 30 minútach od začiatku merania koncentrácia častíc PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ aj PM_{10} dosiahla maximum. V prípade najjemnejšej frakcie PM_{10} bola dosiahnutá hodnota 121832 častíc/ cm^3 , čo znamená, že došlo k nárastu koncentrácie o 143,7 % oproti počiatku. Maximálna hodnota $\text{PM}_{2,5}$ bola 3667 častíc/ cm^3 , takže nárast oproti počiatku až o 816,8 %. A hodnota PM_{10} dosiahla nárast o 216 % na hodnotu 790 častíc/ cm^3 . Tieto maximálne hodnoty boli dosiahnuté, keď špagety, ktoré sa varili vo vriacej vode, boli už takmer hotové, a tak bola odkrytá pokrievka, čo umožnilo odparenie množstva vody. Popritom sa v panvičke pripravovala omáčka, ktorá bola taktiež zhruba v tom čase privedená na teplotu varu.

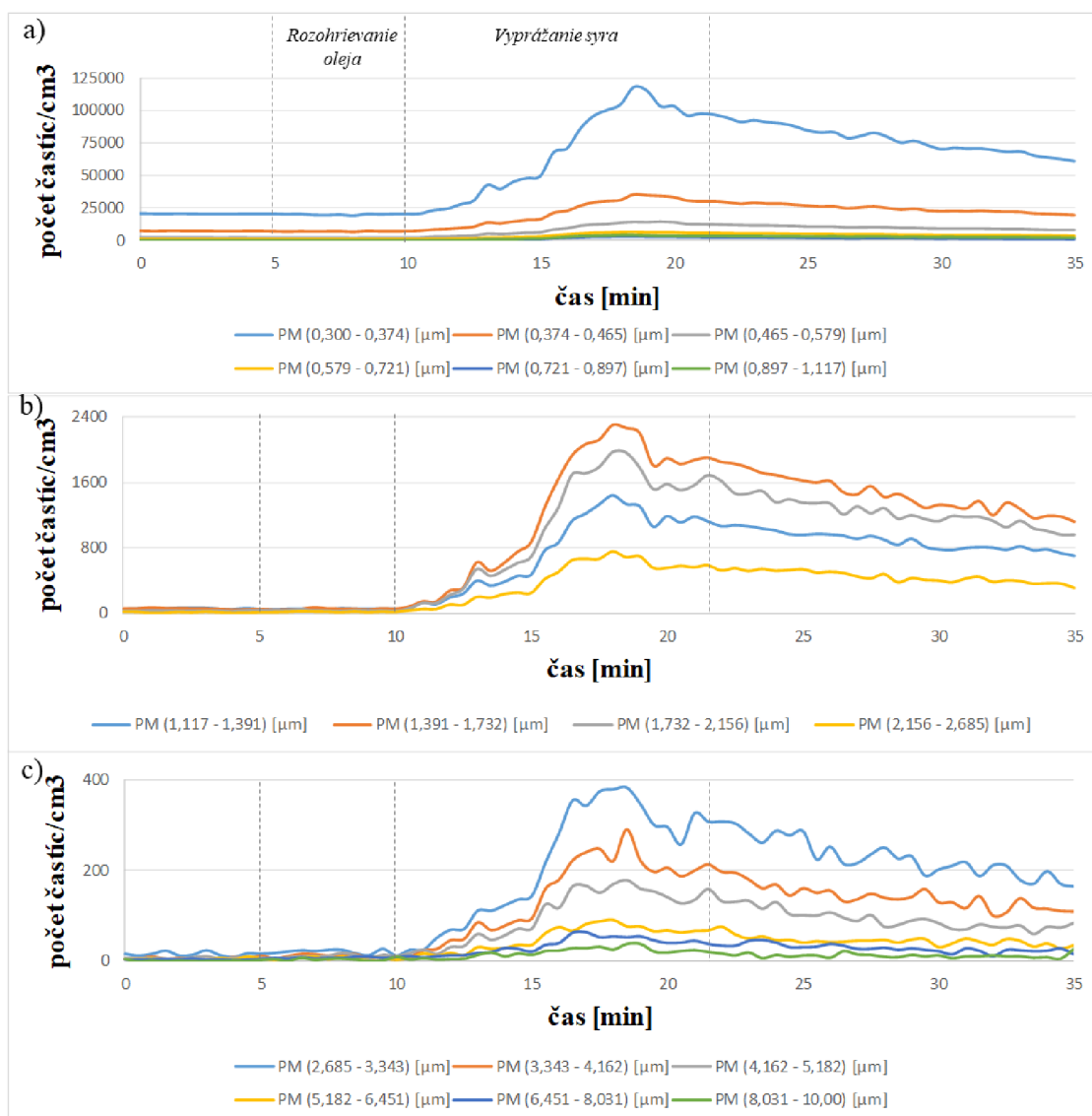
Následně sa koncentrácie častíc začali znižovať. V 50. minúte sa varenie dokončilo, vypol sa sporák a kuchár opustil miestnosť. Na grafoch je vidieť ďalší pokles koncentrácie. Nakoniec prebiehalo meranie ešte 40 minút, kedy bolo pozorované postupné znižovanie koncentrácie častíc v miestnosti. Častice PM_{10} po ukončení varenia značne klesli, avšak koncentrácia tejto frakcie častíc bola stále o približne 50 % vyššia ako na začiatku merania. Početná koncentrácia častíc $PM_{2,5}$ a PM_{10} sa postupne dostala až na porovnateľné hodnoty, ako sú hodnoty týchto frakcií na začiatku merania, avšak až po 40. minútach, čo je pomerne dlhá doba.



Obrázok 3.5 - Záznam merania koncentrácie častíc PM_{10} (a), $PM_{2,5}$ (b) a PM_{10} (c) pri varení špagiet

3.3.2 Varenie (vyprážanie) na elektrickom sporáku bez ventilácie

Ďalšie meranie zahrňovalo sériu varení, ktoré zahrňovali vždy to isté jedlo za rôznych podmienok prípravy. Išlo o vyprážanie syra na slnečnicovom oleji. Najskôr sa vyprážalo na elektrickom sporáku bez zabezpečenia ventilácie. Nasledovalo vyprážanie s ventiláciou taktiež na elektrickom sporáku. A nakoniec prebiehalo vyprážanie na plynovom sporáku so zapnutým odsávačom pár (digestorom) a s prirodzenou ventiláciou.



Obrázok 3.6 - Záznam merania koncentrácie častíc PM_1 (a), $\text{PM}_{2,5}$ (b) a PM_{10} (c) pri vyprážaní syra na elektrickom sporáku bez ventilácie

Na začiatku sa do panvice nalialo približne 200 ml slnečnicového oleja, ktorý sa na rozohrievajúcej platni postupne rozpaľoval. Akonáhle dosiahol vhodnú teplotu na vyprážanie, boli do neho vložené 3 kusky syra obaleného v múke, vajci a strúhanke. Následne sa vyprážal zhruba 4 minúty z jednej strany a 4 minúty z druhej. Po ukončení vyprážania bol sporák vypnutý a panvička odobratá z platne.

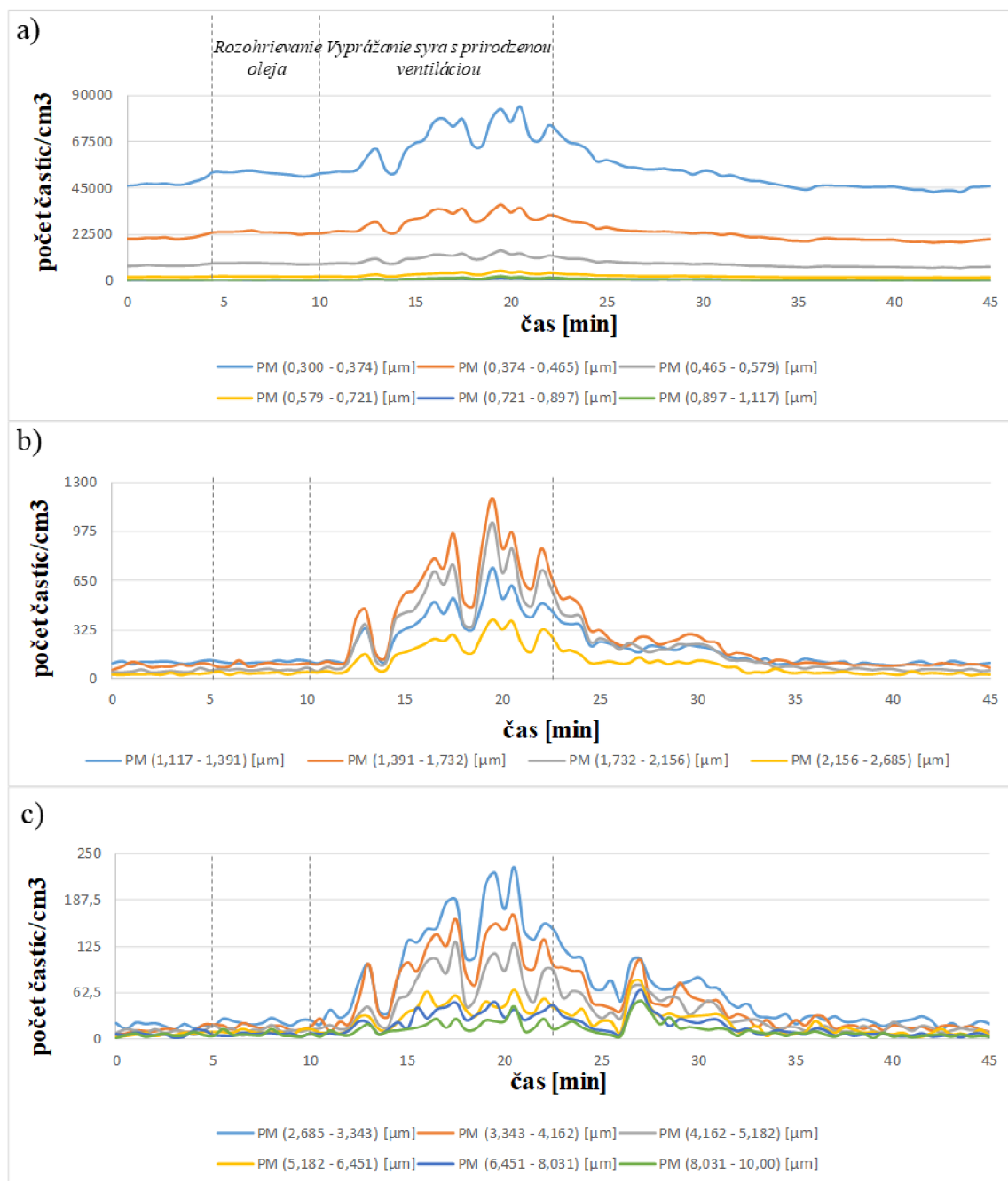
Na obrázku 3.6 je vidieť priebeh jednotlivých početných koncentrácií častíc pred, počas a po vyprážaní syra na elektrickom sporáku bez ventilácie. Prvých 5 minút sa merala ustálená počiatočná koncentrácia častíc v kuchyni. V tomto čase sa nikto nenachádzal v miestnosti a ani neprebíhala žiadna aktivita. Najjemnejšia frakcia častíc PM_1 bola ustálená na hodnote okolo 21000 častíc/ cm^3 . Častice $\text{PM}_{2,5}$ dosahovali hodnôt 70 častíc/ cm^3 a PM_{10} zhruba 15 častíc/ cm^3 . Následne po tejto dobe sa začalo vyprážanie. Približne 5 minút trvalo rozohrievanie oleja. V tejto dobe nie je žiadna viditeľná zmena koncentrácie častíc. Tá sa prejavuje až po úplnom rozohriatí a vložení syra do rozpáleného oleja. Koncentrácie všetkých meraných frakcií častíc sa začali zvyšovať. Po 4 minútach, kedy sa vykonávalo otáčanie syra na druhú stranu, je viditeľný vyšší nárast koncentrácie častíc v miestnosti. Po 18 minútach od začiatku merania,

tesne pred koncom vyprážania, koncentrácia častíc PM_1 , $PM_{2,5}$ aj PM_{10} dosiahla maximum. V prípade najjemnejšej frakcie PM_1 bola dosiahnutá hodnota 117893 častíc/cm³, čo znamená, že došlo k nárastu koncentrácie o 461,4 %. Maximálna hodnota $PM_{2,5}$ bola 2295 častíc/cm³, takže nárast oproti počiatku až o 3178,6 %. A hodnota PM_{10} dosiahla nárast o 2440 % na hodnotu 381 častíc/cm³. Následne sa vyprážanie skončilo, vypol sa sporák, odobrala sa panvica z platne a kuchár opustil miestnosť. Koncentrácie častíc začali klesať. Meranie prebiehalo ešte asi 15 minút, kedy bolo pozorované jemné postupné znižovanie koncentrácie častíc v miestnosti. Koncentrácia častíc ešte aj po 15 minútach po ukončení vyprážania dosahovala vysoké hodnoty. Konkrétne častice PM_1 mali o približne 190 % vyššiu koncentráciu ako na začiatku merania. Pre častice $PM_{2,5}$ a PM_{10} to bola koncentrácia väčšia oproti začiatku o zhruba 100 %. Takéto hodnoty po varení sú zapríčinené nedostatočným alebo žiadnym vetraním miestnosti.

3.3.3 Varenie (vyprážanie) na elektrickom sporáku s prirodzenou ventiláciou

Druhé meranie vyprážania syra prebiehalo takmer identicky s predchádzajúcim meraním. Jediný a zásadný rozdiel bol ten, že počas vyprážania bolo zabezpečené vetranie miestnosti. Čerstvý vzduch z vonkajšieho prostredia sa dostával dnu do miestnosti cez otvorené okno, ktoré je vzdialené približne 1 meter od sporáku.

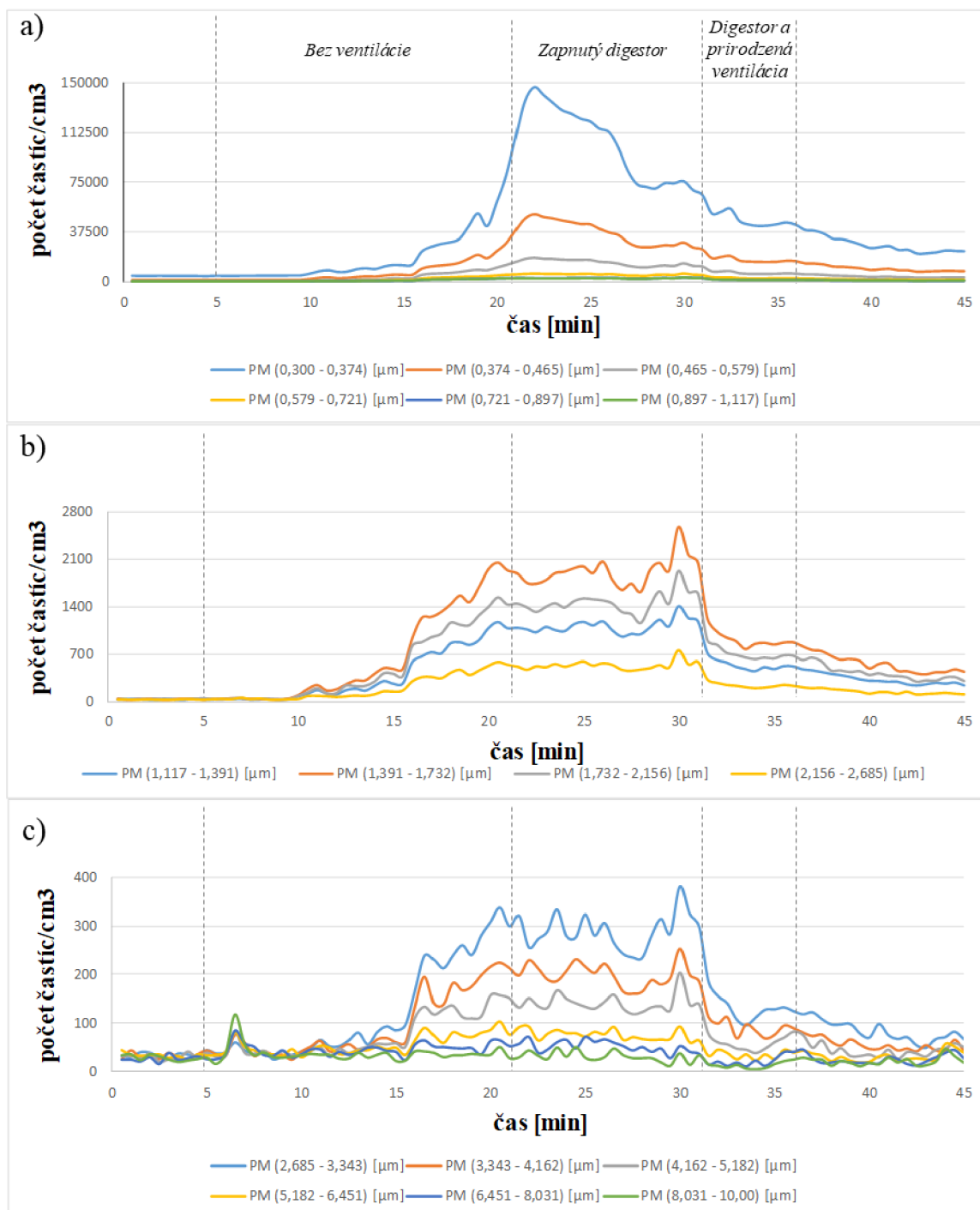
Obrázok 3.7 reprezentuje priebeh jednotlivých početných koncentrácií častíc pred, počas a po vyprážaní syra na elektrickom sporáku s prirodzenou ventiláciou, zabezpečenou prístupom vzduchu z vonkajšieho prostredia cez otvorené okno. Prvých 5 minút sa merala ustálená počiatočná koncentrácia častíc v miestnosti. V tomto čase sa nikto nenachádzal v miestnosti a ani neprebíhala žiadna aktivita. Najjemnejšia frakcia častíc PM_1 bola ustálená na hodnote okolo 50000 častíc/cm³. Častice $PM_{2,5}$ dosahovali hodnoty 100 častíc/cm³ a PM_{10} zhruba 20 častíc/cm³. Následne po tejto dobe bolo otvorené okno a začalo sa vyprážanie. Približne 5 minút trvalo rozohrievanie oleja. V tejto dobe nie je žiadna viditeľná zmena koncentrácie častíc. Tá sa prejavuje až po úplnom rozohriatí a vložení syra do rozpaleného oleja. Koncentrácie všetkých meraných frakcií častíc sa začali zvyšovať. Avšak zvyšovanie nie je kontinuálne. Ako je vidieť na grafoch, koncentrácie celkom prudko rastú a hneď následne začnú prudko klesať. Takto sa to strieda po celú dobu vyprážania, aj keď celková koncentrácia sa zvyšuje. Tak ako to bolo aj v predchádzajúcom meraní, maximálne hodnoty koncentrácií častíc PM_1 , $PM_{2,5}$ aj PM_{10} nastali približne po 20 minútach od začiatku merania, tesne pred koncom vyprážania. V prípade najjemnejšej frakcie PM_1 bola dosiahnutá hodnota 84106 častíc/cm³, čo znamená, že došlo k nárastu koncentrácie o 68,2 %. Maximálna hodnota $PM_{2,5}$ bola 1195 častíc/cm³, takže nárast oproti počiatku až o 1095 %. A hodnota PM_{10} dosiahla nárast o 1060 % na hodnotu 232 častíc/cm³. Následne sa vyprážanie skončilo, vypol sa sporák, odobrala sa panvica z platne a kuchár opustil miestnosť. Koncentrácie častíc začali klesať. Meranie prebiehalo ešte 23 minút, kedy bolo pozorované pomerne rýchle a značné znižovanie koncentrácie častíc v miestnosti. Koncentrácia častíc sa nakoniec dostala na hodnoty porovnateľné s hodnotami zo začiatku merania. Takéto zníženie a takisto aj nekontinuálny priebeh zvyšovania koncentrácie pri vyprážaní je dôsledkom zabezpečenia ventilácie, kedy dochádzalo k výmene vzduchu cez otvorené okno.



Obrázok 3.7 - Záznam merania koncentrácie častíc PM1 (a), PM 2,5 (b) a PM10 (c) pri vyprážaní syra na elektrickom sporáku s prirodzenou ventiláciou

3.3.4 Varenie (vyprážanie) na plynovom sporáku s digestorom a prirodzenou ventiláciou

Tretie meranie vyprážania syra prebiehalo už na plynovom sporáku a bolo rozdelené do troch častí. Najskôr sa meralo vyprážanie bez akejkoľvek ventilácie. Nasledovalo meranie so zapnutým digestorom. A nakoniec bola zaistená aj výmena vzduchu pomocou otvoreného okna vzdialeného cca 1 meter od sporáku.



Obrázok 3.8 - Záznam merania koncentrácie častíc PM₁ (a), PM_{2,5} (b) a PM₁₀ (c) pri vyprášaní syra na plynovom sporáku s digestorom a prirodzenou ventiláciou

Grafy koncentrácií častíc na obrázku 3.8 ukazujú priebeh jednotlivých početných koncentrácií častíc pred, počas a po vyprášaní syra, ktoré bolo uskutočnené na plynovom sporáku. Meranie je na grafe rozdelené do troch častí. Prvá časť reprezentuje vyprášanie bez akéhokoľvek typu ventilácie. Následne bol zapnutý digestor a neskôr sa k digestoru pridal aj prívod vzduchu zvonka cez otvorené okno. Prvých 5 minút bolo venované ustáleniu častíc, a tak zaznamenanie počiatočnej koncentrácie v miestnosti. V tomto čase sa nikto nenachádzal v miestnosti a ani neprebíhala žiadna aktivita. Najjemnejšia frakcia častíc PM₁ bola ustálená

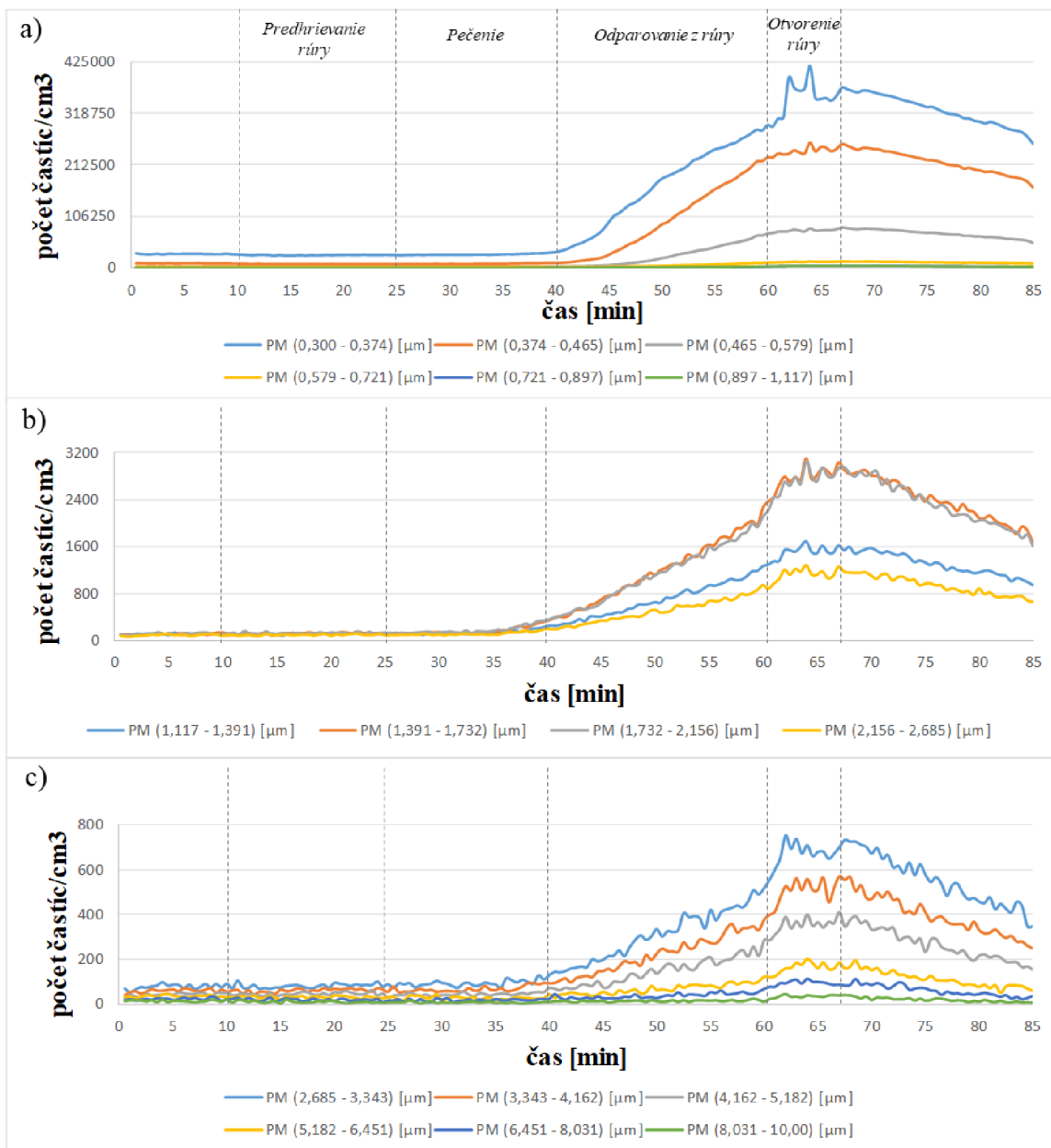
na hodnotu okolo 4600 částic/cm³. Částice PM_{2,5} dosahovali hodnôt 70 částic/cm³ a PM₁₀ zhruba 40 částic/cm³. Následne po tejto dobe sa začalo vyprážanie bez ventilácie. Približne 5 minút trvalo rozohrievanie oleja. V tejto dobe už je viditeľné pozvoľné zvyšovanie častíc PM₁ a PM_{2,5} a prudšie chvíľkové zvýšenie koncentrácie častíc PM₁₀. Väčšie navýšenie koncentrácie všetkých meraných frakcií častíc sa prejavilo až po úplnom rozohriatí a vložení syra do rozpáleného oleja. Po približne 22 minútach od začiatku merania bol zapnutý digestor. To zastavilo ďalší rast koncentrácie častíc. Tá začala v prípade častíc PM₁ pomerne rýchlo a značne klesať. Pri časticiach PM_{2,5} a PM₁₀ bolo zníženie menšie a následne pri otáčaní syra v panvici sa zase zvyšovalo. K najväčšiemu a najrýchlejšiemu poklesu častíc PM_{2,5} a PM₁₀ došlo až po otvorení okna, kedy došlo k zmiešaniu a výmene vnútorného vzduchu s vonkajším. Nastal pokles aj najmenšej frakcie častíc, avšak nie až tak značný ako po zapnutí digestora. Maximálna hodnota koncentrácie častíc PM₁ nastala v čase, kedy sa zapol digestor. Hodnota, ktorá bola dosiahnutá, bola 146302 částic/cm³, takže nárast oproti počiatku bol až o 3080,5 %. Pri zapnutom digestore koncentrácia klesla o 48,7 % z maximálnej nameranej hodnoty na hodnotu 75000 částic/cm³. Pri následnom otvorení okna koncentrácia klesla o ďalších 44 %. Maximálna hodnota koncentrácie častíc PM_{2,5} nastala až v čase, kedy bol digestor zapnutý a práve sa otvorilo okno. Hodnota, ktorá bola dosiahnutá, bola 2573 částic/cm³, takže nárast oproti počiatku bol až o 3575,7 %. Pri zapnutom digestore koncentrácia ešte rástla a až po otvorení okna došlo k poklesu až o 68,9 % na hodnotu 800 částic/cm³. Tak, ako aj u časticiach PM_{2,5}, tak aj pri PM₁₀ bola nameraná maximálna hodnota až pri otvorení okna. Dovtedy celková koncentrácia tejto frakcie stále stúpala. Dosiahnutá hodnota bola 380 částic/cm³, takže nárast oproti počiatku bol o 850 %. Koncentrácia častíc poklesla po otvorení okna o 67,1 % oproti maximálnej hodnote. Po 35 minútach sa vyprážanie skončilo, vypol sa sporák, odobrala sa panvica z platne a kuchár opustil miestnosť. Koncentrácie častíc ešte mierne klesali. Meranie prebiehalo ešte 10 minút, kedy bolo pozorované ešte postupné pomalé znižovanie koncentrácie častíc v miestnosti. Koncentrácia častíc sa nakoniec dostala neznižila úplne a stále dosahovala pomerne vysoké hodnoty. Pri frakcii PM₁ to boli hodnoty vyššie o 403 %, u PM_{2,5} o 528 % a pri PM₁₀ o 107 % oproti začiatku merania.

3.3.5 Varenie (rúra na pečenie) bez ventilácie

Ako posledné meranie, ktoré prebiehalo v kuchyni, bolo pečenie zemiakov v rúre na pečenie. Táto rúra je súčasťou elektrického sporáku. Rozohrievanie rúry prebiehalo pri nastavenej teplote 220 °C a následne po vložení zemiakov do rúry sa teplota znížila na 200 °C. Pri tejto teplote už pečenie prebiehalo celú dobu. Meranie prebiehalo bez akejkoľvek ventilácie.

Grafy zobrazené na obrázku 3.9 reprezentujú priebeh jednotlivých početných koncentrácií častíc pred, počas a po pečení zemiakov v elektrickej rúre na pečenie. Meranie je na grafe rozdelené do troch častí. Prvá časť označuje vloženie zemiakov do predhriatej rúry. V ďalšej označenej časti na grafe je znázornený čas, kedy sa zo zadnej strany rúry začala odparovať voda spolu s ďalšími časticami, ktoré boli vyprodukované počas pečenia. Stále vznikajúca pára bola postupne rozptýlená do miestnosti. V ďalšej časti bola rúra dvakrát otvorená pre zistenie, či už sú zemiaky hotové a nasledovalo ich vybratie z rúry. Počas otvárania sa uvoľnilo ďalšie množstvo pary. Prvých 10 minút bolo venované ustáleniu častíc, a tak zaznamenanie počiatkovej koncentrácie v miestnosti. V tomto čase sa nikto nenachádzal v miestnosti a ani neprebíhala žiadna aktivita. Najjemnejšia frakcia častíc PM₁ bola ustálená na hodnotu okolo 30000 částic/cm³. Částice PM_{2,5} dosahovali hodnoty 115 částic/cm³ a PM₁₀ zhruba 90 částic/cm³. Po tejto dobe sa zapla rúra a nastavila sa teplota na 220 °C. Rozohriatie rúry trvalo približne 15 minút, kým bola dosiahnutá požadovaná teplota. Následne boli do rúry vložené zemiaky, teplota sa znížila na 200 °C a začalo sa pečenie. Po 40 minútach od začiatku merania sa zo zadnej strany rúry, kde je situované odvetrávanie rúry, začala odparovať nielen

voda, ale aj olej, ktorým boli zemiaky pokropené a ďalšie častice. Až od tejto doby je možné pozorovať na grafe plynulé zvyšovanie koncentrácie častíc PM₁, PM_{2,5} a PM₁₀. Následne bola rúra dvakrát otvorená, čo spôsobilo uvoľnenie ďalšieho množstva pary do miestnosti. Práve pri týchto otváraníach dosiahli koncentrácie častíc všetkých meraných frakcií svoje maximálne hodnoty. Maximálna hodnota koncentrácie častíc PM₁, ktorá bola dosiahnutá bola 415056 častíc/cm³, takže nárast oproti počiatku bol o 1283,5 %. Koncentrácie častíc PM_{2,5} dosiahli maximálnu hodnotu 3109 častíc/cm³, takže nárast oproti počiatku bol až o 2603,5 %. A hodnota PM₁₀ dosiahla nárast o 737,8 % na hodnotu 754 častíc/cm³. Po vybratí upečených zemiakov z rúry sa vypla rúra a kuchár opustil miestnosť. Meranie prebiehalo ešte približne 15 minút. Koncentrácie častíc začali klesať, avšak ešte po 15 minútach po ukončení pečenia dosahovali koncentrácie vyššie o 751,6 % v prípade PM₁, u PM_{2,5} o 1357,4 % a pri PM₁₀ o 284,4 % oproti začiatku merania.

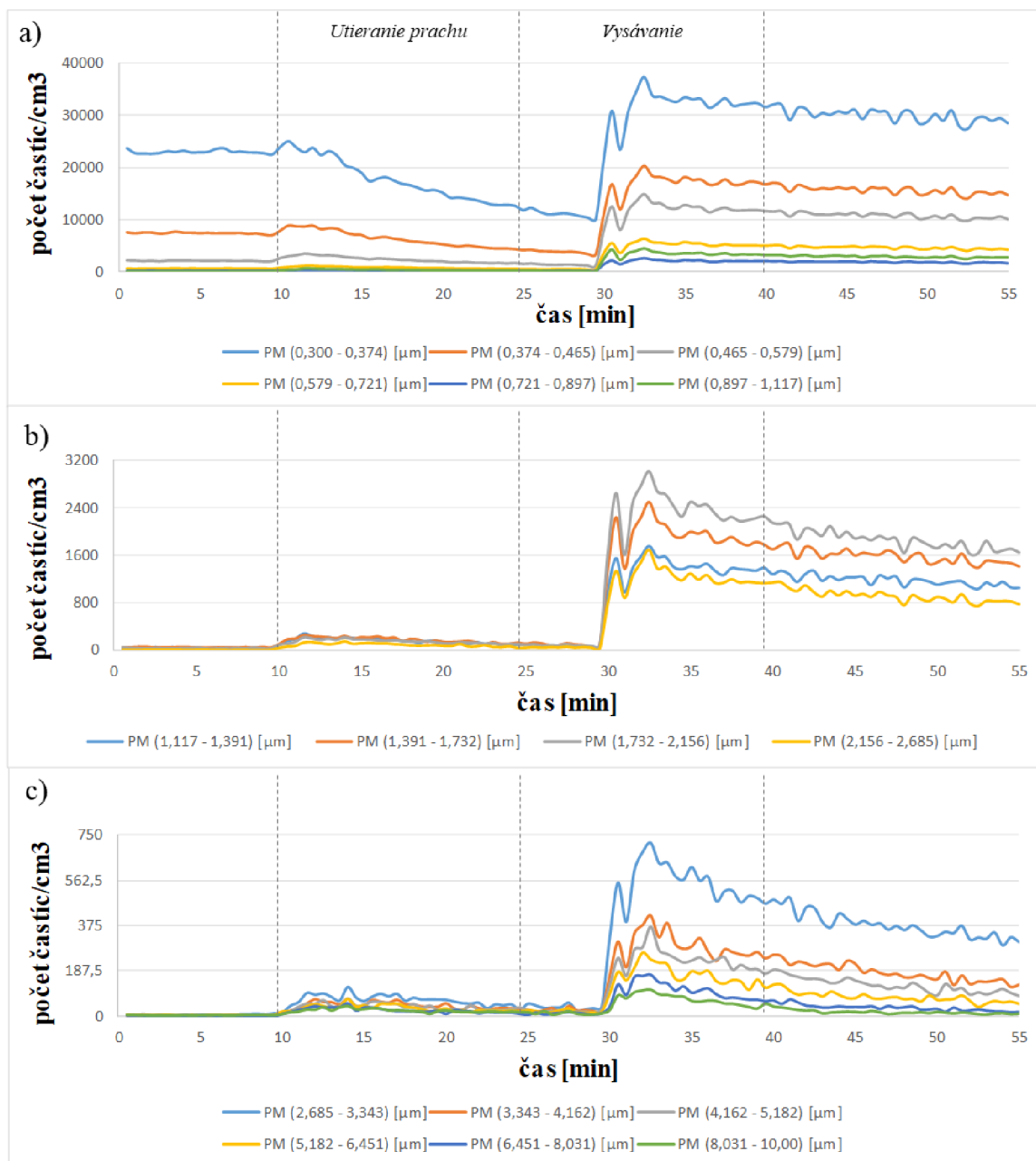


Obrázok 3.9 - Záznam merania koncentrácie častíc PM₁ (a), PM_{2,5} (b) a PM₁₀ (c) pri pečení v elektrickej rúre

3.3.6 Upratovanie izby bez ventilácie

Pre prvé meranie, ktoré prebiehalo v izbe, bolo upratovanie tej konkrétnej izby. Toto meranie prebiehalo bez akejkoľvek ventilácie. Po dobu 15 minút upratovanie zahŕňalo utieranie prachu z parapety, poličiek a skriň, ktoré sa v izbe nachádzajú. Po utretí prachu nasledovalo vysávanie, ktoré trvalo tiež približne 15 minút. Po vysávaní sa upratovanie ukončilo, ale meranie pokračovalo ešte ďalších 15 minút.

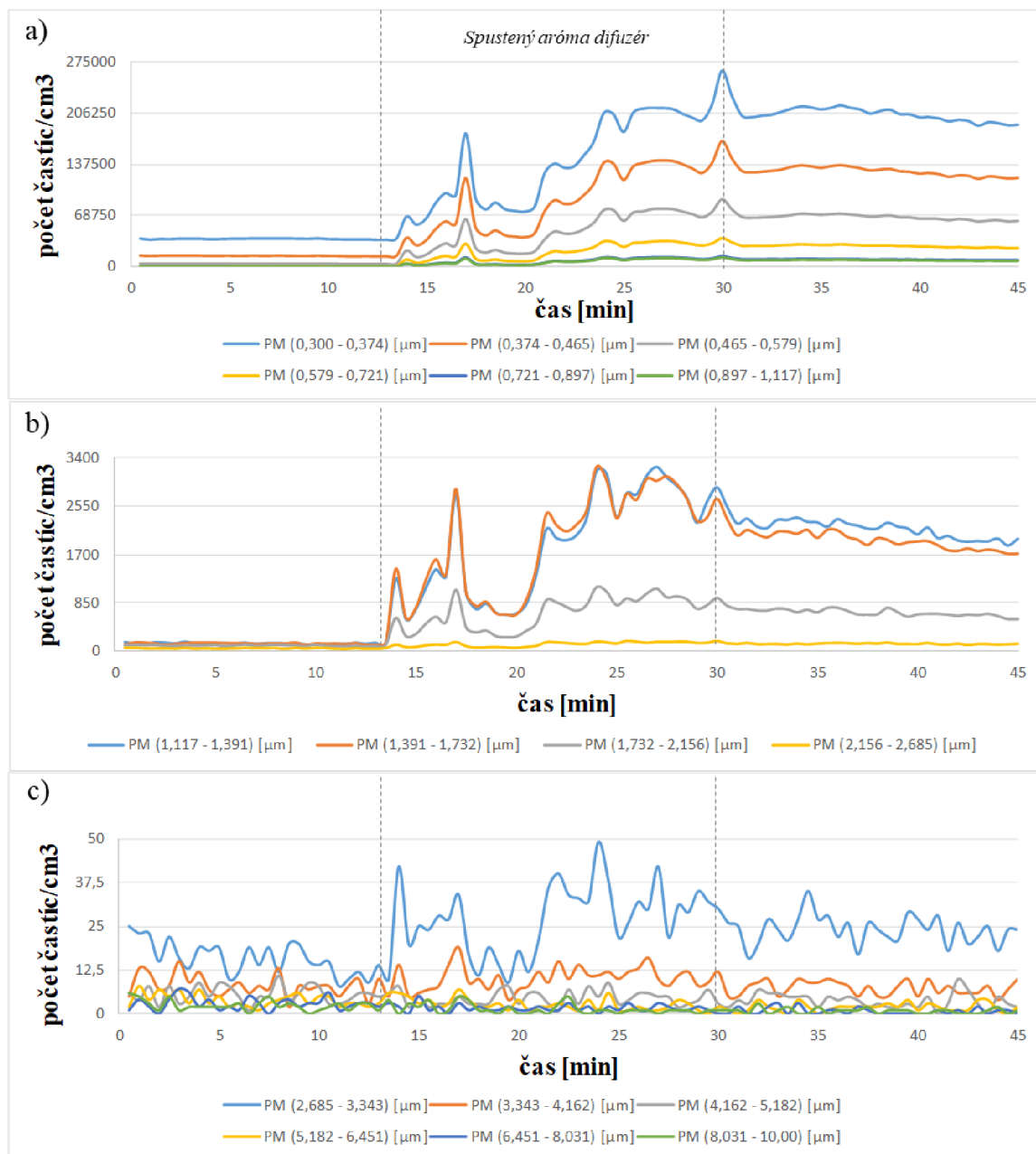
Na obrázku 3.10 je vidieť priebeh jednotlivých početných koncentrácií častíc pred, počas a po upratovaní izby. Prvých 10 minút bolo venovaných ustáleniu častíc v miestnosti a zmerania počiatkovej koncentrácie častíc v izbe. V tomto čase sa nikto nenachádzal v miestnosti a ani neprebíhala žiadna aktivita. Najjemnejšia frakcia častíc PM₁ bola ustálená na hodnotu okolo 23000 častíc/cm³. Častice PM_{2,5} dosahovali hodnoty 40 častíc/cm³ a PM₁₀ zhruba 10 častíc/cm³. Následne po tejto dobe sa začalo upratovanie. Ako prvé prebiehalo utieranie prachu, ktoré trvalo 15 minút. Ako je možné vidieť na grafoch, počas utierania prachu sa koncentrácia najjemnejšej frakcie PM₁ najskôr mierne navýšila, ale následne hneď začala klesať a poklesla o 47,8 % oproti začiatku merania. Koncentrácia častíc PM_{2,5} a PM₁₀ naopak mierne stúpali. Konkrétne o 192,5 % častice PM_{2,5} a o 410 % častice PM₁₀. Po 25 minútach od začiatku merania bol zapnutý vysávač a prebiehalo vysávanie izby, ktoré trvalo 15 minút. Prvých pár minút vysávania sa hodnoty koncentrácií nijak zvlášť nezmenili. Je to možné tým, že vysávač bol umiestnený na zemi, a OPS spektrometer bol na skrinke vo výške približne 110 cm. Avšak po chvíli je možné pozorovať náhle a prudké zvýšenie koncentrácie všetkých meraných frakcií častíc. To mohlo byť spôsobené aj zmenou polohy vysávača, a tým pádom zmenou vyfukovaného vzduchu. Tie počas vysávania dosiahli aj svoje maximálne hodnoty. V prípade najjemnejšej frakcie PM₁ bola dosiahnutá hodnota 37339 častíc/cm³, čo znamená, že došlo k nárastu koncentrácie o 62,3 % oproti ustálenej hodnote na začiatku merania. Maximálna hodnota PM_{2,5} bola 3019 častíc/cm³, takže nárast oproti počiatku bol až o 7447,5 %. Koncentrácia PM₁₀ dosiahla približne rovnako vysoký nárast ako u častíc PM_{2,5}. Išlo o nárast o 7110 % na hodnotu 721 častíc/cm³. Po skončení vysávania v 40. minúte merania sa koncentrácia častíc jemne znižovala, ale aj tak dosahovala veľmi vysoké hodnoty. Koncentrácia PM₁ sa znížila len o 23,7 % oproti maximálnej hodnote. Zníženie u PM_{2,5} bolo o 43,8 % a pri PM₁₀ o 57,3 %.



Obrázok 3.10 - Záznam merania koncentrácie častíc PM1 (a), PM 2,5 (b) a PM10 (c) pri upratovaní

3.3.7 Spustenie aróma difuzéru v izbe bez ventilácie

Pre druhé meranie bolo vybrané použitie ultrazvukového aróma difuzéru, ktorého princípom je studené odparovanie vody. Difuzér využíva vysokofrekvenčné ultrazvukové vibrácie. Tieto vibrácie vytvárajú vibrujúci disk, ktorý produkuje zvukové vlny na ultrazvukovej frekvencii. Vlny menia vodu vo vnútri zásobníka difuzéra (ktorý obsahuje aj éterické oleje) takou vysokou rýchlosťou, že sa premieňa voda na vodnú paru či hmlu, ktorá je rozptýlená do celej miestnosti. Ultrazvukové vlny tiež narušajú olejové bubliny vo vode a zachytávajú ich vo vnútri vodných kvapôčok [50]. Difuzér bol pri tomto meraní položený zhruba 80 cm od OPS spektrometra. Meranie prebiehalo bez akejkoľvek ventilácie. Prvých 13 minút bolo venovaných ustáleniu a určeniu počiatočnej koncentrácie častíc. Následne bol aróma difuzér zapnutý po dobu 17 minút.



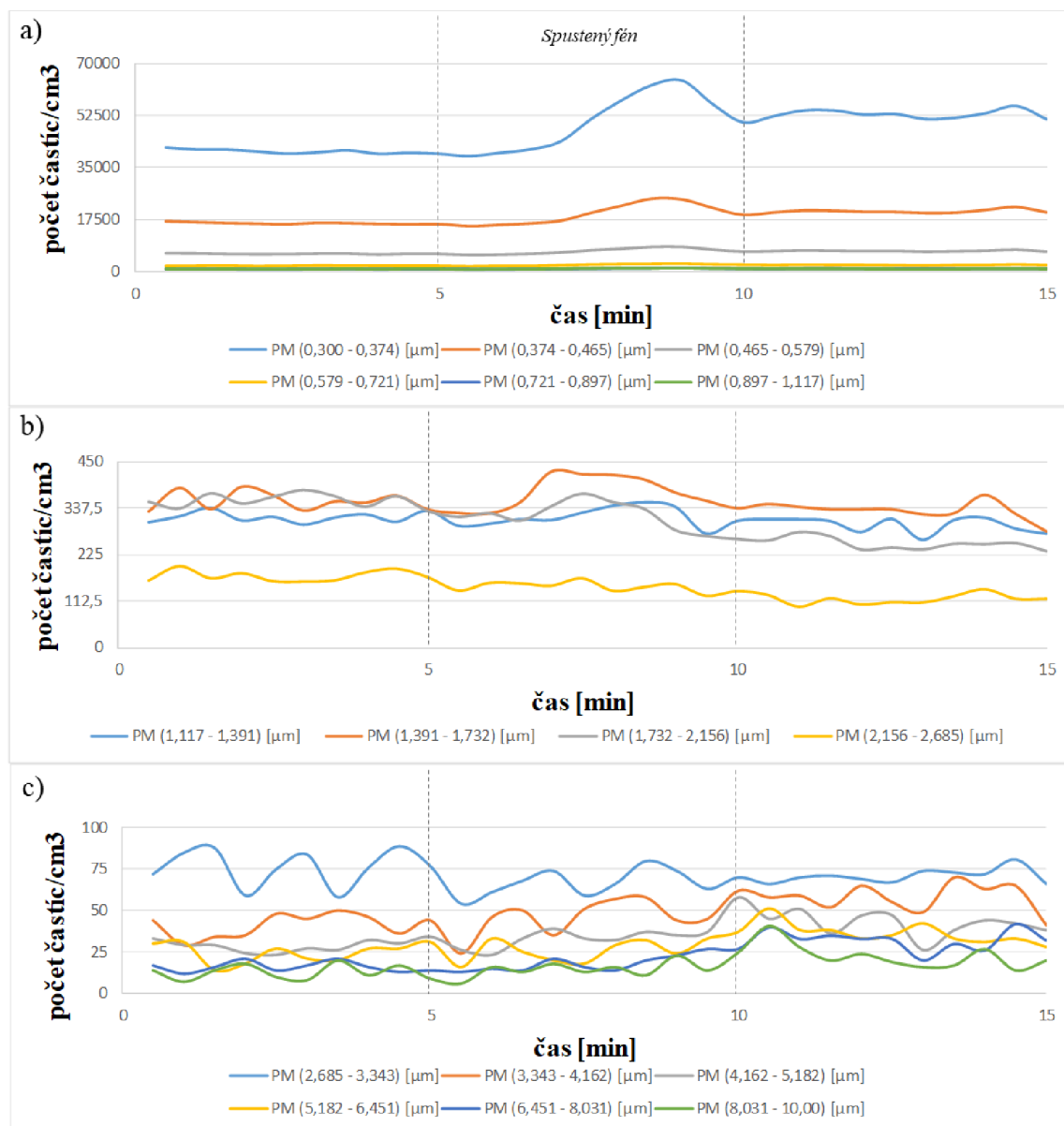
Obrázok 3.11 - Záznam merania koncentrácie častíc PM₁ (a), PM_{2,5} (b) a PM₁₀ (c) pri spustení aróma difuzéru

Grafy koncentrácie častíc na obrázku 3.11 zobrazujú priebeh, ako sa menili koncentrácie pred, počas a po použití aróma difuzéru. Prvých 13 minút sa merala počiatková koncentrácia častíc. Najjemnejšia frakcia častíc PM₁ bola ustálená na hodnote okolo 37000 častíc/cm³. Častice PM_{2,5} dosahovali hodnoty 150 častíc/cm³ a PM₁₀ zhruba 13 častíc/cm³. Následne po tejto dobe sa zapol difuzér a bol spustený po dobu 17 minút. Ako je možné vyčítať z grafov, ihneď po spustení difuzéru sa koncentrácie všetkých frakcií častíc začali zvyšovať. Priebeh zvyšovanie nebol kontinuálny. To je zapríčinené otáčacou dýzou, ktorá rozptyľuje vodnú paru v určitých intervaloch na jednu a druhú stranu miestnosti. Preto je možné pozorovať kontinuálne nárasty a poklesy koncentrácie, keďže OPS spektrometer sa nachádzal vedľa aróma difuzéru. Avšak celkovo bol zaznamenaný nárast a taktiež aj boli dosiahnuté maximálne hodnoty koncentrácie častíc. V prípade najjemnejšej frakcie PM₁ bola dosiahnutá hodnota

263714 částic/cm³, čo znamená, že došlo k nárastu koncentrácie o 612,7 % oproti ustálenej hodnote na začiatku merania. Maximálna hodnota PM_{2,5} bola 3246 částic/cm³, takže nárast oproti počiatku bol až o 2064 %. Koncentrácia PM₁₀ dosiahla nárast o 276,9 % na hodnotu 49 částic/cm³. Po vypnutí aróma difuzéru v 30. minúte merania sa koncentrácia častíc znížila, ale aj tak dosahovala pomerne vysoké hodnoty. Koncentrácia PM₁ sa znížila len o 27,8 % oproti maximálnej hodnote. Zníženie u PM_{2,5} bolo o 41,5 % a pri PM₁₀ o 55,1 %.

3.3.8 Použitie fénu na vlasy v izbe bez ventilácie

Ako ďalšie meranie bolo zisťovanie zmeny koncentrácie častíc pri použití fénu na vlasy. Fénovali sa mokré vlasy po dobu 5 minút. Meranie prebiehalo bez ventilácie.



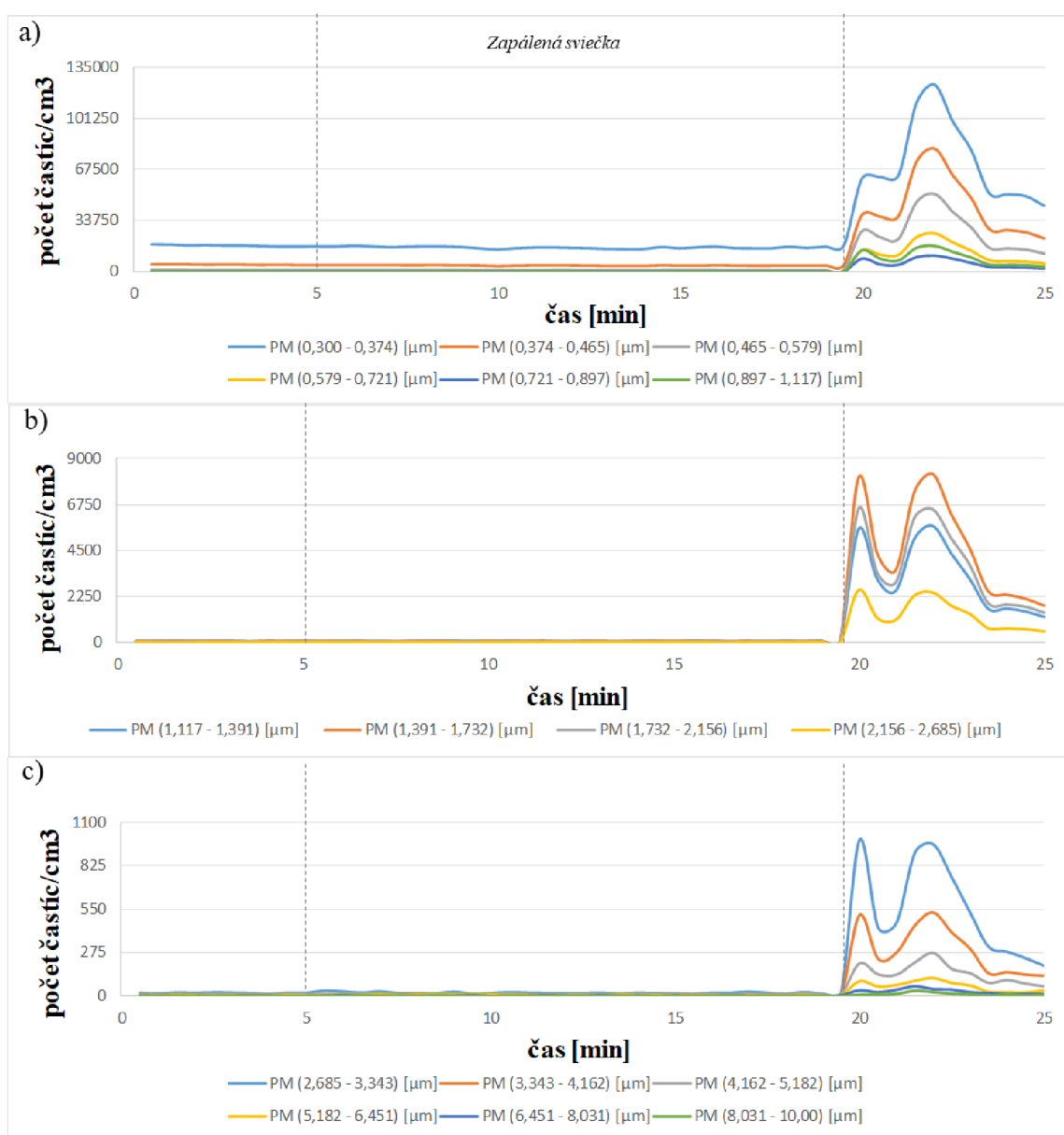
Obrázok 3.12 - Záznam merania koncentrácie častíc PM₁ (a), PM_{2,5} (b) a PM₁₀ (c) pri spustení fénu na vlasy

Na obrázku 3.12 je zobrazený priebeh koncentrácie častíc pred, počas a po použití fénu na vlasy. Prvých 5 minút sa merala počiatková koncentrácia častíc. Najjemnejšia frakcia častíc PM₁ bola ustálená na hodnote okolo 39500 částic/cm³. Častice PM_{2,5} dosahovali hodnôt 350

částic/cm³. Priebeh častíc PM₁₀ nebol počas celého merania ustálený a pohyboval sa v rozmedzí od 10 do 89 častíc/cm³. Ani po spustení fěnu nenastalo značne zvýšenie či zníženie tejto frakcie častíc. Pri spustení fěnu je iba možné pozorovať mierne navýšenie koncentrácie častíc PM₁ a PM_{2,5}. Navýšenie bolo pri časticiach PM₁ o 62,9 % na hodnotu 64338 častíc/cm³ a pri PM_{2,5} na hodnotu 426 častíc/cm³, takže nárast oproti počiatku len o 21,7 %. Následne po tejto dobe bol fěn vypnutý a meranie prebiehalo ešte 5 minút. Koncentrácia častíc PM₁ a PM_{2,5} sa následne znížila o 20,3 % oproti maximálnej hodnote. Zníženie PM_{2,5} bolo na hodnoty približne rovnaké ako na začiatku merania.

3.3.9 Zapálenie sviečky v izbe bez ventilácie

Posledné meranie, ktoré bolo vykonané, bolo zistenie zmeny koncentrácie častíc pri zapálení sviečky v miestnosti. Meranie prebiehalo po dobu 25 minút bez ventilácie. Z toho sviečka horela 15 minút.



Obrázok 3.13 - Záznam merania koncentrácie častíc PM₁ (a), PM_{2,5} (b) a PM₁₀ (c) pri zapálení sviečky

Z obrázku 3.13 je možné vyčítat' priebeh koncentrácie častíc pred, počas a po zapálení sviečky v izbe. Prvých 5 minút sa merala počiatočná koncentrácia častíc. Najjemnejšia frakcia častíc PM₁ bola ustálená na hodnotu okolo 16100 častíc/cm³. Častice PM_{2,5} dosahovali hodnoty 70 častíc/cm³ a PM₁₀ 20 častíc/cm³. Po 5 minútach pri zapálení sviečky a následnom horení sa neprejavili žiadne zmeny koncentrácie častíc ani na jednej z meraných frakcií. Náhle a výrazné zvýšenie koncentrácie nastalo až po sfúknutí sviečky. Koncentrácia priam okamžite dosiahla maximálne hodnoty. Častice PM₁ dosiahli koncentráciu 123625 častíc/cm³, takže nárast o 667,8 %, pri časticiach PM_{2,5} bol nárast až o 11680 % na hodnotu 8246 častíc/cm³, a častice PM₁₀ dosiahli koncentráciu 988 častíc/cm³, takže nárast oproti počiatku o 4840 %. Takýto vysoký nárast koncentrácie bol len v okamihu sfúknutia sviečky, následne sa koncentrácia pomerne rýchlo opäť znižovala.

4 DISKUSIA

Výsledky, ktoré z jednotlivých meraní vyšli, potvrdzujú teoretickú časť v tom, že varenie, upratovanie alebo používanie spotrebičov produkuje do vnútorného prostredia množstvo jemných častíc. Merania ukázali, že pri týchto aktivitách sa koncentrácia v miestnosti niekoľkonásobne krát zvýši. Taktiež sa potvrdilo, že ak nie je zabezpečené vetranie, tak častice ostávajú v miestnosti aj po ukončení aktivity vo veľkom množstve a ich početná koncentrácia sa znižuje len veľmi pomaly.

Varenie špagiet na elektrickom sporáku bez ventilácie emitovalo porovnateľné množstvo (iba o 3,2 % viac) najjemnejšej frakcie častíc PM_1 v porovnaní s vyprážením syra. Avšak výrazný rozdiel sa ukázal pri časticiach $PM_{2,5}$ a PM_{10} . Pri varení špagiet bolo v miestnosti zaznamenané o 37,4 % viac častíc $PM_{2,5}$ a o 51,8 % častíc PM_{10} oproti vypráženiu syra pri rovnakých podmienkach.

Porovnanie medzi elektrickým a plynovým sporákom potvrdzuje štúdiu Zhang a kol. [34], v ktorej poukazujú na to, že koncentrácia častíc pri používaní plynového sporáku je vyššia ako pri použití elektrického. Merania, ktoré sú súčasťou tejto práce, zaznamenali zníženie koncentrácie najmä u jemnejšej frakcie častíc pri používaní elektrického sporáku. Častice PM_1 dosiahli koncentráciu o 19,4 % a $PM_{2,5}$ o 10,8 % nižšiu, ako pri varení na plynovom sporáku. Najhrubšia meraná frakcia PM_{10} bola porovnateľná pri oboch typoch zdrojov.

Rozdiel a účinnosť zníženia koncentrácie častíc pri ventilácii taktiež do väčšej miery potvrdzuje teóriu v kapitole (2.10.1). Prirodzená ventilácia (otvorenie okna) sa ukázala ako najlepší typ ventilácie. Avšak len v prípade, ak nie je vonkajší vzduch viac znečistený ako ten vnútorný. V prípade meraní koncentrácie častíc pri zabezpečení prirodzenej ventilácie a bez nej nastal značný rozdiel. Pri identickom varení dosiahli všetky merané frakcie častíc pri prirodzenej ventilácii omnoho nižšie hodnoty oproti vareniu bez ventilácie. Konkrétne častice PM_1 dosiahli o 28,7 % nižšiu maximálnu hodnotu koncentrácie. V prípade $PM_{2,5}$ to bolo o 47,9 % a pri časticiach PM_{10} o 39,1 %. Prirodzená ventilácia sa ukázala aj veľmi účinná pre rýchle zníženie koncentrácie častíc po ukončení varenia. Koncentrácia so zabezpečeným vetraním cez okno sa po varení zníži na hodnoty, aké boli pred varením, za pomerne krátku dobu. Je to zapríčinené rýchlou a účinnou výmenou vonkajšieho a vnútorného vzduchu. Ventilácia pomocou odsávaču pár (digestora) sa až tak nezhoduje s teóriou v kapitole (2.10.1). Tá hovorí o výraznom znížení koncentrácie častíc $PM_{2,5}$ a PM_{10} pri zapnutí digestora počas varenia. Výsledky merania v tejto práci poukazujú na zníženie koncentrácie iba pri najjemnejšej frakcii PM_1 a to o 48,7 %. K zníženiu koncentrácie častíc u $PM_{2,5}$ a PM_{10} pri zapnutí digestora nedošlo. To prišlo až po otvorení okna, kedy došlo k výmene vzduchu.

Najvyššie hodnoty koncentrácie častíc, merané v kuchyni, boli dosiahnuté pri pečení zemiakov v elektrickej rúre. V momente, kedy bola rúra nastavená na 200 °C, sa po určitej dobe začala odparovať voda a následnom otvorení rúry dosiahla koncentrácia častíc PM_1 hodnotu 415056 častíc/cm³, častice $PM_{2,5}$ hodnotu 3109 častíc/cm³ a častice PM_{10} 754 častíc/cm³. Takéto vysoké hodnoty koncentrácie častíc boli z môjho pohľadu zapríčinené vysokou teplotou uvoľnenej vodnej pary, ktorá sa z rúry dostáva do miestnosti.

Upratovanie izby prebiehalo v dvoch častiach. Najskôr sa utieral prach a potom vysávalo. Utieranie prachu jemne zvýšilo koncentráciu častíc $PM_{2,5}$ a PM_{10} , avšak prekvapivo pomerne výrazne znížilo koncentráciu častíc PM_1 . Tak, ako ukazuje teória v kapitole (2.10.3) aj merania dokazujú, že pri vysávaní sa koncentrácia všetkých meraných frakcií častíc výrazne zvýšila. Za následok to môže mať nedostatočný alebo veľmi zanesený HEPA filter, ktorý sa vo vysávači nachádza.

Používanie aróma difuzéru má takisto za následok zvýšenie koncentrácie najmä jemnejších častíc. Vysoký nárast je možné pozorovať pri časticiach PM_1 a $PM_{2,5}$. K miernemu navýšeniu koncentrácie PM_{10} síce došlo, ale hodnota koncentrácie ostala na pomerne

nízkej úrovni. V jemných frakciách častíc, ktoré produkuje aróma difuzér, sa nachádzajú aj éterické oleje. Tie môžu pomáhať pri rôznych problémoch, avšak či vdychovanie takýchto častíc je pre človeka zdravé alebo nie, je na zváženie či prípadnú ďalšiu štúdiu.

Podľa výsledkov meraní koncentrácie častíc pri použití fénu na vlasy sa zvýši hlavne koncentrácia častíc PM_{10} . Navýšenie bolo o 62,9 %. Koncentrácia častice $PM_{2,5}$ vzrástla o 21,7 % a koncentrácia PM_{10} sa nijak výrazne nezmenila.

Posledné meranie prinieslo pomerne prekvapivé výsledky. Merala sa koncentrácia pri zapálení, horení a následnom sfúknutí sviečky. K očakávanému navýšeniu koncentrácie častíc pri zapálení a horení však nedošlo. OPS spektrometer zaznamenal veľmi vysoké navýšenie až pri sfúknutí sviečky, kedy je aj voľným okom pozorovaný dym. Pri sfúknutí sviečky maximálne hodnoty koncentrácie častíc PM_{10} vyskočili na hodnoty, ktoré boli zaznamenané pri verení špagiet na elektrickom sporáku bez ventilácie. Maximálne hodnoty koncentrácie frakcií $PM_{2,5}$ a PM_{10} vyskočili na tak vysoké hodnoty, že sú neporovnateľné s inými realizovanými meraniami.

5 ZÁVER

Táto práca je zameraná na problematiku znečistenia vzduchu koncentráciou jemných častíc vo vnútornom prostredí budov.

V úvode teoretickej časti je popísané zloženie častíc, ich rozdelenie podľa veľkosti a najmä vplyv na zdravie človeka. Podľa zákonov, noriem či stanovených limitov je zjavné, že dôraz na skúmanie, meranie a prípadné následné eliminovanie častíc je kladený na častice s priemerom 2,5 μm a viac. Je to najmä kvôli povrchu. Častice s väčším povrchom dokážu na seba jednoduchšie naviazať omnoho viac nebezpečných, často aj karcinogénnych látok. Avšak čím je rozmer častice väčší, tým lepšie si s ňou ľudské telo dokáže poradiť. Na druhej strane ultra-jemné častice s priemerom 1 μm a menej sa dokážu dostávať cez celú dýchaciu sústavu až do krvného riečiska a tým pádom do celého tela. Môžu tak spôsobiť závažné problémy, ochorenia či dokonca smrť. Preto je táto jemnejšia frakcia častíc považovaná za nebezpečnejšiu pre ľudí, avšak jej venovaná pozornosť v spoločnosti je minimálna.

Následne sú v teoretickej časti popísané zdroje emitujúce jemné častice, ktoré majú ľudia v domácnosti a stretávajú sa s nimi každý deň. Podrobnejšie je rozobrané varenie a upratovanie, pri ktorom dochádza k výraznému zvyšovaniu koncentrácie jemných častíc v miestnosti. Pri varení je veľmi zásadný spôsob varenia, typ zdroja a miera, či druh vetrania.

Keďže určitému produkovaniu jemných častíc sa úplne zabrániť nedá, záver teoretickej časti je venovaný technikám využívaným na identifikáciu a meranie častíc. Merané bývajú dve základné vlastnosti. Veľkosť a koncentrácia častíc. Pre meranie veľkosti častíc sa využíva laserová difrakcia a gravitačná sedimentácia. Pre zistenie koncentrácie častíc sú používané hlavne gravimetrické a optické metódy. Taktiež sú popísané aj spôsoby čistenia ovzdušia v domácnosti pomocou HEPA filtrov a elektrostatických odlučovačov.

Po teoretickej časti nasledovala praktická časť, ktorá bola zameraná na meranie početnej koncentrácie jemných častíc vo vnútornom prostredí bytu. V úvode tejto časti je popísaná experimentálna aparátúra, pomocou ktorej meranie prebiehalo. Využívaný bol OPS spektrometer, model 3330 od americkej spoločnosti TSI.

Následne je detailný popis merania častíc, ktorý opisuje, kde bolo meranie, čo bolo obsahom merania a v akých podmienkach bolo meranie realizované. Meranie bolo zamerané prevažne na častice, ktoré sú emitované do vzduchu počas varenia. Zistovali sa rozdiely medzi typom sporáku, druhom vetrania, či spôsobom prípravy jedla. Boli však aj merania, ktoré mali pozorovať zvýšenie koncentrácie častíc pri upratovaní, zapnutí zariadení, ako sú fén a aróma difúzer, či pri zapálení obyčajnej sviečky.

Záverom praktickej časti sú rozanalyzované výsledky konkrétnych meraní. Taktiež sú pridané grafy, z ktorých je možné vyčítať nielen minimálne a maximálne hodnoty koncentrácií jednotlivých veľkostných frakcií častíc, ale aj priebeh zvyšovania či znižovania početnej koncentrácie častíc v závislosti na čase.

Vplyv zdrojov emitujúcich častice, ktoré boli v tejto práci merané, je vyhodnotený a porovnaný v kapitole 4.

Výsledky tejto práce nemožno úplne objektívne považovať za správne a presné. K tomu by bol potrebný väčší počet meraní a zabezpečenie rovnakých počiatočných podmienok pri každom meraní. Avšak aj na úkor toho je možné vyvodiť záver, že je rozdiel produkcie častíc v tom, či sa na varenie používa plynový alebo elektrický sporák, či je zabezpečené vetranie alebo nie a ktoré zariadenia vyprodukovujú viac častíc a ktoré menej.

6 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮV

- [1] UKAOGO, Prince O., Ugochukwu EWUZIE a Chibuzo V. ONWUKA. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health* [online]. Elsevier, 2020, s. 419-429 [cit. 2021-05-13]. ISBN 9780128190012. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8
- [2] VOJÁČEK, Antonín. Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech: 5. Co jsou PM částice?. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2019 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-5-co-jsou-pm-castice.html>
- [3] YADAV, Ishwar C. a Ningombam L. DEVI. Biomass Burning, Regional Air Quality, and Climate Change. *Encyclopedia of Environmental Health* [online]. Elsevier, 2019, s. 386-391 [cit. 2021-05-13]. ISBN 9780444639523. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.11022-X
- [4] *Particulate Matter* [online]. In: . [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.rsagarwal.com/particulate-matter/>
- [5] *Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution: joint WHO/Convention task force on the health aspects of air pollution* [online]. Copenhagen: World Health Organization Europe, 2006 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf
- [6] Particulate Matter (PM) Basics: What is PM, and how does it get into the air?. In: *Particulate Matter (PM) Pollution* [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- [7] FAN, Z. a L. LIN. Exposure Science: Contaminant Mixtures. *Encyclopedia of Environmental Health* [online]. Elsevier, 2011, s. 645-656 [cit. 2021-02-10]. ISBN 9780444522726. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-52272-6.00122-7
- [8] *Co jsou to částice PM10 a proč se vůbec měří?* [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.novyjicin.cz/co-jsou-to-castice-pm10-a-proc-se-vubec-meri/>
- [9] BENCKO, Vladimír. *Hygiena a epidemiologie: učební texty k seminářům a praktickým cvičením pro studijní obor Zubní lékařství*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1129-5.
- [10] HO, K.F., J.J. CAO, Roy M. HARRISON, S.C. LEE a K.K. BAU. Indoor/outdoor relationships of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in PM2.5 in roadside environment of Hong Kong. *Atmospheric Environment* [online]. 2004, 38(37), 6327-6335 [cit. 2021-02-10]. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosenv.2004.08.007
- [11] HOLLEROVÁ, Jitka. *Prašnost na pracovišti: Účinky prachu na lidský organismus* [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>
- [12] TERZANO, C., F. DI STEFANO, V. CONT, E. GRAZIANI a A. PETROIANNI. *Air pollution ultrafine particles: toxicity beyond the lung* [online]. s. 809-821 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <http://www.europeanreview.org/wp/wp-content/uploads/824.pdf>
- [13] QIAN, Jing, Andrea R. FERRO a Kathleen R. FOWLER. Estimating the Resuspension Rate and Residence Time of Indoor Particles. *Journal of the Air & Waste Management Association* [online]. 2012, 58(4), 502-516 [cit. 2021-02-20]. ISSN 1096-2247. Dostupné z: doi:10.3155/1047-3289.58.4.502

- [14] ARDEN POPE III, C. a Douglas W. DOCKERY. *Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect* [online]. 2005, s. 709–742 [cit. 2021-02-20]. ISBN 1047-3289. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/225089726_Health_Effects_of_Fine_Particate_Air_Pollution_Lines_that_Connect
- [15] ZIMMERMANN, Jozef. *Dýchacia sústava: Systema respiratorium* [online]. In: . [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.pf.ukf.sk/images/docs/ine/2018/zimmermann/D%C3%BDchacia%20s%C3%BAstava%20PDF.pdf>
- [16] *Air quality vs COVID-19: How does air pollution affect human health?* [online]. In: . 2020 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://thecowrynetwork.org/air-quality-vs-covid-19-a-journey-into-the-world-of-invisible-murderers-and-implications-for-the-worlds-as-well-as-africas-public-health>
- [17] *Fine particles and human health* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.pca.state.mn.us/air/fine-particles-and-human-health>
- [18] *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM): Particulate Matter (PM) Pollution* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- [19] *Air pollution linked with higher COVID-19 death rates* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.hsph.harvard.edu/news/hsph-in-the-news/air-pollution-linked-with-higher-covid-19-death-rates/>
- [20] WU, X., R. C. NETHERY, M. B. SABATH, D. BRAUN a F. DOMINICI. *Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis* [online]. 2020 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://projects.iq.harvard.edu/covid-pm>
- [21] *New Research Links Air Pollution to Higher Coronavirus Death Rates* [online]. In: . 2020 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2020/04/07/climate/air-pollution-coronavirus-covid.html>
- [22] *Ambient air pollution attributable death rate (per 100 000 population): Mortality and burden of disease Risk factors* [online]. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-air-pollution-attributable-death-rate-\(per-100-000-population\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-air-pollution-attributable-death-rate-(per-100-000-population))
- [23] *Air quality: Data and statistics* [online]. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/data-and-statistics>
- [24] *9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action* [online]. 2018 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.who.int/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- [25] *Years of life lost (YLL) per 100 000 inhabitants attributable to exposure to PM2.5 in European countries (2016)* [online]. In: . 2019 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/years-of-life-lost-per-1>
- [26] ANTALOVÁ, Veronika a Inés HORVÁTHOVÁ. *Zdravý ako buk: Zhoršená kvalita životného prostredia na Slovensku spôsobuje takmer 5 tis. predčasných úmrtí ročne* [online]. 2018 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: https://www.minzp.sk/files/iep/2018_10_zdravy_ako_buk.pdf

- [27] *Znečištění ovzduší v České republice: Shrnutí nejdůležitějších informací o znečištění ovzduší v ČR* [online]. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: https://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2018/11/znečistení_ovzduší_cr_podklad_cad_2018.pdf
- [28] GRANTZ, D.A, J.H.B GARNER a D.W JOHNSON. Ecological effects of particulate matter. *Environment International* [online]. 2003, 29(2-3), 213-239 [cit. 2021-03-14]. ISSN 01604120. Dostupné z: doi:10.1016/S0160-4120(02)00181-2
- [29] *Znečisťovanie ovzdušia: naše zdravie stále nemá dostatočnú ochranu* [online]. In: . 2018 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/sk/#A10>
- [30] *Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe* [online]. No 21/2019. 2019 [cit. 2021-03-14]. ISBN 978-92-9480-212-5. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives>
- [31] *AIR POLLUTION* [online]. In: . 2021 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://sk.pinterest.com/pin/575757133582307721/>
- [32] BERTICS, P.J., M.L. GAVALA a L.C. DENLINGER. ENDOTOXINS. *Encyclopedia of Respiratory Medicine* [online]. Elsevier, 2006, s. 80-85 [cit. 2021-05-14]. ISBN 9780123708793. Dostupné z: doi:10.1016/B0-12-370879-6/00125-3
- [33] KANG, Kyungmo, Hyungkeun KIM, Daeung Danny KIM, Yun Gyu LEE a Taeyeon KIM. Characteristics of cooking-generated PM10 and PM2.5 in residential buildings with different cooking and ventilation types. *Science of The Total Environment* [online]. 2019, 668, 56-66 [cit. 2021-03-14]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.316
- [34] AMOUEI TORKMAHALLEH, Mehdi, Soudabeh GORJINEZHAD, Hediye Sumru UNLUEVCEK a Philip K. HOPKE. Review of factors impacting emission/concentration of cooking generated particulate matter. *Science of The Total Environment* [online]. 2017, 586, 1046-1056 [cit. 2021-03-14]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2017.02.088
- [35] LYČKA, Zdeněk. *Ekodesign a energetické štítkování lokálních topidel* [online]. In: . 2017 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16725-ekodesign-a-energeticke-stitkovani-lokalnich-topidel>
- [36] *Kvalita ovzduší v České republice: Emise PM10 a PM2,5* [online]. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_1_PM_v1.pdf
- [37] GHASEMI, Mehdi, Davood TOGHRAIE a Ali ABDOLLAHI. An experimental study on airborne particles dispersion in a residential room heated by radiator and floor heating systems. *Journal of Building Engineering* [online]. 2020, 32 [cit. 2021-03-14]. ISSN 23527102. Dostupné z: doi:10.1016/j.job.2020.101677
- [38] THATCHER, T. Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence. *Atmospheric Environment* [online]. 1995, 29(13), 1487-1497 [cit. 2021-03-14]. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:10.1016/1352-2310(95)00016-R
- [39] LEWIS, Roger D., Kee Hean ONG, Brett EMO, Jason KENNEDY, Jana KESAVAN a Michael ELLIOT. Resuspension of house dust and allergens during walking and vacuum cleaning. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* [online]. 2018, 15(3),

- 235-245 [cit. 2021-03-14]. ISSN 1545-9624. Dostupné z: doi:10.1080/15459624.2017.1415438
- [40] CORSI, Richard L., Jeffrey A. SIEGEL a Chunyi CHIANG. Particle Resuspension During the Use of Vacuum Cleaners on Residential Carpet. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* [online]. 2008, 5(4), 232-238 [cit. 2021-03-14]. ISSN 1545-9624. Dostupné z: doi:10.1080/15459620801901165
- [41] *What is a HEPA Filter & How Does It Work?* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.sylvane.com/what-is-a-hepa-filter-how-does-it-work.html>
- [42] *THE BASICS OF HEPA FILTRATION: History of the HEPA Filter* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <http://www.c-vac.com/history.html>
- [43] KALSANG BHUTIA, Thinley, John P. RAFFERTY a Bill KTE'PI. *High-efficiency particulate air system: air filtration system* [online]. 2014 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/high-efficiency-particulate-air-system>
- [44] *What Are HEPA Filters And How Do They Work? Overview* [online]. 2021 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://learnmetrics.com/hepa-filters/>
- [45] *HEPA* [online]. In: . [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/HEPA>
- [46] RODRIGUEZ, Emily. *Electrostatic precipitator* [online]. 2016 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/electrostatic-precipitator>
- [47] *Byjus Electrostatic Precipitator* [online]. In: . [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://byjus.com/physics/electrostatic-precipitator/>
- [48] *What Is An Electrostatic Precipitator?* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://oransi.com/blogs/blog/electrostatic-precipitator>
- [49] *UV Air Purifiers: Ultraviolet Air Purifiers: A Legitimate Option?* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <http://www.aircleaner.org/uv-air-purifiers/>
- [50] WANG-LI, Lingjuan, Zihan CAO, Michael BUSER, Derek WHITELOCK, Calvin B. PARNELL a Yuanhui ZHANG. Techniques for measuring particle size distribution of particulate matter emitted from animal feeding operations. *Atmospheric Environment* [online]. 2013, 66, 25-32 [cit. 2021-04-28]. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosenv.2012.08.051
- [51] *2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ANALÝZY VELKOSTI ČÁSTÍČ* [online]. In: . [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/chem/kag/Zam-Jesenak/2008/cast2.pdf>
- [52] ŠIMEK, Michal, Veronika GRÜNVALDOVÁ a BOHUMIL KRATOCHVÍL. *SOUČASNÉ METODY MĚŘENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC FARMACEUTICKÝCH LÁTEK A JEJICH OMEZENÍ* [online]. In: . 2013 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2014_01_50-55.pdf
- [53] *Mie and Fraunhofer Diffraction Theories* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.beckman.com/resources/technologies/laser-diffraction/mie-fraunhofer-theories>
- [54] *PARTICLE MEASUREMENT: Laser Diffraction* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.sympatec.com/en/particle-measurement/sensors/laser-diffraction/>
- [55] *Laser Diffraction (LD): Particle size distributions from nanometers to millimeters.* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/technology/light-scattering/laser-diffraction>

- [56] *Static Light Scattering (SLS) / Laser Diffraction Particle Size Distribution Analysis: Laser Diffraction Technology* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.horiba.com/gbr/staticlight-scattering-sls-laser-diffraction-particle-size-distribution-analysis/>
- [57] *Particle size analysis by gravitational sedimentation analysis* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.solids-solutions.com/rd/particle-sizing-and-particle-size-analysis/other-particle-size-measurement-techniques/particle-size-analysis-by-gravitational-sedimentation-analysis/>
- [58] 4. *SEDIMENTAČNÉ METÓDY* [online]. In: . [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/chem/kag/Zam-Jesenak/2008/cast4.pdf>
- [59] Stokes' law. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Stokes'_law
- [60] DURNER, Wolfgang, Sascha C. IDEN a Georg VON UNOLD. The integral suspension pressure method (ISP) for precise particle-size analysis by gravitational sedimentation. *Water Resources Research* [online]. 2017, 53(1), 33-48 [cit. 2021-04-28]. ISSN 00431397. Dostupné z: doi:10.1002/2016WR019830
- [61] KVÍTEK, Libor a Aleš PANÁČEK. *ZÁKLADY KOLOIDNÍ CHEMIE* [online]. Olomouc, 2007 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://fch.upol.cz/skripta/kol/koch.pdf>
- [62] WHALLEY, Jacqueline a Sara ZANDI. Particulate Matter Sampling Techniques and Data Modelling Methods. SALLIS, Philip, ed. *Air Quality - Measurement and Modeling* [online]. InTech, 2016 [cit. 2021-05-01]. ISBN 978-953-51-2764-2. Dostupné z: doi:10.5772/65054
- [63] KELEMEN, Michal a Tatiana MAŤAŠOVSKÁ. *Meranie hmotnostnej koncentrácie a bilancia úletu tuhých znečisťujúcich látok: Meranie koncentrácie prachových častíc pri rozptyle svetla* [online]. In: . [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/casopisy/atp_plus/plus_2006_2/plus18_22.pdf
- [64] *OPTICAL PARTICLE SIZER SPECTROMETER MODEL 3330: OPERATION AND SERVICE MANUAL* [online]. In: . 2013 [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://www.kenelec.com.au/wp-content/uploads/2016/06/TSI_3330_Opticle_Particle_Sizer_Manual.pdf
- [65] *How do Essential Oil Diffusers Work?* [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://aromessential.com/best-oil-diffuser/how-it-works>

7 ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Význam
<i>BaP</i>	Benzo[a]pyren
<i>EEA</i>	Európska agentúra pre životné prostredie
<i>EÚ</i>	Európska únia
<i>HEPA</i>	Vysoko účinný časticový vzduchový filter
NO_x	Oxidy dusíku
<i>OPC</i>	Optický čítač častíc
<i>OPS</i>	Optický analyzátor častíc
O_3	Prízemný ozón
<i>PAH</i>	Polycyklické aromatické uhľovodíky
PM_x	Pevné častice (o veľkosti x mikrometrov)
<i>PTFE</i>	Polytetrafluóretylén
SO_x	Oxidy síry
SO_2	Oxid siričitý
<i>UFP</i>	Ultra-jemné častice
<i>VOC</i>	Prchavé organické látky
<i>WHO</i>	Svetová zdravotnícka organizácia
<i>YLL</i>	Stratené roky života

Symbol	Význam
%	Percento
$^{\circ}\text{C}$	Stupeň Celzia
<i>cm</i>	Centimeter
m^2	Meter štvorcový
μm	Mikrometer
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrometer na meter kubický
častíc/ cm^3	Počet častíc na centimeter kubický
$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$	Liter za minútu

8 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 2.1 - Zloženie primárnych a sekundárnych častíc [4]	12
Obrázok 2.2 - Porovnanie veľkosti častíc [6]	13
Obrázok 2.3 - Ukladanie častíc v dýchacom ústrojenstve [16].....	15
Obrázok 2.4 - Zdroje polutantov v domácnosti [31].....	18
Obrázok 2.5 - Koncentrácia častíc PM ₁₀ a PM _{2,5} pri troch typoch varenia [33].....	20
Obrázok 2.6 - Koncentrácia častíc PM ₁₀ a PM _{2,5} podľa typu vetrania [33].....	21
Obrázok 2.7 Podiel sektorov NFR (Nomenclature for Reporting) na celkových emisiách a) PM ₁₀ a b) PM _{2,5} [36]	23
Obrázok 2.8 - Koncentrácia častíc PM ₁₀ a PM _{2,5} pri vysávaní [39]	24
Obrázok 2.9 - HEPA filter s funkčným popisom [45]	25
Obrázok 2.10 - Vlákna HEPA filtru pod mikroskopom [44].....	26
Obrázok 2.11 - Pracovný princíp elektrostatického odlučovača [47].....	26
Obrázok 2.12 - Frekvenčná distribučná krivka a), kumulatívna krivka b) [51].....	28
Obrázok 2.13 - Objemová distribúcia veľkosti častíc získaná z laserovej difrakcie [52].....	28
Obrázok 2.14 - Pracovný princíp laserovej difrakcie [54].....	29
Obrázok 2.15 - Princíp merania koncentrácie častíc rozptylom svetla [63]	31
Obrázok 3.1 – OPS Model 3330 [64]	32
Obrázok 3.2 – Dráha prúdenia vzorky v prístroji OPS Model 3330 [64].....	33
Obrázok 3.3 – Schéma kuchyne a) pohľad zhora b) pohľad z vnútra.....	34
Obrázok 3.4 - Schéma izby a) pohľad zhora b) pohľad z vnútra.....	34
Obrázok 3.5 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri varení špagiet	36
Obrázok 3.6 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri vyprášaní syra na elektrickom sporáku bez ventilácie.....	37
Obrázok 3.7 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri vyprášaní syra na elektrickom sporáku s prirodzenou ventiláciou	39
Obrázok 3.8 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri vyprášaní syra na plynovom sporáku s digestorom a prirodzenou ventiláciou	40
Obrázok 3.9 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri pečení v elektrickej rúre	42
Obrázok 3.10 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri upratovaní.....	44
Obrázok 3.11 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri spustení aróma difuzéru	45
Obrázok 3.12 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri spustení fěnu na vlasy	46
Obrázok 3.13 - Záznam merania koncentrácie častíc PM ₁ (a), PM _{2,5} (b) a PM ₁₀ (c) pri zapálení sviečky	47