VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV
ENERGY INSTITUTE

ELEKTRONICKÉ CIGARETY - POROVNÁNÍ Z HLEDISKA EMITOVANÝCH ČÁSTIC

ELECTRONIC CIGARETTES - COMPARISON OF EMITTED PARTICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Lukáš Buřil
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. František Lízal, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	**Lukáš Buřil**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. František Lízal, Ph.D.**
Akademický rok:	2015/16

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:

Elektronické cigarety - porovnání z hlediska emitovaných částic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Elektronické cigarety jsou stále více populární mezi kuřáky. Úkolem studenta bude nastudovat princip a dostupné informace o zdravotních následcích užívání pro kuřáky a dále provést experimentální ověření velikosti emitovaných částic.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat rešerši v oblasti principu funkce a zdravotních rizik používání elektronických cigaret (obecně reduced risk tobacco products).
Provést experimentální ověření velikostních spekter generovaných částic z elektronických cigaret několika výrobců.

Seznam literatury:

Hinds, William C. (1999) Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles,New York : Wiley.

Dhand, Rajiv (editor) (2015): ISAM TEXTBOOK OF AEROSOL MEDICINE, Publisher: International Society of Aerosols in Medicine (ISAM)/Mary Ann Libert Publishing, Inc.Dostupné z: http://www.isam.org/

Vědecké články zaměřené na elektronické cigarety

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 23. 11. 2015

L. S.

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

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

Abstrakt

Tato práce se zabývá studiem a porovnáním 3 elektronických cigaret z hlediska emitovaných částic. Předmětem experimentů byla malá elektronická cigareta typu cig-a-like, běžná elektronická cigareta GoTech eGo Ce4 a elektronická cigareta vyšší třídy iSmoka eLeaf iJust 2. Pro účely této práce byla v aerosolové laboratoři FSI VUT sestavena měřící trať, na které byly přístroji Lighthouse SOLAIR 3100 a TSI SMPS 3936 měřeny emitované částice výše uvedených cigaret. Cílem práce je porovnat různé typy elektronických cigaret.

Klíčová slova

Aerosol, kouření, elektronické cigarety, optický čítač částic, skenovací třídič pohyblivosti částic

Abstract

This bachelor's thesis focuses on the research and comparision of 3 electronic cigarretes with regard to emitted particles. The Subject of experiments was a small electronic cigarette cig-a-like, a common electronic cigarette GoTech eGo Ce4 and a higher class electronic cigarette iSmoka eLeaf iJust 2. For the purposes of this work an experimental track was constructed in the Laboratory of Aerosol Research at BUT FME. Emitted particles of cigarettes mentioned above were measured on this track by Lighthouse SOLAIR 3100 and TSI SMPS 3936. The aim of this thesis is to compare different types of electronic cigarettes.

Keywords

Aerosol, smoking, electronic cigarettes, Optical Particle Counter, Scanning Mobility Particle Sizer

Bibliografická citace

BUŘIL, L. *Elektronické cigarety – porovnání z hlediska emitovaných částic.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Lízal, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Lízala, Ph.D a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu citované literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonu (autorský zákon) v platném znění.

V Brně dne…… Podpis:……..

Poděkování

Děkuji Ing. Františku Lízalovi, Ph.D. a Corentinu Bernardovi za jejich pomoc, čas a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Nosskovi a Ing. Josefu Buřilovi za poskytnutí zkoumaných předmětů a všem, kteří se mnou sdíleli svoje zkušenosti.

Obsah

1 Úvod ... 10
2 Teoretická část ... 11
2.1 Aerosol ... 11
2.1.1 Veličiny pro popis aerosolů ... 12
2.2 Kouření ... 14
2.3 Elektronické cigarety ... 15
2.3.1 Typy elektronických cigaret ... 18
2.4 Dýchací systém ... 20
2.5 Měření aerosolů ... 22
2.5.1 Mikroskopická analýza ... 22
2.5.2 Real-time sizing ... 23
3 Experimentální část ... 27
3.1 Použité přístroje a zařízení ... 27
3.2 Použitý software ... 27
3.2.1 Popis použitých měřicích zařízení ... 27
3.3 Použité elektronické cigarety ... 30
3.3.1 Elektronická cigareta typu cig-a-like ... 30
3.3.2 Elektronická cigareta GoTech eGo Ce4 ... 31
3.3.3 Elektronická cigareta iSmoka eLeaf iJust 2 ... 32
3.4 Popis experimentu ... 33
3.4.1 Měřicí trať se zařízením SOLAIR 3100 ... 33
3.4.2 Měřící trať s SMPS 3936 ... 35
4 Výsledky a diskuze ... 36
4.1 Měření na OPC ... 36
4.1.1 Velká e-cigareta ... 38
4.1.2 Střední e-cigareta ... 40
4.1.3 Malá e-cigareta ... 42
4.2 Měření na SMPS 3936 ... 44
4.3 Diskuze ... 47
5 Závěr ... 49
6 Citovaná literatura ... 50
7 Seznam použitých zkratek a symbolů ... 53

8 Seznamy obrázků a tabulek 54
8.1 Seznam obrázků 54
8.2 Seznam tabulek 55

1 Úvod

V současné době se elektronické cigarety mezi kuřáky těší stále větší oblibě. Elektronické cigarety se od klasických liší tím, že přímo nespalují tabák, ale pomocí žhavicí cívky - atomizéru odpařují tekutinu zvanou e-liquid, která obsahuje mimo jiné nikotin. Tímto procesem vzniká aerosol, který následně kuřák vdechuje do plic. Mezi hlavní faktory, které ovlivňují koncentraci aerosolu, je konstrukce elektronické cigarety a výkon žhavicí cívky. Aerosol je dvoufázová smě skládající se z částic a plynu.

Částice se vyskytují v ovzduší všude kolem nás. Jejich původ může být přírodní, například výbuch sopky či požár nebo mohou být produkovány člověkem, nejčastěji spalováním fosilních paliv. Vdechování částic má negativní vliv na lidské zdraví. Proto byly v minulosti zavedeny regulace produkce částic, emisní a imisní limity a započal výzkum v této oblasti.

Elektronické cigarety jsou všeobecně považovány za zdravější alternativu kouření klasických cigaret. Jejich dlouhodobá rizika ovšem zatím nejsou prozkoumána, protože jsou ve větší míře používány až od roku 2006. Cílem této práce je porovnat jednotlivé typy elektronických cigaret a porovnat jejich dopad na lidské zdraví.

2 Teoretická část

2.1 Aerosol

Aerosol je nejjednodušeji definován jako dvoufázová směs skládající se z kapalných nebo pevných částic a plynu, ve kterém jsou tyto částice rozptýleny. Pevné částice tvoří jen velmi malou část hmotnosti aerosolu – méně než 0,0001 %, proto jsou vlastnosti aerosolu jako viskozita a hustota téměř totožné se vzduchem a při jeho zkoumání je potřeba uplatnit mikroskopický přístup [1].

Obr. 1 – Příklady aerosolů [2]

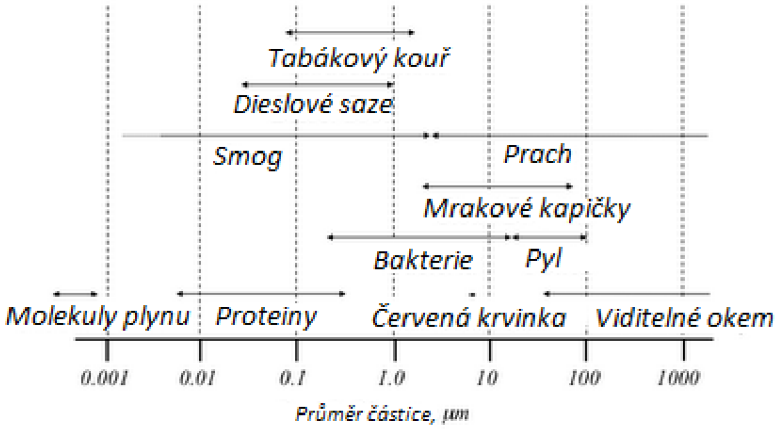
Aerosol se vyskytuje v několika různých podobách. Suspenze kapalných částic ve vzduchu vytváří sprej, opar nebo mlhu. Pevné částice tvoří potom prach nebo dým. Nejčastější formou aerosolu je směs kapalných i tuhých částic. Dalšími příklady aerosolů mohou být smog, výfukové plyny, apod. (Obr. 1).

Definice některých typů aerosolů:

- **Bioaerosol** – Aerosol biologického původu. Bioaerosoly zahrnují mimo jiné viry, bakterie spory a pyl.
- **Oblak** – Viditelná soustava vody a ledu v ovzduší s definovanými okraji.
- **Prach** – Aerosol tvořený pevnými částicemi, vzniklými mechanickým rozdělením například broušením. Tyto částice nabývají velikostí <1 μm až více než 100 μm a mají nepravidelný tvar.
- **Dým (fume)** – Aerosol tvořený pevnými částicemi produkovanými kondenzací par nebo plynnými produkty hoření. Jedná se často o shluky nebo řetězce primárních částic. Tyto částice jsou většinou menší než 50 nm.
- **Smog** – Obecný pojem pro viditelné znečištění atmosféry v určité oblasti.
- **Kouř (smoke)** – Viditelný aerosol vznikající nekompletním spalováním. Částice mohou být kapalné i tuhé a jsou většinou menší než 1 μm. [1]

2.1.1 Veličiny pro popis aerosolů

Nejvýznamnější charakteristikou aerosolů je velikost částic, na níž závisí většina vlastností. Velikost částic se může pohybovat od <0,001 μm až do >100 μm. Velikostí částice se rozumí její průměr, který se značí d_p.



Obr. 2 – Velikost částic [3]

(Obr. 2) zobrazuje rozsah velikostí částic aerosolů a dalších jevů. Většina částic aerosolů má velikost od 0,01 μm do 100 μm. Obecně velikosti prachů a pylů jsou řádově mikrometry a více, zatímco u kouře jsou velikosti menší než 1 μm. Částice větší než 10 μm podléhají gravitační síle a mají omezenou životnost v atmosféře. [1]. Ultra jemné částice mají velikost molekul plynu (0,001 μm) až 0,1 μm. Takto malé částice podléhají Brownovu pohybu způsobenému kolizemi s rychlými molekulami obklopujícího plynu [4].

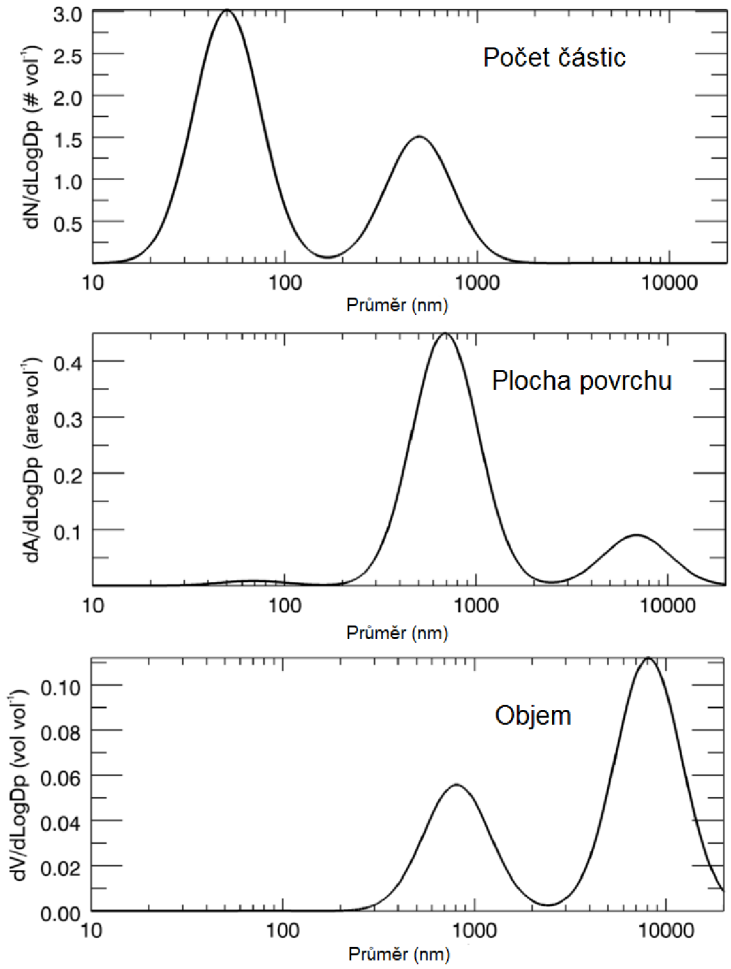
Kapalné částice aerosolů jsou téměř vždy kulaté, zatímco pevné částice mají zpravidla nepravidelný tvar. Pro usnadnění výpočtů se nepravidelná částice nahrazuje koulí s hustotou ρ_0 = 1000 kg/m^3 (standardní hustota), se stejným objemem a stejnou rychlostí usazování jako příslušná částice. Kapalné nebo prachové částice mají stejnou hustotu jako jejich mateřský materiál. Kouřové částice mají většinou zdánlivou hustotu nižší než je přepokládaná hodnota z jejich chemického složení. To je způsobeno množstvím prázdného prostoru v jejich aglomerované struktuře [1].

Hmotnostní koncentrace aerosolu je nejčastěji měřená veličina, která je definovaná jako hmotnost částic na jednotku objemu aerosolu. Běžně používané jednotky koncentrace jsou g/m^3, mg/m^3 a μm/m^3.

Kromě hmotnostní koncentrace je často měřená i početní koncentrace, která udává počet částic aerosolu na jednotku objemu.

Aerosoly se liší svojí disperzitou. Pokud se v systému vyskytují částice s jednou převažující velikostí, jedná se o monodisperzní aerosol. Většina aerosolů jsou

polydisperzní systémy, které mají široké spektrum velikostí částic. Polydisperzní soubor částic je nemožné popisovat výčtem charakteristik jednotlivých částic. Proto se určují velikostní distribuce částic za pomocí vhodných statistických rozdělení dat. Všechny úvahy zahrnující velikostní distribuci aerosolu vychází z předpokladu, že částice jsou kulového tvaru. Velikosti částic měřeného aerosolu jsou rozděleny do určitého počtu intervalů. Kromě počtu částic lze určit i distribuce povrchu, hmotnosti či objemu částic aerosolu. Normální rozdělení v případě aerosolu má nesymetrický tvar a širokou škálu velikostí, ta může mít rozpětí několik řádů. V případě velikostní distribuce u aerosolů se proto používá logaritmicko-normální distribuce velikosti částic. Na ose x jsou vyneseny logaritmicky transformované velikosti [1] [4](Obr. 3).



Obr. 3 – Rozložení velikosti částic

2.2 Kouření

Kouření je proces spalování tabáku a následné vdechování vzniklého aerosolu (kouře) do plic. Kouření má dlouhou tradici a historii, která sahá až do období mezi rokem 5000-3000 před naším letopočtem [5]. Do Eurasie byl tabák přivezen koncem 17. století po velkých obchodních cestách. Kouření mělo a stále má velký společenský význam. V 19. a začátkem 20. století bylo kouření považováno za symbol určité společenské úrovně. První souvislost kouření s výskytem rakoviny plic publikovali němečtí vědci v roce 1940 [6], což vedlo k první protikuřácké kampani moderních dějin. V roce 1954 byla souvislost kouření a vzniku rakoviny prokázána [7]. V roce 2010 užívalo tabák formou kouření téměř 2,4 miliardy lidí na celé Zemi, zdravotnické organizace, proto vedou rozsáhlé kampaně zaměřené na osvětu lidí o škodlivosti kouření. V České republice je na mnoha místech kouření tabákových výrobků a elektronických cigaret zakázáno např.: na krytých nástupištích, ve veřejně volně přístupných uzavřených prostorách, ve veřejných dopravních prostředcích, v budovách státních orgánů aj., podle § 8 zákona č. 379/2005 Sb., o opatřeních k ochraně před škodami působenými tabákovými výrobky, alkoholem a jinými návykovými látkami a o změně souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. V současné chvíli se projednává návrh zákona, který by zavedl úplný zákaz kouření v restauračních prostorách, a kolem kterého je v současnosti vedená velká společenská debata.

Obr. 4 – Tabáková cigareta

Důvody zapálit si první cigaretu jsou různé – špatné sociální prostředí, stres atd. Poté většinou vzniká silná závislost na nikotinu. Nikotin je rostlinný pyridinový alkaloid, který je obsažen v tabáku. Nikotin má stimulační a uvolňující účinky. Při spalování tabáku se nikotin uvolňuje a dostává se v plicích do krve a poté do mozku. Působí na nervovou soustavu a vyvolává stav relaxace a stimuluje myšlení a pozornost. Nikotin je vysoce návyková psychoaktivní látka. Závislost na ní se projevuje jako stav, který nutí člověka si zapálit cigaretu většinou i přes jeho znalost zdravotních následků kouření. Nejvážnější

rizika nejsou spojena s nikotinem, ale s ostatními látkami obsaženými v cigaretovém kouři – zejména dehty.

V dnešní době existuje mnoho tabákových výrobků, a způsobů užívání tabáku - cigarety, vodní dýmky, doutníky, dýmky, aj. Údajně zdravější alternativa kouření jsou elektronické cigarety, kde nedochází ke spalování tabáku, ale k odpařování tekuté náplně. Elektronickými cigaretami se zabývá tato práce.

2.3 Elektronické cigarety

Elektronická cigareta je zařízení, které bylo vyvinuto jako náhrada klasických cigaret v Honkongu v roce 2003. V Evropě a Americe jsou dostupné od roku 2006 a od té doby prochází dynamickým vývojem [8]. V Česku se první elektronická cigareta objevila v roce 2007. Elektronická cigareta je definována v § 2 písm. j) zákona č. 379/2005 Sb., o opatřeních k ochraně před škodami působenými tabákovými výrobky, alkoholem a jinými návykovými látkami a o změně souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, jako „napodobující funkci tabákového výrobku nebo tabákové potřeby, jehož účelem je vdechování nikotinových výparů, včetně příslušenství takových výrobků“. [9] V současné době je projednáván návrh úplného zákazu kouření v restauracích. Vládní předloha by vedle úplného zákazu kouření cigaret v restauracích také zakázala prodej cigaret a alkoholických nápojů v automatech a zavedla i další opatření na omezení jejich spotřeby. Stejné omezení jako pro tabákové výrobky by platilo i pro elektronické cigarety a bylinné výrobky ke kouření. [10]

V posledních letech si elektronické cigarety získávají stále vyšší popularitu, především mezi lidmi, kteří chtějí omezit rizika spojená s užíváním normálních cigaret. V současnosti probíhá debata mezi odbornou veřejností, zdali elektronické cigarety ponechat volně bez regulací soutěžit o přízeň uživatelů s těmi klasickými, uvalit na ně přísnější regulace, nebo je naopak úplně zakázat. Zastánci zákazu elektronických cigaret tvrdí, že jejich povolení vyvolá mezi lidmi dojem, že jde o zdravotně akceptovatelnou variantu kouření, což sníží motivaci kuřáků přestat kouřit a navíc zvýší šanci, že i nekuřáci kouřit začnou. Na druhou stranu zastánci elektronických cigaret tvrdí, že kuřáci mohou alespoň přejít na zdravější variantu a později díky tomu případně i přestat kouřit úplně [8].

Místo tabáku se v elektronické cigaretě používá tekutina zvaná e-liquid. Tato tekutina je většinou založena na propylenglykolu a glycerolu, případně směsi obou, ve kterých je nikotin rozpuštěn. E-liquid většinou obsahuje aromatické látky. Příchutě mohou být různé například mentol, káva, ovoce, cola aj. Tyto příchutě jsou ale například v USA zakázány [11]. Při dovozu e-liquidů dochází často k porušování chemických zákonů pro označování výrobků. Běžné obsahy nikotinu v komerčních e-liquidech jsou 0 mg, 6 mg, 8 mg, 11 mg, 16 mg, 18 mg, 24 mg.

V elektronické cigaretě nedochází ke spalování, ale k odpařování e-liquidu. Teplota procesu dosahuje přibližně 200 °C. Produkovaný aerosol s ultra jemnými částicemi bývá někdy nepřesně označován uživateli za páru. Samotný proces kouření je někdy nazýván „vaping“ [4].

Elektronická cigareta se skládá ze 3 základních částí:

- **Elektrická baterie** – Většinou Li-ion akumulátor, včetně případné řídící a regulační elektroniky (Obr. 5).

Obr. 5 – Akumulátor elektronické cigarety [12]

- **Atomizér** – Většinou se jedná o topnou spirálu z odporového drátu (kanthal), která je v kontaktu se savým materiálem napuštěným e-liquidem. Atomizér svou konstrukcí a provedením zásadně ovlivňuje výslednou chuť, množství kouře a další vlastnosti elektronické cigarety. (Obr. 6).

Obr. 6 - Atomizér [13]

- **Patrona (cartrige) s náplní e-liquidu a náustek** (Obr. 7) – Většinou je patrona a atomizér spojena v jeden celek součástí zvanou cartomizér. Novější typy elektronických cigaret využívají možnost plnění e-liquidu. Obvyklý objem patrony s e-liquidem je 1,5 ml - 10 ml.

Obr. 7 – Patrona s e-liquidem [14]

Z počátku se elektronické cigarety podobaly klasickým cigaretám, v současné době se stále více zvětšují a důležitějšími parametry než vzhled jsou dostatečná kapacita a výdrž baterie, výkonný atomizér a dostatečná zásoba e-liquidu.

Díky relativně krátké existenci elektronických cigaret stále probíhá mnoho výzkumů a testování kvality, bezpečnosti a zdravotních účinků e-cigaret. Problémem je absence poznatků o dlouhodobých dopadech kouření elektronických cigaret. Zdravotnické organizace proto nemohou doporučit užívání těchto zařízení, dokud nebude jasný jejich vliv na lidské zdraví. Aerosol vznikající užíváním elektronické cigarety neobsahuje tolik karcinogenů jako cigaretový kouř. Při atomizaci však stále vzniká velké množství jemných částic, těžkých kovů (chrom, nikl, měď,…) či jiných toxických látek [4] [11].

2.3.1 Typy elektronických cigaret

Mini e-cig (Cig-a-like)

Obr. 8 – Mini e-cig [15]

Mini e-cig jsou nejstarším typem elektronických cigaret. Velikostí i vzhledem nejvíce připomínají klasické cigarety (proto cig-a-like) (Obr. 8). Nejčastěji je používají lidé, kteří přecházejí z klasických cigaret, protože pocit z kouření těchto cigaret je podobný jako u cigaret klasických. Kromě nízké ceny je jejich nespornou výhodou malý rozměr, který ovšem zároveň omezuje některé funkční aspekty jako je výdrž baterie, velikost patrony s e-liquidem a výkon atomizéru, který nemusí být schopen silnému kuřákovi dodat dostatečnou dávku nikotinu. Mini e-cig je nabíjen pomocí USB kabelu.

Elektronické cigarety střední velikosti (Ego)

Jsou nejrozšířenějším a neoblíbenějším typem elektronických cigaret. Vzhledem už klasickou cigaretu připomínají pouze vzdáleně (Obr. 9). Tento typ cigaret je vhodnější pro těžké kuřáky, jelikož je schopný vyprodukovat větší množství hutného aerosolu, který uspokojí většinu kuřáků. Na rozdíl od mini e-cigu je při potáhnutí potřeba zmáčknout tlačítko, což dává uživateli větší kontrolu, na druhou stranu je proces kouření dost odlišný od kouření klasických cigaret. Hlavními výhodami jsou větší kapacita baterie, větší patrona s e-liquidem a výkonnější atomizér, při zachování malého rozměru – zhruba velikosti doutníku

Obr. 9 – Elektronická cigareta střední velikost (Ego) [16]

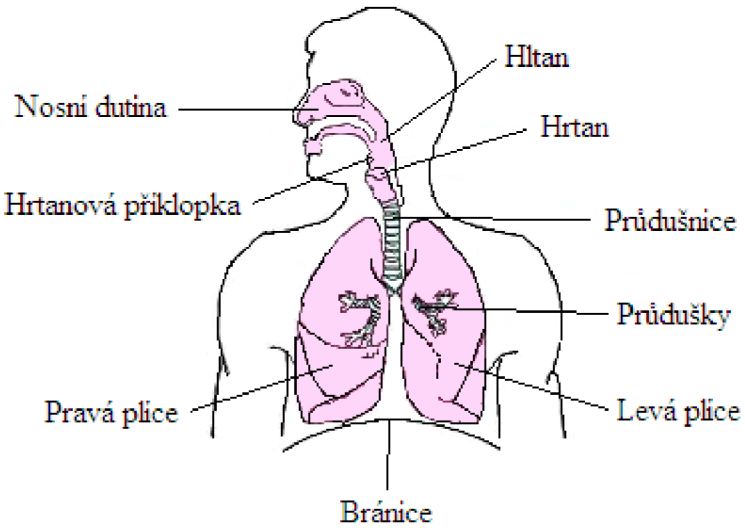
Advanced Personal Vaporizers (APVs)

Tento typ elektronických cigaret je využíván hlavně zkušenými uživateli elektronických cigaret. Jsou největší a nejdražší, dokáží ovšem uspokojit i ty nejnáročnější uživatele. APV cigarety mohou mít digitální displej, regulovatelné napětí, tvarově různé náplně s e-liquidem aj.

Obr. 10 – Příklady APV [17]

2.4 Dýchací systém

Při řešení dopadu vdechování aerosolů na lidský organizmus je nutná znalost anatomie dýchacího systému. Nejdůležitější funkcí dýchacího systému je výměna kyslíku a oxidu uhličitého v plicích. Dalšími funkcemi dýchacího systému je filtrace, zvlhčení a ohřátí vdechovaného vzduchu.

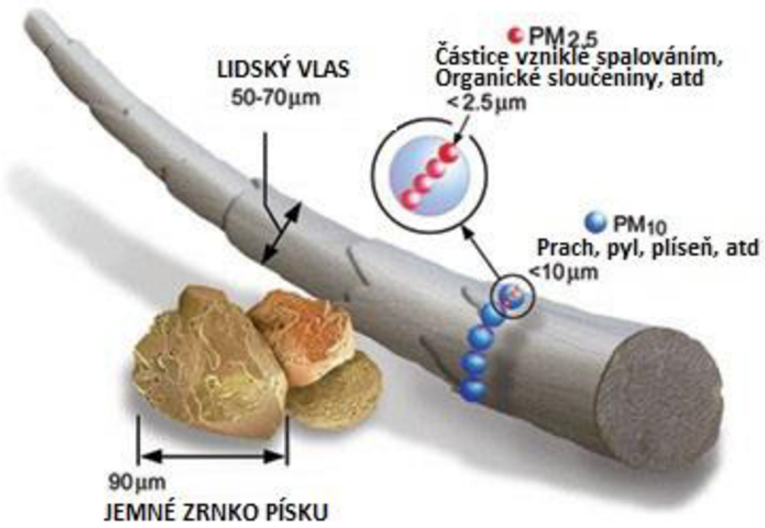


Obr. 11 – Dýchací systém [18]

Dýchací cesty se dělí na horní a dolní. Horní cesty dýchací se skládají z dutiny nosní, vedlejších nosních dutin a hltanu. Hltan má 3 části: horní, který navazuje na dutinu nosní, střední, který komunikuje s dutinou ústní - dochází zde ke křížení trávících a dýchacích cest a spodní, na něj navazuje jícen a zároveň z něj odstupuje hrtan. Dýchací a trávicí trubice se zde tedy znovu rozpojují. Úlohou horních cest dýchacích je především předehřátí, zvlhčení a filtrace vzduchu (prach, bakterie aj.)

Dolní cesty dýchací začínají hrtanem, vyztuženým chrupavkami. Přes prstencovou chrupavku se napojuje průdušnice, která se dále větví na hlavní průdušky, které se zanořují do pravé a levé plíce. Průdušky se v plicích větví na průdušinky, které ústí do plicních sklípků, které jsou protkány vlásečnicemi a tvoří houbovitou plicní tkáň. Ve stěně plicních sklípků dochází k výměně dýchacích plynů mezí krví a plícemi. Vlastní výměna plynů mezi vzduchem a krví probíhá v plicních sklípcích přes alveokapilární membránu, kyslík zde difunduje do krve a oxid uhličitý naopak, celková plocha těchto membrán je až 130 m^2. Výzkum ukládání částic v plicích je proto kvůli komplexnosti dýchacího systému velice obtížný.

Vliv na lidské zdraví ovlivňuje především velikost vdechovaných částic. Z hlediska zdravotního působení aerosolu na člověka byly definovány velikostní skupiny aerosolu označované jako PM_x (Particulate Matter), ty obsahují částice s aerodynamickým průměrem menším než x µm. Existují 4 základní skupiny: PM_{10}, $PM_{2,5}$, PM_1 a $PM_{0,1}$ [19].



Obr. 12 – Provnání velikostí částic aerosolu (PM_{10}, $PM_{2,5}$) s lidským vlasem a zrnkem pásku. [4]

Částice větší než 10 µm jsou zachycovány na chloupcích v nose a nezpůsobují větší zdravotní potíže. Částice menší než 10 µm (PM_{10}) se dostávají až za hrtan do dolních cest dýchacích, kde se mohou usazovat v průduškách ($PM_{2,5}$ - částice menší než 2,5 µm) nebo pronikat až do plicních sklípků (PM_1) – tyto částice jsou nejnebezpečnější a často obsahují adsorbované karcinogenní sloučeniny [20]. Částice $PM_{0,1}$ (nanočástice) mohou pronikat až do krve [21].

V běžném městském vzduchu se vyskytuje cca 10 000 částic/cm^3. Každý člověk vdechne denně asi 100 miliard částic, z toho se cca polovina usadí v plicích [4]. Nejčastějšími zdroji jsou přírodní procesy (výbuch sopky, požár, aj) nebo lidská činnost (spalování uhlí, těžba, spalovací motory, vaření nebo kouření)

Vdechování částic však nemusí mít pouze negativní dopad na zdraví člověka. Poznatky o aerosolech mají využití ve spoustě různých odvětví, například v medicíně. Užitečné jsou například při léčbě astmatu, kdy jsou inhalovány aerosoly. Ty jsou navrženy tak, aby se usadily na potřebném místě dýchacího systému [4].

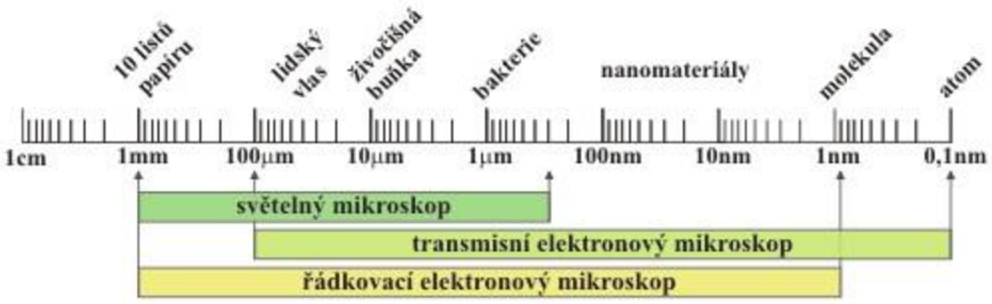
2.5 Měření aerosolů

U aerosolů můžeme zkoumat několik charakteristik - velikost, hmotnost, počet nebo složení částic v aerosolu. Nejdůležitějším parametrem je velikost částic zkoumaného aerosolu. Výsledkem měření je většinou hmotnostní a početní zastoupení částic v rozdílných velikostních třídách. K popisu aerosolu byla nejdříve používána metoda TSP (Total Suspended Particles). TSP bylo definováno filtrem, který zachytával pouze částice určitých velikostí. Jejich velikost se bohužel měnila se směrem a sílou větru (od 20 to 50 μm). Při větrných podmínkách ve hmotě dominovaly velké částice prachu atd. Proto byla v roce 1987 Americkou agenturou EPA (Environmental Protection Agency) provedena revize normy o kvalitě vzduchu a byl zaveden parametr znečištění PM10 (Particulate Matter), pro dýchatelnou složku aerosolu – částice menší než 10 μm. Další výzkum potom odhalil větší spojitost chorob dýchacího sytému s jemnými částicemi – menšími než 2,5 μm. V roce 1997 potom došlo k zavedení regulací pro PM2,5. Při zaměření na ultra jemné částice je zkoumáno PM1. [4] [22]. V České republice existují limity částic v ovzduší pouze pro PM10 a PM2,5 podle předpisu č. 201/2012 Sb.

Měřicí přístroje využívají různých vlastností a chování charakterizujících měřené částice. Pro měření aerosolů se používá několik metod, žádná však nedokáže měřit částice v celém rozpětí velikostí (1 nm - 100 μm). Pokud chceme měřit částici v co největším rozmezí velikostí, musíme většinou použít kombinaci měřicích způsobů a přístrojů. Nejdůležitější metody měření aerosolu jsou mikroskopická analýza a „okamžité třídění částic“ (real-time sizing) [4].

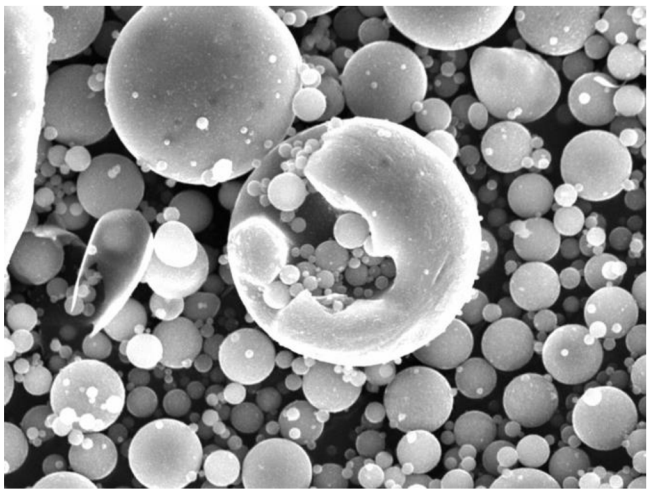
2.5.1 Mikroskopická analýza

Jedná se o pomalou metodu, kterou je možné měřit pouze malé vzorky. Většinou se zkoumají částice, které se zachytí na vhodných filtrech. Filtrace je nejjednodušší a univerzální způsob zachytávání částic aerosolů [4].



Obr. 13 – Porovnání pozorovatelných objektů různými typy mikroskopů [23]

Nejběžnějšími mikroskopy jsou klasické optické mikroskopy využívající obvykle bílé světlo ze zdroje (žárovka). Dalším typem jsou elektronové mikroskopy. Ty využívají místo proudu fotonů, proud elektronů a místo skleněných čoček jsou použity elektromagnetické čočky (cívky). Aby nedocházelo k interakcím elektronů s atmosférou, která ovlivňuje dráhu letících elektronů, musí být pozorovaný vzorek i svazek elektronů umístěn ve vakuu. Jednou z hlavních charakteristik mikroskopů je mezní rozlišovací schopnost, jež je úměrná vlnové délce použitého záření. Elektronové záření s podstatně kratší vlnovou délkou (~0,01–0,001 nm), než má viditelné světlo (400-700 nm), umožňuje dosáhnout mnohem vyššího rozlišení [23]. Velikosti objektů, které je možné pozorovat jednotlivými typy mikroskopů, zobrazuje (Obr. 13). Částice emitována uhelnou elektrárnou jsou zachyceny elektronovým mikroskopem na Obr. 14.



Obr. 14 – Částice popela z uhelné elektrárny pod elektronovým mikroskopem [24]

2.5.2 Real-time sizing

Velikost částice je získána tímto měřením na základě chování částic. Tety metody dokáží získat informace o měřeném aerosolu téměř okamžitě. Nejčastěji jsou pro třídění částic aerosolu využívány jejich setrvačné a optické vlastnosti nebo je využíváno jejich chování v elektrickém poli.

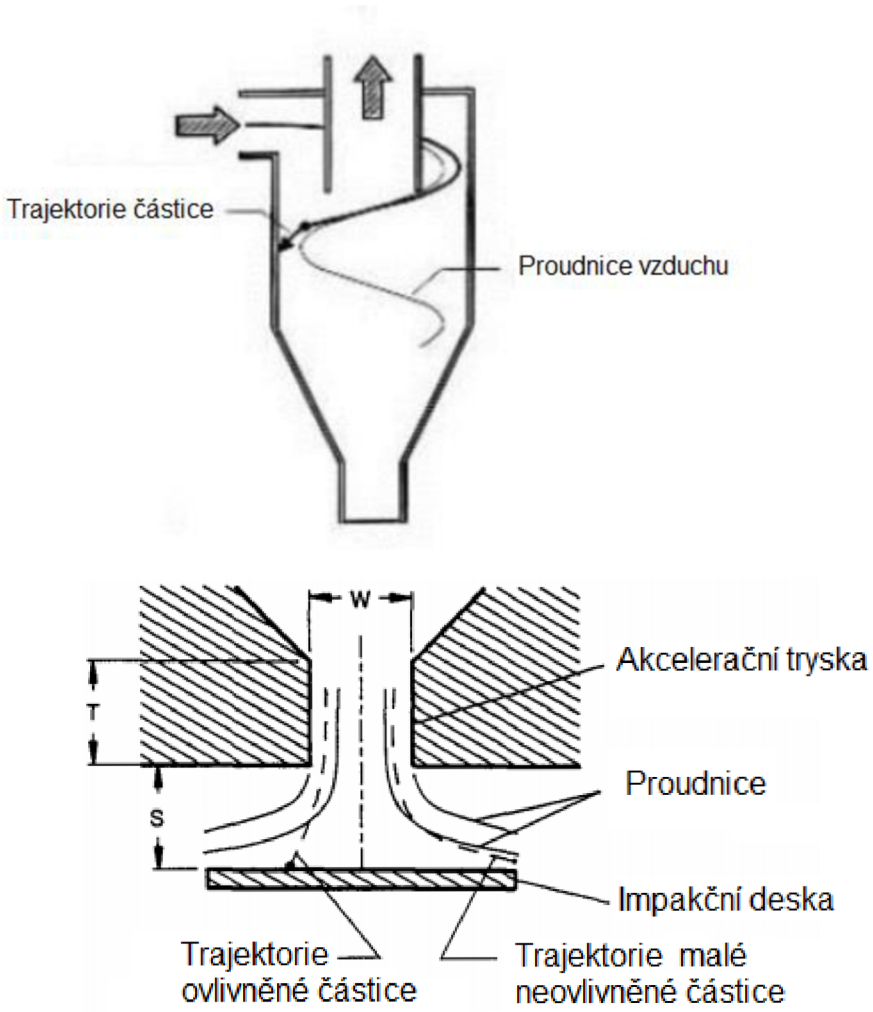
2.5.2.1 Setrvačné vlastnosti částic

Čím jsou částice větší, tím mají větší setrvačnost a jsou méně ovlivňovány okolními změnami. Mezi zařízení, která využívají setrvačných vlastností částic, patří impaktor, cyklon nebo odstředivka.

Částice mají určitou setrvačnost a mohou být vychýleny ze směru proudění plynu při zakřiveném pohybu (obtékání překážky). Zakřivený pohyb částice je charakterizován Stokesovým číslem (Stk) – indikátor podobnosti chování částic při obtékání překážek.

$$Stk = \frac{\rho_p d_p^2 U C_C}{9\eta D_j} [-]$$

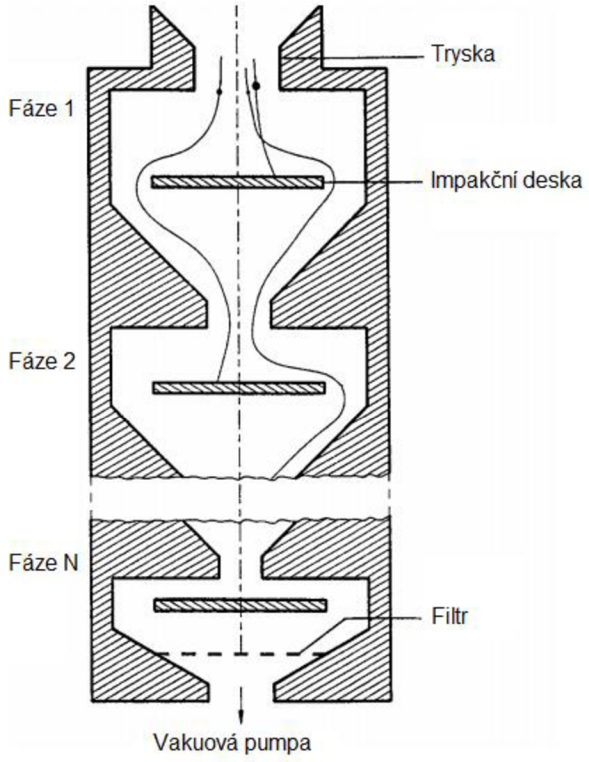
Stokesovo číslo je poměr brzdné dráhy částice k charakteristickému rozměru (Stk -> 0: částice přesně kopírují směr proudění, Stk -> ∞: částice odporují změnám ve směru jejich pohybu) [25] [4].



Obr. 15 – Schéma cyklonu a impaktoru [25]

Impaktory mají velké využití při měření aerosolových částic. V minulosti byly běžně používány k vzorkování prachu a vyhodnocování stavu prostředí. Schéma impaktoru a cyklonu pro odlučování velkých částic z aerosolu je na Obr. 15. Částice o větším než požadovaném průměru jsou zachytávány na impakční desce. Pro

gravimetrickou analýzu se používají kaskádové impaktory. Vyjímatelné impakční desky jsou vyjmuty před a po měření, kdy aerosol prochází sérii impaktorů se zmenšujícím se průměrem vyústek (Obr. 16). [4] Získání dat z kaskádového impaktoru je pracné, proto se pro rychlejší měření používají aerodynamické čítače částic (Aerodynamic Particle Sizer – APS)



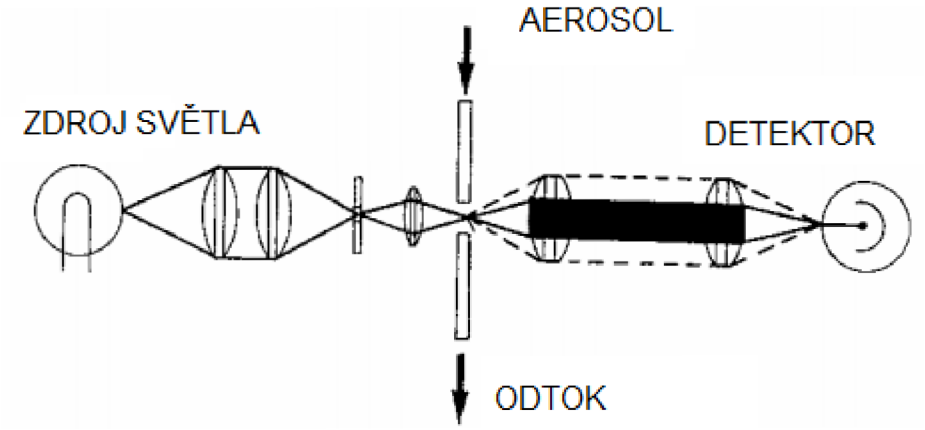
Obr. 16 – Kaskádový impaktor

2.5.2.2 Optické vlastnosti

Optické vlastnosti aerosolů jsou zodpovědné za spoustu atmosférických jevů jako barvitý západ slunce nebo duha. Způsobují také sníženou viditelnost spojenou se znečištěním ovzduší. Díky interakcím aerosolů se světlem jsme schopní měřit některé jejich vlastnosti, jako velikost částic nebo koncentraci. Při srážce světelné vlny s objektem dochází k několika efektům - odrazu, lomu nebo absorpci světla. Výhodou optických metod měření je vysoká citlivost a rychlost.

Rozptyl světla u velmi malých částic (méně než 0,05 μm) je popsán Rayleighovou teorií. U větších částic (0,05 μm – 100 μm) je rozptyl světla závislý na úhlu dopadu a popisuje ho Miova teorie rozptylu světla. [1] Pokud jsou částice větší než vlnová délka viditelného světla měření je možné přímo pomocí jejich optických vlastností. U menších částic (0,5 μm) je nutné použít zařízení, které pomocí kondenzace par na povrchu částic,

zvětší jejich povrch tak, aby bylo možné je měřit. [4] Schéma zařízení měřícího rozptyl světla na povrchu částic je na (Obr. 17).



Obr. 17 – Zařízení na měření rozptylu světla[25]

2.5.2.3 Chování v elektrickém poli

Na nabité částice v elektrostatickém poli působí síla závislá na velikosti náboje a intenzitě pole. Většina částic aerosolů nese nějaký elektrický náboj. Pro vysoce nabité částice může být elektrostatická síla více než 1000 krát větší než gravitační. [1] Těchto interakcí se využívá u zařízení pro měření aerosolů.

3 Experimentální část

3.1 Použité přístroje a zařízení

- Lighthouse SOLAIR 3100 – optický čítač částic (OPC)
- TSI Electrostatic clasifier 3080 – elektrostatický třídič
- TSI Condenstation Particle Counter 3775 - kondenzační čítač částic
- TSI Advanced Aerosol Neutralizer 3087 – aerosolový neutralizátor
- KNF LABOPORT Vacuum Pump – vakuová pumpa
- Topas Verdünnungssystem DIL 554 - dilutor
- TSI Aerosol Diluter 3302A – dilutor

3.2 Použitý software

- Microsof Office Excel 2013
- Microsof Office Word 2013
- TSI Aerosol Instrument Manager Software Version 9.0.0

3.2.1 Popis použitých měřicích zařízení

3.2.1.1 Lighthouse SOLAIR 3100

Lighthouse SOLAIR 3100 (Obr. 18) je optický čítač částic (Optical Particle Counter – OPC) využívající optických vlastností částic pro jejich měření. Primárně je určen k měření čistých prostor nebo místností, tedy do míst kde nejsou vysoké koncentrace aerosolu.

SOLAIR 3100 má měřící rozsah 0,3 – 25 μm a částice rozděluje celkem do 6 velikostních tříd 0,3 – 0,5 μm, 0,5 – 1,0 μm, 1,0 – 3,0 μm, 3,0 – 5,0 μm, 5,0 – 10,0 μm, 10,0 – 25,0 μm.

Obr. 18 – Ligthouse SOLAIR 3100 (OPC)

3.2.1.2 TSI SMPS 3936

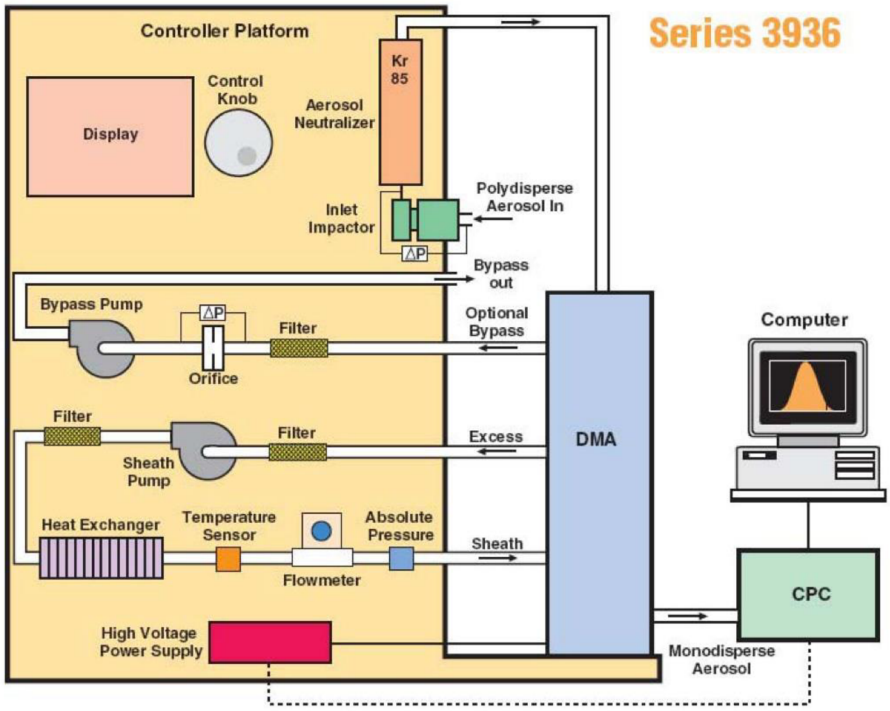
Kromě OPC byla v rámci mé bakalářské práce provedena měření na přístroji SMPS 3936 od společnosti TSI. Rozsah měřených velikostí tohoto přístroje je od 0,5 nm do 1μm, což odpovídá velikostní skupině PM_1. Částice dokáže rozdělit až do 64 velikostních intervalů Přístroj má vysoké rozlišení a přesnost měření, využívá se například v nanotechnologii, atmosférickém měření, měření spalovacích procesů, na testy filtrů či v toxikologii. [4]

TSI SMPS 3936 (Obr. 20) se skládá z několika důležitých přístrojů - elektrostatického třídiče (Electrostatic clasifier 3080), kondenzačního čítače částic (Condensation Particle Counter 3775) a aerosolového neutralizátoru (Neutralizer 3087) (Obr. 19).

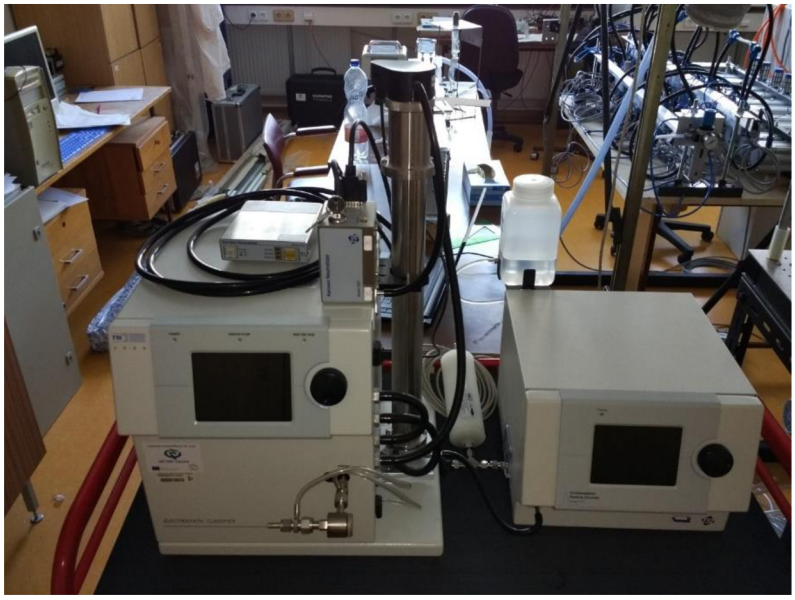
Aerosol, který vstupuje do SMPS nejprve prochází impaktorem, kde dochází k zachytávání velkých částic aerosolu. Dále aerosol prochází iontovým neutralizátorem, který vytvoří Gaussovské rozložení náboje na částicích. Nabité částice poté vstupují do diferenciálního analyzátoru pohyblivosti částic (DMA). DMA tvoří dva soustředné válce, které slouží jako vnější a vnitřní elektroda. Na vnitřní straně je určité napětí (0 až 10 000 V), které vytváří elektrické pole. SMPS automaticky mění hodnotu napětí a tím selektuje

určité velikosti částic – vytváří monodisperzní aerosol, který poté vstupuje do kondenzačního čítače částic (Condenstation Particle Counter – CPC)

CPC je zařízení sloužící k měření počtu částic pomocí rozptylu světla. Kvůli malým rozměrům částic je nutné zvětšit jejich rozměr, v případě CPC jsou použity páry butanolu. Částice jsou zvětšeny na rozměry cca 10 μm, což je velikost snadno měřitelná pomocí rozptylu světla.



Obr. 19 – Komponenty měřícího zařízení SMPS 3936



Obr. 20 – SMPS (TSI Electrostatic clasifier 3080, TSI Condenstation Particle Counter 3775, Advanced Aerosol Neutralizer 3087)

3.3 Použité elektronické cigarety

3.3.1 Elektronická cigareta typu cig-a-like

- Pořizovací cena: cca 50 Kč
- Kapacita baterie: neznámá
- Kapacita zásobníku: není uvedena
- Označení v rámci bakalářské práce: malá e-cigareta

První měřenou cigaretou byla několik let stará cigareta typu cig-a-like (Obr. 21) pravděpodobně čínského výrobce, který ovšem není dohledatelný. Obdobné výrobky se v současné době dají zakoupit za cca 50 kč. Jedná se o cigaretu určenou spíše pro slabé kuřáky – má krátkou výdrž, což se ukázalo později během testu. Tato cigareta rovněž funguje velice nespolehlivě a produkuje opticky nejméně aerosolu ze všech zkoumaných cigaret. Obsah nikotinu v e-liquidu u této e-cigarety není dohledatelný.

Obr. 21 – Elektronická cigareta cig-a-like s výměnnými cartrigemi

3.3.2 Elektronická cigareta GoTech eGo Ce4

- Pořizovací cena: 400 Kč
- Kapacita baterie: 1100 mAh
- Kapacita zásobníku: 1,6 ml
- Označení v rámci bakalářské práce: střední e-cigareta

Druhá testovaná cigareta GoTech eGo Ce4 (Obr. 22) je cigareta střední velikosti, která je ve všech aspektech na daleko vyšší úrovni než cigareta cig-a-like. Baterie i cartridge vydrží na jedno nabití, respektive naplnění několik dní. Při potažení je nutno stisknout tlačítko, správnou funkčnost indikuje modrá dioda. Tato cigareta rovněž produkuje více viditelného aerosolu.

Obr. 22 – Elektronická cigareta eGo s náplní

3.3.3 Elektronická cigareta iSmoka eLeaf iJust 2

- Pořizovací cena: 1000 Kč
- Kapacita baterie: 2600 mAh
- Kapacita zásobníku: 5,5 ml
- Označení v rámci bakalářské práce: velká e-cigareta

Třetí měřenou cigaretou byla Elektronická cigareta iSmoka eLeaf iJust 2 (Obr. 23). Tato Elektronická cigareta výrazně převyšuje 2 zbylé testované cigarety ve všech aspektech. Výkonově nezaostává oproti těm nejlepším cigaretám typu MODy a GRIPy. Má cartridge s velkým objemem a baterii s vysokou kapacitou. Produkuje nejvíce viditelného aerosolu ze všech testovaných vzorků. Její nevýhodou je vysoká spotřeba E-liquidu. U velké i střední e-cigarety byl použit e-liquid značky Dekang s obsahem nikotinu 11 mg v 10 ml e-liquidu.

Obr. 23 – Elektronická cigareta Eleaf iJust 2

3.4 Popis experimentu

První měření byla provedena na zařízení SOLAIR 3100 od firmy Lighthouse. Při prvním měření byly měřené cigarety napojeny přímo na měřící zařízení, kdy aerosol byl generování měřícím zařízením. Toto měření se ukázalo jako nevhodné, jelikož všechny tři elektronické cigarety mohou generovat aerosol pouze po dobu 10 sekund, poté došlo k automatickému vypnutí žhavící cívky. Doba 10 sekund je příliš krátká na to, abychom získali relevantní výsledky. Druhým problémem tohoto měření byla příliš vysoká koncentrace aerosolu. Zařízení SOLAIR 3100 je primárně určeno na měření koncentrací aerosolu v místnosti.

3.4.1 Měřicí trať se zařízením SOLAIR 3100

Na základě předchozího neúspěšného měření byla vytvořena měřící trať se vzorkovací komorou. Měřicí trať prošla dlouhým vývojem až do podoby na Obr. 25. Do vzorkovací komory byl nasán aerosol z elektronické cigarety pomocí vakuové pumpy KNF LABOPORT Vacuum Pump. Ten poté procházel skrze nádobu, kde došlo k jeho naředění v poměru 1:10 se vzduchem, a 2 sérově zapojené dilutory (Topas Verdünnungssystem DIL 554 a TSI Aerosol Diluter 3302A) do měřicího přístroje Lighthouse SOLAIR 3100. Zapojení celkem 3 dilutorů bylo nutné kvůli vysoké koncentraci aerosolu.

Obr. 24 – Vzorkovací komora o objemu 0,65 l

Na měřicí trati s touto konfigurací byly provedeny 2 typy měření. Aerosol byl v obou případech nasáván po dobu 3 sekund do vzorkovací komory pomocí vakuové pumpy. V prvním typu měření byla poté vzorkovací komora přepojena na OPC a ihned bylo provedeno měření. Ve druhém případě byl nasátý aerosol ponechán po dobu 60 sekund ve vzorkovací komoře a až poté byl aerosol změřen. Tento druhý experiment byl zařazen pro pozorování koagulace, tedy procesu, při kterém se aerosolové částice vzájemnými srážkami spojují ve větší. V obou případech byl aerosol měřen po dobu 60 sekund. V obou případech pro všechny 3 vzorky byla provedena vždy minimálně 3 měření.

Obr. 25 – Zapojení měřicí trati (1- Vzorkovací komora o objemu 0,65 l, 2 – Vakuová pumpa, 3 – Dilutor TSI 3302A, 4 – Dilutor DIL 554, 5 – SOLAIR 3100, 6 – HEPA filtr 7 – Průtokoměr 8- Ředicí komora, 9 – Měřená elektronická cigareta)

3.4.2 Měřící trať s SMPS 3936

Poslední experiment využíval měřicí trati s přístrojem SMPS 3936. Tento přístroj je pro naše měření vhodnější, jelikož měří částice menší než 1 μm a dokáže je rozlišit do užších velikostních tříd. Délka měření byla nastavena na175 sekund a průtok aerosolu byl 0,3 l/min, což je minimum. Toto nastavení nám umožnilo měřit částice s rozsahem velikostí od 17,8 nm až 964,7 nm. Při kratší době měření by došlo k zúžení zkoumané oblasti.

Obr. 26 – Vzorkovací komora o objemu 3,2 l

V tomto experimentu byla rovněž vzorkovací komora naplněna aerosolem z elektronické cigarety, který byl generován po dobu 3 sekund a ihned potom byl získaný aerosol měřen. Ukázalo se, že předchozí vzorkovací komora o objemu 0,65l (Obr. 24) je pro tento experiment nevhodná, jelikož došlo k vyčerpání aerosolu z komory ještě před koncem měření. Pro tento experiment byla proto vytvořena nová vzorkovací komora o objemu 3,2 l (Obr. 26).

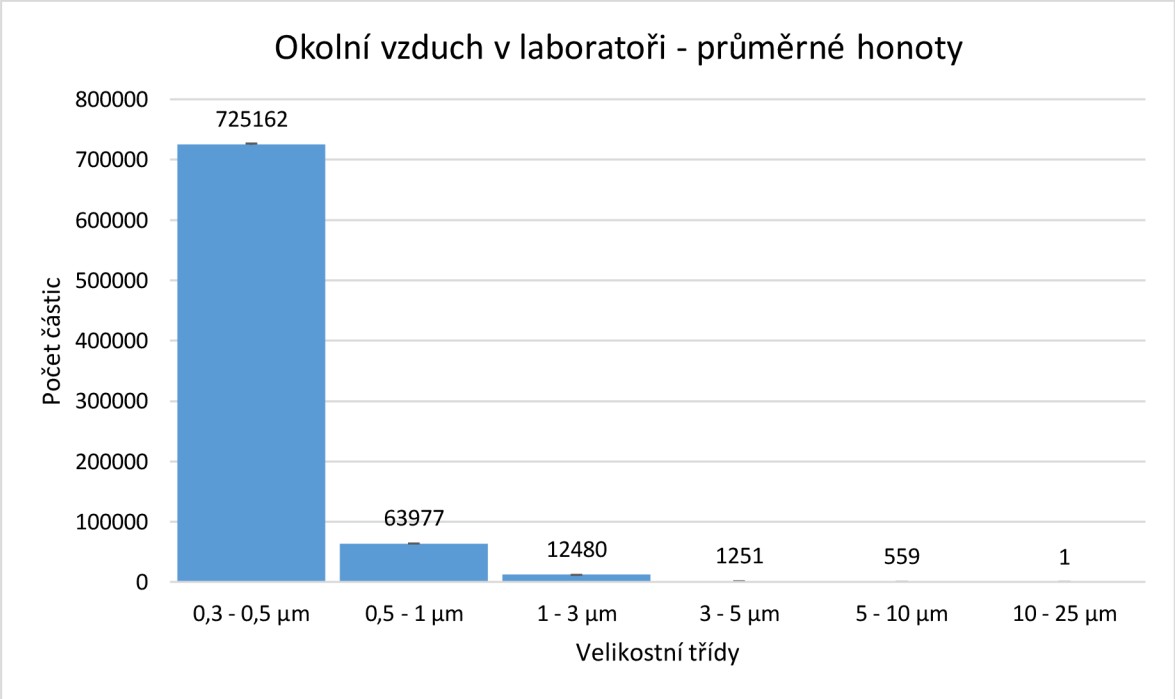
4 Výsledky a diskuze

4.1 Měření na OPC

Nejprve bylo provedeno měření čistého vzduchu v laboratoři (Tabulka 1). Tato data byla následně zprůměrována a vynesena do grafu (Obr. 27). Poté bylo provedeno 10 měření prázdné měřící trati (Tabulka 2). Hodnoty z prázdné měřící trati jsou několikanásobně nižší než data okolního vzduchu a data pro měřené vzorky. Zároveň se prokázala dobrá těsnost měřící trati a funkčnost HEPA filtru.

Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
			Počet částic			
1. měření	727104	63575	12474	1241	599	0
2. měření	723219	64379	12486	1260	518	1
Průměr	725162	63977	12480	1251	559	1
Sm. odchylka	1942.5	402	6	9.5	40.5	0.5

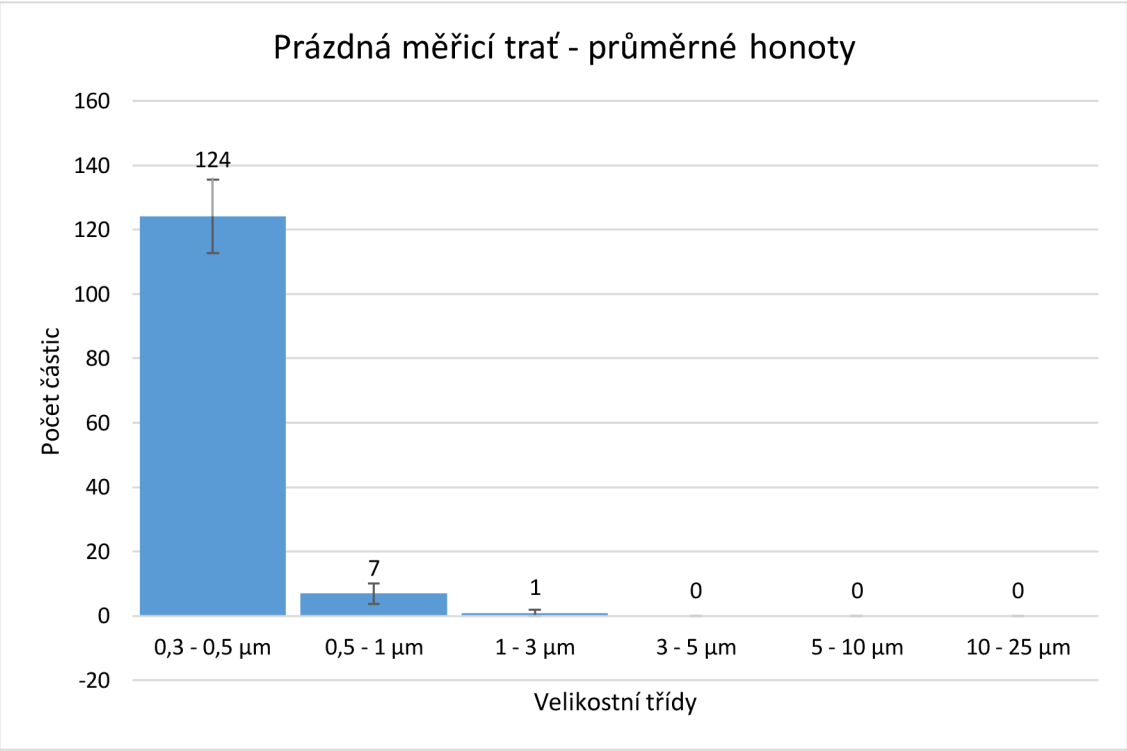
Tabulka 1 – Hodnoty vzduchu v laboratoři



Obr. 27 – Rozložení velikosti částic – okolní vzduch

Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
			Počet částic			
1. měření	144	8	1	0	0	0
2. měření	121	4	0	0	0	0
3. měření	124	8	2	0	0	0
4. měření	133	2	2	0	0	0
5. měření	137	6	0	0	0	0
6. měření	103	10	0	0	0	0
7. měření	110	14	0	0	0	0
8. měření	126	7	2	0	0	0
9. měření	122	6	2	0	0	0
10. měření	122	4	0	0	0	0
Průměr	124	7	1	0	0	0
Sm. odchylka	11.44	3.24	0.94	0	0	0

Tabulka 2 – Hodnoty prázdné měřicí trati



Obr. 28 - Rozložení velikosti částic – prázdná měřicí trať

4.1.1 Velká e-cigareta

Naměřená data pro velkou e-cigaretu pro okamžité měření zobrazuje Tabulka 3. Hodnoty měření provedené po 60 s jsou uvedeny v Tabulka 4.

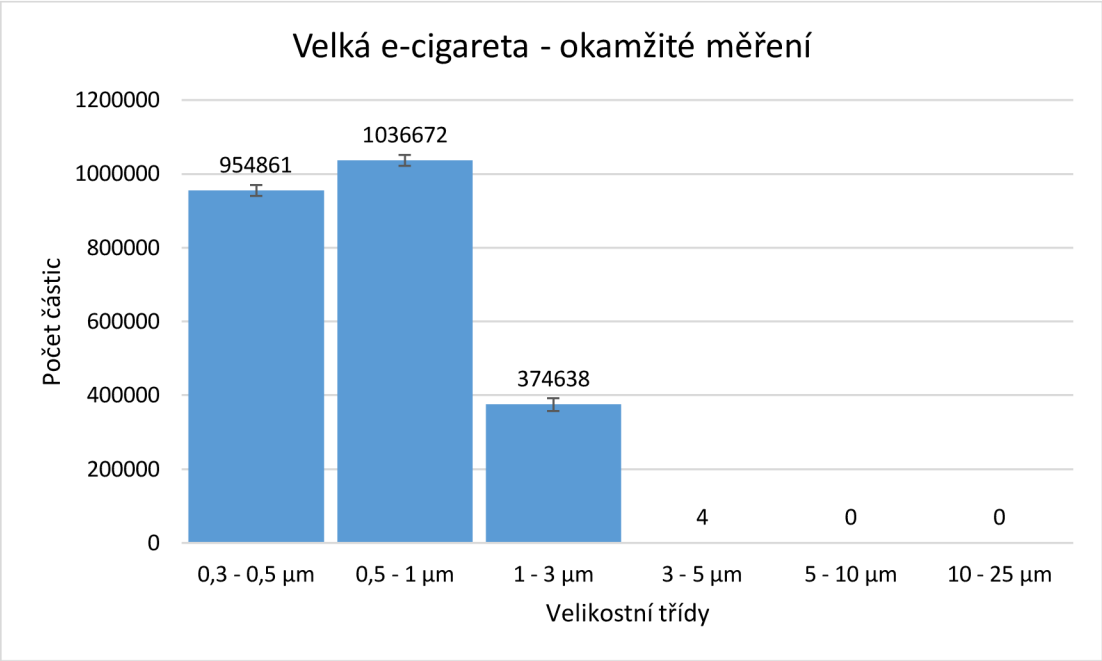
Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
	Počet částic					
1. měření	950426	1049756	396567	6	0	0
2. měření	968134	1053469	380984	3	0	0
3. měření	932533	1017012	371758	5	0	0
4. měření	968350	1026450	349241	3	0	0
Průměr	954861	1036672	374638	4	0	0
Sm. odchylka	14801.47	15365.02	17135.16	1.30	0.00	0.00

Tabulka 3 – Hodnoty - velká e-cigareta – okamžité měření

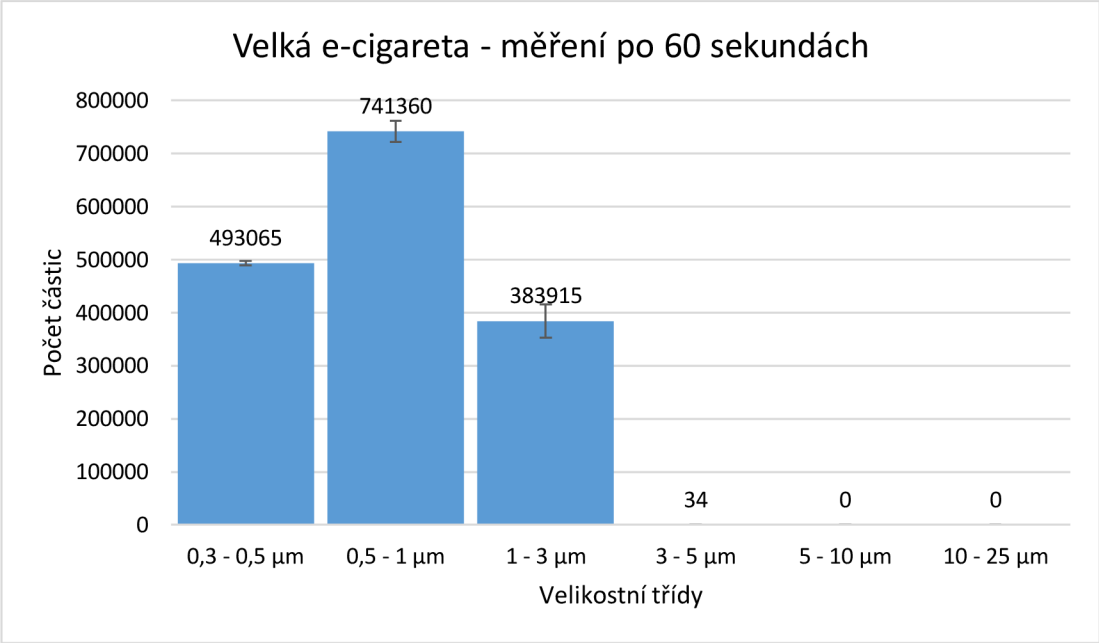
Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
	Počet částic					
1. měření	491669	705136	326622	16	0	0
2. měření	501297	748060	376647	37	0	0
3. měření	493385	766280	419056	59	0	0
4. měření	489830	745052	404286	32	0	0
5. měření	489144	742274	392965	27	0	0
Průměr	493065	741360	383915	34	0	0
Sm. odchylka	4373.93	19962.67	31834.20	14.22	0.00	0.00

Tabulka 4 – Hodnoty - velká e-cigareta – měření po 60 s

Průměrné hodnoty byly vyneseny do grafů. Obr. 29 zobrazuje rozložení částic pro okamžité měření a Obr. 30 pro měření po 60 s. Při porovnání těchto výsledků je patrné, že docházelo ke koagulaci. Ve velikostních třídách 1 – 3 µm a 3 – 5 µm bylo naměřeno ve druhém případě více částic než při okamžitém měření. Celkový počet částic u druhého měření je ale nižší, což je způsobeno koagulací a usazováním částic ve vzorkovací komoře.



Obr. 29 – Rozložení částic – velká e-cigareta – okamžité měření



Obr. 30 – Rozložení částic – velká e-cigareta – měření po 60 s

4.1.2 Střední e-cigareta

Naměřená data pro střední e-cigaretu pro okamžité měření zobrazuje Tabulka 5. Hodnoty měření provedené po 60 s jsou uvedeny v Tabulka 6.

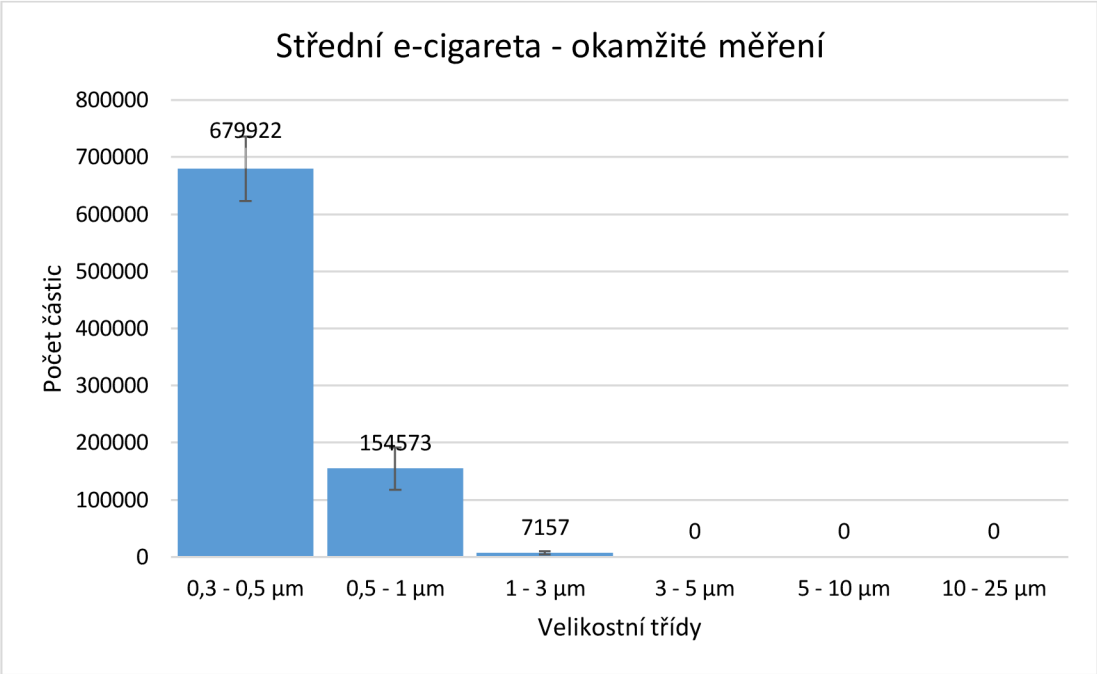
Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
			Počet částic			
1. měření	699726	137707	5820	0	0	0
2. měření	618468	130467	5629	0	0	0
3. měření	606794	115690	4086	0	0	0
4. měření	664337	144978	5922	0	0	0
5. měření	765491	227276	13383	0	0	0
6. měření	724715	171320	8100	0	0	0
Průměr	679922	154573	7157	0	0	0
Sm. odchylka	56403.10	36596.22	3020.24	0.00	0.00	0.00

Tabulka 5 - Hodnoty - střední e-cigareta – okamžité měření

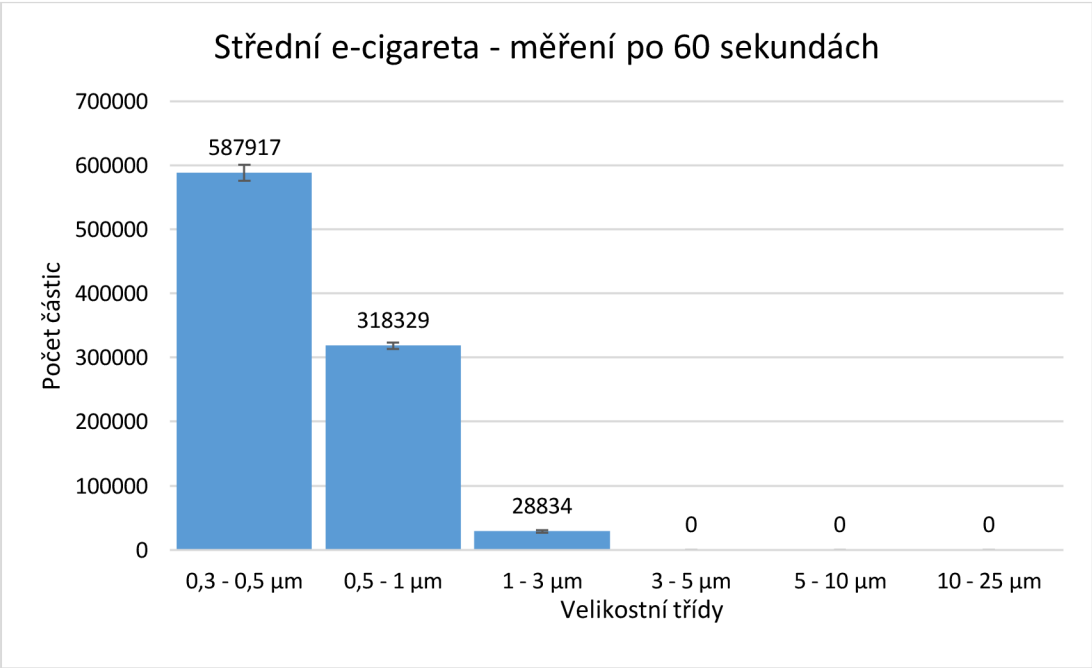
Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
			Počet částic			
1. měření	594372	319540	28170	0	0	0
2. měření	588735	317205	29038	0	0	0
3. měření	600582	324710	28638	0	0	0
4. měření	564244	320005	32000	0	0	0
5. měření	591651	310183	26324	0	0	0
Průměr	587917	318329	28834	0	0	0
Sm. odchylka	12466.69	4745.81	1835.46	0.00	0.00	0.00

Tabulka 6 - Hodnoty - střední e-cigareta – měření po 60 s

U střední elektronické cigarety nebyly ani v jednom typu experimentu naměřeny ve velikostní třídě 3 – 5 µm žádné částice. Při porovnání prvního (Obr. 31) a druhého experimentu (Obr. 32) je patrné, že rovněž docházelo ke koagulaci. V obou velikostních třídách 0,5 – 1 µm a 1 – 3 µm byly naměřeny vyšší počty částic při druhém typu měření.



Obr. 31 - Rozložení částic – střední e-cigareta – okamžité měření



Obr. 32 – Rozložení částic – střední e-cigareta – měření po 60 s

4.1.3 Malá e-cigareta

Měření malé elektronické cigarety bylo nejvíce problematické z několika důvodů. Malá e-cigareta nemá spouštěcí tlačítko, což ztížilo ovládání času, po který byl generován aerosol. Dalším problémem byla nespolehlivost cigarety. Po několika měření bylo vždy nutné udělat přestávku, protože malá e-cigareta, začala generovat minimum aerosolu, popř. negenerovala aerosol vůbec.

Naměřená data pro malou e-cigaretu pro okamžité měření zobrazuje

Tabulka 7. Hodnoty měření provedené po 60 s jsou uvedeny v

Tabulka 8Tabulka 6.

Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
			Počet částic			
1. měření	176357	19073	756	0	0	0
2. měření	128398	22313	1727	0	0	0
3. měření	180637	23257	1674	0	0	0
4. měření	144591	25867	2310	0	0	0
5. měření	155166	24357	2334	0	0	0
Průměr	157030	22973	1760	0	0	0
Sm. odchylka	19538.77	2281.09	574.19	0.00	0.00	0.00

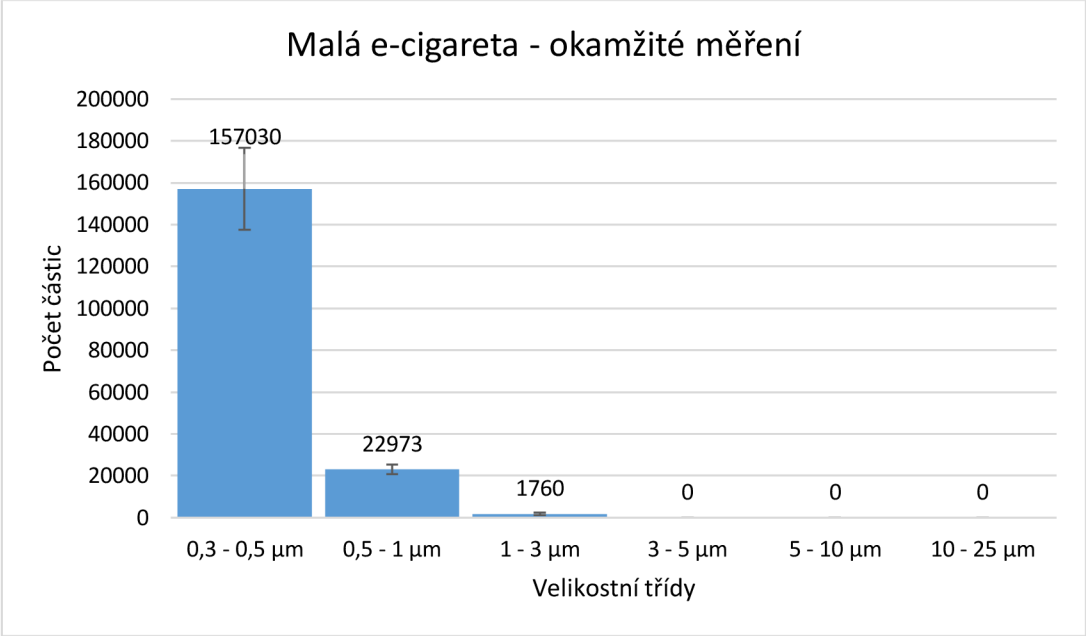
Tabulka 7 - Hodnoty - malá e-cigareta – okamžité měření

Velikostní třída	0,3 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 3 µm	3 - 5 µm	5 - 10 µm	10 - 25 µm
			Počet částic			
1. měření	193544	23360	1100	0	0	0
2. měření	91830	16991	1334	0	0	0
3. měření	56188	9829	718	0	0	0
4. měření	135456	8204	144	0	0	0
5. měření	47758	9507	514	0	0	0
Průměr	104955	13578	762	0	0	0
Sm. odchylka	54037.59	5776.57	421.14	0.00	0.00	0.00

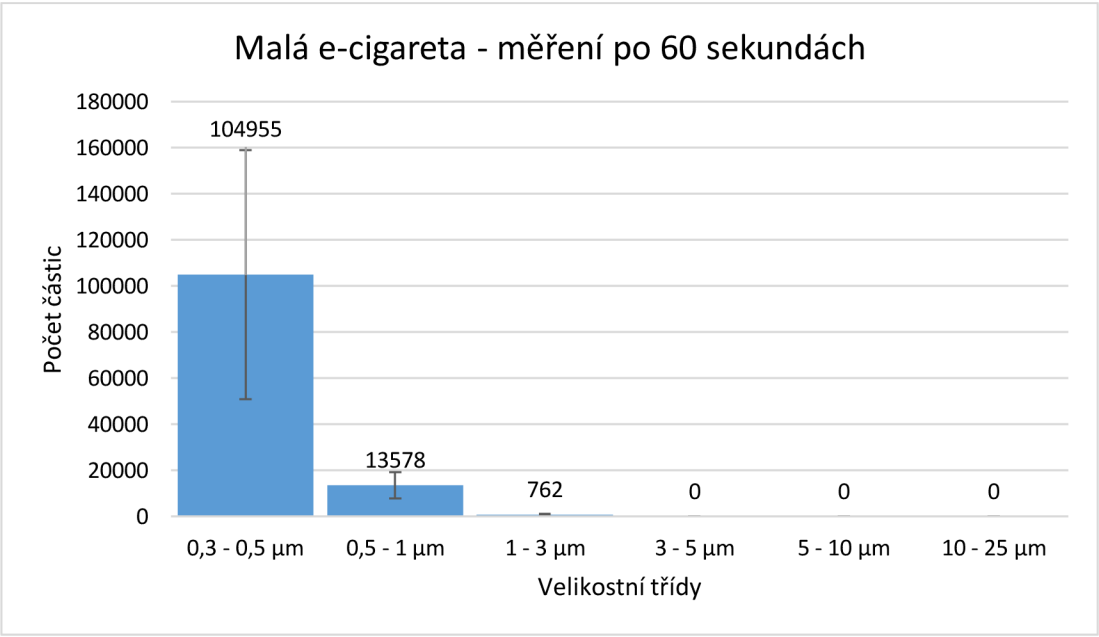
Tabulka 8 - Hodnoty - malá e-cigareta – měření po 60 s

U malé cigarety podle naměřených dat nelze pozorovat koagulaci, což je způsobeno hlavně nízkou koncentrací generovaného aerosolu. Celkový počet částic naměřených při

druhém experimentu je výrazně nižší, to je způsobeno usazováním částic ve vzorkovací komoře.



Obr. 33 - Rozložení částic – malá e-cigareta – okamžité měření

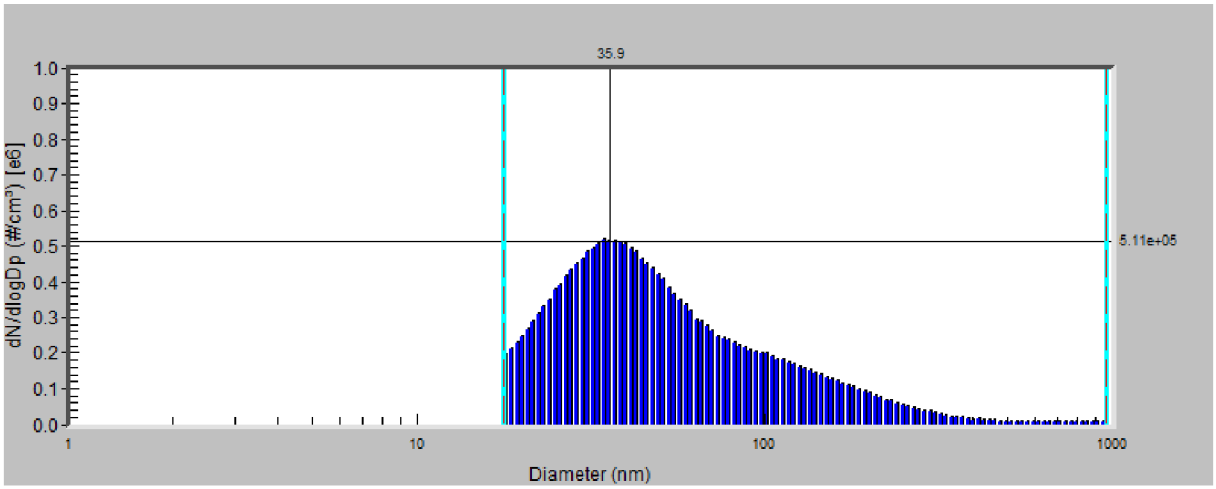


Obr. 34 - Rozložení částic – malá e-cigareta – měření po 60 s

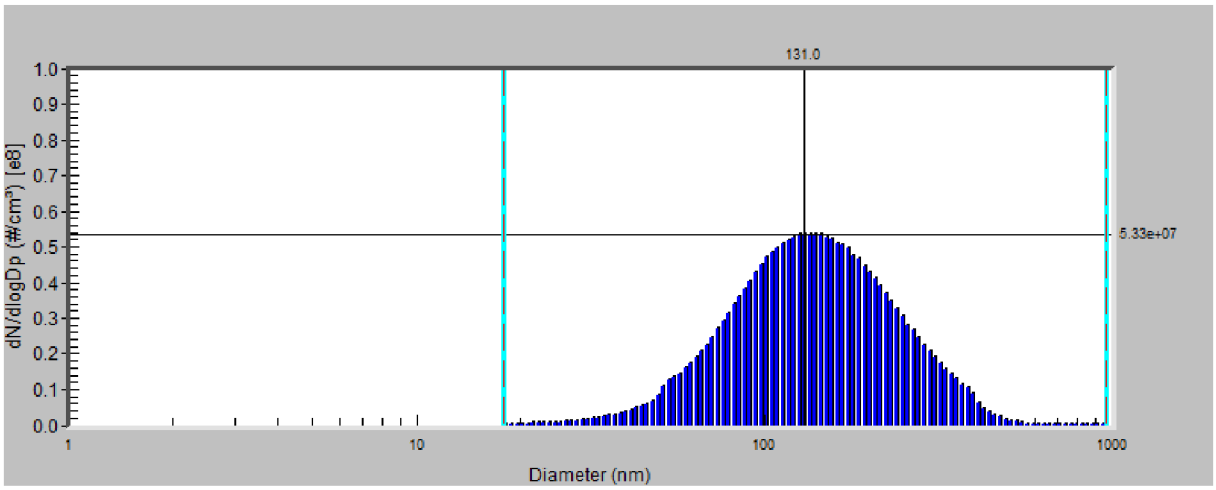
4.2 Měření na SMPS 3936

Na měřící trati s přístrojem SMPS 3936 byl proveden pouze jeden typ měření a to pouze velkou a střední e-cigaretu. Malá e-cigareta už nebyla po předchozích měřeních použitelná.

Před samotným experimentem byla rovněž proměřena prázdná měřící trať (Obr. 35). Pro zpracování dat byl použit software Aerosol Instrument Manager od společnosti TSI. Pro měření aerosolu je vhodné používat log-normální rozdělení. Program vykresluje na osu y normalizovanou koncentraci $dN/dlogD_p$. Poté byla provedena minimálně 3 měření každé elektronické cigarety

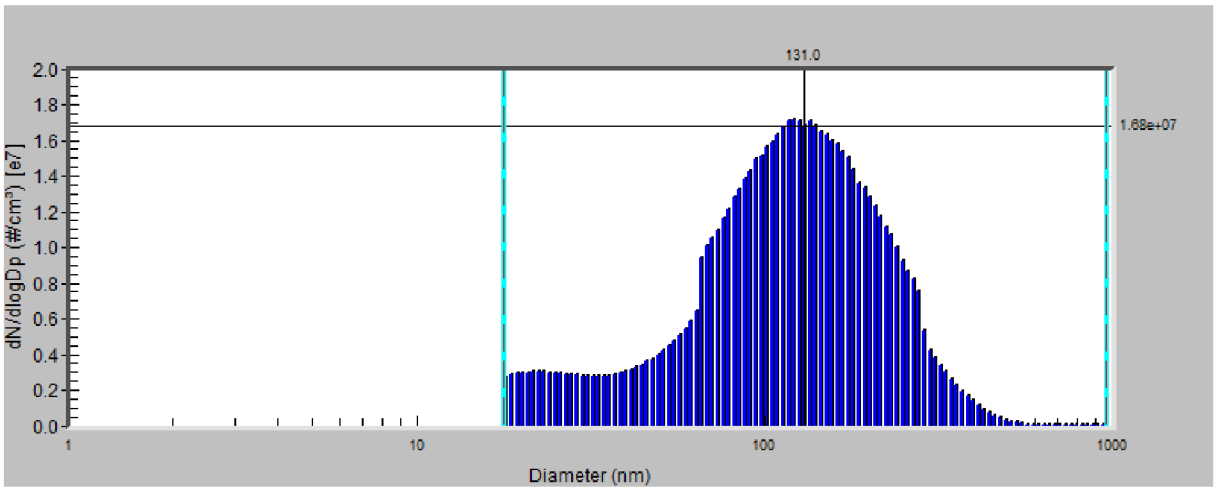


Obr. 35 – Měření prázdné měřící trati



Obr. 36 – Počet emitovaných částic velká e-cigareta

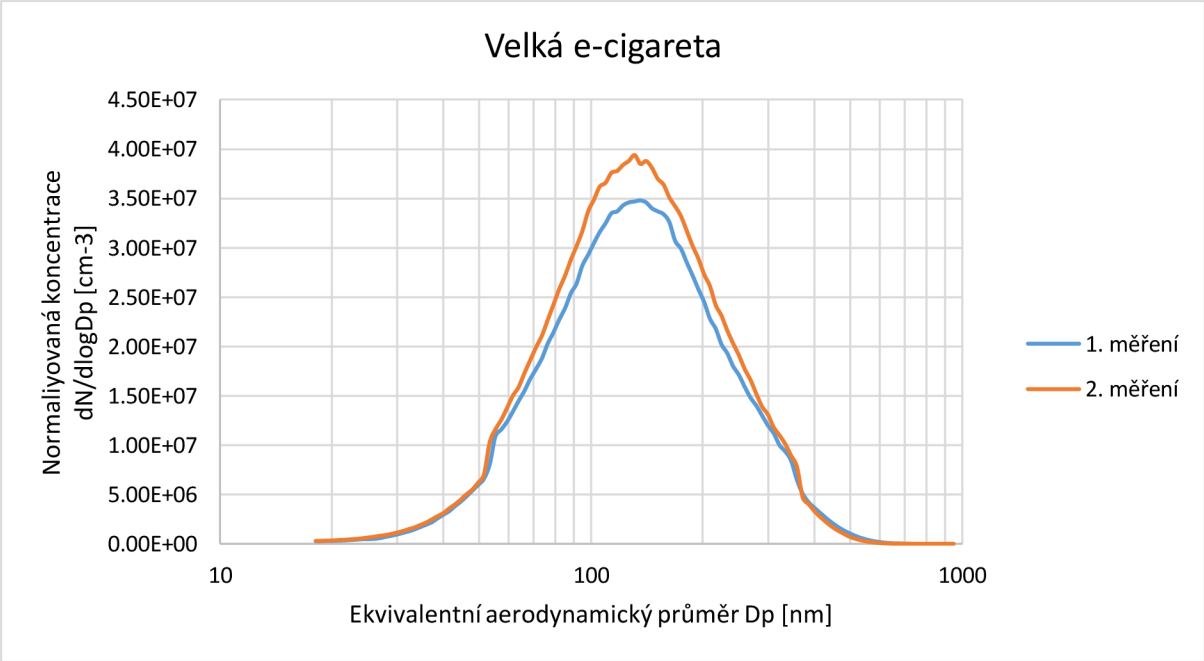
Na Obr. 36 jsou zobrazena data ze softwaru Aerosol Instrument Manager z měření velké e-cigarety. Na Obr. 37 jsou potom data z měření střední e-cigarety. V rozložení částic jsou patrné 2 skoky, tento jev jsme nebyli schopni vysvětlit.



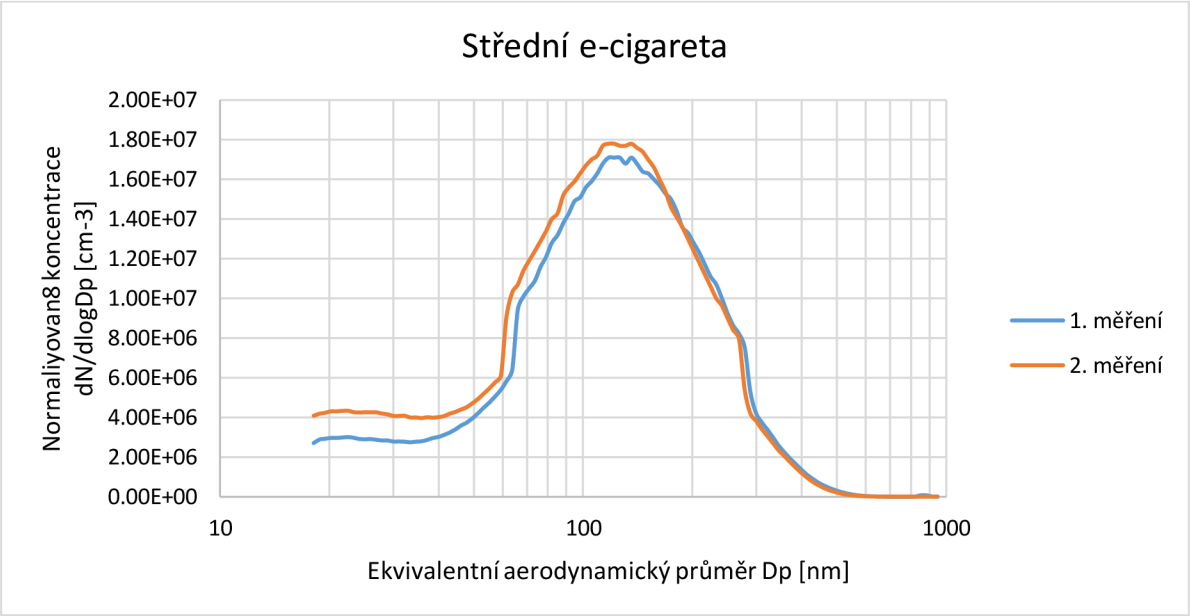
Obr. 37 – Počet emitovaných částic střední e-cigareta

I přes velkou citlivost měření, bylo dosaženo při různých měřeních velmi podobných výsledků, jak u velké e-cigarety (Obr. 38), tak u střední e-cigarety (Obr. 39).

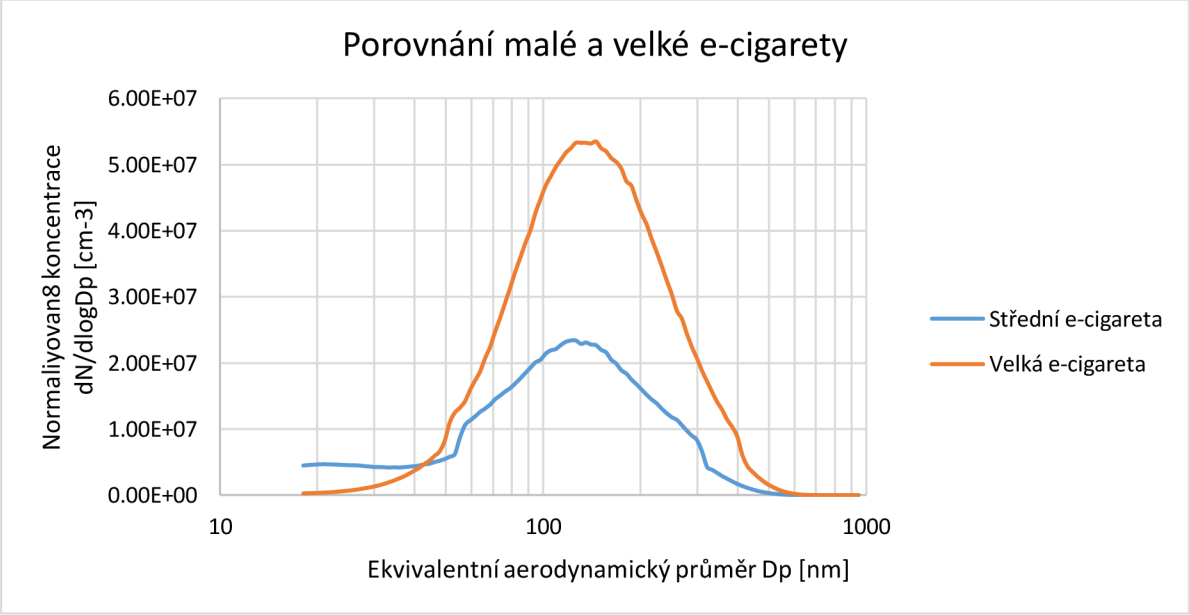
Obr. 40 zobrazuje porovnání počtu emitovaných částic střední a velké e-cigarety.



Obr. 38 – Porovnání 2 měření velké e-cigarety



Obr. 39 – Porovnání 2 měření střední cigarety



Obr. 40 – Porovnání střední a velké e-cigarety

4.3 Diskuze

Cílem práce bylo porovnat různé typy elektronických cigaret z hlediska emitovaných částic. Pro statistický popis výsledků log-normálního rozdělení se nejčastěji používá medián velikosti (Count Median Diameter), což je velikost částice, která rozděluje soubor na dvě poloviny o stejném počtu částic. V tabulce je také uvedena geometrická směrodatná odchylka měření (Geometric Standard Deviation), popisující míru rozptylu hodnot v logaritmickonormálním rozdělení. Posledními hodnotami v tabulce jsou celkové koncentrace měřených aerosolů v desítkách milionů částic na cm3 (ml). Tyto hodnoty jsou stanoveny měřicím přístrojem při každém měření. [4]

SMPS	Medián velikosti (CMD)	Geometrická odchylka měření σ_G	Celková koncentrace
	[nm]	[-]	[10^7/cm^3]
Velká e-cigareta	130,5	1,7	2,24
Střední e-cigareta	120,2	1,94	1,11

Tabulka 9 – Data získaná ze softwaru Aerosol Instrument Manager

Medián velikosti se střední a velké e-cigarety lišil cca o 10 %, kdy pro střední e-cigarety nabýval hodnoty 120,2 nm, zatímco u velké e-cigarety to bylo 130,5 nm. Geometrická odchylka měření byla v obou případech vyšší než 1,2, což znamená, že se jedná o polydisperzní aerosoly, což odpovídá předpokladům. Při porovnání těchto hodnot dojdeme k závěru, že střední elektronická cigareta má větší rozptyl hodnot. Celková koncentrace u velké e-cigarety je dvojnásobně vyšší než u střední e-cigarety

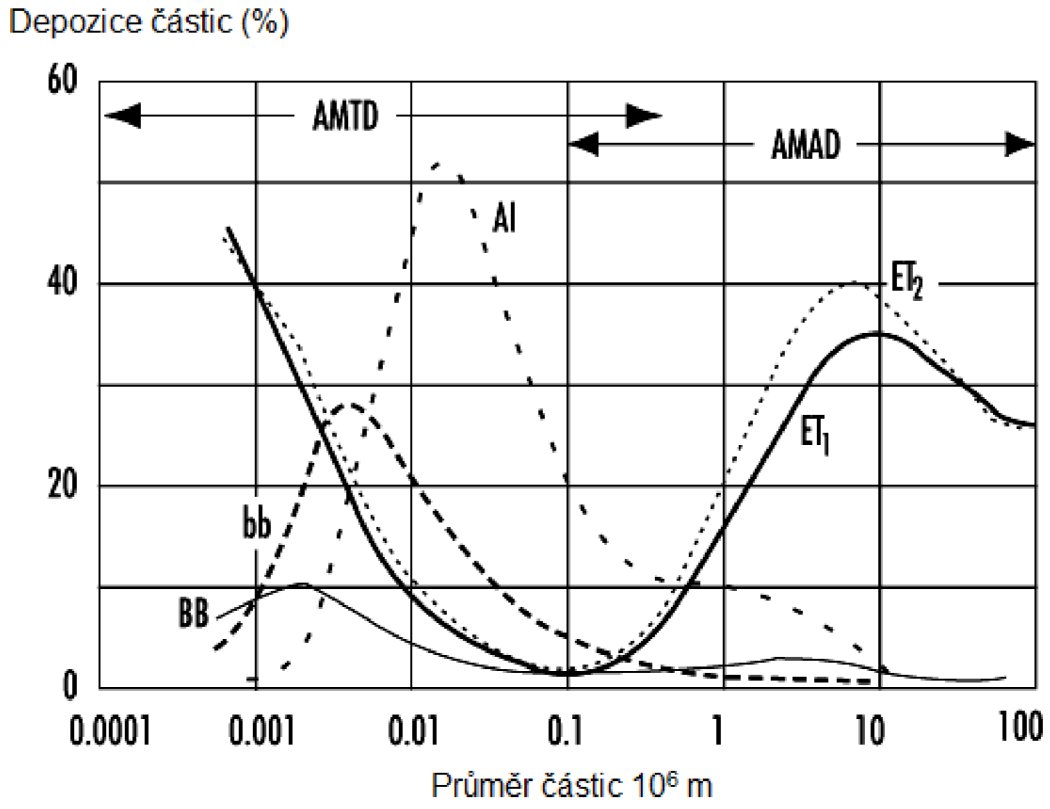
Tato data nemáme k dispozici pro malou e-cigaretu, jelikož při měření na SMPS už byla nefunkční. Všechny tři elektronické cigarety můžeme porovnat alespoň na základě měření na OPC. Z těchto měření je patrné, že celkový počet (celková koncentrace) částic malé e-cigarety je výrazně nižší než u dalších testovaných vzorků. Podle dat z OPC můžeme tvrdit, že je medián velikosti u malé e-cigarety nižší než u velké a střední e-cigarety a celé rozložení částic by tak bylo posuté směrem doleva.

Podle získaných dat lze konstatovat, že při kouření malé elektronické cigarety kuřák vdechuje nejmenší počet emitovaných částic a tato cigareta by tedy měla být nejšetrnější k lidskému zdraví. V porovnání s velkou e-cigaretou je emitováno až 13 krát méně částic. Na druhou stranu je nutné dodat, že tato cigareta nemůže průměrného kuřáka uspokojit a to ani množstvím produkovaného aerosolu, ani svou spolehlivostí.

Zbylé dvě elektronické cigarety mohou s určitostí plnohodnotně a spolehlivě nahradit klasické kouření. Z výsledků vyplývá, že při kouření střední e-cigarety dochází k vdechování menšího počtu emitovaných částic než u velké e-cigarety.

Při porovnání těchto 3 elektronických cigaret, je také nutné zmínit způsob jejich užívání. Zatímco kouření malé a střední e-cigarety je velice podobné kouření klasické cigarety, kdy dojde k natažení aerosolu do ústní dutiny a poté k vdechnutí („šluknutí“) aerosolu smíchaného s větším množstvím vzduchu. Při kouření velké e-cigarety je vtahován aerosol přímo do plic bez předchozího natažení do úst a smíchání se vzduchem. Při kouření této elektronické e-cigarety má vzniklý aerosol méně času na koagulaci.

Přítomnost koagulace částic aerosolu emitovaného elektronickými cigaretami má vliv na ukládání částic v plicích. Obr. 41 zobrazuje ukládání částic v jednotlivých částech plic v závislosti na velikosti částic. Z naměřených dat vyplývá, že při okamžitém měření je největší počet částic cca 0,13 µm, což je velikost částic, která se v plicích usazuje nejméně. Důsledkem koagulace je nárůst počtu částic ve velikostních třídách 0,5 – 1 µm a 1 – 3 µm, což jsou velikosti částic, které se v plicích usazují výrazně více. Tato skutečnost je riziková zejména pro sekundárního (pasivního) kuřáka, který vdechuje aerosol až po delším časovém úseku a aerosol tedy podlehl koagulaci.



Obr. 41 – Ukládání částic v plicích

5 Závěr

Elektronické cigarety jsou v současné době stále více populární. Všeobecně jsou vnímány jako zdravější alternativa kouření. Kromě toho elektronické cigarety s sebou nesou i značná rizika. Otevírají možnost nekuřákům začít kouřit a jejich dlouhodobý vliv na lidské zdraví není doposud přesně prozkoumán.

V práci byly zkoumány tři elektronické cigarety od různých výrobců. Malá cigareta typu cig-a-like pravděpodobně čínského původu, běžná cigareta GoTech eGo Ce4 a výkonná cigareta iSmoka eLeaf iJust 2. Tyto vzorky byly měřeny na měřicí trati sestavené pro tyto účely v aerosolové laboratoři FSI VUT v Brně přístroji Lighthouse SOLAIR 3100 a TSI SMPS 3936. Z naměřených dat vyplývá, že nejméně částic je vdechováno při kouření malé elektronické cigarety typu cig-a-like a kouření této cigarety tedy s sebou nese nejmenší zdravotní rizika. Při kouření velké elektronické cigarety iJust 2 kuřák vdechuje přibližně dvakrát větší množství částic než při kouření střední elektronické cigarety. Jedná se konkrétně o 2,24 x 10^7 částic v cm^3 aerosolu u velké e-cigarety a 1,11 x 10^7 částic v cm^3 aerosolu u střední e-cigarety. Z toho vyplývá, že při kouření střední elektronické cigarety a celkově cigaret této třídy je vdechováno méně částic. Stále se ovšem jedná o velké množství potenciálně škodlivých částic, které se usazují v plicích.

Hlavním přínosem práce je porovnání 3 zcela odlišných elektronických cigaret a zhodnocení zdravotních rizik jejich používání. Dále práce vyvracuje všeobecně rozšířený mýtus, že elektronické cigarety neemitují žádné škodlivé látky a jejich produktem je pouze pára [26]. Z naměřených dat je patrné, že toto tvrzení je nesmyslné.

6 Citovaná literatura

[1] HINDS, William C. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York: Wiley, c1999. ISBN 0471194107.

[2] Příklady aerosolů. *http://caice.ucsd.edu. [online]. [cit. 2016-01-5]. Dostupné z: http://caice.ucsd.edu/wp-content/uploads/2013/09/aerosolSources.png.*

[3] *Www.particlecamp.org* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://particle-camp.org/wp-content/uploads/2013/03/particle-size-diagram.png.

[4] KRÁTKÝ, Š. *Porovnání vodní dýmky, elektronických cigaret a klasických cigaret z hlediska emitovaných částic.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inţenýrství, 2015. 58 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Lízal, Ph.D.

[5] GATELY, Iain. *Tobacco: a cultural history of how an exotic plant seduced civilization*. New York: Grove Press, 2001. ISBN 0802139604.

[6] HOFFO, A. H. *The Carcinogenic Effects of Tobacco. Monatsschrift für Krebsbekämpfun* [online]. 1940, (8), 6 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.scielosp.org/pdf/bwho/v84n6/v84n6a21.pdf

[7] DOLL, Richard a A. Bradford HILL. *The mortality of doctors in relation to their smoking habits: a preliminary report. Br Med J* [online]. 1954 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC437141/

[8] HAJEK, Peter. Electronic cigarettes: review of use, content, safety, effects on smokers and potential for harm and benefit.*10.1111/add.12659*.

[9] Ministerstvo zdravotnictví ČR. *Www.mzcr.cz* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/obsah/informace-k-uvadeni-elektronickych-cigaret-na-trh_2991_11.html, „Ministerstvo zdravotnictví ČR.

[10] Epravo.cz. *Www.epravo.cz* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.epravo.cz/zpravodajstvi/poslanci-zacali-projednavat-zakaz-koureni-v-restauracich-99831.html.

[11] GRANA, R., N. BENOWITZ a S. A. GLANTZ. E-Cigarettes: A Scientific Review. *Circulation* [online]. 2014, **129**(19), 1972-1986 [cit. 2016-01-30]. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.007667. ISSN 0009-7322. Dostupné z: http://circ.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.007667

[12] *Www.vaporsofoz.com* [online]. [cit. 2016-1-30]. Dostupné z: https://www.vaporsofoz.com/content/images/thumbs/0000268_clover-overlord-ego-twist-2600mah-vv-battery-w-usb-charger.jpeg

[13] *Www.atomizery-e-cigaret.heureka.cz* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://atomizery-e-cigaret.heureka.cz/aspire-bdc-zhavici-hlava-1_8-ohm/#ng:1e744ace8a6df3f17f404fab5aa4520a.

[14] *Www.cloudnine.hillarymilesproductions.com* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://cloudnine.hillarymilesproductions.com/wp-content/uploads/2014/10/Cracked-Tank.png.

[15] *Www.quitsmokingcommunity.org* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: https://quitsmokingcommunity.org/wp-content/uploads/2014/02/cigalikemodel.png.

[16] *Www.ego-cigarettes.com* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.ego-cigarettes.com/photo/pl271281-1200_mouthfuls_650mah_higher_quality_500puffs_e_cigarette_ego_t_with_650mah_battery.jpg.

[17] *Www.cigbuyer.com* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.cigbuyer.com/types-of-e-cigarettes/.

[18] *Www.publi.cz* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: https://publi.cz/books/49/09.html.

[19] *Www.naei.defra.gov.uk* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://naei.defra.gov.uk/glossary.

[20] Polétavý prach. Www.irz.cz [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.irz.cz/repository/latky/poletavy_prach.pdf.

[21] *Www.ufireg-central.eu* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.ufireg-central.eu/index.php/about-the-topic01.

[22] Encyklopedia.com. *Www.encyklopedia.com* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-3404000854.html.

[23] Porovnání pozorovatelných objektů různými typy mikroskopů. *Fyzikální ústav akademie věd ČR* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.fzu.cz/popularizace/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura.

[24] *Www.precast.org* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://pre-cast.org/2013/11/the-future-of-fly-ash-use-concrete/.

[25] *Www.web2clarkson.edu* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://web2.clarkson.edu/projects/crcd/me537/downloads/P_Aero-sol_Meas_Suresh.pdf.

[26] Elektronická cigareta? Mezi nekuřáky s ní nesmíte Zdroj: http://www.denik.cz/zlinsky-kraj/elektronicka-cigareta-mezi-nekuraky-s-ni-nesmite-20120229-aob3.html. *Denik.cz* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://www.denik.cz/zlinsky-kraj/elektronicka-cigareta-mezi-nekuraky-s-ni-nesmite-20120229-aob3.html

7 Seznam použitých zkratek a symbolů

d_p - průměr částice [μm]

ρ_0 - standardní hustota [kg/m^3]

Stk - Stokesovo číslo [–]

CMD - medián velikosti [nm]

σ_G - geometrická odchylka měření [-]

PM_x - velikostní skupiny aerosolů (Particulate Matter)

$dN/dlogD_p$ - normalizovaná koncentrace

OPC - optický čítač částic (Optical Particle Counter)

SMPS - skenovací třídič pohyblivosti částic (Scanning Mobility Particle Sizer)

8 Seznamy obrázků a tabulek

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1 – Příklady aerosolů [2] ... 11
Obr. 2 – Velikost částic [3] ... 12
Obr. 3 – Rozložení velikosti částic ... 13
Obr. 4 – Tabáková cigareta ... 14
Obr. 5 – Akumulátor elektronické cigarety [12] ... 16
Obr. 6 - Atomizér [13] ... 16
Obr. 7 – Patrona s e-liquidem [14] ... 17
Obr. 8 – Mini e-cig [15] ... 18
Obr. 9 – Elektronická cigareta střední velikost (Ego) [16] ... 19
Obr. 10 – Příklady APV [17] ... 19
Obr. 11 – Dýchací systém [18] ... 20
Obr. 12 – Provnání velikostí částic aerosolu (PM_{10}, $PM_{2,5}$) s lidským vlasem a zrnkem pásku. [4] ... 21
Obr. 13 – Porovnání pozorovatelných objektů různými typy mikroskopů [23] ... 22
Obr. 14 – Částice popela z uhelné elektrárny pod elektronovým mikroskopem [24] ... 23
Obr. 15 – Schéma cyklonu a impaktoru [25] ... 24
Obr. 16 – Kaskádový impaktor ... 25
Obr. 17 – Zařízení na měření rozptylu světla[25] ... 26
Obr. 18 – Ligthouse SOLAIR 3100 (OPC) ... 28
Obr. 19 – Komponenty měřícího zařízení SMPS 3936 ... 29
Obr. 20 – SMPS (TSI Electrostatic clasifier 3080, TSI Condenstation Particle Counter 3775, Advanced Aerosol Neutralizer 3087) ... 29
Obr. 21 – Elektronická cigareta cig-a-like s výměnnými cartrigemi ... 30
Obr. 22 – Elektronická cigareta eGo s náplní ... 31
Obr. 23 – Elektronická cigareta Eleaf iJust 2 ... 32
Obr. 24 – Vzorkovací komora o objemu 0,65 l ... 33
Obr. 25 – Zapojení měřicí trati (1- Vzorkovací komora o objemu 0,65 l, 2 – Vakuová pumpa, 3 – Dilutor TSI 3302A, 4 – Dilutor DIL 554, 5 – SOLAIR 3100, 6 – HEPA filtr 7 – Průtokoměr 8- Ředicí komora, 9 – Měřená elektronická cigareta) ... 34
Obr. 26 – Vzorkovací komora o objemu 3,2 l ... 35
Obr. 27 – Rozložení velikosti částic – okolní vzduch ... 36
Obr. 28 – Rozložení velikosti částic – prázdná měřicí trať ... 37
Obr. 29 – Rozložení částic – velká e-cigareta – okamžité měření ... 39
Obr. 30 – Rozložení částic – velká e-cigareta – měření po 60 s ... 39
Obr. 31 – Rozložení částic – střední e-cigareta – okamžité měření ... 41
Obr. 32 – Rozložení částic – střední e-cigareta – měření po 60 s ... 41
Obr. 33 – Rozložení částic – malá e-cigareta – okamžité měření ... 43
Obr. 34 – Rozložení částic – malá e-cigareta – měření po 60 s ... 43
Obr. 35 – Měření prázdné měřící trati ... 44

Obr. 36 – Počet emitovaných částic velká e-cigareta 44
Obr. 37 – Počet emitovaných částic střední e-cigareta 45
Obr. 38 – Porovnání 2 měření velké e-cigarety 45
Obr. 39 – Porovnání 2 měření střední cigarety 46
Obr. 40 – Porovnání střední a velké e-cigarety 46
Obr. 41 – Ukládání částic v plicích 48

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hodnoty vzduchu v laboratoři 36
Tabulka 2 – Hodnoty prázdné měřicí trati 37
Tabulka 3 – Hodnoty - velká e-cigareta – okamžité měření 38
Tabulka 4 – Hodnoty - velká e-cigareta – měření po 60 s 38
Tabulka 5 – Hodnoty - střední e-cigareta – okamžité měření 40
Tabulka 6 – Hodnoty - střední e-cigareta – měření po 60 s 40
Tabulka 7 – Hodnoty - malá e-cigareta – okamžité měření 42
Tabulka 8 – Hodnoty - malá e-cigareta – měření po 60 s 42
Tabulka 9 – Data získaná ze softwaru Aerosol Instrument Manager 47