



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ELEKTRONICKÉ CIGARETY NOVÉ GENERACE

A NEW GENERATION OF ELECTRONIC CIGARETTES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Kodad

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. František Lízal, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Daniel Kodad**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. František Lízal, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

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 nové generace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tabákové firmy tvrdí, že nová generace elektronických cigaret (tzv. heated tobacco systems) produkuje výrazně méně částic než elektronické cigarety s tzv. e-liquidem. Úkolem studenta bude provést rešerši, popsat, jak nové typy cigaret fungují a změřit, jaké částice a v jakých koncentracích tyto cigarety generují.

Cíle bakalářské práce:

Provést literární rešerši s cílem popsat technická řešení jednotlivých typů elektronických cigaret.
Nastudovat experimentální metody nutné pro měření emitovaných aerosolových částic.
Připravit měřicí trať a provést měření množství aerosolových částic generovaných elektronickou cigaretou nového typu.

Seznam doporučené literatury:

HINDS, W. C.: Aerosol Technology: Properties, Behavior, And Measurement Of Airborne Particles, Wiley-interscience, 1999, 504 p.

PAVELEK, M., ŠTĚTINA, J.: Experimentální metody v technice prostředí. Skripta VUT, Brno, 2007.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

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

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce Elektronické cigarety nové generace je studium a porovnání dvou elektronických cigaret využívajících systém heated tobacco z hlediska emitovaných částic a jejich koncentrací. Předmětem experimentů byla elektronická cigareta I quit ordinary smoking (IQOS) a elektronická cigareta GLO. Pro účely této práce byla sestavena měřicí trať v aerosolové laboratoři FSI VUT, na které byly přístroji Aerosol Particle Sizer 3321 a TSI SMPS 3936 měřeny emitované částice výše uvedených elektronických cigaret.

Abstract

The subject of the bachelor thesis Electronic cigarettes of the new generation is the research and comparison of two electronic cigarettes which use heated tobacco systems with regards to emitted particles. The subject of the experiments was the electronic cigarette I quit ordinary smoking (IQOS) and electronic cigarette GLO. For the purposes of this work an experimental track was designed in the Aerosol Research Laboratory at BUT FME where the emitted particles from electronic cigarettes mentioned above were measured using instruments Aerosol Particle Sizer 3321 and TSI SMPS 3936.

Klíčová slova

Aerosol, elektronické cigarety nové generace, kouření, heated tobacco, spektrometr, skenovací třídíč pohyblivosti částic

Keywords

Aerosol, electronic cigarettes, smoking, heated tobacco, spectrometer, Scanning Mobility Particle Sizer

Bibliografická citace

KODAD, Daniel. *Elektronické cigarety nové generace* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117137>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce František Lízal.

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 zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Brně dne

Podpis:

Poděkování

Děkuji Ing. Františku Lízalovi, Ph.D. za jeho pomoc, rady a čas věnovaný této práci. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Tomášovi Sitkovi a Ing. Jánmu Poláčikovi za výpomoc při práci v laboratoři.

Obsah

Obsah	8
1 Úvod	10
2 Teoretická část	11
2.1 Aerosol	11
2.1.1 Rozdělení aerosolů	11
2.1.2 Veličiny popisující aerosoly	12
2.2 Dýchací soustava	14
2.3 Kouření	17
2.3.1 Látky obsažené v cigaretách	18
2.4 Elektronické cigarety	20
2.4.1 Rozdělení elektronických cigaret	21
IQOS (I quit ordinary smoking)	23
GLO	24
3 Měření aerosolů	25
3.1 Gravimetrická metoda	25
3.2 Mikroskopická analýza	25
3.3 Real-time sizing	27
3.3.1 Vzorkování podle setrvačnosti	27
3.3.2 Vzorkování podle optických vlastností	29
3.3.3 Vzorkování podle elektrické mobility	29
4 Experimentální část	30
4.1 Použité měřicí zařízení	31
4.1.1 TSI Aerodynamic Particle Sizer 3321	31
4.1.2 TSI SMPS 3936	31
4.2 Popis laboratorního měření	32
4.2.1 Měřicí trať s Aerosol Particle Sizer 3321	32
4.2.2 Měřicí trať s SMPS 3936	33
5 Výsledky měření	35
5.1 Měření pomocí APS	35
5.1.1 Elektronická cigareta IQOS	35
5.1.2 Elektronická cigareta Glo	36

5.2	Měření pomocí SMPS.....	37
5.2.1	Čistá laboratoř	37
5.2.2	Elektronická cigareta IQOS.....	38
5.2.3	Elektronická cigareta Glo.....	38
5.2.4	Klasická cigareta (LM Loft) s ředěním aerosolu	39
5.2.5	Elektronická cigareta IQOS s ředěním aerosolu	39
5.2.6	Elektronická cigareta Glo s ředěním aerosolu	40
5.2.7	Pasivní kouření.....	41
5.3	Diskuze.....	42
6	Závěr	43
7	Bibliografie	46
8	Seznam obrázků.....	50
9	Přílohy.....	51

1 Úvod

V dnešní době je oblíbené žít zdravým životním stylem a kuřáků globálně ubývá, tabákové společnosti se proto snaží přijít s novinkami v oblasti kouření. Elektronické cigarety se těší oblibě už nějakou dobu, ale společnost Phillip Morris International (PMI) v roce 2014 přišla na trh s novým produktem I quit ordinary smoking (IQOS), který slibuje v průměru o 90-95 % méně škodlivin ve srovnání s referenční cigaretou. Na našem trhu se tento produkt objevil přibližně o 2 roky později, společnost British American Tobacco (BAT) vydala v roce 2016 konkurenční produkt GLO.

Tyto elektronické cigarety se liší od jiných modelů systémem, kterým vytvářejí aerosol, který poté kuřák vdechuje. Konstrukce cigaret obsahuje zahřívací zařízení, které tabák pouze zahřívá na teplotu mnohem nižší, než při které tabák hoří v klasické cigaretě, proto se tomuto systému říká ohřívat-ne-pálit (heat-not-burn) nebo také nahříváný tabák (heated tobacco). Díky této nižší teplotě a faktu, že tabák nehoří, by cigareta neměla vytvářet dehet, který je zdrojem nejškodlivějších látek v obyčejné cigaretě.

Elektronické cigarety jsou od svého vzniku považovány za zdravější alternativu k obyčejným cigaretám, elektronické cigarety využívající systém heated tobacco by měly být ještě méně škodlivé, než předchozí elektronické cigarety. Jelikož se objevily na trhu nedávno, jejich dlouhodobý účinek a rizika pro lidské tělo nejsou zatím prozkoumána. Cílem této práce je změřit emitované částice vytvářené těmito přístroji a porovnat jejich dopad na lidské zdraví.

2 Teoretická část

2.1 Aerosol

Aerosol je heterogenní vícefázová směs mikroskopických pevných nebo kapalných částic nesených plynem. Tyto částice mohou mít přírodní původ, například výbuch sopky, lesní požár nebo sůl vypařená z moře, ale mohou být také vyprodukovány lidskou činností, jako například spalováním fosilních paliv, metalurgické procesy nebo chemická výroba [1].

Znalost vlastností aerosolů je velmi důležitá, pomáhá nám lépe porozumět například tvorbě oblačnosti v atmosféře, hydrologickému cyklu, jejich negativním účinkům na naše zdraví a na životní prostředí nebo také jejich užití v lékařství v podobě inhalovaných léků.

2.1.1 Rozdělení aerosolů

Rozlišujeme několik typů aerosolů, podle typu suspendovaných částic. Pokud jsou částice pevné, vytvářejí dým nebo prach, kapalně potom mlhu či oblač. Aerosoly mohou být také spojeny jak pevných tak kapalných částic, mezi další typy aerosolů patří například kouř, smog či sprej. Speciální kategorií jsou pak bioaerosoly, mezi které patří spory, pyl a jiné biologické materiály. Vlastnosti vzniklého aerosolu se odvíjejí od velikosti částic, jejich původu a mnoha dalších proměnných [1] [2].



VÝBUCH SOPKY

SPREJ

ELEKTRÁRNA

SMOG

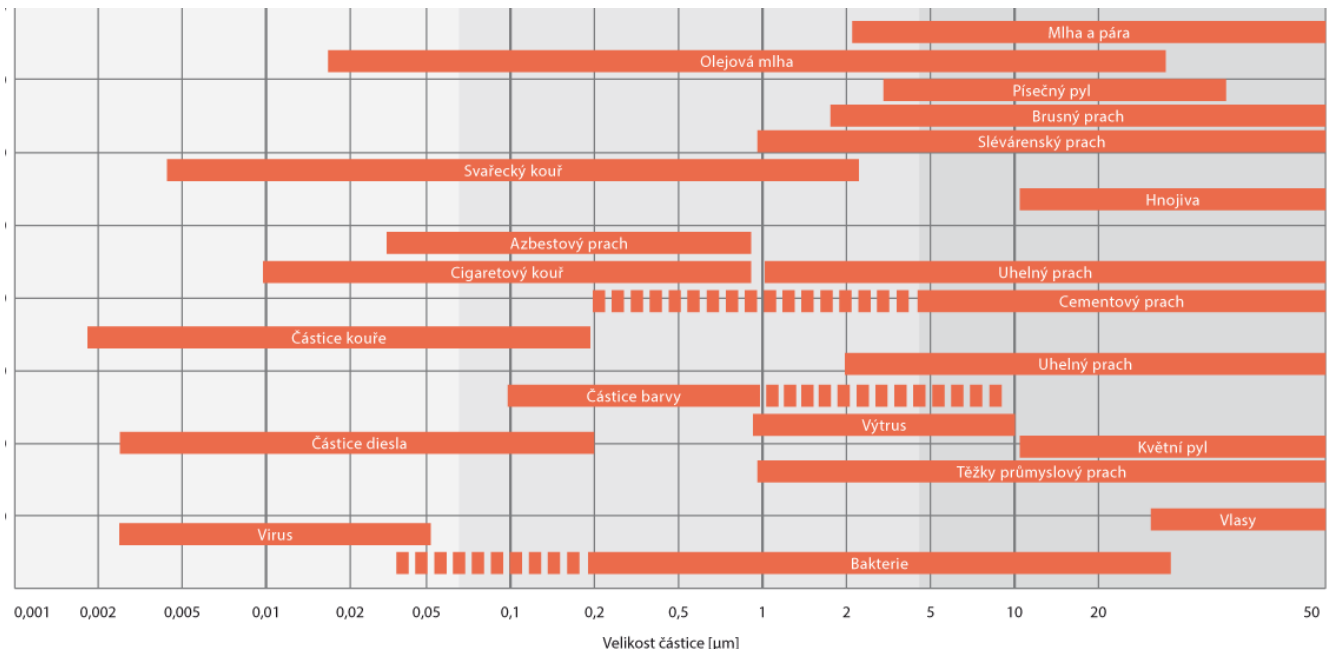
Obr. 1 – Druhy aerosolů [32] [33] [34]

- **Aerosol** – Suspenze pevných nebo kapalných látek v plynu, kterým je ve většině případů vzduch.
- **Bioaerosol** – Aerosol přírodního původu, tím rozumíme viry, spory, bakterie nebo pyl.
- **Oblak** – Viditelný aerosol s definovanými hranicemi

- **Prach** – Aerosol s pevnými částicemi, které jsou většinou vytvořeny obrušováním materiálu. Velikosti částic se tedy mohou pohybovat od desetin μm až více než $100 \mu\text{m}$, tvary těchto částic jsou nepravidelné.
- **Kouř (smoke)** – Viditelný aerosol vznikající při neúplném spalování. Částice jsou většinou menší než $1 \mu\text{m}$ a mohou být pevné i kapalné.
- **Dým (fume)** – Aerosol s pevnými částicemi vznikající kondenzací výparů nebo plynných produktů spalování. Tyto submikrometrové částice jsou často shluky nebo řetězce primárních částic.
- **Smog** – Termín nejčastěji užíván pro viditelné atmosférické znečištění určitých oblastí. Fotochemický smog je přesnější termín pro aerosol vzniklý v atmosféře při reakci slunečního světla s uhlovodíky a oxidy dusíku.
- **Sprej** – Atomizovaná kapalina na aerosol ve formě malých kapek. Částice bývají větší než několik mikrometrů [1].

2.1.2 Veličiny popisující aerosoly

Velikost částic hraje jednu z hlavních rolí při určování vlastností a chování jednotlivých aerosolů, jejich velikost se může pohybovat od $0,01 \mu\text{m}$ až do více než $100 \mu\text{m}$. Velikostí částic se rozumí její průměr, který se nejčastěji značí d_p [1]. Tento široký interval velikostí částic znamená, že chování aerosolů neovlivňuje pouze samotná velikost částic, ale také povahy přírodních zákonů, kterými se tyto částice řídí [3].



Obr. 2 – Velikost částic [35]

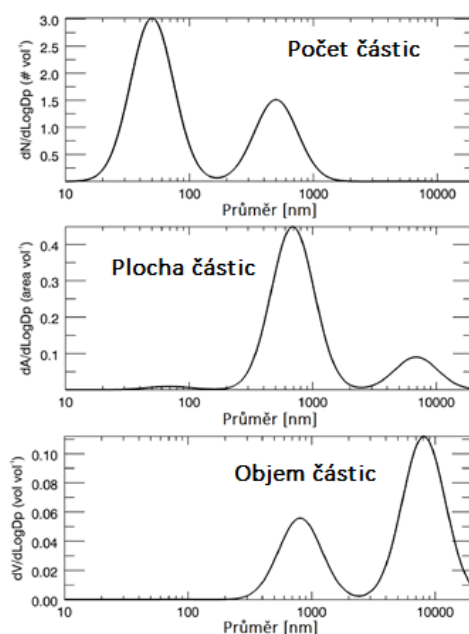
Kapalné částice mají zpravidla kulový tvar. V případě pevných částic to jsou většinou nepravidelné tvary. Pro výpočty jsou tyto tvary zjednodušeny na nejčastěji pravidelné kulové a je aplikován korekční faktor. Pro speciální případy, kdy částice zaujímají tvary, které nejsou

vhodné aproximovat pravidelným kulovým, je vybrán jiný vhodný pravidelný tvar spolu s jiným korekčním faktorem [1] [3].

Další veličinou ovlivňující vlastnosti je hustota částic. Tu definujeme jako poměr hmotnosti na měrném objemu samotné částice, udává se v kg/m^3 nebo g/cm^3 . Částice mají stejnou hustotu jako materiál, z něhož vznikly. Kouř a dým může mít zdánlivou hustotu menší než původní materiál, to je ale způsobené velkým prázdným prostorem mezi jednotlivými částicemi [1].

Nejčastěji měřenou veličinou je hmotnostní koncentrace aerosolu, protože hraje hlavní roli při porovnávání dopadu na lidské zdraví nebo na životní prostředí. Určujeme ji jako poměr hmotnosti částice na jednotku objemu aerosolu, mezi běžně používané jednotky patří g/m^3 , mg/m^3 a $\mu\text{m/m}^3$ [4]. Dále také měříme objemovou hustotu částic, poměr počtu částic na měrném objemu aerosolu, nejčastěji udávaná jak m^{-3} nebo cm^{-3} [1].

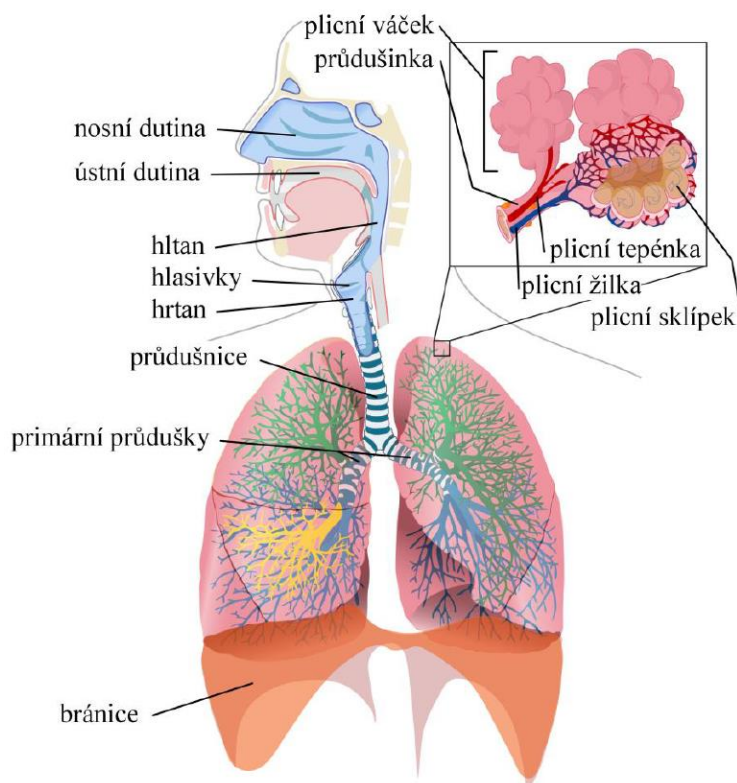
Pokud se v systému aerosolu vyskytují částice s jednotnou velikostí, takový aerosol nazýváme monodisperzní. Jestliže se ale v systému nachází široké spektrum různě velikých částic, poté mluvíme o polydisperzních systémech [3]. Tyto systémy je nevhodné popisovat pomocí charakteristik jednotlivých částic. Z tohoto důvodu se určují velikostní distribuce částic pomocí vhodných statistických rozdělení dat, pro která uvažujeme, že všechny částice mají kulový tvar. Měřené spektrum velikostí částic systému polydisperzního aerosolu je rozděleno na vyhovující počet intervalů. Stejným způsobem se mohou měřit distribuce hmotnosti, povrchu nebo objemu částic aerosolu (Obrázek 3). Normální distribuce má v případě aerosolů nesymetrický tvar a široké spektrum velikostí, které může mít rozpětí až několik řádů. Při měření velikostní distribuce se u aerosolů využívá logaritmicko-normální distribuce velikosti částic, kde na ose x jsou vyneseny logaritmicky transformované velikosti [1].



Obr. 3 – Rozložení velikostí částic v závislosti na počtu, povrchu a objemu částic [5]

2.2 Dýchací soustava

Výzkum aerosolů a jejich dopadů na lidské zdraví vyžaduje znalost mnoha vědních oborů, jedním z nejdůležitějších je anatomie dýchacího systému. Primární funkcí dýchacího traktu je výměna plynů. Kyslík, který je potřebný pro správnou funkci buněk v našem těle, je z okolního prostředí dodáván do krevního oběhu a následně rozváděn do jednotlivých buněk, zatímco oxid uhličitý, odpadní produkt buněčné aktivity, je z těla vyváděn ven. Mezi další nezbytné funkce patří filtrace, ohřátí a zvlhčení vdechovaného vzduchu [6].

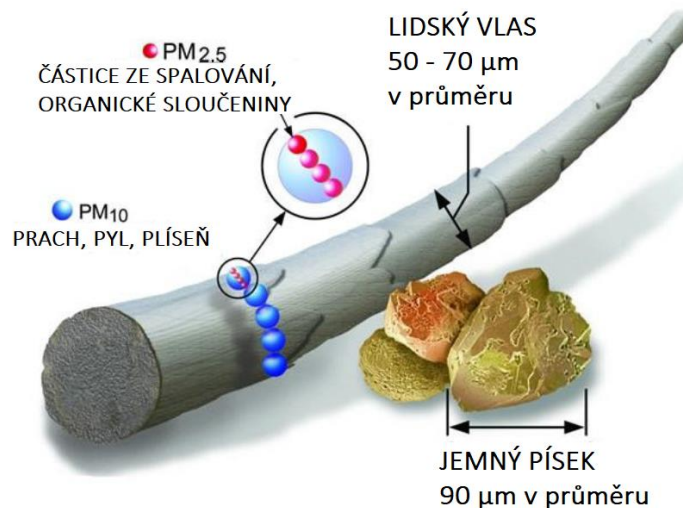


Obr. 4 – Dýchací soustava [7]

Dýchací trakt dělíme na horní a dolní cesty dýchací. Horní cesty dýchací jsou tvořeny nosní a ústní dutinou spolu s hltanem a hrtan. Hltan dělíme na horní nosohltan, střední část hltanu, která je napojena na dutinu ústní, a hrtanovou část hltanu, která dělí hrtan a jícen. Hlavní funkcí horních cest dýchacích je přehřátí, zvlhčení a zbavení vdechovaného vzduchu od mikroskopických částic [6].

Dolní cesty dýchací tvoří průdušnice, ta se dále větví na průdušky a ty na průdušinky. Funkcí dolních cest dýchacích je rozvádění vzduchu do plicních sklípků. Ve stěně plicních sklípků dochází k výměně dýchacích plynů mezi krví a plicemi [6]. Dolní cesty dýchací mají 24 generací větvení, které ústí do plicních sklípků a díky tomuto složitému větvení je dosaženo velké plochy pro výměnu plynů. Výzkum depozice částic v plicích je z důvodů komplexnosti zkoumaných orgánů velice složitý [8].

Velikost vdechovaných částic určuje místo v dýchacím traktu, kde se částice usadí. Pro klasifikaci zdravotního působení aerosolu na člověka byly definovány velikostní skupiny částic, označované jako PM_x (Particulate Matter), které obsahují částice s průměrem menším než $x \mu\text{m}$. Běžně se rozlišují PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 [9].

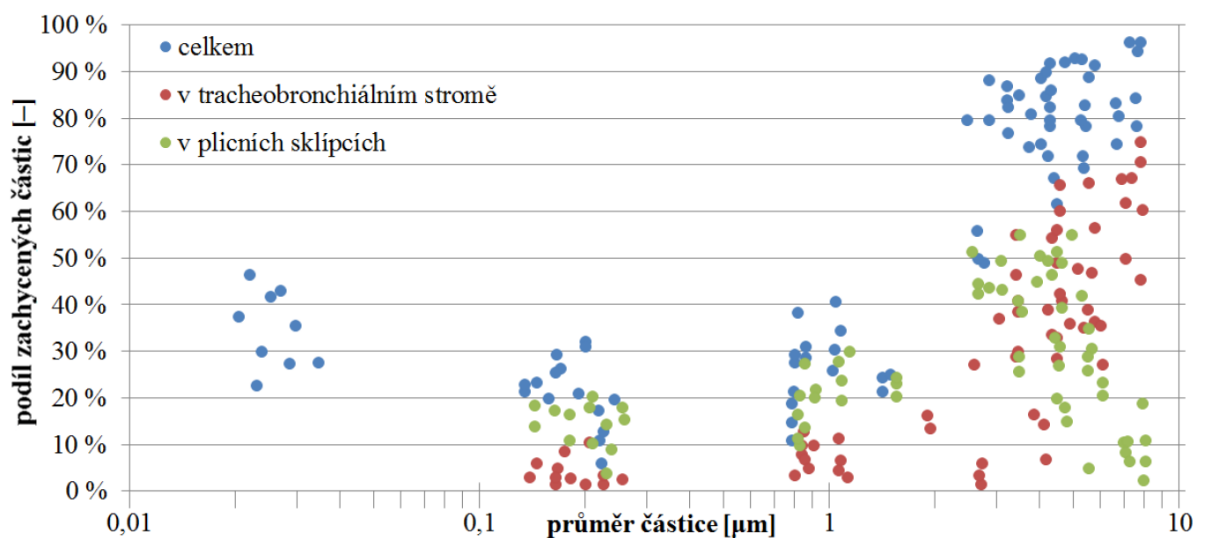


Obr. 5 – Porovnání velikosti částic s lidským vlasem

Částice s průměrem nad 3 μm se z větší části zachycují již v horních a dolních cestách dýchacích. V těchto oblastech existuje několik mechanismů, díky kterým se částice zachycují:

- Fyzické zachycení – částice se zachytí na chloupkách v nose nebo je částice větší než průměr dýchacího kanálu. Takto se zachytávají především větší částice (PM_{10}).
- Nárazem – protože hmotnější částice nedokáží měnit svůj směr tak snadno jako plyn, setrvačností se zachytí o stěnu, dominantní způsob zachycení v průduškách.
- Gravitační usazování – při nízkých rychlostech se částice díky gravitační síle zachytí o stěny, tento způsob se projevuje především v nejdlejších částech dýchací soustavy.
- Elektrostaticky – čerstvě vytvořené částice či kapičky sprejů mohou být elektricky nabitě a usazovat se tak na stěnách dýchacích cest.
- Difuzí – u nejmenších částic dochází k náhodným srážkám s molekulami plynu (Brownův pohyb), některé částice tak mohou narazit na stěnu, význam difuze roste s klesající velikostí částic [8].

Přestože existují studie, které nabízejí modely pro usazování částic v jednotlivých částech dýchací soustavy, jejich pravdivost je omezená [10]. Nejpresnější výsledky vycházejí z experimentů na lidech, ale ani tyto výsledky nepodávají přesné informace z důvodu ojedinelosti dýchacího traktu každého člověka. Přesto můžeme sledovat, že čím jsou částice menší, tím roste podíl zachycených částic hluboko v plicních sklípcích. Graf z obrázku 6 ukazuje, že při vdechnutí částic se velký podíl částic nezachytí v dýchací soustavě vůbec. Tento podíl roste s klesající velikostí částic. [8]



Obr. 6 – Podíl zachycených částic v dýchacím traktu člověka [11]

Lidské tělo je před usazováním částic v dýchacích cestách navíc vybaveno účinnou samočisticí schopností. Stěny dýchací soustavy jsou z větší části pokryty řasinkovým epitelem, asi 5 μm dlouhými výrůstky protáhlého tvaru. Na jejich koncích je utvořen tenký film hlenu, který je pomocí vlnění postupně posouván směrem k hltanu, kde je následně spolknut či vykašlán. Částice, které nejsou odneseny tímto způsobem, mohou být také pohlceny bílými krvinkami, takzvaně fagocytovány [8].

Vdechování částic nemá pouze negativní dopad na zdraví, tyto poznatky se často využívají ve farmaceutickém průmyslu. Pro výrobu léčiv ve formě aerosolu se struktura léčivého aerosolu uzpůsobí k tomu, aby se částice léku usadily na potřebném místě v dýchacím traktu.

2.3 Kouření

Kouření lze nejnadhěji popsat jako proces spalování určité látky, nejčastěji tabáku, a následné vdechování vzniklého kouře, aerosolu, do plic. Kouření má dlouhou historii a tradici, která sahá až do období 5000 let před naším letopočtem, kdy v Americe šamani žvýkali nebo kouřili tabákové listy při různých rituálech. Evropané přišli do styku s tabákem poprvé začátkem 16. století při námořních expedicích na Kubu a tabák byl následně koncem 17. století přivezen do Eurasie. Kouření v průběhu historie získalo velikou oblibu a hrálo důležitou společenskou roli [12]. Ve 40. letech 20. století ukázaly první vědecké výzkumy německých vědců korelaci mezi kouřením cigaret a výskytem rakoviny plic, což podnítilo jednu z prvních protikuřáckých kampaní v historii [13]. V roce 1954 studie prokázala zvýšenou úmrtnost a výskyt vaskulárních a respiračních onemocnění způsobených kouřením [14].

Podle Státního zdravotního ústavu v roce 2017 v České republice kouří 25,2 % populace, což je o 3,5 % méně než v roce 2016, z čehož tedy vyplývá, že kuřáků u nás ubývá. To může být mimo jiné díky snaze zdravotnických organizací po celém světě, které poukazují na negativní účinky kouření na naše tělo [15]. V České republice je na mnoha místech kouření tabákových výrobků a elektronických cigaret zakázáno, např.: ve veřejnosti volně přístupném vnitřním prostoru, na nástupišti, v přístřešku a čekárně veřejné dopravy, v dopravním prostředku veřejné dopravy aj., podle § 8 zákona 65/2017 Sb., o opatřeních k ochraně před škodami působenými tabákovými výrobky, alkoholem a jinými návykovými látkami a o změně souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Nově tento zákon zakazuje kouření i v restauračních prostorách, což přineslo mnoho kontroverze. Výjimkou tohoto zákona jsou vodní dýmky a elektronické cigarety, které mohou být kuřáky užívány v restauračních prostorech.

Při kouření se do plic a následně do mozku uvolňuje nikotin, rostlinný pyridinový alkaloid. Ovlivňuje nervovou soustavu a vyvolává stav relaxace a stimuluje pozornost, mezitím ale negativně ovlivňuje srdeční činnost a vyvolává silnou závislost. Při kouření se ale mimo nikotin do těla uvolňuje také více než 4000 dalších chemických látek, tyto látky často představují mnohem větší riziko než samotný nikotin, několik z nich bylo označeno jako jedovaté nebo dokonce rakovinotvorné [16]. Valná většina těchto nebezpečných látek je obsažena v cigaretovém kouři, zejména dehtu, který vzniká při pálení cigaret. Kouření způsobuje srdeční onemocnění, mrtvici, onemocnění plic, cukrovku, chronickou bronchitidu, rakovinu a další. Světová zdravotní organizace odhaduje, že kouření zabije každý rok přibližně 6 milionů lidí po celém světě, z toho 600000 úmrtí je způsobeno pasivním kouřením, inhalací kouře z cigarety konzumované jinou osobou [17].

Počet kuřáků celosvětově klesá a tabákové společnosti se snaží držet zdravějšího trendu doby. Novinkou na trhu jsou výrobky IQOS od společnosti Phillip Morris International, který slibuje v průměru až 90 – 95 % méně škodlivých látek, a GLO od společnosti British American Tobacco. Oba tyto výrobky tabák v cigaretové náplni nezapalují, ale pouze zahřívají, čímž zamezí vzniku dehtu. Těmito výrobky se bude tato bakalářská práce zabývat.

Demografická charakteristika	Jakýkoliv kouřený tabákový výrobek	Jakékoliv cigarety ¹	Typ cigarety		Ostatní tabákové výrobky ²
			Komerčně vyrobené	Ručně ubalené	
Celkem (n=1806)	25,2 (23,2;27,3)	24,6 (22,6;26,6)	22,9 (21,0;24,9)	3,0 (2,3;3,9)	4,7 (3,7;5,7)
<i>Pohlaví</i>					
Muži (n=880)	30,8 (27,8;34,0)	30,1 (27,1;33,3)	27,4 (24,5;30,5)	4,8 (3,5;6,4)	6,7 (5,1;8,6)
Ženy (n=926)	19,9 (17,3;22,6)	19,3 (16,8;22,0)	18,7 (16,2;21,3)	1,3 (0,7;2,3)	2,7 (1,8;4,0)
<i>Věková skupina</i>					
15-24 (n=205)	35,6 (29,1;42,6)	35,6 (29,1;42,6)	35,6 (29,1;42,6)	3,4 (1,4;6,9)	10,7 (6,8;15,8)
25-44 (n=645)	27,4 (24,0;31,1)	26,8 (23,4;30,4)	23,9 (20,6;27,4)	3,7 (2,4;5,5)	4,0 (2,6;5,9)
45-64 (n=554)	26,2 (22,6;30,0)	25,3 (21,7;29,1)	24,0 (20,5;27,8)	2,5 (1,4;4,2)	4,7 (3,1;6,8)
65+ (n=402)	14,9 (11,6;18,8)	14,4 (11,1;18,2)	13,4 (10,3;17,2)	2,2 (1,0;4,2)	2,5 (1,2;4,5)
<i>Místo bydliště</i>					
Město (n=1417)	24,8 (22,6;27,2)	24,2 (22,0;26,5)	22,8 (20,6;25,1)	2,8 (2,0;3,8)	5,1 (4,0;6,4)
Venkov (n=389)	26,5 (22,2;31,2)	26,0 (21,7;30,6)	23,4 (19,3;27,9)	3,6 (2,0;6,0)	3,1 (1,6;5,3)
<i>Vzdělání³</i>					
ZŠ a SOU (n=579)	27,3 (23,7;31,1)	26,9 (23,4;30,8)	24,5 (21,1;28,2)	4,5 (3,0;6,5)	3,1 (1,9;4,9)
SŠ s maturitou (n=671)	24,0 (20,8;27,4)	23,2 (20,1;26,6)	21,6 (18,6;24,9)	2,4 (1,4;3,8)	4,9 (3,4;6,8)
VŠ (n=351)	17,9 (14,1;22,4)	16,8 (13,0;21,1)	15,4 (11,8;19,6)	1,4 (0,5;3,3)	3,1 (1,6;5,5)

Obr. 7 – Průzkum užívání tabáku v ČR od Státního zdravotního Ústavu z roku 2017 [15]

2.3.1 Látky obsažené v cigaretách

Do prosince roku 2016 každá krabička cigaret obsahovala informace o podílu nejnebezpečnějších látek v cigaretě – nikotinu, dehtu a oxidu uhelnatého. Po změně legislativy byly tyto informace nahrazeny odstrašujícími obrázky. Nezávislé testování v laboratořích VŠCHT zkoumalo právě tyto látky v náplních HEETS a neo, které se na trhu objevily až po této změně. Jedná se o tabákové náplně pro IQOS a Glo, v případě HEETS je rozdíl patrný, náplň vypadá jako mnohem kratší cigareta a uvnitř se nachází sušená a lisovaná směs tabáku, náplně neo obsahují tabák v klasické formě. Výsledky těchto měření (obrázek 8) ukázaly, že některé nebezpečné látky, jako je například benzo[a]pyren, se skutečně v elektronických cigaretách využívající systém nahřívání tabáku vyskytují několikanásobně méně než v obyčejných cigaretách, naopak nikotinu bylo naměřeno v zařízení IQOS více než v klasické cigaretě [18].

Benzo[a]pyren ng/1 cigarety	5	
Benzo[a]pyren + Chrysen ng/1 cigarety	17	
4 polycyklické aromatické uhlovodíky BaP + Chr + BaA + BbF ng/1 cigarety	33	
RELATIVNÍ ODEZVA		
3-Furaldehyde	496925	Marlboro Výrobce / Proávající – Philip Morris ČR a.s., Kutná Hora, Made in EU Zakoupeno – Tabák Europark, Praha 10 Cena /za krabičku/ - 106,00 Kč
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl	6967198	
Karyophyllene	511942	
Damascon	571355	
1, 1, 5-Trimethyl-1, 2-dihydronaphthalene	1908349	
1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	1028996	
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy	4932436	
Ethyl Vanillin	703588	
Nikotin	222718	

Benzo[a]pyren ng/1 cigarety ng/20 cigaret	<0.05 1	
Benzo[a]pyren + Chrysen ng/1 cigarety	2	
4 polycyklické aromatické uhlovodíky BaP + Chr + BaA + BbF ng/1 cigarety	3	
RELATIVNÍ ODEZVA		
3-Furaldehyde	20013	GLO neo sticks NAVY BLUE Výrobce / Proávající – BRITISH AMERICAN TOBACCO (CZECH REPUBLIC), S.R.O. PRAHA 8, VÝROBENO EU Zakoupeno – GECCO a.s., Praha Cena za zařízení + 10 krabiček náplní - 1790 Kč Cena /za krabičku/ - 90,00 Kč
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl	342751	
Karyophyllene	548	
Damascon	2450744	
1, 1, 5-Trimethyl-1, 2-dihydronaphthalene	15437	
1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	5439	
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy	72715	
Ethyl Vanillin	33376	
Nikotin	25363	

Benzo[a]pyren ng/1 cigarety	<0.05	
Benzo[a]pyren + Chrysen ng/1 cigarety	2	
4 polycyklické aromatické uhlovodíky BaP + Chr + BaA + BbF ng/1 cigarety	2	
RELATIVNÍ ODEZVA		
3-Furaldehyde	1475642	IQOS 20 TOBACCO STICKS HEATS AMBER LABEL, Recommended by Marlboro Výrobce / Proávající – Philip Morris ČR a.s., Kutná Hora, Made in EU Zakoupeno – GECCO a.s., Praha Cena za zařízení + 10 krabiček náplní - 1790 Kč Cena /za krabičku/ - 90,00 Kč
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl	20586147	
Karyophyllene	1501174	
Damascon	4574738	
1, 1, 5-Trimethyl-1, 2-dihydronaphthalene	1506868	
1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	400507	
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy	3588262	
Ethyl Vanillin	105158	
Nikotin	225694	

Obr. 8 – Výsledky testů z laboratoří VŠCHT [18]

2.4 Elektronické cigarety

Elektronické cigarety představují od roku 2004, kdy byly představeny poprvé na čínském trhu, méně škodlivou alternativu ke klasickému kouření. Ve zbytku světa se objevily brzo poté a v následujících letech prošly rychlým vývojem. Zpočátku byly cíleny jako způsob, jak omezit nebo přestat s kouřením, dnes jsou brány jako moderní a méně škodlivý způsob kouření [19]. Elektronická cigareta je definována podle § 2 písm. e) zákona 65/2017 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 „výrobek, který lze použít pro užívání výparů obsahujících nikotin nebo jiných výparů prostřednictvím náustku, nebo jakákoliv součást tohoto výrobku, včetně náhradní náplně, zásobníku, nádržky i zařízení bez nádržky nebo zásobníku; elektronické cigarety mohou být jednorázové, opětovně naplnitelné pomocí náhradní náplně nebo nádržky nebo opakovaně použitelné pomocí jednorázových zásobníků“.

Na rozdíl od obyčejné cigarety, elektronické cigarety nespalují tabák, čímž nedochází ke vzniku tabákového kouře. Ten obsahuje největší množství nebezpečných látek, proto jsou považovány za méně škodlivou alternativu. Nebezpečnou myšlenkou je však to, že by kouření elektronických cigaret bylo bez rizika. Při užívání elektronických cigaret tělo stále přijímá velké množství škodlivých látek, včetně nikotinu, jsou proto stále velmi nebezpečné pro lidské tělo.

Veliké riziko elektronických cigaret spočívá v tom, že přestože podle marketingu tabákových společností jsou tyto produkty zaměřeny převážně jako méně škodlivá alternativa pro kuřáky nebo jako cesta jak kouřit přestat, kuřák elektronických cigaret stále přijímá vysoce návykové látky a tento nový způsob kouření je velice lákavý pro mladé lidi. Toto znamená, že lidé, kteří by si možná nikdy nezapálili obyčejnou cigaretu, se stanou kuřáky cigaret elektronických.

Demografická charakteristika	Jakýkoliv typ elektronické cigarety
Celkem (N=1806)	5,2 (4,2;6,3)
<i>Pohlaví</i>	
Muži (n=880)	5,9 (4,4;7,7)
Ženy (n=926)	4,5 (3,3;6,1)
<i>Věková skupina</i>	
15-24 (n=205)	12,2 (8,0;17,5)
25-44 (n=645)	6,8 (5,0;9,0)
45-64 (n=554)	3,6 (2,2;5,5)
65+ (n=402)	1,2 (0,4;2,9)
<i>Místo bydliště</i>	
Město (n=1417)	5,4 (4,2;6,7)
Venkov (n=389)	4,6 (2,8;7,2)
<i>Kuřáctví tabáku v současnosti ¹</i>	
Ano (n=455)	12,7 (9,8;16,2)
Ne (n=1351)	2,7 (1,9;3,7)
<i>Vzdělání ²</i>	
ZŠ a SOU (n=579)	4,8 (3,2;6,9)
SŠ s mat. (n=671)	4,2 (2,8;6,0)
VŠ (n =351)	3,7 (2,0;6,3)

Obr. 9 – Průzkum počtu kuřáků elektronických cigaret v ČR od Státního zdravotního Ústavu z roku 2017 [15]

2.4.1 Rozdělení elektronických cigaret

Elektronické cigarety se dají rozdělit do dvou základních skupin, podle způsobu tvorby aerosolu. První skupinou by bylo užití tzv. e-liquidu, roztoku, ve kterém je rozpuštěn nikotin. Těchto e-liquidů existuje celá řada a proto specifická definice složení je obtížná, většinou se ale jedná o roztok nikotinu, ochucovadel, aditiv, propylenglykolu a glycerolu [19]. Tato tekutina je zahřívána pomocí topného tělesa, které je obsaženo v elektronické cigaretě, čímž se tvoří následně vdechovaný aerosol. Tento typ elektronických cigaret byl poprvé představen v Hongkongu v roce 2003 a následně v roce 2006 se stal dostupný v Evropě a v USA. V následujících letech se tento alternativní způsob kouření stal velmi oblíbený, čehož využila spousta výrobců a na trhu nyní najdeme stovky různých druhů samotných cigaret a nespočet možných příchutí e-liquidu. Tato zařízení se většinou skládají z baterie, atomizéru (rozprašovače), zahříváče a náplně e-liquidu [20].



Obr. 10 – Elektronická cigareta využívající e-liquid

Novější verzi elektronických cigaret jsou zařízení využívající heat-not-burn systém. Hlavním rozdílem je to, že místo e-liquidu využívají klasický tabák. Zařízení tohoto typu poprvé představila společnost Phillip Morris International své zařízení IQOS v roce 2014 a od té doby představilo několik dalších společností svou verzi elektronické cigarety využívající tento systém. Na našem trhu nalezneme prozatím pouze právě zmíněné zařízení IQOS a od společnosti British American Tobacco zařízení GLO. Tato zařízení (heated tobacco products) představují nejnovější způsob přijímání nikotinu méně nebezpečnou formou. Z největších tabákových společností prodávají HTP pouze 4, již zmíněný Philip Morris International se zařízením IQOS, British American Tobacco se zařízením GLO, Japan Tobacco International se zařízením Ploom TECH a KT&G Corp se zařízením lil [21].

IQOS (I quit ordinary smoking)



Obr. 91 – Elektronická cigareta IQOS [22]

Na trhu celosvětově dominuje zařízení IQOS, které odstartovalo tuto novou generaci elektronických cigaret. Zařízení se skládá ze 2 základních částí, kapesní nabíječky a samotné cigarety (nahříváče), která se skládá z baterie, kontrolního hardwaru, nahřívací čepele a krytu. Pro kouření se používají tabákové náplně zvané HEETS, ve kterých nalezneme náustkový filtr, polymerový filtr určený pro zpomalení a zchlazení aerosolu, dutou acetátovou trubku, která oddaluje nahřívací hrot a samotný filtr, a slisovaný tabák. Při kouření se tato náplň zasune do zahříváče, přičemž se do slisovaného tabáku zabodne zahřívací hrot obsažený v zahříváči, po uplynutí přibližně 30 sekund je cigareta zahřátá na teplotu až 300°C a připravena k užití. Tato teplota je hlavním rozdílem oproti obyčejné cigaretě, která hoří při teplotě 800°C, čímž vzniká nebezpečný dehet, kouř a popel. Tabák se zahřívá na tuto teplotu po dobu 14 potáhnutí nebo přibližně 6 minut, podle toho co nastane dřív. Po každém kouření se musí externí nahříváč nabíjet přibližně 4 minuty v kapesní nabíječce, která má kapacitu pro přibližně 20 nabití, poté musí být sama nabita [22].

GLO



Obr. 102 – Elektronická cigareta GLO [23]

Zařízení GLO se na našem trhu objevilo začátkem roku 2018. Skládá se pouze z kapesní nabíječky, která již obsahuje zahřívací zařízení. Tabákové náplně se tedy nevkládají do externího zahříváče, ale přímo do zmíněné nabíječky. Pro kouření se užívají tabákové náplně neo, v těch najdeme dutý náustek, krátký filtr a tabák, který oproti náplni HEETS není slisovaný. Neo náplně jsou užší a delší, než zmíněné HEETS, jelikož se nahřívají ze stran po celé své délce, nikoliv pomocí nahřívacího hrotu, což značně usnadňuje čištění přístroje. Náplně se zahřívají na teplotu cca 240°C a vydrží také přibližně 14 potáhnutí. Protože se nahříváč a baterie se nachází v jednom zařízení, kuřák nemusí čekat na nabíjení externího zahříváče a může kouřit až 30 cigaret na jedno nabití [23].

3 Měření aerosolů

Při analýze aerosolů se experimenty mohou zaměřit na velikost, tvar, počet, hmotnost či složení částic. Nejdůležitějším zkoumaným parametrem bývá velikost měřených částic, ten hraje hlavní roli při charakterizaci chování měřeného aerosolu. Výsledkem takového měření bývá početní nebo hmotnostní zastoupení částic rozdělené do několika velikostních skupin. Tato měření pomáhají vyhodnocovat emise motorů, elektráren, kotlů anebo při kontrole ovzduší. Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) pravidelně sleduje stav ovzduší, kontrolovanými veličinami jsou určité nebezpečné látky a částice PM_{10} a $PM_{2,5}$.

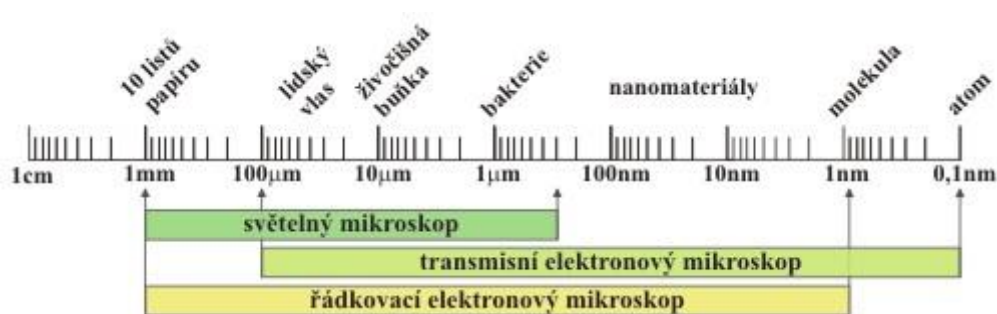
Měření se může také zaměřit na chování částic při různých podmínkách jako je například teplota. Částice v aerosolech mají široké velikostní spektrum, neexistuje proto jeden univerzální měřicí přístroj nebo metoda, pomocí které bychom byli schopni definovat všechny aerosoly, z tohoto důvodu se při měření používá spojení několika přístrojů.

3.1 Gravimetrická metoda

Jedná se o základní manuální metodu pro jednorázový odběr vzorku z proudících plynů s následujícím gravimetrickým vyhodnocením, který spočívá ve zvážení vzorku tuhých látek zachycených ve filtru. Základní nástroje jsou odběrová sonda, zachycovač, chladič, průtokoměr a zdroj sání. Tato metoda je využívána právě například při kontrole ovzduší [24]. ČHMÚ každou hodinu kontroluje na stanicích po celé ČR stav ovzduší a při překročení určité dané hodnoty, podle zákona č. 201/2012 Sb., může vyhlásit smogovou situaci [25].

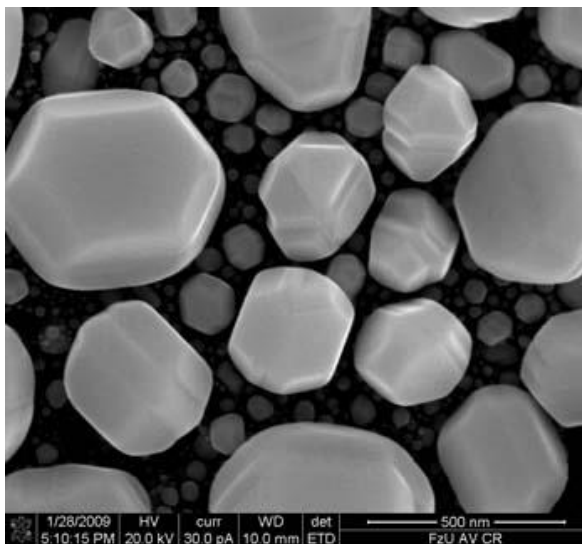
3.2 Mikroskopická analýza

Jedná se o pomalou a náročnou metodu, pomocí které jsme ale schopni zjistit přesně velikost a tvar částic. Měřený aerosol je hnaný přes filtr a zachycené částice jsou následně sledované optickým nebo elektronovým mikroskopem [26].



Obr. 113 – Pozorovací spektrum různých typů mikroskopů [26]

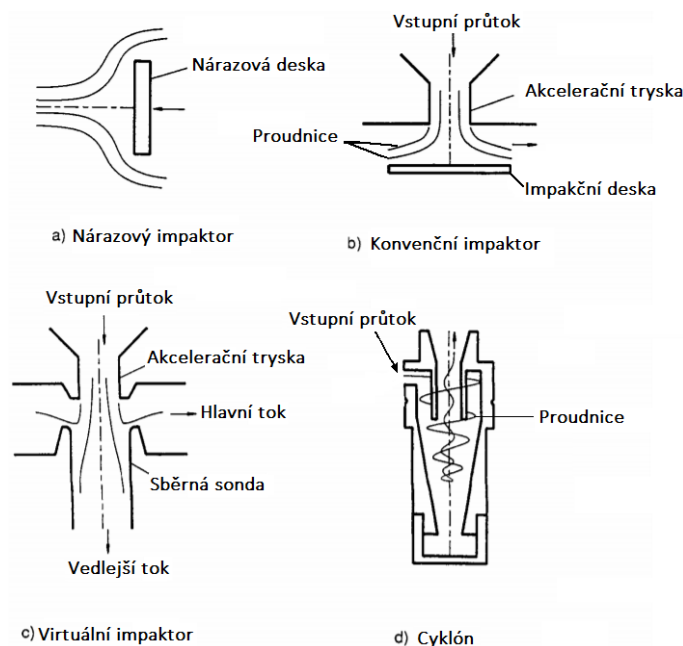
Nejběžnějšími a jednoduššími mikroskopy jsou optické mikroskopy, využívající nejčastěji bílé světlo ze žárovky nebo někdy laser. Dalším typem jsou elektronové mikroskopy, složitější a dražší nástroje, ale s vyšší rozlišovací schopností. Místo proudu fotonů, ze zdroje světla, využívají proud elektronů a místo optických čoček využívají čočky elektromagnetické. Aby výsledky neovlivňovaly elektrony z atmosféry, musí být pozorovací vzorek spolu s měřícím svazkem elektronů uzavřen ve vakuu. Vyšší rozlišovací schopnost elektronového mikroskopu je dosažena díky faktu, že elektrony mají podstatně kratší vlnovou délku než světlo [26].



Obr. 124 – Částice zlata pod elektronovým mikroskopem [26]

3.3 Real-time sizing

Velikost částic je tímto měřením získána pomocí sledování chování částic. Výhodou této metody je okamžité získání informací o měřeném aerosolu. Výsledkem měření je velké množství dat popisujících vlastnosti aerosolu, což dělá analýzu těchto dat poměrně komplikovanou. Nejčastěji jsou pro třídění využívány setrvačné a optické vlastnosti nebo jejich chování v elektrickém poli [3].



Obr. 135 – Druhy impaktorů [27]

3.3.1 Vzorkování podle setrvačnosti

Míra setrvačnosti je dána velikostí částice, čím větší částice je, tím menší na ní mají okolní vlivy a má tedy vyšší setrvačnost. Mezi základní přístroje využívajících setrvačné vlastnosti patří např. impaktor nebo cyklón. Nejdůležitějším parametrem popisujícím chování částice je relaxační čas τ (s), který značí míru schopnosti částice přizpůsobit se změnám proudění. Využívá se Stokesovo číslo (S_{TK}), které vyjadřuje poměr doby, po kterou se částice přizpůsobuje změnám proudění na celkovém dostupném čase pro změny [3] [27].

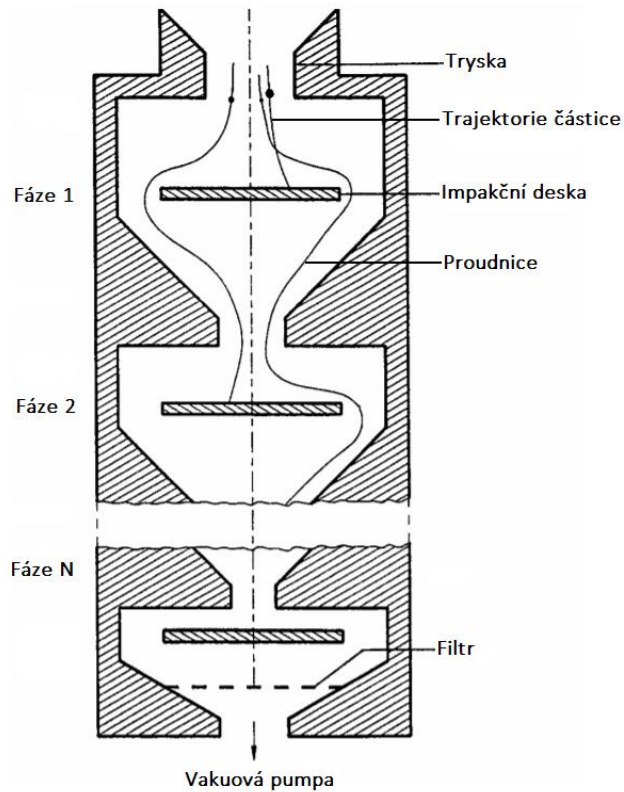
$$S_{TK} = \frac{\tau * U_0}{d_c} = \frac{\rho_p * d_p^2 * U * C_c}{9 * \eta * D_j} [-]$$

$S_{TK} \rightarrow 0$, poté částice přesně kopírují směr proudění

$S_{TK} \rightarrow \infty$, poté částice odolávají jakýmkoliv změnám

ρ_p	hustota částice
d_p	průměr částice
U	rychlost plynu
C_c	Cunninghamův korekční faktor na skluz
η	viskozita plynu
D_j	průměr trysky

Impaktory jsou jedny z nejběžněji používaných nástrojů pro měření aerosolů. Jednou z nepoužívanějších metod pro zjišťování hmotnostní distribuce aerosolu je využití tzv. Kaskádových impaktorů. V nich měřený aerosol prochází sérií impaktorů se zužujícím se vyústěním, které postupně vyfiltruje částice do požadovaných velikostních tříd. Získání dat pomocí této metody je poměrně pracné, proto se často používají aerodynamické čítače částic (APS) [3] [27]

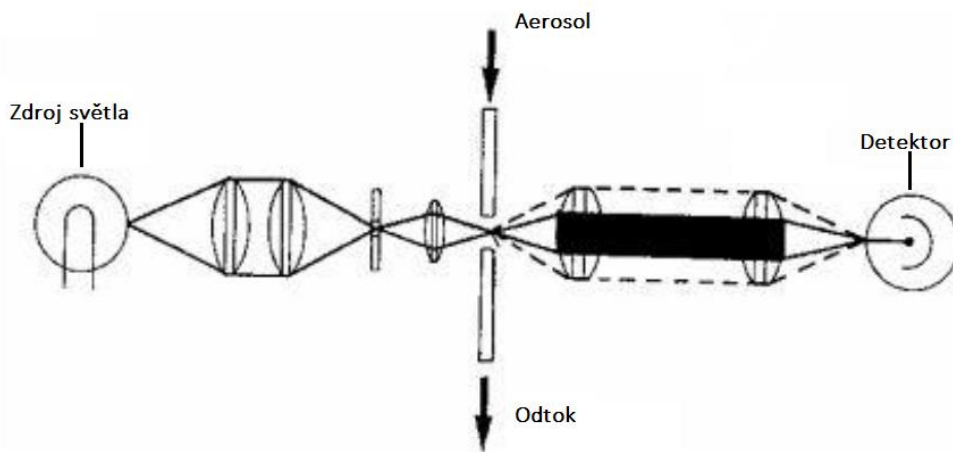


Obr. 146 – Kaskádový impaktor [27]

3.3.2 Vzorkování podle optických vlastností

Optické vlastnosti aerosolů jsou příčinou atmosférických jevů jako je například modrá barva oblohy, červánky při západu slunce nebo také snížená viditelnost při znečištění ovzduší. Tyto jevy nastanou, když světlo o určité vlnové délce narazí na částici v ovzduší, vlna může částicí projít, může se od ní odrazit nebo může být absorbovaná, při čemž dojde k přeměně její energie na teplo. Často dochází k částečné absorpci, kdy část energie se přemění na teplo a část se odrazí. Co se stane s vlnou závisí na vlnové délce světla a na materiálu částice. Výhodou této metody je její vysoká citlivost a rychlost měření [27] [28].

Pro popsání intenzity rozptylu světla existují dvě užívané teorie. Pro částice menší než $0,1 \mu\text{m}$ se pro popis rozptylu světla využívá Rayleighova teorie. Přestože $0,1 \mu\text{m}$ je hraniční velikost pro Rayleighovu teorii, v praxi se lépe uplatní pro částice o řád a více řádů menších. Pro větší částice se využívá Mieova teorie, která je na rozdíl od předchozí teorie závislá na úhlu dopadu světla [28].



Obr. 157 – Schéma zařízení pro měření rozptylu světla [27]

Částice větší než vlnová délka světla je možno měřit pomocí jejich optických vlastností, pokud jsou ale částice menší, je potřeba využít přístrojů, které jsou schopny zvětšit průměr částice. K tomu využívají kondenzaci par na jejich povrchu, čímž umožní změření částice [3].

3.3.3 Vzorkování podle elektrické mobility

Nabitě částice jsou vstřeleny do oblasti s elektrostatickým polem a působí na ně síla závislejší na náboj částice a intenzitu pole. Kladně nabitě částice jsou přitahovány k záporně nabitě elektrodě a naopak. Velké částice jsou těmito silami ovlivněny méně než malé částice. V experimentální části při měření částic emitovaných při kouření bylo provedeno skenovací třídícím pohyblivostí částic (SMPS), který využíval právě tyto vlastnosti [27].

4 Experimentální část

Výzkum částic vznikajících při kouření cigaret je předmětem mnoha specializovaných pracovišť po celém světě již dlouhou dobu. Zde zkoumají dopad těchto látek na lidské tělo a tyto data pomáhají ve vývoji účinnějších cigaretových filtrů a hlavně osvětě populace.



Obr. 168 – Speciální laboratoř pro zkoumání aerosolu z cigaret [29]

Výzkum zařízení využívající systém nahřívání tabáku je v porovnání s klasickou cigaretou stále v začátcích, protože tato zařízení nejsou na trhu dlouhou dobu. Velká popularita těchto produktů ale podnítila tento výzkum a spousta laboratoří a vědců se těmito zařízeními zabývá. Pro tyto účely se v laboratořích používají nejčastěji měřící přístroje jako je například SMPS [3].

Při těchto experimentech dochází k simulaci kouření a následné analýze generovaného aerosolu. Tato simulace je však často náročná a může mít za následek velké výchyly ve výsledcích. Při vzorkování je nutné dbát důraz na co nejpřesnější simulaci lidského těla a zároveň na realizovatelnosti měření. V těchto dvou bodech se často dělají kompromisy pro dosažení co nejpřesnějšího měření za pomoci dostupné techniky. Výsledky těchto studií jsou často mezi sebou těžko porovnatelné z důvodu odlišné simulace kouření.

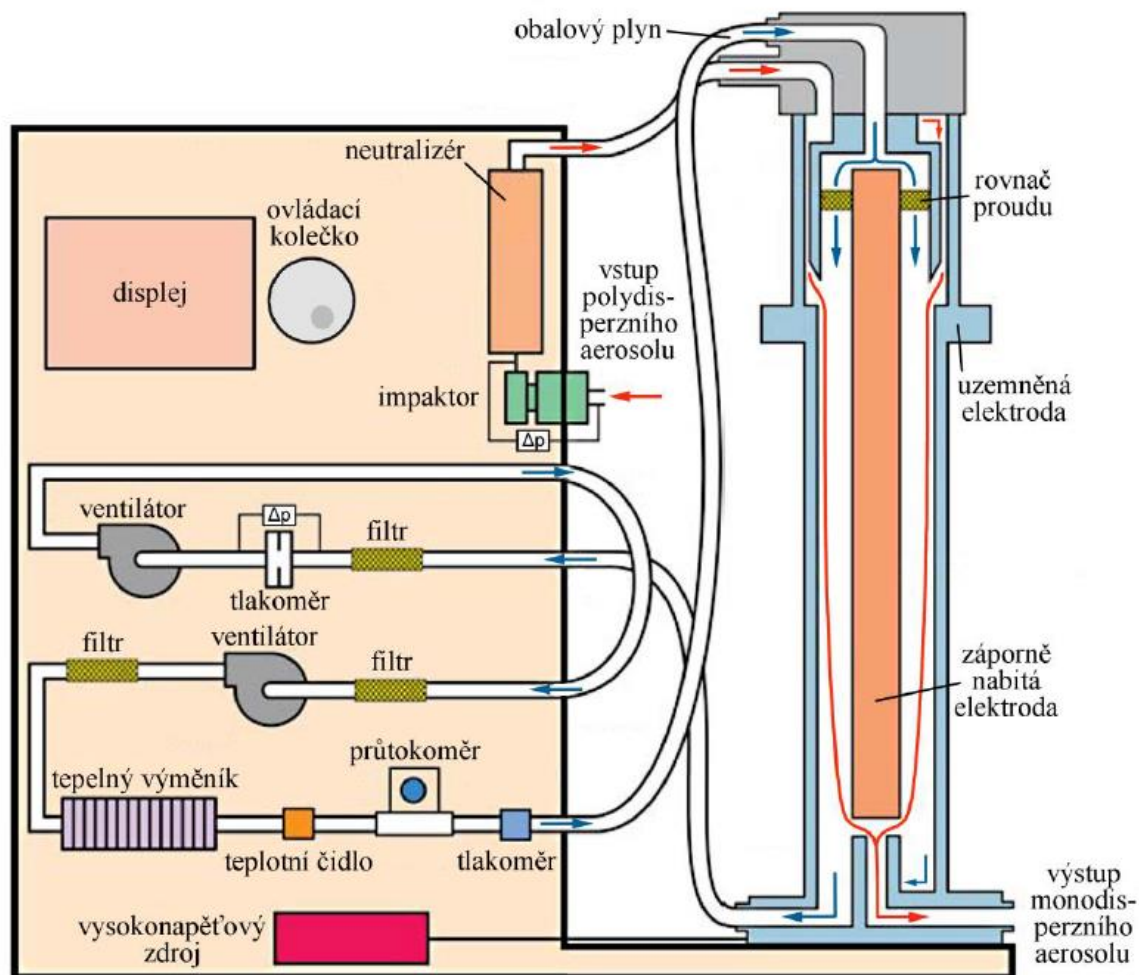
4.1 Použité měřicí zařízení

4.1.1 TSI Aerodynamic Particle Sizer 3321

Spektrometr Aerodynamic Particle Sizer 3321 (APS) od firmy TSI měří aerodynamický průměr částic od 0,5 až do 20 μm . Výhodou APS je vysoké rozlišení, nastavitelná délka vzorkování a velikostní distribuce v reálném čase. Jeho primárním využitím je inhalační toxikologie a monitorování ovzduší. Je vhodný spíše pro nižší koncentrace částic, ale pro účely této práce byl stále vhodný [30].

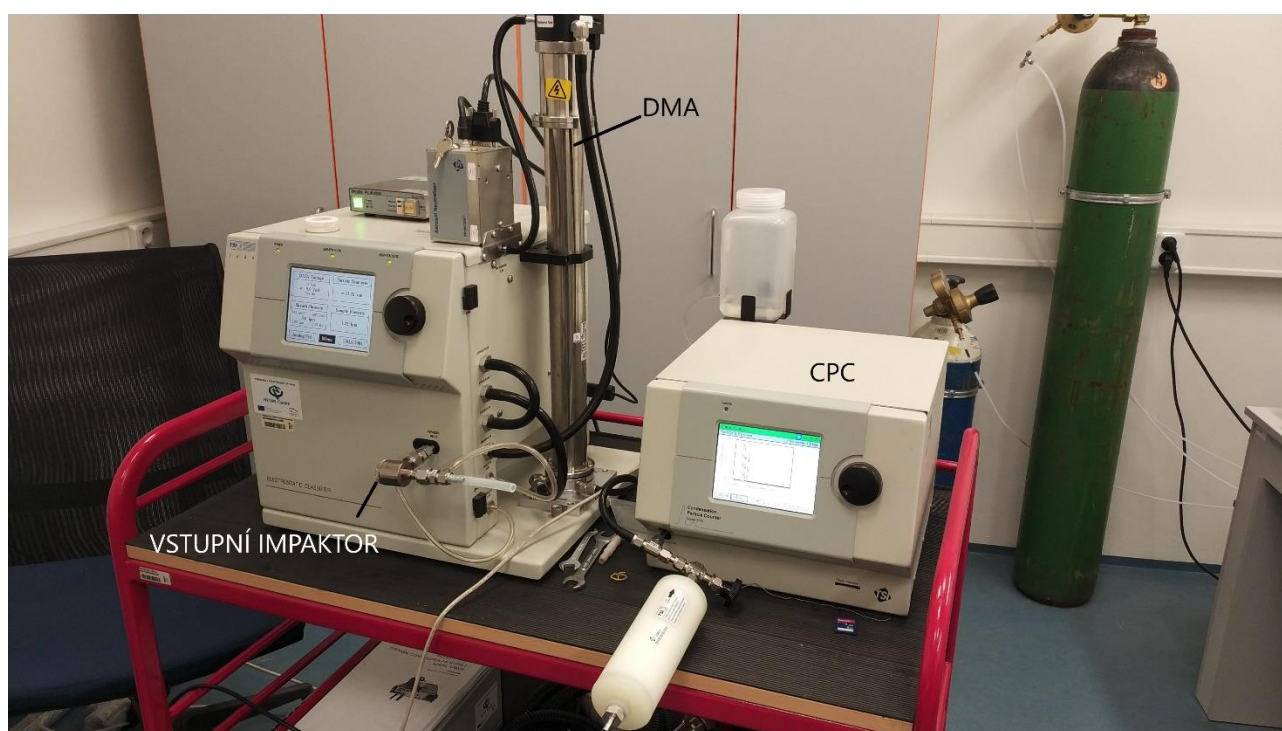
4.1.2 TSI SMPS 3936

Při měření byl také využit přístroj SMPS 3936 od firmy TSI, skenovací třídič pohyblivosti částic (Scanning Mobility Particle Sizer). Výhodou tohoto přístroje je jeho vysoká přesnost měření a jeho rozlišení, dokáže měřit částice od 5 nm do 1 μm a rozdělit je až do 64 velikostních intervalů. Této vysoké přesnosti se využívá například v atmosférickém měření, toxikologii či nanotechnologii.



Obr. 17 – Schéma měřicího přístroje SMPS [31]

Z konstrukčního schéma (obrázek 17) lze pozorovat, že přístroj je složen z několika částí – elektrostatický třídič, aerosolový neutralizátor a dále z kondenzačního čítače částic (CPC), který je připojen na vývod monodisperzního aerosolu a předává naměřená data do počítače. Měřený aerosol je tříděn ihned při vstupu, kde velké těžké částice narazí do impaktoru, čímž jsou pro limitování chyb odstraněny. Částice dále procházejí neutralizátorem a je jim přiřazen elektrický náboj, takto nabitě částice vstupují do diferenciálního analyzátoru pohyblivosti částic (DMA). Ten tvoří dva soustředné válce, které slouží jako elektrody – vnější elektroda je uzemněná a na vnitřní je napětí od 0 po až 10 000 V. Přístroj automaticky mění tuto hodnotu napětí, čímž se vytváří monodisperzní aerosol s částicemi určité velikosti, který je poté vyveden do CPC. Protože částice v měřených monodisperzních aerosolech jsou velice malé, jsou v případě tohoto přístroje zvětšeny pomocí kondenzace par butanolu na rozměry přibližně 10 μm . Takto zvětšené částice jsou již snadno měřitelné pomocí optických vlastností.



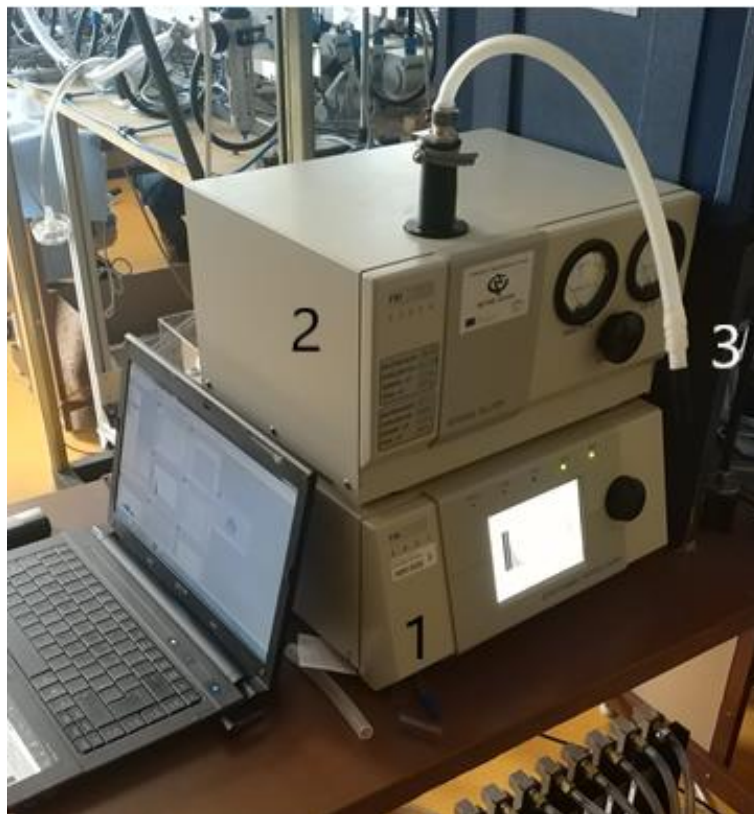
Obr. 18 – Měřicí přístroj SMPS 3936 v laboratoři

4.2 Popis laboratorního měření

4.2.1 Měřicí trať s Aerosol Particle Sizer 3321

Při prvním měření byl využit Aerosol Particle Sizer 3321 od firmy TSI. Měřicí přístroj vyžaduje kontinuální přísun aerosolu k přesnému měření, proto byla cigareta připojena přímo do samotného přístroje, který následně sám generoval aerosol. Externí nádoba, do které by byl aerosol vygenerován a následně analyzován, byla zavrhnuta z důvodu koagulace částic. Generovaný aerosol byl příliš koncentrovaný, proto byl do měřicí trati přidán TSI Aerosol Diluter 3302A, který generovaný aerosol ředil v poměru 1:100, a u samotného APS byla zvýšena koncentrační hranice na 5500 částic/cm³, která se ukázala jako dostatečný limit při měření elektronických cigaret.

Na této trati byly měřeny pouze elektronické cigarety IQOS a Glo, vysoké koncentrace částic nedovolily měření klasické cigarety. Aerosol byl v obou případech nasáván přístrojem APS po dobu 40 s. Obě elektronické cigarety řídí délku kouření pomocí hardwarového nastavení, počet potahů nebo délka nahřívání, ta podmínka, která nastane dřív, způsobí vypnutí cigarety. Přestože IQOS i Glo mají tyto podmínky téměř totožné, cigareta Glo zahřívala svou tabákovou náplň po dobu až 3 měření (120 s), zatímco cigareta IQOS se téměř vždy vypnula po 1 měření (40 s).



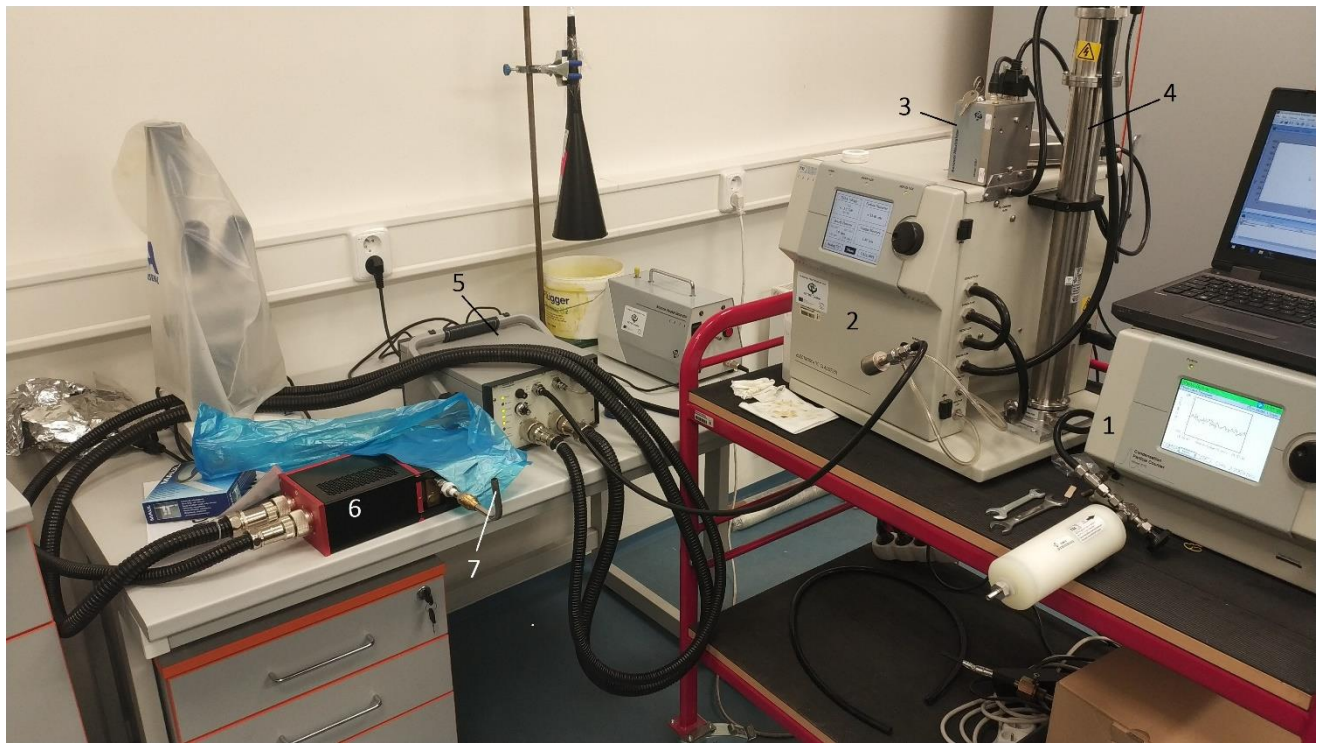
Obr. 19 – Měřicí trať (1 – TSI Aerosol Particle Sizer, 2 – TSI Aerosol Diluter, 3 – vstup pro měřenou cigaretu)

4.2.2 Měřicí trať s SMPS 3936

Druhá měřicí trať využívala přístroj SMPS 3936, který byl pro potřeby této práce vhodnější, protože dokáže měřit částice menší než PM_{10} . Měřený rozsah si přístroj určí automaticky podle zadaných parametrů vzorkování – pro tuto práci se ukázalo jako nejvhodnější délka měření 60 s a průtok aerosolu 0,3 l/min. Pomocí tohoto nastavení SMPS dokázal měřit částice v rozsahu od 16,3 nm do 532,8 nm. Tento rozsah se ukázal jako limitní, protože průtok aerosolu 0,3 l/min je již nejnižší možný průtok a při delším měření se elektronické cigarety vypnou.

Na této trati bylo možné změřit jak cigarety elektronické, tak i pro porovnání cigaretu klasickou. Přístroj SMPS si opět měřený aerosol generoval a nasával sám. Ukázalo se, měřené koncentrace jsou nejspíše příliš velké, proto proběhlo další měření, kde byl do měřicí tratě zakomponován Rotating Disk Thermodiluter Model 379020A, díky kterému bylo možno

měřený aerosol ředit v závislosti na teplotě a nastavení potenciometru – 150 °C a potenciometr nastavený na 8 %, díky čemuž byl aerosol ředěn v poměru 1:225.



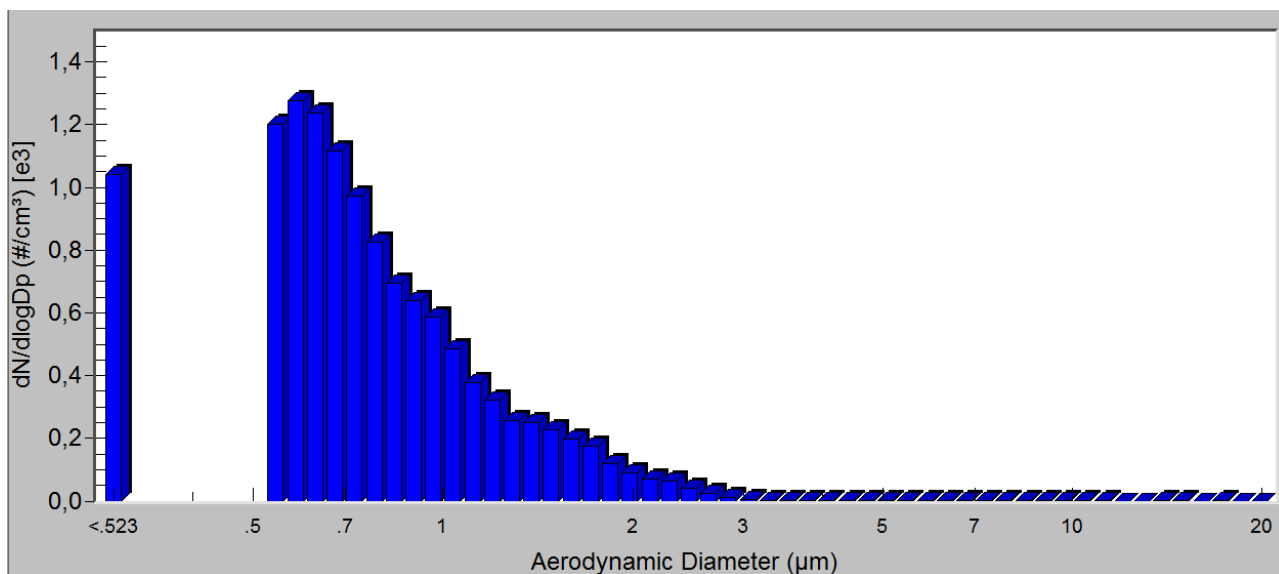
Obr. 20 – Měřicí trať s SMPS 3936 (1 – Condensation Particle Counter 3775 (CPC), 2 – Electrostatic Classifiers 3080, 3 – Aerosol Neutralizer 3087, 4 – Scanning Mobility Particle Sizer 3080, 5 – Rotating Disk Thermodiluter 379020A, 6 – Thermal Conditioner Air Supply 379030, 7 – Vstup pro měřenou cigaretu

5 Výsledky měření

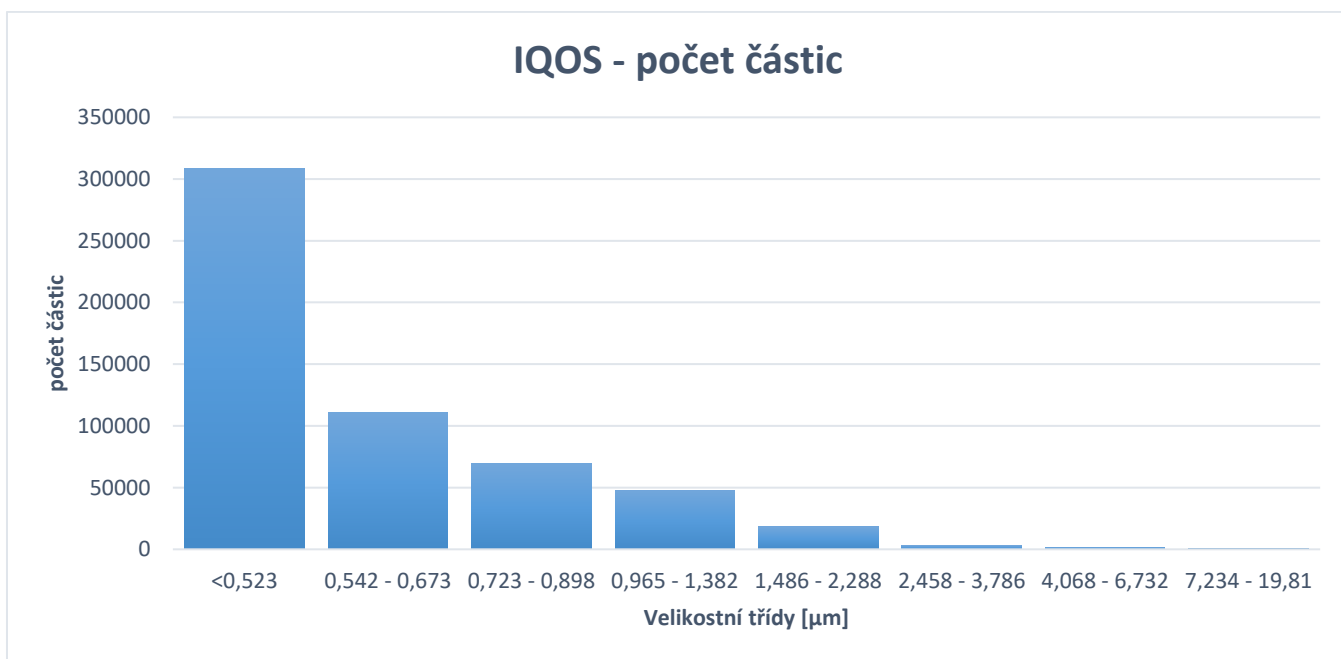
5.1 Měření pomocí APS

5.1.1 Elektronická cigareta IQOS

Naměřená data ze zařízení IQOS zobrazuje Tabulka 1. Hodnoty z 4. a 6. měření ukazují velice odlišné hodnoty, tato odchylka může být způsobena nesnadnou manipulací se zařízením během samotného nahřívání náplně a zapojení zařízení do měřicí tratě nebo náplně mohou mít nekonzistentní složení. Obrázek 21 ukazuje data z jednoho měření, z těch můžeme vyčíst, že pomocí přístroje APS nejsme schopni změřit celé velikostní spektrum těchto částic, protože velké množství částic je menší než limitní velikost pro Aerosol Particle Sizer 3321.



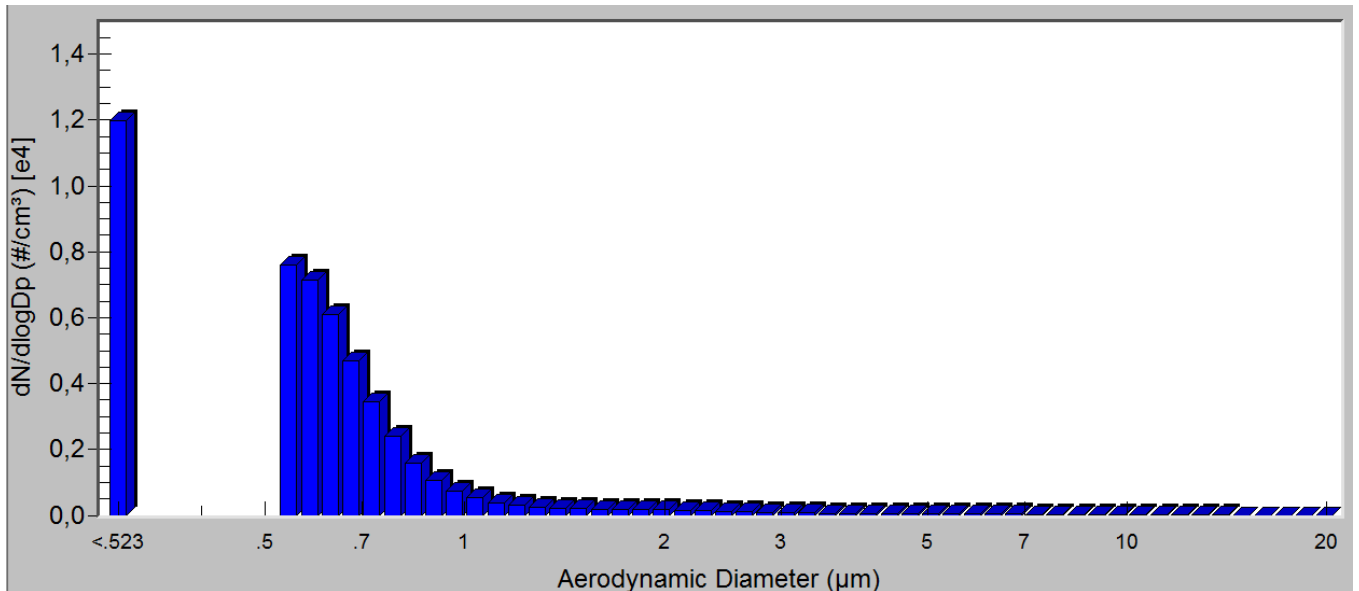
Obr. 21 – Naměřená data generovaných částic zařízením IQOS pomocí APS



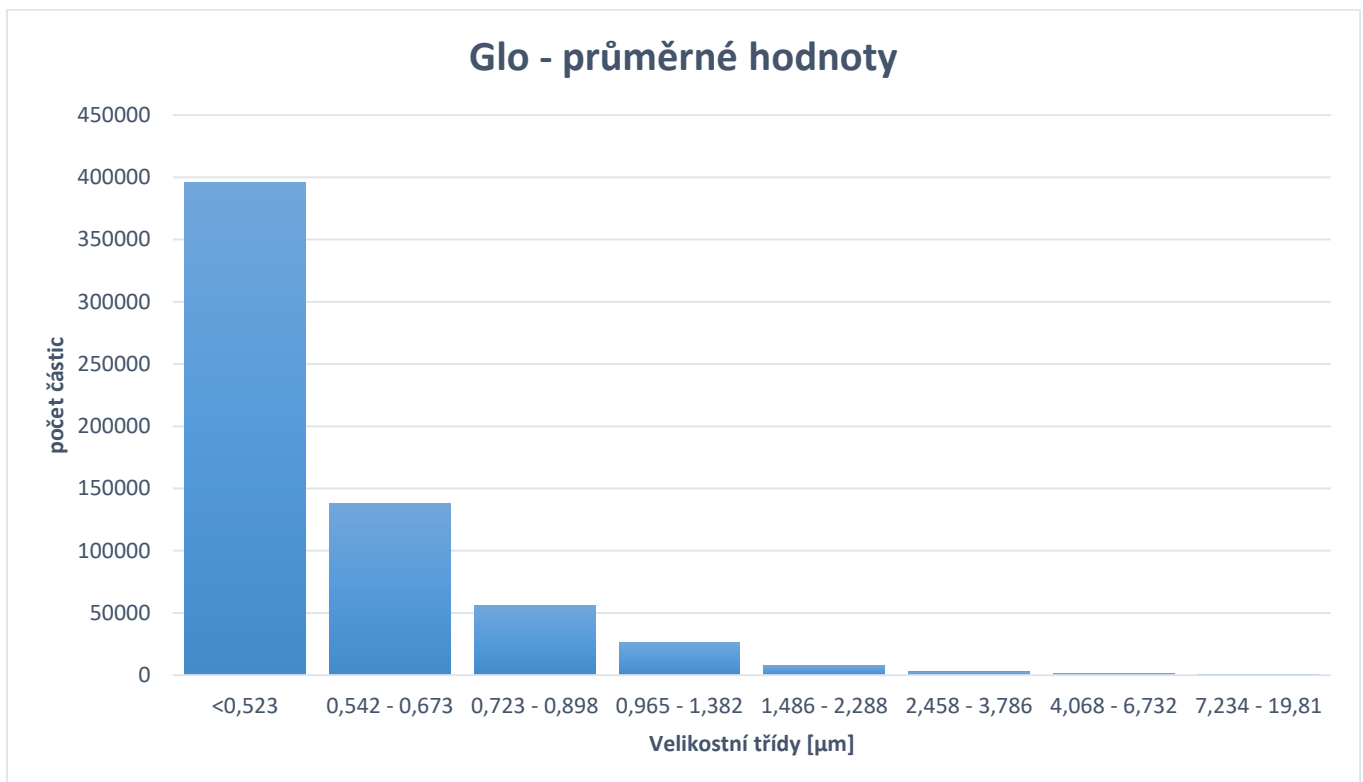
Obr. 22 – Graf průměrných hodnot generovaných částic zařízením IQOS

5.1.2 Elektronická cigareta Glo

Naměřená data ze zařízení Glo zobrazuje Tabulka 2. Obrázek 22 zobrazuje naměřená data z jednoho měření, opět lze pozorovat, že velké množství částic leží mimo měřitelné spektrum přístroje APS.



Obr. 23 – Naměřená data generovaných částic zařízením Glo pomocí APS



Obr. 24 – Graf průměrných hodnot generovaných částic zařízením Glo

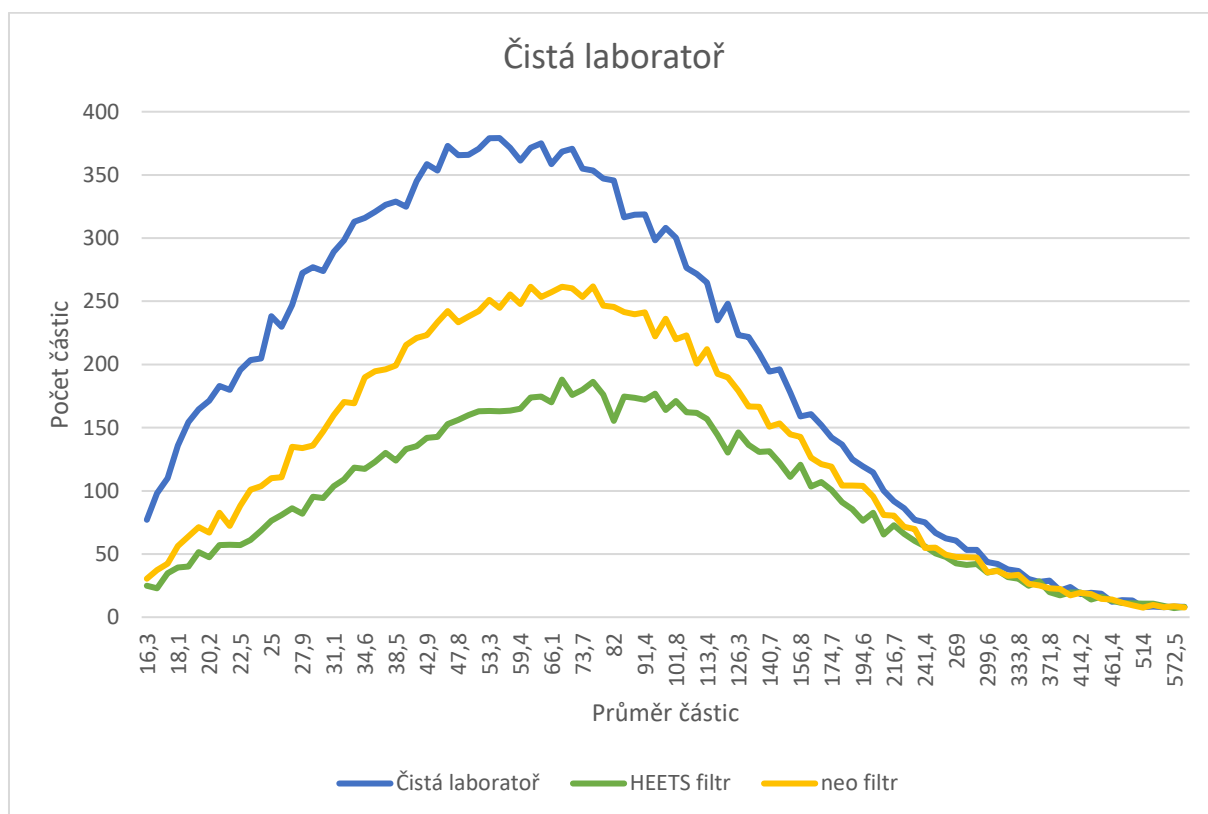
5.2 Měření pomocí SMPS

Při měření pomocí SMPS bylo provedeno několik měření. Nejdříve počet částic v čisté laboratoři, načež do měřicí tratě byly přidány filtry z tabákových náplní HEETS a následně neo, čímž se porovnávala jejich účinnost v zachytávání částic. Další měření bylo zaměřeno na generované částice elektronickými cigaretami, načež bylo provedeno navazující měření, kde byl měřený aerosol ředěn z důvodu podezření dosažené maximální měřitelné koncentrace.

Poslední měření bylo zaměřeno na analýzu vlivu cigaret na pasivního kuřáka. Měřicí přístroj byl umístěn do místnosti o rozměrech 3,5x5,5x3,8 m a následně byly v místnosti vykouřeny 3 cigarety od každého druhu elektronických cigaret, počínaje IQOS, následně Glo a poté 2 klasické cigarety LM Loft. Mezi každou cigaretou byl rozestup 10 minut a následně při změně druhu cigaret byla místnost vyvětraná.

5.2.1 Čistá laboratoř

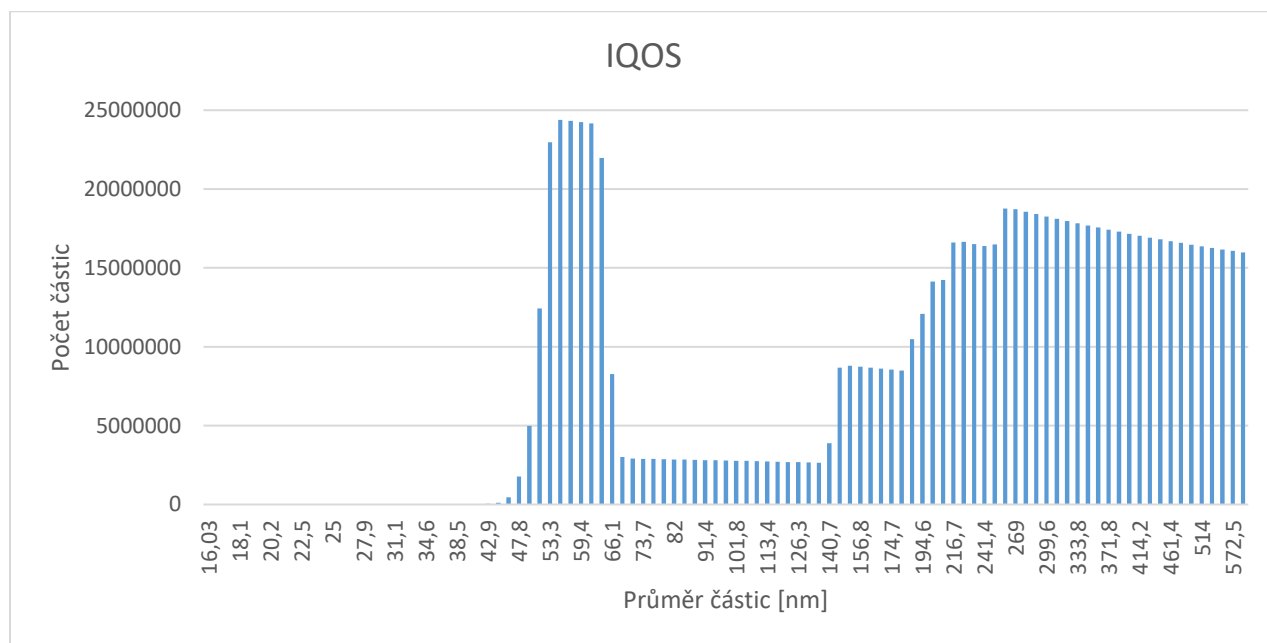
Nejdříve byla změřena pětkrát čistá laboratoř, poté byl do měřicí tratě přidán filtr z tabákové náplně HEETS pro zařízení IQOS a provedeno dalších 5 měření, to samé bylo provedeno pro náplň neo do zařízení Glo. Tyto výsledky jsou porovnány na Obrázku 25.



Obr. 25 – Počet částic v čisté laboratoři

5.2.2 Elektronická cigareta IQOS

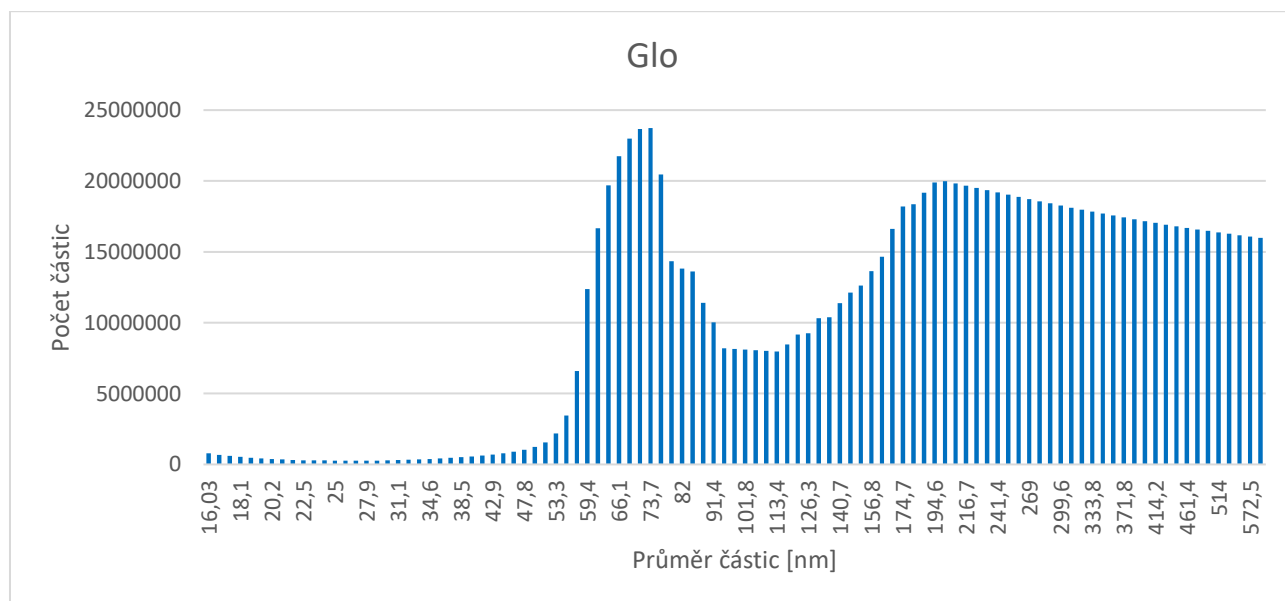
Při měření cigarety IQOS proběhlo opět alespoň 5 měření, hodnoty z těchto měření byly zprůměrovány a vyneseny do grafu na Obrázku 26. Přestože je počet částic v rozmezí od 16,03 nm do 42,9 nm z grafu nezaznamenaný, je stále přibližně 100x větší než v čisté laboratoři.



Obr. 26 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením IQOS při dosažení maximální měřitelné koncentrace

5.2.3 Elektronická cigareta Glo

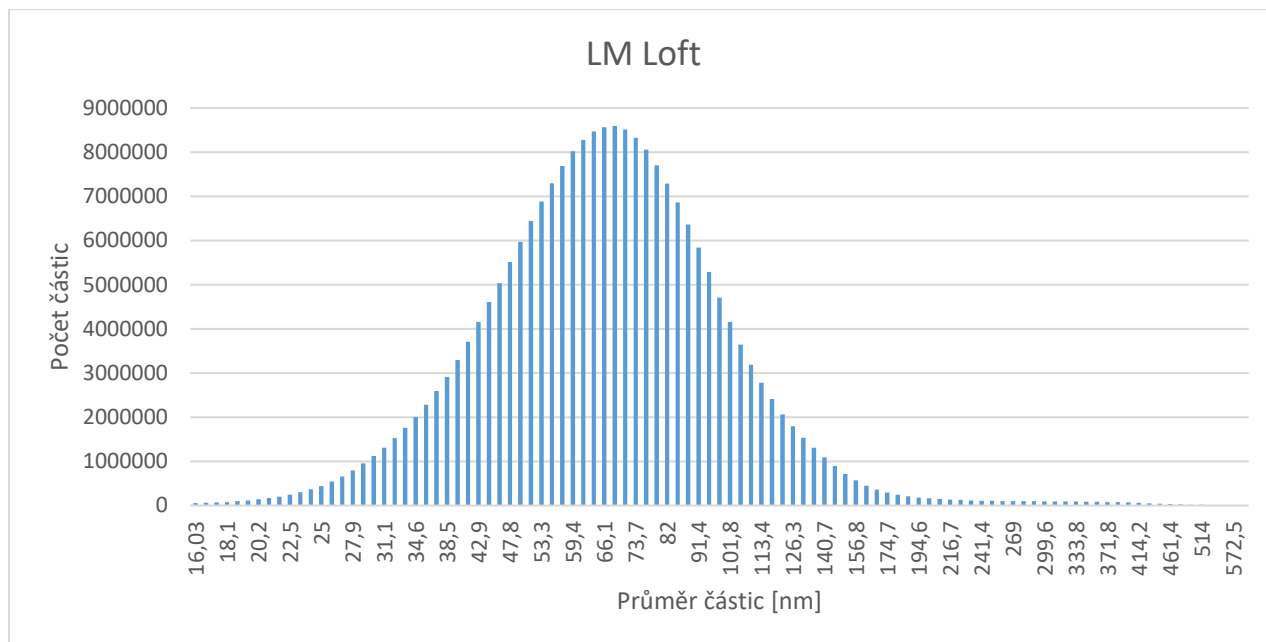
Pro měření cigarety Glo proběhlo také alespoň 5 měření, tyto hodnoty byly zprůměrovány a vyneseny do grafu na Obrázku 27.



Obr. 27 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením Glo při dosažení maximální měřitelné koncentrace

5.2.4 Klasická cigareta (LM Loft) s ředěním aerosolu

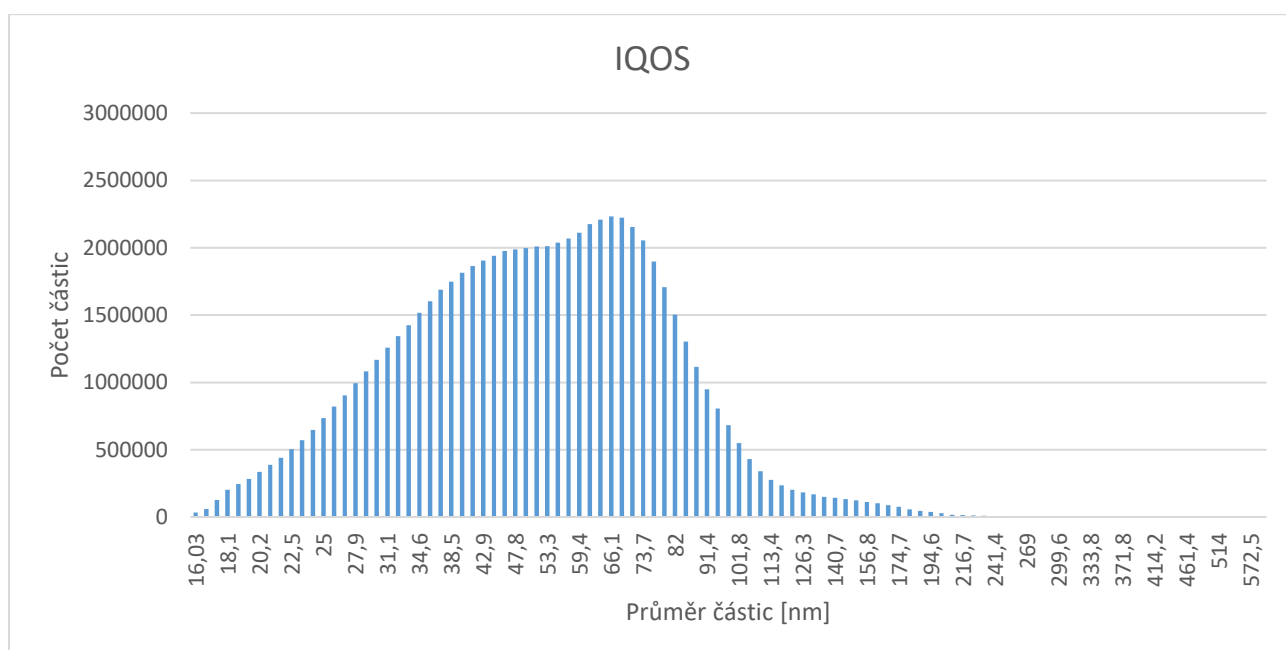
Pro měření klasické cigarety byl do měřicí trati přidán Rotating Disk Thermodiluter 379020A, pomocí kterého byl měřený aerosol ředěn v poměru 1:225. Hodnoty z měření cigaret LM Loft byly zprůměrované a vyneseny do grafu na Obrázku 28.



Obr. 28 – Graf průměrných hodnot naměřených z cigaret LM Loft

5.2.5 Elektronická cigareta IQOS s ředěním aerosolu

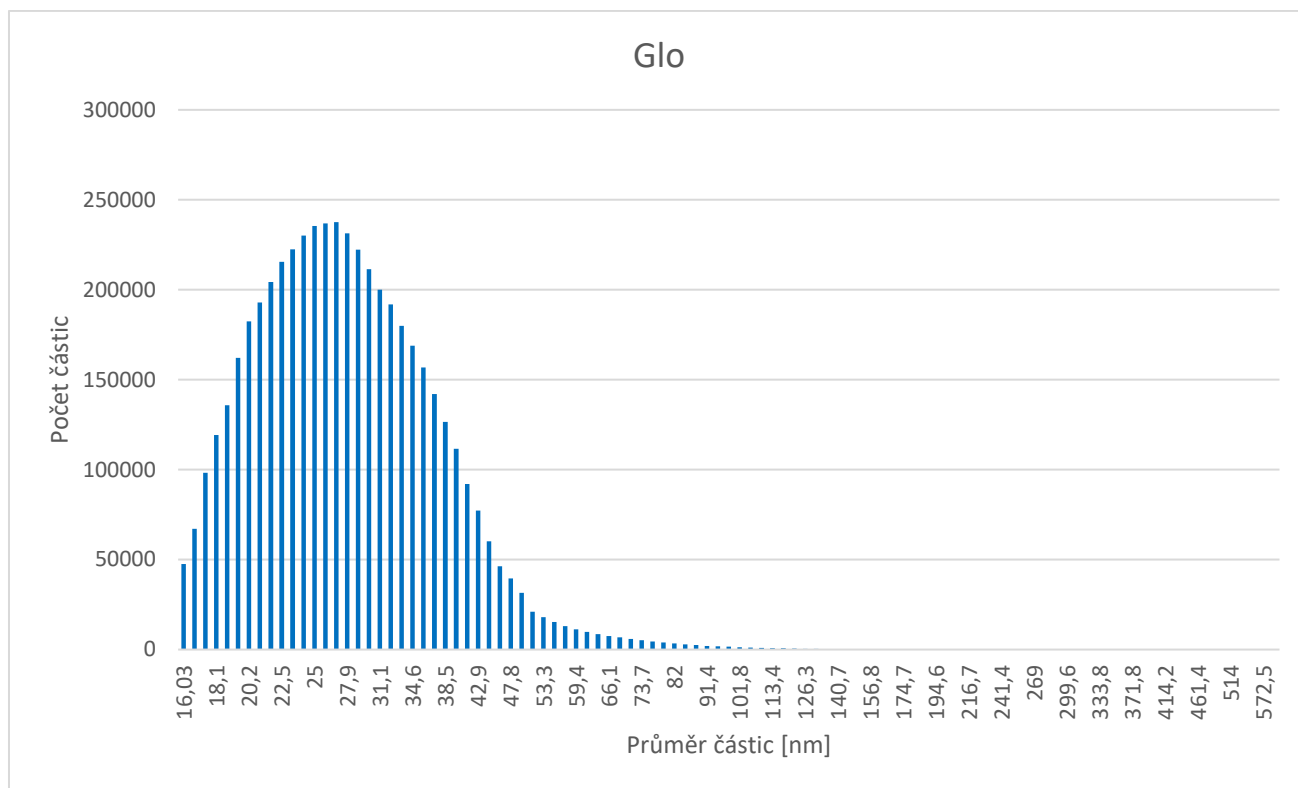
Hodnoty z měření elektronické cigarety IQOS při ředění v poměru 1:225 byly zprůměrované a vyneseny do grafu na Obrázku 29.



Obr. 29 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením IQOS při ředění v poměru 1:225

5.2.6 Elektronická cigareta Glo s ředěním aerosolu

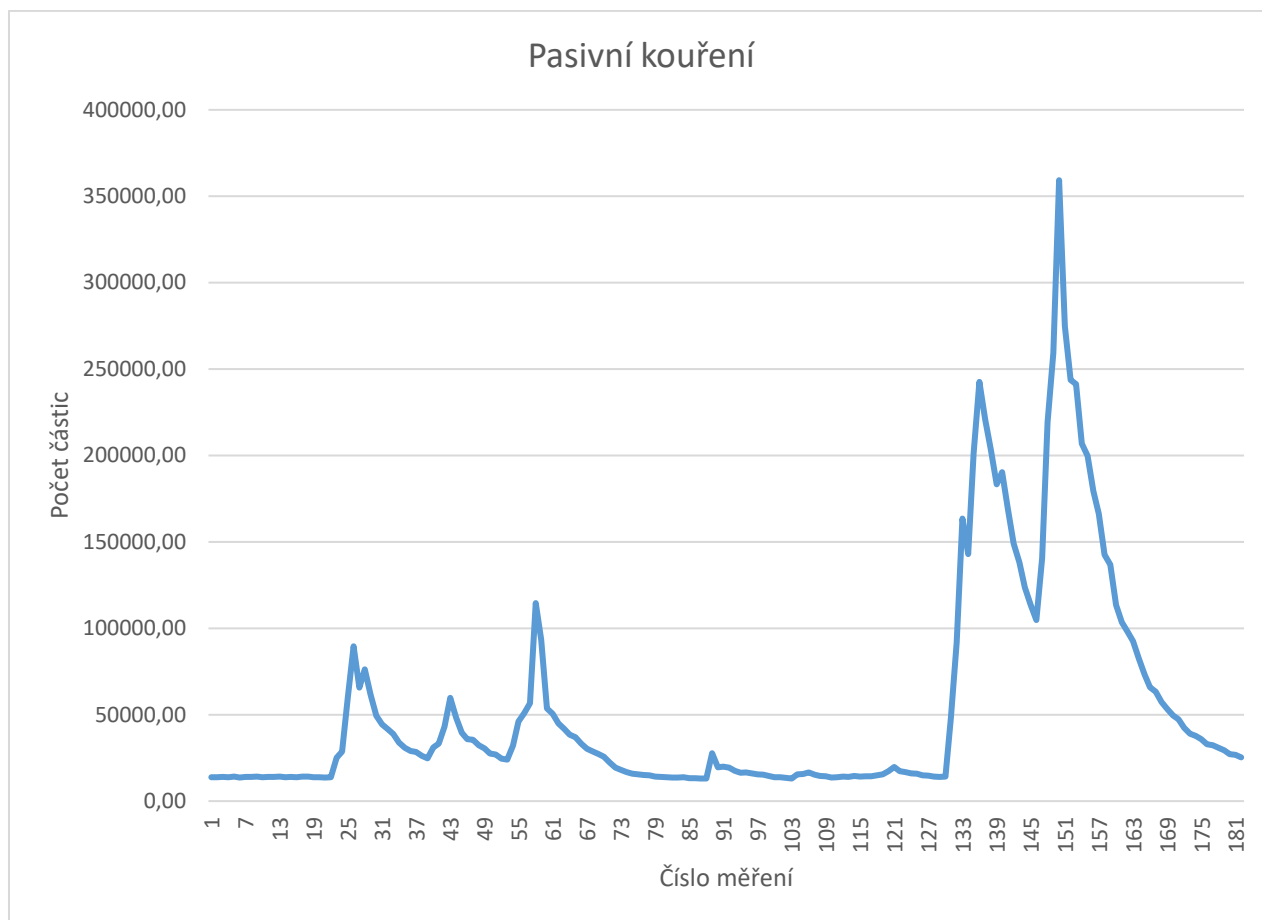
Hodnoty z měření elektronické cigarety Glo při ředění v poměru 1:225 byly zprůměrované a vyneseny do grafu na Obrázku 29.



Obr. 30 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením Glo při ředění v poměru 1:225

5.2.7 Pasivní kouření

V případě pasivního kouření byly naměřené velikostní spektra v závislosti na čase sečtena a následně vynesena do grafu na Obrázku 31.



Obr. 31 – Průběh celkového počtu částic v místnosti při měření pasivního kouření

Z výsledků měření pasivního kouření lze v grafu vidět jednotlivé „peaky“ při jednotlivých kouření cigaret. První 3 patří elektronické cigaretě IQOS, další, téměř nepatrné, patří zařízení Glo a poslední 2 patří cigaretám LM Loft. Z pohledu pasivního kuřáka je tedy zařízení Glo nejméně nebezpečné. Z grafu lze také vidět, že druhý „peak“ cigarety LM Loft je v nepoměru s tím prvním, to může být způsobené tím, že se částice nestihly usadit mezi jednotlivými měřeními.

5.3 Diskuze

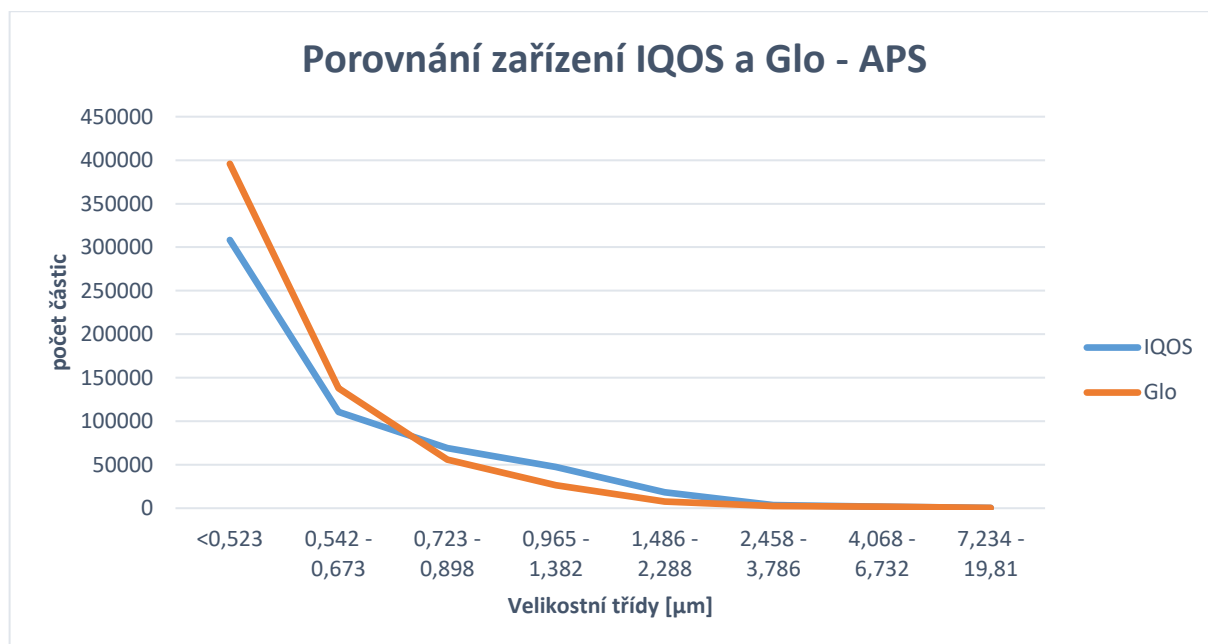
Cílem této práce bylo provést měření množství aerosolových částic generovaných elektronickými cigaretami nové generace. Data naměřená pomocí měřicího přístroje APS ukazují velmi podobný počet částic z obou elektronických cigaret. Při tomto měření byl použit ředící poměr 1:100, ve skutečnosti tedy tyto cigarety generují 100x více částic. Pomocí přístroje APS jsme schopni měřit pouze část velikostního spektra částic vznikajících při kouření a z výsledků měření pomocí SMPS (Obrázek 33) lze vidět, že čím roste velikost částic, tím se zmenšuje rozdíl v počtu částic mezi jednotlivými cigaretami, proto data z APS neodhalily velké rozdíly v počtu částic mezi jednotlivými cigaretami.

Při měření pomocí přístroje SMPS proběhlo několik měření. Při prvním, bez využití ředícího poměru, se v naměřených datech objevují „sedla“, která se, podle našeho úsudku, vyskytla z důvodu dosažené maximální měřitelné koncentrace částic v aerosolu. Tato hypotéza byla s největší pravděpodobností pravdivá, protože při využití ředícího poměru 1:225 byly na místě „sedla“ naměřeny nejvyšší hodnoty počtu částic. Díky tomuto vysokému ředícímu poměru bylo také možno změřit klasickou cigaretu. Naměřené hodnoty z měřicí tratě s ředícím poměrem byly porovnány a vyneseny do grafu na obrázku 33. Z těchto naměřených dat lze pozorovat již markantní rozdíl mezi jednotlivými cigaretami.

6 Závěr

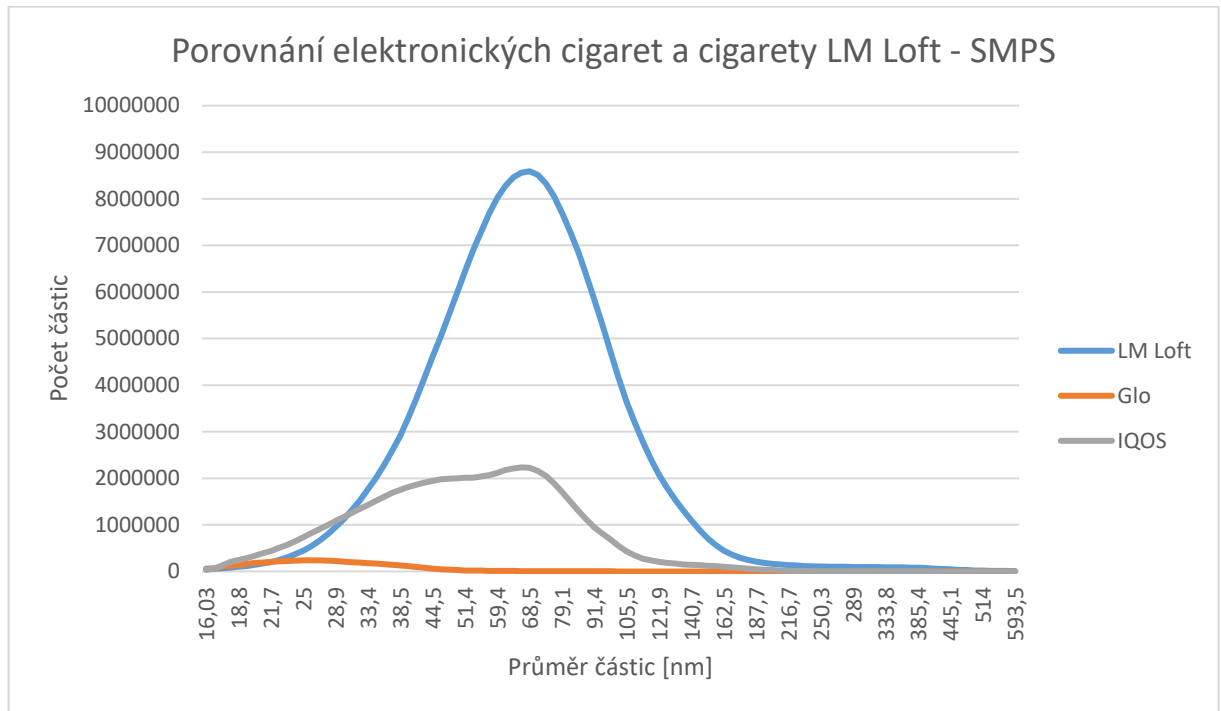
Obliba elektronických cigaret nové generace velmi rychle roste, všeobecně jsou vnímány jako méně škodlivá alternativa k obyčejným cigaretám. Tato zařízení s sebou však nesou významná rizika, lákají nekuřáky, kteří by si klasickou cigaretu nezapálili, zejména potom mladé lidi. Žádné studie zaměřené na dlouhodobé účinky těchto zařízení zatím nejsou z důvodu krátké doby na trhu.

V této práci byly zkoumány dvě elektronické cigarety nové generace – IQOS od společnosti Philip Morris a Glo od společnosti British American Tobacco. Tato zařízení byla měřena na měřicí trati sestavené v aerosolové laboratoři FSI VUT v Brně za pomoci přístrojů TSI Aerodynamic Particle Sizer 3321 (APS) a TSI SMPS 3936. Z dat naměřených pomocí měřicího přístroje APS vyplývá, že obě elektronické cigarety generují téměř shodný počet částic. Toto velikostní spektrum však odhaluje pouze malou část všech částic generovaných těmito cigaretami.



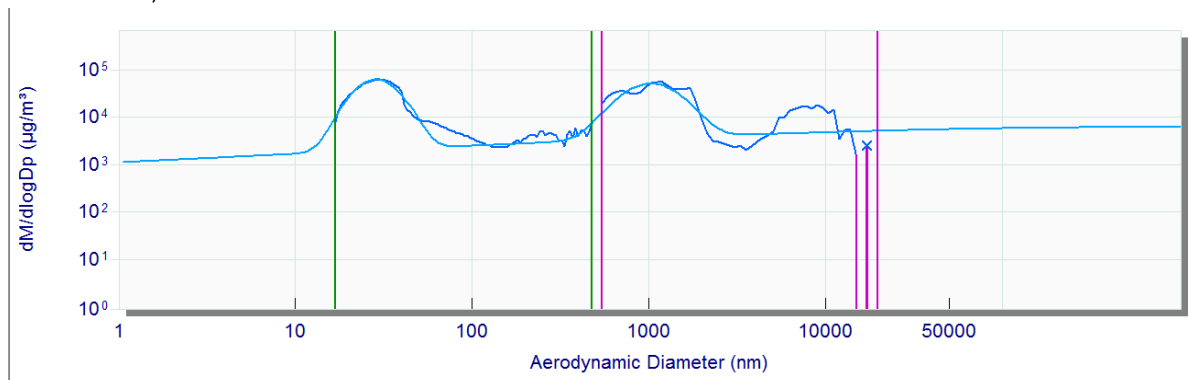
Obr. 32 – Porovnání elektronických cigaret IQOS a Glo za pomoci měřicího přístroje APS

Z dat naměřených pomocí měřicího přístroje SMPS lze již vyčíst markantní rozdíly mezi počtem částic jednotlivých cigaret.

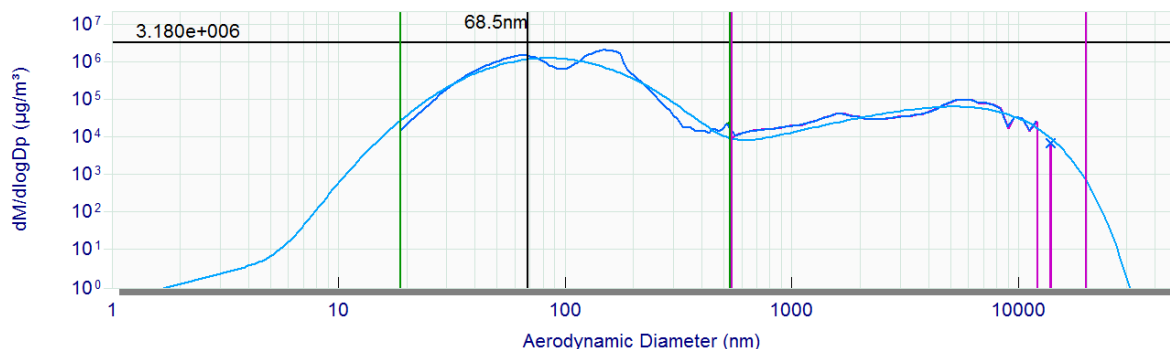


Obr. 33 – Porovnání elektronických cigaret IQOS a Glo a cigarety LM Loft za pomoci přístroje SMPS

Naměřená data z obou měřicích přístrojů byla pomocí Data Merge Software Module (TSI) proložena funkcí, čímž bylo ověřeno, že data z APS a SMPS na sebe navazují (Obrázek 34 a obrázek 35).



Obr. 34 – Naměřená data ze zařízení Glo



Obr. 35 – Naměřená data ze zařízení IQOS

Z naměřených dat lze usoudit, že zařízení Glo generuje nejmenší počet částic, to znamená že pro kuřáka (aktivního i pasivního) nese nejmenší zdravotní rizika. Přestože konkurenční IQOS generuje částic více, v porovnání s klasickou cigaretou je to stále několikanásobně nižší množství. Stále se ale jedná o velké množství částic, které by člověk za normální situace do sebe nevdechl, tudíž tvrzení, že tyto cigarety nové generace jsou zdravá alternativa ke klasickým cigaretám, je velmi zavádějící.

Výsledkem této práce je porovnání dvou elektronických cigaret nové generace, které jsou k dostání na našem trhu, a zhodnocení jejich dopadu na lidské zdraví. Tato práce by mohla být rozšířena v diplomové práci se zaměřením na další proměnné, které mohou výsledné hodnoty ovlivňovat – například různé příchutě tabákových náplní. Dalším faktorem, který by mohl ovlivňovat počet generovaných částic, může být míra zanesení přístrojů. Zejména u zařízení IQOS se při pravidelném používání zanášá nahřívací hrot spáleným tabákem, to by mohlo způsobovat zvýšení teploty při nahřívání tabákové náplně a následně možné natavení polymerové částic filtru.

7 Bibliografie

- [1] *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York: Wiley, 1999. ISBN 04-711-9410-7.
- [2] VOILAND, Adam. Aerosols: Tiny Particles, Big Impact. *Earth observatory* [online]. Washington, DC: NASA, 2010 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Aerosols>
- [3] KRÁTKÝ, Š. *Porovnání vodní dýmky, elektronických cigaret a klasických cigaret z hlediska emitovaných částic*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. František Lízal, Ph.D.
- [4] BUŘIL, L. *Elektronické cigarety – porovnání z hlediska emitovaných částic*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. František Lízal, Ph.D.
- [5] Aerosol. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerosol>
- [6] TU, Jiyuan, Kiao INTHAVONG a Goodarz AHMADI. *Computational fluid and particle dynamics in the human respiratory system*. Dordrecht: Springer, 2013, xviii, 374 stran : barevné ilustrace. ISBN 978-94-007-4487-5.
- [7] Respiratory system. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Respiratory_system_complete_en.svg?uselang=cs
- [8] SITEK, T. *Ultrajemné částice generované spalovacím procesem*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.
- [9] Polétavý prach (PM10). In: *Integrovaný registr znečišťování: IRZ* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2005 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/poletavy_prach.pdf
- [10] THOMAS, Richard James. Particle size and pathogenicity in the respiratory tract. *Virulence*. Landes Bioscience, 2013, 4(8), 847-858. DOI: 10.4161/viru.27172. ISSN 2150-5608. Dostupné také z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24225380>
- [11] ROM, William N. a Steven MARKOWITZ. *Environmental and occupational medicine*. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2007. ISBN 978-0781762991.

- [12 GATELY, Iain. *Tobacco: the story of how tobacco seduced the world*. New York: Grove Press, 2001. ISBN 978-0802117052.
- [13 HOFFO, A.H. *The Carcinogenic Effects of Tobacco: Monatschrift für Krebsbekämpfung* [online]. b.r., , 6 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://scielosp.org/pdf/bwho/v84n6/v84n6a21.pdf>
- [14 DOLL, Richard a A Bradford HILL. The mortality of doctors in relation to their smoking habits: a preliminary report. 1954: a preliminary report. 1954. *BMJ (Clinical research ed.)*. BMJ Publishing Group Ltd, 2004, **328**(7455), 1529-1533. DOI: 10.1136/bmj.328.7455.1529. ISSN 1756-1833. Dostupné také z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15217868>
- [15 VÁŇOVÁ, A., M. SKÝVOVÁ a M. MALÝ. Užívání tabáku v České republice 2017. In: *Státní zdravotní ústav: SZÚ* [online]. Praha: SZÚ, 2018 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/szu/aktual/uzivani_tabaku_2017.pdf
- [16 BIGELOW, Barbara C. a Kathleen J. EDGAR. *UXL encyclopedia of drugs & addictive substances*. Detroit: UXL, 2005. ISBN 9781414406190.
- [17 Smoking & Tobacco Use: Diseases and Death. *Centers for disease control and prevention* [online]. Washington, DC: CDC, 2018 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/fact_sheets/fast_facts/index.htm#ref
- [18 HAJŠLOVÁ, J. Velké nezávislé testy cigaret, IQOS, GLO a těch elektronických. In: *Stream* [online]. Praha: Seznam.cz TV, 2006 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.televizeznam.cz/video/adost/velke-nezavisle-testy-cigaret-iqos-glo-a-tech-elektronicky-63788545>
- [19 HAJEK, Peter, Jean-François ETTER, Neal BENOWITZ, Thomas EISENBERG a Hayden MCROBBIE. Electronic cigarettes: review of use, content, safety, effects on smokers and potential for harm and benefit: review of use, content, safety, effects on smokers and potential for harm and benefit. *Addiction (Abingdon, England)*. 2014, **109**(11), 1801-1810. DOI: 10.1111/add.12659. ISSN 1360-0443. Dostupné také z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25078252>
- [20 MCROBBIE, Hayden. *Electronic cigarettes* [online]. Dorchester: NCSCT, 2014 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: http://www.ncsct.co.uk/usr/pub/e-cigarette_briefing.pdf
- [21 GLANTZ, Stanton A. Heated tobacco products: the example of IQOS: the example of IQOS. *Tobacco control*. BMJ Publishing Group, 2018, **27**(1), 1-6. DOI: 10.1136/tobaccocontrol-2018-054601. ISSN 1468-3318. Dostupné také z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30352841>
- [22 IQOS: Technologie. *IQOS* [online]. Praha: Philip Morris ČR a.s., 2018 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://cz.iqos.com/cs/produkt/iqos/technologie>

- [23 Glo: Jak funguje glo. *Glo* [online]. Varšava: British American Tobacco Polska Trading Sp. z o.o., 2018 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://myglo.cz/jak-funguje-glo>
- [24 KUCBEL, M. *Metody stanovení zátěže prachových částic v ovzduší*. Ostrava, 2011.] Bakalářská práce. Vysoká Škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava. Vedoucí práce Helena Raclavská.
- [25 Úsek ochrany čistoty ovzduší. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: ČHMÚ, 2012 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/qa.html>
- [26 JÄGER, A a V GÄRTNEROVÁ. Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura. *Fyzikální ústav Akademie věd České republiky* [online]. Praha: Akademie věd České republiky, b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/popularizace/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>
- [27 SURESH, D. *Aerosol Measurement Techniques* [online]. 2004. Potsdam: Clarkson University, 2004 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: https://webpace.clarkson.edu/projects/crcd/public_html/me637/downloads/P_Aerosol_Meas_Suresh.pdf
- [28 MAŇÁK, R. Rayleighův a Mieův rozptyl. *Parhelium* [online]. 2007, **2007**(3) [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://ukazy.astro.cz/Rayleighuv-a-Mieuv-rozptyl.php>
- [29 World's biggest tobacco company vows to phase out cigarettes. In: *Skynews* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://news.sky.com/story/worlds-biggest-tobacco-company-vows-to-phase-out-cigarettes-11602153>
- [30 TSI, . Aerodynamic Particle Sizer (APS) Spectrometer 3321. *TSI* [online]. Minnesota: TSI, b.r. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.tsi.com/aerodynamic-particle-sizer-spectrometer-3321/>
- [31 *Series 3080 Electrostatic Classifiers Operation and Service Manual* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: http://cires1.colorado.edu/jimenez-group/Manuals/SMPS_3080_manual.pdf
- [32 Aerosol spray. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Aerosol_spray
- [33 Air Pollution. In: *Understandsolar* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://understandsolar.com/air-pollution/>
- [34 Mount St. Helens. In: *Flickr* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/wastatednr/4607678018/in/photostream/>

[35 Particle Size. In: *1filter* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z:
] <http://1filter.pl/pl/filtry/instrukcja-jak-wybierac-filtry.html>

8 Seznam obrázků

Obr. 1 – Druhy aerosolů [32] [33] [34]	11
Obr. 2 – Velikost částic [35]	12
Obr. 3 – Rozložení velikostí částic v závislosti na počtu, povrchu a objemu částic [5]	13
Obr. 4 – Měřené veličiny	14
Obr. 5 – Porovnání velikosti částic s lidským vlasem	15
Obr. 6 – Podíl zachycených částic v dýchacím traktu člověka [11]	16
Obr. 7 – Průzkum užívání tabáku v ČR od Státního zdravotního Ústavu z roku 2017 [15].....	18
Obr. 8 – Výsledky testů z laboratoří VŠCHT [18]	19
Obr. 91 – Elektronická cigareta IQOS [22].....	23
Obr. 102 – Elektronická cigareta GLO [23].....	24
Obr. 113 – Pozorovací spektrum různých typů mikroskopů [26]	25
Obr. 124 – Částice zlata pod elektronovým mikroskopem [26].....	26
Obr. 135 – Druhy impaktorů [27]	27
Obr. 146 – Kaskádový impaktor [27]	28
Obr. 157 – Schéma zařízení pro měření rozptylu světla [27]	29
Obr. 168 – Speciální laboratoř pro zkoumání aerosolu z cigaret [29]	30
Obr. 17 – Schéma měřícího přístroje SMPS [31].....	31
Obr. 18 – Měřící přístroj SMPS 3936 v laboratoři	32
Obr. 19 – Měřící trať (1 – TSI Aerosol Particle Sizer, 2 – TSI Aerosol Diluter, 3 – vstup pro měřenou cigaretu).....	33
Obr. 20 – Měřící trať s SMPS 3936 (1 – Condensation Particle Counter 3775 (CPC), 2 – Electrostatic Classifiers 3080, 3 – Aerosol Neutralizer 3087, 4 – Scanning Mobility Particle Sizer 3080, 5 – Rotating Disk Thermodiluter 379020A, 6 – Thermal Conditioner Air Supply 379030, 7 – Vstup pro měřenou cigaretu.....	34
Obr. 21 – Naměřená data generovaných částic zařízením IQOS pomocí APS.....	35
Obr. 22 – Graf průměrných hodnot generovaných částic zařízením IQOS	35
Obr. 23 – Naměřená data generovaných částic zařízením Glo pomocí APS	36
Obr. 24 – Graf průměrných hodnot generovaných částic zařízením Glo	36
Obr. 25 – Počet částic v čisté laboratoři.....	37
Obr. 26 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením IQOS při dosažení maximální měřitelné koncentrace	38
Obr. 27 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením Glo při dosažení maximální měřitelné koncentrace	38
Obr. 28 – Graf průměrných hodnot naměřených z cigaret LM Loft	39
Obr. 29 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením IQOS při ředění v poměru 1:225	39
Obr. 30 – Graf průměrných hodnot generovaných zařízením Glo při ředění v poměru 1:225. 40	
Obr. 31 – Průběh celkového počtu částic v místnosti při měření pasivního kouření	41
Obr. 32 – Porovnání elektronických cigaret IQOS a Glo za pomoci měřícího přístroje APS.....	43
Obr. 33 – Porovnání elektronických cigaret IQOS a Glo a cigarety LM Loft za pomoci přístroje SMPS.....	44

Obr. 34 – Naměřená data ze zařízení Glo.....	44
Obr. 35 – Naměřená data ze zařízení IQOS.....	45

9 Přílohy

PRŮMĚR ČÁSTIC [MM]	1. MĚŘENÍ	2. MĚŘENÍ	3. MĚŘENÍ	4. MĚŘENÍ	5. MĚŘENÍ	6. MĚŘENÍ	PRŮMĚRNÉ HODNOTY
<0,523	368099	480260	312464	173165	342173	173461	308270
0,542	26064	40056	22787	26113	29556	25001	28263
0,583	27000	42068	22914	26775	30869	26603	29372
0,626	26261	39936	21019	25270	30084	25795	28061
0,673	23915	35684	18563	21887	27418	23265	25122
0,723	20582	30295	15674	19734	24821	20236	21890
0,777	17563	24736	13132	17892	21423	17210	18659
0,835	14383	18829	10833	15551	17632	14463	15282
0,898	12327	15457	9509	14269	15265	13335	13360
0,965	10720	13811	8419	12666	13238	12200	11842
1,037	8982	12897	6940	10632	10878	10099	10071
1,114	7769	11111	5972	9100	8558	7843	8392
1,197	6754	8242	5500	8282	6453	6698	6988
1,286	5706	4616	5044	7047	5243	5350	5501
1,382	4979	2260	4655	6354	4801	5177	4704
1,486	4612	1916	4302	5588	4447	4723	4265
1,596	4107	1534	4038	4640	3170	4087	3596
1,715	3983	1468	3181	3595	2895	3671	3132
1,843	3547	1351	2236	2948	2020	2514	2436
1,981	3290	1264	1677	3121	1018	1847	2036
2,129	2957	1180	1187	2397	768	1471	1660
2,288	2629	1178	966	1176	553	1325	1305
2,458	1874	1040	751	642	423	821	925
2,642	1276	979	645	407	349	509	694
2,839	942	898	548	190	316	216	518
3,051	734	717	485	98	259	79	395
3,278	687	622	385	53	246	37	338
3,523	540	627	345	31	212	17	295
3,786	543	566	292	31	172	17	270
4,068	518	529	273	21	181	15	256
4,371	513	503	260	20	208	20	254
4,698	463	522	271	15	183	17	245
5,048	403	464	257	18	144	12	216
5,425	394	433	242	17	145	14	208
5,829	362	338	187	10	118	10	171
6,264	284	300	148	21	93	10	143
6,732	227	232	97	15	85	16	112
7,234	153	185	83	9	60	8	83
7,774	106	130	60	6	45	9	59
8,354	67	91	38	5	24	6	39
8,977	51	54	9	6	16	4	23
9,647	69	30	15	11	14	2	24
10,37	84	10	11	3	6	4	20
11,14	64	8	4	3	13	4	16
11,97	47	5	6	1	3	0	10
12,86	21	1	0	0	1	0	4
13,82	17	3	1	0	0	2	4
14,86	7	0	0	0	0	2	2
15,96	1	1	0	0	0	0	0
17,15	0	0	0	0	0	1	0

Tabulka 1 – APS – Částice generované zařízením IQOS

PRŮMĚR ČÁSTIC [MM]	1. MĚŘENÍ	2. MĚŘENÍ	3. MĚŘENÍ	4. MĚŘENÍ	5. MĚŘENÍ	6. MĚŘENÍ	PRŮMĚRNÉ HODNOTY
<0,523	399448	556572	494078	488596	212326	224216	395873
0,542	31671	45698	37963	35128	28161	46822	37574
0,583	29746	43131	37560	33092	31493	52232	37876
0,626	25404	36355	33652	27946	31897	51458	34452
0,673	19498	26852	27030	21043	29261	44651	28056
0,723	14301	18096	20162	14767	25121	36080	21421
0,777	9987	11442	13946	9896	20073	27300	15441
0,835	6652	7197	9069	6495	14376	20776	10761
0,898	4454	4815	6037	4433	10516	18833	8181
0,965	3084	3408	4069	3187	7928	19258	6822
1,037	2180	2556	2944	2370	6220	18374	5774
1,114	1631	1969	2249	1833	5072	15692	4741
1,197	1329	1615	1812	1458	4451	12486	3859
1,286	1068	1370	1493	1268	3783	8450	2905
1,382	938	1210	1280	1074	3238	5902	2274
1,486	829	1051	1152	947	2547	4625	1859
1,596	739	986	1087	905	1418	3712	1475
1,715	715	938	1017	863	812	3322	1278
1,843	685	912	987	866	503	1450	901
1,981	692	896	972	840	419	450	712
2,129	666	909	956	856	398	182	661
2,288	614	885	896	779	374	104	609
2,458	542	791	786	734	308	79	540
2,642	461	688	677	611	250	59	458
2,839	398	583	564	522	221	44	389
3,051	347	532	485	468	181	32	341
3,278	302	453	435	416	163	28	300
3,523	269	418	406	393	152	19	276
3,786	252	389	373	362	135	18	255
4,068	257	366	364	351	129	18	248
4,371	247	357	360	332	133	18	241
4,698	232	360	368	343	123	16	240
5,048	235	336	343	309	124	16	227
5,425	218	332	326	305	115	24	220
5,829	195	298	304	262	100	21	197
6,264	168	236	241	210	88	22	161
6,732	142	194	216	174	78	20	137
7,234	108	146	156	132	58	18	103
7,774	83	105	123	97	48	15	79
8,354	54	68	81	58	32	11	51
8,977	30	46	54	42	16	10	33
9,647	22	24	35	24	14	7	21
10,37	12	17	16	12	7	5	12
11,14	6	7	8	7	5	5	6
11,97	2	4	4	5	2	1	3
12,86	2	2	4	3	1	1	2
13,82	1	2	1	1	1	1	1
14,86	0	1	1	1	0	1	1
15,96	0	0	0	0	1	0	0
17,15	0	0	1	0	0	1	0

Tabulka 2 – APS – Částice generované zařízením Glo