

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ŠKODLIVOST VODNÍ DÝMKY A FAKTORY, KTERÉ JI OVLIVŇUJÍ

THE HARMFULNESS OF THE HOOKAH AND THE FACTORS THAT AFFECT IT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Žabka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondrej Mišík

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Miroslav Žabka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Mišík**
Akademický rok: 2022/23

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:

Škodlivost vodní dýmky a faktory, které ji ovlivňují

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kouření vodních dýmek v dnešní době nabírá na popularitě, což dokazuje také rostoucí počet čajoven a barů v Brně poskytujících tuhle službu. I když mnoho lidí vnímá vodní dýmky jako méně závadnou formu kouření, opak je pravdou. Tahle práce bude mít za cíl experimentálně změřit vlivy různých faktorů (např. množství vody, typ uhlíků atd.) na množství pevných aerosolových částic a jejich velikostní spektrum. Závěrem téhle práce tak může být určení parametrů a nastavení dýmky tak, aby byla její škodlivost co nejnižší.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršně zpracovat aktuální poznatky o škodlivosti vodních dýmek a aerosolu, který při kouření vzniká.

Sestavit experimentální měření pro kvantifikování různých vlivů, které mohou ovlivňovat produkovaný aerosol a škodlivost dýmky

Zhodnotit naměřené výsledky a vytvořit závěry o vlivu různých faktorů na produkovaný aerosol.

Seznam doporučené literatury:

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

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.

HINDS, William C. Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles. 2nd ed. New York: Wiley, 1999. ISBN 978-0-471-19410-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

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

Abstrakt

V poslednom období pribúda čoraz viac čajovní a s nimi pribúda aj počet konzumentov vodnej fajky. Mnoho ľudí vníma fajčenie vodnej fajky ako menej škodlivé. Prvá časť bakalárskej práce pozostáva z rešeršnej časti zaoberajúcej sa časticami vznikajúcimi pri konzumácii vodnej fajky a ich depozíciou v pľúcach. Rozoberá ich vplyv na človeka a popisuje meracie metódy, ktoré sa pri ich analýze využívajú. Zámerom práce bolo preskúmať, faktory, ktoré ovplyvňujú emitujúce častice vznikajúce pri konzumácii vodnej fajky. Praktická časť pozostávala zo zostavenia meracej trate pre aerosól, ktorý vzniká pri fajčení vodnej fajky. Následne bol skúmaný vplyv vody, kokosových a rýchlozápalných uhlíkov na vznikajúci aerosól.

Kľúčové slová

Aerosól, dýchanie, vodná fajka, veľkostná distribúcia častíc, meranie

Abstract

In the recent period teahouses have been gaining a lot of traction and with them comes more and more consumers of hookahs. A lot of people perceive hookah smoking as less harmful to your body than cigarette smoking. The first part of this bachelor's thesis consists of literature retrieval that deals with particles arising from hookah consumption and their deposition in the lungs, what is their influence on the human body and subsequently measurement methods that are used in practice. The aim of this work was to find out which factors influence the emitting particles that are produced by hookah consumption. The practical part deals with the construction of a measuring line for the aerosol that is produced when smoking a hookah. Subsequently, the influence of water, coconut and high-flammable coals on the resulting aerosol was investigated.

Key words

Aerosol, breathing, hookah, size distribution of particles, measurement

Bibliografická citácia

ŽABKA, Miroslav. *Škodlivost vodní dýmky a faktory, které ji ovlivňují*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/145926>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ondřej Mišík.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému *Škodlivost vodní dýmky a faktory, které ji ovlivňují* vypracoval sám s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených v zozname.

Datum

Jméno a příjmení

Poděkovanie

Chcel by som v prvom rade poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Ondrejovi Mišíkovi za jeho cenné rady a drahocenný čas strávený nad konzultáciami ohľadom bakalárskej práce. Moje poďakovanie taktiež patrí Dr. Bělkovi za pomoc pri nastavovaní meracej trate.

OBSAH

1	Úvod.....	12
2	Aerosól a jeho charakteristika.....	13
3	Dýchanie	15
	3.1 Stavba a funkcia dýchacích ciest.....	16
	Horné dýchacie cesty.....	16
	Dolné dýchacie cesty	16
	Pľúca.....	17
	3.2 Depozícia aerosólových častíc v pľúcach	18
	Zotrvačné vlastnosti.....	18
4	Vodná fajka	20
	4.1 Dejiny vodnej fajky	20
	4.2 Popis vodnej fajky	20
	4.3 Princíp fajčenia vodnej fajky.....	21
	Syrup and humectant (melasa a glycerol).....	22
	Opatrenia WHO.....	22
	4.4 Vodná fajka a súčasný stav poznania	22
	Častice v E cigaretách.....	23
5	Vplyv na človeka	25
	Simulačné modely	25
	Ľudia a vodná fajka	26
6	Meracie metódy.....	28
	6.1 Mikroskopická analýza.....	28
	6.2 Prístroje na meranie nanočastíc.....	29
7	Praktická časť.....	31
	7.1 Metodika.....	31
	Gravimetria.....	31
	Meranie nanočastíc a príprava meracej trate	33
8	Výsledky	34
9	Diskusia.....	38
10	Záver	40
	Zoznam použitých zdrojov.....	41
	Zoznam použitých symbolov a skratiek.....	44
	Zoznam obrázkov.....	45
	Zoznam tabuliek.....	46

1 Úvod

Vodná fajka je v poslednej dekáde veľmi rozšírená a jej používanie stúpa hlavne u mladých ľudí. Odhadovaný počet ľudí na svete, ktorí denne fajčia vodnú fajku je 100 miliónov [1].

Nedávne štúdie ukazujú, že na rozdiel od cigariet je vodná fajka spoločensky viac akceptovaná. Vzhľadom k tomu je menší záujem informovať verejnosť o návykových a zdraví škodlivých látkach [1].

Niektorí teenageri začali používať vodnú fajku, pretože im dáva pocit spolupatričnosti, zrelosti a autonómie. Veľa fajčiarov si myslí, že používanie vodnej fajky nevytvára závislosť. Zo 100 ľudí má 96 presvedčenie o tom, že sú schopní prestať keď sa rozhodnú, ale iba 32 z nich to skúsilo [2].

Pri používaní vodnej fajky sa do tela dostáva nikotín, ktorý je rovnako obsiahnutý aj v cigaretách a je vysoko návykovou látkou [3]. Pri fajčení vodnej fajky fajčiari vdychujú mnohé toxické látky, ktoré sa pri spaľovaní tabaku a uhlíkov uvoľňujú. Títo fajčiari majú tendenciu vdychovať dym hlbšie do pľúc ako bežní fajčiari cigariet. Je to hlavne spôsobené potrebou silnejšieho ťahania vzduchu cez vodu.

WHO¹ oznámila, že fajčiari vodnej fajky inhalujú na nádych 0,15 – 1 l a priemerná dĺžka trvania vodnej fajky je 20 – 80 minút. To možno prirovnať k vyfajčeniu viac ako 100 cigariet [1]. Pri denných fajčiároch vodnej fajky sa odhaduje hladina nikotínu v moči na 0,785 µg/ml [4].

Dym vstupujúci do tela je oveľa príjemnejší ako bežný dym z cigariet. Je to hlavne spôsobené schladeným dymom, ktorý prechádza cez vodu a príchuťou, ktorá je obsiahnutá v tabaku. Keďže pri fajčení vodnej fajky inhaluje konzument väčšie množstvo nádychov ako v prípade cigariet, dochádza k väčšiemu vdychovaniu karcinogénnych látok obsiahnutých v dyme. Aj napriek prechodu dymu cez vodu. Vo vode sa nedokážu tieto toxické látky odfiltrovať [5].

Počas používania vodnej fajky je množstvo inhalovaného dymu odhadované na 3 000 ml/min. Pri fajčení cigarety je to 100 – 120 ml/min dymu. Vodná fajka sa fajčí priemerne 30 minút a cigareta 5 minút. Musíme však brať do úvahy aj faktor, že vodnú fajku konzumuje viacej ľudí. Tabak a dym z vodnej fajky obsahuje viacero látok, ktoré majú nežiadúci vplyv na zdravie, upchávajú tepny a môžu spôsobovať srdcovo cievne ochorenia. Rovnako ako pri fajčení cigariet, tak aj pri vodnej fajke sú títo ľudia ohrození rôznymi chorobami ako napríklad: rakovina pľúc, rakovina žalúdka, rakovina ústnej dutiny, znížená funkcia pľúc, znížená plodnosť. Navyše pri spoločnom používaní vodnej fajky sa môžu prenášať bakteriálne infekcie. [6].

¹ WHO- Svetová zdravotnícka organizácia

2 Aerosól a jeho charakteristika

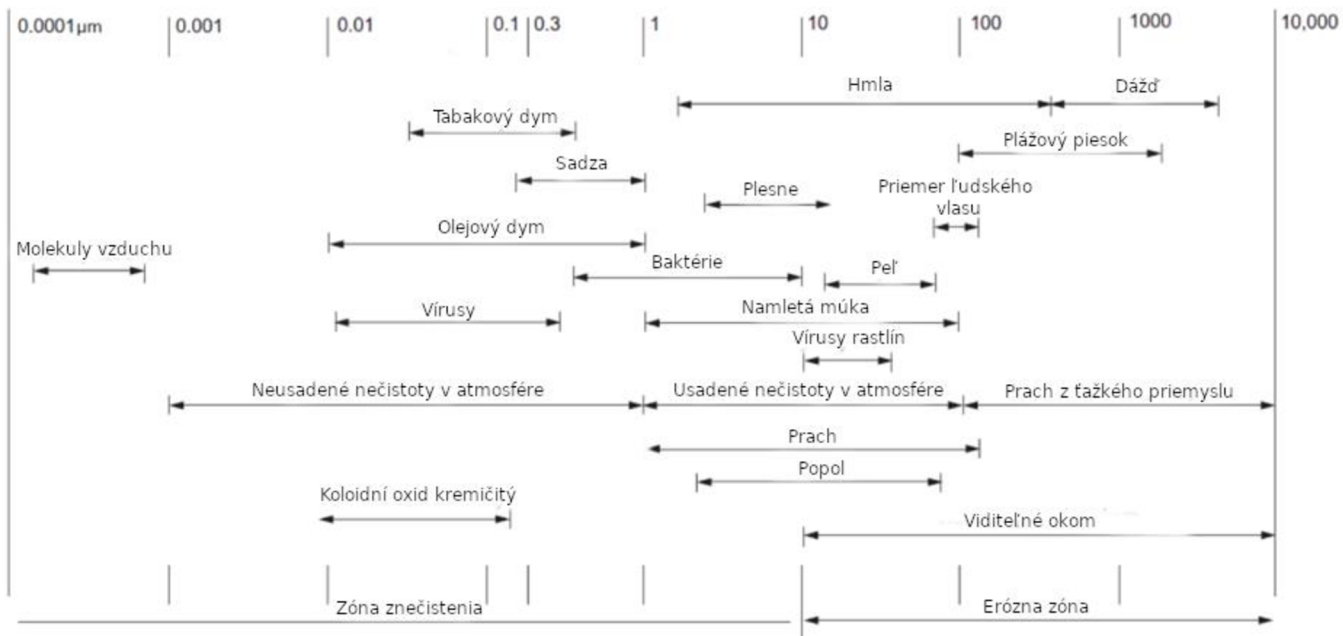
Aerosól je dvojfázová sústava, ktorá sa skladá z pevných alebo kvapalných častíc a plynu. Zvyčajne sa za plyn považuje vzduch. Častice v ňom sa nachádzajú v rozmedzí od 0.002 do viac ako 100 μm . Na častice väčšie ako 10 μm majú gravitačné sily väčší vplyv, za to častice menšie ako 1 μm môžu zostať v atmosfére aj niekoľko týždňov. Najväčšiu pravdepodobnosť výskytu v atmosfére majú častice o veľkosti 0.3 μm [7]. Ľudské oko rozlišuje častice väčšie ako 50 μm . Ak stúpne koncentrácia častíc tak, že hustota vzniknutého aerosólu je väčšia než 1 % hustoty vzduchu, potom sa aerosól javí ako oblak alebo mrak, ktorý má veľmi odlišné vlastnosti ako riedky aerosól. Pri skúmaní aerosólu musíme brať do úvahy aj plyn, ktorý častice obklopuje a zároveň ovplyvňuje jeho chovanie. Na popis a posudzovanie častíc sa využívajú rôzne ekvivalentné priemery. Jeden z nich je aerodynamický priemer D_{aer} , ktorý sa využíva sa pri časticiach väčších ako 0,5 μm , a je definovaný ako dokonale sférická častica s hustotou vody, ktorá má rovnaké usadzovacie vlastnosti ako daná častica [7]. Pre častice, ktoré sú menšie ako 0,5 μm to neplatí a využívajú sa iné priemery. Častice dymu z fajky alebo cigariet majú bežne veľkosť 50 – 600 nm [3]. U takto malých častíc prevládajú účinky difúzie a zotrvačné účinky nemajú veľký vplyv na častice, preto sa u nich využíva tzv. difúzny priemer [7]. Difúzny priemer je definovaný určitým difúznym koeficientom, rovnakým ako má meraná častica. Difúzny koeficient je konštanta, charakterizujúca ako ľahko látka difunduje do prostredia. Je závislá na teplote, viskozite a veľkosti častice [8].

Pre popis častíc sa určujú veľkostné distribúcie častíc pomocou štatistických rozdelení dát. Veľkostné distribúcie predpokladajú všetky častice guľového tvaru. Veľkostná distribúcia aerosólových častíc má nesymetrický tvar a kvôli veľkému rozpätiu veľkosti častíc je výhodnejšie používať logaritmicko-normálne rozdelenie veľkosti častíc [7].

Približne 90 % hmoty atmosferického aerosólu má prírodný pôvod. Dobrým príkladom sú sopky, ktoré produkujú obrovské množstvo popola, ktorý sa skladá z oxidov siričitých a iných plynov, čím sa vytvárajú sirany. Niektoré rastliny produkujú plyny, ktoré reagujú s inými látkami vo vzduchu, a tak vytvárajú aerosóly. Taktiež v oceáne niektoré typy microalgae² produkujú dimetylsulfid, ktorý ďalej môže reagovať a konvertovať na sulfáty v atmosfére. Ďalších 10 % aerosólov sa považuje za antropogénne alebo človekom vytvorené (syntetické) a pochádzajú z rôznych zdrojov. Vzhľadom na menšie zastúpenie tohoto typu aerosólu sa vyskytuje hlavne v mestách a priemyselných oblastiach. Pri spaľovaní fosílnych palív sa vytvára veľké množstvo oxidu siričitého, ktorý reaguje s vodnou parou a inými plynmi v atmosfére a vytvárajú tak sulfátové aerosóly [9]. U človeka tieto aerosóly môžu vyvolať dýchacie problémy. Taktiež majú negatívny vplyv na rastliny a fotosyntézu, čo sa prejavuje odumieraním častí listov, ich zbelením alebo zhnedením. Ďalšou negatívnou stránkou je okysľovanie dažďových zrážok [10].

Dym je viditeľný aerosól, vznikajúci pri nedokonalom spaľovaní. Častice v ňom môžu byť pevné alebo kvapalné, sú zvyčajne menšie ako 1 μm [7]. Veľkosť častíc je najdôležitejší parameter, ktorý charakterizuje správanie častíc. Väčšina aerosólu sa skladá zo širokého veľkostného spektra častíc. Obrázok 1 ukazuje rôzne veľkosti častíc nachádzajúce sa v prírode [11].

² Mikroskopické organizmy nachádzajúce sa v morskej aj sladkej vode



Obrázok 1: Obrázok popisujúci rôzne veľkosti častíc nachádzajúce sa v prírode [7]

3 Dýchanie

Kyslík tvorí len päťtinu vzduchu, ktorý dýchame. Ľudský organizmus dýcha približne 12 krát za minútu a za jeden deň vdýchne a vydýchne viac ako 8000 litrov vzduchu [12]. Pri prenikaní takého veľkého množstva vzduchu do tela a opačne je nutné umožniť pľúciam vykonávať dvojakú činnosť: dostávať do tela kyslík a zbavovať sa oxidu uhličitého, ktorý vzniká pri chemických procesoch v tele [13]. V dýchacích cestách sa vzduch filtruje, oteplí a zvlhčuje. Pravá srdcová komora dodáva do pľúc krv s oxidom uhličitým a chudobnú na kyslík. Okysličená krv sa dostáva do ľavej srdcovej predsieni pomocou pľúcnych žíl [14].

Dýchaním rozumieme proces, kedy ľudský organizmus spotrebúva kyslík a ako odpadový produkt vylučuje oxid uhličitý. Pre človeka je nesmierne dôležité, aby tento proces bol stály. Dýchanie sa skladá z troch základných procesov:

1. Ventilácia- nazýva sa tiež vonkajšie dýchanie,
2. Rozvod dýchacích plynov,
3. Vnútorne tkanivové dýchanie.

Pri ventilácii ide o výmenu plynov medzi vonkajším vzduchom a krvou. Prebieha v pľúcach v alveolách a v pľúcnych kapilárach. Túto činnosť zabezpečuje činnosť dýchacích svalov, pružnosť hrudníka a pľúc. Dýchanie reguluje dýchacie centrum v predĺženej mieche a periférne nervy. Dýchacie plyny sa v tele prenášajú krvou. Okysličia krv v kapilárach pľúc a následne sa pľúcnymi žilami odvedú do ľavej srdcovej predsieni. Veľkým krvným obehom sa dostanú do tkanív a orgánov. Z nich sa odvádza CO₂ žilami veľkého obehu a potom do malého obehu, aby prešiel cez stenu alveol do vydýchnutého vzduchu.

Transport plynov vstupujúcich do dýchacieho systému ovplyvňuje:

1. Štruktúra vdychovaného vzduchu,
2. Úloha dýchacích ciest,
3. Štruktúra krvi,
4. Úlohy obehového systému.

Tkanivové dýchanie slúži na výmenu plynov medzi krvou a bunkami tkanív a orgánov. Pomocou difúzie prechádza kyslík a oxid uhličitý cez stenu buniek a kapilár. To má vplyv na transport dýchacích plynov v cievnom systéme a na ich naviazanie na hemoglobín v erytrocytoch a dostatočné množstvo kyslíka vo vdychovanom vzduchu. Pri nedostatku kyslíka v tkanivách vzniká hypoxia na ktorú sú citlivé nervové bunky, mozog, sietnica oka, ale aj pečeň, obličky a srdce [15].

Mechanika dýchania

Rozhodujúcu časť pri dýchaní vykonáva bránica, ktorá tvorí stenu medzi hrudníkom a bruchom. Svalové vlákna sa pri vdychu kontrahujú a na základe toho stlačia jej strednú časť nadol do brucha. Objem pľúc sa zväčšuje a cez ústa a nos do nich prúdi vzduch. Pri nádychu sa v pľúcach znižuje tlak, v dôsledku zmeny tlaku vzduch má tendenciu putovať do pľúc. Pri výdychu je to opačne, v pľúcach sa zväčšuje tlak a to má za následok vytlačovanie vzduchu von z pľúc [15]. Pri zdravom človeku sa na dýchaní podieľa hlavne bránica (80 %) a medzirebrové svaly (20 %) [15].

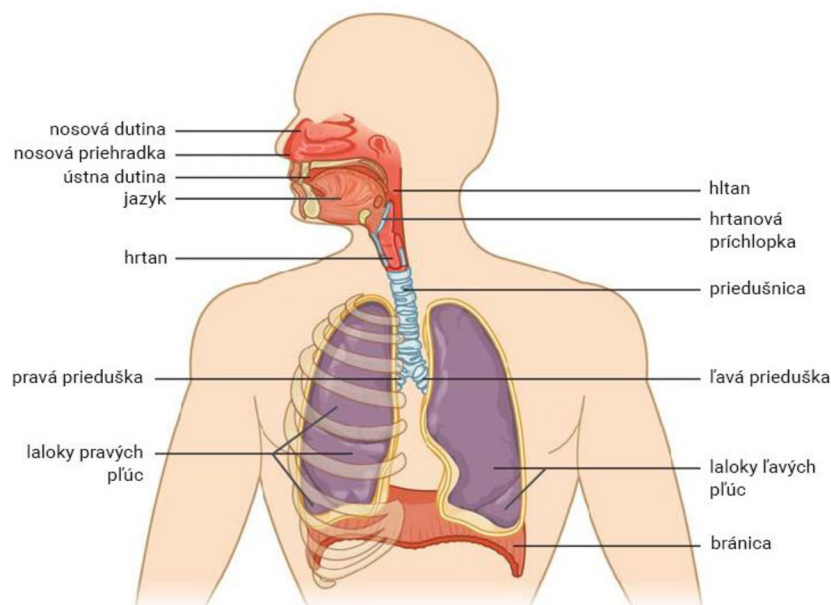
3.1 Stavba a funkcia dýchacích ciest

Horné dýchacie cesty

Vzduch vstupuje do horných dýchacích ciest cez nos do nosnej dutiny. Sliznica vystiela dutinu nosa v ktorej sa nachádza veľa hlienových žliaz. V hornej časti nosovej dutiny sa nachádza čuchové pole, ktoré sa skladá z čuchových buniek. Pri inhalácii cez nosovú dutinu sa vzduch zohrieva, zvlhčuje a zbavuje prachu. Takto zbavený vzduch putuje z nosovej dutiny do hltanu. Na dýchanie sa využíva aj časť tráviaceho ústrojenstva. Tá je zložená z ústnej dutiny a hltanu. Ústna dutina sa hlavne využíva pri prijímaní potravy, no taktiež je súčasťou dýchacieho traktu. Zadná stena ústnej dutiny prechádza hltanovou úžinou do hltanu. V hltane dochádza ku stretu tráviacej a dýchacej sústavy a môžeme ju na základe toho rozdeliť na 3 časti tieto časti možno vidieť na obrázku 2. Prvou časťou je nosohltan. Táto časť je najväčšia a spája sa s nosovou dutinou. V strednej časti je cez hltanovú úžinu napojená ústna dutina a v dolnej časti hltanu je napojená hrtanová príchlopka. V nosohltane je sliznica – mukóza, pokrytá riasinkovým epitelom. Sliznica je zvlhčovaná hlienom, ktorý slúži k odstraňovaniu nečistôt [12,15,16].

Dolné dýchacie cesty

Skladajú sa z hrtanu, priedušnice a priedušiek. Hrtan spevňujú rôzne chrupky. Napr. štítna chrupka, prstienková chrupka a hlasivkové chrupky. Hrtanová príchlopka oddeľuje hltan od hrtana. Slúži na zamedzenie vstupu potravy do dýchacej sústavy. Pri prehĺtaní potravy sa preklopí, zamedzí dýchaniu a potrava putuje do žalúdka. Hlasivkové väzy sa nachádzajú v zúženej hrtanovej časti. Rozochvením týchto väzov vzniká tón hlasu. Rýchlosť prúdiaceho vzduchu je hlavný faktor, ktorý ovplyvňuje tón hlasu. Tón prechádza rezonančnými dutinkami a pomocou jazyka zubov a pier vzniká reč. Priedušnicu tvorí 15 až 20 chrupiek. Rozvetvuje sa na priedušky a následne na priedušničky s alveolami [13,16].

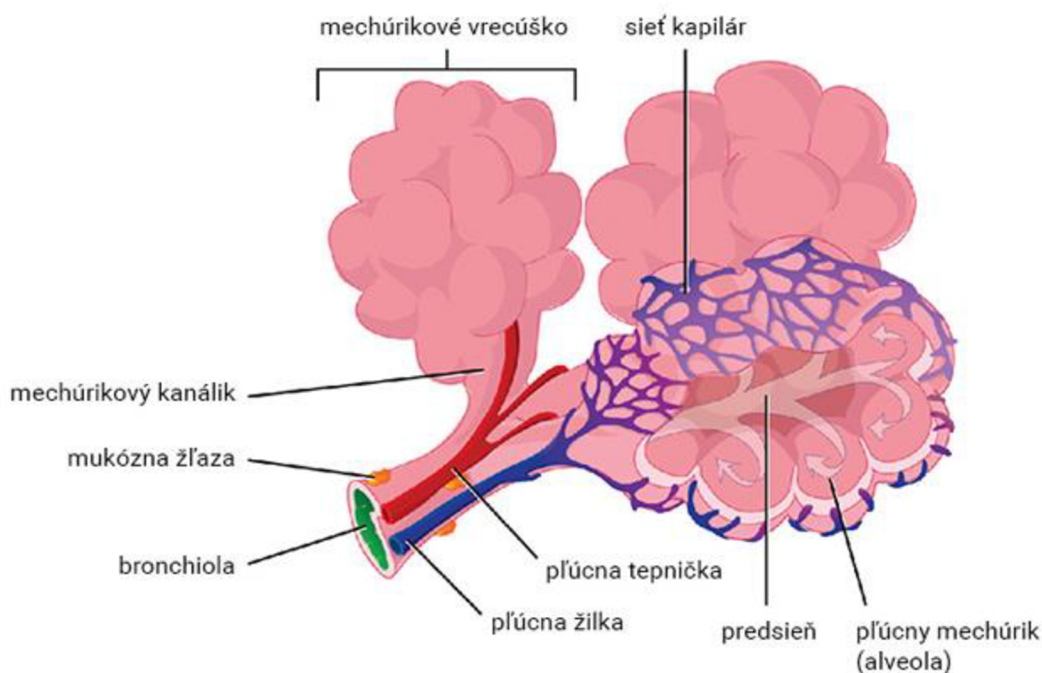


Obrázok 2: Dýchacia sústava [16]

Pľúca

Pľúca sú párový orgán, ktorý má dve časti: pravú a ľavú. Pravá časť je väčšia, pretože v ľavej časti hrudníka sa nachádza srdce. Pľúca patria medzi najväčšie orgány v tele. U dospelého človeka majú objem cca 4 litre. Napriek veľkému objemu nemajú tak veľkú hmotnosť. Bežná hmotnosť pľúc je 350-750 gramov. Každé pľúcne krídlo sa delí na menšie časti nazývané laloky. Pravé krídlo má 3: horný, stredný a dolný. Ľavé krídlo má 2 laloky: dolnú a hornú časť. Väčšia pravá časť pľúc má o 10% väčší objem ako ľavá časť. Na povrchu pľúc sa nachádza blana – popľúcnica [13].

Priedušky (Bronchy) sa v oblasti pľúcnej stopky oddeľujú od priedušnice a následne ako pravá a ľavá hlavná prieduška vstupujú do pľúcneho krídla. Priedušky sa rozdeľujú na sekundárne a terciárne, tie sa ešte ďalej delia na menšie trubice – priedušničky (bronchioly). Konce priedušničiek sú zakončené vzduchovými mechúrikmi, alveolami. Stavbu takýchto mechúrikov možno vidieť na obrázku 3. Dochádza tu k výmene dýchaacích plynov medzi krvou a pľúcami. S priedušničkou je takto spojených 100 vzduchových mechúrikov, s ktorých každý má približne 20-30 alveol [13,16].



Obrázok 3: Stavba mechúrikového vrecúška [13]

3.2 Depozícia aerosólových častíc v pľúcach

V pľúcach častice podliehajú nasledujúcim depozičným mechanizmom:

- Zotrvačná impakcia
- Gravitačná sedimentácia
- Brownova difúzia (podliehajú častice menšie ako 1 μm)
- Elektrostatická precipitácia

Počas nádychu sa rýchlosť mierne zvyšuje smerom k bronchom. Pri vetvení zase výrazne poklesne vzhľadom na zväčšenie celkového prierezu dýchacích ciest. Pre každú časť má význam iný depozičný mechanizmus [7,17].

Zotrvačnej impakcii podliehajú častice, ktoré majú väčšiu hybnosť. K tomuto mechanizmu dochádza hlavne pri zmenách smeru prúdu. Častice, ktoré majú väčšiu hmotnosť, čiže aj hybnosť, tak nedokážu kopírovať smer prúdu a zachytia sa na stenách. Toto správanie popisuje Stokesovo číslo. Čím je toto číslo väčšie, tak častice sú usadzované častejšie pomocou zotrvačnej impakcie. Najčastejšie sa vyskytuje pri hlavových dýchacích cestách [7,17].

Gravitačnej sedimentácií podliehajú častice v dýchacom trakte pri menších rýchlostiach. Najčastejšie prebieha v horizontálne orientovaných dýchacích cestách, v koncových dýchacích cestách a alveolárnych priestoroch. Mechanizmus je najúčinnjší pre častice od 1 do 8 μm [7,17].

Častice ktoré sú menšie ako 100 nm sa ukladajú v pľúcach v dôsledku chaotického Brownovho pohybu, ktorý je spôsobený zrážkami častíc s molekulami vzduchu. Tento jav začína hrať významnú úlohu pri časticiach s priemerom menším ako 1 μm a jeho vplyv rastie s klesajúcou veľkosťou častíc. Brownov pohyb zvyšuje pravdepodobnosť usadzovania častíc v koncových častiach pľúc. Rozmery pľúcnych priestorov v týchto častiach sú veľmi malé [7,17].

Zotrvačné vlastnosti

Čím sú častice väčšie, tým majú väčšiu zotrvačnosť, a tým sú menej ovplyvnené okolím, napr. zmenou smeru prúdenia vzduchu. Treba podotknúť, že väčšie častice podliehajú gravitačnej sile. Zariadenia, ktoré využívajú zotrvačné vlastnosti sú napríklad odlučovač alebo cyklón. Parameter, ktorý popisuje chovanie častíc sa nazýva relaxačný čas τ [s], čo udáva mieru schopnosti častice prispôbiť sa zmene rýchlosti toku prúdenia. Na popis týchto vlastností sa využíva Stokesovo číslo ako indikátor podobnosti chovania častíc pri obtekaní prekážky. Ak Stk je blízke 0, tak častica kopíruje smer prúdenia, naopak ak Stk je blízko ∞ , tak častica odporuje pri zmenách pohybu [18].

Jeho matematický zápis je:

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

Kde:

ρ_p hustota častíc

d_p priemer častíc

U rýchlosť prúdenia

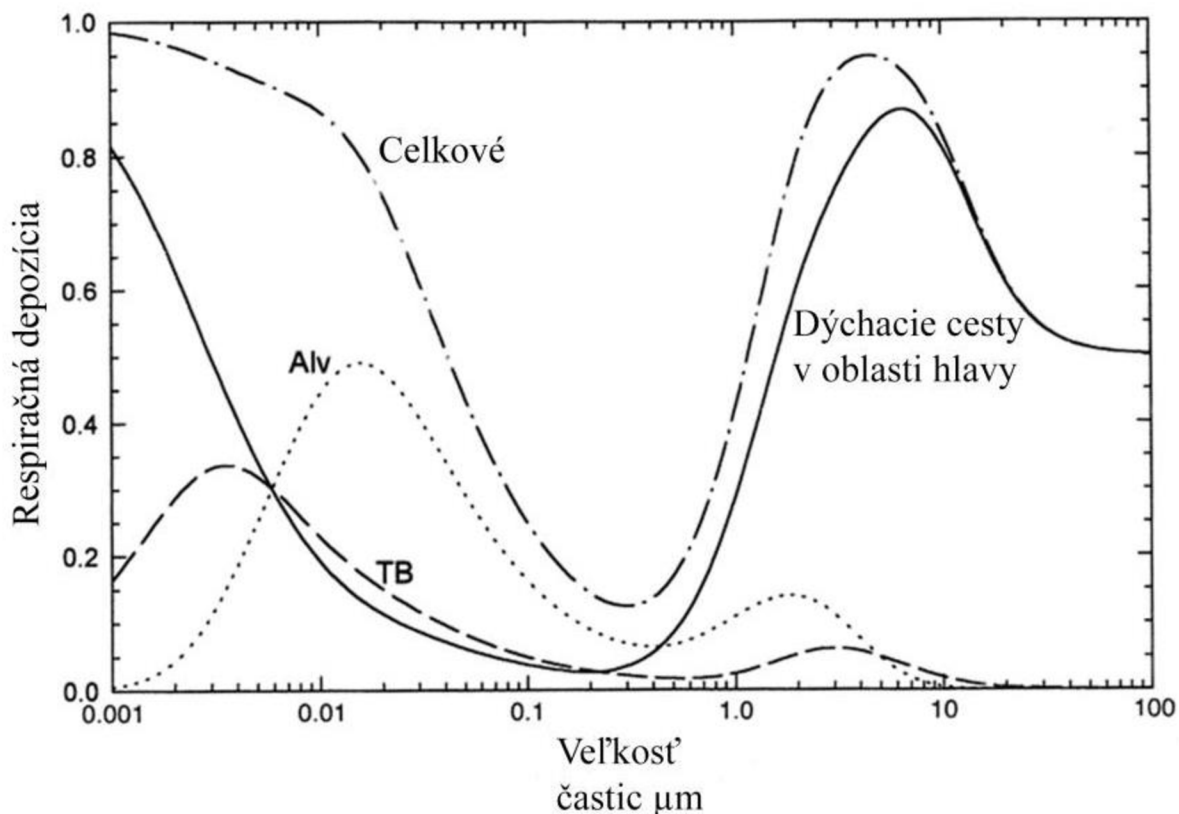
C_c Cunninghamov korekčný súčiniteľ na sklz (vplyv klzania častíc plynu)

η dynamická viskozita

D_j priemer kanálu

Z pohľadu vplyvu na človeka hrá zásadnú úlohu chemické zloženie, tvar a veľkosť častíc. Častice PM_{10} ³ prenikajú do dýchacieho systému, zväčša sa zachytia na sliznici, alebo chĺpkoch v nose a následne sa vykašľú. Tieto častice pre človeka nie sú až tak problémové. Väčšiu úlohu však hrajú častice $PM_{2,5}$ ⁴ a PM_1 ⁵, $PM_{2,5}$ ľahšie prenikajú do priedušiek a PM_1 až do pľúcnych mechúrikov. Cez pľúcnu stenu môžu prenikať až do krvného obehu. Nanočastice ľahko prenikajú cez nosnú membránu, a odtiaľ sa môžu dostať až do centrálného nervového systému. Miesto depozície častice v dýchacích cestách je ovplyvnené viacerými faktormi. Okrem vlastnosti samotnej častice môže mať vplyv aj vlastnosť dýchacieho ústrojenstva a spôsob dýchania. Taktiež štruktúra dýchacieho traktu môže mať vplyv na usadzovanie sa častíc v pľúcach [19].

Na obrázku 4 možno vidieť, že častice s veľkostným spektrom 0,2 – 0,5 μm sa v dýchacom trakte usadzujú najhoršie. Vďaka Brawnovmu pohybu sa častice blížiacie svojou veľkosťou k 0 usadzujú dobre aj v dolných aj horných dýchacích cestách. Tiež z grafu možno vidieť, že v každej časti dýchacieho traktu dominujú iné častice z pohľadu veľkostného spektra [7].



Obrázok 4: usadzovanie častíc v dýchacom trakte na základe veľkostného spektra [7]

³ PM_{10} – Častice menšie ako 10 μm

⁴ $PM_{2,5}$ – Častice menšie ako 2,5 μm

⁵ PM_1 – Častice menšie ako 1 μm

4 Vodná fajka

4.1 Dejiny vodnej fajky

Vodná fajka sa vyvinula z takzvanej „huky“. Pri používaní huky sa do hlineného kotlíka (kelímok na tabak, dnešná korunka) naložil tabak so žeravými uhlíkmi. Dym bol vedený rúrkou do vázy, ktorá bola vyrobená z kokosového orecha. Na jeho boku bol otvor, ktorý slúžil na inhalovanie dymu pomocou rúrky. Tú si fajčiar prikladal k ústam [20].

4.2 Popis vodnej fajky

Korunka: miska do ktorej sa natlačí tabak. V dnešnej dobe existujú rôzne typy koruniiek a delia sa do rôznych kategórií. Korunky sa najčastejšie vyrábajú z keramiky alebo hlíny. Známa je fajánsovo-majolíková keramika, ktorá sa používa pri UPG korunkách. Ako povrchová úprava sa používa glazúra. Glazúra zabráňuje nasiaknutiu melasy z tabaku do materiálu. Neglazúrované korunky lepšie prijímajú teplo a príchuť tabaku sa lepšie vstrebáva. Chuť pri týchto korunkách je o čosi výraznejšia. Majú však značné nevýhody, nakoľko dochádza k opaľovaniu vrchnej časti stien korunky, čo vedie k značnému opotrebeniu. Nakoniec je nutné zakúpiť novú korunku. Ďalšou z nevýhod je umývateľnosť. Nedá sa dokonale umyť, a preto pri naložení tabaku inej príchute je cítiť pozostatky z predchádzajúcej príchute [20].

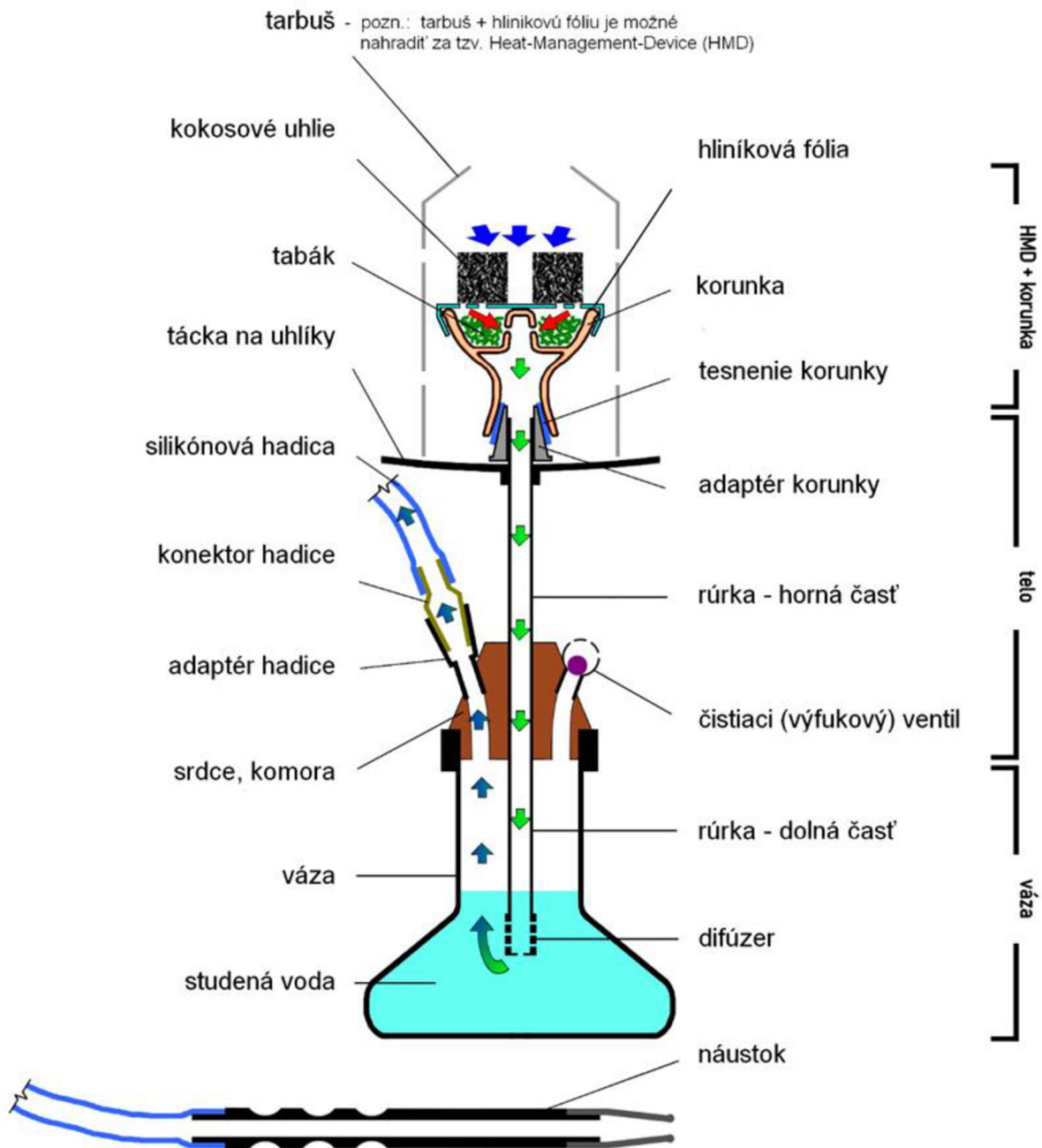
Tácka: Slúži na odkladanie uhlíkov a zachytávanie padajúceho popola.

Rúrka: Rozdeľuje sa na dolnú a hornú časť. Dym prúdi cez hornú časť rúrky do tela vodnej fajky až do dolnej časti, ktorá je ponorená pod hladinou vody.

Telo: Nazýva sa tiež srdce vodnej fajky. Spája všetky ostatné komponenty, ventily a hadice

Váza: Slúži ako nádoba na studenú vodu. Vyrába sa zo skla, alebo akrylu.

Hadica: V minulosti sa používali polyetylénové hadice no v dnešnej dobe ich nahradili silikónové. Silikónové hadice sú vyrobené z potravinárskeho silikónu a sú dobre premývateľné [20].



Obrázok 5: Schéma vodnej fajky [20]

4.3 Princíp fajčenia vodnej fajky

Pri bežnej cigarete tabak horí, ale pri vodnej fajke je tabak ohrievaný pomocou rozžeravených uhlíkov, ktoré boli v minulosti kladené na alobal, pod ktorým bol tabak. V dnešnej dobe sa používa systém HMS (Heat management system), kde sú uhlíky vložené a pod nimi sa nachádza tabak, ktorý je v korunke natlačený. Dym, ktorý pritom vzniká, prúdi cez rúrku, ktorá vedie pod hladinou vody vo váze. Voda slúži ako médium na filtráciu hrubých nečistôt (prepadnutý tabak alebo popol). V tele vodnej fajky sú ďalšie otvory. Jeden z nich je prepúšťací ventil a druhý slúži ako otvor pre hadicu, cez ktorý fajčiar vdychuje dym. Takto znázornenú vodnú fajku možno vidieť na obrázku 5.

Na zohrievanie tabaku v minulosti slúžilo tlejúce uhlie vytiahnuté z ohniska, alebo rýchlo zápalné uhlie tzv. RZU. V súčasnosti sú najviac rozšírené kokosové uhličky, ktoré sú výhradne určené pre vodnú fajku. Vyrábajú sa zo škrupín kokosových orechov a neobsahujú také veľké množstvo dechtu a škodlivých látok ako bežné uhličky. Bežné kokosové uhličky sa vyrábajú v tvare kocky o strane 25 mm. Takéto uhličky dokážu tlieť po dobu približne 100 minút. Pri objemnejších korunkách je dobré asi po hodine od začatia fajčenia vymeniť a doložiť ďalšie uhličky. Uhličky po uplynutí tohto času vyhasnú a nemajú dostatočnú teplotu na zohrievanie tabaku v korunke.[20]

Syrup and humectant (melasa a glycerol)

Glycerin, tiež známy ako glycerol, je bezfarebná až mierne nažltlá kvapalina bez zápachu. Hlavným zdrojom v prírode sú prírodné tuky. Používa sa hlavne v kozmetike, no svoje uplatnenie našiel aj pri vodných fajkách [21]. Glycerol má niekoľko vlastností prečo sa používa vo vodných fajkách. Dodáva tabaku vlhkosť. Pri zahrievaní glycerolu vznikajú pri fajčení vodnej fajky veľké oblaky dymu Tiež spôsobuje zlepšenie chuti tabakového dymu, respektíve zdôrazňuje chuť [22]. Melasa sa skladá z glycerínu, sladidiel a konzervačných látok [23].

Opatrenia WHO

WHO (World Health Organization-Svetová zdravotnícka organizácia) sa zaoberala skúmaním problematiky fajčenia a bolo zistené, že na fajčení je závislých 1,1 miliardy ľudí a predpokladá sa, že v roku 2025 to bude 1,6 miliardy. Zo štatistík vyplýva, že ročná mortalita súvisiaca s fajčením je 3,5 milióna. Ak sa u ľudí fajčenie nezníži, WHO predpokladá, že na dôsledky fajčenia zomrie v roku 2025 približne 10 miliónov ľudí [24].

WHO predpokladá, že fajčenie spôsobuje nasledujúce ochorenia:

- 1.30% nádorových chorôb týkajúcich sa rakoviny pľúc, nádorových chorôb úst, hrtana, pažeráka žalúdka, pankreasu, hrubého čreva, konečníka, pečene, močového mechúra ako aj prsníka,
- 20% kardiovaskulárnych chorôb,
- 75% chronickej bronchitídy, ktorá môže vyústiť do chronickej obštrukčnej choroby pľúc a emfyzému.

Fajčenie je zodpovedné za komplikácie v tehotenstve a pri pôrode. Spája sa aj s novorodeneckou úmrtnosťou. Priemerne z každých 10 sekúnd na svete zomrie jeden človek v súvislosti s fajčením [24].

4.4 Vodná fajka a súčasný stav poznania

Štúdia [25] skúmala vzťah medzi zložkami vodnej fajky, veľkostnou distribúciou častíc a toxicitou dymu vznikajúcou pri zohrievaní. Tabak vo vodnej fajke nie je jediný zdroj toxických látok. Pri kokosových uhličkách, ktoré sa používajú na zahrievanie tabaku sa potvrdilo, že pri ich používaní vznikajú ťažké kovy, polycyklické aromatické hydrouhlíky (PAH) a CO [25].

Veľkostná distribúcia aerosólu bola meraná pre prípad vodnej fajky s uhličkami, prípad vodnej fajky zohrievanej elektronicky, a pri použití uhličkov s NMR (nereaktívna matrica). NMR pozostávalo z skleneného vlákna a podrveného teflónu. Pri 30 minútovom používaní vodnej fajky s uhličkami sa vygenerovalo 6×10^{13} častíc vo veľkostnom spektre v rozmedzí 5,3 - 530 nm so strednou hodnotou 130 nm [25]. Toto môžeme pozorovať v Tabuľke 1.

Do vodnej fajky sa pri jej konzumácii vkladajú okrem tabaku aj rôzne dochucovadlá a zvlhčovadlá. Preto je potrebné zaoberať sa aj týmito prídavnými látkami z hľadiska emitujúcich častíc a vplyvu na človeka. Na nasledujúcom obrázku možno vidieť rozdiely vo veľkostnom spektre častíc pri použití tabaku s melasou alebo glycerolom. Pri porovnaní melasy a glycerolu môžeme vidieť, že veľkostné spektrum je podobné, no v prípade melasy bolo vygenerovaných podstatne viac častíc. Toxicita bola potvrdená aj pri melase aj pri glycerole. Obe znižovali alveolárnu membránovú integritu o 35 % a 30 % oproti nefajčiarskym vzorkám [25].

Tabuľka 1: Vlastnosti častíc pri rôznych podmienkach [25]

	Počet častíc	Aritmetický priemer častíc (nm)	Hmotnosť (mg/m ³)	LDSA (mm ² /cm ³)
Uhlíky + tabak	6.0×10^{13}	130	6,000	2×10^7
Elektricky z.+tabak	6.7×10^{12}	160	1,000	3×10^6
Uhlíky+NMR	2.4×10^{12}	40	7.8	2×10^5
Uhlíky+Syrup	1.3×10^{14}	130	12,000	4×10^7
Uhlíky+Glycerol	4.3×10^{13}	120	3,000	1.2×10^7

LDSA - Lung deposited surface area - zavedená metrika používaná na zhodnotenie potenciálnych zdravotných účinkov častíc vyskytujúcich sa vo vzduchu, ktoré sa ukladajú v dýchacom trakte. LDSA popisuje mieru celkového povrchu uložených častíc na liter, čo sa považuje za dôležitú informáciu o toxicite.

Uhlíkmi zahrievaná vodná fajka, preukázala zníženie funkcie lyzozómov⁶ o 35 % a cytoplasmatickej esteráznej⁷ aktivity o 21 %. Elektronicky zahrievané vodné fajky znížili funkcie lyzozómov o 46 % a membránu integritu o 69%. Potvrďuje sa, že obe aj elektronicky aj uhlíkmi zahrievané vodné fajky sú cytotoxické [25].

Dym z tabaku má vplyv na životaschopnosť alveolárnych buniek. Vysoká hustota malých častíc zodpovedá malou hmotnosťou, ale za to väčšou hodnotou LDSA. Všetky zložky vo vodnej fajke sa zahrievajú individuálne s uhlíkmi. Poškodené pľúcne bunky zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri alveolárnej výmene plynov. Pri skúmaní toxicity dymu je dôležité poznamenať, že môže byť rôzneho druhu. Dym vznikajúci zahrievaním melasy a glycerolu spôsobil zníženie membránovej integrity, zatiaľ čo dym vznikajúci z uhlíkov alebo elektronicky zahrievanou vodnou fajkou znižoval aj funkcie lyzozómov aj membránovú integritu [25].

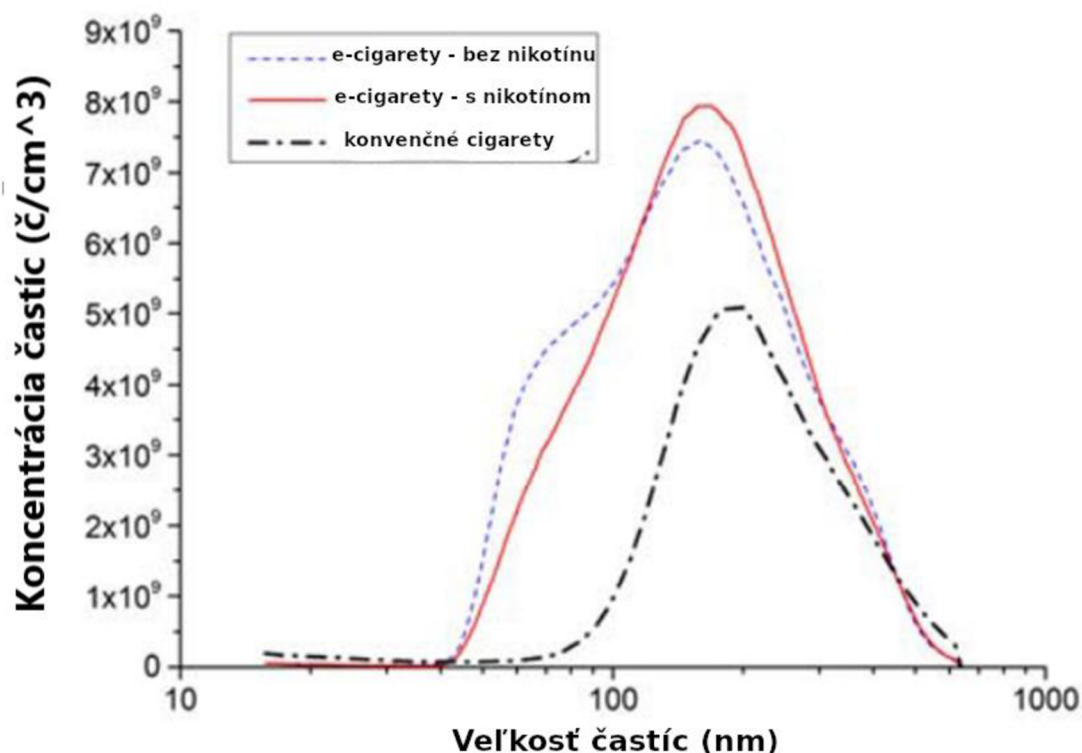
Častice v E cigaretách

E-cigarety sa považujú za zdravšiu alternatívu fajčenia. Ich hlavnou zložkou je kvapalina, ktorá je zložená z propylénglykolu a glycerol s dávkou nikotínu a príchuťou. e-cigarety vytvárajú aerosól, ktorého častice sú menšie ako 1 μm. Štúdie [26] potvrdili, že vysoko koncentrovaný propylénglykol môže spôsobovať podráždenie horných a dolných dýchacích ciest a spôsobovať kašeľ.

⁶ Lyzozóm – sférické organely s jednoduchou membránou, slúžia na odbúravanie endogenného a exogénneho materiálu

⁷ Cytoplazmatická esteráza – enzým nachádzajúci sa v cytoplazme buniek

Štúdia [26] sa zaoberala meraním koncentrácie a veľkostnej distribúcie častíc pre nikotínové a beznikotínové e-cigarety a následným porovnaním s bežnými cigaretami. Na obrázku 6 môžeme vidieť porovnanie e-cigariet s konvenčnými cigaretami. Celková koncentrácia častíc pri e-cigaretách bola takmer dva krát väčšia ako pri konvenčných cigaretách. Napriek tomu, že dym z e-cigariet má menej škodlivých látok. To znamená, že tak ako aj dym z konvenčných cigariet, tak aj dym z e-cigariet vytvára podobné častice, ktoré ďalej môžu ľahko prenikať do ľudských pľúc a usadzovať sa pomocou difúzie a sedimentácie. [3]



Obrázok 6: Porovnanie e-cigariet s konvenčnými cigaretami [3]

5 Vplyv na človeka

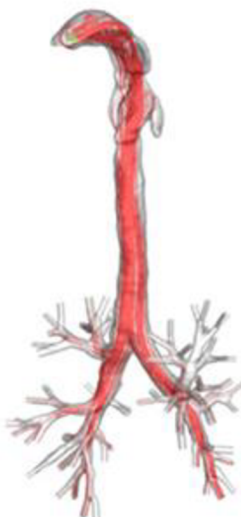
Fajčenie cigariet spôsobuje množstvo chorôb, primárne vznik pľúcnych nádorov. Taktiež prispieva ku kardiovaskulárnym a respiračným problémom. Doteraz bolo zistených 6000 zložiek nachádzajúcich sa v cigaretovom dyme, z toho 69 je známych ako karcinogénnych. Na znižovanie rizika a znižovanie nežiadúcich zdravotných účinkov na človeka začali výrobcovia vyrábať LHC (less harmful cigarette) produkty. Práca však potvrdila, že tieto nové produkty môžu byť škodlivejšie vďaka iným spôsobom inhalácie, čo je spôsobené novými zariadeniami e-cigariet. Nové zariadenia LHC môžu meniť vlastnosti častíc (vlhkosť, teplota, koncentrácia). Všetky tieto zmeny majú vplyv na depozíciu častíc v pľúcach [27].

Na zisťovanie účinkov na zdravie sa využívajú v tomto období simulácie, ktoré majú za úlohu predpovedať, ako sa daný aerosól bude v pľúcach správať a aké bude mať toxické účinky [28]. Častice navyše obsahujú adsorbované karcinogénne zlúčeniny. Inhalácia častíc PM₁₀ poškodzuje hlavne kardiovaskulárny a pľúcny systém. Môže spôsobovať chronickú bronchitídu a chronické pľúcne choroby. V dôsledku absorpcie organických látok s mutagénnymi a karcinogénnymi účinkami môže expozícia spôsobovať rakovinu pľúc [29].

Simulačné modely

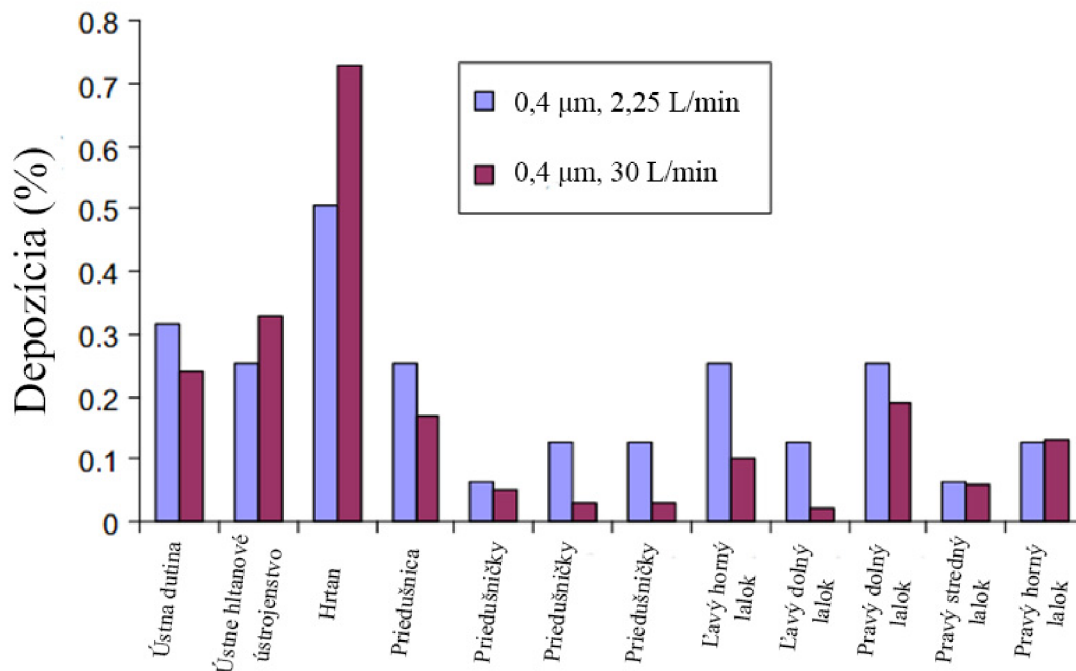
Tieto modely sú založené na rovniciach prúdenia. Používajú informácie z depozície častíc v dýchacom trakte. Prenos a depozícia toxických karcinogénnych látok v tabakovom dyme v ľudskom dýchacom systéme je komplexný proces, ktorý je ovplyvnený rôznymi fyzikálnymi mechanizmami ako sú napríklad koagulácia, kondenzácia, hygroskopický rast a individuálne nasávanie dymu do organizmu, či individualitami jedincov [28].

Na obrázku 7 je zobrazený CFD⁸ (Computational Fluid Dynamics) model, ktorý simuluje častice vstupujúce do dýchacieho traktu človeka, pri prietoku vzduchu 2,25 L/min. Pri fajčení vodnej fajky sa veľkostné spektrum častíc pohybuje približne v rozmedzí od 100 – 500 nm. Na obrázku 7 môžeme vidieť trajektóriu častíc v dýchacom trakte vypočítanú podľa spomínaných modelov.



Obrázok 7: Simulácia trajektórie častíc v CFD modeli [28]

⁸ CFD – Computational Fluid Dynamics – matematický model, ktorý sa využíva na simuláciu a analýzu toku tekutín a plynu



Obrázok 8: Depozícia častíc v dýchacom trakte [27]

Na obrázku 8 možno vidieť, že najväčšie množstvo častíc sa usadzuje v hrtane. Tento graf popisuje percentuálne usadzovanie častíc o veľkosti 0,4 µm. Z uvedeného grafu vyplýva, že sa v modele usadilo približne 2% vdychnutého aerosólu [27].

Ľudia a vodná fajka

Na základe štúdie [30] na štatistickej vzorke 1150 ľudí vo veku 18 – 24 rokov vyplýva, že 23 % respondentov niekedy v minulosti použilo vodnú fajku, 4 % respondentov používalo vodnú fajku v priebehu posledných 30 dní. Respondenti fajčiaci vodnú fajku a respondenti, ktorí fajčili vodnú fajku za posledných 30 dní sa domnievajú, že je menej škodlivá ako cigarety. Z respondentov, ktorí do začiatku štúdie nikdy nevyskúšali vodnú fajku ju počas štúdie 8 % vyskúšalo v posledných 6 mesiacoch [30].

Ako už bolo spomínané fajčenie spôsobuje rakovinu pľúc a vytvára ekonomickú záťaž pre sociálny systém. Pri liečbe rakoviny pľúc dochádza často krát k zlyhaniu liečby. Štúdia v USA [31] skúmala 2004 pacientov a ich náklady spojené s liečbou. Zo štatistického súboru pacientov skúmaných v rámci štúdie [31] zlyhala liečba u 56 % ľudí. Pacienti u ktorých počiatočná liečba nezlyhala mali mesačné náklady 5709 USD. Celkové náklady na liečbu pacientov u ktorých liečba zlyhala boli 74 697 USD na pacienta.[31]

Na základe týchto štúdií a výskumov možno usúdiť, že náklady na liečbu sú pomerne vysoké. Preto organizácie ako je WHO robia rôzne opatrenia na zabránenie a zamedzenie vznikaniu nových fajčiarov. Na zdravie človeka má vplyv nie len samotné fajčenie, ale aj expozícia tabakovým dymom, ktorý vzniká pri fajčení a má vplyv aj na ľudí, ktorí nefajčia. Konzumácia tabaku celkovo vyvoláva celospoločenské náklady súvisiace so znížením produktivity práce fajčiarov. Zvyšuje sa pracovná neschopnosť, fajčiarske pauzy, zvyšuje sa mortalita v produktívnom veku atď. Vzhľadom na vysoké množstvo fajčiarov a ďalších užívateľov tabaku je možné túto situáciu považovať za celosvetovú pandémiu, preto svetová zdravotnícka organizácia WHO v snahe znížiť ekonomické a zdravotné dopady fajčenia vypracovala dokument „MPOWER“, ktorý predstavuje šesť hlavných bodov [32]:

1. Monitorovať užívanie tabaku a politiku prevencie.
2. Chrániť ľudí pred tabakovým dymom.
3. Navrhnuť pomoc pri odvykaní fajčenia.
4. Varovať pred nebezpečím užívania tabaku.
5. Presadzovať zákaz reklamy na tabak, jeho propagáciu a sponzorovanie.
6. Zvyšovanie daní na tabak [32].

6 Meracie metódy

Táto kapitola je zameraná na spôsoby merania a analýzy aerosólu. Podľa potrieb experimentu možno skúmať rôzne vlastnosti častíc ako sú napríklad: veľkosť, hmotnosť, počet, tvar alebo zloženie častíc. Najdôležitejší parameter, ktorý popisuje správanie aerosólu je veľkosť častíc, ktoré sú v danom aerosóle obsiahnuté. Výsledkom merania aerosólu väčšinou býva najčastejšie hmotnostné alebo početné zastúpenie vo veľkostných triedach. [7]

6.1 Mikroskopická analýza

Jednou z metód skúmania častíc je mikroskopická analýza. Bežné svetelné mikroskopy nedokážu rozlíšiť tak malé častice. Majú rozlišovaciu schopnosť do 0,25 μm . Pozorovanie obrazu svetelným mikroskopom je obmedzené schopnosťou zraku a vlnovou dĺžkou svetla. Preto sa pri skúmaní častíc využívajú elektrónové mikroskopy, ktoré na rozdiel od svetelných mikroskopov využívajú elektróny, ktoré sú urýchlené elektrickým poľom. Elektróny často v atmosfére interagujú. Aby sa týmto interakciám predišlo, pozorovaná vzorka aj zväzky elektrónov sú umiestnené vo vákuu. Využíva sa elektrónové žiarenie, ktoré má krátku vlnovú dĺžku ($\sim 0,01\text{--}0,001\text{ nm}$). Viditeľné svetlo má (400-700 nm), preto dokážu elektrónové mikroskopy dosiahnuť oveľa väčšie rozlíšenie než svetelné mikroskopy. [33]

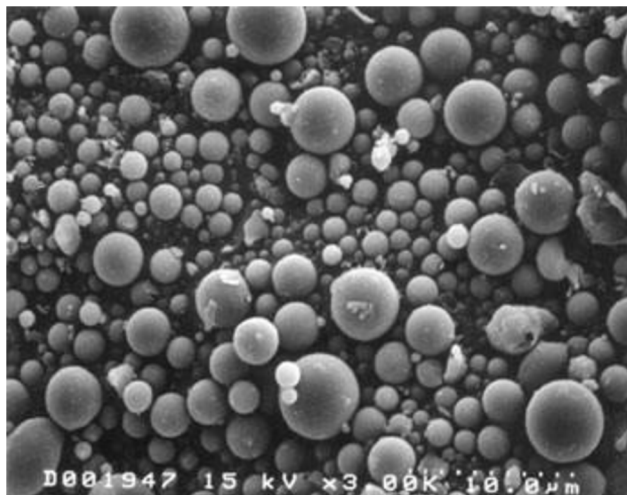
Elektrónové mikroskopy poskytujú veľa informácií o mikroštruktúre, kryštalografii, chemickom zložení, a ďalších vlastnostiach pozorovanej vzorky. Záleží to od informácie pochádzajúcej z interakcie elektrónového zväzku a skúmanej vzorky. Napríklad, ak chceme určiť chemické zloženie skúmanej látky, musí mať mikroskop nainštalovaný detektor charakteristického röntgenového žiarenia. To vzniká pri dopade elektrónov na vzorku [33].

Elektrónové mikroskopy sa jednoducho dajú rozdeliť do dvoch kategórií. TEM transmisné mikroskopy a riadkovacie mikroskopy SEM. Každý z mikroskopov pracuje na inom princípe. Obrázok 9 schematicky ukazuje rozmedzie merania pre dané mikroskopy [33].



Obrázok 9: Veľkostný rozsah mikroskopov [35]

SEM mikroskopy sa používajú na zobrazovanie a analýzu povrchov ľubovoľne veľkých vzoriek (ak je dostatočne veľká vákuová komora). Hlavnou výhodou týchto mikroskopov je získanie obrázkov povrchu širokého spektra materiálu, ktoré sú navyše jednoducho interpretované. Častice popola pozorované SEM mikroskopom sú zobrazené na obrázku 10. Prvé pokusy s transmisným mikroskopom boli uskutočnené v roku 1931. Transmisné elektrónové mikroskopy (TEM) sa využívajú na pozorovanie a analyzovanie vnútornej štruktúry vzorky a pre zobrazenie jednotlivých atómov. Nutnou podmienkou pre použitie TEM, je že vzorka musí byť dostatočne tenká 10-500nm, aby zväzok elektrónov ním prešiel. Takáto príprava vzorky je časovo náročná, a taktiež získanie snímok je náročnejšie [33].



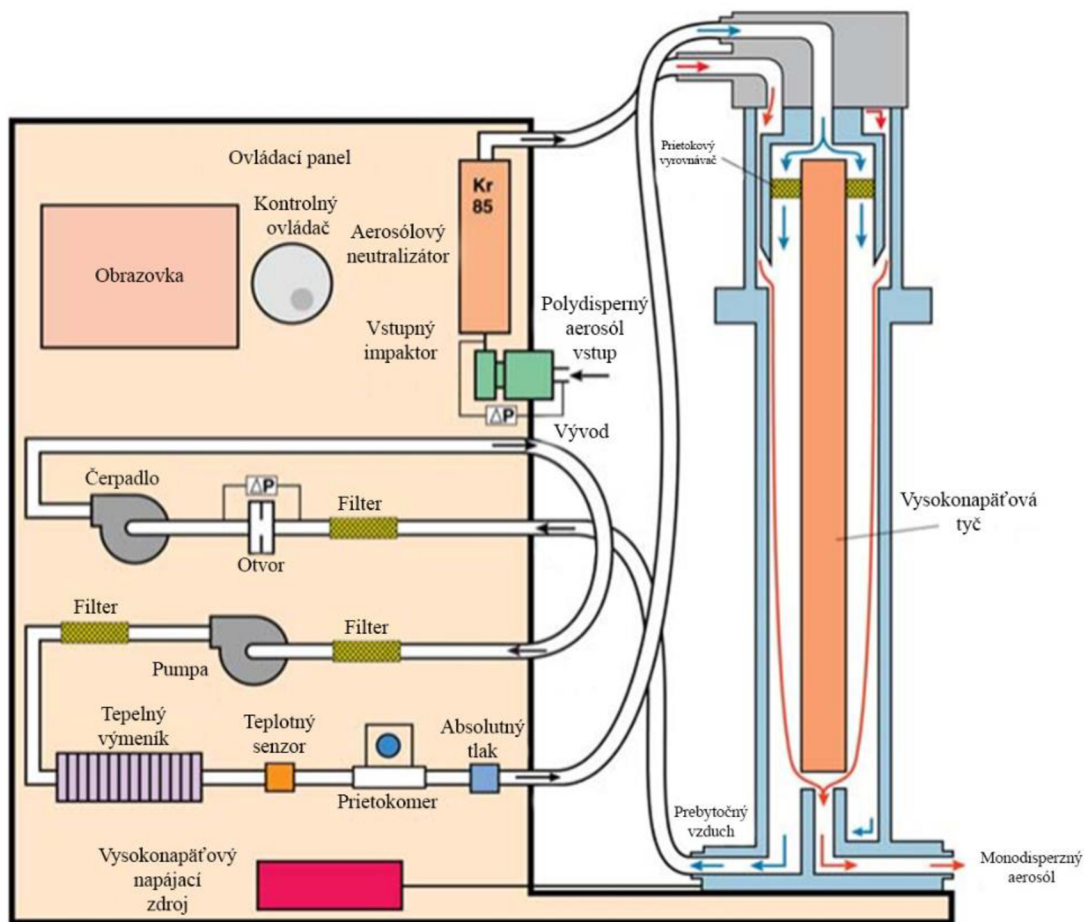
Obrázok 10: Častice popola zachytené pomocou SEM pri 2000 násobnom zväčšení [34]

6.2 Prístroje na meranie nanočastíc

Na meranie aerosólových častíc sa využíva prístroj SMPS⁹ (Scanning Mobility Particle Sizer) od spoločnosti TSI, ktorý je znázornený na obrázku 11. Rozsah veľkostného spektra je od 5nm do 1 μ m , teda emisie PM₁ . Prístroj sa využíva vo viacerých odvetviach napríklad v nanotechnológii, pri spaľovacích procesoch v toxikológii, alebo pri meraní účinnosti filtrov. [35]

Prístroj sa skladá z niekoľkých dôležitých komponentov: elektrostatického triediča (DMA), kondenzačného čítača (CPC) a aerosólového neutralizátora. Aerosól ešte pred vstupom do prístroja prechádza cez impaktor. Impaktor odlučuje väčšie častice ako je merací rozsah zariadenia a chráni tak zariadenia pred rýchlym znečistením. Následne aerosól prechádza bipolárnym iónovým neutralizátorom s kryptónovým jadrom, ktorý generuje záporné a kladné ióny a priraduje časticiam elektrický náboj. Ďalej častice putujú do DMA. DMA sa skladá z dvoch sústredných valcov, z ktorých jeden slúži ako vnútorná a druhý ako vonkajšia elektróda, ktorá je uzemnená. Na vnútornej elektróde je napätie 0 - 10 000 V, ktoré vytvára elektrické pole. SMPS počas merania mení hodnotu napätia, zároveň sa tak mení aj veľkosť častíc, ktoré putujú do meracej časti, a tým sa vytvára monodisperzný aerosól, ktorý potom vstupuje do CPC. CPC slúži na sčítanie prechádzajúcich častíc pomocou rozptylu svetla. Keďže sú častice príliš malé, tak je potreba zväčšiť ich veľkosť a na to slúži CPC s butanolom. Niekedy sa používa aj voda. Častice bývajú zväčšené približne na 10 μ m. Vtedy sa už dajú merať pomocou rozptylu svetla [35]. Existujú lacné submikrónové čítače častíc ako je napr. DISCmini, ktorý slúži na meranie počtu nanočastíc a stredne veľkých častíc. Funguje na princípe elektrického nabíjania aerosólu [36].

⁹ SMPS – Prístroj na meranie nanočastíc



Obrázok 11: Schéma prístroja SMPS [37]

7 Praktická část

V praktické části som sa zaoberal aerosólovými časticami, ktoré vznikajú pri fajčení vodnej fajky. Boli skúmané aerosólové častice pre dva rôzne prípady. V prvej sústave bola vodná fajka naplnená vodou, tak ako to býva pri bežnom fajčení v druhej sústave bez vody. Na základe toho bude možné určiť filtračnú schopnosť vody a vykreslenie veľkostného spektra v čase. Účelom ďalšieho merania bolo porovnanie medzi rýchlozápalnými a kokosovými uhlíkmi z hľadiska vznikajúcich častíc pri zahrievaní.

7.1 Metodika

Gravimetria

Medzi najstaršie kvantitatívne analytické metódy patrí metóda vážkovej analýzy (gravimetria). Aerosól prúdi cez filter, na ktorom sa zachytávajú častice. Z rozdielu hmotností návažku pred odberom a po odbere sa zistí hmotnosť častíc zachytených na filtri. Pri gravimetrickej metóde je nutné presné odváženie vzoriek. Aby sa zabezpečila presnosť merania, je nutné návažok zvážiť viac krát a z neho urobiť aritmetický priemer návažku [38].

Meranie bolo zamerané na určenie filtračnej schopnosti vody a porovnanie hmotnostnej koncentrácie aerosólu z rôznych typov uhlíkov pomocou gravimetrického merania využitím simulátora dýchania zobrazeného na obrázku 13 [39].

Pre simuláciu dýchania bol zvolený špeciálny dychový manéver. Tento manéver bol spracovaný na základe predchádzajúcich štúdií v ktorých bolo skúmaných 44 subjektov, tieto osoby boli podrobené funkčným vyšetrením pľúc (spirometria) a zhotovením CT snímok pri zadržaní dychu pri nádychu (TLC) a po normálnom výdychu (FRC). Následne boli vyhotovené výsledky zo snímok a určený rozdiel objemov (ΔV) pred nádychom a po nádychu. Taktiež sa určilo priemerné percentuálne rozdelenie vzduchu v pľúcnych lalokoch pri inspiračnom dychovom manévri. [39]. Pľúcny objem (ΔV) bol na základe týchto poznatkov zvolený 2,57 l.

Simulátor dýchania bol nastavený na 200 hlbokých nádychoch. Pre vytvorenie dýchacieho cyklu bola doba nádychu stanovená na 3 sekundy a doby výdychu na 5 sekúnd. Táto doba je dostatočne dlhá na hlboký nádech a pomalý výdych. Simulátor má 5 ciest (lalokov). Každý lalok má vlastný pohon a skladá sa z dvoch elektronicky riadených valcov. Dvojice valcov majú spoločný pohon, takže sa pohybujú rovnako. Každý lalok má hadicu na aerosólovú cestu-vstup (nádych) a na výstup (výdych). Všetky hadice na vstup boli pospájané konektormi do jednej hadice. Vodná fajka bola práve pripojená na túto nádychovú vetvu, výdych bol odvádzaný do okolitého prostredia [39].

Meracia trať zobrazená na obrázku 14 pozostávala z vodnej fajky, ktorá bola cez hadicu napojená na membránový filter, a z membránového filtra napojená na simulátor dýchania.

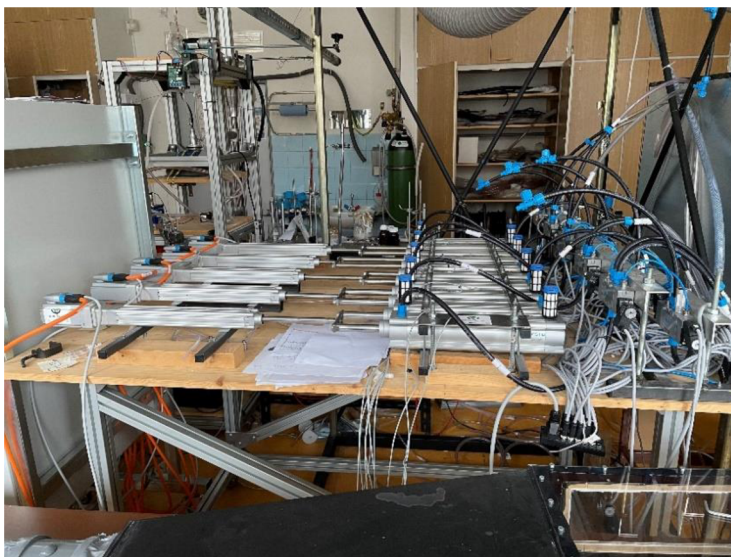
Hmotnosť filtra bola stanovená priemerovaním desiatich hodnôt získaných vážením na váhach (Kern ABJ). Z týchto hodnôt sa vypočítal aritmetický priemer, a teda sa určila hmotnosť pred meraním. Následne sa spustil simulátor dýchania na spomínaných 200 hlbokých nádychoch. Po simulátore sa odpojil od sústavy držiak s filtrom a odvážil sa na váhe 10 krát. Aritmetickým priemerom sa určila hmotnosť po simulátore dýchania. Rozdiel hmotností pred a po meraní zodpovedal zachyteným časticam na membránovom filtre. 3 merania boli vykonané bez vody a 3 s vodou. Pred každým meraním boli vymenené uhlíky a natlačené rovnaké množstvo tabaku, aby sa zachovali vstupné parametre. Na základe týchto meraní bola určená filtračná účinnosť vody.

Podobne ako pri určovaní filtračnej schopnosti vody pomocou gravimetrie, sa porovnávali rýchlozápalné uhlíky s kokosovými. Hmotnosť filtra bola stanovená priemerovaním desiatich hodnôt, ktoré boli stanovené na analytickej váhe, ktorá je znázornená

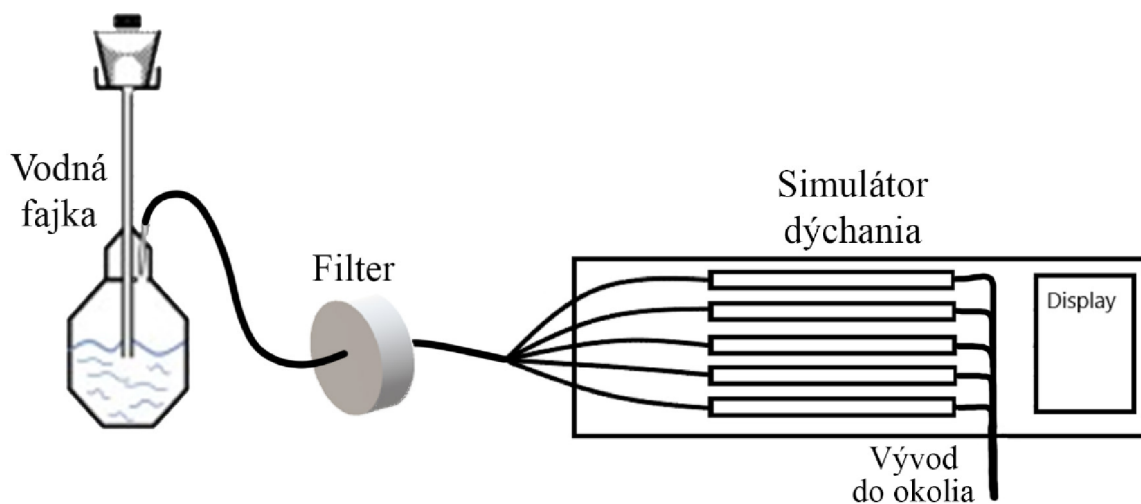
na obrázku 12. Prebiehali 3 merania pre rýchlozápalné uhličky a 3 merania pre kokosové uhličky. Simulátor dýchania bol nastavený na 400 hlbokých nádychoch. Simulátor bol nastavený o 200 nádychov viac z hľadiska predpokladu vznikania menšieho množstva častíc pri zahrievaní čistých uhlíkov bez tabaku na rozdiel od predchádzajúceho merania, kedy bol tabak zahrievaný uhlíkmi a vznikalo tam viac častíc.



Obrázok 12: Analytická váha



Obrázok 13: Simulátor dýchania



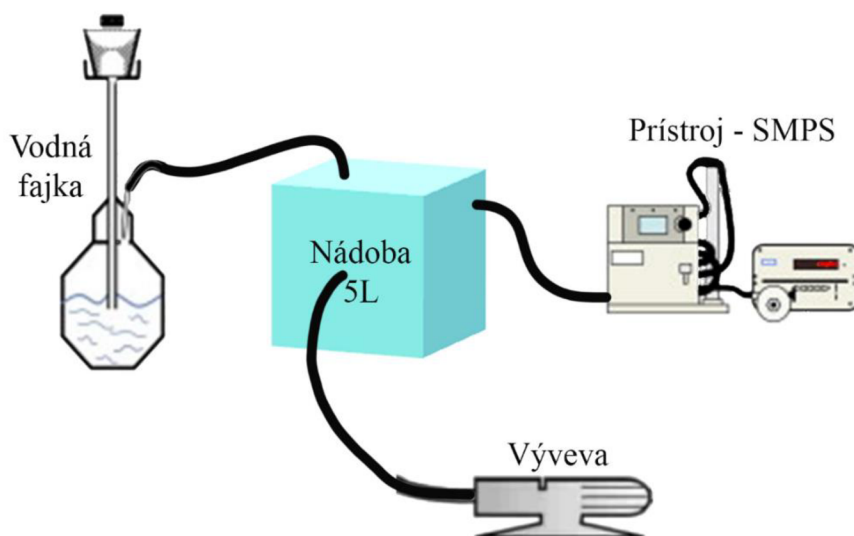
Obrázok 14: Schéma zapojenia pre simulátor dýchania

Meranie nanočastíc a príprava meracej trate

Do korunky sa natlačilo 5 g tabaku. Následne sa vodná fajka rozťahala a priviedla do pracovného stavu. Keď bola vodná fajka rozťahaná, tak sa silikónová hadica z vodnej fajky pripojila na meraciu trať zobrazenú na Obrázku 16 a následne sa zapla výveva na 20 s. Aerosól sa nasal do bandasky, potom sa výveva odpojila a hadička sa napojila na prístroj SMPS (obrázok 15). Až následne sa spustilo meranie na prístroji. Meranie na prístroji bolo nastavené na päť krát po 60 s. Keď prístroj domeral, do bandasky sa nasal čistý vzduch a meranie sa opakovalo znova. Takto prebehli štyri merania. Dve s vodou a dve bez vody. Následne sa výsledky vyhodnotili v softvéri MS Excel.

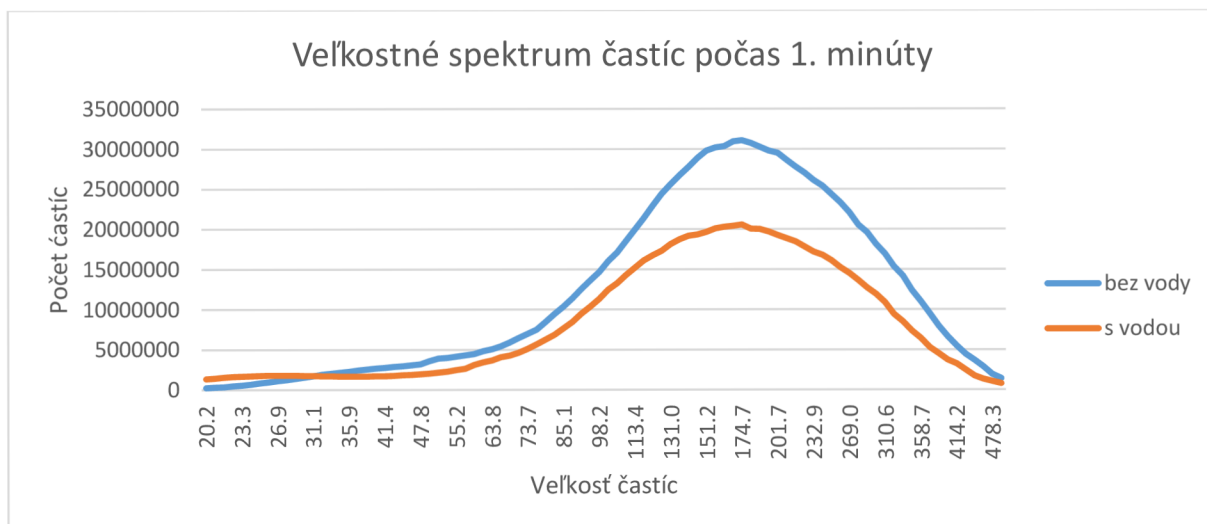


Obrázok 15: prístroj SMPS pri meraní

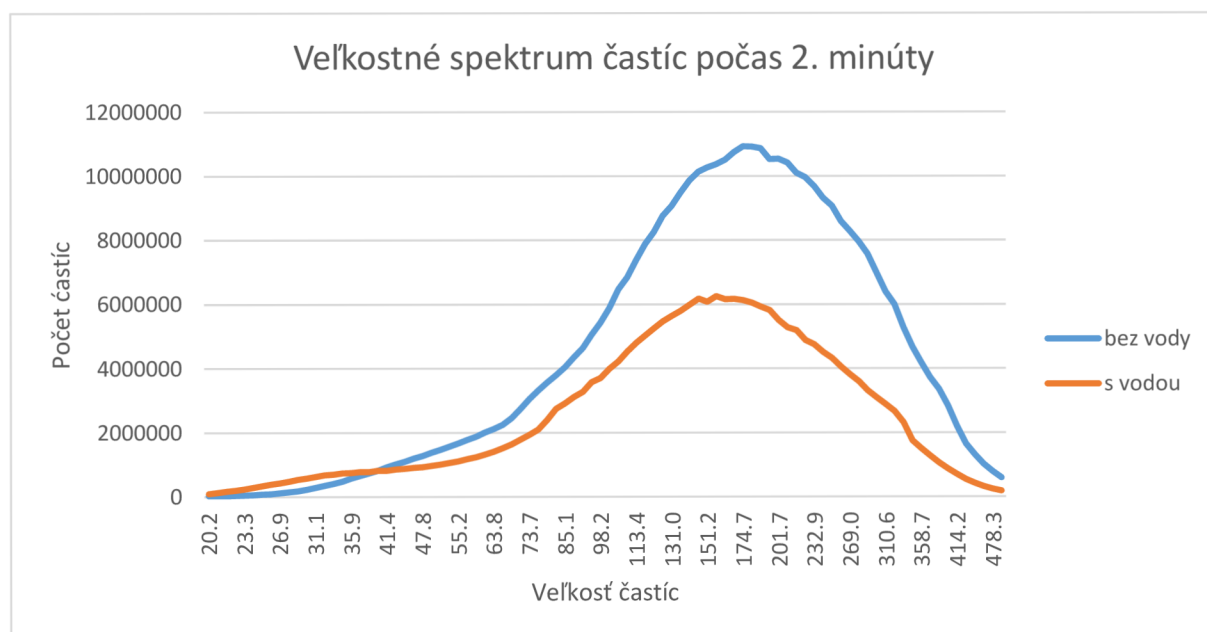


Obrázok 16: Schéma zapojenia meracej trate

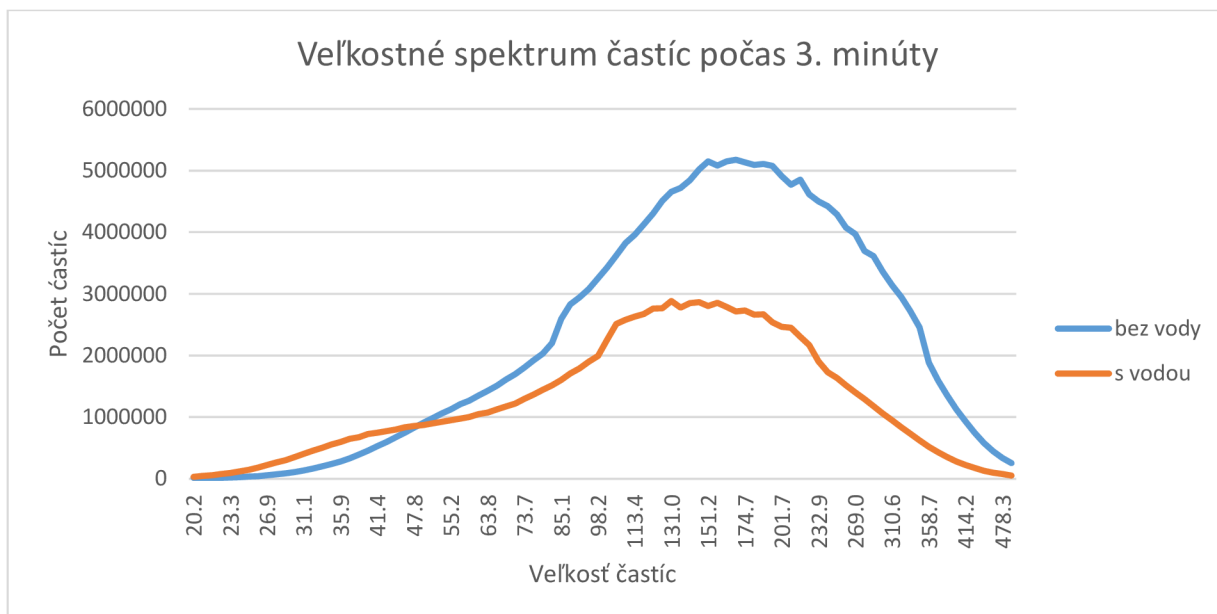
8 Výsledky



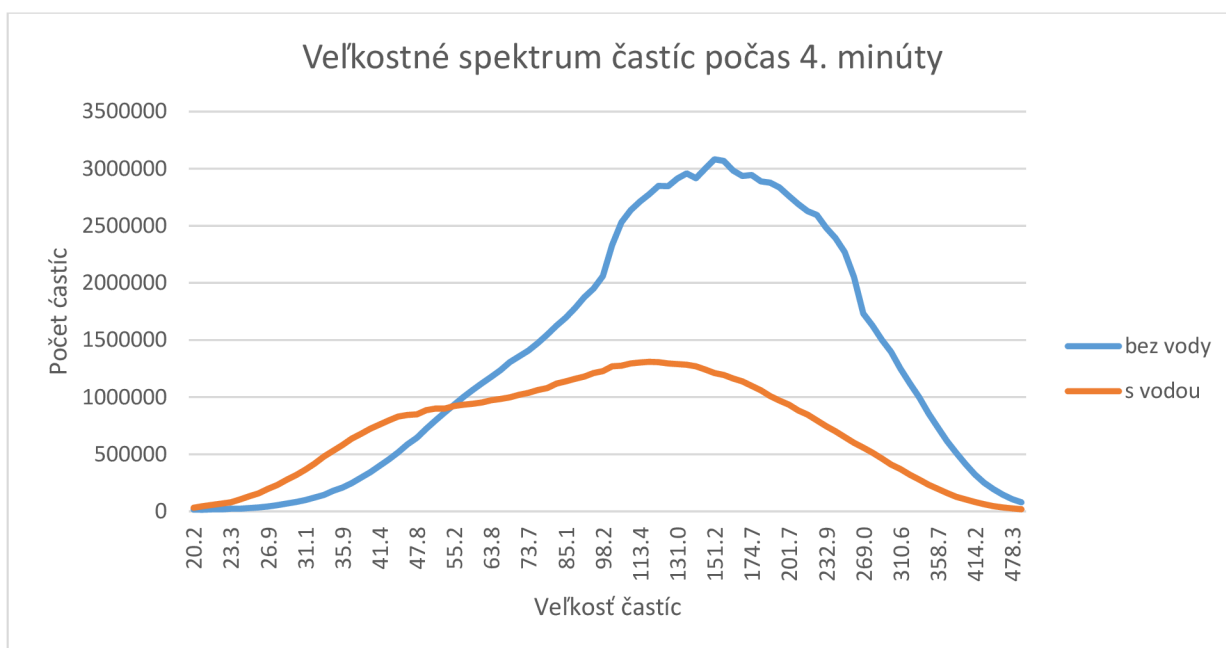
Obrázok 17: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 1. minúty



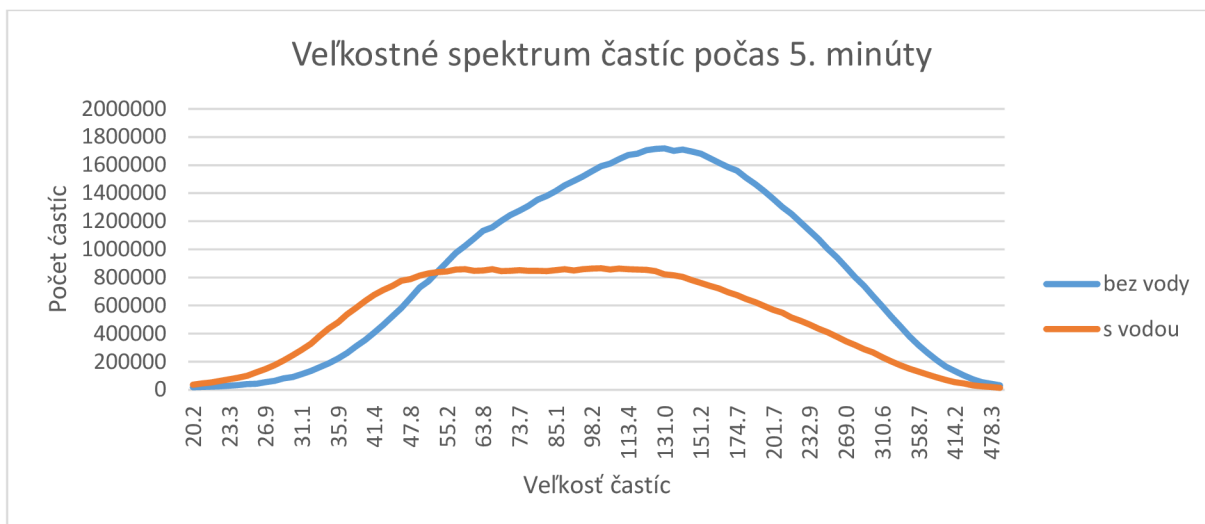
Obrázok 18: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 2. minúty



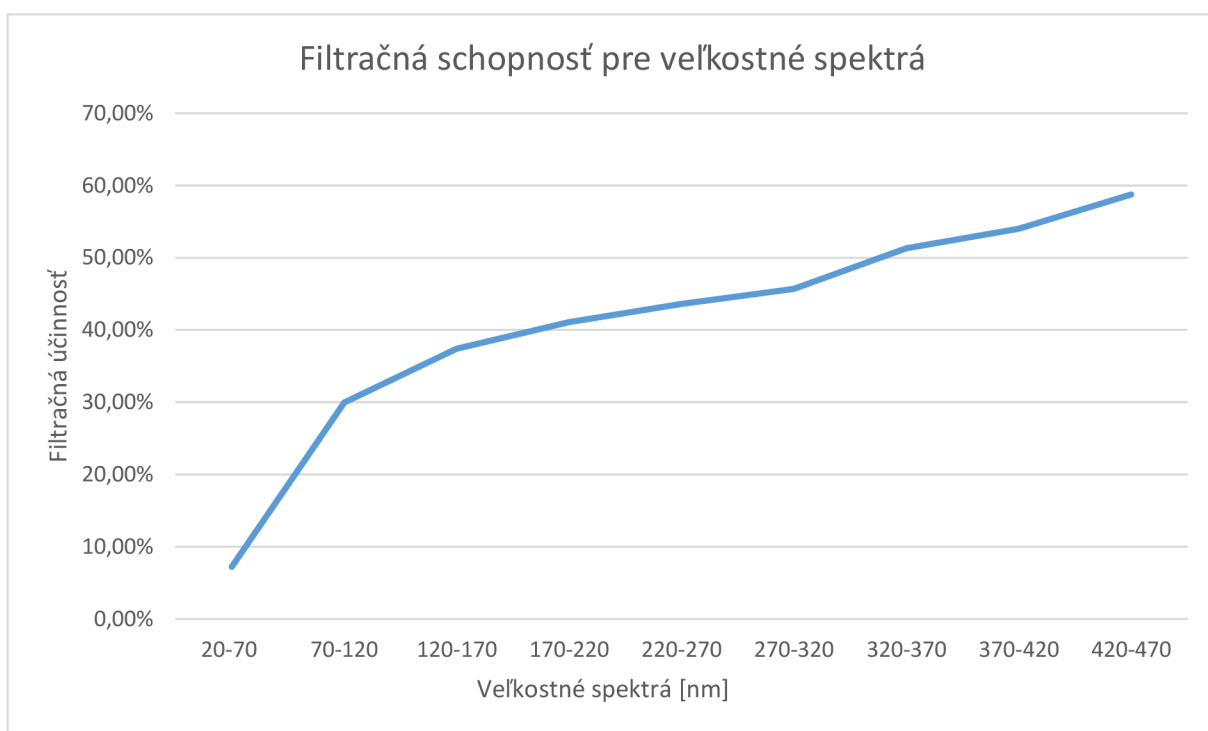
Obrázok 19: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 3. minúty



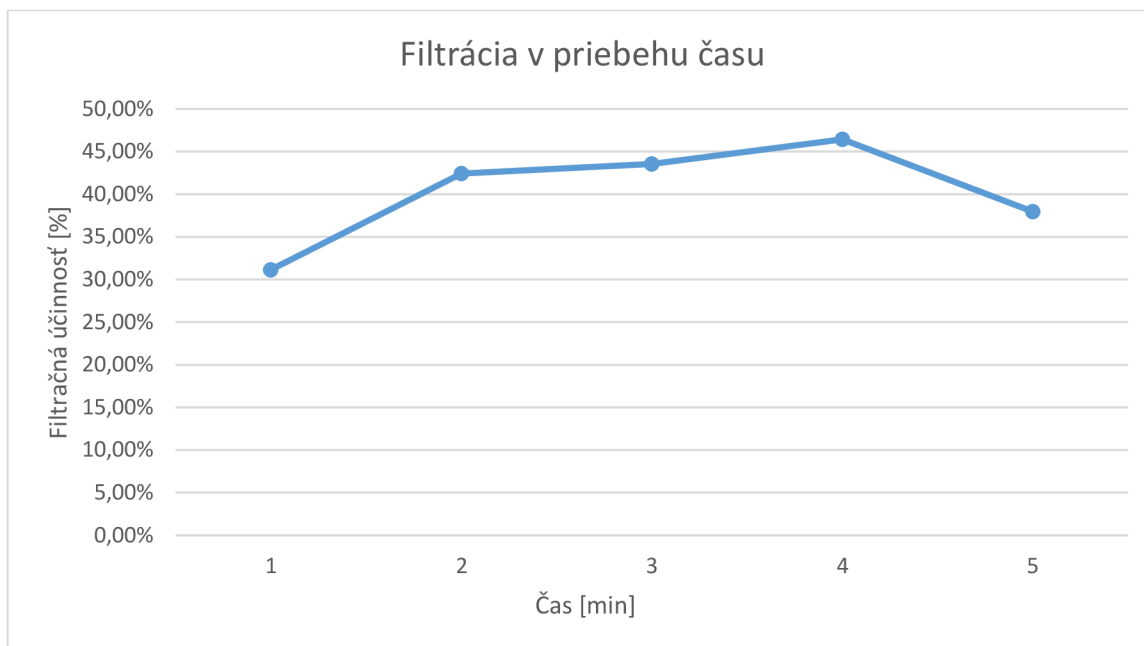
Obrázok 20: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 4. minúty



Obrázok 21: Znáročujúci vykreslenie množstva částic v závislosti na čase počas 5. minúty



Obrázok 22: Znáročujúci filtráciu pre rôzne velikostné spektrá pomocou SMPS



Obrázok 23: Znázorňujúci filtráciu v priebehu času pomocou SMPS

Priemerná filtračná účinnosť vody bola stanovená z nameraných hodnôt na prístroji SMPS a na základe toho bol vykreslený graf na Obrázku 23.

Priemerná filtračná účinnosť: 40,3 %

Smerodajná odchýlka: 5,96 %

Výsledné rozdiely hmotností zodpovedajú časticiam usadených na membránových filtroch

Tabuľka 2: Výsledné hodnoty pre porovnanie účinnosti vody

č. merania	Bez vody [g]	S vodou [g]
Priemer ± smerodajná odchýlka [g]	0,06649 ± 0,007960	0,05078 ± 0,001503
Účinnosť filtrácie vody ± smerodajná odchýlka [%]	23,6226 ± 11,57	

Tabuľka 3: Výsledné hodnoty pre porovnanie kokosových a rychlozápalných uhlíkov

č. merania	Kokosové uhlíky [g]	Rychlozápalné uhlíky [g]
Priemer ± smerodajná odchýlka [g]	0.11804 ± 0.00219	0.02677 ± 0.00017

9 Diskusia

Na vykreslených grafoch v priebehu času vidieť, že modrá krivka (bez vody), je nad oranžovou krivkou (s vodou), čo znamená, že voda odfiltrovala niektoré častice, tak ako sa predpokladalo. Pri časticiach od 20-50 nm je modrá krivka pod oranžovou krivkou, čo by znamenalo, že v priebehu merania by častice vznikali. Domnievam sa, že to mohlo byť spôsobené malým štatistickým súborm, keďže častíc v tomto rozmedzí je pomerne málo a mohlo dôjsť k odchýlke. V ďalšej práci by bolo dobré meranie viac krát zopakovať, čím by sa získal väčší štatistický súbor častíc a mohlo by sa preukázať, že voda odfiltróva aj malé častice.

Ďalším overením, či má voda filtračnú schopnosť bolo gravimetrické meranie. Z tabuľky vidieť rozdiel hmotností pre vodnú fajku naplnenú vodou a pre vodnú fajku bez náplne vody. Tieto výsledky potvrdili predchádzajúce meranie a ukazujú, že voda dokáže odfiltróvať častice. Pri gravimetrickom meraní vychádza, že voda je schopná odfiltróvať $24 \pm 11,57$ % častíc.

Z nameraných výsledkov pomocou prístroja SMPS bola napočítaná filtračná účinnosť $40 \pm 5,96$ %. Vykreslenie filtrácie v priebehu času možno pozorovať na Obrázku 23. Od gravimetrického merania sa filtrácia líši o 16 %. Na Obrázku 22 možno pozorovať filtračnú účinnosť pre rôzne veľkostné spektrá. Pri časticiach od 20 – 70 nm je výrazne nižšia filtračná účinnosť ako pri ostatných spektrách. Jav mohol byť spôsobený malým štatistickým súborm častíc v danom veľkostnom spektre.

Pri SMPS výsledky boli vyhodnotené pomocou rozdielu počtu častíc, pri gravimetrii to bolo z rozdielu hmotností. Tento faktor mohol mať zásadný vplyv na výsledky. Veľký rozdiel v počte malých častíc sa odzrkadli minimálne v hmotnostnom rozložení, zato malý rozdiel veľkých častíc v početnej distribúcii môže mať zásadný vplyv v hmotnostnej distribúcii. Z toho vyplýva, že ak rozdiel z počtu častíc pri vyhodnocovaní SMPS bude minimálny, pri gravimetrii môže byť napriek tomu zásadný.

Ďalší faktor, ktorý bol skúmaný v bakalárskej práci boli uhliky. Postup merania bol podobný ako pri určovaní filtračnej schopnosti vody pomocou gravimetrie. Keďže bol simulátor nastavený na 400 opakovaní, tak hmotnosť častíc zachytených na filtri pri uhliokoch je oproti predchádzajúcemu meraniu vyššia. Z porovnania hmotností častíc usadených na filtroch možno usúdiť, že kokosové uhliky produkujú viacej častíc ako rýchlozápalné uhliky. Väčšina prevádzok používa práve tieto kokosové uhliky, z hľadiska lepšej výhrevnosti a dlhšieho trvania. Kokosové uhliky sú navyše o čosi drahšie ako rýchlozápalne uhliky, takže sa očakáva, že budú aj kvalitnejšie a nebudú produkovať toľko častíc ako rýchlozápalné uhliky. Napriek tomu z merania vyplýva, že pri spaľovaní kokosových uhlikov vzniká 4 násobne viac častíc ako pri rýchlozápalných uhliokoch.

Dôvodom prečo pri kokosových uhliokoch vzniká viacej častíc môže byť viacero. Môže to byť spôsobené ich chemickým zložením. Pri spaľovaní kokosových uhlikov sa môžu uvoľňovať organické látky, ktoré tiež môžu vplývať na tvorbu častíc. Taktiež kvalita kokosových uhlikov zohráva zásadnú úlohu pri spaľovaní a následne pri vznikajúcich časticiach.

V štúdií [25] merali veľkostnú distribúciu častíc, ktoré emitujú uhliky, následne vyhodnocovali aký majú vplyv na bunky v tele. Uhliky vyprodukovali $2,4 \times 10^{12}$ častíc počas merania, čo možno vidieť v tabuľke 1. Toto meranie preukázalo, že častice emitujúce z uhlikov znižujú funkcie lyzozómov aj membránovú integritu. V mojej bakalárskej práci boli zistené hodnoty hmotnosti zachytené na filtri. Predpokladám, že v štúdií používali len jeden typ uhlikov, preto v ďalšej časti by bolo zaujímavé premerať veľkostné spektrum častíc pre rôzne typy uhlikov, na základe zistení vykonať rozbor získaných dát, poprípade zistiť, v ktorej časti pľúc sa môžu usadzovať.

V práci [18] bola meraná veľkostná distribúcia emitujúcich častíc z vodnej fajky. V tejto práci bolo najviac častíc nameraných v rozmedzí od 150 – 200 nm. Pri meraní boli použité rovnaké rýchlozápalné uhliky ako v mojej práci. Pri mojom meraní veľkostného spektra, boli hodnoty najčastejšie vyskytujúce sa od 100 - 230 nm (viz. obrázok 17). Malé rozdiely vo veľkostnej distribúcií mohli byť spôsobené iným druhom tabaku, spôsobom merania alebo množstvom dávkovania tabaku.

10 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, aké faktory ovlivňují emitující částice vodnej fajky.

Prvá část práce bola zameraná na rešerš. Úvod na popis aerosólu a jeho charakteristiku, dýchaciu sústavu a depozíciu častíc v dýchacom trakte. Ďalšia časť sa zaoberala štúdiami, ktoré skúmali podobnú problematiku fajčenia a emitujúcich častíc. Posledná teoretická časť bola zameraná na meracie metódy častíc.

Praktická časť sa venovala skúmaniu faktorov, ktoré môžu mať vplyv na vznikajúce častice pri vodnej fajke. Na začiatku bola zostrojená meracia trať, pomocou ktorej bolo možné merať aerosól. V prvom meraní pomocou prístroja SMPS bola získaná veľkostná distribúcia častíc a vykreslené grafy v čase.

Najväčšie zastúpenie častíc sa nachádzalo v rozmedzí od 100 – 230 nm. Na základe týchto dát a obrázku 4 možno usúdiť, že častice sa pravdepodobne najlepšie budú usadzovať v alveolárnej oblasti a usadí sa menej ako 20 % častíc. Z merania na prístroji SMPS sa určila filtračná schopnosť vody pre rôzne veľkostné spektrá ako možno vidieť na obrázku 22. Ďalšie meranie bolo gravimetrické, ktoré malo overiť filtračnú schopnosť vody. Pri gravimetrii bola zistená filtrácia približne 24 %.

Tretím meraním bolo porovnanie kokosových a rýchlozápalných uhlíkov. V prípade kokosových uhlíkov vzniklo približne štvornásobne viacej častíc ako pri rýchlozápalných uhlíkoch to možno vidieť v tabuľke 2.

V ďalšej práci by bolo zaujímavé porovnať tabaky od rôznych výrobcov, z hľadiska emitujúcich častíc a zistiť, aké sú rozdiely medzi nimi. Ďalším zaujímavým faktorom, ktorý by bolo vhodné zmerať, je zmena filtračnej účinnosti v závislosti od druhu kvapaliny v nádobe.

Z týchto meraní možno usúdiť, že z hľadiska počtu častíc je najlepšie používať pri konzumácii vodnej fajky rýchlozápalné uhliky a mať nádobu naplnenú vodou. Hoci vodný kúpeľ zachytí určité množstvo častíc, nemožno považovať fajčenie vodnej fajky za zdravšie ako fajčenie cigariet.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] Blachman-Braun, R., del Mazo-Rodríguez, R. L., López-Sámamo, G., & Buendía-Roldán, I. (2014). Hookah, is it really harmless? *Respiratory Medicine*, 108(5), 661–667. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2014.01.013>
- [2] Smith-Simone, S., Maziak, W., Ward, K., & Eissenberg, T. (2008). Waterpipe tobacco smoking: Knowledge, attitudes, beliefs, and behavior in two U.S. samples. *Nicotine & Tobacco Research*, 10(2), 393–398. <https://doi.org/10.1080/14622200701825023>
- [3] Belka, M., Lizal, F., Jedelsky, J., Jicha, M., & Pospisil, J. (2017). Measurement of an electronic cigarette aerosol size distribution during a puff. *EPJ Web of Conferences*, 143, 02006. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201714302006>
- [4] Maziak, W. (2008). The waterpipe: time for action. *Addiction*, 103(11), 1763–1767. <https://doi.org/10.1111/j.1360-0443.2008.02327.x>
- [5] *Je fajčenie vodnej fajky bezpečné?* [online]. Francúzsko: World Health Organization [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/sk/12-sposobov/tabak/3773-je-fajcenie-vodnej-fajky-bezpecne>
- [6] *Vodná fajka* [online]. Dolný Kubín: RUVZ [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.ruvzdk.sk/wp-content/uploads/2014/06/vodn%C3%A1-fajka-pdf.pdf>
- [7] HINDS, William C. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York: John Wiley, c1999. A Wiley-Interscience publication. ISBN 0-471-19410-7.
- [8] *Fickove zákony* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Fickove_z%C3%A1kony
- [9] VOILAND, Adam. *Aerosols: Tiny Particles, Big Impact*. Earth observatory [online]. Washington, DC: NASA, 2010 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Aerosols>
- [10] ĎURČANSKÁ, Daniela a Dušan JANDAČKA. ANALÝZA METÓD VYHODNOCOVANIA ZNEČISŤOVANIA OVZDUŠIA Z CESTNEJ DOPRAVY. *ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE* [online]. 2014, 85 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/rozborove_ulohy/analyza_metod_vyhodnocovania_znecistovania_ovzdusia_cd_2014.pdf
- [11] *Kouř* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kouř>
- [12] *ATLAS LUDSKÉHO TELA*. London: Marshall Cavendish Books, 1985. ISBN 80-7153-058-1.
- [13] *Dýchacia sústava* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://biopedia.sk/clovek/dychacia-sustava>
- [14] NILSSON, Lennart, David H. INGVAR, Stig NORDFELDT a Rune PETTERSSON. *Ako sa nepoznáme*. Martin: Osveta, 1989. ISBN 80-217-0066-1...
- [15] Daba Lauková. *ANATÓMIA a FYZIOLÓGIA*. Martin: Vydavateľstvo Osveta, 2014. ISBN 978-80-8063-425-4.
- [16] *Transport a depozície aerosolu v dýchacím traktu človeka*. Brno, 2012. Dizertačná práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [17] MIŠÍK, Ondrej. *INHALÁTORY A NEBULIZÁTORY PRO POUŽITÍ V MEDICÍNĚ: PRINCIPY, SPOLEHLIVOST A PROVOZNÍ PARAMETRY*. Brno, 2019. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. František Lizal, Ph.D.
- [18] KRÁTKÝ, BC. ŠTĚPÁN. *POROVNÁNÍ VODNÍ DÝMKY, ELEKTRONICKÝCH CIGARET A KLASICKÝCH CIGARET Z HLEDISKA EMITOVANÝCH ČÁSTIC* [online]. Brno, 2015 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z:

- <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/39680/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Diplomova práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce ING. FRANTIŠEK LÍZAL, PH.D..
- [19] *Třístupňový impaktor pro měření emisí tuhých částic*. Praha, 2019. Diplomova práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc.,
- [20] Vodná fajka. *Wikipedia* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%A1_fajka
- [21] *Glycerol* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Glycerol>
- [22] *Glycerol* [online]. Praha: vodnidymkytabaky, 2023 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.vodnidymkytabaky.cz/eshop/glycerin-99-5-50-m>
- [23] *Melasa* [online]. Bratislava: Aladin, 2023 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.aladin.sk/melasa-do-vodnej-fajky/>
- [24] *Otázky a odpovede na tému fajčenie* [online]. Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky, 2009 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: https://www.uvzsr.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=338:otazky-a-
- [25] Bernd, K., DeGroot, D., Stadtler, H., Coats, S., Carmack, D., Mailig, R., Lidsky, S., & Hauser, C. (2019). Contributions of charcoal, tobacco, and syrup to the toxicity and particle distribution of waterpipe tobacco smoke. *Toxicology Letters*, 313, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2019.06.003>
- [26] G. Wieslander, D. Norback, and T. Lindgren, *Occup Environ Med* 58 (10), 649 (2001).
- [27] Zhang, Z., Kleinstreuer, C., & Hyun, S. (2012). Size-change and deposition of conventional and composite cigarette smoke particles during inhalation in a subject-specific airway model. *Journal of Aerosol Science*, 46, 34–52. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2011.12.002>
- [28] Kleinstreuer, C., & Feng, Y. (2013). Lung Deposition Analyses of Inhaled Toxic Aerosols in Conventional and Less Harmful Cigarette Smoke: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(9), 4454–4485. <https://doi.org/10.3390/ijerph10094454>
- [29] *Aerosol* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerosol>
- [30] Villanti, A. C., Cobb, C. O., Cohn, A. M., Williams, V. F., & Rath, J. M. (2015). Correlates of Hookah Use and Predictors of Hookah Trial in U.S. Young Adults. *American Journal of Preventive Medicine*, 48(6), 742–746. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2015.01.010>
- [31] Kutikova, L., Bowman, L., Chang, S., Long, S. R., Obasaju, C., & Crown, W. H. (2005). The economic burden of lung cancer and the associated costs of treatment failure in the United States. *Lung Cancer*, 50(2), 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2005.06.005>
- [32] *Užívání tabaku v České republice* [online]. Státní zdravotní ústav, 2017 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/szu/aktual/uzivani_tabaku_2017.pdf
- [33] *Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura* [online]. Praha: A. Jäger, V. Gärtnerová, 2017 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/aktuality/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>
- [34] *Aerosol* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerosol>

- [35] BUŘIL, Lukáš. *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.
- [36] *DISCmini* [online]. Praha: Testo s.r.o, 2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: [<https://static-int.testo.com/media/93/51/7e1a41c4e378/Prospekt-testo-discmini.pdf>]
- [37] *Series 3080 Electrostatic Classifiers Operation and Service Manual* [online]. 2009 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: https://cires1.colorado.edu/jimenez-group/Manuals/SMPS_3080_manual.pdf
- [38] SALAŠ, Jiří. *Analytická chemie: učebnice pro středné zdravotnicke školy*. Martin: Vydavateľstvo Osveta, 1988.
- [39] STEJSKAL, David. *Simulátor dýchání*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce ING. FRANTIŠEK LÍZAL, PH.D.

Zoznam použitých symbolov a skratiek

PM ₁₀	Častice do veľkosti 10 μm	—
PM _{2,5}	Častice do veľkosti 2,5 μm	—
PM ₁	Častice do veľkosti 2,5 μm	—
D _{aer}	Aerodynamický priemer	—
τ	Relaxačný čas	s
η	Dynamická viskozita	$N \cdot \frac{s}{m^2}$
C _c	Cunninghamov korekčný faktor	—
d _p	Priemer častice	m
ρ _p	Hustota častice	$\frac{kg}{m^3}$
Stk	Stokesovo číslo	—
U	Rýchlosť prúdenia	$\frac{m}{s}$
HMS	Heat management system	—
RZU	Rýchlo zápalné uhlie	—
WHO	World Health Organization	—
NMR	Nereaktívna matrica	—
LDSA	Lung deposited surface area	—
LHC	Less harmful cigarette	—
CF-PD	Computational Fluid-Particle Dynamics	—
SEM	skenovací elektronový mikroskop	—
TEM	Transmisní elektronový mikroskop	—
DMA	elektrostatický triedič	—
CPC	kondenzačný čítač	—
TLC	Celková kapacita plic	—
FRC	Funkční residuální kapacita plic	—

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Obrázok popisujúci rôzne veľkosti častíc nachádzajúce sa v prírode [7] ...	14	
Obrázok 2: Dýchacia sústava [16]	16	
Obrázok 3: Stavba mechúrikového vrecúška [13]	17	
Obrázok 4: usadzovanie častíc v dýchacom trakte na základe veľkostného spektra [7]	19	
Obrázok 5: Schéma vodnej fajky [20]	21	
Obrázok 6: Porovnanie e-cigariet s konvenčnými cigaretami [3].....	24	
Obrázok 7: Simulácia trajektórie častíc v CFD modele [28]	25	
Obrázok 8: Depozícia častíc v dýchacom trakte [27]	26	
Obrázok 9: Veľkostný rozsah mikroskopov [35].....	28	
Obrázok 10: Častice popola zachytené pomocou SEM pri 2000 násobnom zväčšení [34]	29	
Obrázok 11: Schéma prístroja SMPS [37].....	30	
Obrázok 12: Analytická váha	Obrázok 13: Simulátor dýchania.....	32
Obrázok 14: Schéma zapojenia pre simulátor dýchania	32	
Obrázok 15: prístroj SMPS pri meraní	33	
Obrázok 16: Schéma zapojenia meracej trate	33	
Obrázok 17: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 1. minúty.....	34	
Obrázok 18: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 2. minúty.....	34	
Obrázok 19: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 3. minúty.....	35	
Obrázok 20: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 4. minúty.....	35	
Obrázok 21: Znázorňujúci vykreslenie množstva častíc v závislosti na čase počas 5. minúty.....	36	
Obrázok 22: Znázorňujúci filtráciu pre rôzne veľkostné spektrá pomocou SMPS	36	
Obrázok 23: Znázorňujúci filtráciu v priebehu času pomocou SMPS.....	37	

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Vlastnosti častíc pri rôznych podmienkach [25].....	23
Tabuľka 2: Výsledné hodnoty pre porovnanie účinnosti vody	37
Tabuľka 3: Výsledné hodnoty pre porovnanie kokosových a rychlozápalných uhlíkov	37