

VEĽKOSŤ POLIETAVÝCH ČASTÍC A ICH DEFINÍCIA PRE VZORKOVANIE ZO ZDRAVOTNÉHO HĽADISKA.

THE FRACTION OF AIRBORNE PARTICLES AND THEIR DEFINITIONS FOR HEALTH-RELATED SAMPLING

Szabó, G.

Abstract

The fraction of airborne particles which is inhaled into a human body depends on the properties of the particles, the speed and direction, of air movement near the body, the rate of breathing, and whether breathing is through the nose or mouth. Inhaled particles can be deposited somewhere in the respiratory tract. Particles can cause damage close to the deposition site if they are corrosive, radioactive, or capable of initiating some other type of damage and can be transported to another part of the respiratory tract or body, where they can be absorbed or cause a biological effect. There is a wide variation from one person to another in the probability of particle inhalation, deposition, reaction to deposition, and clearance. Nevertheless, it is possible to define conventions for size-selective sampling of airborne particles when the purpose of sampling is health-related. These are relationships between the aerodynamic diameter and the fractions to be collected or measured, which approximate to the fractions penetrating to regions of the respiratory tract under average conditions. Measurement conducted according to these conventions will probably yield a better relationship between measured concentration and risk of disease. International Standard ISO 7708 contains the conventions.

ÚVOD

Znečisťovanie ovzdušia tuhými časticami je odpradávná známa skutočnosť ako doprovodný jav dejov v prírode a aktivity človeka. Tuhé častice v ovzduší, na rozdiel od molekúl plyných znečisťujúcich látok sú zastúpené časticami rôznych rozmerov a tvarov. Ľudský organizmus je relatívne dobre vybavený na vnímanie (zaregistrovanie) týchto častíc. Táto skutočnosť umožňuje človeku aktívne reagovať na takto znečistené životné prostredie.

Negatívny vplyv tuhých častíc na človeka od pocitu pohody až po závažné zdravotné problémy pozná každý.

Pri začiatkoch sledovania úrovne znečistenia ovzdušia medzi prvými sledovanými znečisťujúcimi látkami, vďaka technicky jednoduchšej odberovej a vyhodnocovacej metóde, boli aj tuhé častice – polietavý prach. Bola snaha rozlíšiť celkové množstvo tuhých častíc, ktoré sa dostali do ovzdušia podľa rýchlosti sedimentácie – prašný spad a polietavý prach. Polietavý prach predstavuje tuhé častice, ktoré vďaka malej rýchlosti vypadávaní a výstupným prúdom v ovzduší sa zdržiavajú dlhšiu dobu v ovzduší a pod priemerom 20 μm sa prakticky chovajú ako plyn. Ak uvažujeme len tuhé častice bez špecifických účinkov na zdravie človeka (azbest, ťažké kovy, toxické látky) hrubšie frakcie znamenajú menšie nebezpečenstvo vzhľadom na obranný mechanizmus človeka (kašeľ, slzenie).

V doterajšej praxi úroveň znečistenia ovzdušia tuhými časticami sa určila z celkového (totálneho) množstva „polietavej“ hmoty v objemovej jednotke vduchu. Zo skúsenosti vieme, že čím sú častice jemnejšie (majú menší priemer) tým hlbšie sa dostanú v dýchacom trakte. Človek voči jemným frakciám prachu je prakticky bezmocný. Ich účinok sa prejavuje spravidla po niekoľkoročnej expozícii. Je teda koncentrácia celkového množstva polietavého prachu v ovduší v časovom a priestorovom horizonte na ľudské zdravie rovnako nebezpečná? Ako príklad uvedieme bývalé Slovenské magnezitové závody (SMZ). Hlavným argumentom proti vymiestneniu závodu z územia mesta bola skutočnosť, že technickými prostriedkami v priebehu niekoľkých rokov poklesla emisia tuhých častíc z viac ako 9000 ton na množstvo pod 150 ton za rok. Bolo naozaj všetko vyriešené? Dr. Reichertová už pred viac ako 20 rokmi na oponentských pokračovaniach v súvislosti s prevádzkou SMZ upozorňovala na výsledky pokusov, ktoré boli vykonané na zajacoch. Čím jemnejšími frakciami prachu boli vystavené zvieratá, tým miera poškodenia ich pečene bola väčšia. A práve, ani tie najhustejšie priemyselné hadicové filtre nedokážu zadržať všetky častice pod priemerom 6 μm . Z uvedeného ale vyplýva, že práve tých 150 ton za rok zo SMZ obsahovalo tú najnebezpečnejšiu frakciu. Uvedené skutočnosti sú známe vo svete. Vo vyspelejších krajinách, na rozdiel od nás, vedeli po technickej a legislatívnej stránke realizovať a presadiť sledovanie práve tej najnebezpečnejšej zložky tuhých častíc v ovzduší. Ide o sledovanie tuhých častíc pod 10, resp. 2,5 μm . V sieti automatického imisného monitoringu, ktorej

prevádzkovateľom je SHMÚ, Bratislava sú už na niektorých staniciach inštalované odberové hlavice PM10, ktoré zabezpečujú odber častíc pod 10 μm z ovzduší.

Vstupom našej krajiny do EU je nutné zabezpečiť kompatibilitu aj legislatívy v oblasti životného prostredia. Základom pre prijatie príslušnej legislatívy sú dva štandardy, a to medzinárodný štandard ISO 7708 z roku 1995 a európsky štandard EN 12341 z roku 1998. ISO 7708 obsahuje definície veľkosti častice vo frakcii odobraných vzoriek z pohľadu zdravotného. EN 12341 definuje technické parametre odberových aparátúr pre polietavé častice veľkosti PM10, referenčné metódy a terénne testovacie postupy na dôkaz referenčnej rovnocennosti meracích metód. Prvé kroky na prevzatie uvedených štandardov boli urobené už v uplynulom roku. V ďalšej časti nášho príspevku sa podrobnejšie oboznámime s medzinárodným štandardom ISO 7708. EN 12341 je prakticky technickým zabezpečením dohôd v rámci ISO 7708.

MEDZINÁRODNÝ ŠTANDARD ISO 7708 (Prvé vydanie:1995-04-01)

Tento štandard definuje veľkosť častíc vo frakciách odobraných vzoriek z pohľadu zdravotného. Vydala Medzinárodná organizácia pre štandardizáciu (ISO). ISO (Medzinárodná organizácia pre štandardizáciu) je celosvetová federácia národných štandardizačných orgánov (ISO členské orgány). Práce na príprave Medzinárodných štandardov sú zastrešené technickými komisiami ISO. Každý člen má právo presadzovať svoje zámery v odbore pre ktorý bola príslušná technická komisia vytvorená., V náväznosti na ISO, zúčastňujú sa na tejto práci tiež medzinárodné organizácie, vládne a mimovládne organizácie a inštitúcie.

Navrhnuté Medzinárodné štandardy prijaté technickými komisiami sú postúpené členom organizácie na hlasovanie. Uverejnenie Medzinárodného štandardu vyžaduje schválenie najmenej 75 % hlasov členov organizácie.

Medzinárodný štandard ISO 7708 bol pripravovaný Technickou komisiou ISO/TC 146, Kvalita vzduchu.

Toto prvé vydanie, ktoré je výsledkom technickej revízie, ruší a nahradzuje Technickú správu ISO/TR 7708 z roku1983.

Norma obsahuje termín “dohoda”. Pod pojmom dohoda sa rozumie akceptovaný dohovor pre tú-ktorú predmetnú oblasť dýchacieho traktu a príslušnej frakcie zo zdravotného hľadiska.

1. Účel

Frakcie polietavých častíc, ktoré sú inhalované do ľudského organizmu sú závislé od vlastností častíc, od rýchlosti a smeru vetra, od intenzity dýchania a či dýchanie je cez nos alebo ústa. Inhalované častice môžu sa usadzovať v dýchacom trakte, alebo môžu byť vydychnuté. Miesto usadzovania alebo pravdepodobnosť vydýchnutia závisí od vlastností častíc, dýchacieho traktu, spôsobu dýchania a od iných činiteľov.

Tekuté častice alebo rozpustné zložky tuhých častíc usadzované na povrchu tela môžu byť absorbované kožou. Častice môžu spôsobiť poškodenie v mieste usadzovania ak sú leptavé, rádioaktívne, alebo keď sú schopné vyvolať rôzne reakcie. Nerozpustné častice môžu byť transportované do inej časti dýchacieho traktu alebo tela, kde môžu byť absorbované alebo môžu vyvolať biologické reakcie.

Pravdepodobnosť inhalácie častíc, usadzovanie, reakcia na usadeniny a zbavenie sa častíc je individuálne u každého jedinca. Napriek tomu, možno sa dohodnúť na definícii rozmerovo selektívnom vzorkovaní polietavých častíc za účelom odoberania vzoriek pre zdravotné účely. To sú súvislosti medzi aerodynamickým priemerom a frakciami odobratými alebo meranými, ktoré pravdepodobne sú frakcie prenikajúce do oblasti dýchacieho traktu za bežných podmienok. Meranie vykonávané podľa týchto dohôd pravdepodobne lepšie vystihne vzťahy medzi nameranými koncentraciami a nebezpečenstvom (rizikom) ochorenia. Pre ďalšie informácie o faktoroch vplyvu na inhaláciu, usadzovanie a ich využitie pozri Stuart et al. [12], Phalen et al. [9], Lippmann et al. [5], Heyder et al. [3], Mlynár et al. [7], Rudolph et al. [10], Vincent [13], Ogden a Birkett [8] a Soderholm [11].

Účelom tohto medzinárodného štandardu je definovať pravidlo pre vzorkovanie frakčných veľkostí častíc pre odhad možných vplyvov polietavých častíc na zdravie v pracovnom a životnom prostredí. Sú definované inhalačné, hrudníkové a respirabilné frakcie. Inhalačné frakcie sú niekedy nazývané aj ako inšpiračné - výrazy sú rovnocenné. Názvoslovie frakcií je diskutované v prílohe A. Predpoklady sú uvedené v stati 4. Voľba dohody bude závisieť od oblasti pôsobenie jednotlivých vplyvov polietavých častíc. (pozri

stať 3). V tomto Medzinárodnom štandarde dohody sú vyjadrené vo výrazoch pre frakcie hmoty, ale tieto možno používať aj vtedy ak cieľom hodnotenia je celková plocha povrchu alebo počet častíc v odobratých vzorkách. Dohody by sa nemali používať v spojení s hraničnými hodnotami definovanými v iných výrazoch, napríklad pre medzné hodnoty vlákien definované z hľadiska ich dĺžky a priemeru.

2. Definície

Pre účely tohoto Medzinárodného štandardu sú použité nasledujúce definície.

2.1 Dohoda pre vzorkovanie: Cielená špecifikácia pre zariadenie na ober vzoriek, ktorá je približne rovnaká pre každý aerodynamický priemer častice,

- v prípade pre inhaláciu koncentrácia hmoty častíc vstupujúce do dýchacieho traktu zodpovedá koncentrácii hmoty v ovzduší pred tým ako častice sú ovplyvnené prítomnosťou exponovaného jedinca a inhaláciou

- v prípade iných dohôd, pomer koncentrácie hmoty častíc vstupujúcej do určitej oblasti dýchacieho traktu ku koncentrácii hmoty častíc vstupujúcej do dýchacieho traktu. (Tieto ďalšie dohody možno tiež vyjadriť ako pomer hmoty všetkých polietavých častíc.)

2.2 Aerodynamický priemer častíc: priemer pri hustote častíc okolo 1 g/cm^3 , padajúcou s tou istou pádovou rýchlosťou spôsobenou gravitačnou silou pri bezvetří a pri ustálenej teplote, tlaku a vlhkosti vzduchu, (viď stať 4).

POZNÁMKA 1: Pre častice s aerodynamickým priemerom pod $0,5 \text{ }\mu\text{m}$, by sa mal používať difúzný priemer častice namiesto aerodynamického priemeru. Difúzny priemer častice je stredný priemer z okruhu častíc s tými istými difúznymi koeficientami ako častica pri ustálenej teplote, tlaku a vlhkosti vzduchu.

2.3. Inhalačná frakcia: frakcia hmoty všetkých polietavých častíc, ktoré sú inhalované cez nos a ústa.

POZNÁMKA 2: Inhalačná frakcia závisí od rýchlosti a smeru prúdenia vzduchu, intenzity dýchania a od iných; faktorov.

2.4. Inhalačná dohoda: Cielená špecifikácia pre odberové zariadenia, kedy inhalačná frakcia je časťou vplyvu na organizmus.

- 2.5. Priedušnicová frakcia: frakcia hmoty inhalovaných častíc, ktoré neprenikli cez hrtan.
- 2.6. Priedušnicová dohoda: Cielená špecifikácia pre odberové zariadenia, kedy priedušnicová frakcia je časťou vplyvu na organizmus.
- 2.7. Hrudníková frakcia: frakcia hmoty inhalovaných častíc, ktoré prenikli cez hrtan.
- 2.8. Hrudníková dohoda: Cielená špecifikácia pre odberové zariadenia, kedy hrudníková frakcia je časťou vplyvu na organizmus.
- 2.9. Priedušková frakcia: frakcia hmoty inhalovaných častíc, ktoré prenikli cez hrtan, ale neprenikli do vzdušných trás bez rias.
- 2.10. Priedušková dohoda: Cielená špecifikácia pre odberové zariadenia, kedy priedušková frakcia je časťou vplyvu na organizmus.
- 2.11. Respiračná frakcia: frakcia hmoty inhalovaných častíc, ktoré prenikli do vzdušných trás bez rias.
- 2.12. Respiračná dohoda: Cielená špecifikácia pre odberové zariadenia, kedy respiračná frakcia je časťou vplyvu na organizmus.
- 2.13. Celkové polietavé častice: všetky častice, ktoré sú obklopené vzduchom v danom objeme vzduchu.

POZNÁMKA 3: Pretože všetky meracie zariadenia sú selektívne na rozmer v rovnakom rozsahu, je často nemožné merať celkovú koncentráciu polietavých častíc.

3. Princíp

Dohody pre vzorkovanie pripúšťajú, že je inhalovaná len frakcia polietavých častíc, ktorá je v blízkosti nosa a úst. Táto frakcia sa nazýva inhalačnou frakciou (2.3). Niektoré látky podfrakcie ktoré prenikajú cez hrtan, alebo do bezriasových vzdušných trás, majú zvláštny význam pre zdravie.

Tento Medzinárodný štandard predstavuje dohodnuté krivky približujúce inhalované frakcie a podfrakcie prenikajúce cez hrtan alebo do vzdušných trás bez rias. Tieto krivky sú nazývané ako inhalačná dohoda (2.4), hrudníková dohoda (2.8) a respiračná dohoda (2.12). Priedušnicová (2.6) a priedušková (2.10) dohody môžu byť počítané z uvedených. Zariadenia pre vzorkovanie by mali byť v súlade s dohodou pre vzorkovanie vhodné pre oblasť

dýchacieho traktu, kde usadzovanie nameranej látky môže viesť k biologickému efektu. Napríklad, inhalačná dohoda by mohla byť zvolená ak látka môže vyvolať ochorenie hocikde kde je usadzovaná, hrudníková dohoda by mohla byť zvolená ak oblasť je pľúcny lalok, a respiračná dohoda ak oblasť bola rozšírená pre výmenu plynu od respiračných bronchiol po alveoly.

U detí a dospelých s určitými pľúcnyimi chorobami, oblasť priedušiek je veľmi náchylná na zber častíc s malým aerodynamickým priemerom ako u zdravých dospelých jedincov. Je to zrejme z dôvodov pri druhej respiračnej dohode, sústredenej na malé aerodynamické priemery, ktoré korešponujú s prieduškovou dohodou rozšírenou o menšie aerodynamické parametre. Táto priedušková dohoda mala by byť použitá, keď exponovaná populácia obsahuje skupiny „vysokého rizika“ a respiračná dohoda „vysoké riziko“ môže byť použitá za týchto okolností.

Zariadenia môžu byť použité na zber jednotlivých frakcií v súlade s dohodami, alebo môžu zbierať niekoľko frakcií simultánne. Napríklad, zariadenie môže zbierať častice zo vzduchu podľa inhalačnej dohody, a rozdeliť tento materiál do jednotlivých dielov podľa hrudníkovej, prieduškovvej a respiračnej dohody. Eventuálne, zariadenie môže odobrať práve respiračnú časť zo vzduchu. V tomto prípade, by vzorka musela zabezpečiť selekciu na vstupe podľa aerodynamického efektu vo vnútri zariadenia, a potom takáto celková selekcia je v zhode s dohodami. (Požiadavky na zariadenie sú zhrnuté v stati 9).

4. Aproximácia a predpoklady

Aproximácia a predpoklady sú nevyhnutné, ak simulácia, podľa dohody pre vzorkovanie, je veľmi zložitá interakcia premenných, ktoré riadia vstup do dýchacieho traktu a preniknutie.

Dohody sú nevyhnutné len pri aproximácii reakcie dýchacieho traktu a sú známe nasledujúce predpoklady.

- a) Inhalovateľná frakcia závisí od pohybu vzduchu - rýchlosť a smer - od intenzity dýchania, a či dýchanie je cez nos alebo ústa. Hodnoty dané inhalačnou dohodou sú reprezentatívne hodnoty pre intenzitu dýchania, a sú spriemerované pre všetky smery vetra. Je to vhodné pre jednotlivca rovnako vystaveného všetkým smerom vetra alebo

prevážne vystaveného vetru z boku alebo zozadu, ale dohoda obvykle by podhodnotila inhalovanú frakciu väčších častíc pre jednotlivca, ktorý obvykle je obrátený proti vetru.

- b) Respiračné a hrudné frakcie sú rôzne pre každého jedinca v závislosti od spôsobu dýchania a preto dohody sú nevyhnutnými aproximáciami pre priemerný stav.
- c) každá dohoda je aproximácia pre frakciu prenikajúcu do oblasti a nie pre frakciu, ktorá sa usadzuje tu. Vo všeobecnosti, častice sa musia usadzovať pre biologický efekt. Rešpektujúc túto skutočnosť, dohody vedú k preceneniu potenciálneho biologického efektu. Veľmi dôležitým príkladom je, že respiračná dohoda nadhodnocuje frakciu veľmi malých častíc, ktoré sa usadzujú v oblasti vzdušných trás bez rias, pretože frakcie týchto čiastočiek sú exhalované bez priebehu usadzovania. Na mnohých pracoviskách tieto malé častice majú len veľmi malý podiel hmoty v odobratých vzorkách.
- d) Hrudníková dohoda aproximuje, že hrudníková frakcia počas dýchania cez ústa je väčšia ako hrudníková frakcia počas dýchania cez nos. Priedušková dohoda môže teda podhodnotiť „najhorší jav“ prieduškovvej frakcie, ktorá nastáva počas dýchania cez nos.

5 Inhalačná dohoda

Zameranie vzorkovacích kriviek pre odberové zariadenia inhalačnej frakcie, hoci je spriemerizované pre všetky smery vetra, budeme chápať ako pre rýchlosť vetra $u < 4 \text{ m/s}$. Percento E_I z polietavých častíc s aerodynamickým priemerom D (μm), ktoré sú odobraté je dané rovnicou

$$E_I = 50 \cdot (1 + \exp[-0,06 \cdot D]) \quad (1)$$

Niektoré hodnoty od E_I sú dané v tabuľke B.2 a znázornené na obrázku B.1 a B.2.

POZNÁMKA 4: Experimentálne údaje v inhalačnej frakcii zatiaľ nie sú pre $D > 100 \mu\text{m}$, a dohodu nemožno používať pre väčšie častice. Pre rýchlosť vetra $u > 4 \text{ m/s}$, rovnica (2) je navrhnutá experimentálne. Rovnica (2) by nemala byť použitá pre $D > 90 \mu\text{m}$ alebo $u > 9 \text{ m/s}$, ktoré sú limitmi pre experimentálne údaje.

$$E_I = 50 \cdot (1 + \exp[-0,06 \cdot D]) + 10^{-3} \cdot u^{2,75} \cdot \exp[0,055 \cdot D] \quad (2)$$

6. Hrudníková dohoda

Zameranie vzorkovacích kriviek pre odberové zariadenia hrudníkovej frakcie bude nasledovné. Percento E_T z inhalačnej dohody, ktorá je pre odber s aerodynamickým

priemerom D (μm) je dané kumulatívnym log-normálnym rozdelením s mediánom $11,64 \mu\text{m}$ a geometrickou smerodajnou odchýlkou $1,5$. Numerická aproximácia pre jednoduchosť výpočtu je uvedená v prílohe B. Poznnamenávame, že E_T je počítané z inhalačnej dohody. Frakcia celkových polietavých častíc (2.13) s aerodynamickým priemerom D je získaná vynásobením E_T s $0,01 E_I$ z rovnice (1). Získané hodnoty sú obsiahnuté v tabuľke B.1 a B.2 a znázornené na obrázku B.1. Vidieť z tabuliek, že 50% celkových polietavých častíc s $D = 10 \mu\text{m}$ sú hrudníkové frakcie.

7. Respiračná dohoda

7.1. Cieľová populácia: chorý a slabý jedinec, alebo deti

Kedže populácia chce chrániť deti alebo chorých a slabých ("vysoko riziková" skupina), bude zameranie vzorkovacích kriviek odberových zariadení pre respiračnú frakciu nasledovné. Percento E_R podľa inhalačnej dohody, ktoré je odobraté s aerodynamickým priemerom D (μm) je dané kumulatívnym log-normálnym rozdelením s mediánom $2,5 \mu\text{m}$ a geometrickou smerodatnou odchýlkou $1,5$. Numerická aproximácia pre jednoduchosť výpočtu je uvedená v prílohe B. Poznnamenávame, že E_R je frakcia podľa inhalačnej dohody. Frakcia celkových polietavých častíc (2.13) s aerodynamickým priemerom D je získaná vynásobením E_R s $0,01 E_I$ z rovnice (1). Získané hodnoty sú dané v tabuľkách B.1 a B.2 a znázornené na obrázku B.1.

POZNÁMKA 5: Keď populácia je "vysoko riziková" skupina, potom môže byť použitá respiračná dohoda zdravého jedinca a dáva nám jednu veľmi spoľahlivú hranicu. Hlavný účel respiračnej dohody "vysokého rizika" je vytvoriť prieduškovú dohodu "vysokého rizika", ktorá poskytuje lepšiu ochranu pre túto skupinu.

7.2 Cieľová populácia: zdravý dospelý

Percento E_R podľa inhalačnej dohody, ktoré je odobraté s aerodynamickým priemerom D (μm) je dané kumulatívnym log-normálnym rozdelením s mediánom $4,25 \mu\text{m}$ a geometrickou smerodajnou odchýlkou $1,5$. Numerická aproximácia pre jednoduchosť výpočtu je uvedená v prílohe B. Poznnamenávame, že E_R je frakcia podľa inhalačnej dohody. Frakcia celkových polietavých častíc (2.13) s aerodynamickým priemerom D je získaná vynásobením E_R s $0,01 E_I$ z rovnice (1). Získané hodnoty sú dané v tabuľkách B.1 a B.2 a znázornené na obrázku B.1.

8. Priedušnicová a priedušková dohoda

Priedušnicová dohoda je počítaná ako $(E_I - E_T)$ (viď state 5 a 6) pre každý aerodynamický priemer D. Priedušková dohoda je počítaná ako $(E_T - E_R)$ (viď state 6 a 7) pre každý aerodynamický priemer D. Dve prieduškové dohody korešpondujú s dvoma respiračnými dohodami udanými v tabuľkách B.1 a B.2 a znázornené na obrázku B.2. Priedušková dohoda o "vysokom riziku" môže byť použitá ak exponovaná populácia obsahuje aj deti alebo chorých a slabých jedincov.

Tab. B.1 - Jednotlivé dohody vyjadrené ako percento dohody pre inhalovateľné častice

Aerodynamický priemer	Inhalačná dohoda	Hrudníková dohoda	Respiračná dohoda	„Vysoké riziko“ respiračná dohoda	Dohoda pre horné dýchacie cesty	„Vysoké riziko“ dohoda pre horné dýchacie cesty
D μm	E_I %	E_T %	E_R %	E_R %	%	%
0	100	100	100	100	0	0
1	100	100	100	98,8	0	1,2
2	100	100	96,8	70,9	3,2	29,1
3	100	100	80,5	32,6	19,5	67,3
4	100	99,6	55,9	12,3	43,6	87,3
5	100	98,1	34,4	4,4	63,7	93,8
6	100	94,9	19,8	1,5	75,1	93,3
7	100	89,5	10,9	0,6	78,6	89,0
8	100	82,2	5,9	0,2	76,3	82,0
9	100	73,7	3,2	0,1	70,5	73,6
10	100	64,6	1,7	0	63,9	64,6
11	100	55,5	0,9		54,6	55,6
12	100	47,0	0,5		46,5	47,0
13	100	39,3	0,3		39,0	39,3
14	100	32,4	0,2		32,3	32,4
15	100	25,5	0,1		26,5	26,6
16	100	21,6	0,1		21,6	21,6
18	100	14,1	0		14,1	14,1
20	100	9,1			9,1	9,1
25	100	3,0			3,0	3,0
30	100	1,0			1,0	1,0
35	100	0,3			0,3	0,3
40	100	0,1			0,1	0,1
50	100	0			0	0
60	100					
80	100					
100	100					

Tab. B.2 - Jednotlivé dohody vyjadrené ako percento všetkých polietavých častíc

Aerodynamický priemer	Inhalačná dohoda	Hrudníková dohoda	Respiračná dohoda	„Vysoké riziko“ respiračná dohoda	Dohoda pre horné dýchacie cesty	„Vysoké riziko“ dohoda pre horné dýchacie cesty
D μm	E _I %	E _T x E _I %	E _R x E _I %	E _R x E _I %	%	%
0	100	100	100	100	0	0
1	100	100	100	98,8	0	1,2
2	100	100	96,8	70,9	3,2	29,1
3	100	100	80,5	32,6	19,5	67,3
4	100	99,6	55,9	12,3	43,6	87,3
5	100	98,1	34,4	4,4	63,7	93,8
6	100	94,9	19,8	1,5	75,1	93,3
7	100	89,5	10,9	0,6	78,6	89,0
8	100	82,2	5,9	0,2	76,3	82,0
9	100	73,7	3,2	0,1	70,5	73,6
10	100	64,6	1,7	0	63,9	64,6
11	100	55,5	0,9		54,6	55,6
12	100	47,0	0,5		46,5	47,0
13	100	39,3	0,3		39,0	39,3
14	100	32,4	0,2		32,3	32,4
15	100	25,5	0,1		26,5	26,6
16	100	21,6	0,1		21,6	21,6
18	100	14,1	0		14,1	14,1
20	100	9,1			9,1	9,1
25	100	3,0			3,0	3,0
30	100	1,0			1,0	1,0
35	100	0,3			0,3	0,3
40	100	0,1			0,1	0,1
50	100	0			0	0
60	100					
80	100					
100	100					

Numerická aproximácia log-normálneho rozdelenia

Pre výhodnosť výpočtu, nasledujúca aproximácia sa používa pre výpočet E_T a E_R (Hastings[2], Soderholm[11]). Tento vzorec dáva E_T a E_R v percentách.

$$E = 100 (1 - G) \text{ ak } D \leq M$$

$$E = 100 G \text{ ak } D \geq M$$

kde

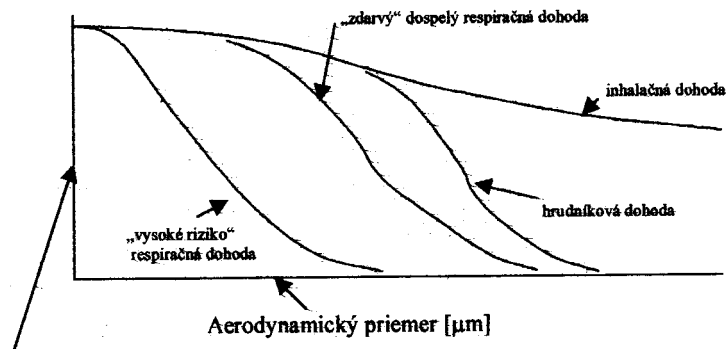
$$G = 0,5 \cdot (1 + 0,14112821 \cdot y + 0,08864027 \cdot y^2 + 0,02743349 \cdot y^3 - 0,00039446 \cdot y^4 + 0,00328975 \cdot y^5)^{-8}$$

y ako absolútna hodnota z $\ln(D/M)/(\sqrt{2} \cdot \ln 1,5)$.

Pre hrudníkovú frakciu, $E = E_T$ ak $M = 11,64 \mu\text{m}$; D je aerodynamický priemer častíc v mikrometroch.

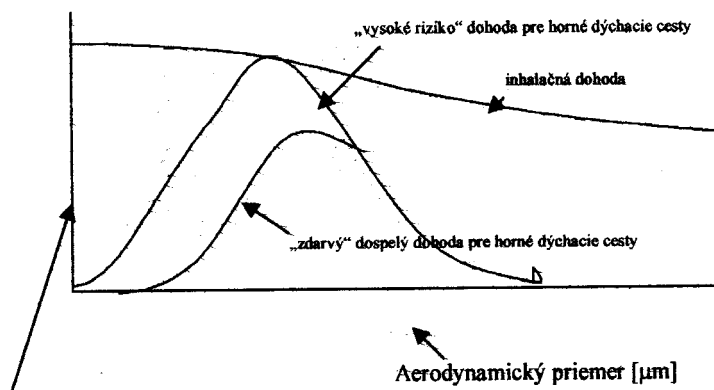
Pre "zdravého jedinca" respirovateľná frakcia, $E = E_R$ ak $M = 4,25 \mu\text{m}$.

Pre "vysoké riziko" respirovateľná frakcia, $E = E_R$ ak $M = 2,5 \mu\text{m}$.



Percento z celkového množstva polietavých častíc v dohode

Obr. B.1 – Inhalačné, hrudníkové a respiračné dohody vyjadrené ako percento zo všetkých polietavých častíc



Percento z celkového množstva polietavých častíc v dohode

Obr. B.2 – Dohody pre horné dýchacie cesty vyjadrené ako percento zo všetkých polietavých častíc

9. Požiadavky na odberové aparátúry

Nie je možné konštruovať zariadenia, ktorých charakteristiky úplne zodpovedajú dohodám v stadiách 5 až 8. V iných prípadoch, skúšobná chyba testovaných zariadení, a pravdepodobná závislosť od iných faktorov ako je aerodynamický priemer, znamená že je

možné len urobiť prevdepodobné vyhlásenie, že charakteristika zariadenia spadá do určitého rozsahu. Porovnaním zariadení s dohodami sa zaoberá iná ISO publikácia. Medzi iným možnosťami, toto pripustí overenie nad obmedzený rozsah premenných ak je to nutné.

ZÁVER

. V sieti automatického imisného monitoringu, ktorej prevádzkovateľom je SHMÚ, Bratislava sú už na niektorých staniciach inštalované odberové hlavice PM10, ktoré zabezpečujú odber častíc pod 10 μm v ovzduší. Sledovanie frakcie prachu pod 2,5 μm (PM2,5) ovzduší je zatiaľ nie je rálne pre technickú náročnosť výroby takejto odberovej hlavice a porovnávacie testy s referenčným zariadením sú zaťažené s veľkou chybovosťou (vykonáva sa len v USA). Vyhodnocovanie úrovne znečistenia ovzdušia polietavými časticami v súlade s medzinárodnou normou ISO 7708 zvyšuje kvalitu posudzovania skutočného dopadu na ľudské zdravie v jednotlivých regiónoch.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: polietavý prach, PM10, ISO 7708, koncentrácia polietavých častíc, aerodynamický priemer častíc, riziko ochorenia

LITERATÚRA

- [1] HAMILTON,R.J.and WALTON,W.H.(1961). Selektívne vzorkovanie vdychovaného prachu. Inhalované častice a výpary (C.N.Da- vies,Ed.),pp.465-475. (Pergamon Press, Oxford).
- [2] HASTINGS,C.(1955). Approximacie pre digitálne počítače. (Princeton University Press).
- [3] HEYDER,J.,GEBHART,J.,RUDOLPH,G.,SCHILLER,C.F.and STAHLHOFEN W.(1986). Depozícia častíc v respirátore človeka v rozsahu 0,005-15 μm .J.Aerosol Sci.,17,pp.811-825. Tiež, Erratum,J.Aerosol Sci.,18,p.353.
- [4] ISO/TR 7708:1983, Kvalita vzduchu – Definície veľkostí frakcií častíc pre vzorkovanie na zdravotné účely.
- [5] LIPPMANN,M.,GURMAN,J.and SCHLESINGER,R.B.(1983). Úloha depozície častice v okupačných pľúcnych ochoreniach. Aerosoly v pracovných prostrediach baní a priemyslu.. (V.A.Marple and B.Y.E.Liu, Eds.) Vol.1,pp.119-137.(Ann Arbor.) ISBN O 250 40531 8.
- [6] LIPPMANN,M.and HARRIS,W.B.(1962). Vzorkovanie častíc podľa veľkosti pre odhad „vdýchovateľnej“ koncentrácie prachu. Phys.,8,pp.155-163.
- [7] MILLER,F.J., MARTONEN,T.B., MENACHE,M.G., GRAHAM,R.C., SPEKTOR,D.M.and LIPPMANN,M.(1985). Vplyv spôsobu dýchania a úrovne aktivity na regionálnu depozíciu inhalovaných častíc a využitia pre štandardy na reguláciu.. Inhalované častice VI (J.Dodgson, R.I.McCallum, M.R.Bailey and D.R.Fisher.Eds.), pp.3-10.(Pergamon Press, Oxford). ISBN 0 08 0341853.

[8] OGDEN, T.L. and BIRKETT, J.L. (1977). Ľudská hlava ako vzorkovač prachu. Inhalované častice IV (W.H.Walton, Ed.), pp.93-105. (Pergamon Press, Oxford.) ISBN 0 08 020560 7.

[9] PHALEN, R.F., HINDS, W., JOHN, W., LIOY, P.J., LIPPMANN, M., McCAWLEY, M., RAABE, O.G., SODERHOLM, S.C. and STUART, B.O. (1986). Úvahy a doporučenia pre vzorkovanie častíc podľa veľkosti na pracovisku. Appl.Ind.Hyg., 1, pp. 3-14.

[10] RUDOLF, G., STAHLHOFEN, W. and JAMES, A.C. (1988). Depozícia aerosólu v horných dýchacích cestách pri dýchaní cez nos a ústa.: medziporovnanie a model. J.Aerosol Med., 1, pp.209-210.

[11] SODERHOLM, S.C. (1989). Navrhované medzinárodné dohody pre selektívne vzorkovanie rôznych veľkostí častíc. Ann.Occup.Hyg., 33, pp.301-320, 35, pp.357-358.

[12] STUART, B.O., LIOY, P.J. and PHALEN, R.F. (1986). Selektívne vzorkovanie rôznych veľkostí častíc pre ustanovenie hraničných limitných hodnôt. Appl.Ind.Hyg., 1, pp.138-144.

[13] VINCENT, J.H. (1989). Veda a prax pre vzorkovanie aerosólov. (John Wiley, Chichester.) ISBN 0 471 92175 0.

KONTAKTNÁ ADRESA:

RNDr. Gabriel Szabó, CSc,

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

Regionálne pracovisko – Košice

Ďumbierska 26, 041 17 Košice

e-mail: szabo@shmuke.shmu.sk