



ZDRAVOTNÍ RIZIKA NANOČÁSTIC PRO ZASAHUJÍCÍ SLOŽKY HZS PŘI POŽÁRECH

Eva Kellnerová *)

ABSTRAKT

Práce řeší problematiku výskytu prachových částic v řádech několika desítek nanometrů v ovzduší. V souvislosti s tím vyvstávají obavy z možné toxicity takových látek. Inhalace aerosolů s vysokým obsahem nanočástic je považována za nejrizikovější cestu jejich vstupu do organismu. Jedním z významných zdrojů těchto složek vzduchu jsou požáry. Příspěvek si klade za cíl posoudit zdravotní rizika inhalace kouře s obvyklým obsahem těchto látek u osob se zvýšenou expozicí v rámci jejich profese u hasičského záchranného sboru (HZS).

Klíčová slova: nanočástice, hasičský záchranný sbor, požár, zdravotní rizika

ABSTRACT

The contribution deals with the issue of incidence of airborne particles in the order of tens of nanometres. Concerns about potential toxicity of such substances are raised in relation to this. Inhalation of aerosols with high content of nanoparticles is considered as the most hazardous entry route into the body. One of the major sources of these constituents of the air is fire. The contribution aims to review the health risks of inhalation of smoke with usual content of these substances in people with increased exposure within their profession at Fire Rescue Service (FRS).

Key words: nanoparticle, Fire Rescue Service, blaze, health risks

ÚVOD

Pracovní vytížení osob účastnících se zásahů při hašení různých druhů požárů v rámci aktivit dobrovolného i profesionálního hasičského záchranného sboru (HZS) často obnáší vyčerpávající pracovní podmínky (práci přesčas v horkém a zakouřeném prostředí, málo příležitostí pro odpočinek mezi navazujícími směnami, izolaci,

*) Mgr. Eva Kellnerová, Kounicova 65, 602 00 Brno, telefon: 973 443151, e-mail: eva.kellnerova@unob.cz

nedostatek spánku apod.). Během hašení jsou zaměstnanci HZS nuceni pohybovat se v prostředí se zvýšenými koncentracemi škodlivých látek v ovzduší. Jedná se mimo jiné o oxid uhelnatý, formaldehyd, akrolein, benzen, a také retardéry hoření. Běžná pracovní náplň těchto osob zahrnuje náročnou fyzickou námahu a schopnost dělat okamžitá rozhodnutí ve velmi závažných a život ohrožujících situacích. Takováto zvýšená zátěž sama o sobě představuje riziko pro tělesné zdraví, psychický a mentální stav všech zúčastněných [1].

Řada současných výzkumných studií však identifikovala další rizikové faktory pro osoby provádějící hasební záchranné akce při různých typech požárů. Ve zvýšené míře se začíná hovořit o velkém výskytu prachových částic v řádech nanometrů přítomných v dýmu, jejichž množství a charakter jsou závislé na druhu spalovaných látek.

1 PROCES VZNIKU NANOČÁSTIC PŘI HOŘENÍ

Emise částic sazí ze spalovacích procesů je významným environmentálním a zdravotním problémem. Ačkoliv existuje mnoho různých zdrojů nanočástic v prostředí, předmětem tohoto příspěvku jsou především nanočástice vznikající při hoření různých typů materiálů při požárech. Výzkumy navíc ukazují, že přítomnost nanomateriálů a nanokompozitů ve spalovaných předmětech má vliv na rychlost emisí nanočástic. Množství emisí přitom závisí především na použité matici, typu spalovacího procesu a povrchové úpravě materiálu. Rizikové materiály zahrnují především různé typy látek v nanoměřítku (Si, Al, Cd, Pb, Ti, uhlíkové nanotrubičky, nanohůlky apod.) [2; 3].

Částice sazí jsou agregáty primárních částic složených z uhlíkových a vodíkových atomů v poměru $H/C = 0,1 - 0,5$, jejichž průměr je 10 – 50 nm. Uhlíkové atomy vytváří náhodně orientované malé krystalky skládající se ze 3 – 4 turbostaticky skládaných aromatických vrstev vázaných van der Waalsovými silami. Díky stupňovaným transformacím předchozích prekurzorů není pravděpodobně možné určit přesnou chemickou strukturu látek přímo vedoucích ke vzniku prvního jádra saze. Saze se vytváří v několika mezifázích především z alkylovaných a alifaticky vázaných polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) různých velikostí (od polymerních struktur až k nanočásticím) [3; 4].

Rozhodující krok vedoucí ke vzniku částic sazí dosud není objasněn. Bylo zjištěno, že acetylen (C_2H_2) a PAH jsou v tomto procesu velmi významné. Převažuje hypotéza, že první částice sazí se vytvoří koalescencí dvou plynných PAH. Navíc jsou znalosti o rychlosti této reakce nepřesné. Jevy probíhající na povrchu částic zahrnují C_2H_2 a rozšiřují se heterogenní reakcí mezi plynnými PAH a aktivními místy na povrchu částic sazí. Při vyšších teplotách mohou jádra kondenzovat s parami. Naopak při nižších teplotách (doutnající kouře) je hmotnostní frakce částic sazí velmi malá a částice jsou z velké míry formovány kondenzací těkavých organických

sloučenin na jakékoliv dostupné částice povrchu. Celková rychlost je dána zvyšováním množství hmoty sazí a reakčním časem [3; 5].

Objemovou frakci částic lze snadno změřit metodami založenými na útlumu světla. Naopak stanovit počet a velikostní distribuci jednotlivých částic nebo celých agregátů sazí je velmi obtížné. Nejčastěji jsou hodnoty získávány s využitím technik rozptylu světla (Elastic Light Scattering; ELS) nebo zařízení pro velikostní klasifikaci částic na základě jejich pohyblivosti (Differential Mobility Analyser; DMA). Existuje mnoho strategií, včetně kinetických modelů, popisujících proces vzniku nanočástic při požárech. Jako jedny z nejslibnějších jsou prezentovány přístroje pracující na principu optické diagnostiky, např. transmisivní elektronová mikroskopie (TEM), mikroskopie atomárních sil (AFM) nebo skenovací třídič pohyblivosti částic (SMPS) [3].

Poslední výzkumy zaznamenaly bimodální chování hmotnostní distribuce částic získané různými technikami v různých typech požárů. Bimodální hmotnostní struktura koexistence primárních částic a nanočástic je připisována především složce PAH a prekurzorovým částicím sazí (hmotnost > 680 u) [3, 6]. Paliva obsahují obvykle 45 % uhlíku. Předpokládá se, že čerstvé částice kouře jsou složeny z 50 – 60 % organického uhlíku a z 5 – 10 % černého uhlíku ve velikostním rozmezí 100 – 160 nm (objemový průměr cca 250 – 300 nm) [5]. Jsou však popisovány také unimodální a trimodální velikostní distribuce částic sazí při požárech. Částice produkované v předsměšovaných saze tvořících plamenech etylenu a vzduchu vytvářely trimodální hodnoty velikostní distribuce částic (cca mezi 2,4 a 10 nm) [4].

2 VLIV NANOČÁSTIC DÝMU NA ZDRAVÍ

Při lesních požárech a spalování různých komodit je emitováno do atmosféry značné množství pevných částic včetně nanočástic. Nanočástice mohou negativně ovlivňovat veřejné zdraví a radiační bilanci^{**}), jelikož se chovají jako kondenzační jádra^{***}). Zhoršují také kvalitu vzduchu v lokálním měřítku a stávají se tudíž předmětem všeobecného zájmu o zdraví [5; 6]. Královská společnost a Královská akademie inženýrství, sídlící ve Velké Británii, publikovaly závěry potvrzující rizika nanomateriálů pro životní prostředí. V USA poté místní Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) potvrdil, že některé toxické nanočástice (např. azbest, olovo a ultrajemné částice pod 100 nm) mají tendenci akumulovat se v potravním řetězci [7].

Extrémně malá velikost nanočástic umožňuje, aby byly mnohem snadněji vstřebávány lidským tělem (kůží, plicemi a trávicím systémem), než stejné látky v makroměřítcích. Ultrajemné nanočástice vzduchu navíc představují velmi vysokou koncentraci částic na jednotku objemu. Jejich chování uvnitř těla však dosud nebylo zcela probádáno. Hlavní zaměření se soustředí na akumulaci nedegradovatelných nebo

^{**}) radiační bilance atmosféry – rozdíl množství záření pohlceného a vyzářeného atmosférou

^{***}) kondenzační jádro – velmi drobné aerosolové částice v atmosféře Země, které mají vhodné fyzikální a chemické vlastnosti ke kondenzaci vodních par na jejich povrch

pomalu degradovatelných nanočástic v orgánech (epitel, endotel, neurony apod.). Chování nanočástic je funkcí jejich velikosti, tvaru a povrchové reaktivity s okolními tkáněmi. Fagocyty mohou být přesyceny nanočásticemi, které mohou působit jako spouštěč stresových reakcí vyvolávajících záněty a oslabení obranyschopnosti proti patogenům. Nanočástice mají také tendenci adsorbovat se na povrch některých makromolekul, což může ovlivňovat regulační mechanismy enzymů a jiných proteinů. Uvnitř lidského těla mohou tyto látky napomáhat ke vzniku volných radikálů a mají velký potenciál překročit hematoencefalickou bariéru. V neposlední řadě se na jejich toxickém působení podílí chemické složení materiálů, ze kterých jsou vytvořeny [7; 6; 8].

Ve studii *in vivo* zaměřené na zdravotní rizika vyvolávaly nanočástice dýmu ve zvýšené míře inhibici a apoptózu endoteliálních buněk, částečně potom také rostoucí produkci některých fosfolipidů. Z lékařského hlediska je významný především jejich negativní vliv na plicní a kardiovaskulární systém. Tento proces je však dosud předmětem intenzivních výzkumů. Převažující hypotéza uvádí, že částice inhalované plicemi mohou spouštět zánětlivou odpověď v alveolech s následným systémovým zánětlivým efektem ústícím v poškození kardiovaskulárního systému. Další verze pracuje s teorií, kdy malá velikost umožňuje inhalovaným nanočásticím proniknout alveolární membránou a vstoupit do krevního řečiště, kde přímo ovlivňují cévní endotel. Mohou také spouštět smyslové receptory na povrchu alveol a vyvolat poškození autonomního nervového systému, které může vést k nepřímému poškození kardiovaskulárních funkcí. Osoby pohybující se v blízkosti zdrojů nanočástic dýmu jsou proto ve zvýšené míře vystaveny výše zmíněným zdravotním rizikům než běžná populace [6; 8; 1].

3 VÝSKYT PŘÍZNAKŮ INHALACE NANOČÁSTIC MEZI HASIČI

Při hašení požárů jsou zasahující lidé vystaveni působení koncentrovaných škodlivých pevných částic a nanočástic ve vzduchu, které vznikají při procesu hoření. Ačkoliv jsou hasiči při zásazích povinni nosit osobní ochranné pracovní prostředky (OOPP) pro ochranu před inhalací kouře, vystavení toxickým rizikům je předmětem zájmu, protože při hašení nejsou pomůcky nošeny nepřetržitě. Častým důvodem je nízká koncentrace dýmu. U záchranářů HZS podílejících se na odklizení následků útoku na Světové obchodní centrum 11. září roku 2001 se vyskytly příznaky akutních a chronických zdravotních příznaků v důsledku inhalace kouře (především útlum pulmonální funkce, respirační symptomy a bronchiální hyperaktivita). Další symptomy jako gastroezofageální reflux či sinusitida převládaly po další 4 roky po expozici [1; 9].

V současné literatuře je bohužel nedostatek prací zaměřených na přímé hodnocení vlivu zvýšené inhalace nanočástic u profesionálních hasičů. Převážná většina výzkumných prací posuzuje zdravotní rizika exponovaných hasičů z hlediska celkového efektu kouře na jejich zdravotní stav. Ve studii zaměřené na hodnocení zdravotního stavu 204 hasičů a 68 policistů, kteří se zúčastnili zásahů při rozsáhlých

lesních požárech v Izraeli v roce 2010, byl zaznamenán vyšší výskyt příznaků u policistů ve srovnání s hasiči. Značné rozdíly v používání OOPP jsou jedním z možných vysvětlení tohoto fenoménu. Dalším možným vysvětlením je, že jsou hasiči díky častým profesionálním zásahům lépe vybaveni ke zvládnutí rizik, které souvisí s lesními požáry. Je možné, že si požárníci vyvinuli vysokou odolnost zejména při reakcích na požární krizové situace [1].

Výzkum orientovaný na výskyt bronchiální hypersenzitivity, atopie a plicních funkcí mezi 402 hasiči z Nizozemí vystavenými účinkům požáru odhalil souvislosti mezi množstvím požárů a výskytem bronchiální hypersenzitivity u zasahujících osob. Výsledky naznačují, že atopie je rizikovější než bronchiální hypersenzitivita. Ze všech respiračních symptomů se u respondentů v nejvyšší míře vyskytovalo sípání, krátký dech, probuzení krátkým dechem, kašel a zahlenění v zimním období. Výskyt všech příznaků uvádí tabulka 1 [9].

Tabulka 1 Obecné respirační symptomy

Obecné respirační symptomy	Počet osob	%
Sípání během posledního roku	40	10,0
Sípání a krátký dech během posledního roku	30	7,5
Buzení krátkým dechem během posledního roku	14	3,5
Kašel po probuzení během zimy	26	6,5
Kašel přes den/noc během zimy	38	9,5
Zahlenění po probuzení během zimy	22	5,5
Zahlenění přes den/noc během zimy	20	5,0
Dušnost při chůzi po rovině	4	1,0
Měl/a jste astma?	34	8,5
Bylo astma diagnostikováno lékařem?	34	8,5
Nával astmatu během posledního roku	3	0,7
Medikace astmatu	10	2,5

Výskyt bronchiální hypersenzitivity byl ve zvýšené míře zaznamenán mezi osobami s atopickým ekzémem. Profesionální zatížení kouřem, prachem a plyny bylo spojeno se zvýšenou bronchiální reaktivitou mezi nekuřáky a tyto projevy byly silnější mezi osobami s atopickým ekzémem. Podobné souvislosti nebyly prokázány dříve, před expozicí osob účinkům kouře. Nebyly nalezeny žádné náznaky modifikací účinku mezi výskytem atopického ekzému a kouřením odděleně a kombinovaně. Podobně nebyly nalezeny souvislosti mezi různě silnými kuřáky (nekuřáky, příležitostnými kuřáky a kuřáky). Celkově byla zjištěná prevalence respiračních potíží mezi hasiči poměrně nízká. Z tohoto úhlu pohledu je vysoký výskyt astmatu mezi zaměstnanci v této profesi značný [9].

ZÁVĚR

Príspevek reviduje na základě nejnovějších výzkumů současnou úroveň znalostí týkajících se výskytu zdravotních rizik a příznaků vyvolaných expozicí nanočásticím

u hasičů účastnících se zásahů při požárech. Při zpracovávání studie nebylo možné vycházet ze závěrů výzkumů, které by prokazovaly přímý vliv nanočástic dýmu na zdraví zkoumaných osob. Převážná většina prací se zaměřuje na celková zdravotní rizika vyplývající z časté přítomnosti při hašení různých druhů požárů, působící na zaměstnance HZS komplexně. Pouze nízký počet studií posuzuje zdravotní příznaky přímé zvýšené inhalace kouře objevující se mezi těmito hasiči. Výskyt bronchiální hypersenzitivity byl ve zvýšené míře zaznamenán u osob s atopickým ekzémem. Ze všech respiračních symptomů se u respondentů v nejvyšší míře vyskytovalo sípání, krátký dech, probuzení krátkým dechem, kašel a zahlenění v zimním období [9]. Na základě prokázaného negativního vlivu nanočástic dýmu na pulmonální a kardiovaskulární systém lze předpokládat, že se jedná o jeden z hlavních faktorů vzniku těchto příznaků.

Bylo prokázáno, že dlouhodobá inhalace nanočástic při požáru má negativní vliv na kardiovaskulární a pulmonální systém. Proto je třeba zdůraznit nezbytnost znalostí o správném používání a důsledného dodržování nošení OOPP u všech osob účastnících se hašení požárů. Pro relevantní závěry o účinku nanočástic kouře na lidské zdraví je třeba provést další studie. Interdisciplinární výzkum zaměřený na účinek expozice nanočásticím v aerosolech je hlavním předmětem zájmu pro pokrok řešené problematiky. V rámci řešení své dizertační práce s názvem „Možnosti zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví příslušníků bezpečnostních složek“, bude řešena tato problematika. Práce pracuje se závěry studie realizované na Ústavu analytické chemie akademie věd ČR „Studie transportu inhalovaných nanočástic olova a kadmia a jejich alokace v orgánech“.

LITERATURA

- [1] AMSTER, E. D. et al.: Occupational Exposures and Symptoms among Firefighters and Police during the Carmel Cohort Study. *The Israel Medical Association Journal*: 2013, vol. 15, p. 288 – 292.
- [2] MOTZKUS, C. et al.: Aerosols emitted by the combustion of polymers containing nanoparticles. *Journal of nanoparticle research*. 2012, vol. 14, p. 687 – 704.
- [3] DESGROUX, P.; MERCIER, X.; THOMSON, K. A.: Study of the formation of soot and its precursors in flames using optical diagnostics. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2013, vol. 34, p. 1713 – 1738.
- [4] MINUTOLO, P. et al.: Surface enhanced Raman spectroscopy (SERS) of particles produced in premixed flame across soot threshold. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2011, vol. 33, p. 649 – 657.
- [5] KUMAR, P. et al.: Nanoparticle emissions from 11 non-vehicle exhaust sources exhaust – A review. *Atmospheric environment*. 2013, vol. 67, p. 252 – 277.
- [6] PEDATA, P. et al.: Apoptotic and proinflammatory effect of combustion-generated organic nanoparticles in endothelial cells. *Toxicology Letters*. 2013, vol. 219, p. 307 – 314.

- [7] THOMAS, S. P.; AL-MUTAIRI, E. M.; DE, S. K.: Impact of Nanomaterials on Health and Environment. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2013, vol. 38, p. 457 – 477.
- [8] SILVA, L. F. O.; BOIT, K. M.: Nanominerals and nanoparticles in feed coal and bottom ash: implications for human health effects. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011, vol. 174, p. 187 – 197.
- [9] GREVEN, F. et al.: Lung function, bronchial hyperresponsiveness, and atopy among firefighters. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2011, vol. 37, no. 4, p. 325 – 331.