



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR INŽENÝRSTVÍ RIZIK

DEPARTMENT OF RISK ENGINEERING

RIZIKA VÝSKYTU JEMNÝCH A ULTRAJEMNÝCH ČÁSTIC V PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ KONKRÉTNÍHO PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU

RISK OF PRESENCE OF FINE AND ULTRAFINE PARTICLES AT WORK PLACE OF SPECIFIC INDUSTRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Alena Hájková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jana Victoria Martincová, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Studentka: **Ing. Alena Hájková**
Studijní program: Řízení rizik technických a ekonomických systémů
Studijní obor: Řízení rizik technických systémů
Vedoucí práce: **Ing. Jana Victoria Martincová, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22
Ústav/odbor: Odbor inženýrství rizik

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 diplomové práce:

Rizika výskytu jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí konkrétního průmyslového podniku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zhodnocení současného stavu problematiky jemných a ultrajemných částic v průmyslovém podniku.

Výběr vhodných měřících přístrojů a vhodné metody pro posouzení vlivu expozice jemných a ultrajemných částic na zdraví pracovníků.

Návrh opatření vedoucích ke snížení negativního dopadu na zdraví.

Vyhodnocení dosažených výsledků.

Závěr a doporučení pro praxi.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je zhodnocení možných zdravotních rizik plynoucích z výskytu jemných, ultrajemných částic a nanočástic v pracovním prostředí. Na základě výsledků měření povedou nové poznatky k tvorbě podpůrných opatření, doporučení a návrhu implementace do procesu výroby. Jedná se o konkrétní průmyslový podnik zabývající se automotive.

Seznam literatury:

SKŘEHOT, A. P., RUPOVÁ, M. Nanobezpečnost. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2011. 240 s. ISBN 978-80-86973- 89-0.

ČSN P CEN ISO/TS 27687. Nanotechnologie – Termíny a definice nanoobjektů – Nanočástice, nanovlákná a nanodeska. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 16 s. Třídící znak 012011.

Zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce. Praha: Ústav práva a právní vědy, 2014. Právo a management. ISBN 978-80-87974-02-5.

TICHÝ, M. Ovládání rizika: analýza a management. Praha: C.H. Beck, 2006. 396 s. ISBN 80-7179-415-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.
ředitel

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá riziky výskytu jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí průmyslového podniku zaměřeného na automotive. V úvodní části práce je analyzován současný stav poznání vymezující základní pojmy, vlastnosti, způsoby měření a zdravotní rizika spojená s jemnými a ultrajemnými částicemi. Další část rešerše je zaměřena na právní rámec vztahující se k expozici jemným a ultrajemným částicím na pracovišti a řízení pracovních rizik v obecné rovině. V experimentální části práce jsou popsány měřicí přístroje a podmínky měření v průmyslovém podniku. Rovněž jsou zde prezentovány výsledky jednotlivých měření orientována na inhalační expozici. Na základě získaných dat byla navržena technická a organizační opatření ke snížení potenciálních zdravotních rizik pracovníků spojených s expozicí jemných a ultrajemných částic. Závěr práce shrnuje dosažené výsledky a doporučení pro praxi.

Abstract

Submitted Master's thesis deals with risks of fine and ultrafine particles occurrence in the industrial workplace area of automotive production. The introductory part has been analyzing the contemporary state of art defining basic terms, qualities, ways of measurement and health risks involved with fine and ultrafine particles. Furthermore, the research deals with the legal framework based around fine and ultrafine particles exposure in the workplace and the management of work-related risks in general. The experimental part of the thesis describes devices and conditions of measurement in the industrial company. The results of each measurement have been presented with the emphasis on inhalant exposure. Technical and organizational measures have been proposed on the basics of obtained results to reduce potential health risks of employees involved in exposure of fine and ultrafine particles. Final chapter of the thesis concludes obtained results, findings and in practice recommendations.

Klíčová slova

Posouzení rizik, měření expozice, jemné a ultrajemné částice, lidské zdraví, pracovní prostředí.

Keywords

Risk assessment, exposure measurement, fine and ultrafine particles, human health, workplaces.

Bibliografická citace

HÁJKOVÁ, Alena. *Rizika výskytu jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí konkrétního průmyslového podniku*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135661>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor inženýrství rizik. Vedoucí práce Ing. Jana Victoria Martincová, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Rizika výskytu jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí konkrétního průmyslového podniku“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně, dne 27.05.2022

.....

Podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat v první řadě paní Ing. Janě Victorii Martinové, Ph.D. za cenné připomínky a trpělivost při zpracování této práce. Dále patří velké díky panu Bc. Jiřímu Hájkovi, který mi po celou dobu pomáhal a řešil se mnou všechny problémy, na které jsem při psaní narazila (Díky Jirko!). Děkuji celé mé rodině, že mě po celou dobu studií podporovala a vydržela všechny moje nálady (a že jich bylo hodně). Nemalé díky patří i všem mým přátelům, kteří (i když nechápou, co studuji) stojí při mně.

OBSAH

OBSAH	8
1 ÚVOD	10
2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.....	11
2.1 Tuhé zněčišťující látky.....	11
2.1.1 <i>Aerosol</i>	12
2.1.2 <i>Dělení TZL</i>	13
2.1.3 <i>Interakce s organismem</i>	16
2.1.4 <i>Vliv na lidské zdraví a životní prostředí</i>	18
2.1.5 <i>Nemoci z povolání</i>	19
2.2 Legislativní požadavky	23
2.2.1 <i>Legislativa EU</i>	23
2.2.2 <i>Legislativa ČR</i>	25
2.3 Metody měření aerosolu v pracovním prostředí.....	29
2.3.1 <i>Principy měření</i>	29
2.3.2 <i>Strategie měření</i>	32
2.4 Rizika na pracovišti	35
2.4.1 <i>Hodnocení pracovních rizik</i>	37
2.4.2 <i>Prevence</i>	38
2.4.3 <i>Online nástroje pro řízení rizik nanomateriálů na pracovišti</i>	41
2.4.4 <i>Control Banding</i>	42
3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ	44
4 POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ.....	45
4.1 Sběr informací	45
4.2 Základní zhodnocení expozice	46
4.2.1 <i>Použité přístroje</i>	46
4.2.2 <i>Průběh měření</i>	48
5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY.....	51
5.1 Zpracování naměřených dat.....	51
5.1.1 <i>Data z CPC</i>	51
5.1.2 <i>Data z OPS</i>	53
5.2 Provedená Měření	54
5.2.1 <i>Měření 10.12.2021</i>	55
5.2.2 <i>Měření 06.01.2022</i>	57

5.2.3	<i>Měření 07.01.2022</i>	59
5.2.4	<i>Měření 11.01.2022</i>	60
5.2.5	<i>Měření 12.01.2022</i>	62
5.2.6	<i>Měření 24.01.2022</i>	63
5.2.7	<i>Měření 25.01.2022</i>	65
5.2.8	<i>Měření 26.01.2022</i>	67
5.2.9	<i>Měření 27.01.2022</i>	69
5.3	Výsledky z AirChek Filtru	71
5.3.1	<i>Měření 06.01.2022</i>	71
5.3.2	<i>Měření 25.01.2022</i>	74
6	ANALÝZA VÝSLEDKŮ A NÁVRH OPATŘENÍ	76
6.1	Návrh opatření	79
7	ZÁVĚR	81
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	83
	SEZNAM TABULEK	87
	SEZNAM GRAFŮ	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM ZKRATEK	89
	SEZNAM PŘÍLOH.....	90

1 ÚVOD

Celý vesmír je tvořen atomy, částicemi tak malými, že je jejich velikost pro běžného člověka těžko představitelná. Více atomů tvoří molekuly a připojováním dalších molekul vznikají větší a větší celky, které už mohou být lidskému oku viditelné a snadněji představitelné. Škodlivým částicím, které člověk vidí, je snadné se bránit. Ale opravdové nebezpečí s sebou mohou nést částice, které nejsou pouhým okem viditelné a obyčejný člověk si jejich existence nemusí být vůbec vědom. Zdravé lidské oko by mělo být schopno rozeznat tělísko o velikosti 70 μm ze vzdálenosti 25 cm. V případě hrubých (PM_{10}), jemných ($\text{PM}_{2,5}$) a ultrajemných částic ($\text{PM}_{0,1}$) je ale řeč o velikostech v řádu nízkých desítek a spíše jednotek mikrometrů. V případě nanočástic je, jak název napovídá, jejich velikost v rozmezí 1 až 100 nm [1], [2].

Jemné a ultrajemné částice jsou na planetě odjakživa. Zdroj těchto částic může být přírodní (plná adaptace životním prostředím), například sopečné erupce, požáry lesů a pralesů, odpařování oceánů, mikroorganismy či plísňe, ale také antropogenní (částečná adaptace životním prostředím), například spalování uhlí, dřeva nebo ropy, těžba, různé průmyslové technologie aj. Novou skupinou jsou syntetické zdroje (jedná se o materiály s definovanou strukturou, které jsou pro životní prostředí nové). Částice vznikající při průmyslových procesech ohrožují zejména pracovníky, kteří jsou expozici jemných a ultrajemných částic vystaveni na svém pracovišti po celou pracovní dobu. Často si ani sami neuvědomují rizika spojená s těmito částicemi. Bohužel tento fakt podporuje i nedostatek studií zabývajících se vlivem zmíněných částic na lidské zdraví z dlouhodobého hlediska a chybějící legislativa s nastavením vhodných limitních hodnot. Tento přístup se ale mění a společnost si začíná ve větší míře uvědomovat závažnost tohoto problému jak na poli lidského zdraví, tak životního prostředí. Problematika ochrany lidského zdraví ve vztahu k profesionální expozici nanočásticemi zůstává otevřenou otázkou a současně výzvou k výzkumu v mnoha oblastech [3].

Tato diplomová práce si klade za cíl zmapovat aktuální stav výskytu jemných a ultrajemných částic v konkrétním průmyslovém podniku působícím na poli automotive. Rovněž má ambici zhodnotit jejich možný vliv na zdraví pracovníků a navrhnout vhodná opatření ke snížení koncentrace částic na pracovišti.

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Jak bylo zmíněno v úvodu, jemné a ultrajemné částice jsou na zemském povrchu od nepaměti. V případě, že šlo o částice, které vznikly přírodní cestou, dokázaly si organismy díky evolučnímu procesu vytvořit rezistenci a předávat ji na další generace. Dá se předpokládat, že pro zdravého jedince není velkým problémem odolat běžným částicím bez závažného zdravotního poškození. Problém nastává v případě, kdy je člověk vystaven velkému množství částic nebo částicím, které vytvořil on sám a na které není lidské tělo adaptované. Díky technickému pokroku za posledních 200 let je člověk vystaven mnoha zdrojům jemných, ultrajemných částic a nanočástic. Ty byly vytvářeny zejména jako nezamýšlený vedlejší produkt k jiné činnosti, ovšem na přelomu tisíciletí se přihlásily o slovo nanotechnologie a začalo se s cíleným vytvářením nanomateriálů [3].

Příchod nanomateriálů s sebou nese mnoho výhod. Využití nachází v různých odvětvích průmyslu, ať už jde o lehčí a pevnější materiály, solární články, miniaturní procesory, katalyzátory keramické nástřiky a prášky, odolné tkaniny či léky a medikamenty. Nanotechnologieⁱ jsou s oblibou využívány ve spotřebitelském průmyslu pro zlepšení povrchových vlastností (otěruvzdornost, trvanlivost aj.). Velký potenciál je spatřován zejména v elektroprůmyslu, informačních počítačových technologiích atd. S novými technologiemi jde ruku v ruce i obava, že jejich používání může zapříčinit negativní dopad na lidské zdraví či životní prostředí. Ten je vidět například v problematice uvolňování hormonálně aktivních látek do vody a jejich negativního působení na živé organismy (např. změna pohlaví u nedospělých jedinců, úbytek spermií a zvýšená neplodnost atd.) [3], [4].

V této kapitole budou shrnuty poznatky týkající se jemných, ultrajemných částic a nanočástic. Bude řešena problematika jejich výskytu a vlivu na lidské zdraví a legislativní úprava na národní a evropské úrovni. Poslední část kapitoly bude věnována managementu rizik, jejich hodnocení a volbě opatření k jejich snížení.

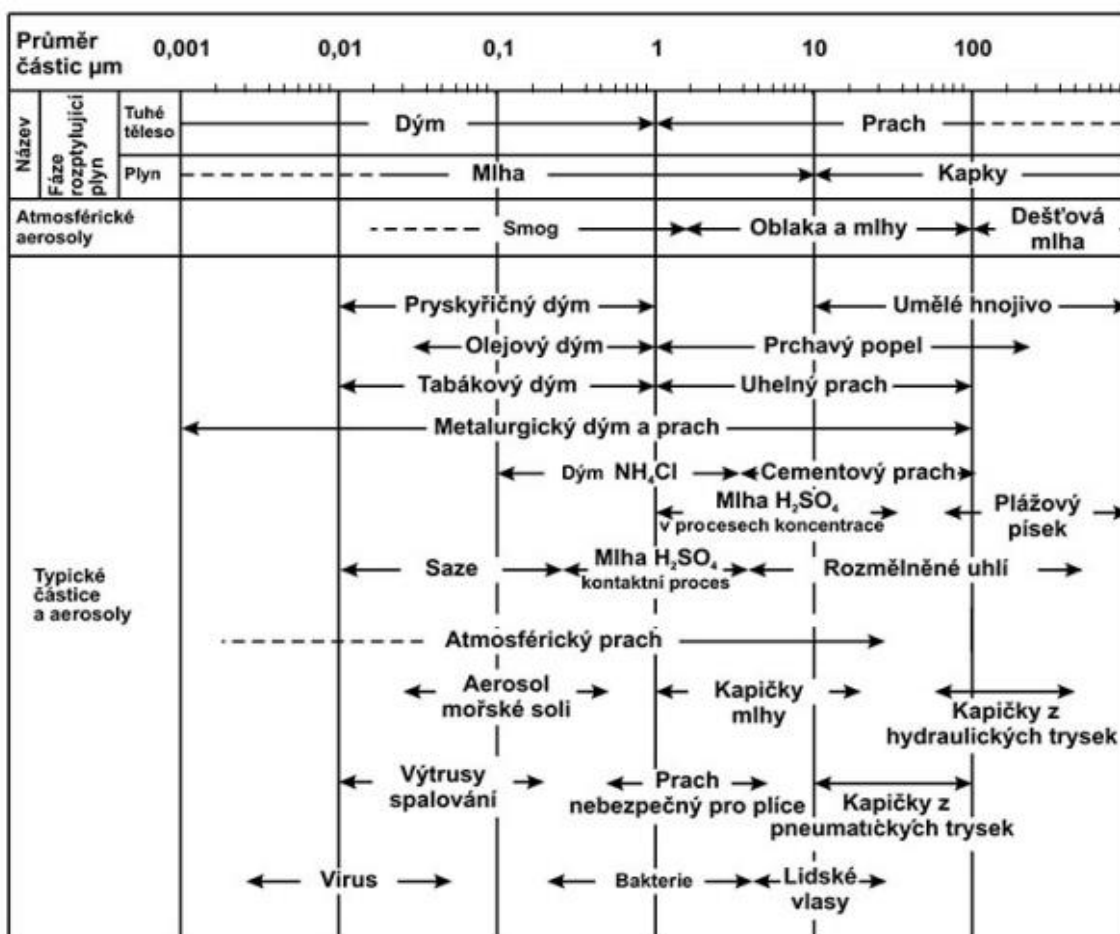
2.1 TUHÉ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Látky, které mají nepříznivý vliv na životní prostředí a lidské zdraví nebo majetek, se obecně označují jako znečišťující látky. Dle skupenství se dále dělí na tuhé, kapalné a plynné. Tuhé znečišťující látky (TZL) je možno v odborné literatuře nalézt pod různými termíny, například pevný nebo tuhý aerosol, polétavý prach, v zahraniční literatuře jsou souhrnně označovány jako Particulate Matter (PM). Tyto látky vznikají na základě přírodních procesů nebo jsou antropogenního původu. Mezi přirozené procesy vzniku patří vulkanická činnost, fotochemické reakce, zvětrávání půdy nebo odpařování mořské vody, které zvyšuje koncentraci těchto látek v přímořských oblastech. Mezi antropogenní procesy se řadí například

spalování (zejména v motorech automobilů a elektrárnách), průmyslové procesy (např. slévárství), těžba a zemědělská činnost [5].

2.1.1 Aerosol

Aerosol je definován jako disperzní soustava s plynným prostředím a kapalným nebo tuhým podílem. Velikost částic je nejčastěji uváděna mezi 1 nm až 100 μm , viz **obr. 1**. Dle skupenství disperzního podílu se aerosoly dělí na mlhy (kapalný podíl), dýmy a prachy (tuhý podíl) a kouře a smogy (tuhý i kapalný podíl). Jako mlha se označuje kapalný aerosol s velikostí kapiček od 10 nm do 10 μm . Prach je tvořen pevnými částicemi o velikosti větší než 1 μm vzniklými při mechanickém zpracování látek, erozí nebo erupcí. Dým, na rozdíl od prachu, vzniká při spalování a velikost částic se pohybuje mezi 1 nm až 1 μm . Kouř vzniká při spalování a obsahuje kromě pevných částí, jako jsou saze a popel, i kapalně kondenzační produkty (voda, dehet). Ke vzniku smogu dochází při kombinaci zvýšené vlhkosti a vysoké koncentrace pevných částic (často je jejich zdrojem spalování). Je tvořen buď pevnými částicemi, na jejichž povrchu začne kondenzovat vzdušná vlhkost a další oxidy, nebo kapičkami mlhy, které jsou pevnými částicemi obaleny [6].

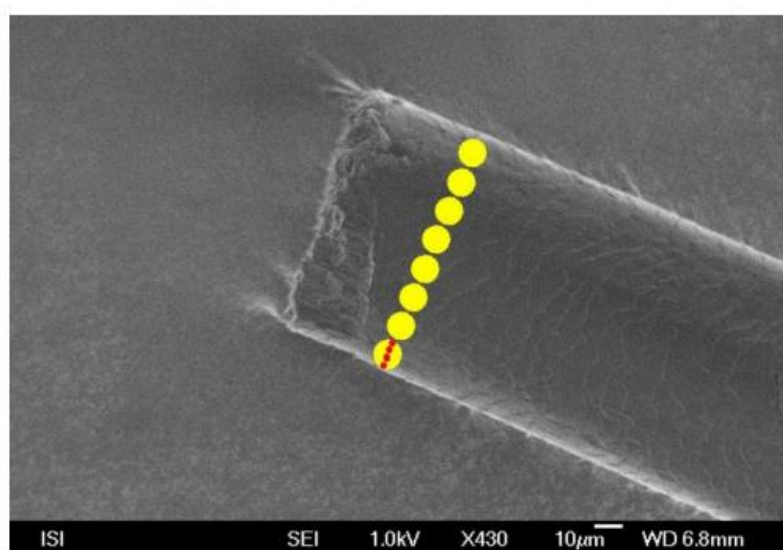


Obr. 1 Velikost částic v aerosolu [7]

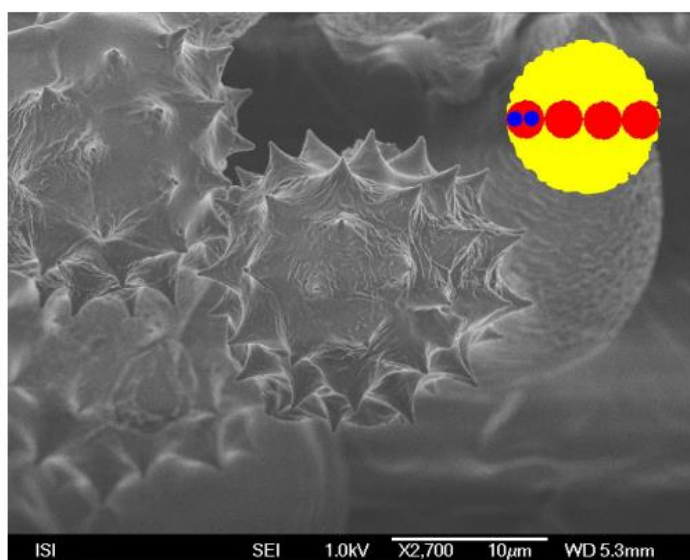
2.1.2 Dělení TZL

Na frakce PM_x

Nejčastěji bývá použito dělení dle velikosti částic. Je přehledné a je to právě velikost, která ovlivňuje zdravotní rizika spojená s TZL. Dle schopnosti prostupovat lidským tělem jsou částice děleny na frakce PM_x . Zkratka PM pochází z výše uvedeného anglického výrazu Particulate Matter a x označuje velikost průměru v μm . Běžně se používá dělení na PM_{10} , PM_4 , $PM_{2,5}$, PM_1 a $PM_{0,1}$. Ve frakci PM_{10} jsou obsaženy částice s aerodynamickým průměrem menším než $10\ \mu\text{m}$, analogicky je tomu u ostatních frakcí. Za aerodynamický průměr se považuje průměr kulové částice o hustotě $1\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Na **obr. 2** a **obr. 3** je uvedeno porovnání jednotlivých frakcí s lidským vlasem [8].



Obr. 2 Porovnání průměrů vlasu a částic PM_{10} (žlutě) a $PM_{2,5}$ (červeně) [9]



Obr. 3 Porovnání velikosti pylového zrna a částic PM_{10} (žlutě), $PM_{2,5}$ (červeně) a PM_1 (modře) [9]

Pro částice ve velikosti od 2,5 do 10 μm je možné použít označení hrubé (z angl. *coarse*), částice s průměrem menším jak 2,5 μm se označují jako jemné (*fine*). Rozlišit, jaké částice patří do frakce ultrajemných částic (*ultrafine*), je poněkud problematické. V některých zdrojích je uváděno, že mezi ultrajemné patří částice s aerodynamickým průměrem menším než 1 μm [10]. V jiných je používána hodnota 0,1 μm [8], [11]. Dle normy ČSN EN ISO 14644-6:2007 se pojem ultrajemná částice používá pro částice o ekvivalentním průměru menším než 0,1 μm .

V literatuře se dále objevuje pojem nanočástice. Dle normy jsou definovány jako částice, které mají všechny tři vnější rozměry v nanostupnici. Ve většině jsou nanočástice řazeny pod ultrajemné částice [12]. Dle doporučení Komise 2011/696/EU se za nanomateriál považuje:

„přírodní materiál, materiál vzniklý jako vedlejší produkt nebo materiál vyrobený obsahující částice v nesloučeném stavu nebo jako agregát či aglomerát, ve kterém je u 50 % nebo více částic ve velikostním rozdělení jeden nebo více vnějších rozměrů v rozmezí velikosti 1 nm – 100 nm“ [2].

Doporučení dále uvádí, že zařazení mezi nanomateriály může být provedeno na základě specifického povrchu na jednotku materiálu. Velikost specifického povrchu je nepřímo úměrná velikosti částice (čím menší částice, tím větší povrch). V případě, že je specifický povrch větší než 60 $\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$, je materiál zařazen mezi nanomateriály [2].

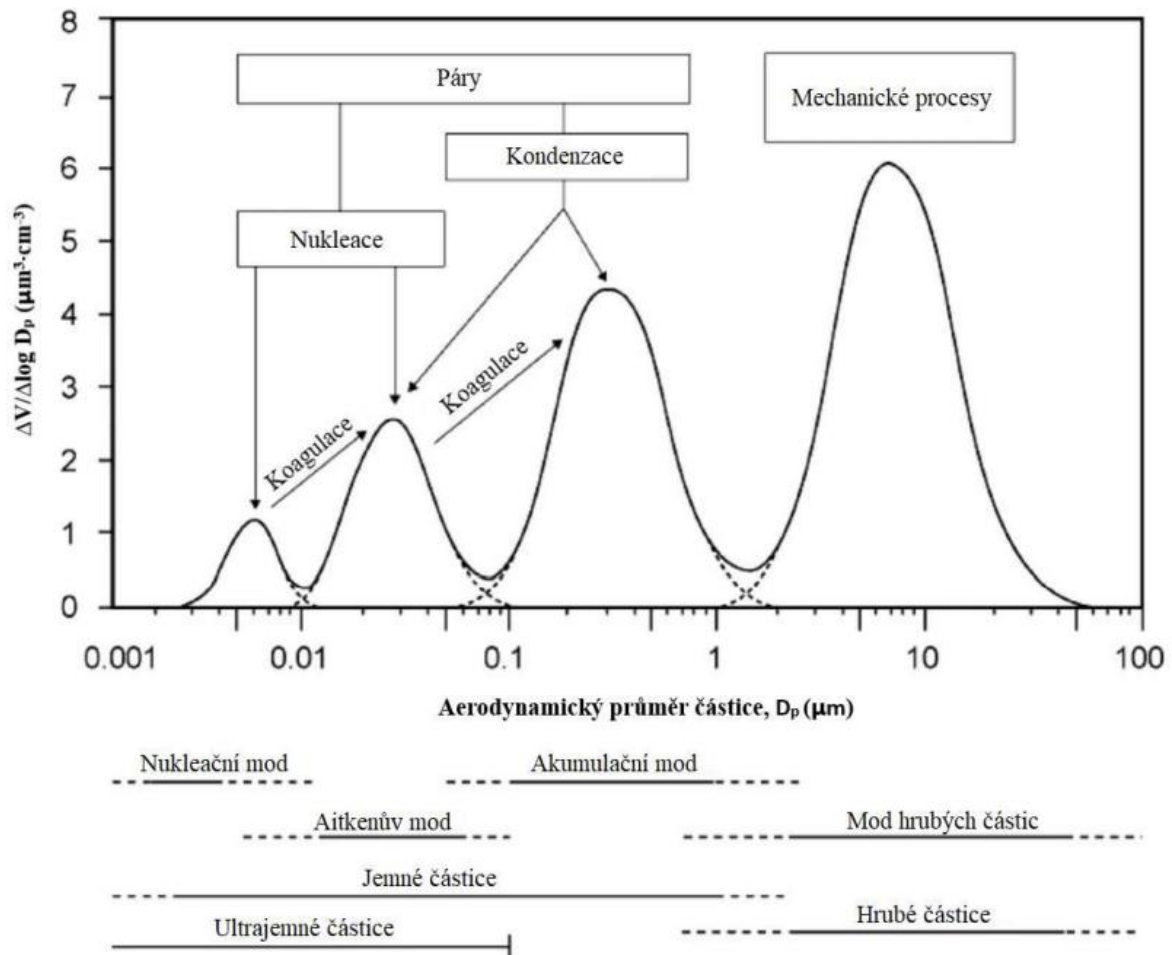
Terminologie v této oblasti není jednotná, proto se pro sjednocení a ujasnění pojmů bude v této práci dodržováno následující rozdělení. Pojmem hrubé částice budou označeny částice s průměrem od 10 do 2,5 μm , částice s průměrem do 2,5 μm budou nazývány jemnými. Částice do 0,1 μm se budou označovat jako ultrajemné částice nebo nanočástice.

Na mody

Dále je možné použít dělení částic na mody. Toto rozložení použil jako první Kenneth T. Whitby v roce 1976, který měřil velikost částic v atmosférickém aerosolu. Mod je maximum log-normální funkce, buď z rozložení hmotnosti, nebo počtu částic. Whitbyho výsledné rozložení obsahovalo tři mody. Mod nukleační obsahoval částice menší než 0,1 μm , do akumulárního modu byly zařazeny částice od 0,1 do 2 μm a mod hrubých částic obsahoval částice větší než 2 μm . S použitím techniky s větší rozlišovací schopností bylo zjištěno, že nukleační mod obsahuje dvě maxima log-normální funkce. V důsledku těchto zjištění byl mezi nukleačním a akumulárním modem vytvořen Aitkenův mod. Formovací mechanismy částic jsou v rámci jednotlivých modů stejné, částice se ale mohou lišit zdrojem původu nebo složením [8].

Vrchol distribuce částic modu hrubých částic se nachází kolem 5 až 30 mikrometrů, vznikají převážně při mechanických procesech (doprava, stavební činnost, větrem rozvířený prach). Akumulační

mod má vrchol distribuce v rozmezí 0,15 až 0,5 μm a jeho částice vznikají při srážce dvou částic do jedné (koagulace) nebo kondenzací plynů na částicích. Vrchol Aitkenova modu se nachází v rozmezí 0,01 až 0,1 μm a částice obsažené v tomto modu vznikají kondenzací, koagulací nebo spalovacími procesy. Nukleační mod obsahuje částice pod 0,01 μm , které vznikají při vysokoteplotních procesech a kondenzaci par [8].



Obr. 4 Demonstrativní rozdělení částic produkovaných v dopravě [8]

Z obr. 4 je patrné, že na částice dvou nejmenších modů (nukleační a Aitkenův) působí kondenzace a koagulace, což vede ke zvětšení jejich objemu. Jejich velikost je nepřímo úměrná rychlosti koagulace a kondenzace, proto se částice zvětšují jen do akumulárního modu. Velikost částic nejvíce ovlivňuje dobu jejich setrvání v atmosféře a vzdálenost, kterou jsou schopny urazit od zdroje [8].

Časy, za které dojde ke klesnutí částice o 1 metr, jsou v závislosti na průměru částice diametrálně odlišné. Předpokladem je klidné vzduchové prostředí a klesání zapříčiněné pouze v důsledku gravitace (gravitační sedimentace). V případě hrubých částic (10 μm) je sedimentace v klidném vzduchu poměrně rychlá a trvá přibližně 6,1 minuty. Desetkrát menší částice ovšem klesá sedm a půl hodiny

a u ultrajemných částic je doba klesání v řádu dnů (304 hodin). Tato dlouhá sedimentační doba je způsobena tzv. Brownovým molekulárním pohybem, který vede k difuzi. Pro malé částice (0,1 μm) je nejdůležitějším transportním mechanismem právě brownovská difuze, která hraje roli i při jejich filtraci či depozici. S rostoucí velikostí částic význam difuze klesá, naopak role gravitace roste [13].

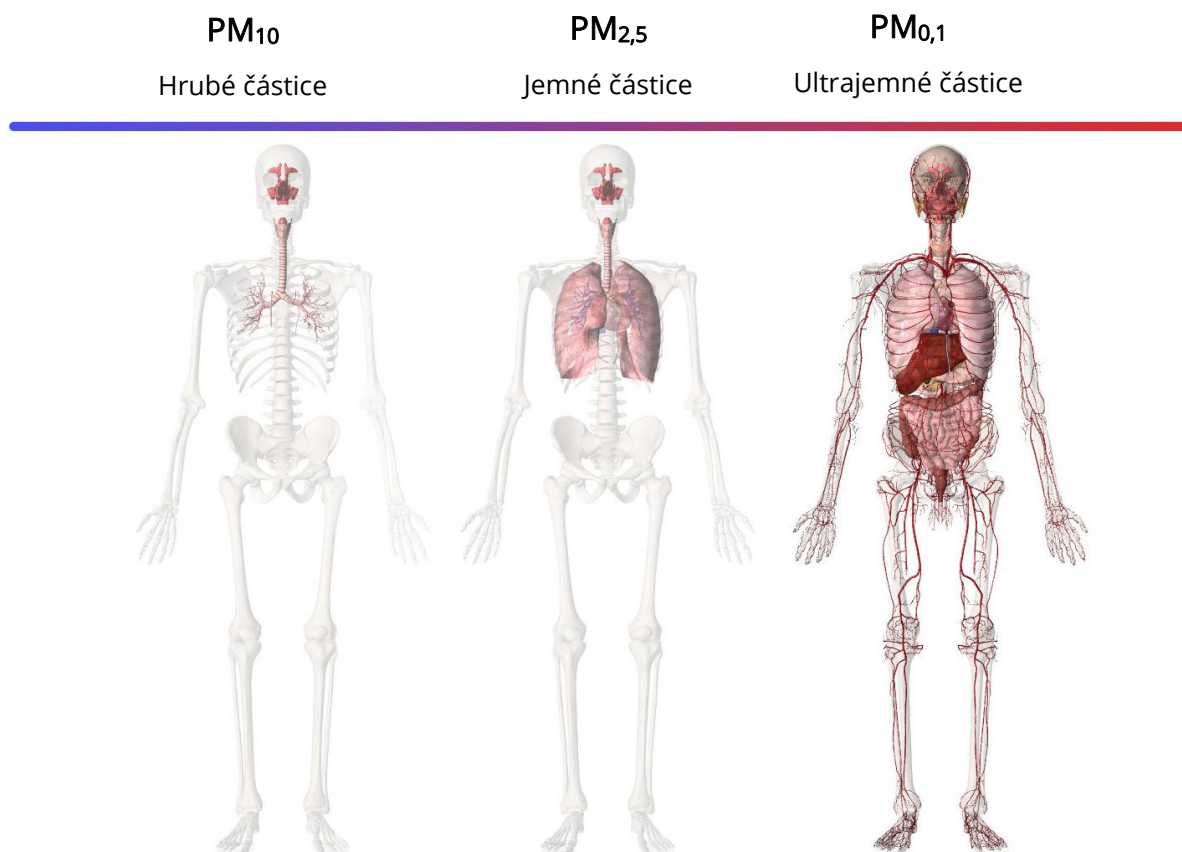
2.1.3 Interakce s organismem

Pro lidský organismus je přirozené přicházet do kontaktu s různými látkami. Při kontaktu s TZL je pro organismus důležité, jak dlouho byl vystaven expozici a jaká byla koncentrace škodlivé látky. Interakce škodlivé látky s organismem nastává v okamžiku, kdy látka pronikne do krevního oběhu. Tomu musí logicky předcházet expozice, při které dochází ke kontaktu s chemickou látkou či aerosolem. Pro vstup látky do organismu existuje několik cest. Nejrychlejší cestou je podání látky intravenózně, tedy přímo do krve přes poškozenou tkáň nebo vpich. Druhou cestou je inhalační expozice, tedy vstup do těla přes dýchací ústrojí. Dalším způsobem je průchod do těla přes kůži a viditelné sliznice (dermální expozice) a poslední cesta může vést přes zažívací ústrojí (perorální expozice) [3].

Inhalační expozice

Nejčastěji dochází k příjmu škodlivých částic přes dýchací soustavu. Dýchání je pro organismus nezbytné, díky tomu jsou plíce velice dobře přizpůsobeny na rychlou výměnu plynů mezi vdechnutým vzduchem a krví. To také znamená, že se do krevního řečiště mohou dostat i dostatečně malé škodlivé částice [3].

Velikost částic ovlivňuje průchod a jejich ukládání v dýchací soustavě. V rámci lidského těla jsou filtrovány ve třech „filtrech“. Prvním filtrem jsou horní cesty dýchací, kde se zachytávají částice průměru větším než 10 mikrometrů. Vysoká koncentrace částic v HCD vede k torbě hlenu a jeho vykašlání či vysmrkání i s částicemi. Hrubé částice postupují do dolních cest dýchacích. Při velikosti 2,5 mikrometru je částice schopna proniknout až do průdušek. Velký problém představují částice od 1 do 3 μm , protože se v průduškách dokážou usadit na velmi dlouhou dobu, což může mít za následek vážná onemocnění. Ultrajemné částice jsou schopny prostoupit až do plic a alveol, odkud mohou být díky krevnímu oběhu transportovány do celého těla (játra, slezina, ledviny, močový měchýř, srdce, kostní dřeň). Prostupnost nanočástic lze významně snížit dýcháním nosem, až 75 % jich je zachyceno v HCD [3], [14]. Na **obr. 5** je zobrazená prostupnost částic jednotlivých frakcí lidským tělem.



Obr. 5 Prostupnost částic lidským tělem [15]

Perorální expozice

Tento způsob je spojen zejména s přijímáním potravin, léčiv, vody nebo použitím kosmetických přípravků. Mohou sem spadat i částice, které se při inhalaci usadí v horních cestách dýchacích a jsou následně spolknuty. Trávicím traktem do organismu pronikají zejména nanočástice, částice o velikosti 1 mikrometr střevní sliznicí téměř nepronikají [3], [14].

Dermální expozice

Kůže, jako největší orgán lidského těla, dokáže organismus ochránit před částicemi v řádech mikrometrů, jelikož jsou pro ně cesty vstupu přes kůži příliš úzké. Riziko mohou tvořit lipofilní nanočástice, které dokážou pronikat do těla přes potní žlázy a podél chloupků či vlasů. Diskutovaným tématem je pronikání nanočástic TiO₂ z dostupné opalovací kosmetiky a ochranných mastí [3], [14]. V květnu 2021 vydal Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) prohlášení, ve kterém uvedl, že TiO₂ nemůže být nadále považován za bezpečný jakožto potravinářské aditivum (EFSA) [16].

Intravenózní expozice

Tímto způsobem jsou zaváděna zejména léčiva. Jelikož jsou látky zaváděny přímo do krevního řečiště, nemusí překonávat žádná omezení a mohou působit v cílových lokalitách. Studie ukazují, že částice přijímané intravenózně se v těle zůstávají déle než částice spolknuté. Negativním účinkem může být zvýšená citlivost na aplikovanou látku [3], [14].

2.1.4 Vliv na lidské zdraví a životní prostředí

Pevné částice mohou ovlivnit tvorbu mraků a energetickou bilanci Země, jelikož rozptylují sluneční záření zpět do prostoru. Některé složky aerosolu jsou také skleníkovými plyny. Částice větší než 10 mikrometrů působí zejména mechanicky. Mohou pokrýt listy rostliny a tím zmenšit aktivní plochu listu. To může ovlivnit opylování a následně plodnost rostliny. U živočichů to mohou být problémy spojené s dýchacími cestami. Menší částice mohou pronikat do těl živočichů a rostlin a negativně ovlivňovat chemické i buněčné procesy v organismu [5].

Způsoby, jakými se částice mohou dostat do lidského těla, byly popsány v předchozí kapitole. Nyní je nutné posoudit jejich vliv na organismus, ať už z krátkodobého či dlouhodobého hlediska. Pozornost bude věnována zejména ultrajemným částicím, jelikož jsou schopny proniknout do krevního oběhu a všech orgánů. Poškozují zejména plicní a kardiovaskulární systém.

Díky své velikosti jsou nanočástice schopny působit na základní buněčné procesy, jako jsou metabolismus, odumírání a bujení. Při disfunkci těchto procesů může docházet k celé řadě závažných onemocnění. V případě předčasného odumírání buněk může docházet k výskytu neurodegenerativních onemocnění. Rakovina je naproti tomu způsobena nekontrolovatelným bujením [14].

Toxicita

Obecně nelze říct, že všechny nanočástice mají negativní vliv na lidský organismus. Toxicita nanočástic je závislá na různých faktorech (velikost, složení, krystalizace atd.). Za její hlavní příčinu se ale považuje vysoká povrchová reaktivita. Negativní vliv na organismus nekoreluje s velikostí expozice nebo hmotnostní dávkou, ale je spojen s celkovým povrchem částice. Studie ukazují, že částice pod 100 nm mají výrazně větší negativní respirační účinek na zdraví než větší částice ze stejného materiálu. Díky velkému specifickému povrchu jsou nanočástice velice reaktivní. K interakci dochází zejména s DNA a proteiny [3], [17].

Další studie ukazují, že toxicita závisí i na tvaru částic, čím větší je poměr mezi stranami částice, tím větší je toxicita. Důkazem je rakovina pohrudnice vyvolaná vlákny delšími než 5 mikrometrů a azbestóza vyvolaná vlákny delšími než 2 mikrometry. Tyto vlákna není dýchací ústrojí schopno efektivně

vypuzovat, jelikož je makrofágy nedokážou fagocytovat. U těchto vláken také závisí na biologickém poločasu. V případě delších vláken, která se lámou kolmo, dochází k jejich zkracování a následnému vyloučení prostřednictvím makrofágů. Vlákna asbestu se ale lámou podélně, což vede ke vzniku většího množství stejně dlouhých vláken s menším průměrem, která jsou z plic téměř nevylučitelná [3], [14].

Toxicita v souvislosti s dýchacím systémem je spojena s oxidačním stresem, ten může vést k zánětu epitelových buněk. Tento stres je způsoben přítomností takzvaných tranzitivních kovů (např. železo, wolfram, chrom, titan, zlato, stříbro, měď), organických frakcí nebo usazených prachových částic s velmi velkým měrným povrchem [3].

Onemocnění dýchací soustavy

Nahromadění prachu v plicích může vést k pneumokonióze. V lehkých případech má nezhoubné účinky na strukturu plic a žádné škodlivé dopady. Vzniká například při expozici částicím železa nebo cínu. Závažně případy nastávají při expozici azbestu nebo oxidu křemičitému. Při tomto onemocnění se kapacita plic rychle zmenšuje a může mít fatální konec. Pneumokonióza může také vést k rakovině plic. Aerosoly mohou způsobovat profesní astma, zánět průdušek, rozedmu plic, případně různě závažné pneumonie [3], [18].

Onemocnění nervového systému

V tomto případě se jedná o neurodegenerativní onemocnění, jako je Alzheimerova nebo Parkinsonova choroba. Zmíněná onemocnění jsou spojena s oxidačním stresem a shromažďováním železa a jiných kovů v mozku. Tyto kovy jsou pro funkci mozku nezbytné, jejich nadbytek je ovšem pro mozkové buňky toxický. Studie potvrzují přímou souvislost mezi inhalačním příjmem částic s obsahem manganu a vznikem neurologických onemocnění u horníků a svářečů. Celý proces postupného usazování a vznikání zánětu je velice pomalý a záleží na mnoha faktorech, proto nemusí být negativní účinky odhaleny po dlouho dobu [14].

2.1.5 Nemoci z povolání

V České republice jsou nemoci z povolání posuzovány dle nařízení vlády č. 290/1995 Sb. Nařízení definuje nemoc z povolání jako: „...*nemoci vznikající nepříznivým působením chemických, fyzikálních, biologických nebo jiných škodlivých vlivů, pokud vznikly za podmínek uvedených v seznamu nemocí z povolání. Nemocí z povolání se rozumí též akutní otrava vznikající nepříznivým působením chemických látek.*“ V příloze je uveden seznam nemocí a jejich rozdělení do kapitol. Kapitola I obsahuje NzP způsobené chemickými látkami. V kapitole II jsou NzP způsobené fyzikálními faktory. Do kapitoly III spadají NzP týkající se dýchacích cest, plic, pohrudnice a pobřišnice, tato skupina bude dále rozebrána.

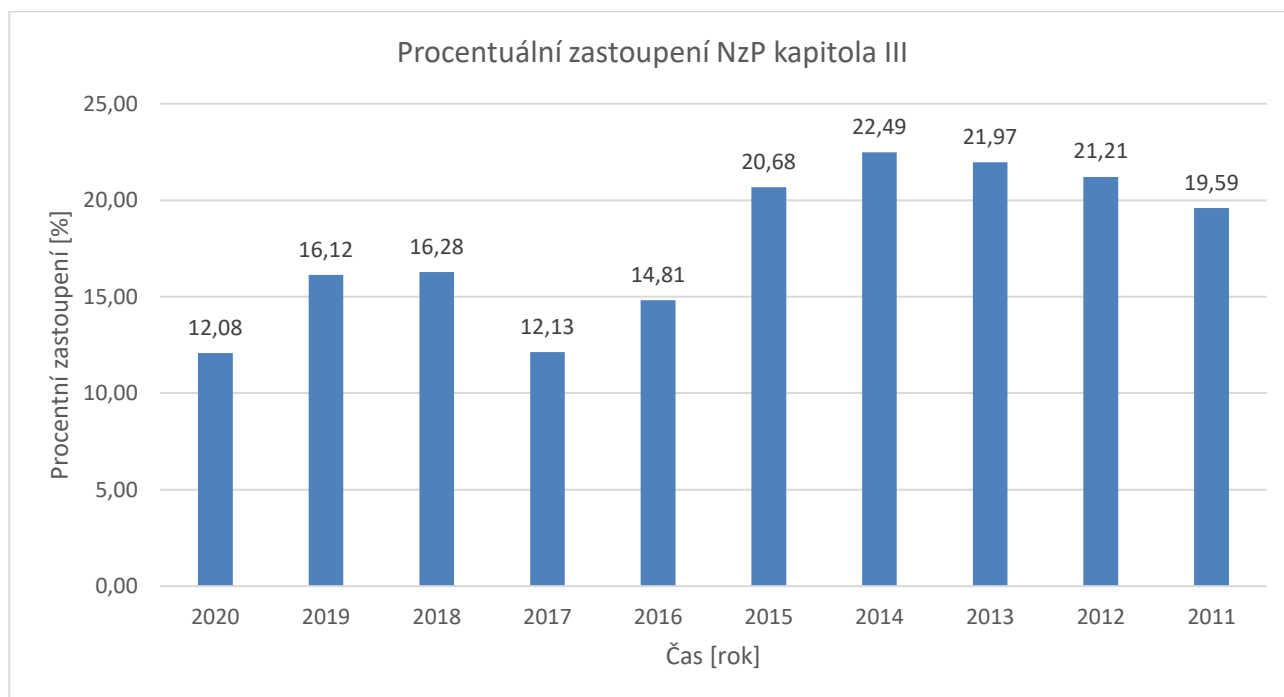
Kapitola IV řeší parazitární a přenosné nemoci a v kapitole V jsou uvedeny nemoci způsobené ostatními faktory a činiteli [19].

Dle dat z Národního registru nemocí jsou nemoci z povolání pro rok 2020 tvořeny nejvíce nemocemi z kapitoly II (46 %), poté nemocemi z kapitoly V (28 %). Okolo 12 % přispívá kapitola III a IV, kapitola I má pouze 0,5 %. Z **grafu 1** je patrné, že až v posledních pěti letech se daří držet podíl NzP kapitoly III pod hranicí 20 %. Z dlouhodobých dat uvedených v **tab. 1** vyplývá, že trend výskytu NzP zasahujících dýchací cesty je mírně klesající [20].

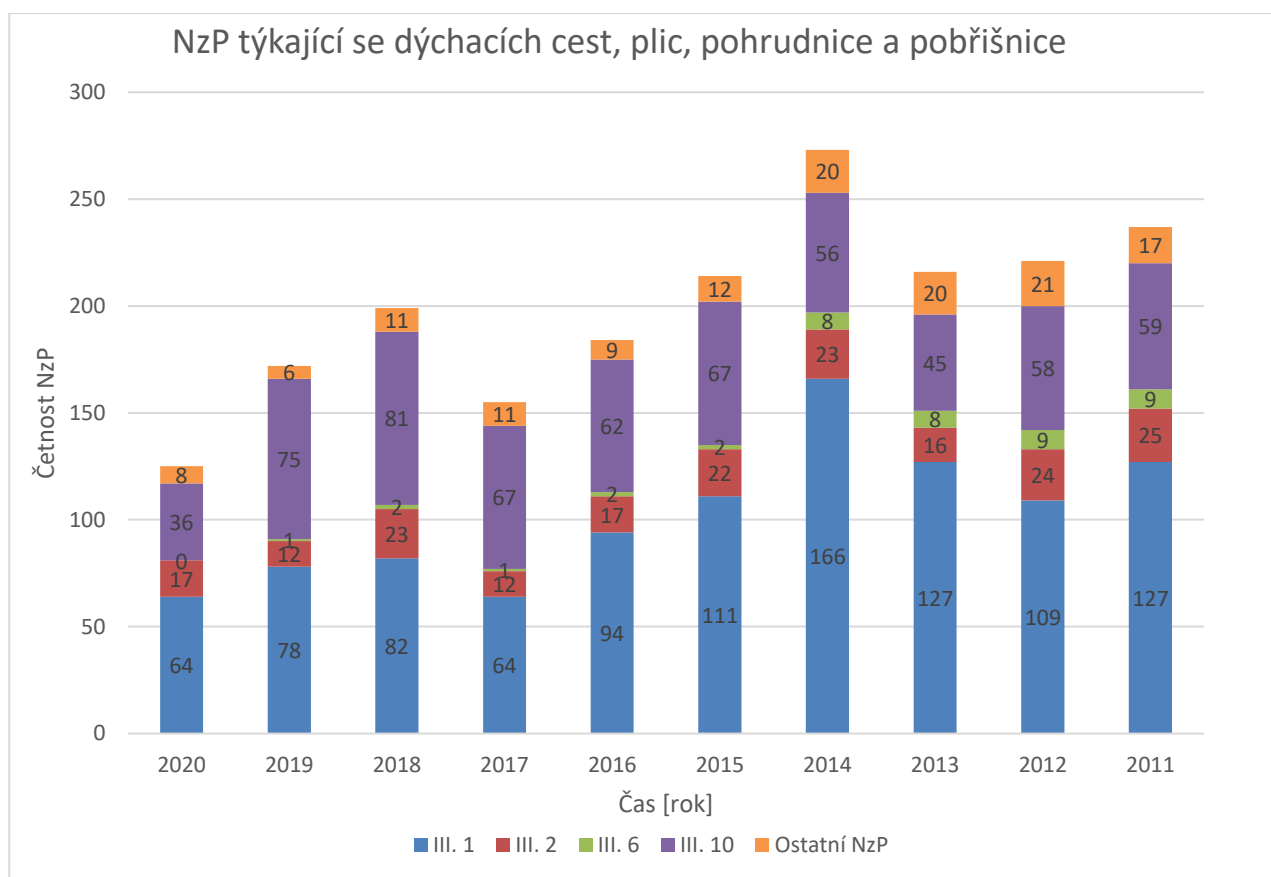
Tab. 1 Nemoci z povolání v letech 2011 až 2020 [20]

	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
NzP III	125	172	199	155	184	214	273	216	221	237
NzP celkem	1035	1067	1222	1278	1242	1035	1214	983	1042	1210

Skupina III se dále dělí na pneumokoniózy způsobené SiO₂ (III.1), nemoci plic, pohrudnice nebo pobříšnice způsobené azbestem (III.2), rakovinu plic z radioaktivních látek (III.6), asthma bronchiale včetně alergických onemocnění dýchacích cest (III.10) a ostatní. Z **grafu 2** vyplývá, že cca 50 % všech nemocí dýchacích cest jsou pneumokoniózy způsobené SiO₂. Druhé místo zaujímá astma a alergická onemocnění. Pozitivní zprávou je, že výskyt rakoviny plic způsobené radioaktivními látkami se za posledních 10 let podařilo snížit téměř na nulu [20].



Graf 1 Procentuální zastoupení NzP kapitoly III v celkovém počtu hlášených NzP [20]



Graf 2 Rozložení jednotlivých nemocí ve kapitole III mezi lety 2011 a 2020 [20]

Pneumokonióza

Jak dokládá **graf 2**, nejčastější hlášená nemoc z povolání působící na dýchací soustavu je v České republice silikóza. Je způsobena vdechováním prachu s krystalickými částicemi SiO₂. Jelikož je oxid křemičitý významnou složkou řady hornin a minerálů, jsou touto nemocí ohroženi zejména horníci v rudných dolech, pracovníci v kamenolomech, kameníci, dělníci ve slévárenském a keramickém průmyslu a obecně všechny profese, ve kterých se křemen v různých formách zpracovává [21]. Nemoc způsobuje, že je plicní tkáň nahrazena vazivovou, což vede ke ztrátě elasticity a srašťování. Důsledkem je chronická respirační insuficience. U horníků těžících černé uhlí v hlubinných dolech může dojít k rozvinutí uhlokopské pneumokoniózy. [3]

Nemoci způsobené azbestem

Azbest je souhrnné označení pro různé vláknité křemičitany, jejichž vlákna jsou spřádatelná, žáruvzdorná a chemicky stálá [22]. Přítomnost azbestu může způsobovat azbestózu, pleurální hyalinózu, akutní pleuritidu a rakovinu. Z pohledu karcinogenity jsou nejrizikovější vlákna s délkou větší než 5 μm, průměrem menším než 3 μm a poměrem délky a průměru minimálně 3 : 1. Jelikož není organismus

schopen vlákna rozložit, mohou v plicích zůstat po mnoho let. Pro tyto onemocnění je typický velmi pomalý rozvoj, který zpravidla trvá déle než 15 let [3], [20].

Alergická rinitida a bronchiální astma

Na pracovišti se mohou vyskytovat dva druhy alergenů. První jsou ty, které se vyskytují běžně v přírodě, ale na pracovišti je jejich koncentrace zvýšená (mouka v pekárně, obilný prach v zemědělství). Druhým typem jsou alergeny specifické pro dané pracovní prostředí. Alergen vyvolává zánětlivé onemocnění nosní sliznice. Účinky jsou nejprve akutní a projevují se kýčáním, svěděním v nose, pocitem ucpaného nosu, otoky očních víček a dechovými potížemi. Po ukončení expozice příznaky odezní. V případě neléčení může akutní forma přejít do formy chronické. Ohroženi jsou zejména zemědělci, pekaři a mlynáři, ošetřovatelé zvířat, dělníci na pilách, zaměstnanci chemických závodů apod. [3], [20].

Na rozdíl od rinitidy se astma nevyskytuje v akutní formě, ale pouze v chronické, a postihuje celé dýchací cesty. Je způsobeno vyvolávacím alergenem, ale při stanovování diagnózy je velmi náročné identifikovat jeden převažující alergen. Profesionální astma může postihnout stejnou skupinu zaměstnanců jako alergická rinitida [22].

2.2 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY

Z předchozí kapitoly lze snadno vyčíst, že malé částice mohou působit množství zdravotních problémů. V posledních letech si EU začala více uvědomovat možná zdravotní rizika, která pochází z výroby a používání nanomateriálů. Proto se je snaží pomocí legislativních požadavků regulovat. V ČR jsou TZL řešeny zejména v zákonech týkajících se znečištění ovzduší a ochrany obyvatelstva. Bohužel zcela chybí legislativa stanovující hygienické limity pro koncentrace jemných a ultrajemných částic na pracovišti. Stávající legislativa zatím nebere do úvahy rychlý vývoj nanomateriálů a aktuálně stanovené limity se týkají částic, které nejsou schopny proniknout až do orgánů.

2.2.1 Legislativa EU

Mezi lety 2018 a 2019 vytvořila Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (EU-OSHA) rozsáhlou kampaň na podporu prevence rizik, které mohou způsobit nebezpečné látky na pracovišti. Část kampaně byla věnována přímo nanomateriálům a jejich účinnům na zdraví pracovníků. Obecně se zaváděním opatření na podporu BOZP zabývá rámcová směrnice 89/391/EHS. Konkrétněji je bezpečnost a ochrana zdraví pracovníků před riziky souvisejícími s chemickými faktory při práci popsána ve směrnici 98/24/ES. V případě, že se jedná o nanomateriály obsahující mutageny nebo karcinogeny, vztahuje se na ně směrnice 2004/37/ES, která se zabývá riziky spojenými s expozicí karcinogenům a mutagenům při práci. Nanomateriály se považují za chemické látky, proto se na ně vztahuje také nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH), které tvoří základní legislativní pramen v oblasti řízení rizik nebezpečných látek. A také nařízení (ES) 1272/2008 (CLP) o klasifikaci a označování látek a směsí [24], [25], [26].

Jako obecný právní rámec týkající se pracovního prostředí je možné uvést následující směrnice a nařízení:

- Směrnice EP a Rady 1999/92/ES
- Směrnice Komise (EU) 2017/164
- Směrnice EP a Rady 2012/11/EU
- Směrnice Rady 2013/59/Euratom
- Směrnice Rady 90/269/EHS
- Směrnice EP a Rady 2009/81/ES
- Směrnice EP a Rady 2013/35/EU
- Směrnice EP a Rady 2006/123/ES
- Nařízení EP a Rady 1272/2008
- Nařízení EP a Rady 1907/2006

- Nařízení Komise 2016/1017
- Nařízení Komise 2016/1005

Nařízení ES č. 1907/2006

Toto nařízení má za úkol registraci, evaluaci, autorizaci a omezování chemických látek. Má zajistit „*vysokou úroveň ochrany lidského zdraví a životního prostředí a volný pohyb látek samotných a obsažených v přípravcích a v předmětech a současně zvýšení konkurenceschopnosti a inovace ... rovněž by mělo podpořit rozvoj alternativních metod hodnocení rizik látek.*“ [24]. Problematika týkající se nanomateriálů byla do nařízení zařazena v roce 2018 pomocí nařízení komise EU 2018/1881. Došlo především k úpravám a doplněním v přílohách I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI a XII. Nové předpisy začaly platit od 1. 1. 2020 a týkaly se charakterizace nanomateriálů, na které se má vztahovat registrace (příloha VI), hodnocení chemické bezpečnosti (příloha I), požadavků na informace o látce pro účely registrace (přílohy III a VII až XI) a závazků následného uživatele (příloha XII) [27].

Pro Evropskou agenturu pro chemické látky (ECHA) z toho vyplývá, že musí být schopna plnit povinnosti jako je registrace, hodnocení, povolování a omezování (dle REACH) a klasifikace a označování (dle CPL) stejně kvalitně pro nanomateriály jako pro jakékoliv jiné látky. ECHA k tomu také musí zajistit dostatečné technické i vědecké kapacity. Od roku 2011 se ECHA v otázce nanomateriálů zaměřila na [27]:

- aktualizaci a tvorbu nových pokynů,
- vybudování externích a interních kapacit a zřízení Observatoře Evropské unie pro nanomateriály, která má přispět k transparentnosti informací o nanomateriálech,
- sdílení zkušeností členských států o bezpečnosti nanomateriálů,
- poskytnutí konzultací a zpětné vazby společnostem, které s nanomateriály pracují, a tvorbu webinářů, které mají informovat o nejnovějších postupech dle REACH a CLP,
- součinnost na probíhajících mezinárodních regulačních činnostech,
- založení neformální skupiny odborníků na nanomateriály (NMEG).

2.2.2 Legislativa ČR

Stejně jako neexistuje potřebná legislativa na úrovni EU, tak ani právní rámec České republiky neposkytuje dostatečnou oporu v otázce jemných a ultrajemných částic na pracovišti. Předpisy, které přímo nebo nepřímo souvisí s aerosolovými částicemi v ovzduší, se dle uvážení autorky dají rozdělit do tří oblastí: požadavky na ochranu veřejného zdraví, požadavky na ochranu zdraví při práci a normy.

Ochrana veřejného zdraví

Do této skupiny autorka řadí právní předpisy spojené s ochranou veřejného zdraví, nezaměřuje se tedy na pracovníky, ale na ochranu zdraví veřejnosti. Jednoznačně sem spadá zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, dále zákon 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. V zákoně o ochraně ovzduší jsou stanoveny imisní limity pro částice PM₁₀ a PM_{2,5}, tyto limity se týkají vnějšího ovzduší v troposféře a jejich hodnoty jsou uvedeny v **tab. 2** [28].

Tab. 2 Imisní limity pro částice PM₁₀ a PM_{2,5} [28]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Částice PM ₁₀	24 hodin	50 µg·m ⁻³	35
Částice PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg·m ⁻³	0
Částice PM _{2,5}	1 kalendářní rok	20 µg·m ⁻³	0

Ochrana zdraví při práci

Právní požadavky vztahující se k ochraně zdraví pracovníka jsou zakotveny v zákoníku práce (zákon č. 262/2006 Sb.) a zákonu č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Další rozšiřující požadavky jsou uvedeny v nařízeních vlády a vyhláškách:

- NV č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- NV 101/2005 Sb., o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí
- NV 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- NV 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením
- NV 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- NV 390/2021 Sb., o bližších podmínkách poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čisticích a dezinfekčních prostředků
- Vyhláška 180/2015 Sb., o zakázaných pracích a pracovištích

- Vyhláška 432/2003 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli
- Vyhláška 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb

Jediným předpisem, stanovujícím limity týkající se koncentrace prachových částic na pracovišti, je nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Příloha 3 se zabývá prachem, jeho hygienickými limity a postupy jejich stanovení. V části A jsou uvedeny seznamy prachů a jejich přípustné limity. Prachy jsou rozděleny do tabulek podle účinku na organismus. V tabulce 3 jsou uvedeny prachy s převážně nespecifickým účinkem, do kterých spadá i železo a jeho slitiny. Pro prach s převážně nespecifickým účinkem platí přípustný expoziční limit (PEL_c) 10 mg·m⁻³ [29].

Část D je zaměřena na měření vdechovatelné a respirabilní frakce polévatého prachu. Způsob a technika odběru a stanovení koncentrace frakcí polévatého prachu vdechovatelné a respirabilní frakce v pracovním ovzduší je podle přijatých konvencí v ČSN EN 481 gravimetricky. Část popisuje princip zkoušky s odkazem na normy ČSN EN 481 a ČSN EN 689, rozsah použití, požadavky na přístroje a postup měření včetně interpretace výsledků [29].

Normy

Jak je známo, normy nejsou právně závazné a jejich dodržování a plnění je pouze na uvážení podniku. Existuje ovšem řada norem, jejichž plnění se u mnoha podniků bere jako standard a požadavek, bez kterého nemůže být navázána spolupráce. Příkladem je certifikace dle standartu ISO 9001, která je na poli automotive samozřejmostí. Níže jsou uvedeny normy, které se týkají zejména nanomateriálů a způsobů jejich měření.

- ČSN P CEN ISO/TS 27687. Nanotechnologie – Termíny a definice nanoobjektů – Nanočástice, nanovlákná a nanodeska
- ČSN P CEN ISO/TS 80004-1. Nanotechnologie – Slovník – Část 1: Základní termíny
- ČSN P CEN ISO/TS 80004-3. Nanotechnologie – Slovník – Část 3: Uhlíkové nanoobjekty
- ČSN P CEN ISO/TS 80004-4. Nanotechnologie – Slovník – Část 4: Nanostrukturované materiály
- ČSN P CEN ISO/TS 80004-6. Nanotechnologie – Slovník – Část 6: Charakterizace nanoobjektu
- ČSN P CEN ISO/TS 80004-8. Nanotechnologie – Slovník – Část 8: Procesy nanovýroby
- ČSN P CEN/TS 17010. Nanotechnologie – Návod na měření veličin charakterizujících nanoobjekty a materiály, které je obsahují

- ČSN P CEN ISO/TS 17200. Nanotechnologie – Nanočástice ve formě prášku – Charakteristiky a měření
- ČSN P ISO/TS 12901-2. Nanotechnologie – Použití managementu pracovního rizika pro nanomateriály v průmyslu – Část 2: Použití přístupu control banding
- ČSN P CEN/TS 16937. Nanotechnologie – Návod pro odpovědnost za rozvoj nanotechnologií
- ČSN EN ISO 10801. Nanotechnologie – Generování nanočástic kovů pro zkoušení inhalační toxicity pomocí odpařovací/kondenzační metody
- ČSN P CEN/TS 17276. Nanotechnologie – Pokyny pro posuzování životního cyklu – Aplikace EN ISO 14044:2006 na vyráběné nanomateriály
- ČSN P CEN/TS 17629. Nanotechnologie – Zkoušení škrábáním v nano a mikro měřítku

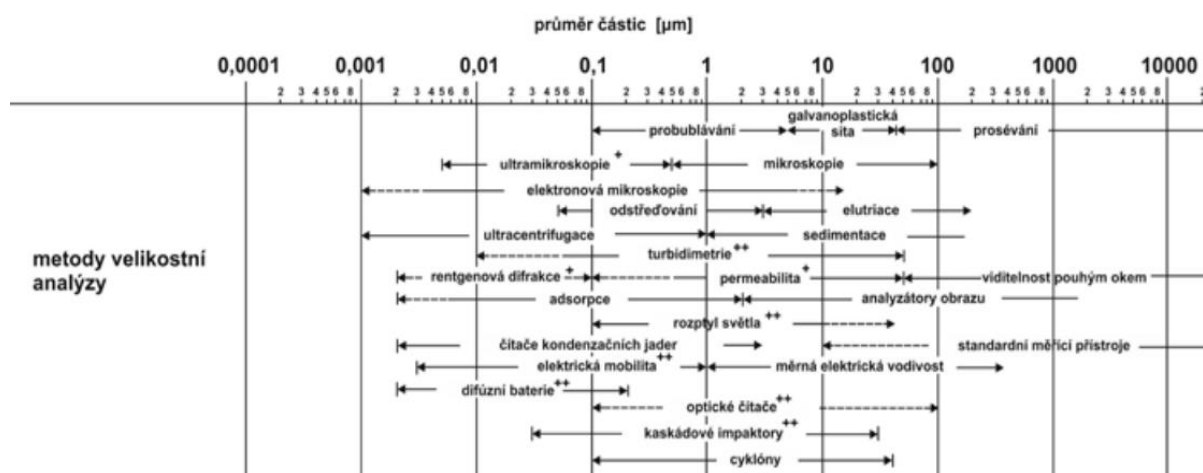
Další skupinou jsou normy zabývající se expozicí pracoviště. Byly do ní vybrány například normy rodiny ČSN EN 13 205, které se věnují problematice koncentrace částic polévatého prachu na pracovišti a rodiny ČSN EN 17 199, které se zabývají měřením prašnosti sypkých materiálů. A také normy, na které se odkazuje nařízení vlády 361/2007 Sb.

- ČSN EN 13205-1 Expozice pracoviště – Posuzování funkce zařízení pro měření koncentrace částic polévatého prachu – Část 1: Obecné požadavky
- ČSN EN 13205-2 Expozice pracoviště – Posuzování funkce zařízení pro měření koncentrace částic polévatého prachu – Část 2: Laboratorní zkouška způsobilosti založená na stanovení účinnosti vzorkování
- ČSN EN 13205-4 Expozice pracoviště – Posuzování funkce zařízení pro měření koncentrace částic polévatého prachu – Část 4: Laboratorní zkouška způsobilosti založená na porovnání koncentrací
- ČSN EN 13205-5 Expozice pracoviště – Posuzování funkce zařízení pro měření koncentrace částic polévatého prachu – Část 5: Zkouška způsobilosti odběrového zařízení pro aerosol a porovnání odběrového zařízení prováděná na pracovišti
- ČSN EN 13205-6 Expozice pracoviště – Posuzování funkce zařízení pro měření koncentrace částic polévatého prachu – Část 6: Zkoušky přepravy a manipulace s odběrovým zařízením
- ČSN EN 17199-1 Expozice pracoviště – Měření prašnosti sypkých materiálů, které obsahují nebo uvolňují dýchatelny NOAA a jiné dýchatelny částice – Část 1: Požadavky a volba zkušebních metod
- ČSN EN 17199-2 Expozice pracoviště – Měření prašnosti sypkých materiálů, které obsahují nebo uvolňují dýchatelny NOAA a jiné dýchatelny částice – Část 2: Metoda rotačního bubnu
- ČSN EN 17199-3 Expozice pracoviště – Měření prašnosti sypkých materiálů, které obsahují nebo uvolňují dýchatelny NOAA a jiné dýchatelny částice – Část 3: Metoda kontinuálního poklesu
- ČSN EN 17199-4 Expozice pracoviště – Měření prašnosti sypkých materiálů, které obsahují nebo uvolňují dýchatelny NOAA a jiné dýchatelny částice – Část 4: Metoda malé rotace bubnu

- ČSN EN 17199-5 Expozice pracoviště – Měření prašnosti sypkých materiálů, které obsahují nebo uvolňují dýchacelný NOAA a jiné dýchacelné částice – Část 5: Metoda vířivého třepání
- ČSN EN 12341 Kvalita ovzduší – Referenční gravimetrická metoda stanovení hmotnostní koncentrace frakcí aerosolových částic PM₁₀ a PM_{2,5}
- ČSN EN 1540 Expozice pracoviště – Terminologie
- ČSN EN 14031 Expozice pracoviště – Kvantitativní měření vzdušných endotoxinů
- ČSN P CEN/TS 15279 Expozice pracoviště – Měření expozice kůže – Principy a metody
- ČSN EN 482 Expozice pracoviště – Postupy pro stanovení koncentrace chemických látek – Základní požadavky na provádění
- ČSN EN 689+AC Expozice pracoviště – Měření expozice při vdechování chemických činitelů – Strategie pro testování shody s mezními hodnotami expozice při práci
- ČSN EN 13936 Expozice pracoviště – Postupy pro měření chemických látek přítomných jako směs polétavých částic a par – Požadavky a metody zkoušení
- ČSN EN 16897 Expozice pracoviště – Charakterizace ultrajemných aerosolů/nanoaerosolů – Stanovení početní koncentrace pomocí kondenzátorových čítačů částic
- ČSN EN 16966 Expozice pracoviště – Měření expozice inhalací nanoobjektů a jejich agregátů a aglomerátů – Použité metriky, jako je početní koncentrace, plošná povrchová koncentrace a hmotnostní koncentrace
- ČSN EN 17058 Expozice pracoviště – Posouzení expozice inhalací nanoobjektů a jejich agregátů a aglomerátů

2.3 METODY MĚŘENÍ AEROSOLU V PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ

V současné době existuje mnoho metod, jimiž je možné měřit parametry nano a mikroobjektů. Některé jsou uvedeny na **obr. 6**. Každá z metod využívá jiného fyzikálního principu, proto je díky nim možné popsat široké spektrum měřitelných parametrů. Principy metod mohou být založeny například na urychlení částic v proudu vzduchu, difuzi, kondenzaci, foretických jevech, pohyblivosti v elektrickém poli, optických vlastnostech nebo mikroskopii. Pro měření ve vnitřním pracovním prostředí se používají dva základní postupy, a to přímé kontinuální postupy a nepřímé gravimetrické metody, které jsou založeny na záchytu částic na filtru [3].



Obr. 6 Přehled metod měření v závislosti na velikosti částic [3]

2.3.1 Principy měření

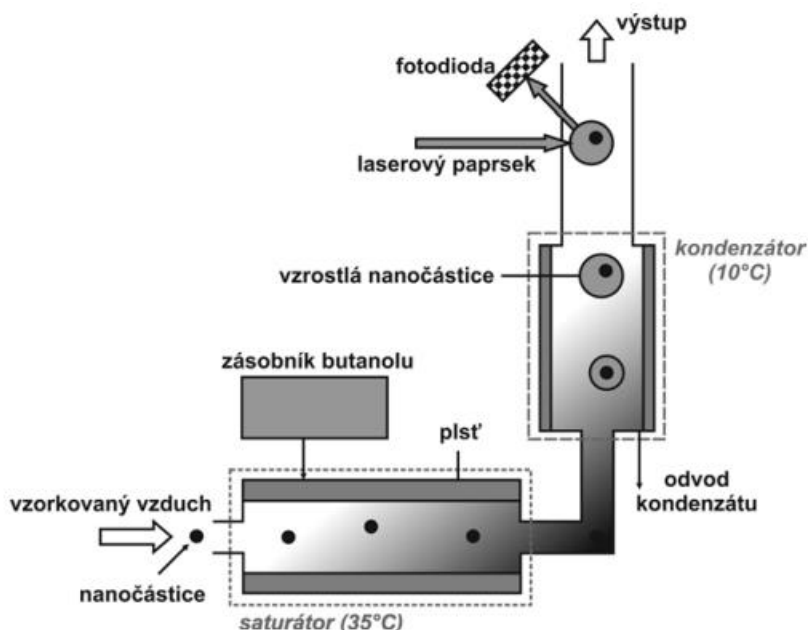
Princip difuze

Jak již bylo zmíněno výše, difuze je hlavním pohybovým mechanismem nejmenších aerosolových částic. Měření založené na principu difuze se tedy používá pro měření nejjemnějších částic o velikosti 1 až 200 nm a používají se k němu takzvané difúzní baterie. Částice aerosolu naráží, díky Brownovu pohybu, do stěn kanálků a ulpívají na nich. Existuje celá řada typů difúzních baterií, například soustavy trubic, obdélníkových kanálů nebo paralelních desek. Nevýhodu měření pomocí difúzních baterií je velký rozsah „mezního průměru částic“, který udává velikost částic, které se na 50 % zachytí na filtru a na 50 % filtrem projdou [3].

Princip kondenzace

Při kondenzaci dochází k přeměně plynu na kapalinu a jedná se o základní proces, při kterém v přírodě vzniká aerosol. Na povrch částice dopadne více molekul páry, než jej opustí, čímž dojde k jejímu růstu. Pro měření se používají kondenzační čítače částic (CPC), které umožňují spočítat množství částic

ve vzorku vzduchu pomocí laserové detekce. U částic menších než 100 nm je nezbytné, aby byly uměle zvětšeny, jinak by nebylo možné je detekovat. Měření probíhá tak, že aerosol vstoupí do komory přesycené párou alkoholu nebo vody, zde dojde ke kondenzaci a zvětšení částic přibližně na 10 μm . Nevýhodou je, že tento typ přístroje měří kompletní vzorek a nerozlišuje různé velikosti částic, jako tomu je například u optických čítačů. Princip kondenzačního čítače částic je uveden na **obr. 7** [3].



Obr. 7 Princip kondenzačního čítače částic [3]

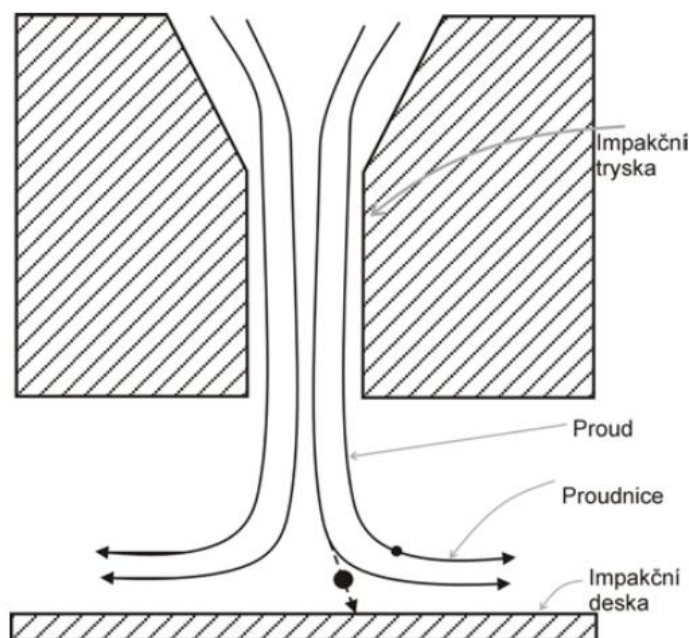
Foretické jevy

Mezi tyto jevy se řadí fotoforéza, termoforéza a difuzoforéza. Fotoforéza je pohyb částic založený na nesymetrické absorpci světla uvnitř částice – částice je ozářena z jedné strany. Její příčinou je tedy rozdílná teplota na ozářené a neozářené straně částice. Termoforéza představuje pohyb částic z teplejší oblasti do chladnější. Kinetická energie molekul prostředí v teplejší oblasti je vyšší, takže při narázu působí na částici větší silou než molekuly prostředí z chladnější oblasti. Difuzoforéza je pohyb částice vlivem koncentračního spádu (gradientu) některé složky plyné směsi. V praxi se měření na základě těchto jevů využívá jenom zřídka [3], [30].

Měření založené na principu urychlení aerosolových částic v proudu vzduchu

Pro toto měření se používají takzvané impaktory. Jedná se o zařízení, ve kterých jsou jednotlivé částice separovány překážkou. Urychlený proud vzduchu prochází úzkou kruhovou nebo obdélníkovou tryskou s následným ostrým lomem dráhy. Malé částice kopírují dráhu proudění vzduchu, větší částice díky setrvačnosti vylétnou z proudu vzduchu a narážejí na impakční desku, kde jsou zachyceny. Princip je zobrazen na **obr. 8**. Tento způsob měření je nejčastěji používán pro separování velikostních frakcí PM_{10} ,

PM_{2,5}, PM₄ a PM₁₀. Zařízení, která používají tento princip, jsou například integrální odběrová zařízení, kaskádní impaktory, elektrické nízkotlaké impaktory (ELPI), oscilační mikrováhy (TEOM) a beta prachoměry, poslední tři zmíněné přístroje jsou automatizované a umožňují zobrazení koncentrace v reálném čase [3].



Obr. 8 Princip měření pomocí impaktoru [3]

Pohyblivost v elektrickém poli

Elektrické mobility částic využívají přístroje jako skenovací třídič pohyblivých částic (SMPS). Elektrická mobilita je schopnost částice pohybovat se v externím elektrickém poli. Určuje, jaká bude konečná rychlost, které dosáhne částice v elektrickém poli jednotkové síly. Měřicí systém SMPS se skládá z elektrického klasifikátoru (EC) a kondenzačního čítače částic (CPC). Nejprve je pomocí klasifikátoru vybrán interval velikosti částic a poté jsou tyto částice spočítány čítačem. Dokáže počítat částice o průměru 1 až 1000 nm. V ČR je použití regulováno Státním úřadem pro jadernou bezpečnost, jelikož obsahuje vnitřní zdroj radioaktivity [3], [30].

Optické vlastnosti

Přístroje v této kategorii využívají optických vlastností částic a fungují na principu absorpce nebo rozptylu světla částicemi. Schopnost částic absorbovat světlo je různá, závisí na velikosti a materiálu částice. Některé částice jsou schopny pohlcovat jen určité vlnové délky, jiné dokáží absorbovat celé spektrum. Rozptylem se rozumí jev, při kterém je záření dopadající na částice rozptýleno s různou intenzitou a různými směry. Intenzita rozptylu je ovlivněna poměrem vlnové délky záření, průměrem částic, úhlem pozorování a indexem lomu částic. Přístroje využívající optických metod jsou velmi citlivé

a minimálně ovlivňují měření, jelikož nedochází k fyzickému kontaktu s částicemi. Jsou schopné rozlišit částice větší než 100 nm. Patří mezi ně fotometry, nefelometry a optické čítače částic (OPC). Fotometry měří množství světla rozptýleného oblakem částic v úzkém rozsahu úhlu dopadu světla, nefelometry naopak v širokém rozsahu. Optické čítače snímají velikost částice na základě množství světla, které rozptýlí [3], [30].

Mikroskopie

Pro zobrazení částic o velikosti 0,3 až 20 μm se používají optické mikroskopy. Pro měření menších částic je vhodné použít elektronový nebo skenovací mikroskop. Jako zástupci elektronové mikroskopie jsou nejčastěji používány transmisivní elektronové mikroskopy (TEM), rastrovací elektronové mikroskopy (SEM) a elektronové sondy. Pro skenování jsou používány rastrovací tunelovací mikroskopy, mikroskop atomárních sil a další příbuzné metody, které vycházejí z různých modifikací zmíněných metod. Mikroskopie umožňuje nejen zobrazení částic, ale i měření jejich velikosti, analýzu složení nebo dalších chemických a fyzikálních vlastností [3], [30].

2.3.2 Strategie měření

Z přechozích kapitol vyplývá, že určit jednotnou strategii pro měření, je velmi náročné. Kvůli rozmanitému pracovnímu prostředí, technologickým postupům a prostorám je velice obtížné vytvořit jeden univerzální postup. Návod k aplikaci a použití postupů posuzování expozice biologickým a chemickým činitelům dává norma ČSN EN 14 042. Dále byla vydána norma ČSN EN 482, která stanovuje obecné požadavky na postupy ke stanovení koncentraci chemických látek na pracovišti. Pro hodnocení expozice při vdechování chemických látek byla vydána norma ČSN EN 689+AC. Norma ČSN EN 14042 je založena právě na postupech uvedených v EN 689 a požadavcích z EN 482. Na základě této normy lze popsat, jak obecně přistupovat k měření chemických látek na pracovišti. Vzhledem k zaměření této práce byly zmíněny pouze části, týkající se měření částic v pracovním ovzduší.

Návrh měřicího postupu

Při výběru měřicího postupu je nutné nejprve určit podmínky, za kterých bude měření probíhat a které faktory ho mohou ovlivnit. Měl by se zvážít například [31]:

- měřicí úkol
- předpokládaný rozsah koncentrace,
- časové rozlišení,
- citlivost zařízení na atmosférické vlivy,
- vhodnost pro dané účely,
- požadovaná nejistota měření,

- požadavky na zaškolení,
- náklady na zařízení a jeho provoz.

U použitých měřicích zařízení se předpokládá, že budou schopna plnit svoji funkci v následujících atmosférických podmínkách. Teplota od 5 °C do 40 °C, tlak od 95 kPa do 110 kPa, vlhkost od 20 % do 90 % relativní vlhkosti a rychlost proudění vzduchu od 0,01 m·s⁻¹ do 4 m·s⁻¹ [31].

Umístění měřicího přístroje

Nelze přesně definovat, jaké umístění je nejvhodnější. Vždy závisí na konkrétním odběru. Existuje ale pár zásad, které by měly být dodrženy. Umístění měřicího přístroje nesmí nijak ovlivnit běžně pracovní činnosti. Je také nezbytné, aby bylo zařízení chráněno proti zásahu nepovolaných osob. Přístroj by měl být umístěn tak, aby co nejlépe zachytil expozici, které jsou vystaveni pracovníci. Je nežádoucí ho umístit k větracím systémům a chladným nebo naopak horkým místům. V malých prostorech do cca 60 m² je vhodné přístroj umístit do středu místnosti, nejméně 1 m od zdi. Ideální výška je v rozmezí 1 až 1,5 m, jelikož nejlépe simuluje dýchací zónu. V případě větších místností je vhodné prostor rozdělit na části (nejlépe vzhledem k ventilaci nebo pracovnímu procesu) a jako v předchozím případě rozmístit sondy nejméně 1 m od zdi, ve výšce 1 až 1,5 m. [32], [33].

Volba vzorku

Volba reprezentativního vzorku je velice důležitá, je nutné zajistit, aby výsledky poskytly věrohodný obraz reality. Nejpresnější odhad se získá při odběru z dýchací zóny pracovníka za celou pracovní dobu. Při měření by měly být zachovány reálně pracovní podmínky a postupy. Dalším přístupem je rozdělení odběrů dle činností, tedy pro každou činnost provést nové měření. Díky němu je možné zjistit, jaká činnost má největší vliv na expozici. Na základě tohoto přístupu je možné vytipovat časy odběru, kdy je největší expozice, a provést tak měření v nejhorším případě [34].

Obecně platí, že je při vyhodnocování je nutno stanovit, zda budou měření v nejhorším případě brána za platná po celou dobu měření. Je-li požadováno stanovení koncentrace za osmihodinovou směnu a jako měření bude použito měření v nejhorším případě, dojde ke zkreslení reality. Příklad: při měření na dílně dojde ke skokovému zvýšení koncentrace částic v důsledku řezání úhlovou bruskou, které není běžnou součástí pracovních činností. V případě použití měření nejhoršího případu by se tato koncentrace vzala jako relevantní pro celou směnu a byly by nastaveny bezpečnostní opatření pro koncentraci, které se běžně v pracovním prostředí nevyskytuje.

Provoz měřících zařízení

Přístroje používané k detekci a měření jsou velice složité a nákladné, je tedy nutné zajistit, aby se uživatel důvěrně seznámil s návodem k používání a dodržoval ho. Kalibrace a zkoušení funkce se musí provádět v pravidelných intervalech (dané výrobcem, případně legislativou) pověřenou osobou a odbornou firmou. Pro dlouhou životnost přístroje je žádoucí, aby nedocházelo k pádům či extrémní teplotám. Při přepravě by se měly přístroje chránit před [31]:

- a) velkými teplotními změnami (mimo provozní rozsah),
- b) velkými změnami vlhkosti,
- c) vibracemi a mechanickými otřesy,
- d) rychlými změnami tlaku a nízkým tlakem,
- e) přímým slunečním zářením,
- f) prachem a srážkami.

Při skladování je nutné dbát na zajištění vhodných podmínek. Do úvahy se musí brát čistota prostředí, vlhkost a teplota, stárnutí komponent přístroje, pravidelné ověřování funkce přístroje a výměna a nabíjení baterií [31].

Při měření v terénu by měla být dodržována určitá předběžná opatření, kterými uživatel minimalizuje možnost neprůkazného měření či zničení přístroje. Při tvorbě opatření se musí do úvahy vzít následující [31]:

1. Mělo by se zamezit kondenzaci vodních par na přístroji. Tento jev může nastat například při transportu přístroje v autě během zimních měsíců a jeho bezprostřední použití v teplém prostředí.
2. Zamezení náhodnému vystavení přístroje vysokým koncentracím par a plynů, které může ovlivnit spolehlivost měření. Jedná se zejména o případy, kdy je překročena koncentrace, pro kterou je přístroj konstruován.
3. Výběr přístroje dle klimatických podmínek pracovního prostředí. Uživatel musí rozhodnout, zda je použití zvoleného přístroje vhodné.
4. Přístroj musí být chráněn před srážkami a tlakem.
5. Odběrová čerpadla by měla být vybavena vhodnými filtry a odlučovači, aby nedocházelo k vniknutí vody.
6. Vztít v úvahu vliv radiopřijímačů, které mohou mít rušivý vliv na spolehlivý provoz elektrických zařízení.

Údržba a kalibrace

Pro zajištění dlouhé životnosti zařízení je nezbytná pravidelná údržba a kalibrace. Tyto činnosti smí vykonávat pouze vyškolený personál a v případě, že uživatel nedisponuje potřebným vybavením, měl by kalibraci a údržbu vykonat výrobce nebo odborně kvalifikovaná organizace. Kalibrace u takto složitých přístrojů je velice náročná a vyžaduje vysokou odbornost provádějícího pracovníka. Jedná se zejména o přípravu přesných koncentrací kalibračních plynů nebo aerosolů a detailní znalost sorbčních vlastností kalibračního média. Metody pro přípravy kalibračních směsí plynů jsou popsány v normách. Kalibrace měřicích přístrojů zahrnuje [31]:

- a) přípravu kalibrační směsi,
- b) expozici měřicího přístroje,
- c) nastavení nulové hodnoty měřicího přístroje.

2.4 RIZIKA NA PRACOVIŠTI

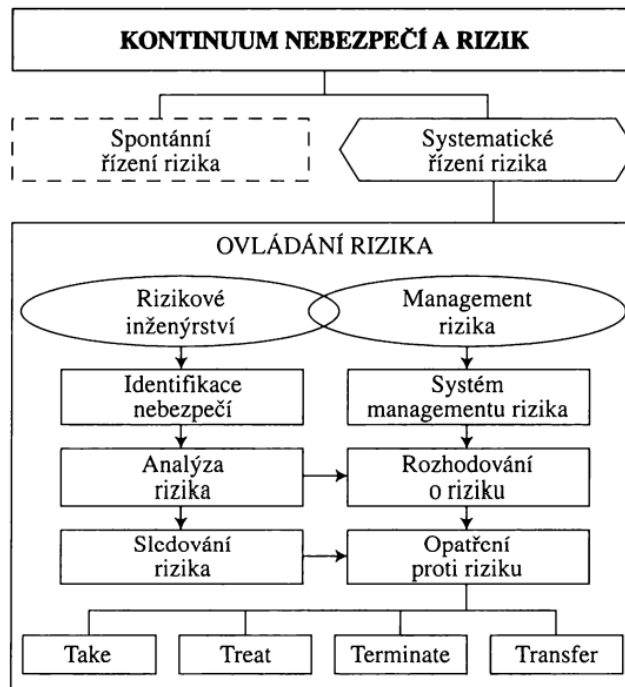
Definice rizika je poměrně nejednotná a záleží na odvětví, oboru a problematice, co se pod tímto pojmem rozumí. Skupiny definic se dají rozdělit na technické, ekonomické a sociální. Riziko lze dle Tichého chápat například jako: *„...pravděpodobnou hodnotu ztráty vzniklou nositeli, popř. příjemci rizika realizací scénáře nebezpečí vyjádřenou v peněžních nebo jiných jednotkách.“* Vzhledem k povaze této práce se nebudou hodnotit peněžní prostředky, ale lidské zdraví [35].

Právní rámec České republiky, potažmo Evropské unie ukládá zaměstnavateli obecnou povinnost k zajištění ochrany zdraví a bezpečnosti při práci. K tomuto účelu má zaměstnavatel pravidelně provádět hodnocení pracovních rizik a jejich kontrolu, řízení a zavádění protipatření. Při hodnocení rizik v oblasti nanobezpečnosti může vyskytnout několik problémů [26]:

- zaměstnavatel nemá dostatek informací o nebezpečných vlastnostech nanomateriálů;
- není stanoven postup ohledně zařízení a metod pro stanovení expozice;
- omezenými informacemi o účinnosti preventivních opatření;
- absence informací o přítomnosti nanomateriálů.

Rizika se liší v závislosti na druhu materiálu. Obecně lze ale říct, že největší riziko představuje expozice nerozpustnými nanovláknami, která jsou delší než 5 μm a poměr délky k šířce je větší než 3 : 1 [36].

V ideálním případě by bylo možné pracovní rizika způsobená jemnými a ultrajemnými částicemi eliminovat úplně. To ovšem není ve většině případů možné a je tedy třeba přistoupit k opatřením, které povedou alespoň ke snížení rizika. Systematický postup řízení rizika ilustruje **obr. 9**.



Obr. 9 Kontinuum nebezpečí a rizika, jeho řízení a ovládání [35]

Při tvorbě strategie k ovládání rizik by se mělo přistupovat systematicky a dle následující doporučení [3]:

- Omezit vznik rizik a odstranit jejich zdroje původu.
- Vzdělávat se v dané oblasti a využívat nové technologické a pracovní postupy.
- Omezit/eliminovat nebezpečné technologie, pracovní prostředky a suroviny.
- Minimalizovat počet zaměstnanců vystavených potenciálnímu riziku.
- Poskytnout vhodné prostředky ochrany (kolektivní ochrany, OOPP).
- Provádět systematické lékařské prohlídky a specializovaná vyšetření.
- Vytvářet postupy pro případ vzniku provozní havárie.
- Informovat zaměstnance o možných rizicích.
- Připravit bezpečnostní politiku v rámci celé organizace.
- Napláňovat preventivní opatření v delším časovém horizontu.
- Zavést monitoring možných rizik a pravidelné přezkoumání potencionálních rizik.
- Soustavně zvyšovat úroveň kultury bezpečnosti.
- Pravidelně kontrolovat a vyhodnocovat stav BOZP na pracovištích.

2.4.1 Hodnocení pracovních rizik

Dle OECD je vhodné při hodnocení rizik spojených s expozicí pracovníků nanočásticím uniklým při výrobě nanomateriálu dodržovat třístupňový postup. Ten se skládá ze sběru informací, základního hodnocení expozice a expertního hodnocení expozice. Sběr informací spočívá ve shromažďování informací o pracovišti, procesu a materiálech s cílem identifikovat možné zdroje jemných a ultrajemných částic na pracovišti. Pro tento krok je doporučeno používat nástroje pro Risk and Control Banding. Cílem sběru informací je stanovit, zda se může vyloučit vznik jemných a ultrajemných částic na pracovišti. Jestliže není možné vznik vyloučit, musí se pokračovat k dalšímu kroku [37].

Při hodnocení základní expozice je provedeno měření částic v pracovním prostředí. Měření by mělo být provedeno na několika přístrojích, aby se zajistil co největší vzorek. Strategie měření byla popsána v kapitole 2.3.2. Měření by mělo být delší než 45 minut a dle doporučení by mělo být provedeno měření na pozadí. Po vyhodnocení časových řad je dobré otestovat, zda se variabilita naměřená na místech s potencionálním zdrojem vzniku částic liší od variability měření na pozadí. Záznam z měření musí obsahovat popis měřidla, naměřená data, průměry a směrodatné odchylky pro měření na pracovišti a na pozadí, informace o pracovních procesech, a statistické testování rozdílu. Jestliže jsou na vytipovaných místech naměřeny zvýšené koncentrace částic (rozdíl mezi střední hodnotou měření na pracovišti a na pozadí je třikrát větší než směrodatná odchylka měření na pozadí), je nutné přejít třetímu kroku. [37].

Ve třetím kroku je provedeno měření pomocí pokročilejších měřících metod. Získaná data by měla být obdobná jako při hodnocení základní expozice. Strategie měření je podobná jako v předcházejícím kroku [37].

Obecně by hodnocení rizik mělo být založeno na principu předběžné opatrnosti a mělo by obsahovat [36]:

1. Seznam nanomateriálů používaných a uskladněných na pracovišti.
2. Informace o zdravotních rizicích NM.
3. Vyhodnocení inhalační, dermální a perorální expozice.
4. Rozhodnutí o opatřeních přijatých ke snížení expozice a akční plán.
5. Posouzení rizik pro zranitelné pracovníky (např. těhotné ženy a mladiství).
6. Pravidelnou revizi hodnocení rizik.
7. Hodnocení přijatých opatření, případně jejich vylepšení.

2.4.2 Prevence

Jak již bylo zmíněno výše, zaměstnavatel je povinen hodnotit rizika a zabezpečit pro své zaměstnance bezpečné pracovní prostředí. Což zahrnuje i ochranu před jemnými a ultrajemnými částicemi. Evropské právní předpisy týkající se BOZP stanovují hierarchii opatření na zabránění nebo snížení působení nebezpečných látek na pracovníky. Tato zásada se nazývá STOP a spadají do ní čtyři úrovně opatření [36]:

- **S** = Substitution – nahrazení (pokrývá také úplné odstranění nebezpečné látky).
- **T** = Technological measures – technologické/technické opatření.
- **O** = Organisational measures – organizační opatření.
- **P** = Personal protective measures – osobní ochranné opatření.

Eliminace nebo snížení rizika u zdroje

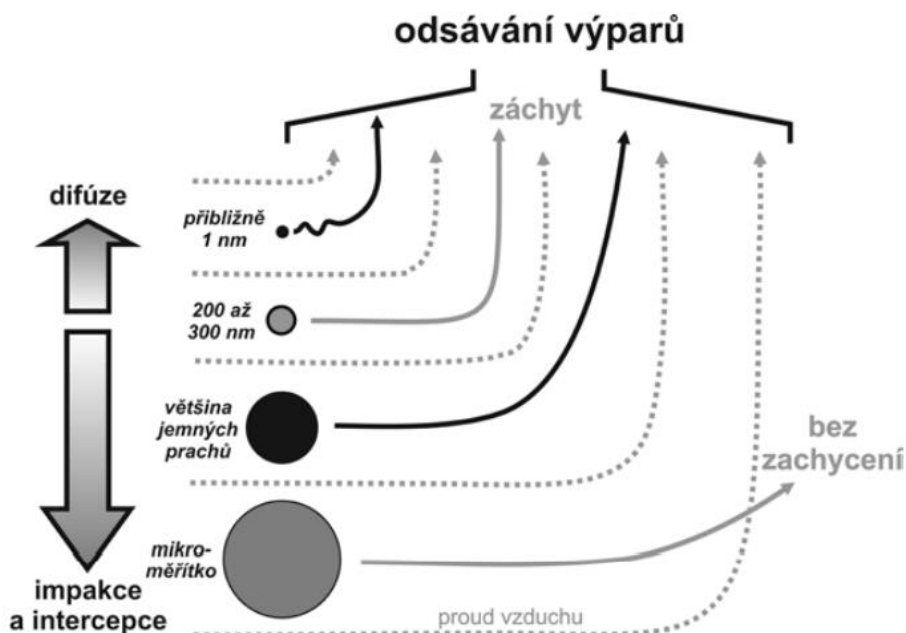
Nejefektivnějším preventivním opatřením je eliminace rizika přímo u zdroje. V tomto případě se jedná o substituci nebezpečné látky látkou méně nebezpečnou. U nanomateriálů s jedinečnými vlastnostmi je substituce ve většině případů velice složitá. Expozice se dá ale minimalizovat použitím tekuté formy nanomateriálu (pasta, kaše) nebo jeho tuhé formy. Na pracovišti by mělo být přítomno jenom nezbytně nutné množství látky a pracovníci by měli snížit dobu trvání a intenzitu expozice na minimum. Nezbytné je se preventivními opatřeními zabývat již v době návrhu pracoviště, kde je nutné přesně popsat pracovní procesy a možnosti expozice. V případě již existujícího pracoviště je vhodně použití bariér, jako jsou hermetické boxy, kryty nebo zástěny. Zabrání se proniknutí nebezpečné látky mimo příslušný pracovní prostor [36].

Technická opatření

Výběr technických opatření závisí na rozsahu expozice, požadavcích pracoviště, trvání expozice, formě a druhu nanomateriálu, zdravotních rizicích, pracovních činnostech, technologii atd. Existuje několik způsobů, jak snížit imisní zátěž ovlivněných pracovníků na minimum. Při zpracování nanomateriálů se většinou volí uzavřené systémy, aby se zabránilo kontaminaci. Uzavřený systém je zároveň technickým opatřením, jelikož brání nanomateriálům proniknout do okolního prostředí. Při filtrování vzduchu z a do uzavřeného systému se používají vysoce účinné filtry, například HEPA nebo ULPA [36].

V případech, kdy se nedá použít uzavřený systém, přichází na řadu technické kontroly. Sem spadá lokální a celkové odvětrávání. U lokálního odvětrávání se jedná o odtah aerosolů u zdroje jejich vzniku. Může jít o vysavače, které se používají například při broušení nebo řezání na statickém stroji anebo digestoře používané u svařování. Při odsávání je velice důležitá velikost částic, malé částice (1 nm)

pohybující se na principu difuze jsou zachyceny velice dobře, zatímco u větších k záchytu nedochází, viz **obr. 10**. Celkové odvětrávání funguje na principu nucené výměny vzduchu – znečištěný vzduch se odvádí a přivádí se vzduch čerstvý. Je nutné monitorovat odváděné množství kontaminovaného vzduchu i kvalitu vzduchu, který je na pracoviště přiváděn [36].



Obr. 10 Účinnost odsávání v závislosti na velikost částic [3]

Organizační opatření

Organizační opatření představují doplňující přístup tam, kde nebylo pomocí jiných opatření možné snížit riziko na přijatelnou úroveň. Jejich použití by mělo jít ruku v ruce s technickými opatřeními. Měly by být vytvořeny bezpečnostní postupy a pracovní pokyny při pracovních procesech, kde se mohou vyskytnout nanomateriály. Do organizačních opatření spadá například pravidelné školení a výcvik zaměstnanců, na kterém by měli být informováni o možných rizicích a předcházení jejich vzniku. Školení musí podstoupit všichni zaměstnanci, kteří se dostanou do styku s nanomateriály. Dalším opatřením je zkrácení expoziční doby, tím se sníží zátěž pro organismus a zvýší čas pro regeneraci [36].

Organizace by měla v rámci své bezpečnostní politiky aplikovat princip předběžné opatrnosti. Tento princip předpokládá, že škoda může nastat všude tam, kde je vědecký předpoklad či odůvodněný předpoklad, že může dojít k ohrožení lidského zdraví. A z tohoto důvodu je nutné přijmout ochranná opatření, i když není předpoklad potvrzen. Tento přístup se hojně využívá právě při hodnocení rizik nanomateriálů, jelikož zatím nejsou vytvořeny odpovídající vědecké studie. Do organizačních opatření také spadají preventivní lékařské prohlídky. Ty by měly posoudit zdravotní stav zaměstnance a jeho způsobilost k výkonu povolání, případně odhalit možné zdravotní komplikace [3], [36].

V případě, že není možné expozici snížit na přijatelnou úroveň pomocí technických opatření, je vhodné nastavit na pracovišti kontrolní pásma. V těchto pásmech může docházet ke kontaminaci a je nutné je viditelně označit. Je v nich zakázáno jíst a pít a zaměstnanec v nich musí být vybaven OOPP. S kontrolními pásmy úzce souvisí čistota na pracovišti a osobní hygiena. Na pracovišti a obzvláště na pracovišti s výskytem jemných a ultrajemných částic je nutné udržovat čistotu, používat vysavače s kvalitními filtry a zamezit zemetání a používání tlakového vzduchu, aby nedocházelo k víření. V případě osobní hygieny je nutné udržovat pracovní oděv čistý a neporušený, jeho čištění je nutné provádět za mokra, jelikož mechanické vyprašování by mohlo vést k sekundární emisi zpět do ovzduší [36].

Osobní ochranné pracovní prostředky

Jestliže nejsou proveditelná výše uvedená opatření, musí se přistoupit k ochraně pracovníků pomocí osobních ochranných pracovních prostředků. V oblasti zdravotních rizik spojených inhalací se bude jednat o ochranu dýchacího ústrojí. Může se jednat o respirátory (filtrační polomasky), filtrační masky a prostředky s pomocnou ventilací. Účinnost respirátorů se dělí podle tříd na FFP1, FFP2 a FFP3, kdy 3 označuje nejvyšší účinnost. Pro třídu 1 se uvádí účinnost filtrace částic větších než 0,6 μm minimálně 80 %, pro třídu 2 je účinnost minimálně 94 % a pro třídu 3 minimálně 99 % [38]. Filtry proti částicím použitelné na všechny výše uvedené OOPP se označují P1, P2, P3. Dalším prostředkem ochrany proti expozici nanomateriálům jsou ochranné oděvy. Na **obr. 11** jsou zobrazeny příklady respirátorů různých tříd [36].



Obr. 11 Příklady respirátorů [39]

2.4.3 Online nástroje pro řízení rizik nanomateriálů na pracovišti

Jedním z možných způsobů řízení rizik NM je rozřazení do kontrolních pásem. Jedná se o zjednodušenou metodu hodnocení rizik procesů a chemických látek, které se při nich používají. Při rozřazení do kontrolních pásem se používá kvalitativní nebo částečně kvantitativní přístup a cílem této metodiky je zvyšování bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Online nástroje jsou vhodné zejména pro situace, kdy jsou informace o nebezpečnosti, úrovni expozice a riziku omezené. Na základě vstupních informací jsou následně procesy rozřazeny do pásem podle jejich potencionální nebezpečnosti. Při nedostatku informací pracují na principu předběžné opatrnosti. Programy jsou průběžně aktualizovány na základě nových zjištění v oblasti bezpečnostních a zdravotních aspektů nanomateriálů [26].

Pro stanovení kontrolních pásem v malých a středních firmách lze využít například následující programy:

- Stoffenmanager Nano
- CB Nanotool 2.0
- NanoSafer

Volba jednotlivých programů se liší dle oblasti použití. Stoffenmanager Nano je vhodný pro nerozpustné nanomateriály menší než 100 nm a specifickým povrchem větším než $60 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. CB Nanotool 2.0 byl vytvořen pro laboratorní činnost a procesy, kde figuruje malé množství materiálu. NanoSafer se používá při stanovování kontrolních pásem u nanomateriálů ve formě prášku [26].

Výše uvedené softwary mohou být jednoduchým a relativně rychlým nástrojem pro hodnocení rizik spojených s NM. Bohužel jsou určeny pouze pro firmy, které se zabývají zpracováním a výrobou NM. V provozech, kde NM vznikají náhodně, nelze rizika hodnotit pomocí výše uvedených nástrojů. Jelikož se jedná o velice specifické programy, nelze je použít samostatně ke komplexnímu hodnocení rizik. Jsou určeny spíše jako doplněk k celkové analýze rizik. V neposlední řadě je nutné zvážit, zda se program vyplatí s ohledem na vysokou pořizovací cenu a následný provoz a údržbu.

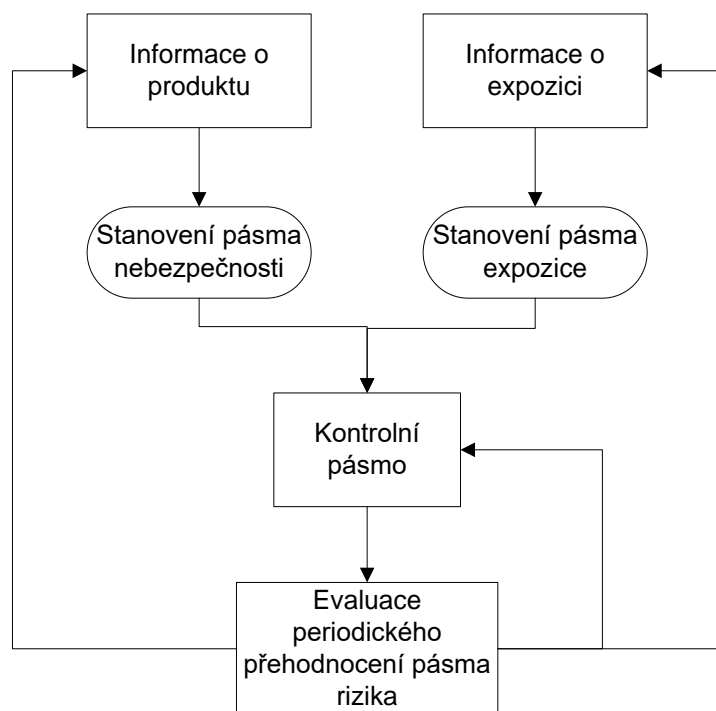
2.4.4 Control Banding

Nakonec je vhodné zmínit metodu control Banding (CB). V současné době je to jedna z nejpoužívanějších metod řízení rizik spojených s expozicí nanočásticím. CB se používá k posouzení expozice nanomateriálů v případech, že nejsou stanoveny limitní expoziční limity. Tato metoda bere do úvahy nejistoty vztahující se k toxicitě materiálů. Postup této metody je uveden v normě ČSN P ISO/TS 12901-2. Nanotechnologie – Použití managementu pracovního rizika pro nanomateriály v průmyslu – Část 2: Použití přístupu control banding. Implementace CB by měla být v souladu s metodikou STOP. Výstupem metody je rozdělení pracovišť dle závažnosti ohrožení a stanovení prioritních preventivních opatření [3].

Jedná se o kvalitativní nebo semikvantitativní posuzování rizika a přístup k managementu ochrany zdraví a bezpečnosti při práci vztažený k nebezpečným činitelům s neznámými nebo nejistými toxikologickými účinky. Poskytuje snadný, srozumitelný, logický a praktický přístup k řízení a kontrole nebezpečí vzniklých při práci, což ocení zejména malé podniky, které si nemohou dovolit nákladné softwary. Může být použit jako doplněk k tradičním kvantitativním metodám založeným na odběru a analýze vzorku. CB je založen na obecné myšlence, že i když mohou být zaměstnanci ohroženi celou řadou rozmanitých činitelů, tak je počet kontrolních přístupů omezen. Kontrolní přístupy jsou rozděleny do několika úrovní podle stupně ochrany. Čím větší je potenciaální ohrožení, tím vyšší musí být stupeň ochrany [40].

Směr postupu control bandingu může být jak od posouzení expozice k řízení rizik, tak od řízení rizik k expozici. Proaktivní způsob je založen očekávané expozici a použití základních faktorů ke zmírnění expozice. Retroaktivní je naopak založen na posouzení rizik, která více zohledňují faktory zmírnění expozice, včetně již implementovaných řídicích opatření. Obecná struktura procesu je zobrazena na **obr. 12** a sestává z následujících elementů [40]:

- shromažďování informací o látce (identifikace látky, fyzikálně-chemické vlastnosti, toxikologická data)
- přiřazení látky do pásma nebezpečí: vytváření pásem nebezpečí,
- popis možných charakteristik expozice (shrnutí dostupných dat o expozici: fyzikální forma, množství uvolněné látky, generace prachu, možnost měření): pásma vystavení se nebezpečným látkám,
- stanovení doporučeného pracovního prostředí a manipulačních postupů: control bandingu,
- evaluace strategie řízení nebo určení pásma rizika.



Obr. 12 Proces Control bandingu [40]

Je důležité si uvědomit, že některé vstupy, které nástroj požaduje, jsou formulovány na základě informací, které nejsou dostupné. Uživatel proto musí mít dostatečné znalosti v problematice prevence chemických rizik, která jsou v souvislosti s konkrétním materiálem známá. Pro úspěšnou realizaci nástroje je nezbytná kombinace odborné znalosti uživatele, schopnost kritického zhodnocení potencionální expozice a školení pro práci s control bandingem. Souběžně s tímto přístupem je vhodné provést celkové posouzení nebezpečnosti dané látky včetně enviromentálních rizik a nebezpečí výbuchu [40].

3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

Jemné a ultrajemné částice se na Zemi vyskytují od nepaměti a organismy jsou na jejich přírodní zdroje dobře adaptovány. V současnosti ovšem vznikají zejména antropogenní činností (automobily, těžba, spalovací procesy), což vede k expozici organismů částicím, na které jsou adaptovány pouze částečně. Do popředí se také dostává využívání nanotechnologií. Materiály vytvořené nebo zpracované nanotechnologiemi mají unikátní vlastnosti a těší se velké oblibě napříč různými odvětvími (přes potravinářství, zdravotnictví až po průmysl). Tento pokrok s sebou nese i obavu o vliv těchto uměle vytvořených materiálů na životní prostředí, potažmo lidské zdraví. Zejména pak o zdraví pracovníků, kteří přichází s těmito materiály do kontaktu. Může se jednat o pracovníky, kteří přímo pracují s nanočásticemi, takže jsou o jejich expozici poučeni. Na druhou stranu i u pracovních procesů, při kterých není primárním účelem vytvářet nanomateriály, může docházet k jejich uvolňování (termální a mechanické procesy).

Cílem této diplomové práce je zpracování rešerše týkající se současného stavu v oblasti jemných a ultrajemných částic a jejich vlivu na zdraví, popisu právního rámce v EU a České republice, postupu měření a seznámení s možnými přístupy k analýze rizik. Na základě rešerše provést měření v konkrétním podniku, vyhodnotit ho a stanovit možná opatření ke snížení rizik spojených s inhalační expozicí částic.

Měření bylo provedeno v průmyslovém podniku na pracovišti, kde jsou při zpracování materiálu používány mechanické procesy, díky kterým dochází k uvolňování jemných a ultrajemných částic. Jedná se tedy o pracoviště, na kterém nejsou primárně tyto částice zpracovávány a vyráběny, částice zde vznikají náhodně. Pro měření bylo vybráno několik přístrojů s různým měřicím rozsahem, které zaznamenávají koncentraci zmíněných částic v průběhu směny. Na základě výsledků měření byla doporučena opatření pro snížení rizik souvisejících s expozicí.

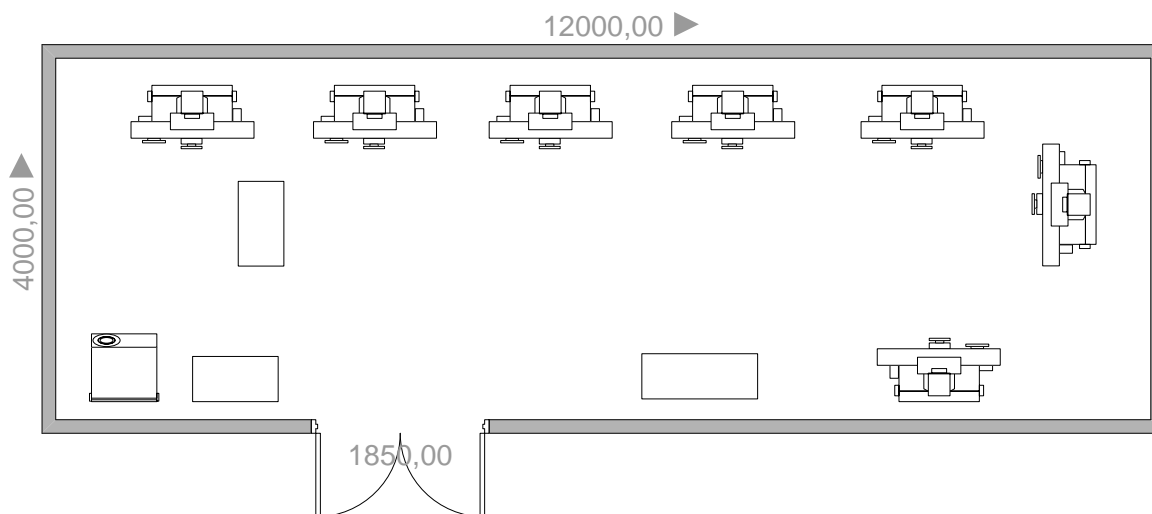
4 POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ

Při návrhu postupu měření se vycházelo zejména z normy ČSN EN 14 042, která obecně popisuje metodiky k posuzování expozice biologickým a chemickým činitelům. Tyto obecné postupy byly přeneseny do normy ČSN EN 16897 Expozice pracoviště – Charakterizace ultrajemných aerosolů/nanoaerosolů – Stanovení početní koncentrace pomocí kondenzátorových čítačů částic. Na základě těchto norem a přístupu OECD byl zvolen třístupňový postup hodnocení rizik. Ten se skládá ze sběru informací, základního hodnocení expozice a expertního hodnocení expozice.

4.1 SBĚR INFORMACÍ

Prvním krokem v přístupu OECD je sběr informací. Úkolem je identifikovat možné zdroje jemných a ultrajemných částic na pracovišti. Pro měření byl vybrán průmyslový podnik, který spadá do automobilového sektoru. Podnik zaměstnává několik tisíc pracovníků a disponuje několika halami, které jsou rozděleny na střediska. Každé středisko je zaměřeno na jinou výrobní technologii. Po konzultaci bylo vytipováno pracoviště, na kterém se předpokládá největší výskyt jemných a ultrajemných částic. Jednalo se o dílnu, kde dochází k mechanickým úpravám nástrojů (řezání, broušení) a sporadicky ke svařování.

Pracovní prostor má rozměry cca 4 × 12 m a není vybaven žádným odvětrávacím nebo klimatizačním systémem ani oknem, má pouze zvýšený strop. Trvale v dílně pracuje jeden člověk, ostatní pracovníci využívají prostor v případě potřeby mechanické úpravy nástroje. Dílna je vybavena jednou svařovací kójí, dvěma stolními vrtačkami, sedmi rovinnými bruskami a úhlovou bruskou. Na **obr. 13** je zobrazeno schéma dílny.



Obr. 13 Schéma dílny

Zaměstnanci nejsou při vstupu na toto pracoviště povinni používat žádné zvláštní ochranné pracovní prostředky. V celé výrobě musí zaměstnanci používat ochranné brýle a mít boty s ocelovou špičkou. V době pandemie platila povinnost mít na pracovišti nasazen respirátor minimálně třídy FFP2. Respirátory významně pomohly snížit množství inhalovaných částic, v současnosti je ovšem toto nařízení zrušeno. Na pracovišti se zpracovává zejména nástrojová ocel, což znamená, že složení uvolněných částic by mělo být z velké části shodné s touto ocelí. Ve složení může být zastoupen i materiál brusných kotoučů nebo prvky, které se uvolňují při svařování.

Díky tomu, že se nedá vyloučit únik/vznik nanočástic, je dle třístupňového postupu hodnocení nutno přistoupit k dalšímu kroku.

4.2 ZÁKLADNÍ ZHODNOCENÍ EXPOZICE

V tomto kroku bylo provedeno měření jemných a ultrajemných částic ve vybraném pracovním prostoru. Byly vybrány 2 měřicí přístroje a jeden odběrový. Měřicí přístroje sledovaly koncentraci částic v čase a odběrový přístroj zachytával rozptýlené částice na filtr, který byl poté analyzován pomocí elektronového mikroskopu. Pro stanovení reprezentativního vzorku bylo provedeno celkem 9 měření. Každé měření trvalo nejméně 7 hodin. Jelikož se jednalo o nepřetržitý provoz se standardní délkou směn 12 hodin, nebyl prostor pro měření „v klidovém stavu“. Během každého měření byl průběžně vyplňován formulář, do kterého se zaznamenávalo, jaká operace na pracovišti probíhá, aby bylo možné přesně určit zdroje částic.

Jelikož byl v tomto kroku identifikován zdroj jemných a ultrajemných částic, nebude prováděno expertní hodnocení expozice.

4.2.1 Použité přístroje

Jak již bylo zmíněno výše, pro měření byly použity tři přístroje, dva měřicí a jeden odběrový. Oba měřicí přístroje fungují na jiném fyzikálním principu (podrobně popsáno v kapitole 2.3.1). CPC je založen na principu kondenzace a OPS měří na základě rozptylu světla.

Condensation Particle Counter (CPC) 3007

Tento přístroj funguje na principu kondenzace. Částice menší než 100 nm musí být uměle zvětšeny, aby bylo možné je detekovat a spočítat. Ruční kondenzační čítač je schopen měřit částice v rozmezí 0,01 až 1 μm , koncentrační limit je 300 000 částic na cm^3 . Průtok aerosolu je nastaven na 100 $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Přístroj je určen k měření kvality vnitřního ovzduší nebo pracovního prostředí při teplotách od 10 do 35 °C. Naměřené výsledky jsou automaticky ukládány ve zvolených časových intervalech od 1

sekundy po 15 minut a jejich následná analýza je možná prostřednictvím počítačového softwaru. Kondenzační čítač je zobrazen na obr. 14.



Obr. 14 CPC 3007 [41]

Optical Particle Sizer (OPS) TSI 3300

Jedná se o optický spektrometr, který umožňuje rychlé a přesné měření velikosti a počtu částic. Jeho měřicí rozsah je od 0,3 do 10 μm , zaznamenává tedy hrubé a jemné částice. Koncentrační rozsah je 1 až 3 000 částic na cm^3 . Velkou výhodou je rozdělení vzorku do 17 tříd (dle velikosti částic) a následné stanovení počtu částic pro jednotlivé třídy. Lze jej použít pro monitoring aerosolu vnitřního a vnějšího ovzduší, měření pracovní expozice a kontrole emisí. Data jsou uložena v přístroji a lze si je stáhnout na flashdisk. Příklad je zobrazen na Obr. 15.



Obr. 15 OPS TSI 3300 [42]

AirChek SKC

Přístroj zobrazený na **Obr. 16** nezaznamenává žádná data a slouží pouze k odběru vzorků. Jde o odběrové čerpadlo s volitelným průtokem vzduchu, lze nastavit rozsah 5 až 5 000 ml·min⁻¹. Na čerpadlo je napojena odběrová kazeta, ve které je umístěn kruhový filtr. Na filtr se usazují částice a jeho propustnost závisí na zvolené jemnosti filtru. Je určen k odběru vzorků ovzduší v průmyslové hygieně, především v pracovním, vnitřním a venkovním prostředí. Jelikož se jedná o odběrové zařízení, musí být filtry následně podrobeny další analýze, aby mohlo být měření vyhodnoceno. V tomto případě se jednalo o analýzu složení částic na rastrovacím elektronovém mikroskopu.



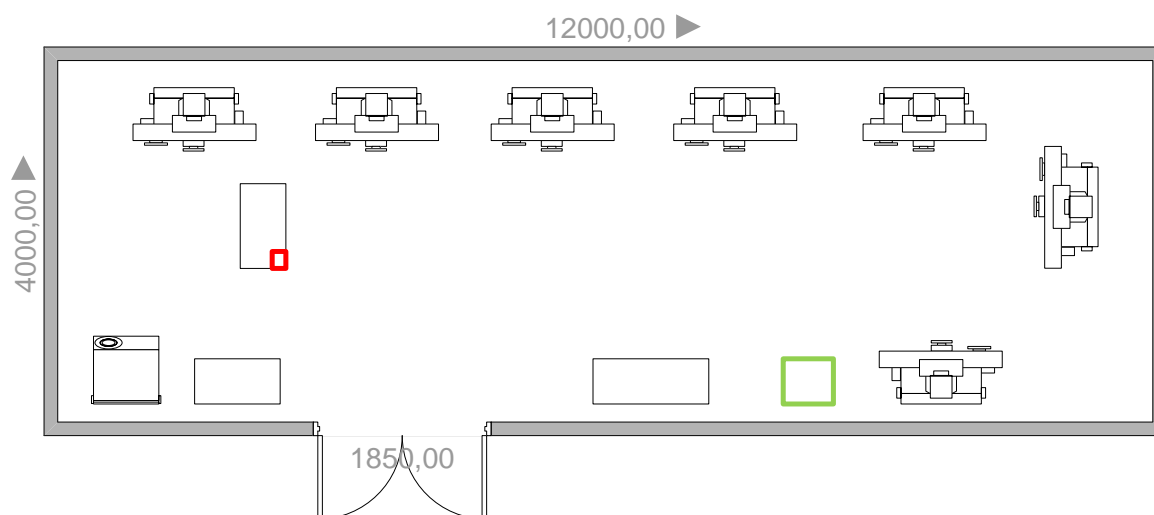
Obr. 16 AirChek [43]

4.2.2 Průběh měření

Nejprve bylo nutné vybrat vhodné místo pro umístění měřicích přístrojů. Postupovalo se dle strategie popsané v kapitole 2.3.2. Vzhledem k povaze pracovního prostoru a s ohledem na zachování pracovního procesu, byly měřicí přístroje CPC a OPS umístěny ve výšce 1 m nad zemí a cca 1,2 metru od zdi mimo frekventovaný pracovní prostor. Odběrové čerpadlo AirChek bylo ve výšce 1,2 metru na místě, kde se nejčastěji pohybují pracovníci. Na **Obr. 17** je zeleně označená přibližná poloha OPS a CPC. Červeně je označeno umístění AirChek čerpadla.

V průběhu měření byl kladen důraz na zachování standardních pracovních podmínek. Pracovníci volně přicházeli a odcházeli z pracoviště a nedodržovali žádný zvláštní režim. Každé měření začínalo rozmístěním měřicích přístrojů a jejich přípravou na vlastní měření. V případě OPS bylo možné měřit hned po zapnutí přístroje, ovšem u CPC bylo nutné počkat, až se připraví cartridge s alkoholem. Příprava CPC trvala 10 minut. U CPC i OPS bylo nutné nastavit vzorkovací interval, ve většině měření byl na každém měřidle nastaven interval 60 sekund. Každé měření začínalo zhruba v 7:15 a končilo cca v 15:30. K měření docházelo v průběhu prosince 2021 a ledna 2022. Jelikož se jednalo o měření v nepřetržitém provozu,

nebylo možné provést měření na pozadí, tedy měření, při kterém by se stanovili hodnoty koncentrací v klidovém stavu pracoviště. Průběh měření byl zaznamenáván do měřicího protokolu, aby bylo možné identifikovat, při jakém pracovním procesu dochází k uvolnění největšího množství částic. Příklad záznamu z měření je uveden v **Tab. 3**.



Obr. 17 Schéma dílny s měřicími přístroji

Tab. 3 Příklad záznamu z měření

Záznam z měření	Místo a datum měření:	06.01.2022, nástrojárna
	Vypracoval:	Ing. Alena Hájková
Použité vybavení	AirChek Touch (SKC, Inc.); Condensation Particle Counter CPC 3007 (TSI, Inc.); Optical Particle Sizer OPS 3330 (TSI, Inc.)	
Podmínky	Teplota:	21,6 °C
	Tlak:	99,088 kPa
	Vlhkost:	44,3 %
Začátek měření	7:15	
Konec měření	15:32	
Pracovní operace/čas trvání	Broušení	9:14 až 9:27
	Broušení	11:21 až 11:47

Přístroj AirChek byl zapnut po příchodu na pracoviště a k odběru vzorku docházelo po celou dobu měření. Průtok vzduchu byl nastaven na $1,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, což znamená, že po dobu měření bylo přečerpáno průměrně 755 litrů vzduchu. Při měření byly použity polykarbonátové filtry s průměrem 37 mm a porozitou $0,4 \mu\text{m}$. Jelikož nedocházelo k velkému znečištění filtrů, byl pro jedno měření použit pouze jeden filtr. Dva filtry byly po měření předány na analýzu pomocí elektronového mikroskopu. Vybrány byly filtry, které byly nejvíce znečištěné (předpokládala se u nich největší koncentrace částic).

5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Na základě měření provedeného dle strategie popsané v předchozí kapitole, bylo získáno velké množství dat. Data byla zpracována softwarem Aerosol Instrument Manager a MS Excel. Výsledky měření ze všech přístrojů jsou uvedeny v této kapitole. Bylo provedeno celkem 9 plnohodnotných měření.

5.1 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Výstupem z měření byl u obou přístrojů počet částic v čase na cm^3 . Pro větší názornost a porovnatelnost s hygienickými limity se autorka rozhodla pro přepočítání na hmotnostní koncentraci. Pro přepočítání při měření z OPS byl použit vztah [44]:

$$C_{\text{hmot},i} = \frac{N_i \cdot \frac{\pi}{6} \cdot D_i^3 \cdot \rho}{Q \cdot (t_s - DTC \cdot t_d)} \quad (1)$$

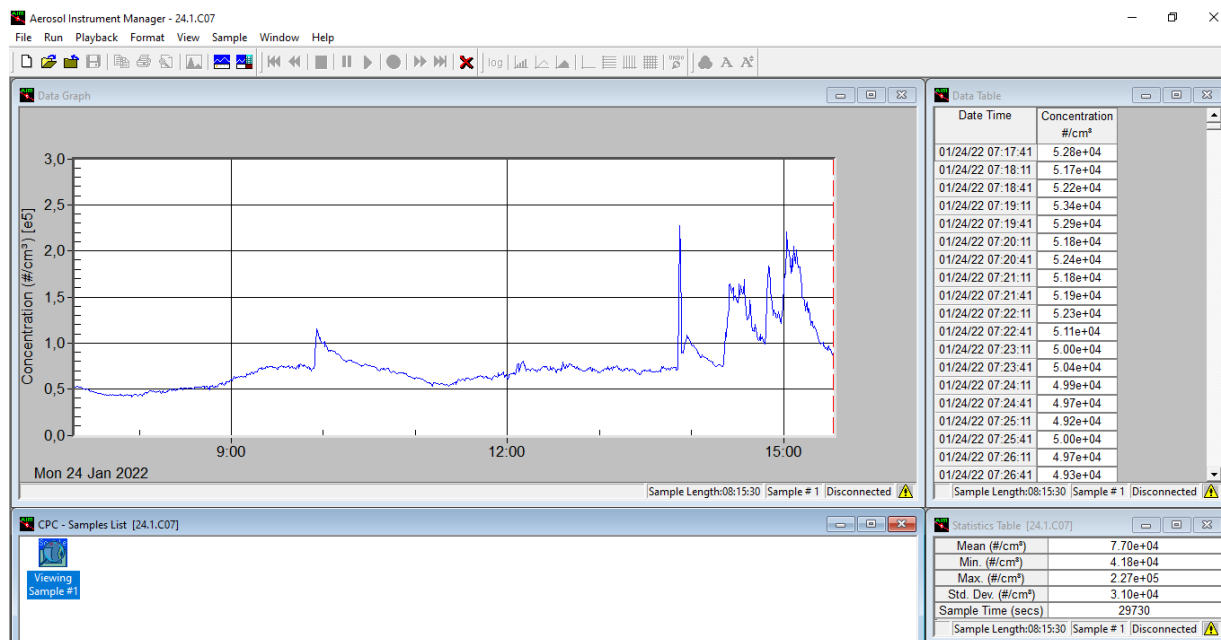
Kde:	
$C_{\text{hmot},i}$	hmotnostní koncentrace velikostní třídy i naměřená za jeden interval [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
N_i	počet impulzů ve velikostní třídě i v jednom intervalu [-]
D_i	velikostní třída [m]
ρ	hustota částic, uvažováno $7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Q	vstupní objemový průtok měřeného aerosolu
t_s	délka jednoho intervalu [s^{-1}]
t_d	mrtvý čas [s^{-1}]
DTC	faktor korekce mrtvého času [-] (u všech měření 1)

Pro přepočítání z CPC byl použit zjednodušený vztah 1. Jelikož CPC nerozlišuje velikost částic, byl jako průměr (velikostní třída) uvažován $1 \mu\text{m}$. Autorka si je vědoma, že toto zjednodušení je značně nepřesné a povede ke zkreslení výsledků. Pro větší názornost a potřeby této práce se jeví zvolený přepočítání dostatečný.

5.1.1 Data z CPC

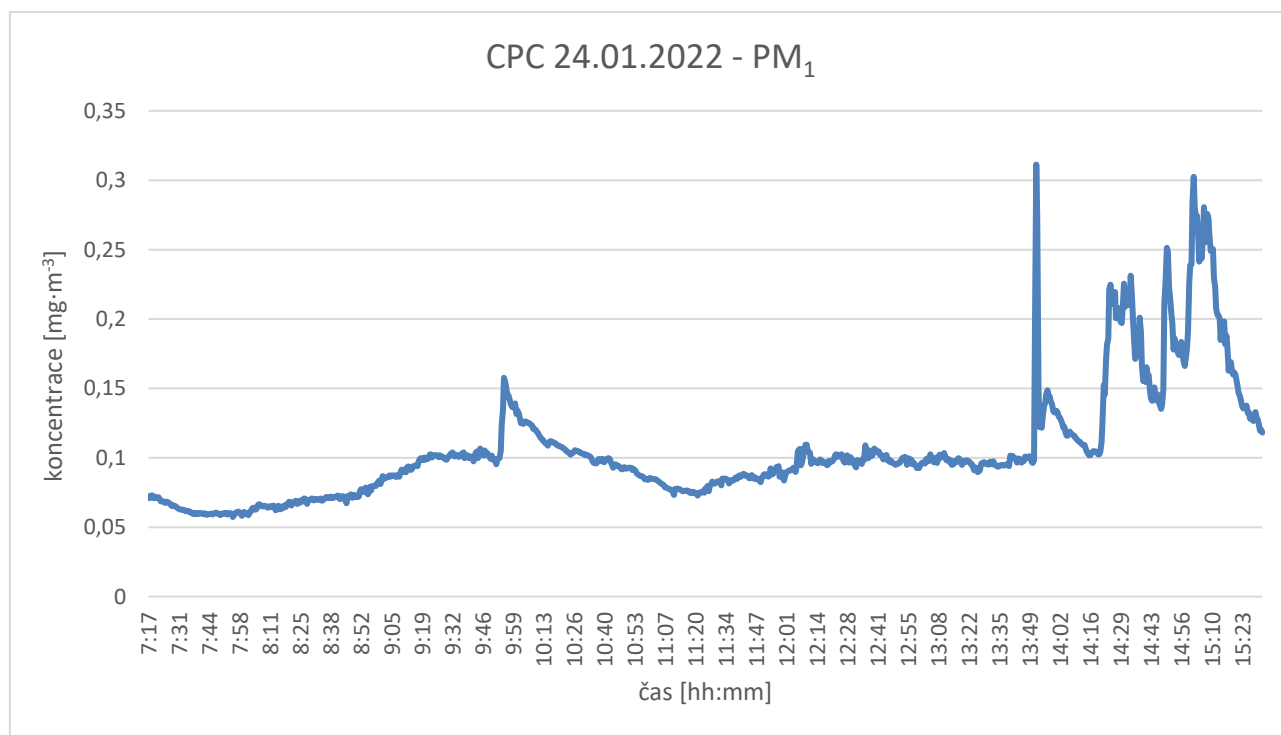
Data získaná měřením pomocí kondenzačního čítače částic byla v reálném čase přenášena a zpracovávána v softwaru Aerosol Instrument Manager (AIM). Na **obr. 18** je zobrazen výstup po provedení jednoho měření. Program umožňuje vytvoření grafu a základní statistiky (minimální a maximální hodnota, průměr a směrodatná odchylka). Data mohou být z programu exportována do textového souboru. Grafy se dají přepínat do několika různých zobrazení. Pomocí tohoto programu

jsou před začátkem měření nastaveny parametry měření, jako velikost testovacího intervalu, počet vzorků nebo celková doba testu.



Obr. 18 Software AIM

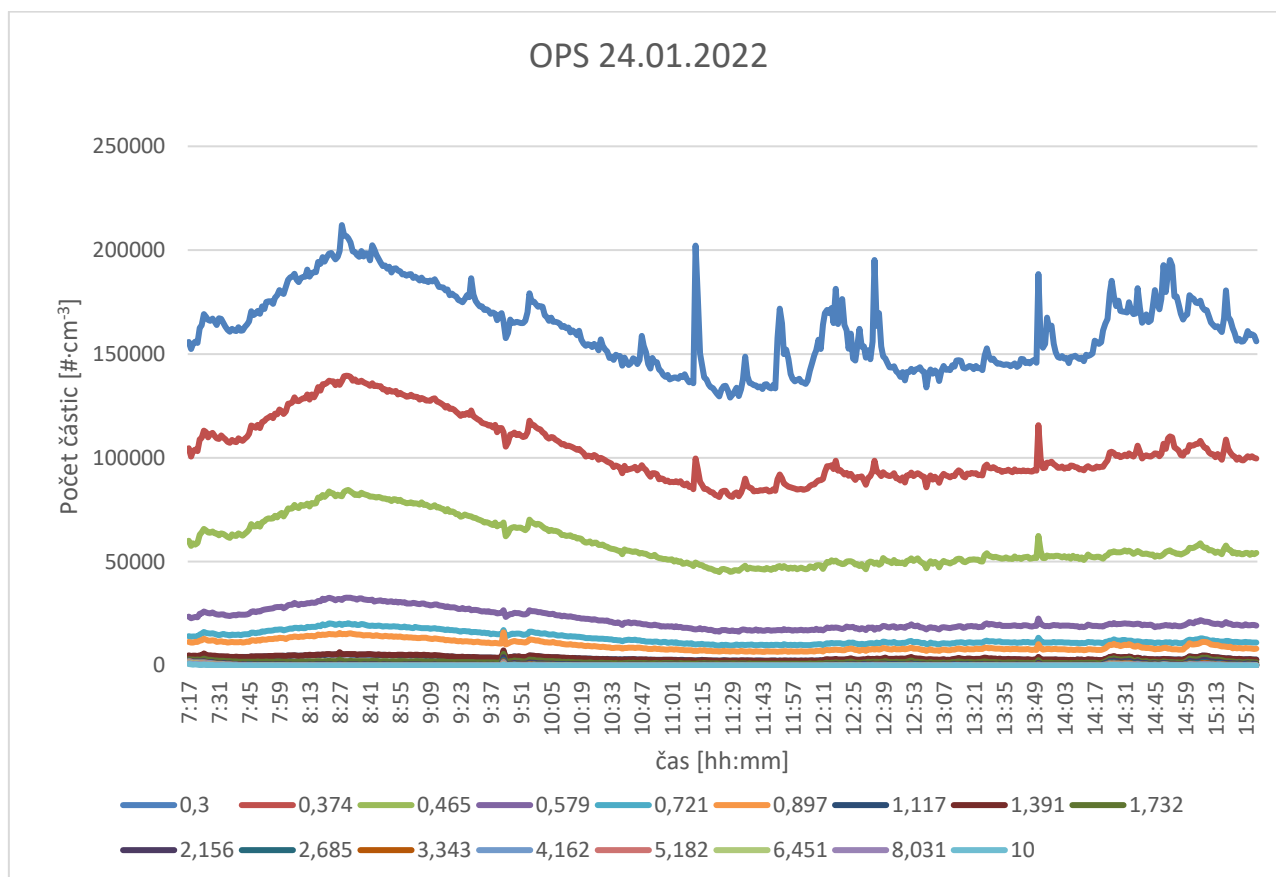
Dle uvážení autorky bylo množství částic přepočteno na hmotnostní koncentraci. Křivka grafu má stejný průběh, liší se pouze hodnoty na svislé ose, viz graf 3.



Graf 3 Příklad grafu z měření pomocí CPC – PM₁

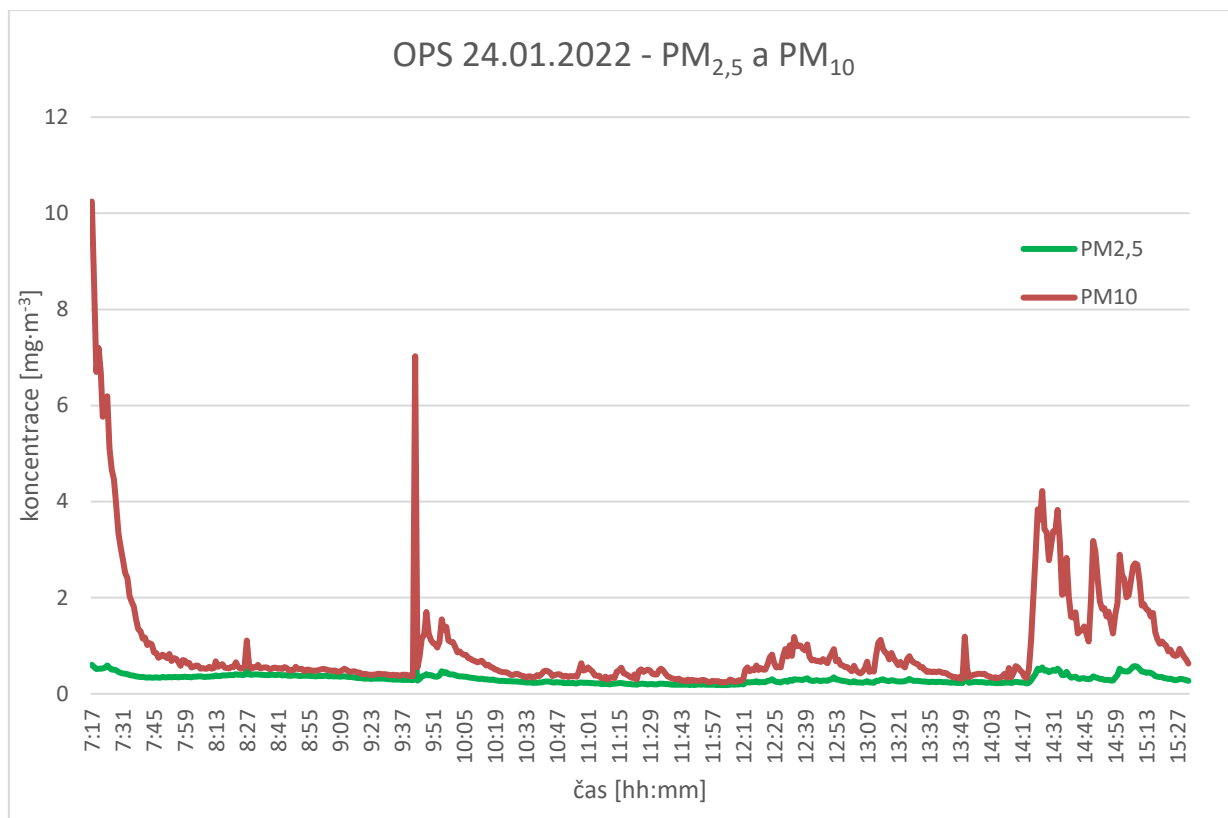
5.1.2 Data z OPS

Přístroj OPS ukládá data o měření do své interní paměti. Po skončení měření je bylo nutné stáhnout do počítače. Data byla ve formátu textového souboru. Jejich zpracování bylo provedeno v programu Excel. Přístroj částice dle průměru rozdělil do 17 velikostních tříd (binů). Na **grafu 4** jsou vykresleny všechny biny.



Graf 4 Příklad grafu z měření pomocí OPS - Biny

I v tomto případě se autorka rozhodla pro přepočítání na hmotnostní koncentraci. Data z binů 0,3 až 2,685 μm byla zahrnuta do frakce $\text{PM}_{2,5}$ a všechny biny byly zahrnuty do frakce PM_{10} . Pro přepočítání byl použit vztah (1). Pro popis dalších měření budou použity pouze grafy s rozdělením do frakcí. **Graf 5** znázorňuje průběh koncentrace v čase pro frakce $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} . Hned na začátku měření je koncentrace zvýšena nad hodnotu $10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je limitní hodnota dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. pro prachy s převážně nespecifickým účinkem, do kterých spadá i železo a jeho slitiny.



Graf 5 Příklad grafu z měření pomocí OPS - PM_{2,5} a MP₁₀

5.2 PROVEDENÁ MĚŘENÍ

Měření byla provedena v období od 10.12.2021 do 27.01.2022. Celkem bylo provedeno 9 měření. Probíhala vždy na stejném pracovišti. Jednalo se o dílnu o rozměrech 4 × 12 metrů. V průběhu měření bylo dbáno na dodržení standartních pracovních podmínek. Na pracovišti není za normálních okolností povinnost nošení respiračních ochranných pracovních pomůcek. Všechna měření ale proběhla za pandemie covidu, proto byl vstup na pracoviště podmíněn nasazením ochrany dýchacích cest.

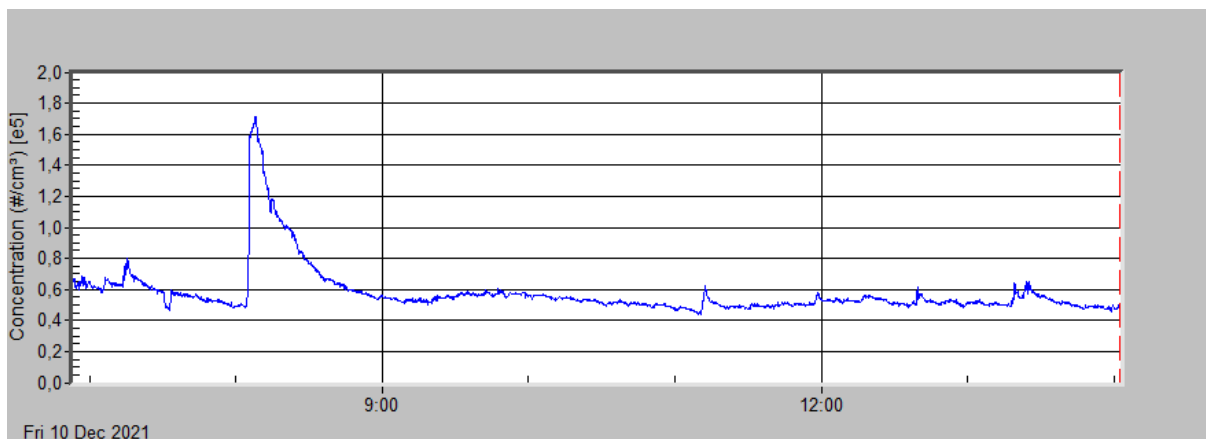
Výsledky z prvních měření jsou popsána detailněji, v dalších dochází ke stále se opakujícím operacím, proto jsou popsána stručněji. Výstupem z měření jsou grafy a v případě CPC je pro větší názornost uveden i průběh z AIM, který zobrazuje počet částic. Na elektronovém mikroskopu byla provedena analýza vzorků pouze z 06.01.2022 a 25.01.2022.

5.2.1 Měření 10.12.2021

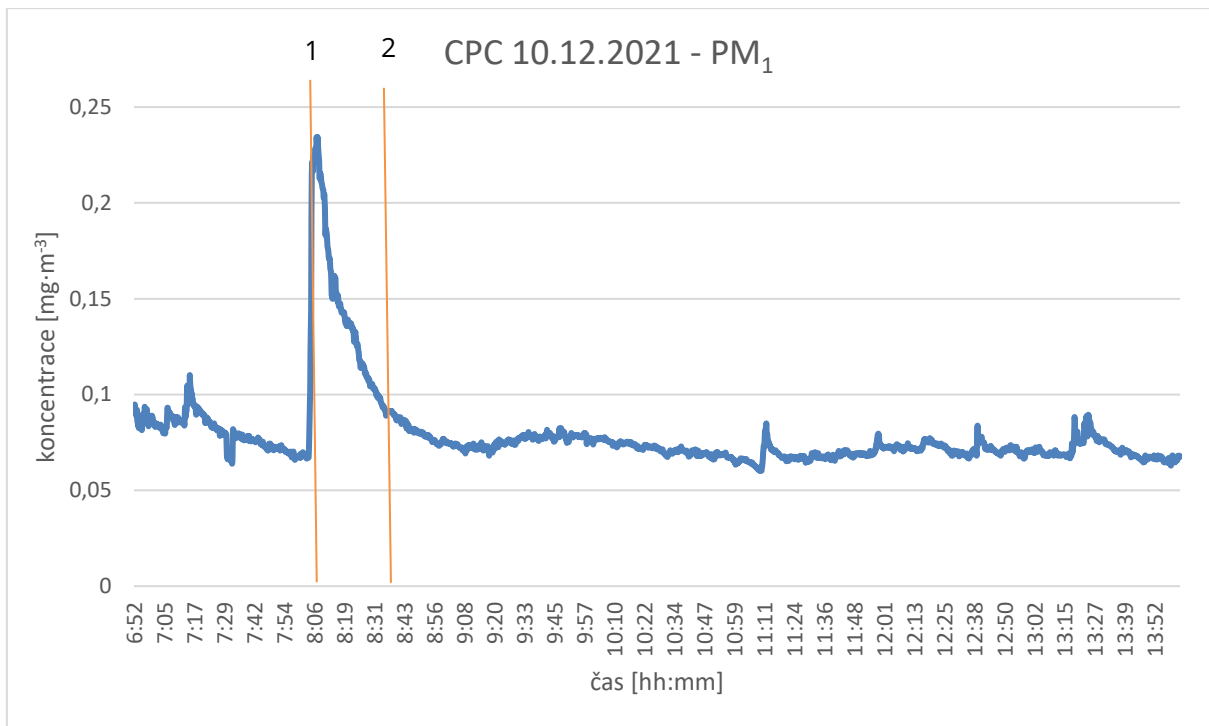
Měření se uskutečnilo v době od 6:52 do 14:02, trvalo tedy 7 hodin a 10 minut. Důvodem k dřívějšímu konci měření byl slabý provoz na pracovišti. V první hodině se průběžně brousilo na jedné až třech bruskách a hodnoty byly vcelku stabilizované. U MP_1 to bylo kolem $0,08 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (cca 60 000 částic na cm^3 , viz **obr. 19**). U $PM_{2,5}$ a PM_{10} byly počáteční hodnoty $0,16$ a $0,35 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Přibližně v 8:05 došlo k řezání na úhlové brusce, které trvalo asi 20 sekund (oblast 1 na **grafech 6** a **7**). S několika sekundovým zpožděním se hodnoty bezmála ztrojnásobily. A poté trvalo 30 minut, než klesly na původní hodnotu. V 8:14 se začalo svařovat, na měření to mělo pouze nepatrný vliv u CPC (hodnoty mírně vzrostly, ale poté zabralo odsávání). V 8:36 došlo ke zbrúšení kotoučů. Tato operace neměla žádný vliv na produkci částic menších jak $1 \mu\text{m}$. Ovšem u OPS a zejména u koncentrace hrubé frakce došlo k významnému zvýšení (oblast 2). Koncentrace se dostala až na $2,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$

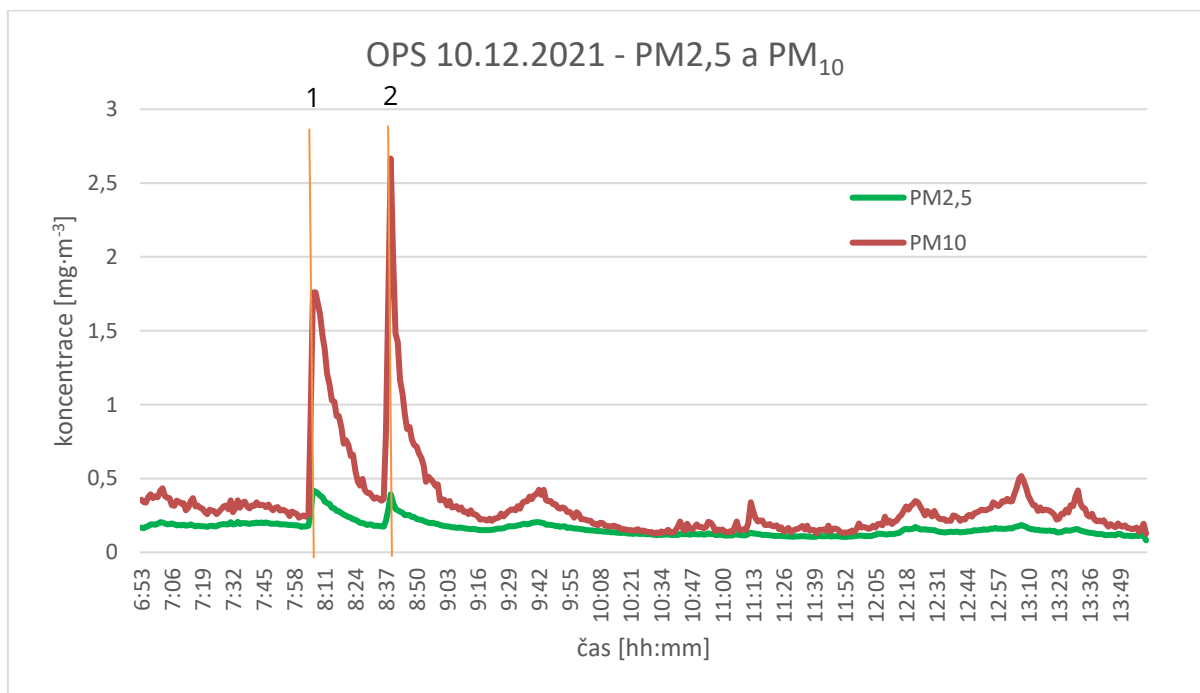
Další průběh měření byl stabilní a nevyskytovaly se v něm žádné velké výkyvy. K broušení na bruskách docházelo po celou dobu měření a pouze se střídala jejich vytíženost. Hodnoty koncentrací se držely u PM_1 v rozmezí od $0,06$ do $0,08 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, u $PM_{2,5}$ okolo $0,16 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a u PM_{10} kolem $0,3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, což odpovídalo hodnotám na začátku měření. U PM_{10} došlo ke konci měření k mírnému nárůstu, poté se ale hodnoty zase ustálily.



Obr. 19 Záznam z CPC 12.10.2021



Graf 6 CPC 10.12.2021 - PM₁

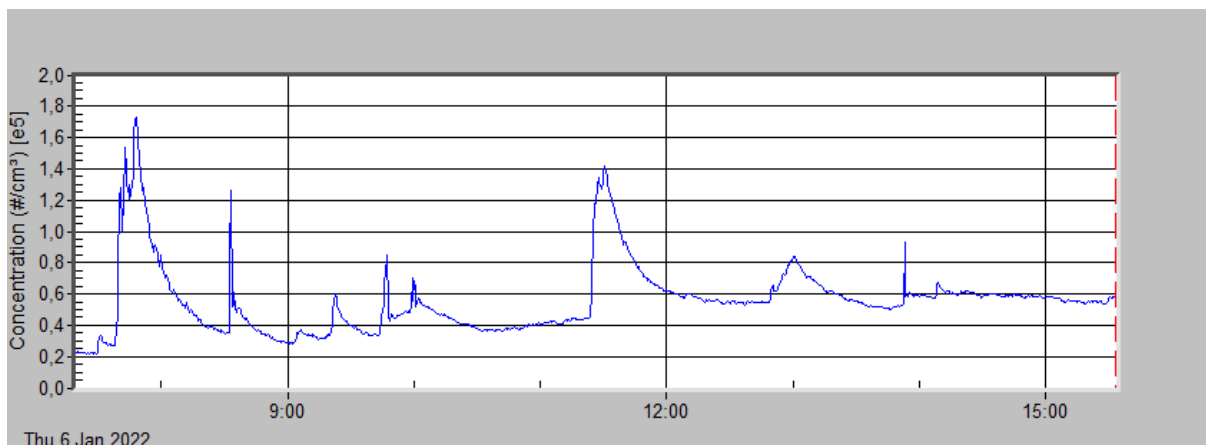


Graf 7 OPS 10.12.2021 PM_{2,5} a PM₁₀

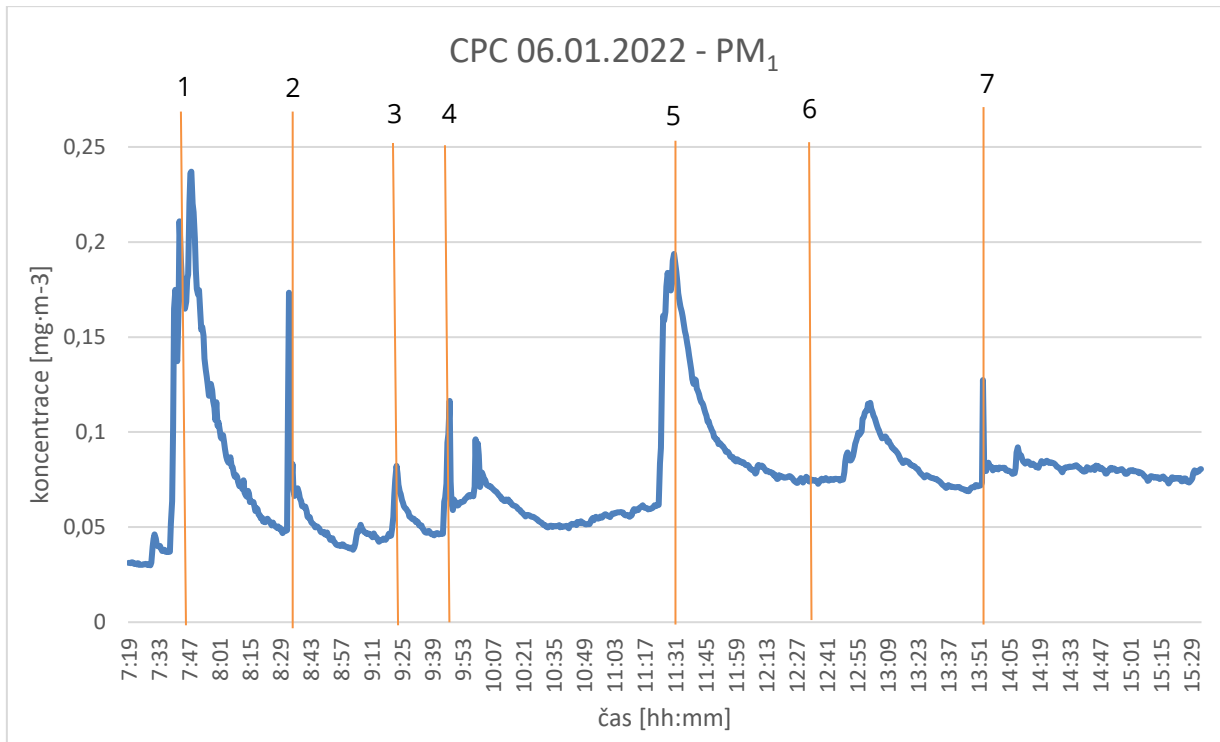
5.2.2 Měření 06.01.2022

Měření bylo zahájeno v 7:19 a ukončeno v 15:32, trvalo 8 hodin a 15 minut. Počáteční naměřená hodnota pro CPC byla $0,03 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($20\,000$ částic na cm^3 , viz obr. 20), pro $\text{PM}_{2,5}$ $0,27 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pro PM_{10} $0,45 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Na grafech je vidět několik náhlých vzrůstů koncentrace. V 7:30 začalo broušení na brusce vedle měřicího stanoviště, na průběh měření to ale nemělo vliv. K prvnímu nárůstu koncentrací došlo v 7:42, kde se začalo brousit bez emulze. V 7:47 byla použita úhlová bruska a koncentrace vzrostla na maximální hodnoty. CPC zaznamenal hodnoty okolo $175\,000$ částic na cm^3 , tedy PM_1 $0,24 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, u $\text{PM}_{2,5}$ vzrostla koncentrace na bezmála $0,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a u PM_{10} $2,33 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Na grafech 8 a 9 je označen tento vrchol 1.

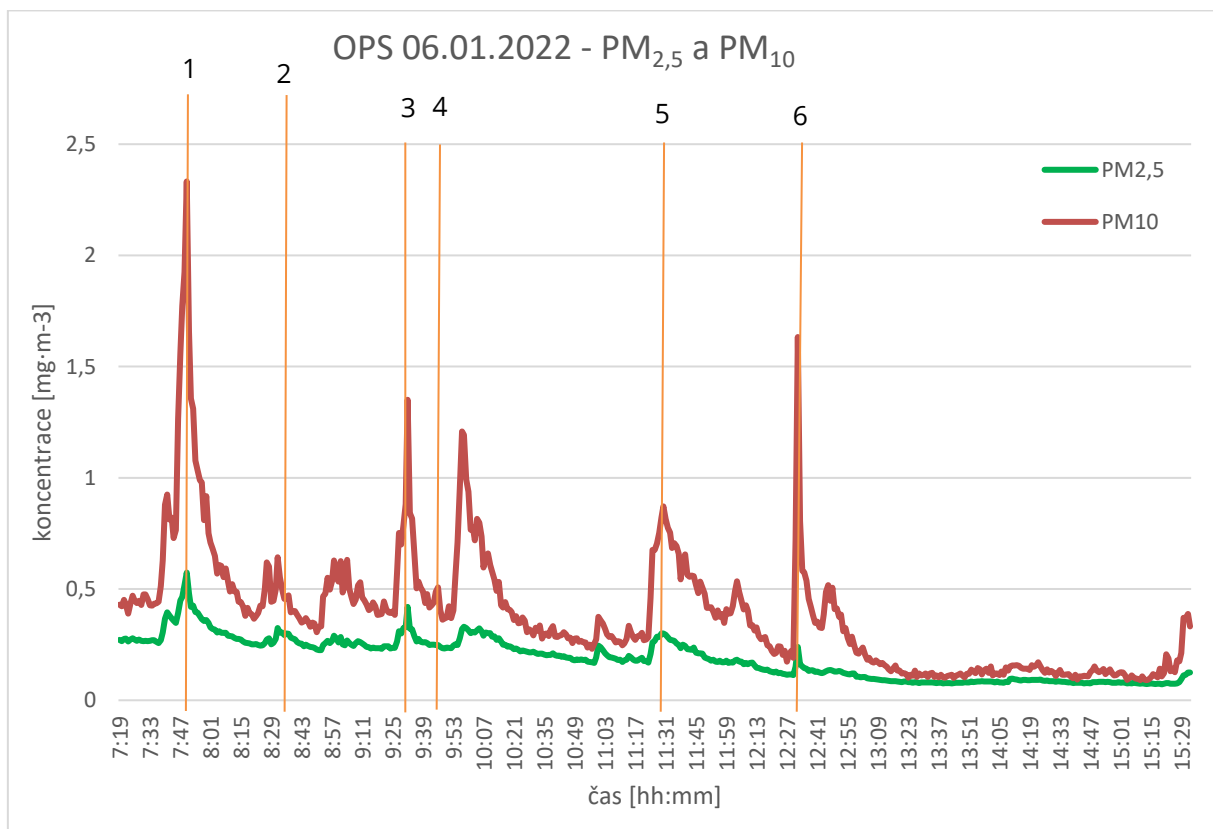
V 8:30 došlo k broušení na stolní brusce a ovlivněna byla především koncentrací PM_1 (oblast 2). V 9:20 se na rovinné brusce brousilo bez emulze, což mělo za následek zvýšení koncentrace zejména u PM_{10} , která vzrostla na $1,33 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (3). V 9:42 se opět brousilo na stolní brusce s nárůstem koncentrace ve vrcholu 4. Okolo 11:30 došlo ke svařování a řezání úhlovou bruskou, což mělo za následek zvýšení koncentrace. Tento nárůst ztlačně ovlivnil frakci PM_1 a vedl k jejímu zvýšení na $0,19 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, tedy asi $140\,000$ částic na cm^3 . Krátce po půl jedné došlo k broušení bez emulze, jenž mělo za následek zvýšení koncentrace hlavně u frakce PM_{10} , která překročila hodnotu $1,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (6). Okolo 13:00 se svařovalo a v 13:52 se brousilo, což ovlivnilo pouze koncentraci PM_1 .



Obr. 20 Záznam z CPC 06.01.2022



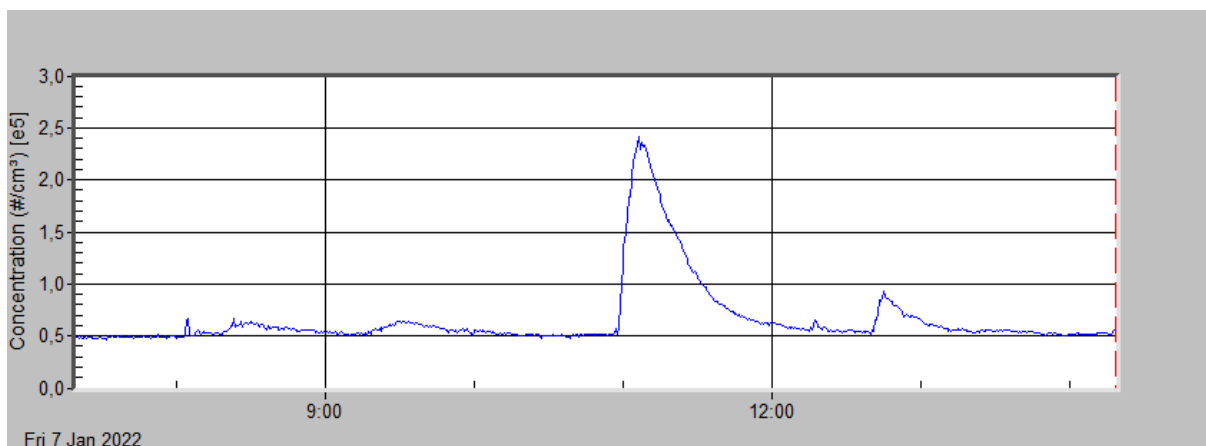
Graf 8 CPC 06.01.2022 - PM₁



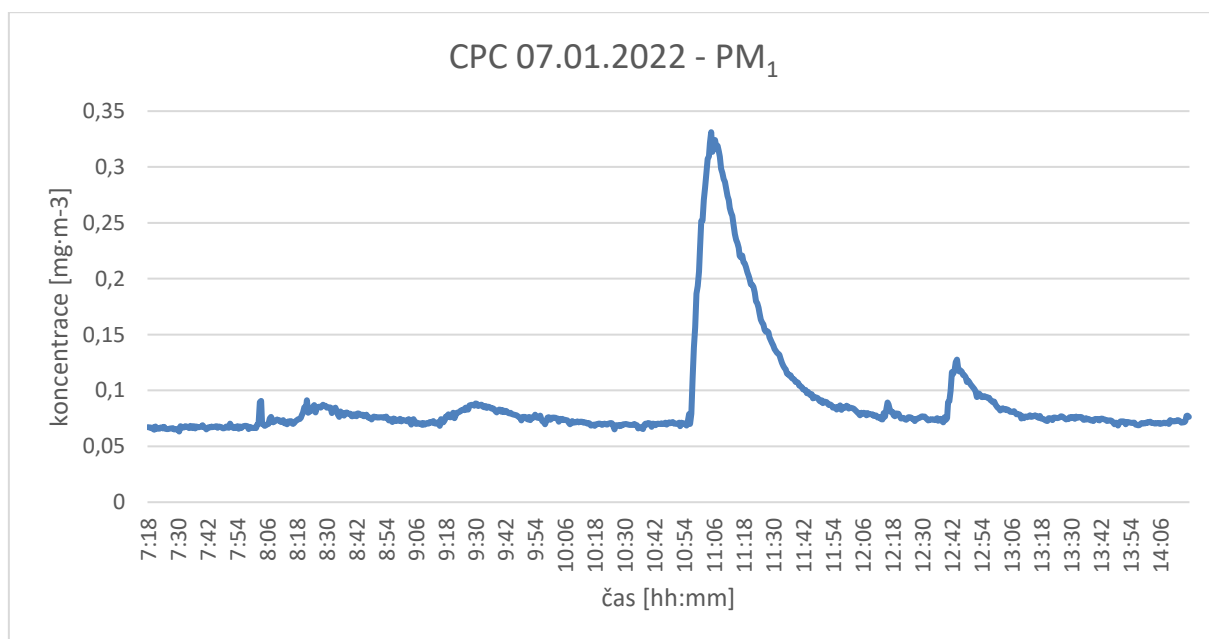
Graf 9 OPS 06.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.2.3 Měření 07.01.2022

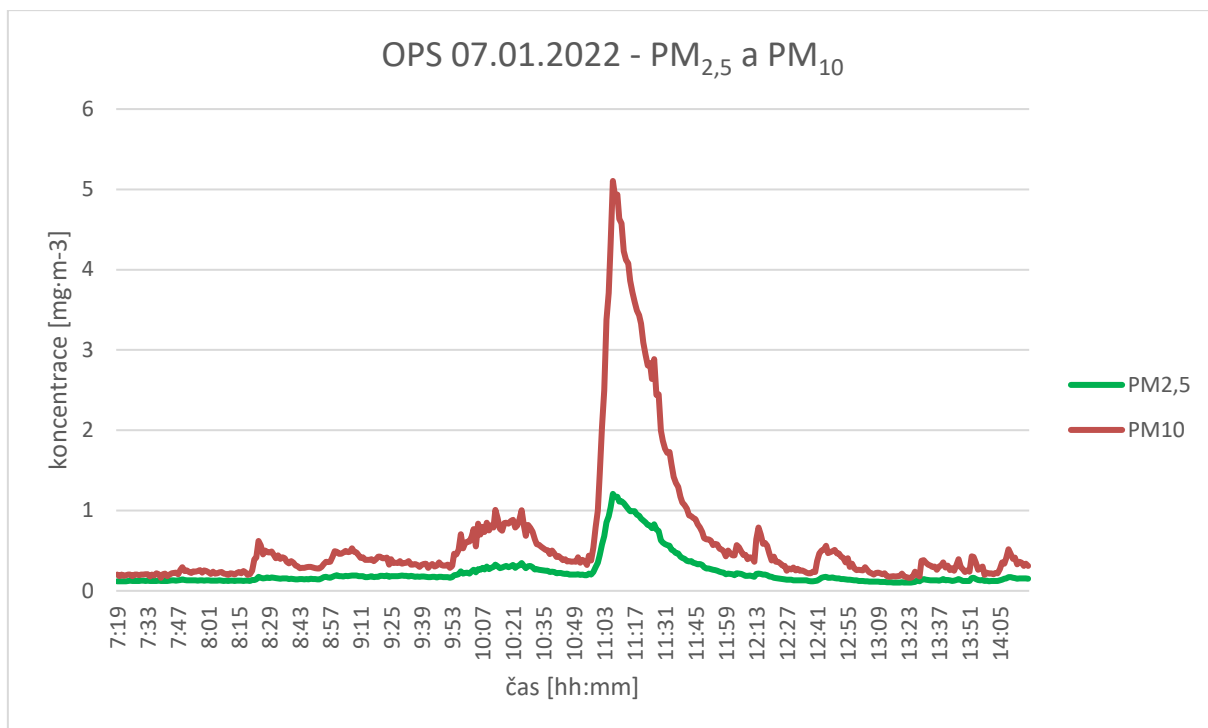
Měření začalo v 7:18 a jeho průběh byl stabilní. Počáteční hodnoty se pohybovaly okolo $0,06 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (cca 50 000 částic na cm^3 , viz obr. 21) pro PM_1 . $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} si udržovaly hodnotu mezi $0,18$ a $0,19 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (viz graf 11). Malý nárůst byl zaznamenán okolo 8 hodiny, kdy se začalo brousit na strojích. V 11:06 došlo k řezání nerezové oceli pomocí úhlové brusky, což zapříčinilo strmý nárůst koncentrace částic. U PM_1 (viz graf 10) byly zaznamenány hodnoty $0,35 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a 250 000 částic na cm^3 . Dominantní nárůst je jasně patrný i u dalších frakcí, zejména u PM_{10} , kde koncentrace přesáhla $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. U frakce $\text{PM}_{2,5}$ byla přesažena hodnota $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Další průběh měření s sebou nepřinesl žádné významné výkyvy. V 12:43 se brousilo na ruční brusce, což ovlivnilo pouze frakci PM_1 . Měření bylo ukončeno v 14:18 a trvalo přesně 7 hodin.



Obr. 21 Záznam z CPC 07.01.2022



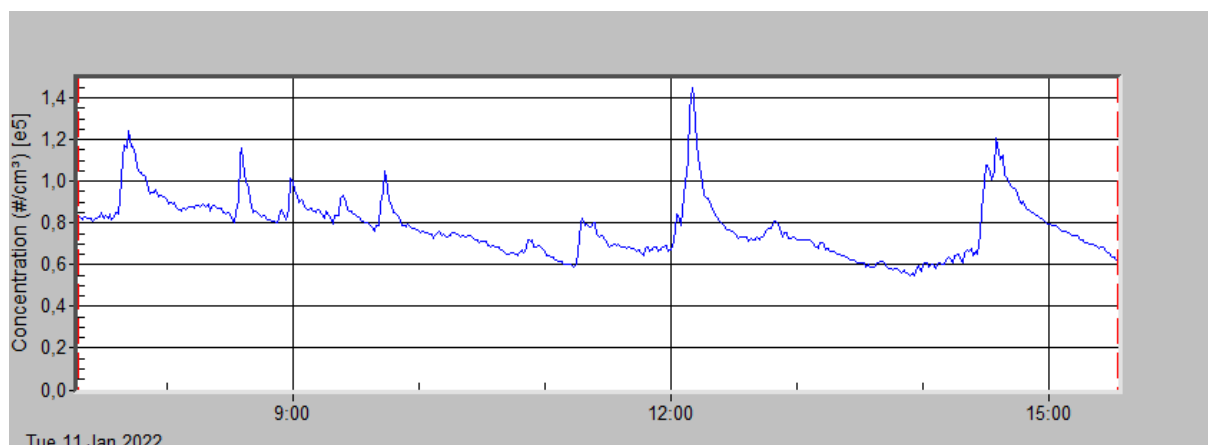
Graf 10 CPC 07.01.2022 - PM_1



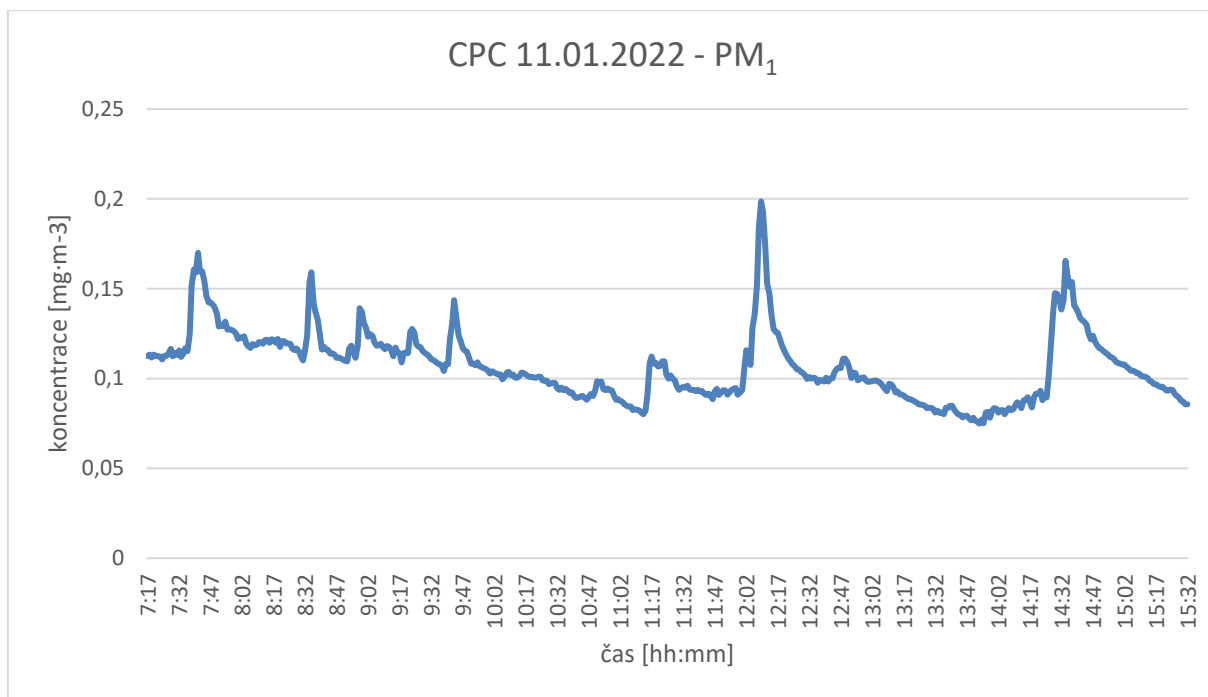
Graf 11 OPS 07.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.2.4 Měření 11.01.2022

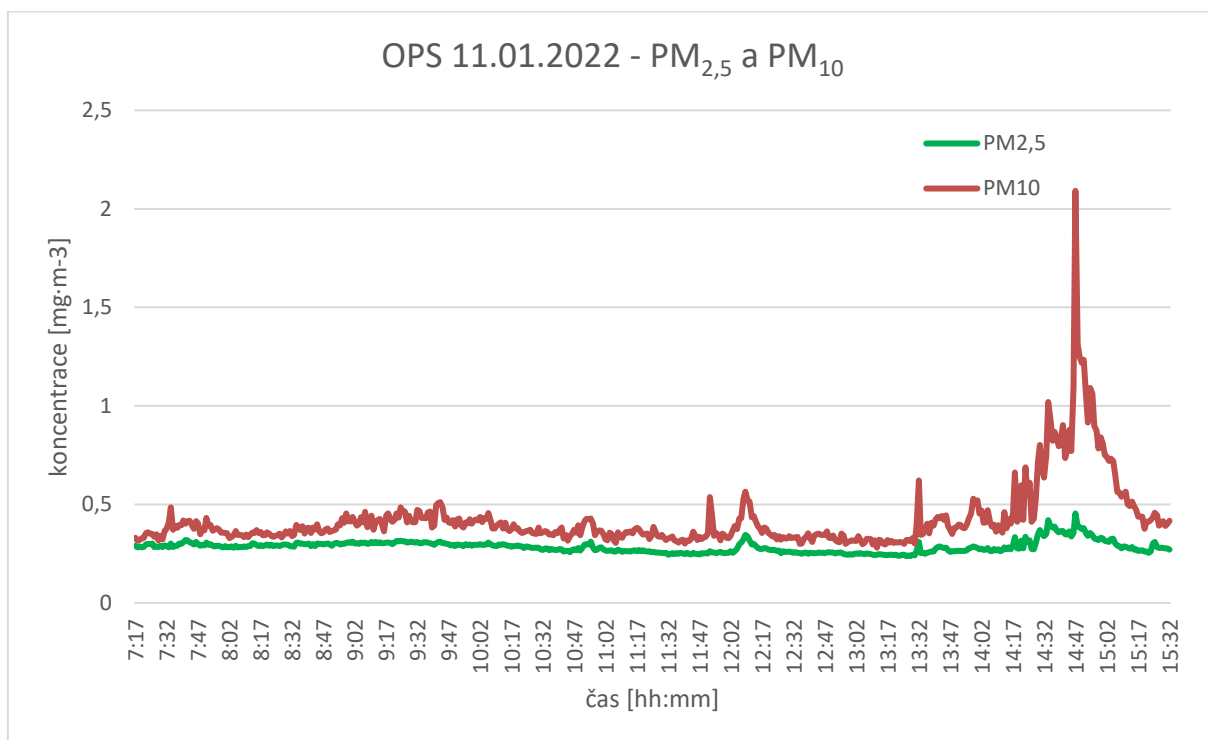
Měření bylo zahájeno v 7:17. Na **grafu 12** pro PM₁ je možné vidět 6 větších vzrůstu a poklesů koncentrace. Všechny byly způsobeny broušením na brusce bez emulze. Na **grafu 13** pro PM_{2,5} a PM₁₀ se tyto operace výrazně neprojevily. Jejich hodnoty se držely kolem 0,32 mg·m⁻³ (PM_{2,5}) a 0,41 mg·m⁻³ (PM₁₀). Kolem 12. hodiny bylo broušeno na ruční brusce, což zvedlo koncentraci PM₁ na 0,19 mg·m⁻³. U PM_{2,5} se operace projevila zvýšením hmotnostní koncentrace na 0,35 mg·m⁻³ a v případě PM₁₀ vzrostla na 0,52 mg·m⁻³. V případě posledního velkého vzrůstu PM_{2,5} a PM₁₀ se přesně nepodařilo určit příčinu. Měření bylo ukončeno v 15:32 a trvalo 8 hodin 16 minut.



Obr. 22 Záznam z CPC 11.01.2022



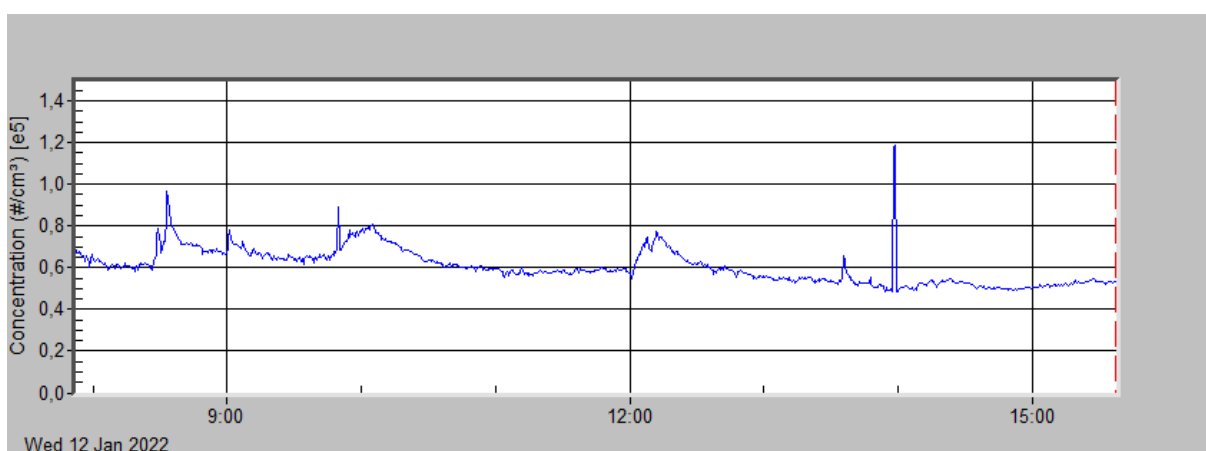
Graf 12 CPC 11.01.2022 - PM₁



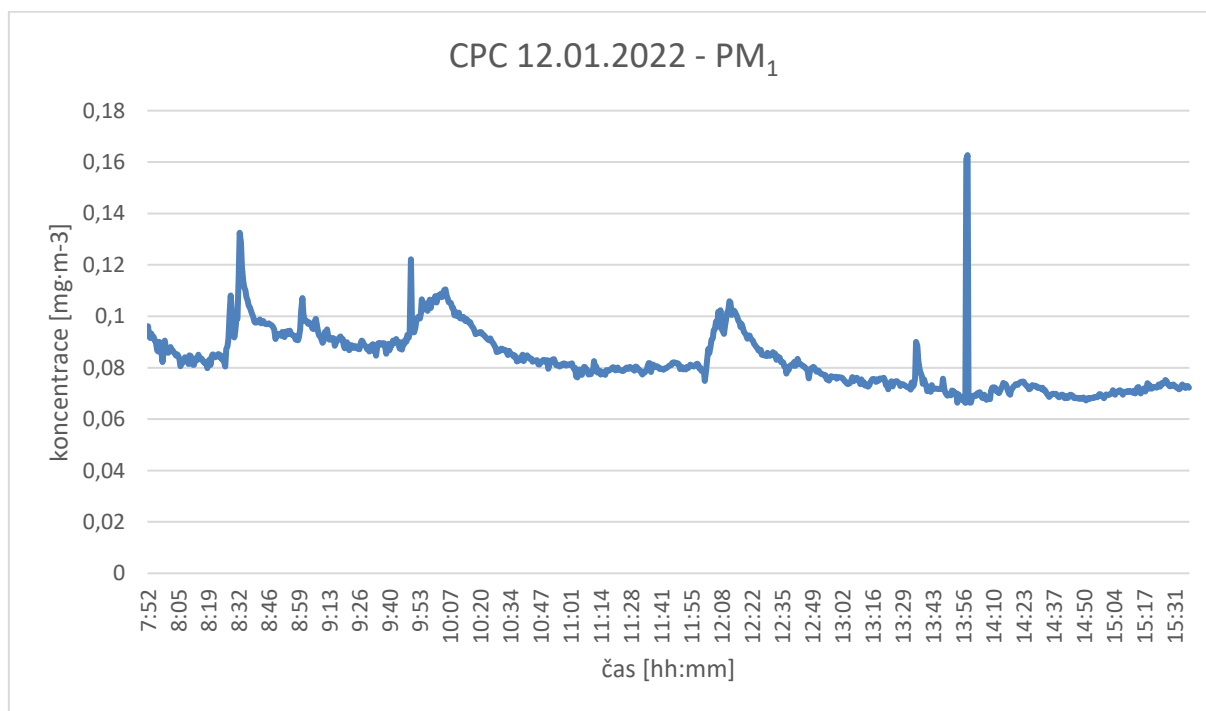
Graf 13 OPS 11.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.2.5 Měření 12.01.2022

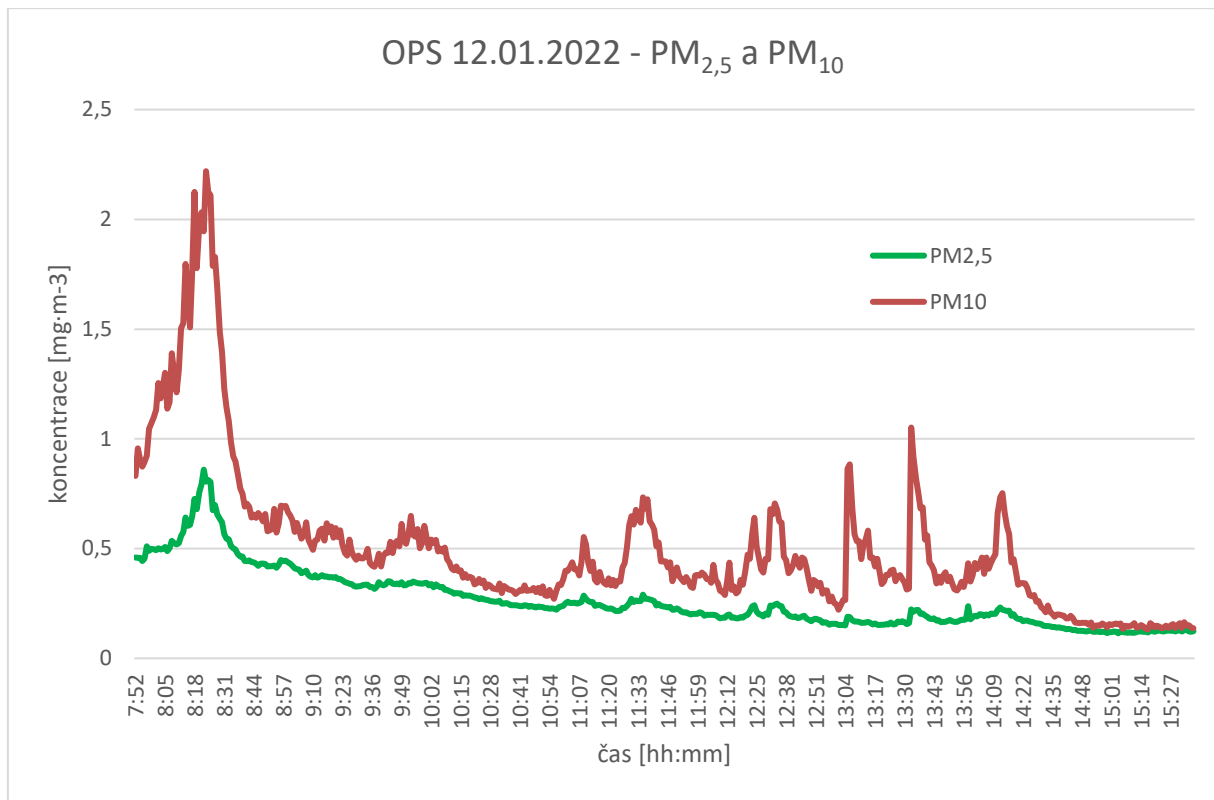
Měření bylo spuštěno v 7:52, v době spuštění přístrojů se brousilo na dvou bruskách. V 8:30 došlo k řezání úhlovou bruskou, hodnoty pro PM_1 (graf 14) stouply z 0,08 na 0,14 $mg \cdot m^{-3}$, u PM_{10} byl nárůst více než dvojnásobný, z 0,89 na 2,22 $mg \cdot m^{-3}$ a u $PM_{2,5}$ z 0,44 na 0,82 $mg \cdot m^{-3}$. K dalším výkyvům docházelo díky broušení na sucho. Výrazný nárůst zaznamenaný na CPC okolo čtrnácté hodiny se nepodařilo identifikovat, zvýšení se neprojevílo na OPS. Mohlo se jednat o náhodnou chybu přístroje, případně zvláštní proudění vzduchu. Z grafu 15 a průběhu koncentrace PM_{10} je patrné, že u této frakce doházelo k největšímu kolísání. Maxima pro PM_{10} bylo dosaženo v 8:30 (2,22 $mg \cdot m^{-3}$) a minima po 15. hodině (0,13 $mg \cdot m^{-3}$). Měření trvalo 7 hodin 46 minut.



Obr. 23 Záznam z CPC 12.01.2022



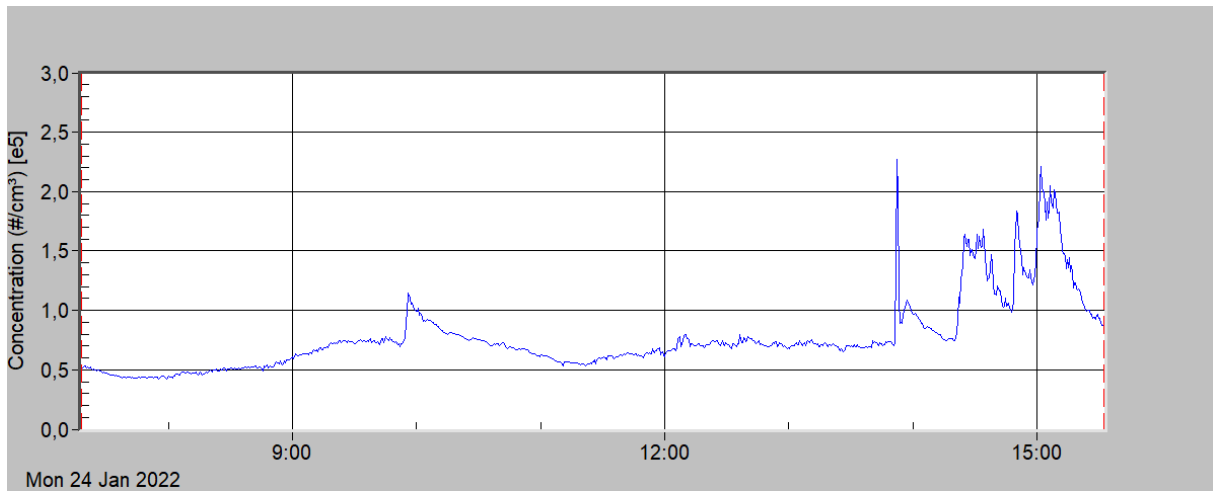
Graf 14 CPC 12.01.2022 - PM_1



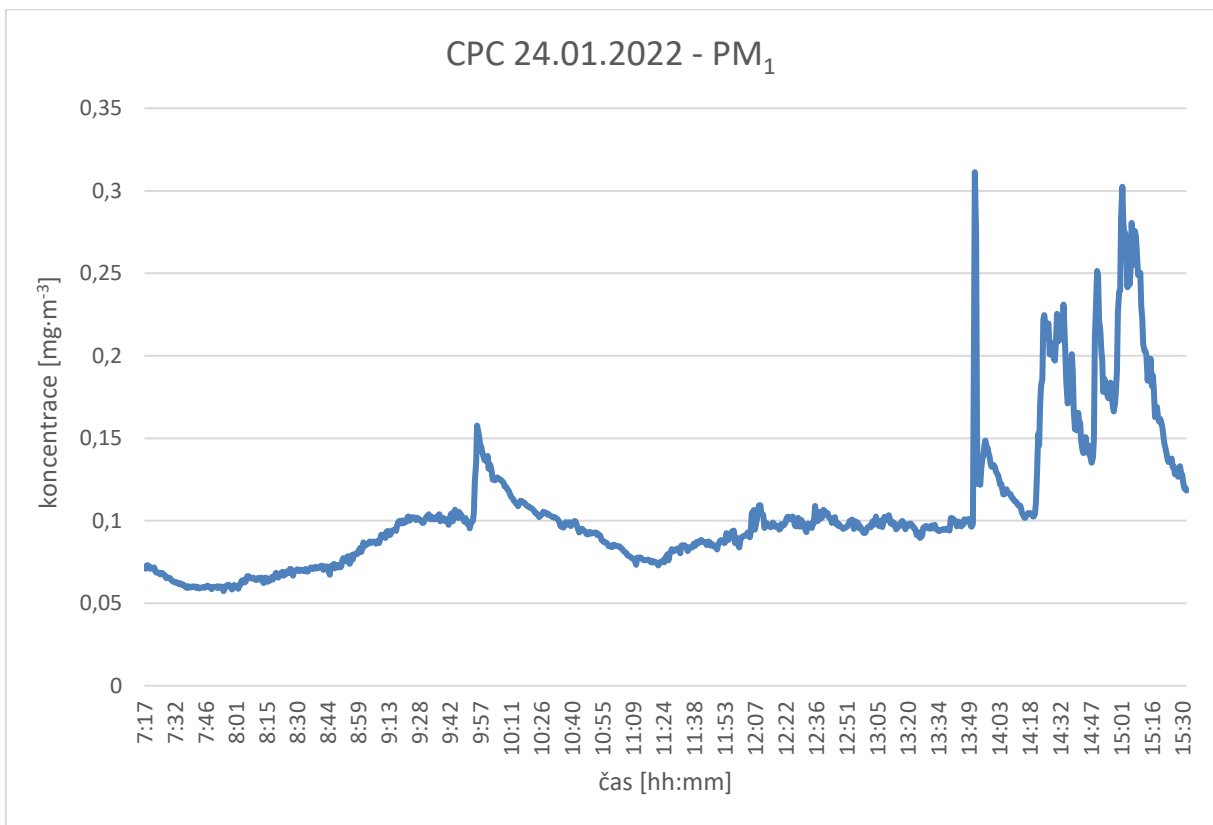
Graf 15 OPS 12.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.2.6 Měření 24.01.2022

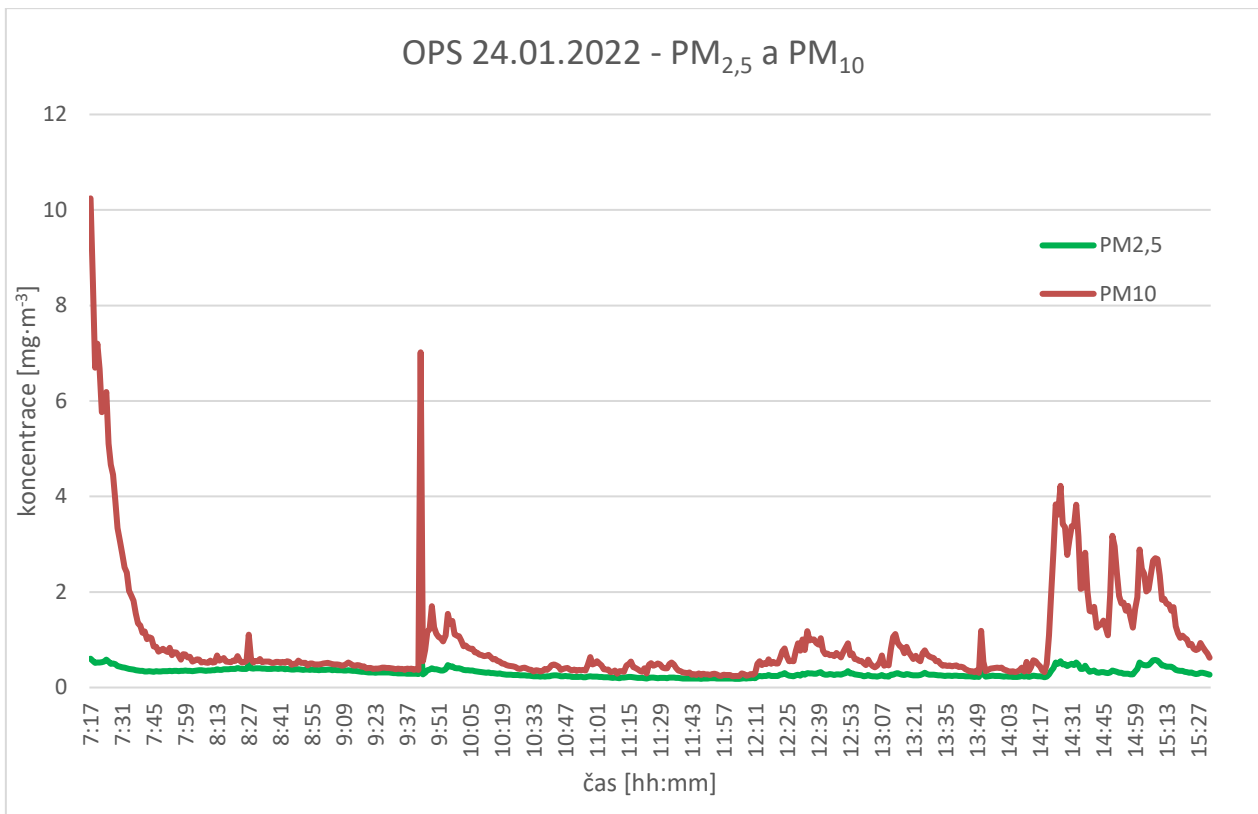
Měření bylo zahájeno v 7:17. Zajímavé na něm je, že počáteční hodnoty u PM₁₀ přesahují 10 mg·m⁻³, viz **graf 17**. U PM_{2,5} ani PM₁ nejsou hodnoty nijak zvýšené. Vysoká koncentrace PM₁₀ může být zapříčiněna rozvířením hrubých částic při stírání prachu před začátkem měření. V 9:40 došlo u PM₁₀ k prudkému nárůstu koncentrace z 0,42 mg·m⁻³ na více než 7 mg·m⁻³, což bylo dáno broušením kotoučů. PM_{2,5} zůstalo neovlivněno a PM₁ se zvýšilo na 0,16 mg·m⁻³. Koncentrace u PM_{2,5} se po celou dobu měření držela mezi 0,30 a 0,55 mg·m⁻³ a nedošlo u ní k žádnému výkyvu. V 13:52 se začalo svařovat, čímž došlo k velkému nárůstu koncentrace PM₁ (více než 0,3 mg·m⁻³ a 230 000 částic na cm³, viz **graf 16** a **obr. 24**). Výkyvy od 14:15 jsou způsobené několika řezy úhlovou bruskou. U PM₁₀ byla překročena hodnota 4 mg·m⁻³. Měření skončilo v 15:32 a trvalo 8 hodin 15 minut.



Obr. 24 Záznam z CPC 24.01.2022



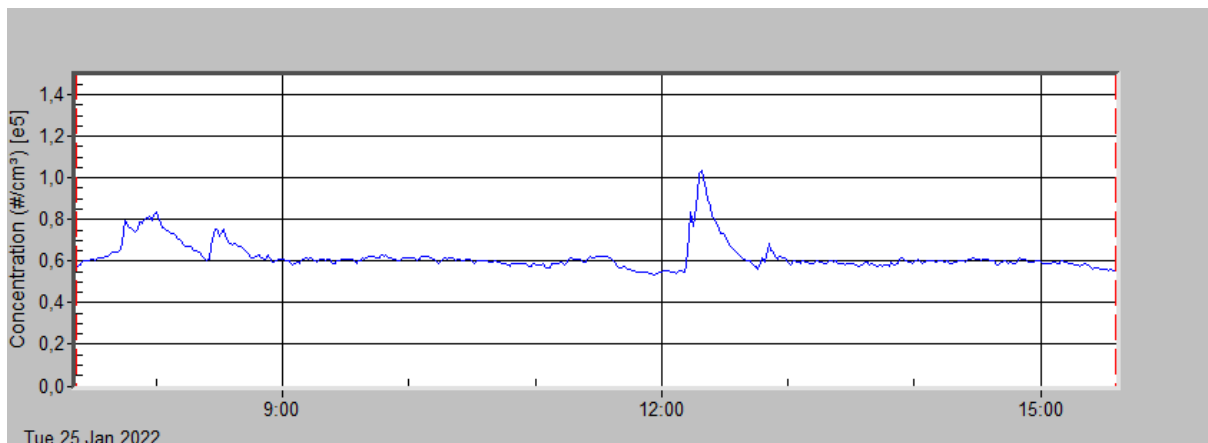
Graf 16 CPC 24.01.2022 - PM₁



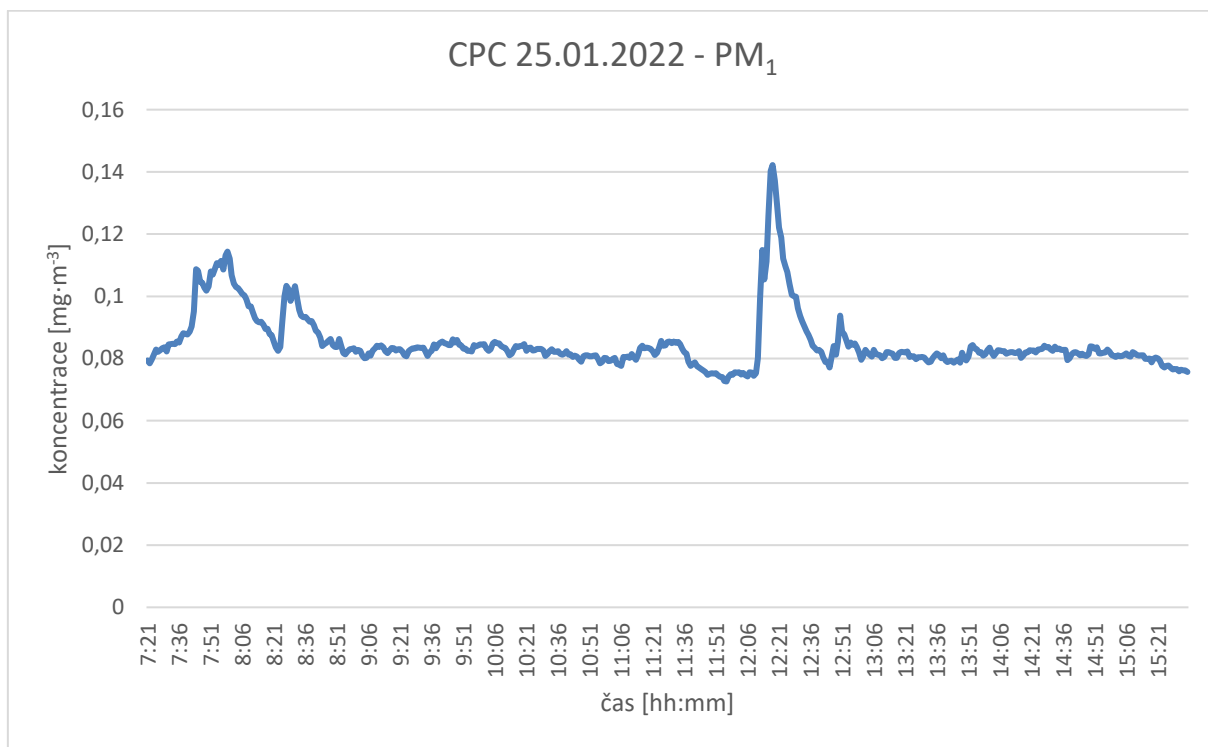
Graf 17 OPS 24.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.2.7 Měření 25.01.2022

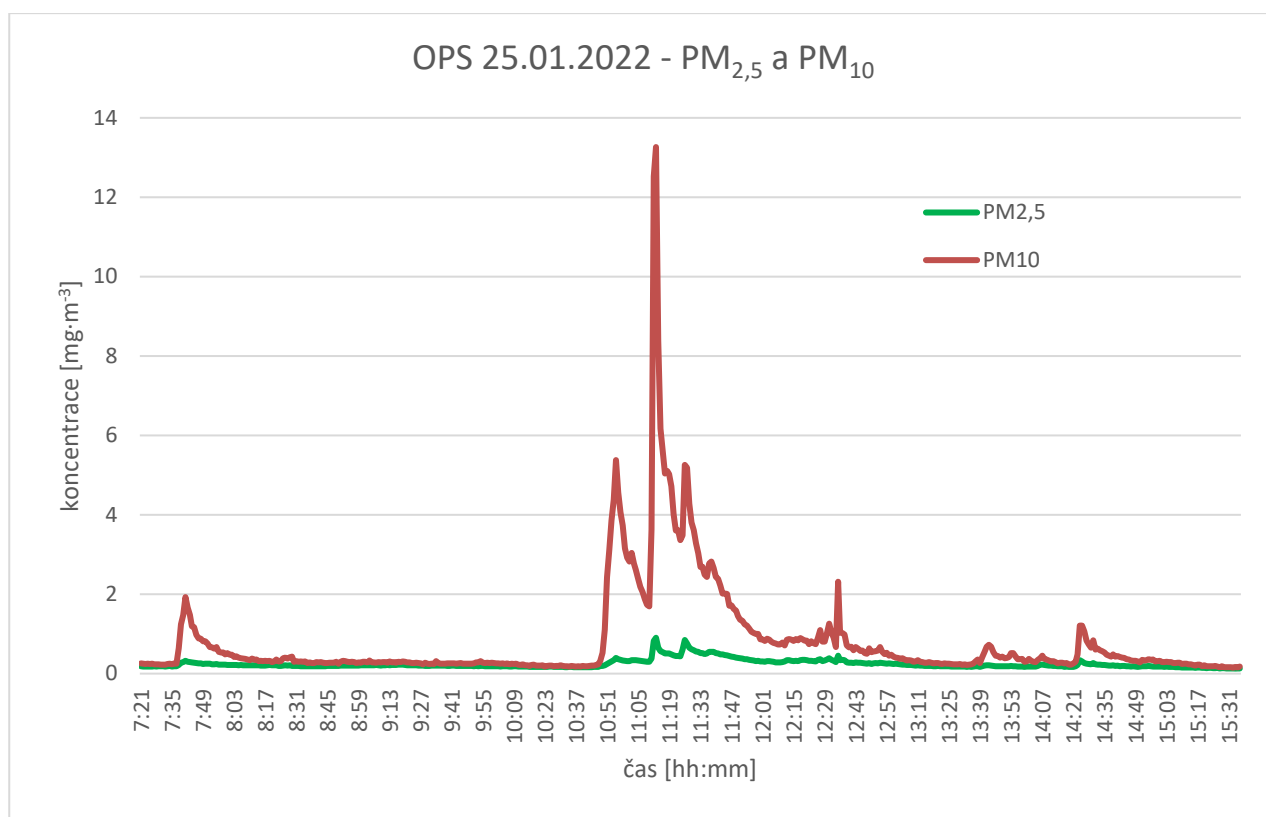
Měření začalo v 7:21. Počáteční hodnoty koncentrace byly pro PM₁ okolo 0,08 mg·m⁻³, u PM_{2,5} 0,18 mg·m⁻³ a u PM₁₀ 0,25 mg·m⁻³. Od 7:40 do 8:02 se brousilo na třech strojích a na pracovišti byl zvýšený počet osob, to mělo za následek mírný nárůst koncentrací ve všech frakcích. V 10:48 došlo k broušení bez emulze, což mělo vliv hlavně na koncentraci PM₁₀, nárůst byl na 5,4 mg·m⁻³. Když koncentrace PM₁₀ začala klesat, došlo v 11:21 k dalšímu extrémnímu nárůstu koncentrace na hodnotu 13,26 mg·m⁻³. Toto byla nejvyšší zaznamenaná koncentrace za celou dobu měření. Koncentrace PM_{2,5} se zvýšila na 0,9 mg·m⁻³, na koncentraci PM₁ to nemělo vliv. V 12:07 bylo řezáno na úhlové brusce, což se projevilo nárůstem PM₁ na 0,14 mg·m⁻³. Zajímavé je, že na zbylé frakce neměl tento proces vliv. Další průběh měření s sebou nepřinesl žádné významné výkyvy. Měření trvalo 8 hodin 15 minut a bylo ukončeno v 15:35. Průběhy měření jsou zaznamenány na **grafu 18**, **grafu 19** a **obr. 25**.



Obr. 25 Záznam z CPC 25.01.2022



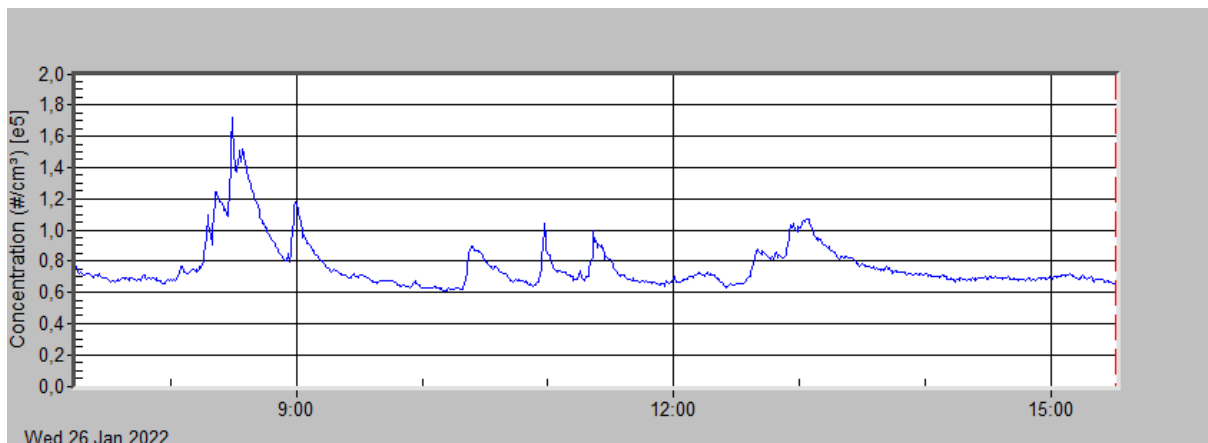
Graf 18 CPC 25.01.2022 - PM₁



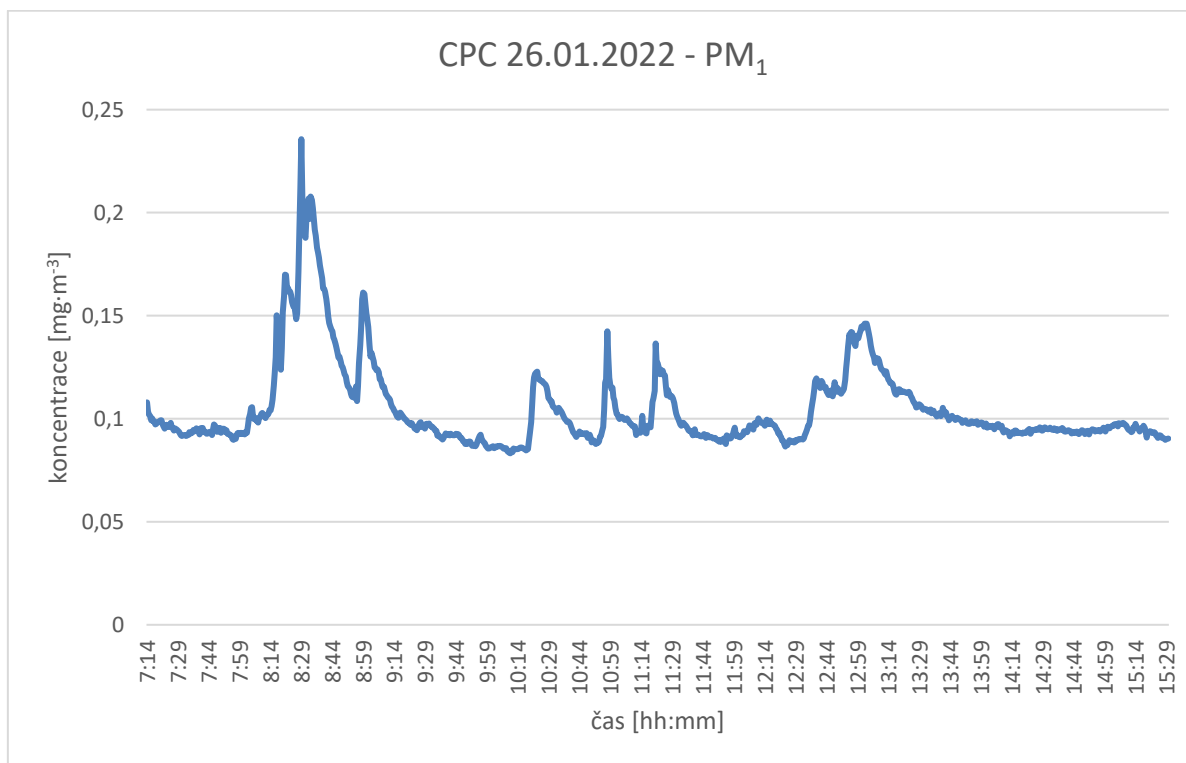
Graf 19 OPS 25.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.2.8 Měření 26.01.2022

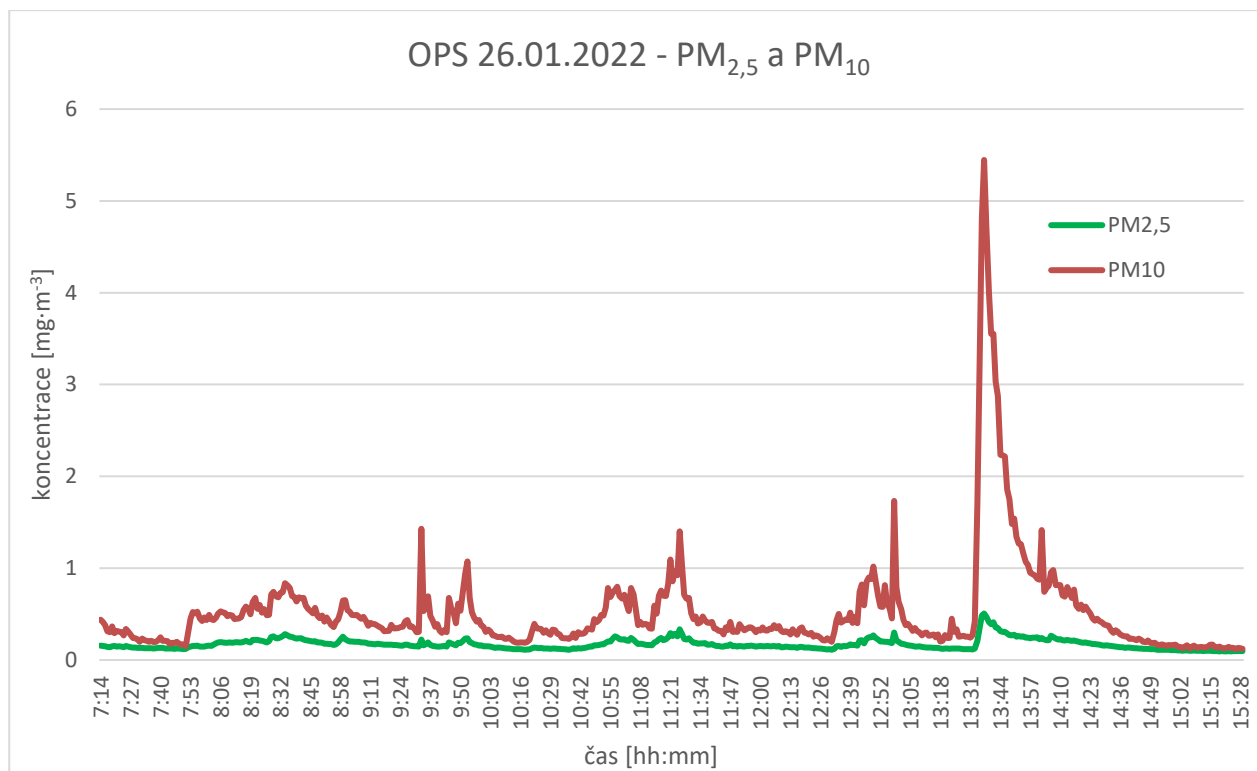
Začátek měření byl v 7:14, počáteční hodnoty koncentrace u PM₁ byly okolo 0,10 mg·m⁻³, u PM_{2,5} 0,30 mg·m⁻³ a u PM₁₀ 3,67 mg·m⁻³. V 8:29 a 8:56 došlo k řezání úhlovou bruskou, což mělo za následek významné zvýšení koncentrace u PM₁ na 0,23 mg·m⁻³. Tato činnost zvýšila koncentraci PM₁₀ na 0,8 mg·m⁻³, na hodnotě koncentrace PM_{2,5} se operace neprojevila. Jak vyplývá z **grafu 20**, další průběh měření obsahoval několik menších nárůstu, u PM₁ šlo o zvýšení koncentrace průměrně o 0,05 mg·m⁻³, tyto nárůsty byly způsobeny broušením na bruskách. Na **grafu 21** je zaznamenán nárůst koncentrace nad 1 mg·m⁻³ u PM₁₀ v časech 9:35 a 9:48, který byl způsoben broušením na ruční brusce. Další nárůsty vznikly důsledkem broušení na bruskách jako v případě PM₁. Vysoký nárůst koncentrace PM₁₀ (5,5 mg·m⁻³) byl zaznamenán v 13:35, což mohlo být způsobeno broušením kotoučů. Snížení koncentrace na původní hodnotu trvalo více než hodinu. Měření trvalo 8 hodin 16 minut a bylo ukončeno v 15:30.



Obr. 26 Záznam z CPC 26.01.2022



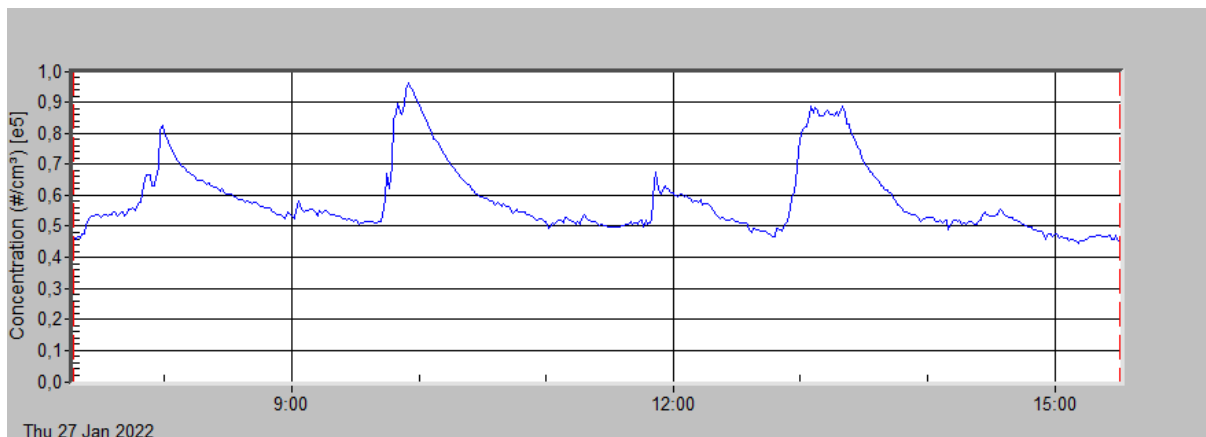
Graf 20 CPC 26.01.2022 - PM₁



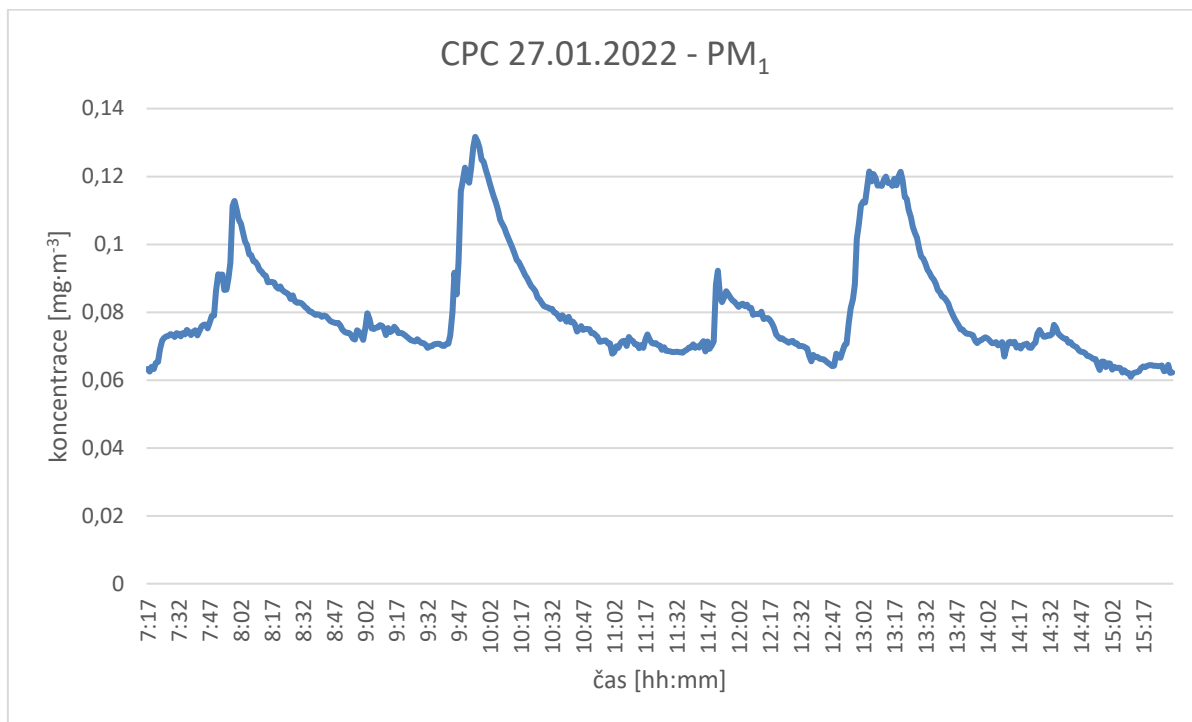
Graf 21 OPS 26.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.2.9 Měření 27.01.2022

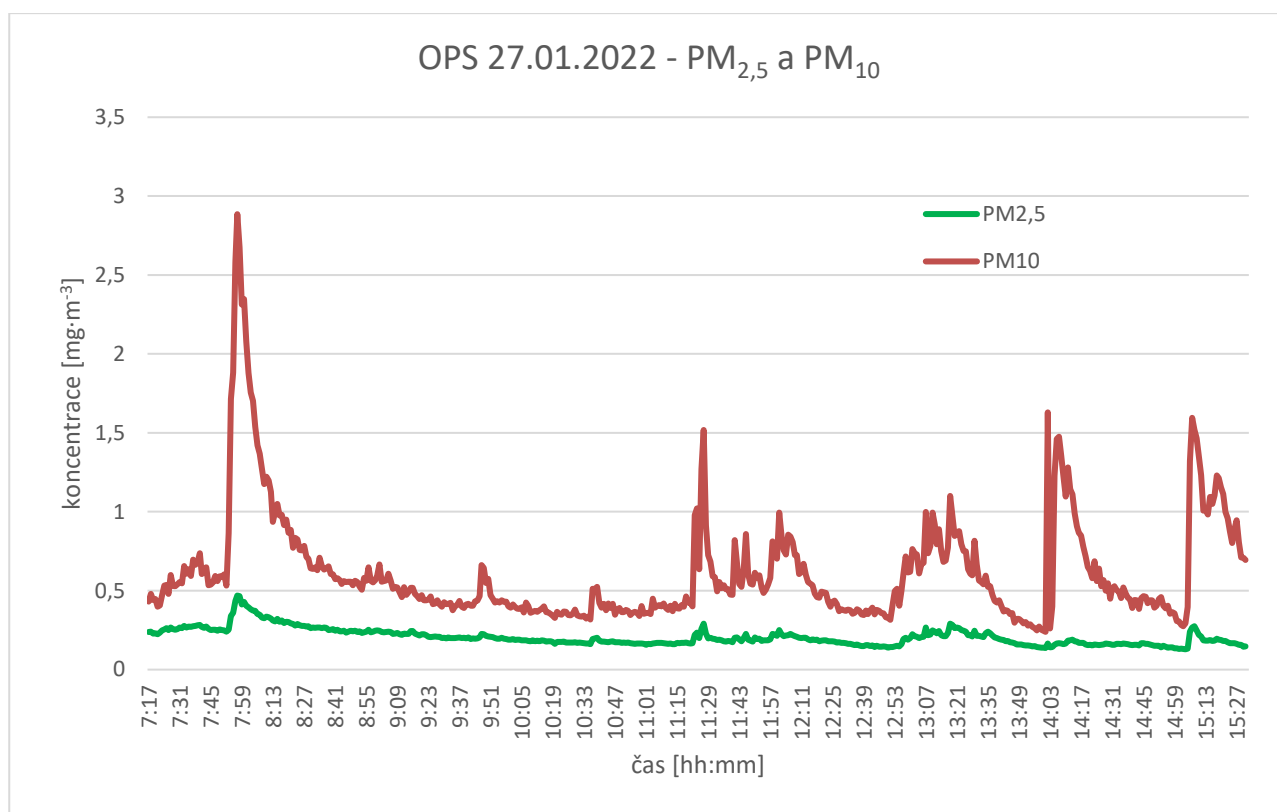
Závěrečné měření bylo provedeno 27. ledna. Začátek byl v 7:17 a počáteční hodnoty pro PM₁ mírně narůstaly od 0,06 do 0,07 mg·m⁻³. U PM_{2,5} se pohybovaly okolo 0,26 mg·m⁻³ a u PM₁₀ kolem 0,42 mg·m⁻³. V 7:50 došlo ke skokovému nárůstu koncentrací u všech frakcí v důsledku řezání úhlovou bruskou. U PM₁₀ došlo k nárůstu na 2,9 mg·m⁻³, u PM_{2,5} a PM₁ se koncentrace zdvojnásobila (na 1 mg·m⁻³ a na 0,11 mg·m⁻³, viz **graf 22** a **graf 23**). Výkyv PM₁₀ zobrazený na **grafu 23** v 11:30 neměl jasně identifikovanou příčinu. Další nárůsty v 11:47 a 12:50 až 13:20 byly způsobeny broušením bez emulze. Po zbytek měření se koncentrace u PM₁ pohybovala stabilně mezi 0,06 a 0,07 mg·m⁻³. V případě PM₁₀ došlo ještě ke dvěma nárůstům způsobeným stíráním a rozvířením prachových částic na pracovišti. Oba tyto výkyvy přesáhly hodnotu koncentrace 1,5 mg·m⁻³. Měření zabralo 8 hodin 15 minut a končilo v 15:31.



Obr. 27 Záznam z CPC 27.01.2022



Graf 22 CPC 27.01.2022 - PM₁



Graf 23 OPS 27.01.2022 - PM_{2,5} a PM₁₀

5.3 VÝSLEDKY Z AIRCHEK FILTRU

Odběr vzorků pomocí Airchek proběhl u většiny měření. Pro analýzu na elektronovém mikroskopu byly vybrány filtry, na kterých se usadilo nejvíce „materiálu“. Čerpadlo bylo zapnuté po celou dobu měření a mělo nastavený průtok na 1,5 l·min⁻¹. Čerpadlo bylo umístěno v blízkosti pracovníka, aby co nejlépe zachytilo částice, které může pracovník inhalovat. Filtry byly poté analyzovány pomocí SEM. Díky této analýze bylo možné určit morfologii a složení částic zachycených na filtru. Morfologie částice má významný vliv na vstup a usazování v organismu. Analýza složení částic pomohla určit, jaké mohou představovat částice zdravotní riziko pro lidský organismus.

5.3.1 Měření 06.01.2022

Čerpadlo bylo zapnuto při přípravě ostatních měřicích přístrojů, měření tedy trvalo 8 hodin 45 minut. Přečerpáno bylo 788 litrů vzduchu. Byly provedeny dvě prvkové analýzy. První byla provedena pro větší oblast, kde se nacházelo několik různých částic. Největší podíl měl uhlík, jelikož byl použit polykarbonátový filtr.

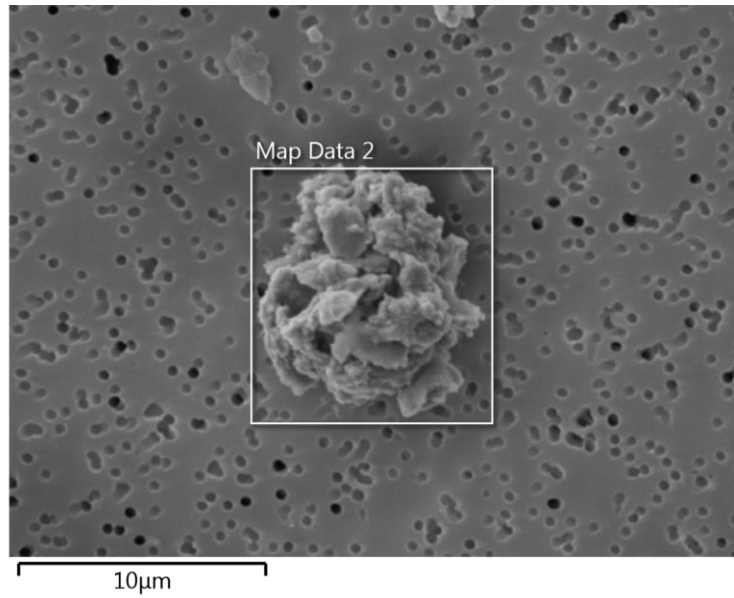
Druhá byla pro jednu konkrétní částici. Na **obr. 28** je zobrazena zvolená částice a na **obr. 29** je její prvkové složení. Největší zastoupení má uhlík, ten ale nebude dál rozebírán, jelikož se jedná o materiál filtru. Jeho inhalace může vést k pneumokonióze. Dále je ve velké míře zastoupen wolfram (33 %). Wolfram je jeden z hlavních legujících prvků používaných v nástrojových ocelích. Díky wolframu získá ocel vysokou tvrdost a odolnost proti otěru. Karbid wolframu se používá k výrobě brusných kotoučů a nástrojů pro řezání nebo tvářeni. Účinky wolframu na lidský organismus jsou závislé na délce expozice, způsobu podání a rozpustnosti. Dle několika studií bylo prokázáno, že pracovníci vystavení expozici wolframu prostřednictvím inhalační cesty, mají zvýšené hladiny plicní fibrózy a dalších negativních účinků, například astma a záněty nosních tkání. Wolfram v kombinaci s dalšími látkami zvyšuje riziko výskytu rakoviny plic a může se vyskytovat ve sraženinách vláknité tkáně [45], [46].

Dalším významným prvkem byl kobalt. Spolu s wolframem bývá obsažen v nástrojových ocelích pro nejvíce namáhané nástroje při obrábění (oceli třídy oceli 19 852 až 19 861). Také slouží jako pojivo u slinutého karbidu. Slinutý karbid je tvořen z 70 až 90 % karbidem wolframu, který zajišťuje tvrdost a z 3 až 27 % karbidem kobaltu. Kobalt patří mezi esenciální prvky. Tedy prvky, které lidské tělo neumí vytvořit, ale pro jeho fungování jsou nezbytné. Kobalt je obsažen ve vitamínu B₁₂, který ovlivňuje krvetvorbu. Při vyšších koncentracích je toxický a snižuje funkci tyreoidy, syntézy a sekrece thyroxynu. Akutně může vyvolat zažívací potíže a chronicky poškození ledvin a jater, astma a alergii. Inhalace prachů s obsahem kobaltu vede k bronchitidám a sloučeniny dvoumocného kobaltu jsou karcinogenní. Je znám také toxický účinek kobaltu na myokard [45], [46], [47].

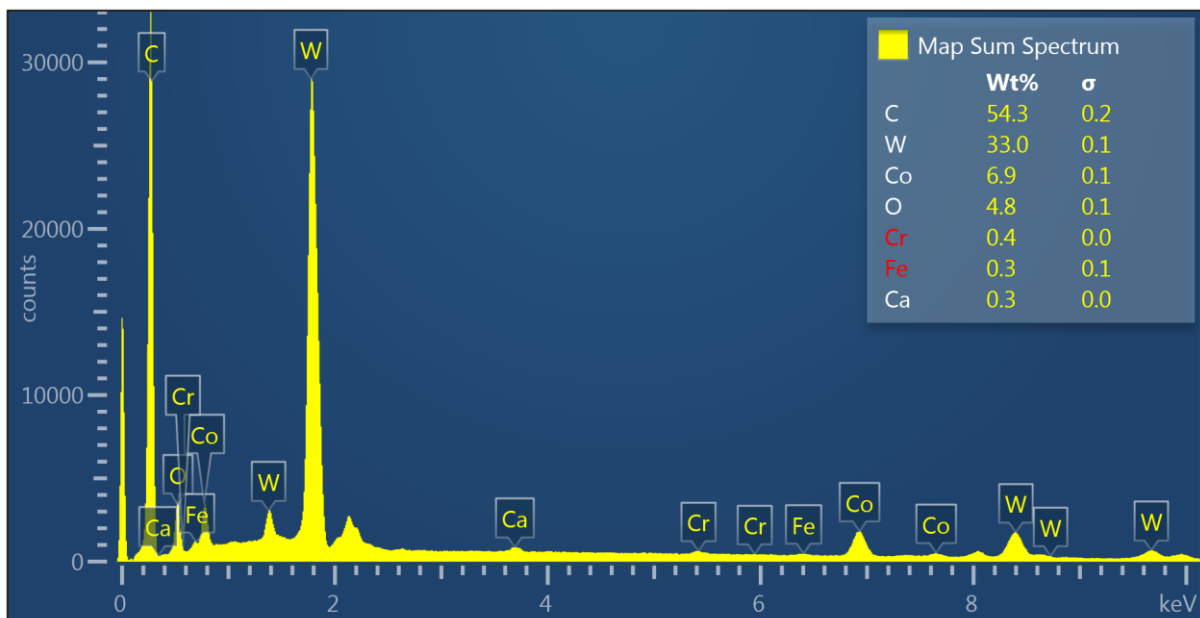
V malé míře byl ve vzorku zastoupen chrom. Ten se řadí mezi prvky s velice závažným toxickým účinkem. Používá se při pokovování nástrojů a je jedním z legujících prvků přidávaných do ocelí. Jedná se také o esenciální prvek a jeho trojmocná forma zasahuje do metabolismu cukrů a tuků. Velmi nebezpečné jsou páry chromu vznikající při svařování. Největší nebezpečí představují sloučeniny Cr⁶⁺. Při chronické inhalaci se pravděpodobnost rakoviny plic a nosu zvyšuje patnáctinásobně. Tyto sloučeniny nejsou jenom karcinogenní ale i nefrotoxické, hepatotoxické, mutagenní a teratogenní. Elementární chrom je netoxický, ale může být alergenem [45], [46].

Železo bylo v tomto vzorku zastoupeno minimálně. Jelikož se ale předpokládá jeho vysoká koncentrace na pracovišti, je vhodné si shrnout poznatky o jeho toxicitě. Jedná se o jeden z nejdůležitějších prvků v lidském organismu. V hemu se podílí na transportu kyslíku a jako součást cytochromů podmiňuje přenos elektronů v dýchacím řetězci. V nadměrném množství je pro buňky toxické. Jeho nahromadění v určitých částech mozku může vést k propuknutí neurogenerativních onemocnění, jako jsou Parkinsonova, Alzheimerova nebo Pickova choroba. Jeho inhalace může vyvolat horečku slévačů. V případě dlouhodobého působení může dojít k sideróze či vzniku rakoviny plic.

Pozorována byla i degenerace myokardu, zvýšená permeabilita krevních kapilár a dále hypotenze [45], [46].



Obr. 28 SEM analyzovaná oblast 06.01.2022



Obr. 29 Prvková analýza 06.01.2022

5.3.2 Měření 25.01.2022

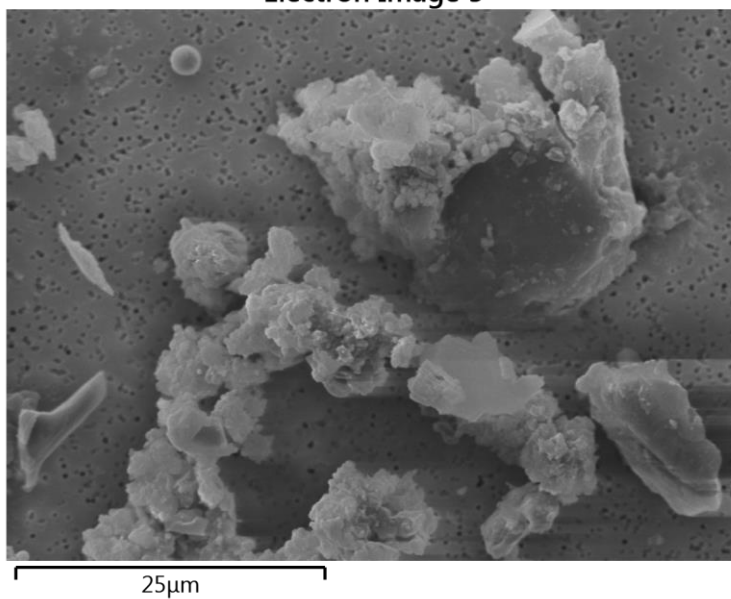
Stejně jako v předchozím případě bylo čerpadlo spuštěno po celou dobu měření na přístrojích. Odběr trval 8 hodin 35 minut a bylo přečerpáno 770 litrů vzduchu. Analýza byla opět provedena na SEM. Analyzovaná oblast je uveden na **obr. 30** a výsledky prvkové analýzy jsou uvedeny na **obr. 31**.

Některé prvky se shodují s prvky z předchozího vzorku, proto nebude jejich vliv na organismus znovu popisován a platí pro ně popis uvedený v kapitole 5.3.1. Opět zde byl nejvíce zastoupený uhlík, díky materiálu filtru. Třetí největší zastoupení měl fluor. Spadá také do kategorie esenciálních prvku a je významný pro tvorbu zubů a metabolismus kostí. V případě akutní otravy dochází k rozvinutí plicního edému, bronchopneumonie a degenerativních změn na játrech a ledvinách. Při chronické otravě se jedná zejména o degenerativní změny na játrech a ledvinách. Dochází k větší kalcifikaci kostí a snížení objemu kostní dřevě. Na zubní sklovině se tvoří skvrny – fluorosa [46].

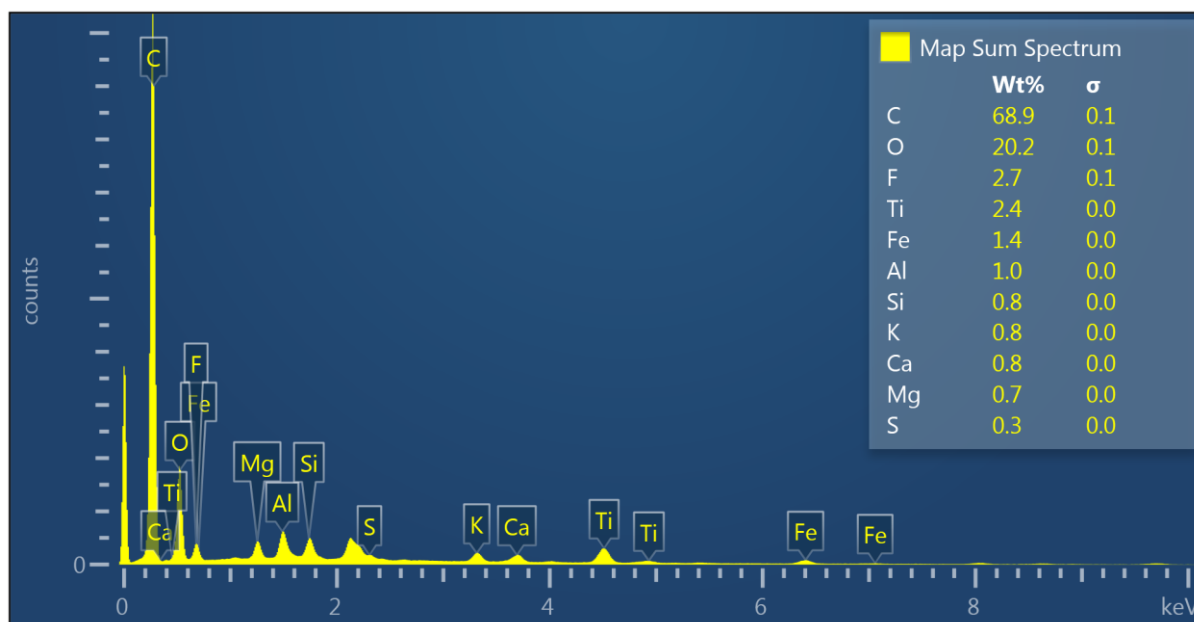
Další prvek identifikovaný při analýze byl titan. V souvislosti s ochranou lidského zdraví je od 07.08.2022 zakázáno používat TiO_2 pro jeho podezření z toxicity. Oxid titaničitý sloužil jako bílé barvivo v potravinářství a kosmetice. Kovový titan je podezřelým karcinogenem a teratogenem. V pořadí dalším prvkem je hliník. V případě výskytu formou rozpustných solí je ve větším množství toxický. Z důvodu zvýšeného obsahu hliníku v nervové tkáni pacientů s Alzheimerovou chorobou byl dříve považován za příčinu této nemoci. Poslední výzkumy to ale vyvrátily a jedná se dle nich pouze o sekundární jev [46].

Křemík je mikrobiogenní prvek, který se podílí na osifikaci. Při dlouhodobé inhalaci SiO_2 ve formě křemene může dojít k silikóze plic pracovníků. Nebezpečí představují také silikáty azbestu, které jsou karcinogenní a způsobují azbestózu. Další identifikované prvky se vyskytovaly v zanedbatelném množství [46].

Electron Image 5



Obr. 30 SEM analyzovaná oblast 25.01.2022



Obr. 31 Prvková analýza 25.01.2022

6 ANALÝZA VÝSLEDKŮ A NÁVRH OPATŘENÍ

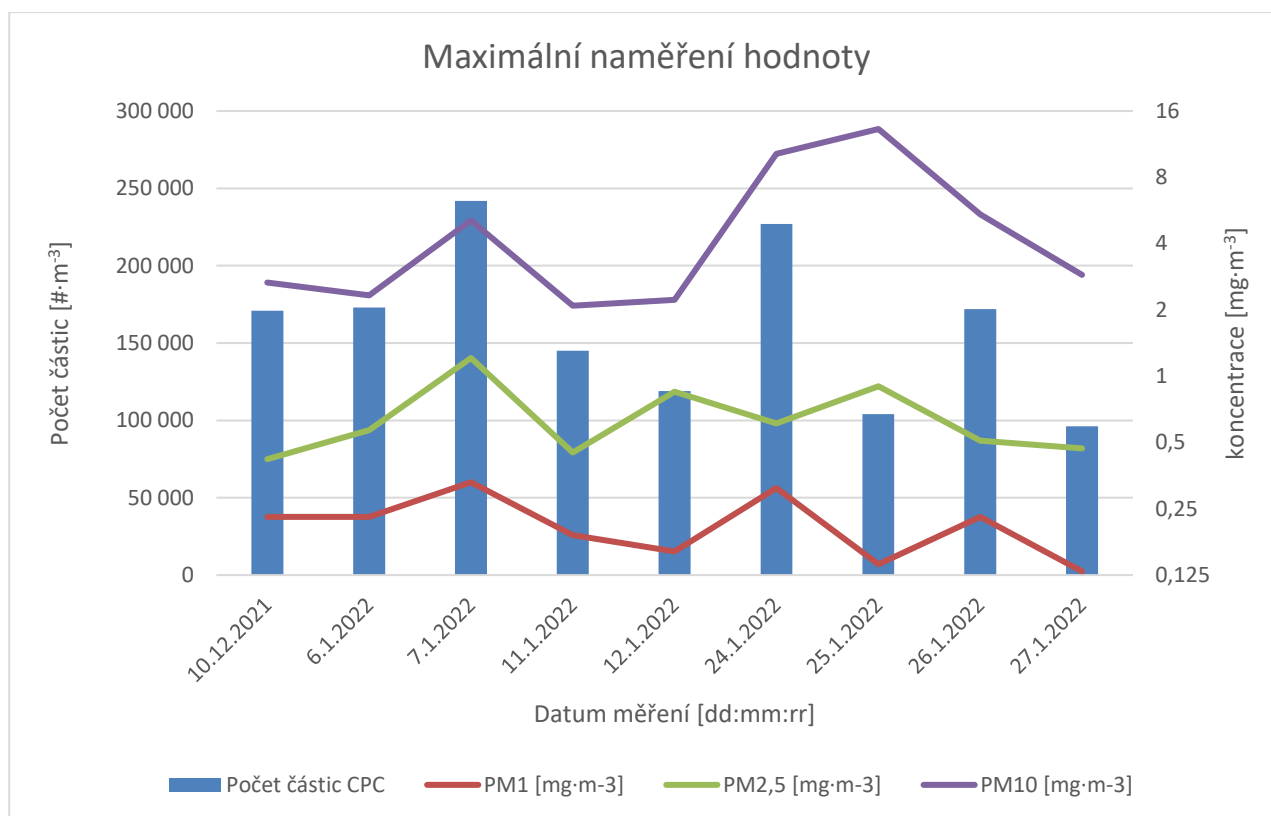
Měření provedená pro účely této práce se uskutečnila v automotive podniku za standardních pracovních podmínek. Celkem bylo provedeno 9 měření s minimální délkou 7 hodin. Přístroje použité k měření zaznamenávaly počet částic na objemovou jednotku. Pro větší názornost byl proveden přepočít na hmotnostní koncentraci. Vzhledem k tomu, že neexistuje příslušná legislativa stanovující limitní hodnoty jemných a ultrajemných částic na pracovišti, nelze naměřené výsledky s ničím srovnat. Jediná limitní hodnota je uvedena v nařízení vlády č. 361/2007 Sb. pro prachy s převážně nespecifickým účinkem, do kterých spadá i železo a jeho slitiny. Pro přehlednost jsou maximální naměřené hodnoty uvedeny v **tab. 4**.

Tab. 4 Maximální naměřené hodnoty

Datum	Počet částic CPC	PM ₁ [mg·m ⁻³]	PM _{2,5} [mg·m ⁻³]	PM ₁₀ [mg·m ⁻³]
10.12.2021	171 000	0,23	0,42	2,66
06.01.2022	173 000	0,23	0,57	2,33
07.01.2022	242 000	0,33	1,21	5,10
11.01.2022	145 000	0,19	0,45	2,09
12.01.2022	119 000	0,16	0,85	2,22
24.01.2022	227 000	0,31	0,61	10,24
25.01.2022	104 000	0,14	0,90	13,26
26.01.2022	172 000	0,23	0,51	5,44
27.01.2022	96 100	0,13	0,47	2,89

Limitní hodnota 10 mg·m⁻³ byla překročena ve dvou měřeních, a to 24. a 25. ledna. U měření 24. ledna byla počáteční koncentrace PM₁₀ na hodnotě 10,24 mg·m⁻³, bohužel se přesně nepodařilo určit příčinu. Dle dat z 25. ledna došlo ke zvýšení koncentrace PM₁₀ na 13,26 mg·m⁻³, což byla nejvyšší zaznamenaná hodnota v průběhu všech měření. Tento nárůst byl způsoben broušením bez emulze v kombinaci s velkým počtem fluktuujících pracovníků. Ve dvou měřeních byla překročena hranice 5 mg·m⁻³. Překročení 7. ledna bylo následkem řezání nerez na úhlové brusce. 26. ledna byl nárůst způsoben broušením kotoučů.

Obecně lze říci, že největší vliv na produkci hrubých, jemných a ultrajemných částic mají termální procesy. V případě broušení docházelo k malým nárůstům a nebyly vždy ovlivněny všechny frakce. V případě řezání úhlovou bruskou ale docházelo k velkým nárůstům koncentrací napříč všemi frakcemi. Největší nárůst počtu částic na CPC byl zaznamenán 7. ledna, při řezání na úhlové brusce. Počet částic se vzrostl na 242 000 částic na cm^3 . Tato operace způsobila i největší koncentraci $\text{PM}_{2,5}$ a to $1,21 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Na **grafu 24** jsou zobrazeny maximální naměřené hodnoty.



Graf 24 Maximální naměřené hodnoty

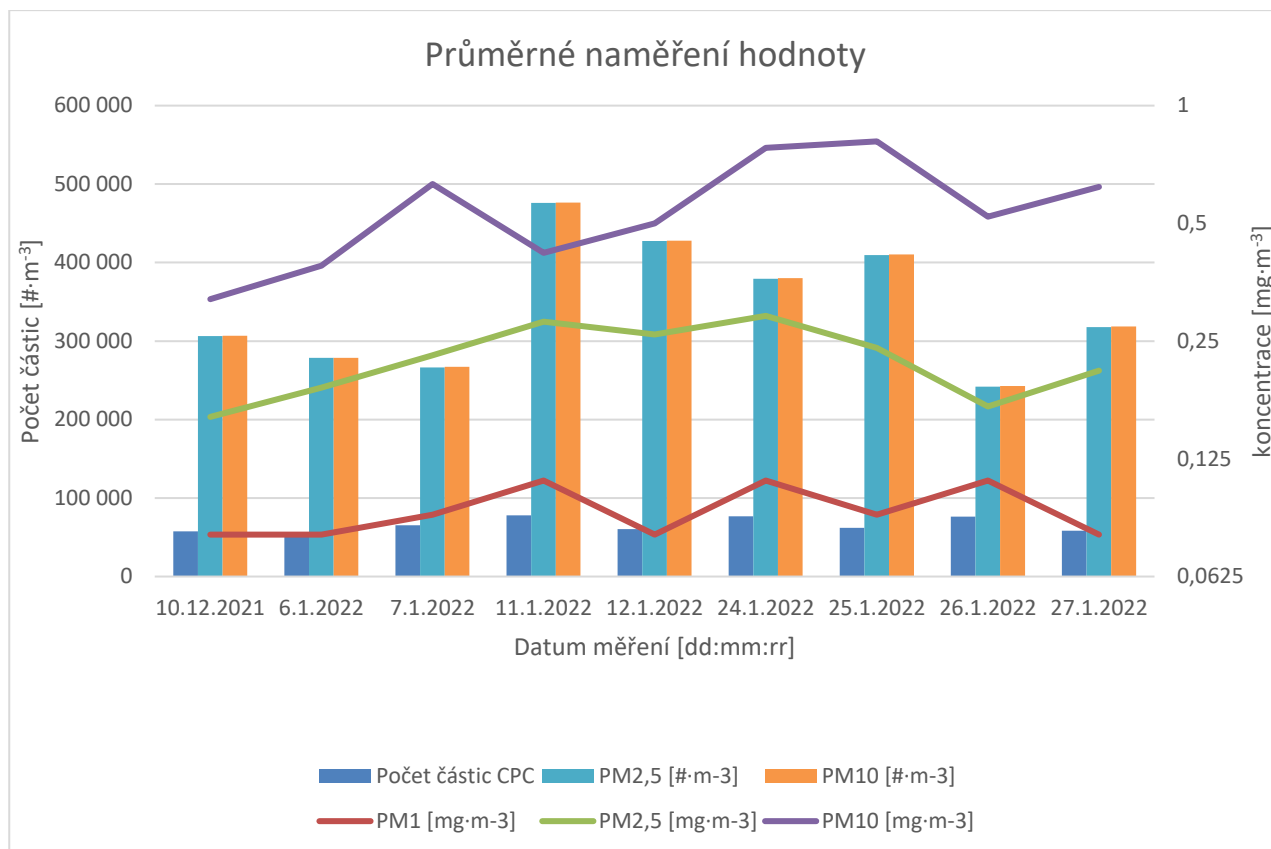
Maximální naměřené hodnoty jsou vhodné pro porovnání s limitními hodnotami a při metodě měření nejhoršího případu. Mohou ovšem zkreslovat představu o výsledcích měření. Nejlépe popisují měření grafy uvedené v kapitole 5.2, které zobrazují průběh měření v čase. Další možností pro analýzu výsledků může být použití průměrných hodnot. Průměrné hodnoty jednotlivých měření jsou uvedeny v **tab. 5**. Na rozdíl od maximálních hodnot, u kterých byly uvedeny pouze hmotnostní koncentrace, jsou u průměrných hodnot uvedeny i průměrné počty částic v jednotlivých velikostních frakcích. Rozdíly počtu částic u $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} se liší v řádu stovek, ojedinele tisíců, přesto je rozdíl v hmotnostní koncentraci ve většině případu minimálně dvojnásobný. Tato skutečnost je dána faktem, že je v použitém vzorci průměr částice umocněn na 3.

Tab. 5 Průměrné naměřené hodnoty

Datum	Počet částic CPC [#·m ⁻³]	PM _{2,5} [#·m ⁻³]	PM ₁₀ [#·m ⁻³]	PM ₁ [mg·m ⁻³]	PM _{2,5} [mg·m ⁻³]	PM ₁₀ [mg·m ⁻³]
10.12.2021	57 617	306 501	306 800	0,08	0,16	0,32
06.01.2022	55 681	278 481	278 833	0,08	0,19	0,39
07.01.2022	65 335	266 515	267 275	0,09	0,23	0,63
11.01.2022	78 041	476 105	476 348	0,11	0,28	0,42
12.01.2022	60 522	427 589	428 021	0,08	0,26	0,5
24.01.2022	76 951	379 573	380 265	0,11	0,29	0,78
25.01.2022	62 042	409 697	410 529	0,09	0,24	0,81
26.01.2022	76 537	241 991	242 584	0,11	0,17	0,52
27.01.2022	58 399	317 940	318 728	0,08	0,21	0,62

Průměrné počty částic do 1 µm se pohybovaly mezi 55 000 až 78 000 na cm³, vyjádřeno v hmotnostní koncentraci 0,08 až 0,11 mg·m⁻³. U pěti měření byla průměrná hodnota PM₁ 0,08 mg·m⁻³. Počet částic frakce PM_{2,5} se pohyboval od 242 000 do 476 000 na cm³, průměrná hodnota 400 000 částic na cm³ byla překročena ve třech měřeních. Hmotnostní koncentrace byla v rozmezí od 0,16 do 0,29 mg·m⁻³. Velikost hmotnostních koncentrací u PM₁₀ se pohybovala mezi hodnotami 0,32 až 0,81 mg·m⁻³. Nejvyšších průměrných hmotnostních koncentrací bylo dosaženo 24. a 25. ledna. Počet částic kolísal, stejně jako u frakce PM_{2,5}, mezi 242 000 do 476 000 na cm³.

Také průměrné hodnoty byly vyjádřeny graficky, viz **graf 25**. Jedná se o kombinaci spojnicového a sloupcového grafu, kde jsou ve spojnicovém grafu zobrazeny průměrné hmotnostní koncentrace jednotlivých frakcí. Ve sloupcovém grafu jsou naproti tomu zobrazeny průměrné počty částic. Je patrné, že počty částic z CPC jsou oproti datům z OPS výrazně menší. Tento jev je dán tím, že CPC má oproti OPS mnohem menší měřicí rozsah.



Graf 25 Průměrné naměřené hodnoty

6.1 NÁVRH OPATŘENÍ

Z naměřených dat je patrné, že na pracovišti může docházet k překročení hygienických limitů týkajících se prachu. Návrh opatření by měl být zaveden dle hierarchie STOP, viz kapitola 2.4.2. Prvním krokem je zvážit, zda se nebezpečná látka (hrubé, jemné a ultrajemné částice) nedá nahradit nebo odstranit z pracovního procesu. V tomto případě není možné nijak částice odstranit, jelikož vznikají jako sekundární produkt při mechanickém zpracování materiálu. Vznik částic je náhodný a nedá se předem predikovat.

Druhým krokem jsou technologická/technická opatření. Změna technologie nepřipadá v úvahu ze stejného důvodu jako první krok. Při mechanickém zpracování materiálu se částice tvoří náhodně a nelze jejich výskyt predikovat. Významný prostor je v úpravách pracoviště spojených se vzduchotechnikou. Pracoviště není vybaveno odvětráváním ani oknem. Nákup odvětrávacího systému/klimatizace by zajistil pravidelnou výměnu vzduchu na pracovišti a odvod náhodně vzniklých částic. Jednalo by se o jednotný odvětrávací systém pro celou dílnu, rozdělení dílny na menší prostory a použití několika oddělených systémů např. jeden pro dva stroje, by v tomto případě postrádalo smysl,

o finanční náročnosti nemluvě. Aplikací výše uvedeného technického opatření by se měla znatelně snížit koncentrace aerosolových částic na pracovišti. Po implementaci odvětrávacího systému je doporučeno provést další kontrolní měření, která mají za cíl zhodnotit nově nastalý stav a případně vyhodnotit efektivnost a účinnost přijatého opatření.

Předposledním krokem jsou organizační opatření, ta se v tomto případě dají aplikovat zejména na školení zaměstnanců. Každý zaměstnanec by měl být informován o možnostech náhodného výskytu jemných a ultrajemných částic na pracovišti. Tato informace by se měla zařadit do vstupního školení při nástupu na nástrojárnu. Dalším doporučeným organizačním opatřením je pravidelná lékařská prohlídka zaměřená na respirační ústrojí. Prohlídka by měla proběhnout minimálně u zaměstnance, který je na pracovišti stále přítomný. Měla by být periodicky opakovaná a na základě jejich výsledků by mohla být odhalena další rizika.

Posledním nástrojem ke snížení rizik je použití ochranných pomůcek. Z důvodu pandemie bylo povinné nosit na pracovišti respirátor. Toto nařízení je v současnosti zrušeno, takže na pracovišti není povinnost užívání žádných respiračních ochranných pracovních pomůcek. Jediné povinné prostředky osobní ochrany jsou brýle a pracovní boty. Zavedení povinných prostředků na ochranu dýchacích cest se v této fázi jeví jako zbytečné. Ke vzniku částic totiž dochází v náhodných časech a koncentracích. V teoretickém případě by se na základě dalších měření dala stanovit doba, za kterou klesne koncentrace na „bezpečnou“ hodnotu (bylo by nutno tuto hodnotu stanovit). Než by se tak stalo, byla by povinnost nosit ochranu dýchacích cest. Toto řešení by ale značně komplikovalo pracovní proces a v praxi je téměř neaplikovatelné.

Dle hierarchie STOP se v první řadě musí zavést technické opatření, v tomto případě odvětrávací systém, až poté mohou přijít na řadu organizační opatření a prostředky osobní ochrany.

7 ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce se zaměřuje na problematiku výskytu jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí a jejich negativní dopad na zdraví pracovníků. V případě přírodních zdrojů je na tyto částice lidský organismus plně adaptován. Problém nastává u částic z antropogenních a zejména syntetických zdrojů. Adaptace organismu je v tomto případě pouze částečná či zcela chybí. Rozvoj technologií a vytváření nových materiálů na nanoúrovni s sebou nese nespočet výhod i možná zdravotní rizika spojená s jejich výrobou a používáním.

Prvním cílem práce bylo zhodnocení současného stavu problematiky jemných a ultrajemných částic v průmyslovém podniku. Rešerše představuje čtyři základní oblasti související s danou problematikou. První část se zabývala popisem tuhých znečišťujících látek, jejich dělení a vlivem na životní prostředí, potažmo lidské zdraví. Druhá část patřila tuzemské a mezinárodní legislativě. Bylo zjištěno, že Česká republika ani Evropská unie nedisponuje právním rámcem, který by přesně vymezoval expozici jemným a ultrajemným částicím na pracovišti. Předposlední část rešerše byla věnována principům a strategii měření aerosolu v pracovním prostředí. Strategie měření byla navržena na základě normy ČSN EN 14 042. Poslední část se zaměřila na rizika na pracovišti spojená s jemnými a ultrajemnými částicemi, jejich hodnocení a prevenci a vybrané nástroje.

Dalším cílem byl výběr vhodných měřících přístrojů a metod pro posouzení vlivu expozice jemných a ultrajemných částic na zdraví pracovníků, viz kapitola 4. Na základě OECD byl zvolen třístupňový model. První krok tohoto modelu sestával ze sběru informací o podniku a procesech, při kterých by mohlo dojít ke vzniku jemných a ultrajemných částic. Pro základní zhodnocení expozice bylo vybráno konkrétní pracoviště specializované na úpravu nástrojů z nástrojové oceli. Na pracovišti docházelo především k mechanickým procesům (broušení), výjimečně k termickým (svařování, řezání). Pro měření byly vybrány dva měřící přístroje, konkrétně kondenzační čítač částice (CPC) a optický spektrometr (OPS) a jedno odběrové čerpadlo. Na základě rešerše byla sestavena strategie měření.

Celkem bylo provedeno 9 měření a každé trvalo minimálně 7 hodin. Vzhledem k podmínkám v podniku (nepřetržitý směnný provoz) nebylo možné stanovit hodnoty klidového stavu. Objektem měření byly velikostní frakce částic PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_{10} . Hmotnostní koncentrace PM_{10} se průměrné hodnoty pohybovaly mezi 0,08 až 0,11 $mg \cdot m^{-3}$. Pro frakci $PM_{2,5}$ byla průměrná hmotnostní koncentrace v rozmezí od 0,16 do 0,29 $mg \cdot m^{-3}$. Velikost hmotnostních koncentrací u PM_{10} se pohybovala mezi hodnotami 0,32 až 0,81 $mg \cdot m^{-3}$. Nejvyšší průměrné hmotnostní koncentrace byly zaznamenány 24. a 25. ledna. Na základě získaných dat lze říci, že největší vliv na produkci hrubých, jemných a ultrajemných částic mají termální procesy. Při broušení docházelo k malým nárůstům a nebyly vždy ovlivněny všechny frakce.

Při použití úhlové brusky docházelo k extrémním nárůstům koncentrací napříč všemi frakcemi. Nejvyšší zaznamenaná hodnota v průběhu všech měření byla koncentrace PM_{10} z 25. ledna, která překročila $13,26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Analýza z odběrových filtrů proběhla pomocí SEM. Na jednom vzorku byl významně zastoupen wolfram, který může při dlouhodobé expozici zvyšovat hladinu plicní fibrózy, způsobovat astma a záněty nosních tkání. V kombinaci s dalšími látkami zvyšuje riziko výskytu rakoviny plic. Wolfram je jednou z významných legur používaných pro zvýšení tvrdosti u nástrojových ocelí.

Na základě dat získaných z provedených měření a s ohledem na hierarchii STOP bylo navrženo několik opatření ke snížení negativního dopadu na lidské zdraví. Jako stěžejní bylo navrženo technické řešení odvětrávacího systému, jelikož dílna nedisponuje žádným systémem na výměnu vzduchu. Výměna vzduchu povede ke snížení koncentrace jemných a ultrajemných částic pracovišti. Další opatření měla organizační charakter. První se týkalo povinného školení zaměstnanců cíleného na povědomí o možnosti expozice jemným a ultrajemným částicím na pracovišti. Druhé bylo zaměřeno na podrobnější lékařské prohlídky stávajících zaměstnanců. Implementace výše uvedených opatření by měla pomoci minimalizovat expozici a sledovat zdravotní rizika spojená s jemnými a ultrajemnými částicemi.

Diplomová práce má pomoci nastínit závažnost zdravotních rizik spojených s jemnými a ultrajemnými částicemi a zároveň může sloužit jako zdroj informací pro objekty, kde dochází k produkci zmíněných částic. Doporučení uvedená v této práci mohou uchopena jako základní vodítka při řízení rizik spojených s inhalační expozicí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] REICHL, Jaroslav. Svět molekul a atomů. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. 2014-04-21 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/706-svet-molekul-a-atomu#>
- [2] 2011/696/EU. *Doporučení komise z 18. října 2011 o definici nanomateriálu*. 2011
- [3] SKŘEHOT, Petr a Marcela RUPOVÁ. *Nanobezpečnost*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2011. ISBN 978-80-86973-89-0.
- [4] JÁNIŠOVÁ, Martina. *Hormonální látky ve vodách*. Brno: Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání, 2013. Metodický materiál pro učitele. ISBN 978-80-87604-59-5.
- [5] KRČÁLOVÁ, Eva, Eva KRČÁLOVÁ, Jan MAREČEK a Martin ŠOTNAR. *Zjištění hodnot koncentrací znečišťujících látek (TZL) u vybraných zařízení a podklady k návrhu závěrů o BAT FDM BREF* [online]. Brno, 2018, s. 82 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/609905/Zjisteni_hodnot_koncentraci_znecistujicich_latek__TZL__u_vybranych_zarizeni_a_podklady_k_navrhu_zaveru_o_BAT_FDM_BREF.pdf
- [6] BÁRTOVSKÁ, Lída a Marie ŠIŠKOVÁ. *Co je co v povrchové a koloidní chemii: Aerosol* [online]. 2005 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/aerosol.html
- [7] NOVOTNÁ, Nikola. *Měření rozptylu světla na atmosférickém aerosolu*. Praha, 2017. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce RNDr. Naděžda Zíková, Ph.D.
- [8] *Air Quality Criteria for Particulate Matter: Volume I* [online]. In: . Washington, DC, 1996, s. 1076 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=2832>
- [9] HÁJEK, Jiří. *Jemné částice emitované z tepelného zdroje do vnitřního prostředí*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132238>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.
- [10] FREER-SMITH, P.H., K.P. BECKETT a Gail TAYLOR. *Deposition velocities to Sorbus aria, Acer campestre, Populus deltoides × trichocarpa 'Beaupré', Pinus nigra and × Cupressocyparis leylandii for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment, Environmental Pollution* [online]. In: . 2004-03-31, s. 157-167 [cit. 2022-03-06]. ISSN 0269-7491. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749104001228#FIG4>
- [11] HAPPO, M. S., R. O. SALONEN, A. I. HÄLINEN, et al. Dose and Time Dependency of Inflammatory Responses in the Mouse Lung to Urban Air Coarse, Fine, and Ultrafine Particles From Six European Cities. *Inhalation Toxicology* [online]. 2008, **19**(3), 227-246 [cit. 2022-03-06]. ISSN 0895-8378. Dostupné z: doi:10.1080/08958370601067897

- [12] ČSN P CEN ISO/TS 27687. *Nanotechnologie - Termíny a definice nanoobjektů - Nanočástice, nanovláknno a nanodeska*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [13] *Souborné stanovisko Společnosti pro výzkum aerosolů* [online]. In: . 25. února 2021 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <http://cas.icpf.cas.cz/download/aerosol-covid-preklad.pdf>
- [14] BUZEA, Cristina.; Ivan. I. PACHECO-BLANDINO.; Kevin ROBBIE. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases Vol. 2* [online], 2007, č. 4, s. MR17-MR71. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0801/0801.3280.pdf>
- [15] Penetration of Particles into the Human Body. In: *Seetheair* [online]. 2021-03-01 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://seetheair.org/2021/03/01/penetration-of-particles-into-the-human-body/>
- [16] Titanium dioxide: E171 no longer considered safe when used as a food additive. *Efsa* [online]. 2021-03-06 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.efsa.europa.eu/en/news/titanium-dioxide-e171-no-longer-considered-safe-when-used-food-additive>
- [17] Nanobezpečnost. *ZS BOZP* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/rizikove-factory/nanobezpečnost/262-nanobezpečnost>
- [18] Ostiguy, C.; Roberge, B.; Ménard, L.; Endo, CH. Studies and Research Projects : Best Practices Guide to Synthetic Nanoparticle Risk Management [on line]. Montréal : IRRST, 2009. ISBN 978-2-89631-345-7. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRRSST/R-599.pdf>
- [19] ČESKÁ REPUBLIKA. *Nařízení vlády č. 290/1995 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví seznam nemocí z povolání*. In: . Praha, 1995, 76/1995, číslo 290. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-290>
- [20] Nemoci z povolání v České republice 2020. *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/NZP/Hlaseni_NzP_2020.pdf
- [21] Krystalický křemík. Zabiják číslo jedna na každé stavbě!. *Koordinace BOZP* [online]. 2020-03-17 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.koordinacebozp.cz/aktuality/krystalicky-kremik-ve-stavebnictvi/>
- [22] Azbest. In: *EU Europa* [online]. 2021-07-15 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/CS/Safety/Asbestos_CS.htm

- [23] Profesionální bronchiální astma. *Zdraví euro* [online]. 2000-12-20 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/profesionalni-bronchialni-astma-131620>
- [24] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES (Text s významem pro EHP)*. In: . 2006
- [25] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 ze dne 16. prosince 2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006*. In: . Úřední věstník Evr. unie, 2008, vol. L 353, pp. 1–1456.
- [26] E-fact 72: Tools for the management of nanomaterials in the workplace and prevention measures. In: *Osha Europa* [online]. 2013-06-19 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://osha.europa.eu/cs/publications/e-fact-72-tools-management-nanomaterials-workplace-and-prevention-measures>
- [27] Nanomaterials. In: *ECHA* [online]. [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/regulations/nanomaterials>
- [28] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 201/2012 Sb.: o ochraně ovzduší*. In: . Praha, 2012, 69/2012, číslo 201. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [29] ČESKÁ REPUBLIKA. *Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. In: . Praha, 2007, 111/2007, číslo 361. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361#prilohy>
- [30] BARON, P.A a K. WILLEKE. Výkladový slovník aerosolových termínů. *CAS* [online]. New York: John Wiley, 2007 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <http://cas.icpf.cas.cz/aerosolovnik.php>
- [31] ČSN EN 14042. *Ovzduší na pracovišti - Návod k aplikaci a použití postupů posuzování expozice chemickým a biologickým činitelům*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [32] ČSN EN 689+AC. *Expozice pracoviště - Měření expozice při vdechování chemických činitelů - Strategie pro testování shody s mezními hodnotami expozice při práci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [33] EN 482. *Workplace exposure - Procedures for the determination of the concentration of chemical agents - Basic performance requirement*. Brusel: European committee for standartization, 2021.

- [34] HOLLEROVÁ, Jitka. Prašnost na pracovišti. In: *SZU* [online]. 2007-11-14 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>
- [35] TICHÝ, Milík. *Ovládní rizika: analýza a management*. V Praze: C.H. Beck, 2006. Beckova edice ekonomie. ISBN 80-7179-415-5.
- [36] Info sheet: Manufactured nanomaterials in the workplace. In: *OSHA* [online]. 2018-03-10 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://osha.europa.eu/en/publications/info-sheet-manufactured-nanomaterials-workplace>
- [37] *OECD: Harmonized tiered approach to measure and assess the potential exposure to airborne emissions of engineered nano-objects and their agglomerates and aggregates at workplaces*. In: . 2015.
- [38] Rozdíly mezi respirátory s filtrační třídou ochrany FFP1, FFP2 a FFP3. In: *BOZP* [online]. 2020-11-13 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.bozp.cz/aktuality/respiratory-filtracni-tridy-ffp/>
- [39] What is the difference between FFP1, FFP2 & FFP3 masks. In: *Dentagama* [online]. 2020-12-09 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://dentagama.com/news/what-is-the-difference-between-ffp1-ffp2-ffp3-masks>
- [40] ČSN P ISO/TS 12901-2. *Nanotechnologie - Použití managementu pracovního rizika pro nanomateriály v průmyslu - Část 2: Použití přístupu control banding*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [41] TSI - Model 3007 - Condensation Particle Counter (CPC). In: *Environmental expert* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.environmental-expert.com/products/tsi-model-3007-condensation-particle-counter-cpc-3153>
- [42] TSI Optical Particle Sizer 3330. In: *Cleanair* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.cleanair.com/product/tsi-ops-3330/>
- [43] AirChek TOUCH - odběrové čerpadlo. In: *Chromservis* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.chromservis.eu/p/airchek-touch-air-sampling-pump-incl-li-ion-battery-includes-charger?lang=CZ>
- [44] OPTICAL PARTICLE SIZER SPECTROMETER MODEL 3330: OPERATION AND SERVICE MANUAL. In: *Kenelec scientific: measuring up* [online]. 10. 2013, s. 73-77 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.kenelec.com.au/wp-content/uploads/2016/06/TSI_3330_Opticle_Particle_Sizer_Manual.pdf
- [45] *Handbook on the toxicology of metals*. 3rd ed. Editor Gunnar F. NORDBERG. Amsterdam: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-12-369413-3.

- [46] PROKEŠ, Jaroslav. *Úvod do toxikologie* [online]. Praha, 2005 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <http://soudni.lf1.cuni.cz/Data/files/skripta2005.doc>
- [47] Carbide technology. In: *Bosh* [online]. [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://ac-elearning.bosch-pt.com/mlearning/bcarbide/pageone.html>
- [48] ČSN P CEN ISO/TS 80004-1. *Nanotechnologie - Slovník - Část 1: Základní termíny*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 16 s.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Nemoci z povolání v letech 2011 až 2020 [20]	20
Tab. 2 Imisní limity pro částice PM ₁₀ a PM _{2,5} [28].....	25
Tab. 3 Příklad záznamu z měření	49
Tab. 4 Maximální naměřené hodnoty	76
Tab. 5 Průměrné naměřené hodnoty.....	78

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Procentuální zastoupení NzP kapitoly III v celkovém počtu hlášených NzP [20].....	20
Graf 2 Rozložení jednotlivých nemocí ve kapitole III mezi lety 2011 a 2020 [20]	21
Graf 3 Příklad grafu z měření pomocí CPC – PM ₁	52
Graf 4 Příklad grafu z měření pomocí OPS - Biny	53
Graf 5 Příklad grafu z měření pomocí OPS - PM _{2,5} a MP ₁₀	54
Graf 6 CPC 10.12.2021 - PM ₁	56
Graf 7 OPS 10.12.2021 PM _{2,5} a PM ₁₀	56
Graf 8 CPC 06.01.2022 - PM ₁	58
Graf 9 OPS 06.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	58
Graf 10 CPC 07.01.2022 - PM ₁	59
Graf 11 OPS 07.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	60
Graf 12 CPC 11.01.2022 - PM ₁	61
Graf 13 OPS 11.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	61
Graf 14 CPC 12.01.2022 - PM ₁	62
Graf 15 OPS 12.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	63
Graf 16 CPC 24.01.2022 - PM ₁	64

Graf 17 OPS 24.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	65
Graf 18 CPC 25.01.2022 - PM ₁	66
Graf 19 OPS 25.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	67
Graf 20 CPC 26.01.2022 - PM ₁	68
Graf 21 OPS 26.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	69
Graf 22 CPC 27.01.2022 - PM ₁	70
Graf 23 OPS 27.01.2022 - PM _{2,5} a PM ₁₀	71
Graf 24 Maximální naměřené hodnoty	77
Graf 25 Průměrné naměřené hodnoty	79

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Velikost částic v aerosolu [7].....	12
Obr. 2 Porovnání průměrů vlasu a částic PM ₁₀ (žlutě) a PM _{2,5} (červeně) [9]	13
Obr. 3 Porovnání velikosti pylového zrna a částic PM ₁₀ (žlutě), PM _{2,5} (červeně) a PM ₁ (modře) [9]	13
Obr. 4 Demonstrativní rozdělení částic produkovaných v dopravě [8]	15
Obr. 5 Prostupnost částic lidským tělem [15]	17
Obr. 6 Přehled metod měření v závislosti na velikosti částic [3]	29
Obr. 7 Princip kondenzačního čítače částic [3]	30
Obr. 8 Princip měření pomocí impaktoru [3]	31
Obr. 9 Kontinuum nebezpečí a rizika, jeho řízení a ovládání [35]	36
Obr. 10 Účinnost odsávání v závislosti na velikost částic [3].....	39
Obr. 11 Příklady respirátorů [39]	40
Obr. 12 Proces Control bandingu [40]	43
Obr. 13 Schéma dílny.....	45
Obr. 14 CPC 3007 [41]	47
Obr. 15 OPS TSI 3300 [42]	47
Obr. 16 AirChek [43]	48
Obr. 17 Schéma dílny s měřícími přístroji.....	49
Obr. 18 Software AIM	52
Obr. 19 Záznam z CPC 12.10.2021	55
Obr. 20 Záznam z CPC 06.01.2022.....	57
Obr. 21 Záznam z CPC 07.01.2022.....	59
Obr. 22 Záznam z CPC 11.01.2022.....	60
Obr. 23 Záznam z CPC 12.01.2022.....	62
Obr. 24 Záznam z CPC 24.01.2022.....	64

Obr. 25 Záznam z CPC 25.01.2022	66
Obr. 26 Záznam z CPC 26.01.2022	68
Obr. 27 Záznam z CPC 27.01.2022	70
Obr. 28 SEM analyzovaná oblast 06.01.2022	73
Obr. 29 Prvková analýza 06.01.2022	73
Obr. 30 SEM analyzovaná oblast 25.01.2022	75
Obr. 31 Prvková analýza 25.01.2022	75

SEZNAM ZKRATEK

BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CB	Control Banding
CEN	Evropský výbor pro normalizaci
CLP	Classification, Labelling and Packaging
CPC	kondenzační čítač částic
Cr	chrom
Čr	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
EC	elektrický klasifikátor
EFSA	Evropský úřad pro bezpečnost potravin
EHS	Evropské hospodářské společenství
ECHA	Evropská agentura pro chemické látky
ELPI	elektrický nízkotlaký impaktor
EN	evropské normy
ES	Evropské společenství
EU	Evropská unie
EU-OSHA	Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci
FFP	Filtering FacePiece
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
NM	nanomateriál

NMEG	neformální skupiny odborníků na nanomateriály
NzP	nemoci z povolání
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
OOPP	Osobní ochranné pracovní prostředky
OPC	optický čítač částic
PEL _c	přípustný expoziční limit
PM	Particulate Matter
REACH	evropské nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek
SEM	rastrovací elektronový mikroskop
SiO ₂	Oxid křemičitý
SMPS	skenovací třídič pohyblivých částic
TEM	transmisivní elektronové mikroskopy
TEOM	oscilační mikrováhy
TiO ₂	Oxid titaničitý
TZL	tuhé znečišťující látky
μm	mikrometr

SEZNAM PŘÍLOH

ⁱ Aplikace vědeckých poznatků k manipulaci a řízení hmotnosti převážně v nanostupnici k využití závislostí, vlastností a jevů velikosti a struktury odlišných od těch, které souvisejí s jednotlivými atomy nebo molekulami, nebo extrapolacemi větší velikosti ze stejného materiálu [48].