

# **Metodika zvyšování bezpečnosti pracovního prostředí zatíženého částicemi < 2,5 μm**

*VZOROVÝ PŘÍKLAD VYUŽITÍ METODIKY*

Brno, 2021

# Úvod

Vzorový příklad využití Metodiky zvyšování bezpečnosti pracovního prostředí zatíženého částicemi < 2,5 µm (dále jen Metodika) je vytvořen na základě fiktivního pracoviště, které je dále popsáno v prvním kroku. Naměřené hodnoty početních koncentrací částic jsou založeny na realizovaném měření a jsou upraveny pro potřeby tohoto příkladu. Postup v příkladu odpovídá schématu v Metodice. Cílem vzorového příkladu je přímo ukázat možné využití Metodiky pro aplikačního garanta na konkrétním příkladu.

## Krok 1 – Charakteristika pracoviště

Na základě doložené dokumentace a osobní inspekce na pracovišti byly zjištěny tyto skutečnosti:

- a) Zkoumaný podnik je strojírna zabývající se zakázkovou výrobou a kompletací strojních sestav pro těžební a stavební stroje. Objem produkce je závislý na množství zakázek, průměrně se jedná o 360 strojních sestav za rok.  
Nanomateriály zde nejsou záměrně produkovány ani zpracovávány.  
Pracoviště je rozděleno do tří výrobních hal o celkové rozloze cca 7 500 m<sup>2</sup>. První hala obsahuje stanoviště sváření a obrábění, druhá hala obsahuje stanoviště pískování a lakování, třetí hala obsahuje sklad a montovnu.
- b) Charakteristika produkováných nebo zpracovávaných jemných a ultrajemných částic není v rámci tohoto podniku relevantní, jelikož nedochází k produkci ani zpracování nanomateriálů.
- c) Analýza procesů na pracovišti, při nichž je s nanomateriály manipulováno není v rámci tohoto podniku relevantní, jelikož nedochází k produkci ani zpracování nanomateriálů.
- d) Přehled procesů na pracovišti, při nichž mohou jemné nebo ultrajemné částice vznikat jako vedlejší produkt: svařování, obrábění, tváření, lakování, pískování.
- e) Přehled procesů na pracovišti, které mohou ovlivnit měření koncentrací jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí a musí být zváženy při tvorbě strategie měření:
  1. hala: 4 otevřené vchody, 2 vjezdy, centrální odsávání umístěné u stropu haly (cca 14 metrů nad podlahou pracoviště), 2 mostové jeřáby, průjezd vysokozdvíhových vozíků, hala bez oken.
  2. hala: 2 otevřené vchody, 2 vjezdy, centrální odsávání umístěné u stropu haly (cca 4 metry nad podlahou pracoviště), přísun čerstvého vzduchu na spodní straně haly, hala bez oken.
  3. hala: 2 uzavřené vchody, 1 vjezd, otevíratelná okna po stranách budovy.
- f) Informace o předchozích provedených měření koncentrací jemných a ultrajemných částic na pracovišti a hodnocení expozice pracovníků nejsou k dispozici.
- g) Osobní ochranné pomůcky (OOP) zajišťuje zaměstnavatel ve formě pracovní obuvi, pláště, rukavic. Svářečské masky a ventilátory si zajišťují zaměstnanci sami. Lakovna má zajištěno zaměstnavatelem respirátory třídy FFP2 a ochranné brýle.  
Ventilace v první hale pouze centrální umístěna u stropu haly. Ventilace v lakovně zajištěna místně u jednotlivých pracovišť s přísunem čistého vzduchu.
- h) Informace o interních dokumentech, které se vztahují k ochranně pracovníků před účinky jemných a ultrajemných částic nejsou k dispozici.
- i) Dle dostupných informací lze soudit, že dochází ke vzniku jemných a ultrajemných částic na pracovišti jako vedlejší produkt procesů (zejména svařování). Ventilace svařovny je zajištěna pouze centrálním odsáváním u stropu haly, OOP pro ochranu před jemnými a ultrajemnými částicemi nejsou zaměstnavatelem poskytovány.

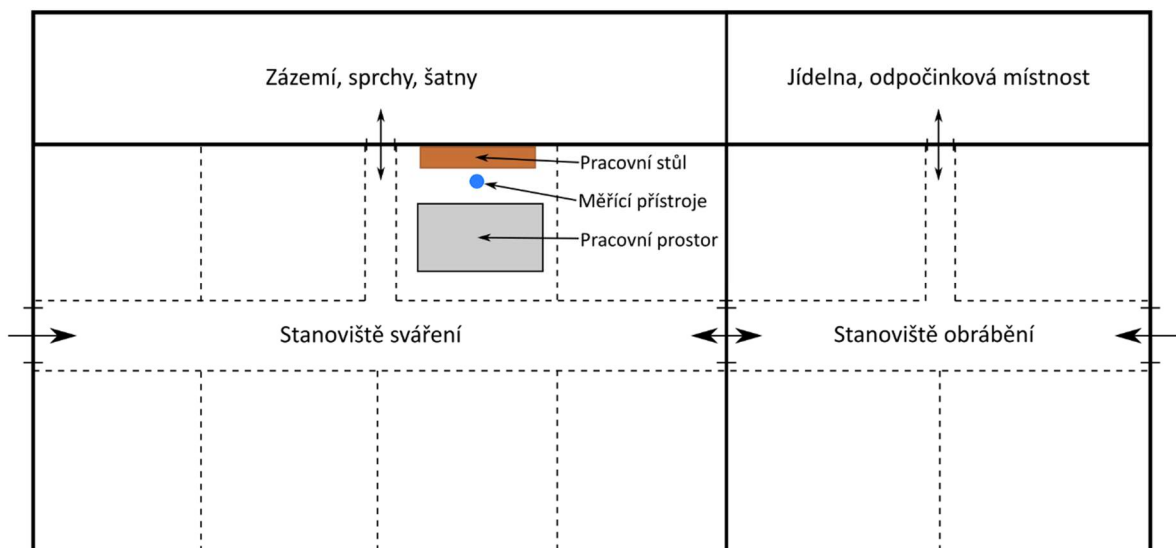
Z těchto důvodů se předpokládá největší hodnota rizika ve svařovně a dále se tedy bude řešit jen svařovna.

Ze zjištěných informací vyplývá, že se v provozu vyskytují procesy, u kterých se předpokládá vznik jemných a ultrajemných částic při jejich nezáměrné výrobě a hodnota priority rizika je tedy dle metodiky stanovena na **hodnotu 3**. S touto hodnotou se bude dále pracovat u hodnocení rizik.

## Krok 2 – Základní hodnocení expozice

Prvotní měření ultrajemných částic v pracovní prostředí svařovny bylo provedeno za následujících podmínek:

- Měření probíhalo u jednosměrného provozu
- Měření bylo kontinuální
- Měření bylo zahájeno nejméně 30 minut před zahájením výrobních procesů a dalších činností na pracovišti
- Před zahájením měření neprobíhaly na pracovišti žádné výrobní procesy po dobu nejméně 4 hodin
- Fotodokumentace nebyla umožněna, zakresleno schéma zkoumaného pracoviště. Teplota vzduchu: 23,6 °C; Relativní vlhkost vzduchu: 43 %; Průměrná rychlost proudění vzduchu: 0,25 m/s;
- Během měření byly zaznamenávány veškeré výrobní procesy a další činnosti realizované v průběhu měření včetně využití OOP pracovníky. Sledován byl také pohyb zaměstnanců na pracovišti. Záznamový arch aktivit je přiložen jako příloha č. 1.
- Měření bylo provedeno přístrojem s platnou certifikovanou kalibrací, který je schopný kontinuálně zaznamenávat početní koncentrace jemných a ultrajemných částic (kondenzačním čítačem částic TSI CPC 3007)
- Měření proběhlo u jednoho vybraného stanoviště, přibližně 1,5 metru od místa svařování ve výšce přibližně 1 metr (viz Obrázek 1)



Obr. 1: Základní schéma zkoumaného pracoviště

### Vymezení významných časů realizovaného měření:

- a)  $t_0 = 6:16$
- b)  $t_z = 6:46$
- c)  $t_{k,1} = 10:56$
- d)  $t_{z,1} = 11:52$
- e)  $t_k = 14:46$
- f)  $t_{1,e} = 7 \text{ hodiny } 4 \text{ minut} = 424 \text{ minut}$
- g)  $t_{1,b} = 56 \text{ minut}$

Kde:

$t_0$  – čas zahájení měření;

$t_z$  – čas zahájení výrobních procesů;

$t_{k,1}$  – čas ukončení výrobních procesů před  $i$ -tou výrobní přestávkou o délce nejméně 30 minut;

$t_{z,1}$  – čas opětovného zahájení výrobních procesů po  $i$ -té výrobní přestávce o délce nejméně 30 minut;

$t_k$  – čas ukončení měření;

$t_{1,e}$  – doba expozice během výrobního procesu u  $j$ -tého pracovníka, tj. čas, který daný pracovník strávil v prostorech, kde jsou předpokládány zvýšené koncentrace jemných a ultrajemných částic;

$t_{1,b}$  – doba základní expozice  $j$ -tého pracovníka, tj. čas, který daný pracovník strávil mimo prostory, kde jsou předpokládány zvýšené koncentrace jemných a ultrajemných částic.

### Hodnoty naměřených početních koncentrací jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí:

- a)  $MC_0 = 33\,584 \text{ počet částic/cm}^3$
- b)  $MC_1 = 117\,836 \text{ počet částic/cm}^3$
- c)  $SD_0 = 18\,919 \text{ počet částic/cm}^3$

Kde:

$MC_0$  – průměrná početní koncentrace jemných a ultrajemných částic na pozadí vypočítaná jako průměrná početní koncentrace jemných a ultrajemných částic naměřená před zahájením výrobního procesu, tj. v časovém intervalu  $(t_0, t_z)$ ;

$MC_1$  – průměrná početní koncentrace jemných a ultrajemných částic během výrobního procesu vypočítaná jako průměrná početní koncentrace jemných a ultrajemných částic během výrobního procesu, tj. v časových intervalech  $(t_z, t_{k,1}) \cup (t_{z,1}, t_{k,2}) \cup \dots \cup (t_{z,i}, t_{k,i+1}) \cup \dots \cup (t_{z,n}, t_k)$ , kde  $n$  značí celkový počet výrobních přestávek delších než 30 minut;

$SD_0$  – směrodatná odchylka početních koncentrací jemných a ultrajemných částic na pozadí vypočítaná jako směrodatná odchylka početních koncentrací jemných a ultrajemných částic před zahájením výrobního procesu, tj. v časovém intervalu  $(t_0, t_z)$ .

### Posouzení početních koncentrací dle rovnice (1) Metodiky:

$$MC_1 - MC_0 > 3SD_0$$
$$117\,836 - 33\,584 > 3 \cdot 18\,919$$
$$84\,253 > 56\,740$$

Ze splnění výše uvedené podmínky vyplývá, že je nutné přistoupit k pokročilému hodnocení expozice.

### Posouzení početních koncentrací dle rovnice (2) Metodiky:

$$MC_1 t_{j,e} + MC_0 t_{j,b} - MC_0 (t_{j,e} + t_{j,b}) > 3SD_0 (t_{j,e} + t_{j,b})$$
$$117\,836 \cdot 424 + 33\,584 \cdot 56 - 33\,584 \cdot (424 + 56) > 3 \cdot 18\,918 \cdot (424 + 56)$$
$$35\,722\,848 > 27\,241\,920$$

Posouzení počátečních koncentrací v závislosti na expozici pracovníků ukázalo stejný výsledek jako předchozí posouzení a to, že je nutné přistoupit k pokročilému hodnocení expozice.

## Krok 3 – Pokročilé hodnocení expozice

Cílem pokročilého měření je identifikovat zdroj jemných a ultrajemných částic na pracovišti a provést charakterizaci těchto částic. K tomuto účelu bylo využito následujících přístrojů:

- a) Kondenzační čítač částic TSI CPC 3007 se vzorkovací frekvencí 1Hz
- b) 2x odběrové čerpadlo SKC AirChek Touch s polykarbonátovými filtry (37 mm průměr, 0,4 µm porozita)

### Průběh měření:

Kontinuální měření koncentrací bylo zajištěno kondenzačním čítačem částic umístěným v nehořlavém krytu cca 1,5 metru od místa svařování. Na sací vstup přístroje byla připevněna chemicky odolná hadice Tygon vedena do blízkosti místa svařování (cca 30 cm). Hadice byla použita z důvodu ochrany měřicího přístroje před roztaveným kovem. Celková délka kontinuálního měření byla 8 hodin a 22 minut.

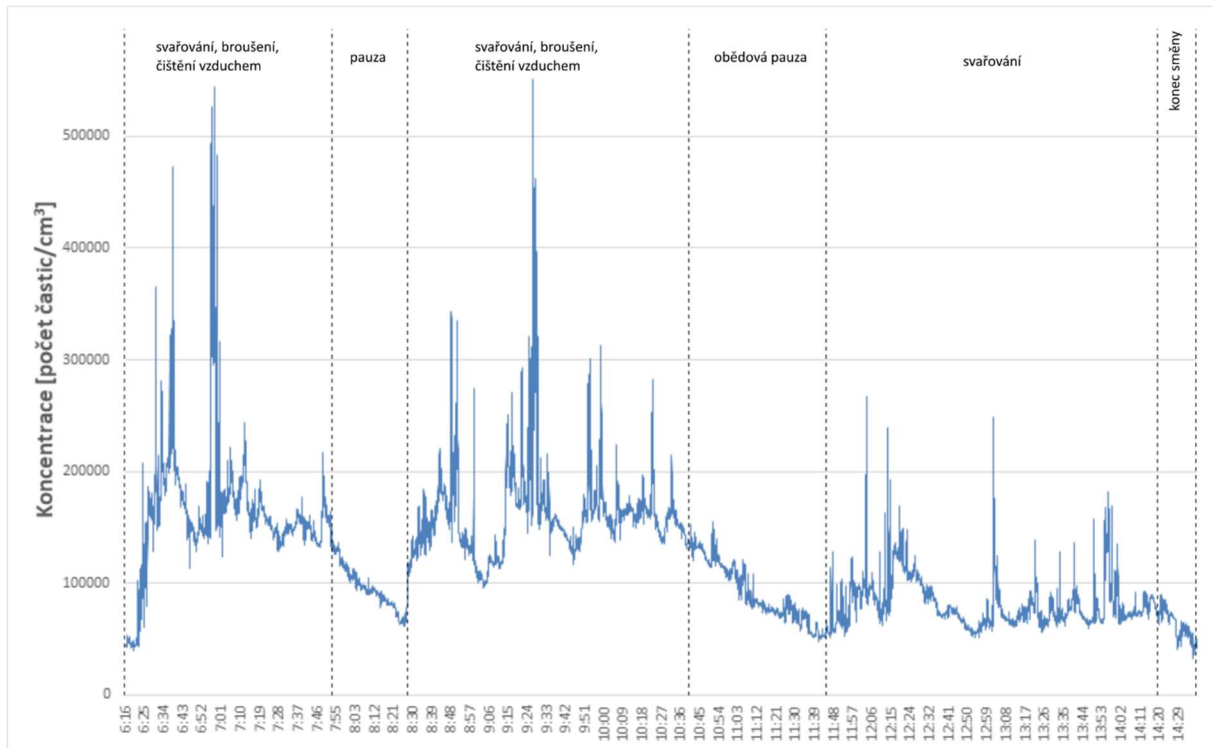
Pro charakterizaci částic byla využita dvě odběrová čerpadla s polykarbonátovými filtry. Jedno čerpadlo bylo umístěno do blízkosti kondenzačního čítače částic, druhé čerpadlo bylo umístěno na pracovníka a kazeta s filtrem byla připnuta do dýchací zóny pracovníka na pracovní plášť. Z důvodu zanešení filtrů byla provedena během obědové pauzy výměna filtrů za nové předem připravené kazety. Doba expozice prvních filtrů byla přibližně 5 hodin, doba expozice druhých filtrů byla přibližně 3 hodiny a 20 minut.

### Výsledky měření:

- a) Vyhodnocení naměřených dat kontinuálního měření

Naměřená data jsou znázorněna na grafu 1. Jedná se o spojnicový graf koncentrace ultrajemných částic (počet částic/cm<sup>3</sup>) v závislosti na čase. Hodnoty v některých časech překračují maximální hodnotu měřitelné koncentrace přístrojem více jak pětinasobně. Přesnost nadlimitních měření je snížena, tudíž výrazně vysoké hodnoty mohou být brány jako náhodné chyby měření.

Při začátku měření je možné pozorovat vysoký nárůst koncentrace způsobený broušením svarku. Další oblasti s vysokými hodnotami se objevují v časech, kdy docházelo k broušení nebo čištění svarku stlačeným vzduchem (6:25-7:54; 8:25-10:42). Při svařování jsou hodnoty téměř konstantní, a to přibližně 150 000 částic/cm<sup>3</sup>. Z grafu jsou patrné pauzy pracovníků, první 7:54 – 8:25 a obědová pauza 10:42 – 11:43. Po obědové pauze se především svařelo, tudíž naměřené hodnoty nenabývají výrazně vysokých hodnot. Ke konci směny, kdy probíhal úklid pracovního místa se hodnoty zmenšily na původní hodnotu (před pracovní směnou) přibližně 50 000 částic/cm<sup>3</sup>.

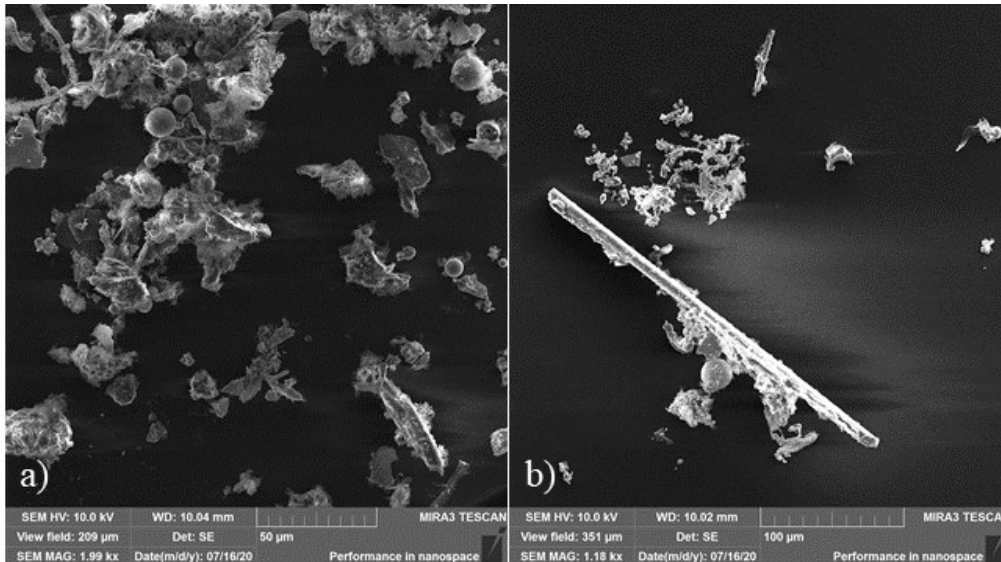


Graf 1 Koncentrace částic naměřená přístrojem CPC

#### b) Vyhodnocení charakterizace odběrových filtrů

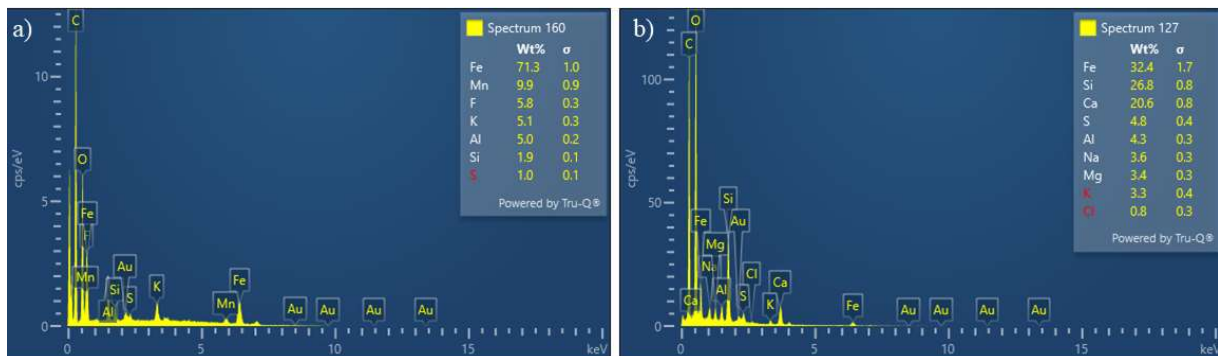
Částice zachycené na filtru odběrového čerpadla AirChek z blízkosti dýchacích cest zaměstnance a z pracovního prostředí byly dále analyzovány metodou SEM (skenovací elektronová mikroskopie). Pomocí této metody byly zachycené částice charakterizované z hlediska jejich morfologie a složení. Tyto dva parametry byly vybrány z důvodu velkého vlivu na cestu vstupu do organismu a na toxicitu.

Na Obr. 2 jsou znázorněny vybrané částice zachycené na filtrech umístěných do blízkosti dýchací zóny pracovníka (a) a v pracovním prostoru (b). Některé částice na záznamu jsou zřejmě biologického původu, což je způsobeno skutečností, že trubička se nacházela právě v blízkosti úst. Z obrázku je viditelná nejednotnost tvaru zachycených částic. Zachycené částice z procesu svařování jsou válcovitého charakteru. Tyto částice mají ostré hrany, které při penetraci do hlubších částí dýchacího traktu mohou způsobit narušení membrány buněk v těle, což může vyvolat další nežádoucí negativní účinky. Velikost odebraných agregovaných částic je okolo 50 μm a více.



Obr. 2 Morfologie částic zachycených na filtrech AirChek.  
 Obrázek a) filtr v blízkosti dýchacích cest svářeče b) filtr z pracovního prostředí.

Pro charakterizaci morfologie zachycených částic byla provedena jejich prvková analýza (Obr. 2). Výsledky prvkové analýzy ve svařovně ukázali výskyt především částic železa (Fe), manganu (Mn) a křemíku (Si), tak jak je uvedené na Obr. 3 a) a b). Kromě těchto částic jsou na grafu viditelné hodnoty charakteristické pro zlato (Au), které jsou rezidua pokovování filtrů. Původ detekovaných prvků Mn a Fe je v souladu s typem svařování a složením svařovaného materiálu. Uvedené prvky byly detekovány na filtrech umístěných přímo v dýchací zóně pracovníka i v pracovním prostředí. Přítomnost těchto částic svědčí o schopnosti přetrvat v daném prostředí i v případě, že je zapnuté odsávání.



Obr. 3 Prvková analýza zachycených částic na filtrech AirChek.  
 Obrázek a) filtr v blízkosti dýchacích cest svářeče, b) filtr z pracovního prostředí.

## Krok 4 – Hodnocení míry vnímání rizik ze strany zaměstnanců

V tomto kroku byla nejprve pomocí vzorového dotazníku přiloženého k Metodice zjišťována míra vnímání rizik spojených s inhalovanými jemnými a ultrajemnými částicemi ze strany zaměstnanců a míra vnímání adekvátnosti stávajících bezpečnostních opatření pro snížení expozice pracovníků jemným a ultrajemným částicím na pracovišti. Dotazník byl vyplněn pracovníkem na zkoumaném pracovišti a výsledek je možné vidět v následující tabulce.

Tab. 1 Hodnocení subjektivního vnímání rizik

<b>Skupina otázek 0</b>		
<b>Číslo otázky</b>	<b>Odpověď</b>	<b>Hodnocení</b>
1)	Svařování	-
2)	Pracovní oděv, svářečské a ochranné brýle, pracovní rukavice, vzduchotechnika celková	-
3)	Ano	-
6)	Svařování, broušení, řezání plamenem	
<b>Skupina otázek A</b>		
<b>Číslo otázky</b>	<b>Odpověď</b>	<b>Hodnocení</b>
4)	Nevím	3
5)	Žádné riziko	1
7)	Nikdy	1
8)	Nízká	5
9)	Žádná	1
<b>Celkové hodnocení A</b>		<b>2</b>
<b>Skupina otázek B</b>		
<b>Číslo otázky</b>	<b>Odpověď</b>	<b>Hodnocení</b>
10)	1	1
11)	1	1
12)	1	1
13)	2	2
14)	2	4
15)	2	2
16)	3	3
17)	3	3
<b>Celkové hodnocení B</b>		<b>2</b>

Z výsledné tabulky vyplývá, že míra informovanosti zaměstnanců o rizicích expozice jemným a ultrajemným částicím na pracovišti stanovená při hodnocení míry vnímání rizik ze strany zaměstnanců (I1-I5) nabývá hodnoty **I2**. A míra vnímání adekvátnosti stávajících bezpečnostních opatření pro snížení expozice pracovníků jemným a ultrajemným částicím na pracovišti stanovená při hodnocení míry vnímání rizik ze strany zaměstnanců (A1-A5) nabývá hodnoty **A2**.

V dalším kroku je provedeno souhrnné hodnocení rizik expozice jemným a ultrajemným částicím na pracovišti dle tabulky 2 v Metodice. Na základě zjištěných informací byla určena hodnota **priority 3**. Dle výsledků z dotazníkového průzkumu jsou zjištěny hodnoty **I2** a **A2**. Dle tabulky 2 Metodiky je poté určena **hodnota rizika 3 – nepřijatelné riziko** (viz Tab. 2).



Tab. 2 Souhrnné hodnocení rizik expozice jemným a ultrajemným částicím na pracovišti

priorita 3	I1	I2	I3	I4	I5
A1	3	3	3	2	2
A2	3	3	2	2	1
A3	3	2	2	1	1
A4	2	2	1	1	1
A5	2	1	1	1	1

## Krok 5 – Opatření ke snížení expozice

Na základě výsledků získaných v rámci předchozích kroků bylo doporučeno implementovat tato opatření:

1) Vzhledem ke zjištěné nízké míře informovanosti zaměstnanců o rizicích ultrajemných částic a deklarovanému pocitu neadekvátnosti stávajících bezpečnostních opatření pro snížení expozice pracovníků jemným a ultrajemným částicím, se doporučuje zajistit **pravidelné školení zaměstnanců** v oblasti zdravotních rizik spojených s těmito částicemi a nácvik postupů pro vlastní ochranu. Na základě vyhodnocení odpovědí na jednotlivé otázky z použitého dotazníku se dále doporučuje toto:

a) Školení by mělo být primárně zaměřeno na **seznámení dotčených zaměstnanců s riziky inhalovaných ultrajemných částic a zákonitostmi jejich působení na organismus**;

b) Obsahem školení by mělo být rovněž **informování zaměstnanců o nastaveném systému pro identifikaci, prevenci a řešení rizik** spojených s inhalací jemných a ultrajemných částic na pracovišti;

c) Součástí školení by mělo být také **objasnění významu a způsobu realizace konkrétních bezpečnostních opatření** při práci s jemnými a ultrajemnými částicemi na pracovišti.

2) Na dotčeném pracovišti bylo zjištěno překročení mezních hodnot expozice zaměstnanců a doporučuje se proto implementovat opatření ke snížení expozice. Vzhledem k tomu, že uvedené překročení mezních hodnot je relativně mírné a s ohledem na značnou nákladnost dalších možných opatření se doporučuje aplikovat tato **provozní opatření**:

a) Doporučuje se **snížit počet pracovníků ve svařovně** na nezbytné minimum. Veškeré činnosti, které přímo nesouvisejí se svařováním a lze je provést v dalších prostorech, by měly být v maximální možné míře vykonávány mimo prostory svařovny;

b) Doporučuje se **zkrátit přítomnost svářečů ve svařovně** na nezbytné minimum. Činnosti, které nesouvisejí se svařováním a pro jejich výkon není nezbytná přítomnost ve svařovně, by měli svářeči vykonávat mimo prostory svařovny (např. přestávka na svačinu, příprava materiálu ke svařování);

c) Doporučuje se **nastavit a dodržovat pravidelný režim větrání prostor svařovny**, tj. jedenkrát za hodinu otevřít všechny vstupní dveře ve všech halách a v hale 3 také všechna otevíratelná okna po dobu nejméně 5 min.

## Krok 6 – Monitorování a kontrola

Po implementaci doporučených opatření bylo znovu provedeno základní měření expozice. V důsledku těchto opatření došlo ke snížení doby expozice u nejvíce exponovaného pracovníka:

- a)  $t_{1,e} = 5 \text{ hodiny } 54 \text{ minut} = 354 \text{ minut}$  – doba expozice během výrobního procesu u j-tého pracovníka, tj. čas, který daný pracovník strávil v prostorech, kde jsou předpokládány zvýšené koncentrace jemných a ultrajemných částic;
- b)  $t_{1,b} = 2 \text{ hodiny } 6 \text{ minut} = 126 \text{ minut}$  – doba základní expozice j-tého pracovníka, tj. čas, který daný pracovník strávil mimo prostory, kde jsou předpokládány zvýšené koncentrace jemných a ultrajemných částic.

V důsledku nastaveného režimu větrání došlo také k mírnému snížení hodnot naměřených početních koncentrací jemných a ultrajemných částic v pracovním prostředí:

- a)  $MC_0 = 32\,889 \text{ počet částic/cm}^3$
- b)  $MC_1 = 101\,231 \text{ počet částic/cm}^3$
- c)  $SD_0 = 19\,119 \text{ počet částic/cm}^3$

Po dosazení do rovnice 2 (viz oddíl 4.2 Metodiky) bylo zjištěno, že míra expozice nejvíce exponovaného pracovníka na hodnoceném pracovišti nepřekračuje stanovenou mezní hodnotu expozice:

$$MC_1 t_{j,e} + MC_0 t_{j,b} - MC_0 (t_{j,e} + t_{j,b}) > 3SD_0 (t_{j,e} + t_{j,b})$$
$$101\,231 \cdot 354 + 32\,889 \cdot 126 - 32\,889 \cdot (354 + 126) > 3 \cdot 19\,119 \cdot (354 + 126)$$
$$24\,193\,068 \succ 27\,531\,360$$

Vzhledem k výše uvedenému bylo následně přistoupeno k dokumentaci a archivaci informací získaných v rámci jednotlivých kroků Metodiky. Dále se doporučuje opakování celého postupu jednou za dva roky nebo v případě změny výrobních procesů na pracovišti.

## Přílohy

### Příloha č. 1: Záznamový arch aktivit při prvotním měření koncentrací částic

Čas		popis
od	do	
6:16		Začátek měření
6:46		Začátek směny (pohyb osob)
6:46		Příprava svarku (jeřáb, broušení)
6:46	6:48	Řezání
6:48	6:49	Řezání
6:49		Očištění vzduchem
6:51	6:58	Svařování
6:59	7:06	Řezání
7:06	7:07	Očištění vzduchem
7:14	7:37	Svařování
7:38	7:56	Svařování
8:01	8:21	Kontrola svarů
8:31	8:41	Svařování
8:41	8:46	Broušení
8:46	8:47	Svařování
8:47	9:11	Řezání + čištění svarů
9:19	9:30	Svařování
9:30	9:35	Broušení
9:35		Očištění vzduchem
9:36	9:55	Svařování
9:56	10:30	Broušení + čištění svarů
10:30		Očištění vzduchem
10:31	10:44	Svařování
10:46		Očištění vzduchem
10:48	10:56	Svařování, odchod pracovníka
11:52	11:53	Airchek – svářeč výměna
11:52	11:53	Broušení
11:53	11:58	Svařování
11:58	12:01	Broušení
12:02	12:08	Svařování
12:08	13:10	Broušení
13:11	13:37	Svařování
13:37	13:41	Broušení (část svaru, čerstvě svařený)
13:41	13:44	Svařování

Čas		
od	do	popis
13:44	13:50	Broušení
13:50	13:53	Svařování
13:53	14:06	Broušení
14:06	14:36	Úklid pracovního místa
14:36		Konce směny (pohyb osob)
14:46		Konec měření

### **Zpracoval:**

Ing. Michal Urbánek (Vysoké učení technické v Brně)

Mgr. Tomáš Zeman, Ph.D. et Ph.D. (Univerzita obrany)

Ing. Klaudia Kōbōlová (Vysoké učení technické v Brně)

prof. Ing. Vladimír Adamec, CSc. (Vysoké učení technické v Brně)