



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

**Měření emisí prachových částic při svařování elektrickým obloukem
dle platných norem**

**Measurement of welding particle emissions, fumes according to
standards**

Bakalářská práce

Praha 2017

Studijní program: B 2343 VÝROBA A EKONOMIKA VE STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Petr Vondrouš, Ph. D., IWE

Autor: Tomáš Vítek

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „**Měření emisí prachových částic při svařování elektrickým obloukem dle platných norem**“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Vondrouše, Ph. D., IWE s použitím literatury uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze

Tomáš Vitek

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Vondroušovi, Ph. D. za rady, připomínky a odborné vedení bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval RNDr. Bohumilu Kotlíkovi, Ph.D. za objasnění některých problémů při vzorkování, Mgr. Jitce Sikorové a Ing. Vlastě Švecové, Ph.D. za zapůjčení osobních vzorkovačů spolu s filtry a odborníkům Centra vozidel udržitelné mobility za poskytnutí pracoviště pro vážení filtrů.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá tématem svářečských dýmů, které vznikají při obloukovém svařování. Obsah práce je rozdělen do dvou částí. Teoretická část se zabývá emisemi částic, podrobným postupem pro měření osobní expozice pracovníků svářečskými dýmy a vyhodnocováním tohoto měření z hlediska platných předpisů a norem. Praktická část ověřuje daný postup. Svařování při správném dodržování bezpečnostních ustanovení vyhovuje daným limitům a naměřené hodnoty jsou hluboko pod současnými limity.

Abstract

This bachelor thesis looks into topic of welding fumes which are generated during arc welding. The subject matter is divided into two parts. The theoretical part is about particle emissions, detailed technique of measuring personal exposition to welding fumes and evaluation of values from the perspective of regulations and standards connected with this topic. The practical part verified the technique. If we follow correct safety measures during welding, it corresponds with the limits and measured values are far beneath current limits.

Klíčová slova

Svařování, svářečské dýmy, emise, měření

Keywords

Welding, welding fumes, emissions, measurements

1	Úvod.....	7
2	Emise částic při obloukovém svařování	7
2.1	Atmosférický aerosol	8
2.1.1	Distribuční mody	8
2.1.2	Definice pro hodnocení prachu.....	9
2.2	Prach v pracovním ovzduší	12
3	Vzorkování.....	14
3.1	Zásady vzorkování	14
3.2	Požadavky pro měření emisí při svařování dle 10882-1	15
4	Strategie posuzování a měření	19
4.1	Měření osobní expozice	19
4.2	Výběr podmínek a způsobu měření.....	19
4.3	Orientační měření.....	19
4.4	Krátkodobá měření.....	20
4.5	Měření časově vážené průměrné koncentrace.....	20
5	Postup.....	21
5.1	Předběžné posouzení	21
5.1.1	Výběr metrických jednotek.....	21
5.1.2	Výběr a použití vzorkovačů.....	21
5.1.3	Výběr doby odběru vzorků	22
5.1.4	Posouzení vlivů teploty a tlaku.....	22
5.2	Příprava odběru vzorků.....	23
5.2.1	Čištění vzorkovačů	23
5.2.2	Slepé vzorky	23
5.2.3	Vzorkovače, odběrová média a vzorkovací kazety	23
5.2.4	Nastavení průtoku	23
5.2.5	Poloha při odběru vzorků.....	24
5.3	Odběr vzorků.....	24
5.4	Přeprava.....	25
5.5	Analýza	25
5.5.1	Vážení a gravimetrická analýza	25
5.5.2	Chemická analýza	26
5.5.3	Vyjádření výsledků	26
5.5.4	Stanovení expozice a zaznamenávání údajů.....	31
6	Měření osobní expozice při svařování a příbuzných procesech – praktická část ...	31
6.1	Měření emisí při řezání kolejnic plamenem.....	31
6.2	Měření emisí při výuce Svařování v praxi	33
6.3	Měření jednotlivých metod svařování a druhů elektrod	37
7	Závěr	42
8	Seznam použité literatury	43

Seznam obrázků

Obrázek 1: Graf distribuce částic v atmosférickém aerosolu	9
Obrázek 2: Anatomické členění horních a dolních cest dýchacích	11
Obrázek 3: Vdechovatelná, thorakální a respirabilní konvence polétavého prachu.....	14
Obrázek 4: Diagram požadavků na vybavení dle 10882-1	18
Obrázek 5: Diagram možného pracovního postupu dle 10882-1	30

Seznam tabulek

Tabulka 1: Kontaminanty dle ČSN 05 0600.....	12
Tabulka 2: Emisní limit dle vyhlášky č. 415/2012 [9,13]	13
Tabulka 3: Měření - Řezání plamenem.....	32
Tabulka 4: Měření - Skupina studentů 1	33
Tabulka 5: Měření - Skupina studentů 2.....	34
Tabulka 6: Měření - Skupina studentů 2 - pozadí.....	35
Tabulka 7: Využití pracovní doby z hlediska svařování.....	37
Tabulka 8: MAG - poměděný drát.....	38
Tabulka 9: MAG - trubičkový drát	39
Tabulka 10: MAG - nerez.....	40
Tabulka 11: MMA - bazická.....	40
Tabulka 12: MMA - rutilová	41

Seznam grafů

Graf 1: Skupina studentů 1 - koncentrace.....	34
Graf 2: Skupina studentů 2 - koncentrace.....	35
Graf 3: MAG - poměděný drát -koncentrace.....	39
Graf 4: MAG - plněný drát -koncentrace.....	39
Graf 5: MAG - nerez -koncentrace	40
Graf 6: MMA - bazická -koncentrace.....	41
Graf 7: MMA - rutilová -koncentrace.....	41

1 Úvod

Při svařování se uvolňují různé látky, které mohou mít neblahý účinek na lidské zdraví. Velkému ohrožení jsou vystaveny dýchací cesty. Cizorodé látky mohou lidský organismus poškozovat různými způsoby, podrážděním očí a kůže, poškozením dýchacích cest, alergiemi atd. Jejich působení na organismus se může projevit i po mnoha letech.

Měření polétavých částic se stává stále diskutovanějším tématem hlavně v automobilovém průmyslu, kde se řeší vliv částic uvolňovaných při provozu aut na ovzduší, a to jak z lokálního, tak z globálního hlediska. Zájem o tuto problematiku v tomto oboru je dán nejen závažností zdravotních následků, ale i počtem ovlivněných osob. U svařování je tato problematika známá, ale zájem o ni je v porovnání s automobilovým průmyslem malý, hlavně z mediálního hlediska.

U svařování jsou pracovníci během pracovní doby vystaveni svářečskému dýmu několikrát týdně, a to až po několik desetiletí. Dosahované hodnoty polétavého prachu jsou násobně vyšší, než například limity pro ovzduší ve městech. Pracovníci jsou povinni se chránit osobními ochrannými pracovními prostředky a musí dodržovat zásady bezpečnosti práce. Pracoviště musí být v souladu s právními předpisy.

S rozvojem techniky a technologií se zdokonalují měřicí a testovací přístroje. Jsou vytvářeny a zdokonalovány metody a postupy zjišťující míry škodlivin na pracovišti.

Cílem této práce je změřit emise, které ovlivňují zdraví pracovníků na svářečských pracovištích a výsledky zasadit do legislativních rámců. Toto měření provést primárně pro metodu MMA (svařování obalenou elektrodou) a MAG (svařování v ochranné atmosféře). Z výsledků následně vyvodit závěry, zda je nutné přijmout nějaká opatření pro dané pracoviště a jak by tato případná opatření měla vypadat.

2 Emise částic při obloukovém svařování

Emise jsou ve formě aerosolů, plynů nebo par. Vznikají při metalurgických a fyzikálně-metalurgických procesech a jsou ovlivněny různými faktory. Mezi tyto faktory například patří složení základního materiálu, složení přídavného materiálu, metoda

svařování a parametry napětí a proudu při svařování. Tato práce se zabývá především aerosoly. **Při chemických oxidačních procesech, jako je například svařování, mají částice uvolněného dýmu velikost 0,1-1 μm [1,2].**

2.1 *Atmosférický aerosol*

Atmosférickým aerosolem rozumíme kapalné a pevné částice suspendované v plynu. Druh těchto částic určuje, zda jde o aerosol tuhý nebo kapalný. Velikost těchto částic se pohybuje mezi 1 nm - 100 μm . Atmosférický Aerosol se dělí na dým, kouř a prach podle velikostí částic a druhu částic, které obsahuje[1,2].

Dým je tvořen pevnými částicemi. Tyto částice mají většinou průměr menší než 0,05 μm . Shluky a řetězce těchto částic vznikají nahromaděním menších částic při vysokoteplotních procesech, jako je svařování[2,5].

Kouř je velice podobný dýmu, ale obsahuje i kapalné částice[2,5].

Prachem rozumíme veškeré tuhé aerosoly. Částice větší než 30 μm jsou nazývány jako hrubý prach a rychle sedimentují[2,5].

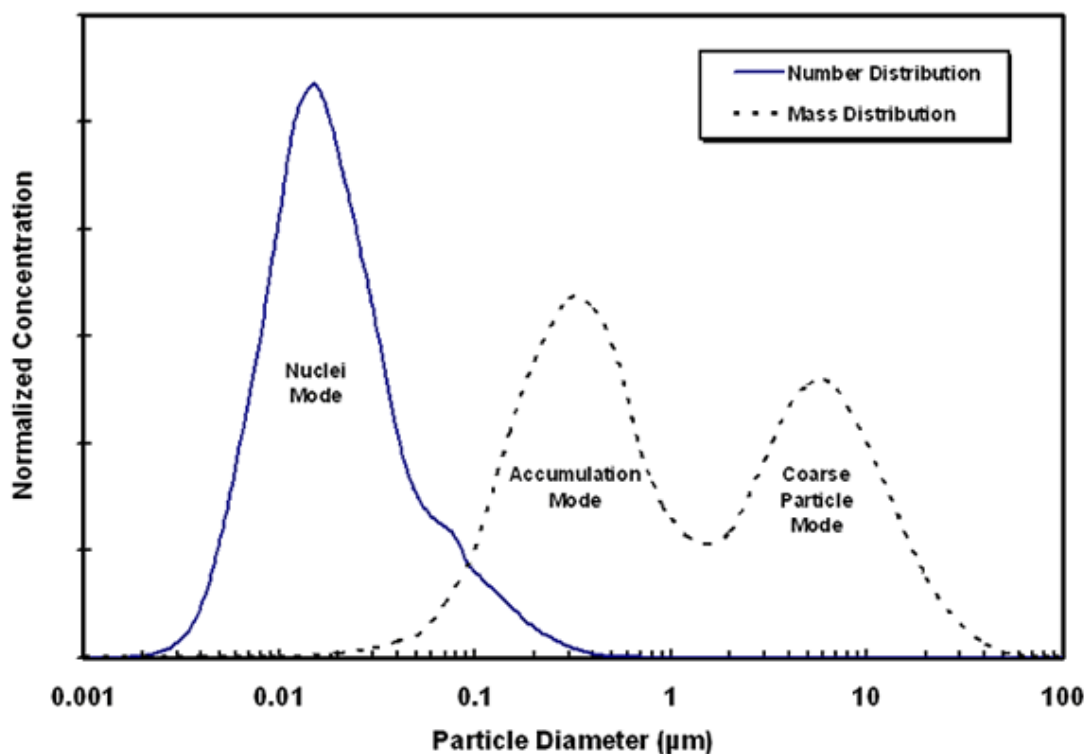
2.1.1 Distribuční mody

Velikostní distribuce částic dle Whitbyho obsahuje obvykle 3 mody. Ty se liší původem a velikostí částic. Dva mody jsou v oblasti jemných částic aerosolu a třetí je v oblasti hrubých částic. Hrubé a jemné částice jsou od sebe odděleny hranicí 2,5 μm [2,3].

Primární částice nukleačního modu (nejmenší částice), které vznikají při vysokoteplotních procesech a fotochemických reakcích v atmosféře kondenzací, jsou kulového tvaru[2,3].

Částice akumulačního modu (středně velké částice) tvoří největší část hmotnosti atmosférického aerosolu. Vzniká kondenzací plynů, chemickou reakcí a shlukováním částic modu nukleačního[2,3].

Částice modu hrubých částic (největší částice) s rozměry od 5 – 30 μm vznikají při mechanických silách. Jde o prach vytvářený větrem, dopravou, stavebními aktivitami nebo spalováním uhlí[2,3].



Obrázek 1: Graf distribuce částic v atmosférickém aerosolu [4]

2.1.2 Definice pro hodnocení prachu

Pro hodnocení prachu je potřeba zavést určité pojmy, které jasně definují vlastnosti prachu z hlediska jeho negativního ovlivnění zdravotního stavu pracovníků. Většinou jsou tyto vlastnosti závislé na velikosti částic[2,5].

Prach lze dělit několika způsoby. Základní rozdělení je na prach **toxický** a **netoxický**. Druhým způsobem rozdělení prachu je dělení podle účinků na lidský organismus[2,5].

„Aerodynamický průměr částice D - průměr koule o hustotě 1gcm^{-3} se stejnou ustálenou rychlostí způsobenou gravitační silou v klidném ovzduší, jako má částice za obvyklých podmínek týkajících se teploty, tlaku a relativní vlhkosti.

***Vdechovatelná (inhalable) frakce** - hmotnostní frakce polévatého prachu, která je vdechnuta nosem a ústy.*

***Thorakální (thoracic) frakce** - hmotnostní frakce vdechovaných částic pronikajících za hrtan.*

Respirabilní (respirable) frakce - hmotnostní frakce vdechovaných částic, které pronikají do dýchacích cest, kde není řasinkový epitel.

Dýchací zóna - prostor v bezprostřední blízkosti úst a tváří, přesněji technicky definován jako polokulový prostor (obecně o poloměru 0,3 m) se středem v polovině spojnice obou uší a vymezený rovinou tváře procházející touto spojnicí, vrcholem hlavy a ohryzkem.

PEL (přípustný expoziční limit) - celosměrný časově vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimž mohou být podle současného stavu znalostí vystaveni zaměstnanci při osmihodinové pracovní době aniž by u nich došlo i při celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví, k ohrožení jejich pracovní schopnosti a výkonnosti[2,5].“

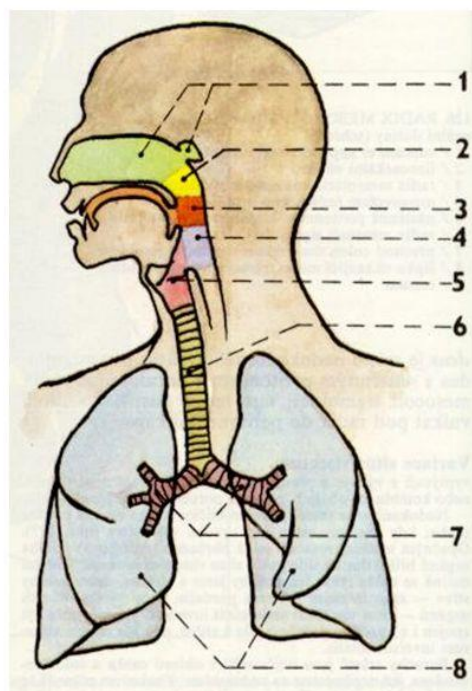
Rozdělení prachu dle účinků na lidský organismus:

- Prachy s převážně nespecifickým účinkem
- Prachy s fibrogenním účinkem, které mohou být jednak s možným fibrogenním účinkem nebo s převážně fibrogenním účinkem
- prachy s dráždivým účinkem (případně senzibilizujícím účinkem)
- minerální vláknité prachy [2,5]

V naprosté většině případů se prach dostává do organismu přes dýchací cesty. Hrubé prachové částice se zachytí v horních cestách dýchacích. Odtud jsou pomocí pohybu řasinkového epitelu spolknuty, vykašlány nebo vykýchány. Horní cesty dýchací zachytí většinu prachu o velikosti 5 μm a více. Menší částice pronikají za hrtan do dolních cest dýchacích. Zde se mohou dostat do plicních sklípků. U částic velikosti 3 μm je více jak 50% šance průniku částic do plicních sklípků. Pravděpodobnost průchodu částic do plicních sklípků je nepřímo úměrná velikosti částic. **Prachy pronikající do plicních sklípků jsou ze zdravotního hlediska nejvíce nebezpečné[2,5].**

Anatomické členění

- Horní cesty dýchací
 - Nosní dutina 1
 - Vedlejší dutiny nosní 1
 - Nosohltan 2
- Dolní cesty dýchací
 - Hrtan 5
 - Průdušnice 6
 - Průduškový strom 7
 - Dýchací oddíl plic 8



Obrázek 2: Anatomické členění horních a dolních cest dýchacích [6]

Prachy s převážně nespecifickými účinky bývají také nazývány jako inertní prachy. Dlouhodobé vystavení organismu všem těmto prachům způsobuje zdravotní potíže. Mezi tyto zdravotní potíže patří například chronický zánět průdušek nebo snížená obranyschopnost organismu[5].

Fibrogenní prach je nebezpečný, protože způsobuje plicní fibrózy (zvýšené bujení vaziva v plicích). Mezi fibrogenní látky patří například krystalický oxid křemičitý[5].

Dráždivé prachy způsobují podráždění spojivek očí, sliznic dýchacího ústrojí a pokožky. Mohou vyvolávat také astma (spíše organické prachy) [5].

Toxické prachy kromě mechanického poškození lidského organismu způsobují i systematickou intoxikaci. Prachy obsahující například těžké kovy nebo radioaktivní prvky jsou absorbovány krví, kde při krevním oběhu poškozují orgány a nezřídka bývají příčinou rakoviny. Takové prachy označujeme jako karcinogenní[5].

V oboru svařování je nutné věnovat zvláštní pozornost při metodě TIG. Při využití WT elektrod obsahující thorium v podobě oxidu thoričitého (TiO_2). Thorium je lehce radioaktivní prvek s dlouhým poločasem rozpadu. Vyzařuje primárně alfa částice, ale lze naměřit i beta a gama záření. Alfa částice lze snadno odstínit papírem nebo pokožkou, proto je nejdůležitější zajistit, aby se nedostaly do trávicího traktu, plic a krve. V těchto případech má thorium karcinogenní vlastnosti[11].

Norma ČSN 05 0600 zabývající se bezpečnostními ustanoveními pro svařování rozděluje toxické složky prachů do 3 skupin podle jejich významu z hlediska ohrožení zdraví pracovníků a určuje jejich nejvyšší přípustné koncentrace (NPK-P)[2,8].

Tabulka 1: Kontaminanty dle ČSN 05 0600

Kontaminanty s největším škodlivým účinkem (NPK-P) $\leq 0,1 \text{ mg/m}^3$	Cr, Ni, Co, V, Cd, Pb, Be, hydrazin, ozón
Kontaminanty s velmi škodlivým účinkem (NPK-P) = 0,1 až 3,0 mg/m^3	Cu, As, Mn, Sn, NaOH, KOH, CaO, Cl, F, Na_2SiF_6 , formaldehyd
Kontaminanty s malým škodlivým účinkem (NPK-P) $> 3,0 \text{ mg/m}^3$	Ostatní látky

2.2 Prach v pracovním ovzduší

Prach je vytvářen při naprosté většině činností, svařování nevyjímaje. Aby nebylo ovlivněno zdraví pracovníků, kteří s tímto prostředím krátkodobě nebo dlouhodobě přichází do styku, je potřeba toto prostředí kontrolovat. Účelem je zajištění takových podmínek, při kterých není ohroženo zdraví pracovníků, popřípadě toto riziko minimalizovat na co nejmenší úroveň. Ovzduší se kontroluje primárně gravimetricky, aby nebyly překročeny limitní koncentrace. Obvykle se v pracovním prostředí měří časově vážená průměrná koncentrace za pracovní směnu, která se porovnává s přípustným expozičním limitem (PEL)[2,10].

Při svařování stanovuje tyto limity **Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší č. 415/2012 Sb.** Pro tuhé znečišťující látky (TZL) je množství limitováno na 50 mg/m^3 [2,9,13].

Část vyhlášky 3.8.4. zní takto: „*Svařování kovových materiálů, jejichž celkový projektovaný elektrický příkon je roven nebo vyšší 1000 kVA (kód 4.14. dle přílohy č. 2 zákona)[13]*“

Tabulka 2: Emisní limit dle vyhlášky č. 415/2012 [9,13]

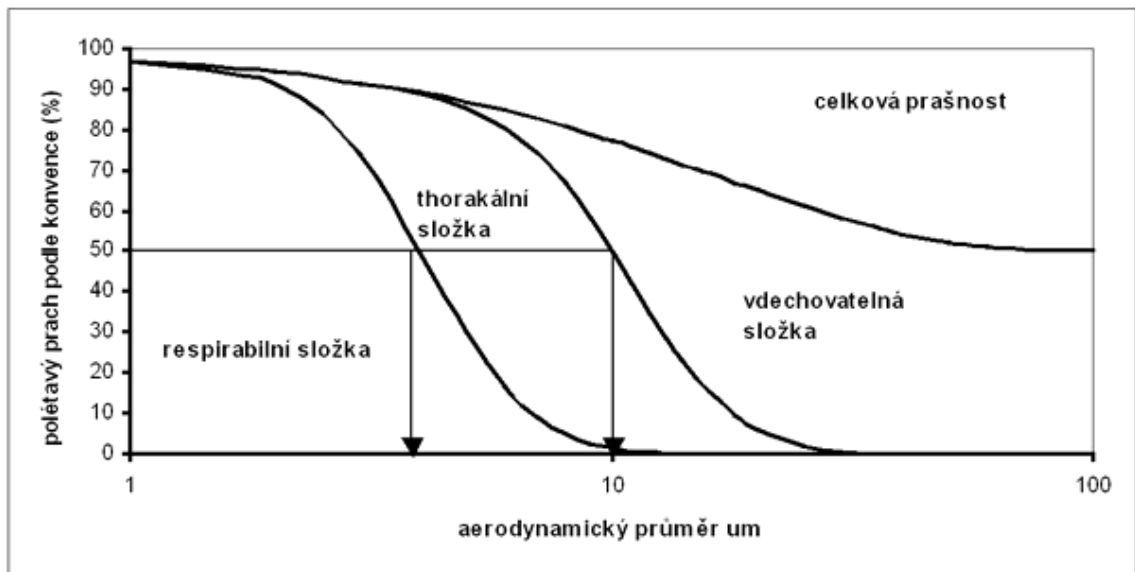
Emisní limit [mg/m ³]	Vztažné podmínky
TZL	
50 ¹⁾	C

Vysvětlivky: 1) Neplatí pro odporové sváření; C - koncentrace příslušné látky v odpadním plynu za obvyklých provozních podmínek [9,13]

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci. V tomto nařízení vlády jsou uvedeny přípustné hodnoty, kterým může být pracovník vystaven. **PEL** pro celkovou koncentraci (vdechovatelnou frakci) prachu se označuje **PELc**. **PELc** pro prachy s možným fibrogenním účinkem, do kterých spadají svářečské dýmy, je 5 mg/m³. Do **PELc** se počítají pouze pevné částice[2,7].

Norma EN 481 se zabývá ovzduším na pracovišti a vymezuje frakce pro měření poletavého prachu. Tato norma definuje konvence pro odebírání vzorků velikostních frakcí. Tyto vzorky jsou používány pro hodnocení dopadu polétavého prachu vyskytujícího se na pracovišti na zdraví člověka. Tato norma také poskytuje informace o parametrech měřících přístrojů[2,5,10].

Ve většině případů se u experimentů zjišťuje celková prašnost. V některých případech (především pro fibrogenní prachy) se zjišťuje i respirabilní složka z celkového polétavého prachu. U fibrogenních prachů je nutné zjistit i podíl fibrogenní složky, protože od množství fibrogenních částic se odvozují limitní hodnoty pro respirabilní frakci[5].



Obrázek 3: Vdechovatelná, thorakální a respirabilní konvence polétavého prachu [5]

3 Vzorkování

3.1 Zásady vzorkování

Pro správné měření emisí je třeba dodržovat určitá pravidla a zásady vzorkování. Tyto zásady jsou důležité pro další opakovatelnost a patřičnou výpovědní hodnotu. Při měření emisí nelze dostat vždy stejné výsledky, protože pohyb částic je nahodilý a nelze ho přesně zopakovat, opakovaná měření by však měla korespondovat s měřeními provedenými již dříve.

Vzorkování se musí přizpůsobit úkolu od zadavatele a ostatním faktorům na pracovišti. Mezi ostatní faktory lze považovat například pohyb zaměstnanců, různé druhy prostorů nebo výměnu vzorkovaného vzduchu, například účelovým větráním prostoru[15].

Vzorkování by mělo probíhat za předpokládaných nejhorších možných podmínek pracoviště, aby nebyly ovlivněny vzorky za účelem dosažení povoleného limitu. Toto platí například pro nepravidelně větraná pracoviště[15].

Vzorkování musí být reprezentativní. Jinými slovy samotnou vzorkovací činností nesmí být ovlivněny vzorky, které se snažíme získat[15].

- Nesmí být ovlivněny činnosti pracovníků a ani výsledky vzorkování

- Je třeba brát ohledy na měnící se charakteristiku expozice a dodržovat požadované doby odebrání vzorků
- Při vzorkování je třeba se držet pravidla 10% - odebraný objem vzduchu za 1h by neměl být větší než 10% ventilace vzduchu v prostorech, popřípadě by neměl překročit 10% objemu vzduchu testované místnosti
- Důležitý je zápis mikroklimatických podmínek v prostoru (teplota, relativní vlhkost, tlak vzduchu)
- Měl by být veden záznam činností, ze kterého se dají vyvodit případné zdroje emisí [15]

3.2 *Požadavky pro měření emisí při svařování dle 10882-1*

Norma 10882-1 klade mnohé podmínky pro měření emisí při svařování. Mezi tyto podmínky patří určité nároky na vzorkovače, odběrová média, čerpadla, průtokoměry a další zařízení.

Postupy pro vyhodnocení expozice svářečským dýmem a poléťavým prachem musí být v souladu s normou **EN 482**[14].

Vzorkovač musí být schopen vzorkovat poléťavý prach, jak je definován v ISO 7708 a musí vyhovovat parametrům uvedeným v normě ČSN EN 13205[14].

V případě vzorkovače umístěného za svářečskou kuklou svářeče nelze jednoznačně určit, zda byly splněny výkonnostní charakteristiky popsané v normě EN 13205[14].

Zkoušky způsobilosti vzorkovačů zaštit'ují normy ČSN EN 13205 Expozice pracoviště - Posuzování funkce zařízení pro měření koncentrace částic poléťavého prachu.

- ČSN EN 13205-1: Obecné požadavky
- ČSN EN 13205-2: Laboratorní zkouška způsobilosti založená na stanovení účinnosti vzorkování
- ČSN EN 13205-4: Laboratorní zkouška způsobilosti založená na porovnání koncentrací

- ČSN EN 13205-5: Zkouška způsobilosti odběrového zařízení pro aerosol a porovnání odběrového zařízení prováděná na pracovišti
- ČSN EN 13205-6: Zkoušky přepravy a manipulace s odběrovým zařízením

Tyto normy se dají rozdělit do dvou skupin. První skupinou by byly části 2, 4 a 5. Tyto části vypovídají o měřících schopnostech přístroje a určují rozšířenou nejistotu odběrového zařízení pro aerosol. Část 6 se zabývá zkouškou přepravy[16].

Odběrové médium (například filtr) musí být vhodné pro použití s vybraným vzorkovačem a musí mít při odběru vzorků minimální účinnost 99,5% pro částice s difusním průměrem 0,3 μ m[14].

Použitá odběrová média musí odpovídat účelu a odolávat zadržování vlhkosti a třepení. Více jsou média popsána v ISO 15767[14].

Pokud je prováděna i chemická analýza daných vzorků, nesmí médium obsahovat žádné látky, které by mohly reagovat s odebraným vzorkem, a tím ho ovlivnit. Více k tomuto tématu je popsáno v normách ISO 15202-1 a ISO 16740[14].

Vzorkovací čerpadla musí mít regulovatelný průtok a také musí být schopna tento průtok udržovat v rozsahu $\pm 5\%$ jmenovité hodnoty po celou dobu vzorkování[14].

Minimální požadavky na čerpadlo:

- Automatická kontrola pro udržení konstantního průtoku i v případě změny protitlaku
- Indikátor poruch, který během vzorkování nebo po jeho konci detekuje snížení nebo přerušování průtoku
- Zařízení pro nastavení průtoku pomocí nástroje nebo pomocí softwaru
- Pulsace průtoku, která nepřekročí 10%

Vestavěný časovač je považován za vhodnou funkci vzorkovacího čerpadla[14].

Průtokoměr by měl být přenosný a měřit s nejistotou měření menší než 2,5%. Průtokoměr musí být kalibrován vůči primárnímu standardu. Primárním standardem rozumíme průtokoměr, u kterého je přesnost navázána na národní standard.

Ostatní požadavky pro měření průtoku podle EN 1323:1997:

- Rozsah průtoku při měření nesmí mít větší odchylku než $\pm 5\%$ od počáteční hodnoty při zvýšení protitlaku.
- V rozsahu teplot 5°C až 40°C se naměřený průtok neodchýlí o víc než $\pm 5\%$ od hodnot naměřených při měření v prostředí o teplotě 20°C
- Pracovní doba nejméně 2h, a pokud možno 8h
- Průtok nevykazuje odchylku

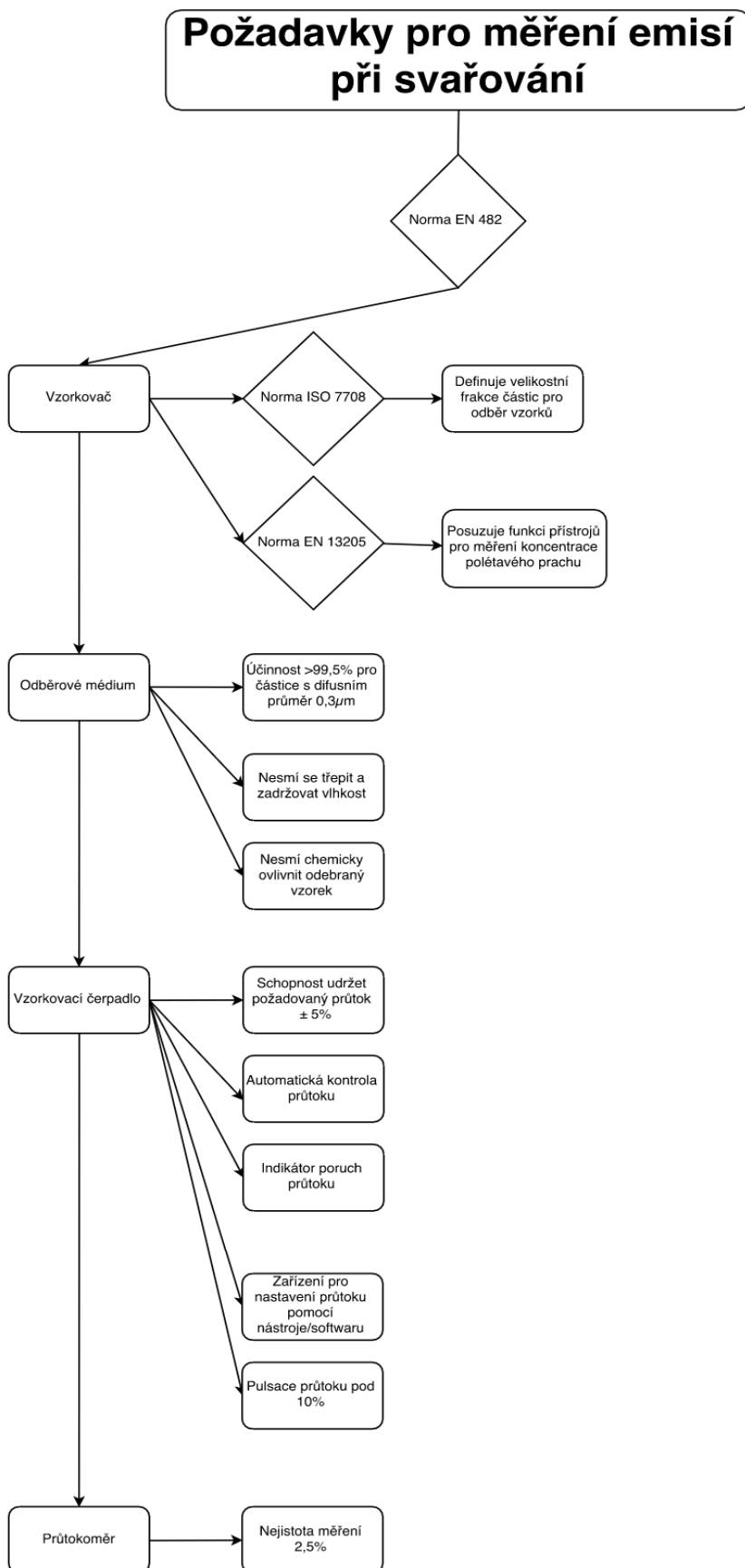
Pokud tyto požadavky dle EN 1323:1997 nejsou splněny, je nutné se ujistit, že přístroj splňuje výkonnostní požadavky[14].

Při vzorkování se používají další pomůcky, které jsou obvykle běžně dostupné v zařízených laboratořích. Mezi tyto pomůcky patří například:

- Ohebné hadičky
- Náhlavní pásek nebo náhlavní nosič
- Pinzety
- Převážní pouzdra nebo jiné vhodné kontejnery
- Teploměr
- Barometr

Analytické váhy s přesností vážení $\pm 0,01$ mg kalibrované závažím navázaným na národní standard. Při vážení je třeba se řídit pokyny výrobce. Před vážením se zkontroluje kalibrace vah[14].

Pro odstranění elektrostatického náboje během manipulace s odběrovým médiem při vážení se používá **neutralizátor statické elektřiny**. Pokud tento neutralizátor využívá radioaktivní zdroj, je vhodné zkontrolovat jeho životnost. Tyto přístroje vyžadují speciální zacházení dle národních právních předpisů při údržbě, skladování a při likvidaci[14].



Obrázek 4: Diagram požadavků na vybavení dle ČSN EN 10882-1

4 Strategie posuzování a měření

Strategie posuzování je popsána normou EN 689. Tato norma do strategie posuzování zahrnuje počáteční odhad pravděpodobné expozice, kvantifikování pravděpodobné expozice z existujících postupů a podrobný přehled zahrnující měření na pracovišti. Pro tyto účely lze využít již známých existujících postupů, které jsou srovnatelné[14].

4.1 *Měření osobní expozice*

Při sváření se svářečskou kuklou musí být vzorkovač v dýchací zóně svářeče za touto kuklou, protože je zde koncentrace svářečského dýmu odpovídající hodnotám, které svářeč vdechuje. Zde by se měl připevnit například pomocí spony ke svářečské kukle. V případě, že si svářeč svářečskou kuklu sundává (nikoliv pouze odklopí), umístí se vzorkovač k límci svářeče tak, aby i po odložení kukly byl na svém místě[14].

Kromě měření osobní expozice lze měřit expozici na pracovišti pomocí tzv. měření expozice ve stanovených bodech stacionárním měřením. Z měření ve stanovených bodech, které jsou odlišné od osobní expozice svářeče, se získávají cenné informace o polétavém prachu na pracovišti. Získávají se také data o vystavení ostatních osob svářečském dýmu a polétavému prachu na pracovišti[14].

4.2 *Výběr podmínek a způsobu měření*

Postup vzorkování musí být navržen tak, aby svářečům nevadil v běžné práci, expozice při něm byla odpovídající normálním podmínkám při svařování a nebyl v rozporu s následnou analytickou metodou[14].

Vzorkování musí zohledňovat různé překážky při svařování, jako je například délka svařovací periody[14].

4.3 *Orientační měření*

Orientační měření časově vážené průměrné koncentrace lze provádět v počátku fáze hodnocení, kvůli informacím o charakteru a úrovni expozice[14].

V případě výsledků, které jsou výrazně pod limitními hodnotami, jsou přijatá opatření v pořádku a nemusí se provádět měření časově vážené průměrné koncentrace a porovnávat ji s limitními hodnotami[14].

Pokud hodnoty při tomto měření překročí limitní hodnoty, jsou tato měření hodnocena jako nedostatečná. Je potřeba přijmout opatření, aby se překročení zabránilo a poté provést nové měření v nejhorším případě[14].

Tyto hranice jsou určovány národními požadavky nebo zkušenostmi z praxe[14].

4.4 Krátkodobá měření

Pro krátkodobá měření, která se porovnávají s krátkodobými limitními hodnotami, se běžně používá referenční doba rovna 15 minutám nebo menší[14].

4.5 Měření časově vážené průměrné koncentrace

Porovnání naměřených hodnot s limitními je důležité z hlediska přesných a spolehlivých informací a k předpovědím časově vážené průměrné koncentrace specifických chemických látek ve vzduchu při tomto měření (více upřesňuje norma EN 482) [14].

Pro porovnávání expozice svářeče s dlouhodobými expozičními limity je potřeba vzorkování provádět po celou pracovní dobu nebo během množství reprezentativních dob. Při dlouhodobém odběru je důležité kontrolovat parametry vzorkování, aby se nezměnily. Může se stát, že dojde k zahlcení filtru. Dlouhodobé vzorkování by tímto mohlo být nenávratně znehodnoceno[14].

5 Postup

5.1 *Předběžné posouzení*

5.1.1 Výběr metrických jednotek

Rozhodnutí spočívá v prováděných metodách. Záleží na tom, zdali chceme vyhodnocovat gravimetrickou analýzu, chemickou analýzu nebo obojí. Podle metod vyhodnocení odběru polévatého prachu následně vybíráme vzorkovač, vzorkovací médium a další přístroje[14].

Pokud chceme provádět gravimetrickou analýzu, je třeba se zamyslet, jak moc bude ovlivněna polévatým prachem v okolí z ostatních činností přidružených ke sváření. Je vhodné změřit množství polévatého prachu v prostorech, kde má být odběr vzorků proveden, ať už z důvodu expozice ostatních osob na pracovišti, nebo ovlivnění odebraných vzorků při svařování[14].

5.1.2 Výběr a použití vzorkovačů

Při výběru vzorkovačů je opět důležité, jakou metodu zkoumání vzorku chceme použít.

Při chemické analýze vybereme takový vzorkovač, který chemicky neovlivní frakci. Pokud chceme zkoumat více frakcí, je nutno odebrat násobek vzorků nebo lze použít multifrakční vzorkovač. Použité vzorkovače musí splňovat národní požadavky[14].

Vzorkovač by měl být z vodivého materiálu, protože na nevodivých vzorkovačích by mohla elektrostatická síla ovlivnit odběr vzorků[14].

Vždy je nutné se řídit pokyny výrobce vzorkovače a nepřesahovat rozsahy, pro které je vzorkovač vyroben[14].

5.1.3 Výběr doby odběru vzorků

Doba odběru vzorků musí být vhodná pro měření a zároveň dostatečně dlouhá, aby bylo možné změřit expozici v metrických jednotkách s přijatelnou nejistotou. Pro tento účel slouží následující rovnice:

$$t_{\min} = \frac{m_{\text{lower}}}{q_V \cdot k \cdot \rho_{LV}}$$

Kde

t_{\min} - minimální doba odběru vzorků v minutách

m_{lower} - spodní limit analytického rozsahu v mikrogramech

q_V - průtok ve vzorkovači, pro který je konstruován v litrech za minutu

k - vhodný násobek limitní hodnoty (0,1 násobek za 8h časově vážené průměrné limitní hodnoty nebo 0,5 násobek krátkodobé limitní hodnoty)

ρ_{LV} - limitní hodnota v miligramech na metr krychlový

V případě, že je potřeba zkrátit dobu odběru vzorků, použije se vzorkovač konstruovaný pro vyšší průtok[14].

Při očekávání vysoké koncentrace polétavého prachu při odebrání vzorku se zvolí kratší doba vzorkování, aby se předešlo zahlcení filtru[14].

5.1.4 Posouzení vlivů teploty a tlaku

V odborné literatuře výrobce je specifikováno, zdali je užitý průtokoměr závislý na teplotě a tlaku. Pokud je průtokoměr takto ovlivněn okolními podmínkami a tlak nebo teplota v čase kalibrování a měření se liší s potenciálem chyby větší než $\pm 5\%$, musí se provést korekce. V tomto případě se zaznamenává teplota a atmosférický tlak v době odběru vzorků[14].

5.2 Příprava odběru vzorků

5.2.1 Čištění vzorkovačů

Vzorkovače se před použitím nechají nasáknout čistící látkou, opláchnou se důkladně vodou a osuší tkaninou, poté se ještě nechají vyschnout. Lze použít laboratorní myčku[14].

V případě jednorázových filtračních kazet se čištění vzorkovačů neřeší[14].

5.2.2 Slepé vzorky

Slepými vzorky rozumíme nepoužitá odběrová média nebo naplněné kazety, které se uchovávají pro porovnání s použitými odběrovými médii nebo kazetami. Nesmí jimi procházet vzduch a uchovává se z každé šarže 10 odběrových médií nebo kazet připravených pro odběr. Při menším počtu odebraných vzorků je počet slepých vzorků roven 3, ať už jde o naplněné kazety nebo odběrová média ve vzorkovačích[14].

5.2.3 Vzorkovače, odběrová média a vzorkovací kazety

Vzorkovače odebírající frakci s vlivem na zdraví, včetně vzorkovačů s kazetami, se naplní vhodnými odběrovými médii pro odběr vzorků a pro slepé vzorky. Tato odběrová média se vloží do čistých a předem připravených vzorkovačů nebo kazet. Při provádění gravimetrické metody se musí předem zvážit. Vzorkovače se utěsní ochranným víkem nebo zátkou kvůli možnému znečištění při převozu[14].

5.2.4 Nastavení průtoku

Nastavení průtoku se provádí v čistém prostředí s minimem polétavého prachu. Naplněné vzorkovače se připojí ke vzorkovacímu čerpadlu pomocí ohebných hadiček a zkontroluje se, zdali nejsou v sestavení nějaké netěsnosti. Následně se ze vzorkovačů odstraní ochranné víko nebo zátky a nastaví se průtok s přesností $\pm 5\%$. Stabilizování průtoku na požadovanou hodnotu může trvat i několik minut. Po nastavení průtoku se vzorkovače opět uzavřou ochranným víkem nebo zátkou, aby se zabránilo znečištění odběrového média[14].

5.2.5 Poloha při odběru vzorků

Vzorkovač umístíme do dýchací zóny svářeče. V případě použití svářečského štítu se umístuje vzorkovač za tento štít a co nejbližší úst svářeče. Maximální vzdálenost mezi ústy svářeče a vzorkovačem by měla být 10 cm. Pokud je nasávací rychlost vzorkovače menší než $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ připevní se vzorkovač v horizontální poloze. Pokud to jde, umístíme vzorkovač vstupním otvorem směrem dopředu. Samotný svářečský štít slouží jako ochrana vůči svářečskému dýmu. Zpracované výsledky z odebraných frakcí za svářečským štítem a volně umístěným vzorkovačem při sváření se svářečskými brýlemi se mohou výrazně lišit[14].

Vzorkovací čerpadlo umístěné v kapse svářeče, popřípadě připevněné k němu, nesmí svářeči vadit ve vykonávání práce[14].

Pro odběr vzorků ve stanovených bodech umístíme vzorkovače do míst, která nejsou přímo ovlivněna svařovacím procesem. Berou se v úvahu také podmínky, při kterých je toto vzorkování prováděno, jako například ostatní činnosti ovlivňující polétavý prach v daném místě, či větrání oněch prostor[14].

5.3 Odběr vzorků

Po přípravě nutné ke vzorkování se odstraní ochranné víko nebo zátka a zapne se vzorkovací čerpadlo. Tato čerpadla mají často vlastní časové spínače. V těchto případech se přesvědčíme, že je vynulován. Zabudované časové spínače bývají často nepřesné, proto by se měly používat pouze pro kontrolu, zdali vzorkovač pracoval během odběru vzorků. V některých případech je vhodné změřit atmosférický tlak a teplotu pro následnou korekci. Pokud se průtok nastaví v prostředí s jinou teplotou a tlakem než probíhá samotné vzorkování, je nutné přístroj přenastavit[14].

Průtok se kontroluje průtokoměrem a to minimálně jednou za 2 hodiny. Pokud se průtok mění o víc než $\pm 5\%$, je tento vzorek neplatný. Vzorek je neplatný kdykoliv je důkaz, že vzorkovací čerpadlo nepracovalo správně[14].

Po ukončení vzorkování se zaznamená čas a vypočítá se doba odběru vzorků. Zkontroluje se indikátor a časový spínač, zdali pracovaly správně. Dále se změří objem průtoku průtokoměrem a tato hodnota se zaznamená. Pokud to situace vyžaduje, změří se opět atmosférický tlak a teplota[14].

Dále se označí vzorky a údaje s nimi spojené. Vypočte se průměrný objem průtoku zprůměrováním objemů průtoku na začátku a na konci vzorkování, pokud je to vhodné. Stejně zprůměrování se může udělat u atmosférického tlaku a teploty. Tyto průměry jsou většinou důležitější při dlouhodobých odběrech, kdy se mohou změnit podmínky měření z hlediska teploty a atmosférického tlaku výrazněji, než u měření kratších[14].

Objem vzduchu se zaznamenává v litrech, průtok se zaznamenává v litrech za minutu a doba odběru v minutách[14].

5.4 Přeprava

Vzorkovače s kazetou na jedno použití se přepravují přímo ve vzorkovačích, které byly použity k samotnému vzorkování. U vzorkovačů, které shromažďují polétavý prach na samostatné odběrové médium, se toto médium vyjme ze vzorkovače a umístí se do označené přepravní kazety, která se uzavře víkem. Značně zanesená odběrová média vyžadují zvláštní péči, aby se z nich neuvolnil polétavý prach[14].

Ze vzorkovačů se vzorkovací kazetou se kazeta vyjme a zašroubuje se na ní příslušné víko nebo přepravní svorka[14].

Do laboratoře se vzorky přemísťují v označených přepravnících, které jsou označené pro zajištění správné manipulace tak, aby se vzorky nepoškodily[14].

5.5 Analýza

5.5.1 Vážení a gravimetrická analýza

Odběrová média ze vzorkovačů nebo přepravních kazet se nejprve předběžně zváží včetně slepých vzorků. Toto vážení provádíme vždy v čistém prostředí[14].

Při manipulování s filtry je nutné používat pinzetu s plochými špičkami kvůli možnosti protržení filtrů. S pěnamí a vzorkovacími kazetami vždy manipulujeme v bezprašných rukavicích. Při použití membránových filtrů a dalších médií náchylných k hromadění elektrostatického náboje je nutné rozptýlit elektrostatický náboj pomocí neutralizátoru elektrického náboje[14].

Pokud se provádí gravimetrická metoda, je nutné vyrovnat vlhkost v kazetách přepravujících odběrová média vzhledem k prostředí laboratoře, ve které se tato média

budou vážit. Toto se dá řešit například ponecháním pootevřených kazet v čistém a bezprašném prostředí laboratoře přes noc[14].

Kontrola kvality vážení musí odpovídat ISO 15767[14].

5.5.2 Chemická analýza

Chemická analýza závisí na složení přídavného materiálu a znečištění ovzduší pracoviště. Pro zvolení správného postupu chemické analýzy nám mohou pomoci údaje o složení přídavných materiálů, které výrobce uvádí podle ISO 15011-4 a datové listy dýmu. Z hlediska expozice na pracovišti, je vhodné měřit i ostatní škodlivé látky, které nemusí být přímo důsledkem svařování, jako například azbest[14].

Z datového listu dýmu lze zvolit klíčové látky pro chemickou analýzu, které jsou důležité z hlediska zkoumání. Těmito látkami mohou být různé zdraví škodlivé látky. Lze také analyzovat všechny látky, které tvoří svářečský dým. Zkoumání lze provést několika způsoby[14].

Lze zkoumat všechny látky ze všech odebraných vzorků, a nebo lze zkoumat jednotlivé látky z každého vzorku zvlášť[14].

5.5.3 Vyjádření výsledků

Koncentrace polétavého prachu nebo chemických látek se vyjádří pomocí následující rovnice:

$$\rho = \frac{1000 \cdot m}{V}$$

Kde

m - hmotnost polétavého prachu v miligramech

V - objem odebraného vzduchu v litrech

ρ - koncentrace polétavého prachu v miligramech na metr krychlový

Pokud je vhodné určit i časově váženou průměrnou koncentraci, tak se vypočte z referenční doby, za kterou pokládáme dobu odebírání vzorků[14].

V případech, kdy je potřeba teplotní a tlaková korekce pro průtok (viz posouzení vlivu tlaku a teploty), se koriguje objem odebraného vzduchu následujícím vzorcem:

$$V_{corr} = \overline{q_V} \cdot t \cdot \sqrt{\frac{p_1 \cdot \overline{T}}{\overline{p} \cdot T_1}}$$

Kde

$\overline{q_V}$ - střední průtok v litrech za minutu

t - doba odběru vzorků v minutách

p_1 - atmosférický tlak během kalibrace průtokoměru v kPa

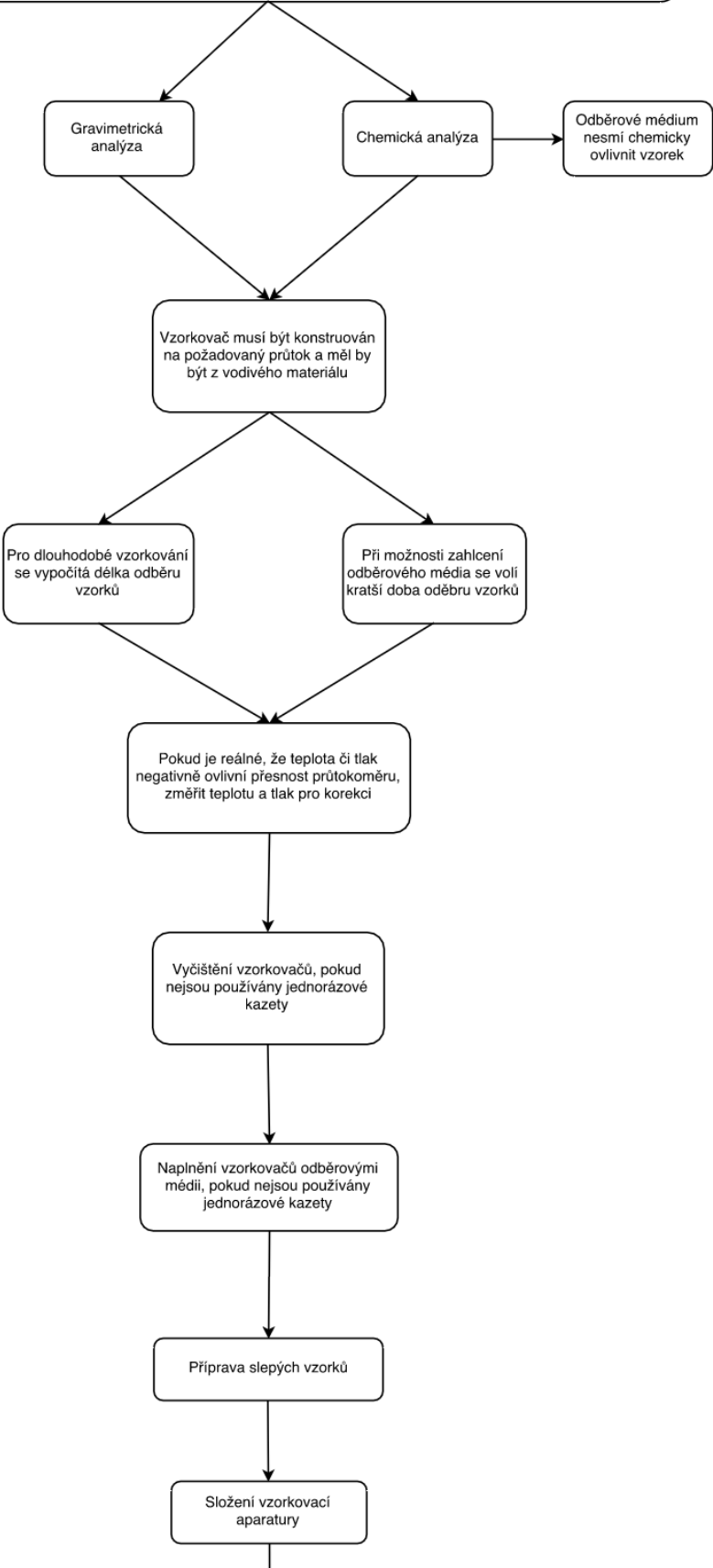
\overline{p} - střední atmosférický tlak během vzorkování v kPa

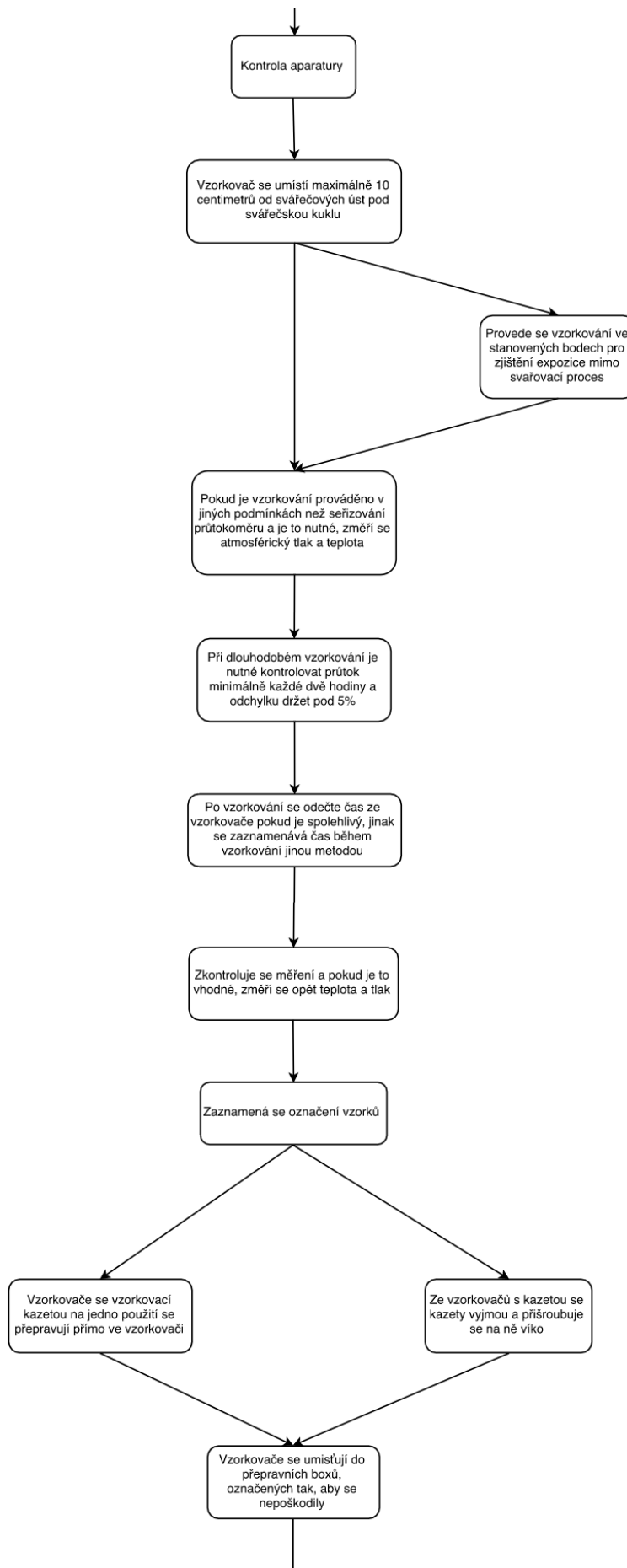
T_1 - teplota během kalibrace průtokoměru v K

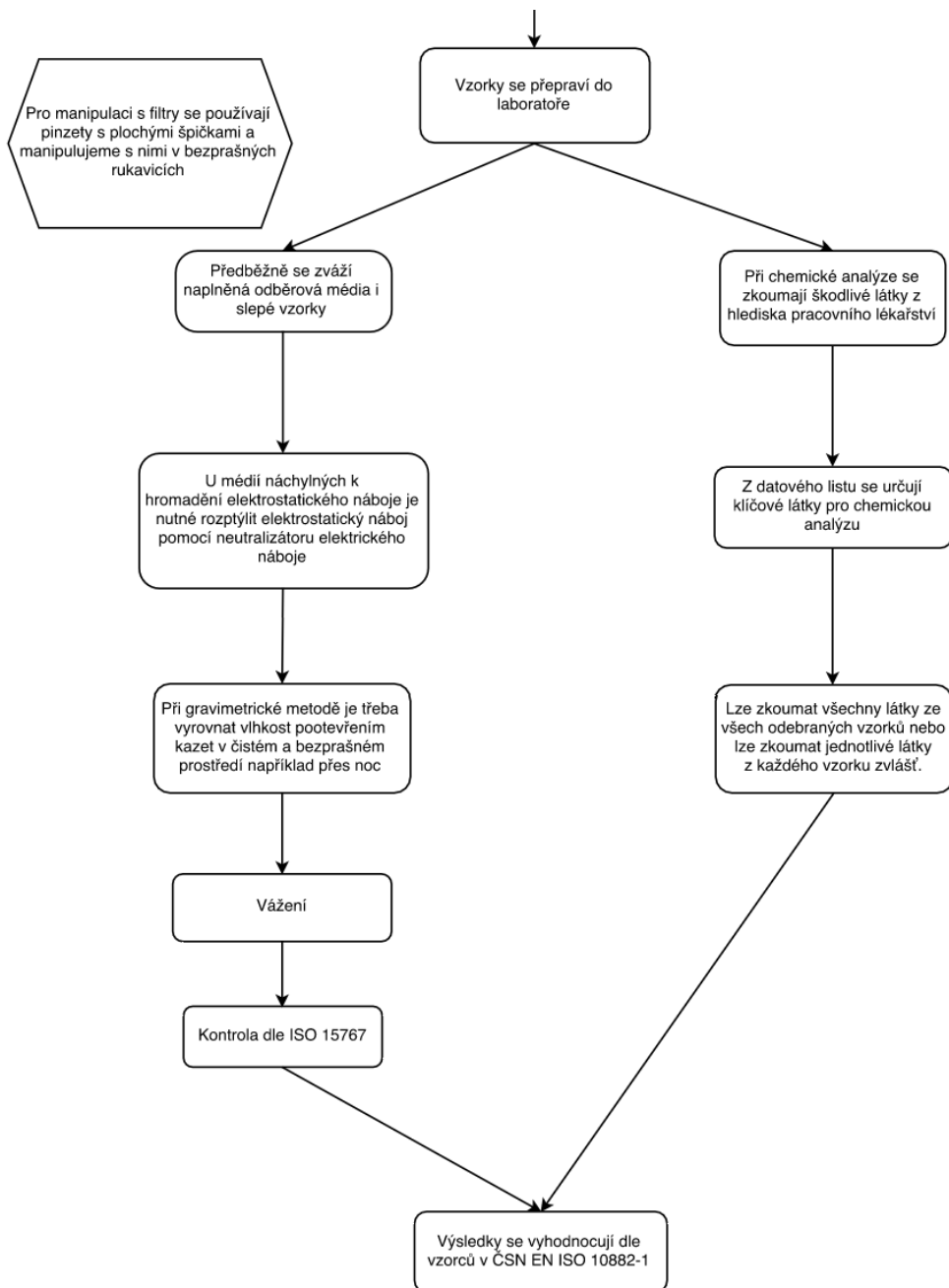
\overline{T} - střední teplota během vzorkování v K

V ostatních případech změny korekce teploty a tlaku se postupuje podle návodu výrobce[14].

Pracovní postup pro měření emisí při svařování







Obrázek 5: Diagram možného pracovního postupu dle 10882-1 [14]

5.5.4 Stanovení expozice a zaznamenávání údajů

Stanovení expozice měřením koncentrace chemických látek je složitější metodou, ale také jde o mnoho přesnější metodu. Pokud se z jakéhokoliv důvodu (nedostatek prostředků, potřeba rychlého vyhodnocení) dělá pouze gravimetrická metoda, je vhodné vypočítat množství klíčových složek ve svařečském dýmu pomocí informací z datového listu poskytnutým výrobcem.

Během celého postupu se zaznamenává co nejvíce údajů o vzorkování, které napomáhají k vyhodnocení údajů a lepší opakovatelnosti celého experimentu. Mezi těmito údaji může být například teplota, atmosférický tlak, svařovaný materiál, parametry pracoviště a jiné podrobnosti o procesu vzorkování[14].

6 Měření osobní expozice při svařování a příbuzných procesech – praktická část

Praktická část bakalářské práce je zaměřena na měření osobní expozice svařečů při svařování a příbuzných procesech. Pro vyhodnocení je využito gravimetrické analýzy vzorků, získaných z personálních vzorkovačů, které měli testované osoby u sebe při výkonu činnosti.

Součástí experimentu jsou měření různých technologií a skupin svařečů při rozdílných podmínkách. Pro všechna tato měření však platí limit 5 mg/m^3 pro imise svařečského dýmu. Tento limit je dán Nařízením vlády č. 361/2007 Sb.

6.1 *Měření emisí při řezání kolejnic plamenem*

Prvním úkolem bylo vyzkoušet vzorkování a odhalit případné nedostatky pro další měření při řezání kolejnic plamenem. Řezání kolejnic probíhalo ve venkovních prostorách dílen Fakulty Strojní ČVUT. Místo řezání kolejnic bylo chráněno kolem dokola dílnami a učebnami, které zamezovaly větším poryvům větru.

Měření byl jeden pracovník, který již s touto technologií měl zkušenosti a byl ochoten se podílet na experimentu.

Tabulka 3: Měření - Řezání plamenem

Metoda	Poznámka	Čas řezání [s]	Průtok [l/min]	Navážka [mg]	Koncentrace [mg/m ³]
Řezání plamenem	Venkovní prostředí	7680	1,5	1,116	5,813

I přes venkovní prostředí, kde proudil relativně čistý vzduch s hodnotami polétavého prachu v řádu setin mg/m³, byla naměřena nevyhovující koncentrace přesahující limit 5 mg/m³. Důvodem tak velké koncentrace může být velmi vysoké teplo přenášené do řezaného materiálu a tím velké odtavení materiálu, ale také absence štítu či kukly, které by byly mechanickou zábranou mezi dýchací zónou pracovníka a zdrojem emisí.



vzorkovačem



Obrázek 7: Pracovník při řezání kolejnice

6.2 Měření emisí při výuce Svařování v praxi

Druhým úkolem praktického měření bylo měření emisí při svařování a s tím souvisejícími činnostmi. Vzorkování probíhalo v řádu několika hodin při pokojové teplotě.

Využito bylo předmětu Svařování v praxi, který probíhá v hale Fakulty strojní ČVUT. Studenti tohoto předmětu vyšli vstříc a svolili k tomu, že budou svářet se vzorkovacími aparaturami. Vzorkovače byly připevněny po dobu experimentu pod jejich svářecí kukly. Pumpy od vzorkovačů byly v batozích, které měli na zádech.

Měření bylo rozděleno do dvou dní, mezi kterými byla týdenní pauza. Z tohoto důvodu je potřeba počítat s tím, že se změnilo pozadí v hale například z důvodu ventilace nebo rozdílných prací, které byly vykonávány před měřením.

První týden probíhalo měření po dobu 2 hodin a 48 minut. Druhý experiment byl o 2 minuty delší (pozn.: dva vzorky v první skupině byly měřeny pouze 1 hodinu a 10 minut z důvodu nedostatku studentů). Studenti byli na svařovacích pracovištích ve dvojicích a při svařování se střídali. Svařovalo se metodou MMA. Čas hoření oblouku jednoho svářeče v tomto případě nepřekročil 5%, avšak vzhledem k přítomnosti obou studentů v jedné uzavřené buňce byl i druhý student z dvojice vystaven svářecí dýmům. Je nutné podotknout, že tato expozice při pozorování druhého studenta je mnohem menší.

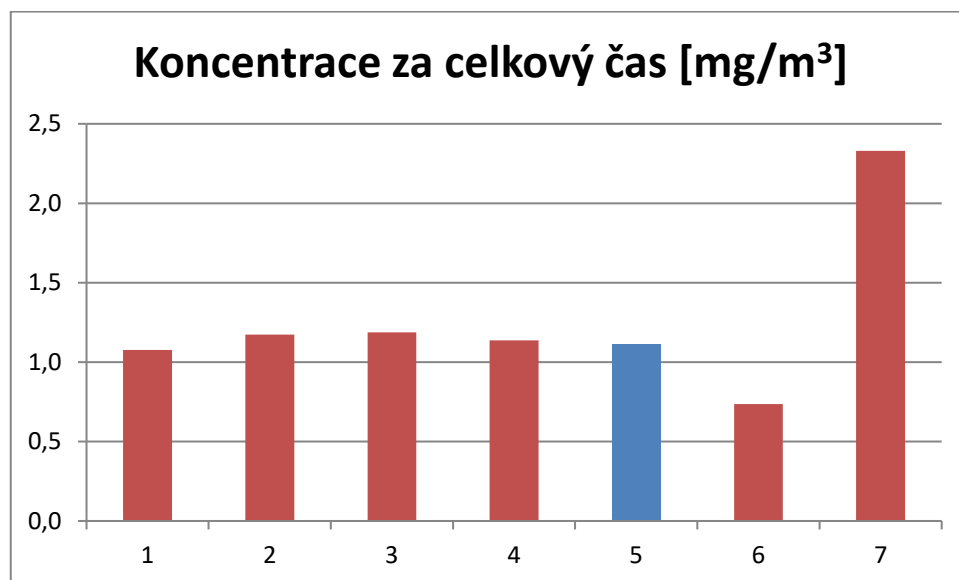
Studenti měli zapnuto odsávání dle pokynu vedoucího cvičení. V případě 7 v první skupině si student odsávání nezapnul. V druhém případě odsávání nefungovalo kvůli mechanické závadě a tím byli ovlivněni studenti s filtry 10 a 12).

Tabulka 4: Měření - Skupina studentů 1

Filtr	Filtry před expozicí [mg]	Filtry po expozici [mg]	Navážka [mg]	Průtok [l/min]	Koncentrace za celkový čas [mg/m ³]
1	21,680	22,087	0,407	2,25	1,077
2	21,793	22,207	0,414	2,1	1,173
3	21,393	21,712	0,319	1,6	1,187
4	21,595	22,034	0,439	2,3	1,136
5	21,709	21,980	0,271	1,45	1,112
6	21,574	21,672	0,098	1,9	0,737
7	21,631	22,006	0,375	2,3	2,329

Filtr 5 byl použit pro měření pozadí v hale, byl v dýchací zóně člověka pohybujícího se v době experimentu po svařovně. Tento člověk nebyl přímo vystaven svařovacím dýmům.

Filtry 6 a 7 byly použity pouze pro zkrácenou dobu 1h a 10 minut. Vzhledem k výpočtu koncentrace je lze použít ve srovnání s ostatními vzorky.



Graf 1: Skupina studentů 1 - koncentrace

Tabulka 5: Měření - Skupina studentů 2

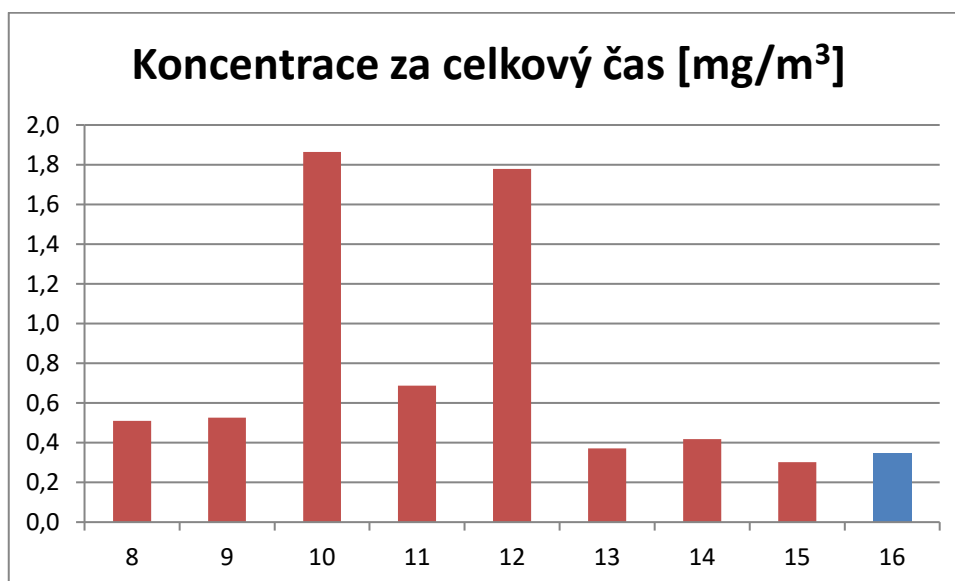
Filtr	Filtry před expozicí [mg]	Filtry po expozici [mg]	Navážka [mg]	Průtok [l/min]	Koncentrace za celkový čas [mg/m ³]
8	21,747	21,938	0,191	2,20	0,511
9	21,819	21,971	0,152	1,70	0,526
10	21,749	22,351	0,602	1,90	1,864
11	21,676	21,933	0,257	2,20	0,687
12	21,471	22,136	0,665	2,20	1,778
13	21,369	21,489	0,120	1,90	0,372
14	21,448	21,583	0,135	1,90	0,418
15	21,496	21,609	0,113	2,20	0,302

Tabulka 6: Měření - Skupina studentů 2 - pozadí

Filtry pro měření pozadí na hale	Koncentrace pozadí [mg/m ³]
1	0,372
2	0,418
3	0,302

Průměrné pozadí na svařovně: 0,364 => č. 16 v grafu

Pro určení pozadí během druhého dne měření byly vybrány 3 vzorkovače, které měřily ve stacionární pozici pozadí haly. Vzorkovače byly přibližně ve výšce dýchací zóny dospělého člověka a vzorkovací hlavy byly namířeny směrem ke zdroji svářečských dýmů – tedy k pracovištím. Od těchto pracovišť byly ve vzdálenosti 5 metrů. Mezi zdrojem emisí a vzorkovací hlavou byl svářečský závěs.



Graf 2: Skupina studentů 2 - koncentrace

Koncentrace v obou dnech mají jisté společné znaky. V obou případech se některé hodnoty vymykají ostatním hodnotám. Toto může být způsobeno několika důvody, které se při měření těžko odhalují.

Jedním z nich může být například výrazně vyšší produktivita studentů, u kterých byly naměřeny vyšší hodnoty z důvodu zkušeností s danou technologií.

Dalším možným důvodem těchto výkyvů je špatné umístění základního materiálu určeného ke svařování vůči odsávání. Odsávání by mělo být vždy umístěno co nejbližší k budoucímu svařenci a mělo by být nastavené mírně nad úroveň elektrického oblouku. Poté může s maximální účinností odsávat svářečské dýmy, které od elektrického oblouku stoupají vzhůru.

Při měření emisí svařování vzorkovačem umístěným za svářečským štítem je důležité, v jaké pozici svářeč pracuje, zdali vestoje či vsedě. Neméně důležité je, jak se naklání k budoucímu svařenci při svařování. Svářeč sedící vzpřímeně bude lépe chráněn před dýmy, než pokud se k jejich zdroji naklání.

Roli hraje i v jakých intervalech a jak rychle si dotyčný odklápí svářečskou kuklu, zdali ihned po dokončení svaru nebo až poté, co většina dýmů vystoupí do úrovně, kdy už není schopen jich vdechnout takové množství.

V případech 7, 10 a 12 nebylo odsávání spuštěno, kvůli závadě, na kterou se přišlo po experimentu. Nelze vyloučit závadu ani na ostatních odsávacích zařízeních. Při pokusu však žádný další problém hlášen nebyl, avšak bylo by to nejpravděpodobnější vysvětlení zvýšené koncentrace v daných případech.

U takto vysokých výkyvů je pravděpodobné, že situace nastala kombinací výše vypsanych podmínek a situací, které mají velký vliv na to, jak je svářeč dýmům vystaven.

Při pohledu na první a druhou část experimentu lze vidět, že až na jednotlivé výchyly se hodnoty pohybují přibližně na stejné úrovni pro jednotlivé dny. V prvním případě se hodnoty pohybují okolo 1 mg/m^3 a v druhém případě okolo $0,4 \text{ mg/m}^3$.

Hodnoty přibližně odpovídají naměřenému pozadí. Z toho lze usuzovat, že odsávání má velký význam a při jeho správném použití není velký rozdíl, zdali svářeč přímo svařuje, nebo je vystaven polétavému prachu na hale.

Rozdíl mezi naměřenými hodnotami v prvním a druhém experimentu je patrně dán znečištěním ovzduší v hale. Pro snížení zdravotních rizik na pracovišti a dosažení menších koncentrací polétavého prachu je nutné udržovat na pracovišti čistotu a ventilovat znečištěný vzduch z haly.

6.3 Měření jednotlivých metod svařování a druhů elektrod

Měření bylo prováděno v krátkých intervalech od 5 do 20 minut. Tyto časové intervaly byly zvoleny z několika důvodů. Při delších časových intervalech by si tyto pokusy žádaly velké množství základního materiálu, přídavného materiálu i ochranných atmosfér, pokud by byly použity. Pro velké množství různých metod a elektrod by bylo měření příliš náročné. Při vypůjčení přístrojů by nebylo možné dostat širokou škálu vzorků v požadovaných termínech. I na toto je třeba brát ohledy při plánování měření.

Během experimentů svařovali dva svářeči, jmenovitě pan Ing. Petr Vondrouš, Ph.D., IWE (vedoucí této práce) a jeho kolega pan Ing. Tomáš Kramár, Ph.D., IWE.

Vzhledem ke krátkým intervalům měření je nutné převést tato data do podoby, která umožňuje jejich srovnání. Za tímto účelem byl vytvořen vzorec pracující s naměřenými koncentracemi emisí při svařování a naměřenou koncentrací emisí v pozadí. Tyto hodnoty byly následně interpolovány dle běžné doby hoření oblouku ve svářečských provozech. Výsledkem dosazení do vzorce je očekávaná koncentrace při osmihodinové směně.

Tabulka 7: Využití pracovní doby z hlediska svařování

MAG podíl času hoření oblouku – minimum	10 %	MAG podíl času hoření oblouku - maximum	25 %	MAG podíl času svařování na pracovní době minimum	30 %	MAG podíl času svařování na pracovní době - maximum	75 %
MMA podíl času hoření oblouku - minimum	5 %	MMA podíl času hoření oblouku - maximum	10 %	MMA podíl času svařování na pracovní době práce minimum	30 %	MMA podíl času svařování na pracovní době – maximum	75 %

$$VK = \left(\frac{\check{C}S \cdot \frac{\check{C}HOS}{\check{C}HO}}{Sm} \right) \cdot KS + \left(Sm - \frac{\check{C}S \cdot \frac{OHO}{\check{C}HO}}{Sm} \right) \cdot KP$$

VK - Výsledná koncentrace [mg/m^3]

ČS – Čas svařování - experiment [s]

ČHOS – Čas hoření oblouku během směny [s]

ČHO – Čas hoření oblouku - experiment [s]

Sm – Délka směny (8h) [s]

KS – Naměřená koncentrace při svařování [mg/m^3]

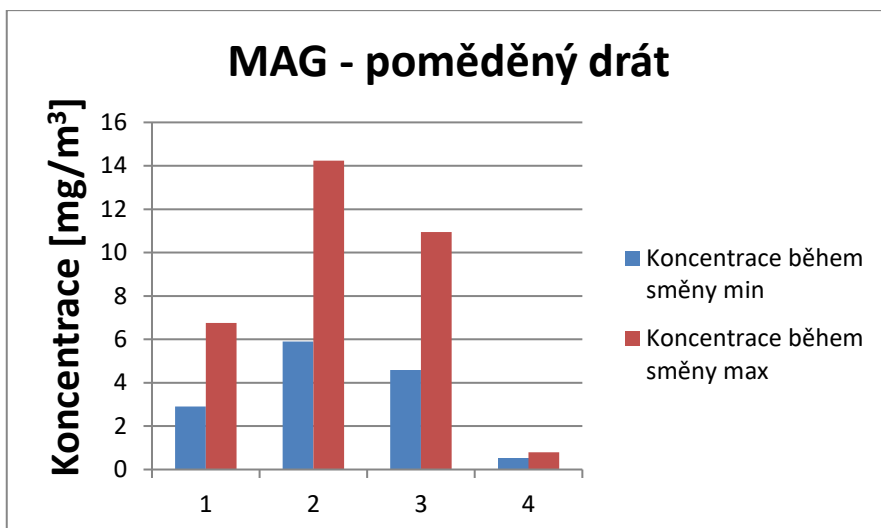
KP – Naměřená koncentrace pozadí [mg/m^3]

Rovnice se skládá vždy z podílu času svařovací práce během směny vynásobené naměřenou koncentrací při svařování a z podílu času neobsahujícího svařovací práce během směny vynásobeného naměřenou koncentrací pozadí. Z tabulky, která je uvedena výše, se používají minimální a maximální podíly času hoření oblouku. Pokud se při experimentu neměří čas svařování, ale pouze čas hoření oblouku, lze využít hodnoty z pravé poloviny tabulky.

Následné koncentrace jsou vždy počítány pro minimální i maximální možnou dobu hoření oblouku v praxi.

Tabulka 8: MAG - poměděný drát

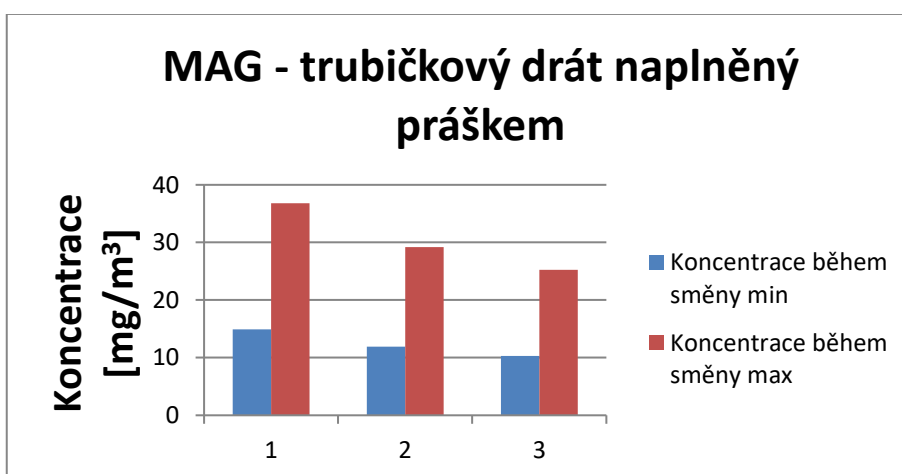
Metoda elektroda a	Poznámka	Čas svařování [s]	Čas hoření oblouku [s]	Průtok [l/min]	Navážka [mg]	Koncentrace [mg/m^3]	Koncentrace během směny min [mg/m^3]	Koncentrace během směny max [mg/m^3]
MAG, poměděný drát	bez odsávání	480	355	2,15	0,332	19,302	2,909	6,754
MAG, poměděný drát	bez odsávání	540	212	1,85	0,369	22,162	5,903	14,238
MAG, poměděný drát	bez odsávání	1320	460	2,10	0,699	15,130	4,588	10,952
MAG, poměděný drát	s odsáváním	420	280	2,05	0,022	1,533	0,524	0,791



Graf 3: MAG - poměděný drát -koncentrace

Tabulka 9: MAG - trubičkový drát

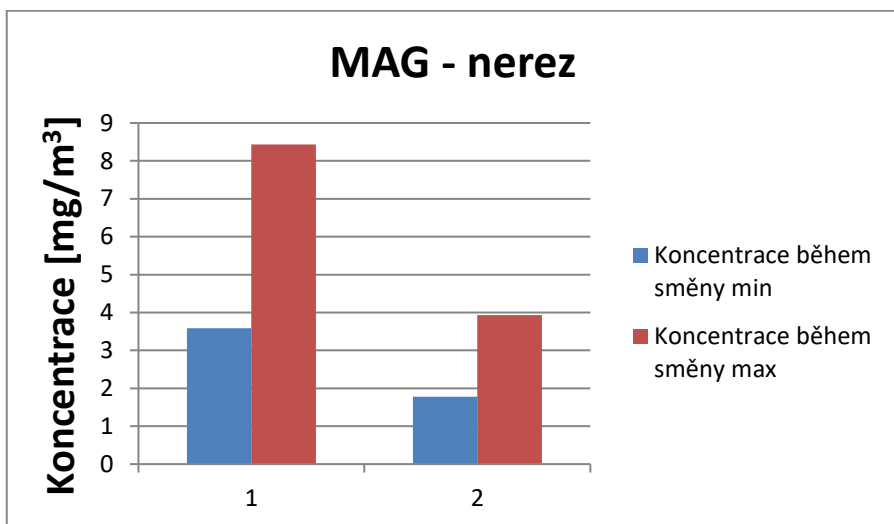
Metoda elektroda	Poznámka	Čas svařování [s]	Čas hoření oblouku [s]	Průtok [l/min]	Navážka [mg]	Koncentrace [mg/m³]	Koncentrace během směny min [mg/m³]	Koncentrace během směny max [mg/m³]
MAG, trubičkový drát naplněn práškem	bez odsávání	900	260	2,10	1,338	42,476	14,930	36,805
MAG, trubičkový drát naplněn práškem	bez odsávání	360	270	1,80	0,939	86,944	11,892	29,212
MAG, trubičkový drát naplněn práškem	bez odsávání	300	110	2,50	0,461	36,880	10,310	25,256



Graf 4: MAG - plněný drát -koncentrace

Tabulka 10: MAG - nerez

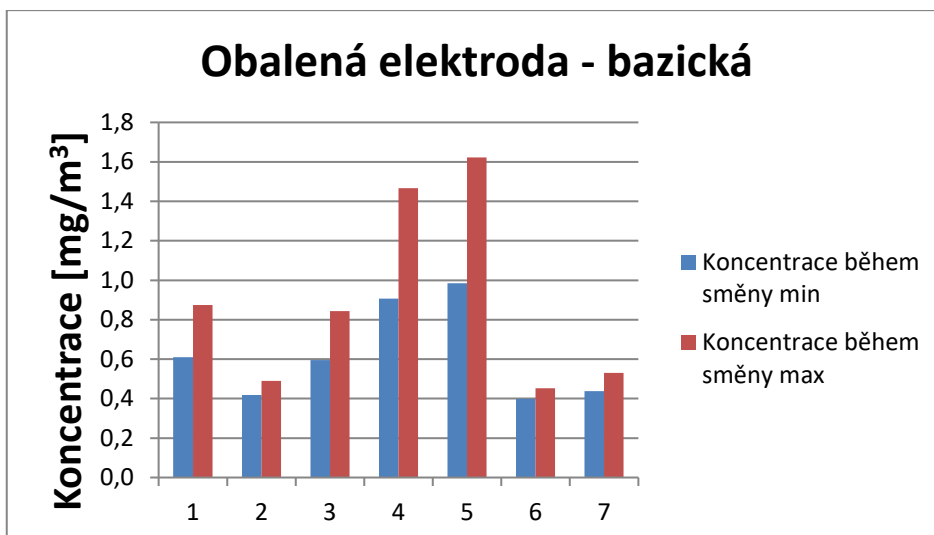
Metoda elektroda	a Poznámka	Čas svařování [s]	Čas hoření oblouku [s]	Průtok [l/min]	Navážka [mg]	Koncentrace [mg/m ³]	Koncentrace během směny min [mg/m ³]	Koncentrace během směny max [mg/m ³]
MAG na nerez	bez odsávání	480	240	1,80	0,238	16,528	3,582	8,437
MAG na nerez	bez odsávání	480	230	2,20	0,127	7,216	1,780	3,930



Graf 5: MAG - nerez -koncentrace

Tabulka 11: MMA - bazická

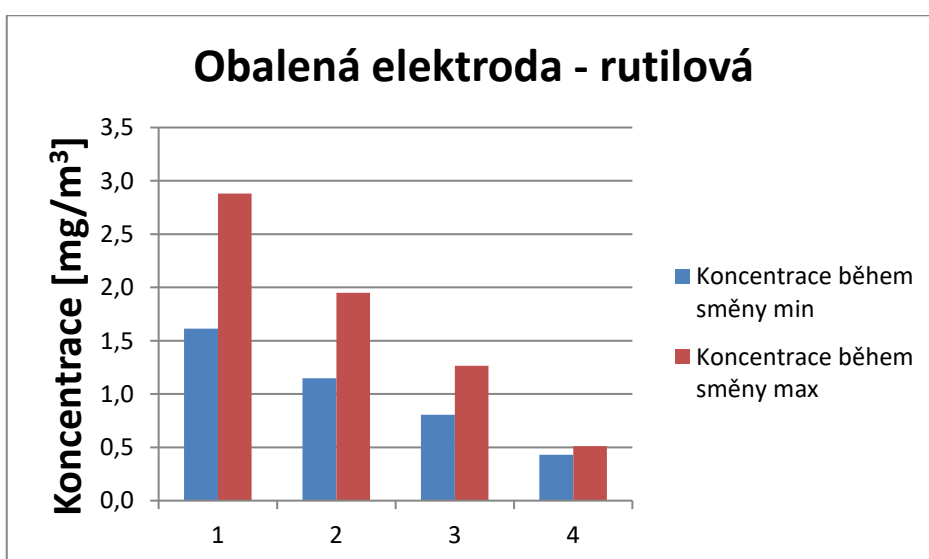
Metoda elektroda	a Poznámka	Čas svařování [s]	Čas hoření oblouku [s]	Průtok [l/min]	Navážka [mg]	Koncentrace [mg/m ³]	Koncentrace během směny min [mg/m ³]	Koncentrace během směny max [mg/m ³]
Obalená elektroda bazická	bez odsávání	900	438	2,15	0,094	2,915	0,610	0,874
Obalená elektroda bazická	bez odsávání	720	367	2,40	0,031	1,076	0,418	0,489
Obalená elektroda bazická	bez odsávání	900	281	2,00	0,057	1,900	0,595	0,844
Obalená elektroda bazická	bez odsávání	1080	295	2,20	0,135	3,410	0,907	1,467
Obalená elektroda bazická	bez odsávání	1140	345	2,20	0,176	4,211	0,984	1,623
Obalená elektroda bazická	s odsáváním	1080	345	1,70	0,021	0,686	0,399	0,453
Obalená elektroda bazická	s odsáváním	1080	375	2,20	0,039	0,985	0,438	0,530



Graf 6: MMA - bazická -koncentrace

Tabulka 12: MMA - rutilová

Metoda elektroda	a Poznámka	Čas svařování [s]	Čas hoření oblouku [s]	Průtok [l/min]	Navážka [mg]	Koncentrace [mg/m³]	Koncentrace během směny min [mg/m³]	Koncentrace během směny max [mg/m³]
Obalená elektroda rutilová	- bez odsávání	840	315	1,90	0,262	9,850	1,613	2,880
Obalená elektroda rutilová	- bez odsávání	1200	355	2,20	0,224	5,091	1,148	1,950
Obalená elektroda rutilová	- bez odsávání	900	310	2,20	0,116	3,520	0,806	1,266
Obalená elektroda rutilová	s odsávání m	960	360	2,20	0,034	0,966	0,429	0,511



Graf 7: MMA - rutilová -koncentrace

Po několika měřeních různých metod lze jasně říci, že metoda MAG je z pohledu emisí částic a jejich vlivu na zdraví (z gravimetrického hlediska) mnohem nebezpečnější. Většina měření byla prováděna bez odsávání, aby se eliminoval vliv odsávání a bylo jasné, které metody produkují více emisí, které mohou být vdechnuty svářečem při vykonávání práce. Tato měření jsou doplněna měřeními s odsáváním. Z těchto údajů lze usoudit, že stejně jako v druhé části praktických pokusů této bakalářské práce (dlouhodobější měření se studenty), je vliv odsávání velmi významný. I přes několikanásobné překročení limitů v některých případech bez odsávání, bylo po jeho zapnutí dosaženo uspokojivých hodnot, a to hluboko pod limitem 5 mg/m^3 .

Při bližším rozboru metody MAG je z grafů a tabulek patrné, že nejvíce zachycených částic emitovaných při svařování bylo při použití plněných drátů. Následovala poměděná elektroda. Metoda MAG je velice produktivní a využívá obvykle vysokých proudů. Nepříznivé výsledky tedy nejsou překvapením.

Na druhé straně při svařování metodou MMA nebyl překročen limit, a to ani v případě, že nebylo použito odsávání. I přes to by mělo být odsávání vždy zapnuto, aby nedocházelo ke zbytečnému ohrožení zdraví pracovníků. Při zapnutém odsávání bylo dosaženo podobných výsledků jako při dlouhodobém měření studentů na cvičeních Svařování v praxi.

7 Závěr

Cílem této práce byl komplexní pohled na problematiku emisí při svařování a jejich vlivu na zdraví svářeče. Svařování je nebezpečný proces se spoustou rizik, avšak při správném dodržování bezpečnostních zásad lze tato rizika minimalizovat. Mezi tato rizika patří i problematika svářečských dýmů, kterým je svářeč vystaven při práci. Proto je nutné tuto problematiku monitorovat měřeními.

Lidé jsou čím dál více vystavováni polétavému prachu ve venkovním prostředí. Tato expozice má neblahý vliv na zdraví člověka. Expozice u svařování, jak ukázaly výsledky praktické části, jsou řádově vyšší a lidé pracující v tomto oboru jsou těmto hodnotám vystavováni v některých případech po desetiletí. Je nutné poskytnout jim možnost chránit své zdraví, optimalizovat podmínky na pracovištích a minimalizovat zdravotní rizika.

Z výsledků je patrné, že například **odsávání značně napomáhá při snižování emisí vdechnutých svářečem**, přesto někteří svářeči odsávání nepoužívají. Zvláště při svařování metodou MAG je odsávání schopno snížit koncentraci vdechnutých částic více jak desetinásobně. Je nutné podotknout, že odsávání musí být správně nastaveno, aby bylo účinné. **Při svařování a práci ve svařovnách se lze chránit i jinými způsoby, jako je vhodná pozice při svařování nebo správná výměna vzduchu svařovny pomocí ventilace.**

Z hlediska vyhovění limitům není při dodržování základních zásad bezpečnosti práce problém a pracoviště tedy kontrolou prošlo. Nejdůležitější je zmíněné odsávání emisí z prostoru svařování. Otázkou zůstává, zda jsou tyto limity dostatečné a nejsou příliš benevolentní. **Česká legislativa řeší pouze koncentraci dýmů**, ale opomíná toxicitu látek obsažených v elektrodách, kterým je svářeč vystaven. Pokud by se měly zpřísnit limity nebo vytvořit nové pro určité chemické sloučeniny, které ohrožují zdraví svářečů na pracovišti, je třeba pamatovat na účinnou kontrolu těchto limitů, protože vyvážit ekonomičnost a účinnost kontroly není jednoduché ani u gravimetrie. Chemické rozborby by v tomto ohledu byly ještě náročnější na financování.

Na místě je určitě diskuze týkající se těchto témat, protože cílem všech by měla být ochrana zdraví pracovníků a zlepšování pracovních podmínek. Zájem na vyřešení těchto problémů by měli mít zaměstnavatelé, zaměstnanci i kontrolní úřady. Řešení těchto problémů bez spolupráce všech zúčastněných by bylo velice složité.

8 Seznam použité literatury

[1] *Aktuální otázky znečištění ovzduší: [studijní materiály pro účastníky kurzu]*. V Praze: Ústav pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, 2003. ISBN 80-239-2187-8.

[2] SÝKORA, Lukáš. *Emise při svařování elektrickým obloukem*. Praha, 2014. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Vondrouš Ph.D., IWE.

[3] *AIR QUALITY CRITERIA FOR PARTICULATE MATTER: Air Quality Criteria for Particulate Matter, Volume I* [online] 133-139 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=2832&CFID=75649302&CFTOKEN=88526094>

[4] Urban Aerosol. In: *University of Florida* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: http://aerosol.ees.ufl.edu/atmos_aerosol/images/PSD%20aerosol.gif

[5] Prašnost na pracovišti. *Státní zdravotní ústav* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>

[6] Horní a dolní cesty dýchací [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: http://images.slideplayer.cz/15/4867977/slides/slide_2.jpg

[7] NAŘÍZENÍ VLÁDY 361/2007 Sb.: Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: . Praha, 2007, ročník 2007, číslo 361. Dostupné také z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=65267&nr=361~2F2007&rpp=15#local-content>

[8] *ČSN 05 0600: Zváranie. Bezpečnostné ustanovenie pre zváranie kovov. Projektovanie a príprava pracovísk.* Praha, 1993.

[9] *Vyhláška č. 415/2012 Sb.: Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.* Praha, 2012, ročník 2012, číslo 415. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415>

[10] *ČSN EN 481: Ovzduší na pracovišti. Vymezení velikostních frakcí pro měření poletavého prachu.*

[11] The use of thoriated tungsten electrodes: Frequently Asked Questions. *TWI: The Welding Institute* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/health-and-safety-faqs/faq-the-use-of-thoriated-tungsten-electrodes/>

[12] *ČSN ISO 7708: Kvalita ovzduší - Definice velikostních frakcí částic pro odběr vzorků k hodnocení zdravotních rizik.*

[13] *Vyhláška č. 415/2012 Sb.: Vyhláška o přípustné úrovni znečištění a jejím zjištění a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.* In: . Praha, 2012, ročník 2012, číslo 415.

[14] *ČSN EN ISO 10882-1: Ochrana zdraví a bezpečnost při svařování a příbuzných procesech - Odběr vzorků poletavých částic a plynů v dýchací zóně svářeče - Část 1: Odběr vzorků poletavých částic.*

[15] KOTLÍK, Bohumil, Jan LANGHANS, Pavel BERNÁTH a Vladimír KRAJÁK. *Vzorkování II: životní prostředí.* Český Těšín: 2 Theta, 2016. ISBN 978-80-86380-81-0.

[16] *ČSN EN 13205-1: Expozice pracoviště - Posuzování funkce zařízení pro měření koncentrace částic polétavého prachu - Část 1: Obecné požadavky.*