

Emise pevných částic při svařování

Tomáš Vítek, Petr Vondrouš

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Tato práce se zabývá emisemi produkovanými při svařování. Práce rozebírá samotné emise, jejich měření, legislativu a vliv na zdraví pracovníků. Zabývá se legislativou v České republice i mimo ni. Legislativa v České republice stanovuje pouze přípustný expoziční limit 5 mg/m^3 a nezabývá se velikostí těchto částic. Práce využívá poznatků z praktického měření emisí svařování. Svařováno bylo různými metodami a za různých podmínek. Při vyhodnocování se ukázalo, že metody i podmínky při kterých se svařuje mají velký význam z hlediska expozice pracovníků. Nejdůležitějším faktorem je odsávání. Při jeho použití všechny metody vyhověly legislativním požadavkům bez ohledu na další podmínky.

Klíčová slova: emise; svařování; dýmy; měření

1. Úvod

Svařování je dnes velmi prosperujícím oborem a rozhodně nepatří mezi obory, které by byly plně automatizovány. Při svařování se uvolňují různorodé látky, které mohou být zdraví nebezpečné. Pracovníci vystaveni těmto látkám mohou mít problémy s podrážděnými očima, ale v tomto případě v důsledku polévatého prachu, se především projevují dýchací obtíže. Tyto příznaky mohou být odhaleny až po několika letech.

Měření emisí je značně rozšířené v automobilovém průmyslu, protože spalovací motory mají následky v globálním měřítku. Vzhledem k zasažené skupině lidí je o problematiku značný zájem a probíhá mnoho diskuzí. U svařování jsou obdobné problémy známe, nicméně je tato problematika upozaděna nejen velikostí zasažené skupiny lidí, ale i složitostí metodiky měření.

Lze očekávat, že za různých podmínek a při rozdílných metodách svařování budou expozice diametrálně odlišné.

2. Emise částic

2.1. Atmosférický aerosol

Jsou to kapalně nebo pevně částice suspendované v plynu. Charakter těchto částic určuje, zdali se jedná o tuhý nebo kapalný aerosol. Velikost těchto částic se pohybuje od 1 nm do 100 μm . Atmosférický aerosol dále dělíme na dým, kouř a prach[1].

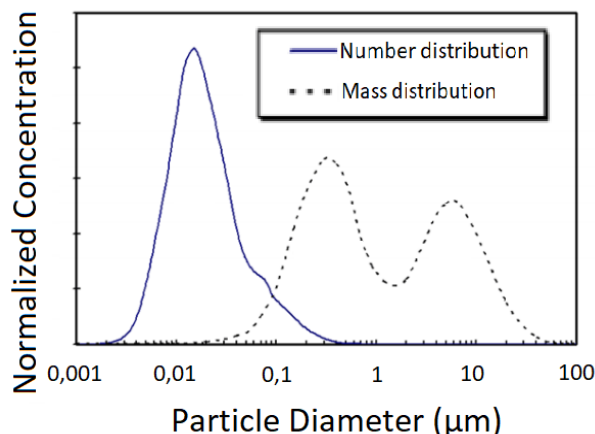
Dým je tvořen pevnými částicemi a jejich průměr je většinou menší než 0,05 μm . Při vysokoteplotních procesech jako je svařování vznikají shluky těchto částic[1].

Kouř je podobný dýmu, ale navíc obsahuje i kapalně částice[1].

Prach jsou veškeré tuhé aerosoly. Jejich částice, které jsou větší než 30 μm , se nazývají hrubý prach a rychle se usazují[1].

2.2. Distribuční mody

Dle Whitbyho se částice podle své velikosti rozdělují do 3 modů. První dva leží v oblasti jemného prachu, třetí v oblasti hrubých částic[1].



Obrázek 1: Rozdělení množství a hmotnosti běžných prachových částic[3]

3. Legislativa

3.1. Česká republika

Emise při svařování jsou limitovány v České republice dvěma způsoby.

Prvním je zákon č. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší. Tento zákon se týká celkové produkce emisí svářečskými provozovny. Limitní hodnotou svářečských dýmů je $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tento limit je platný pouze pro provozovny s projektovaným elektrickým příkonem nad 100 kVA. Menší provozovny nejsou omezeny[2].

Druhé omezení – Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. se týká přímo ochrany zdraví pracovníků. Stanovuje Přípustný expoziční limit (dále PEL), který nesmí přesáhnout $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. PEL je přípustný expoziční limit, měřený

* Kontakt na autora: T.Vitek@fs.cvut.cz

po celou směnu a jeho hodnota je nastavena tak, aby zaměstnancovo zdraví nebylo ohroženo v osmihodinové nebo kratší pracovní směně po celoživotní pracovní expozici, ale také jeho pracovní schopnosti a výkonnosti[2].

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. uvádí normy, které jsou spojené s měřením a vyhodnocováním. Mezi nejdůležitější normy patří následující:

- ČSN EN 481 (83 3621) Ovzduší na pracovišti. Vymezení velikostních frakcí pro měření poletavého prachu.
- ČSN EN 482 (83 3625) Ovzduší na pracovišti. Všeobecné požadavky na postupy měření chemických látek.
- ČSN ISO 7708 (83 5004) Kvalita ovzduší. Definice velikostních frakcí částic pro odběr vzorků k hodnocení zdravotních rizik.
- ČSN EN ISO 10882-1 (05 0680) 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[4].

3.2. USA

Ve Spojených státech určuje limity emisí pro svařování několik organizací. Mezi tyto organizace patří například OSHA (Occupational Safety and Health Administration), ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) nebo NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health). Tyto limity ale nemusí být nutně závazné, většinou jsou pouze doporučenými[2].

OSHA dříve uváděla zákonný limit $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ pro svářečské dýmy, nyní nařizuje pouze limity pro jednotlivé chemické prvky jako je mangan, či měď[2].

3.3. Německo

V Německu je také limit PEL pro svářečské dýmy, ale je dvojnásobný, tedy $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Nicméně je zde ještě limit PELr, který je analogický s limitem PEL, ale pouze pro respirabilní frakci. PELr má hodnotu $1,25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ v registračním systému[2].

4. Měření

4.1. Zásady vzorkování

Při měření je potřeba dodržovat zásady vzorkování. Vzorkování musí být přizpůsobeno pracovním podmínkám, nesmí vadit pracovníkům v jejich činnosti. Je třeba, aby vzorkovací činnost neovlivňovala samotné vzorky, a tím se zajistila reprezentativnost vzorkování. Je žádoucí zapsat mikroklimatické podmínky v měřených prostorech (např. teplota, relativní vlhkost)[1].

4.2. Požadavky dle normy ČSN EN ISO 10882-1

Veškerý postup měření musí být v souladu s normou EN 482. Vzorkovač musí být způsobilý dle normy ČSN EN 13205, která hodnotí měřicí schopnosti přístroje, rozšířenou nejistotu odběrového zařízení a přepravu[1].

Odběrové médium, kterým může být například filtr, musí být kompatibilní s odběrovým zařízením a jeho minimální účinnost nesmí být horší než 99,5 % pro částice s difusním průměrem $0,3 \mu\text{m}$ [1].

Vzorkovací čerpadlo musí mít regulovatelný průtok a tento průtok udržet v rozsahu $\pm 5 \%$ [1].

Průtokoměr by měl být přenosný a nejistotu měření menší než 2,5 %[1].

Analytické váhy musí mít přesnost vážení $\pm 0,01 \text{ mg}$. Před samotným vážením je nutné použít neutralizátor statické elektřiny, jinak může být vážení nepřesné[1].

4.3. Postup měření dle normy ČSN EN ISO 10882-1

Na začátku měření je třeba si uvědomit, zdali chceme provést pouze gravimetrickou analýzu nebo i chemickou analýzu. Pokud chceme provést chemickou analýzu je potřeba používat vzorkovač a odběrové médium, které vzorek neovlivní[1].

Před začátkem vzorkování je nutné vyčistit vzorkovače, které se poté naplní odběrovými médii.

Připraví se slepé vzorky. Z každé šarže 10 vzorků musí být alespoň jeden slepý vzorek, minimálně musí být alespoň 3 slepé vzorky[1].

Následně se složí aparatura a důkladně se zkontroluje, zdali vše odpovídá (např. průtok) [1].

Vzorkovací hlava se umístí maximálně 10 centimetrů od úst svářeče pod svářečskou kuklu. Ústí vzorkovače musí směřovat stejným směrem jako svářečova ústa nebo musí směřovat směrem dolů. Předpokládá se, že emise, které nebyly odstíněny svářečskou kuklou budou pronikat ke vzorkovači právě z tohoto směru. Je vhodné také měřit pozadí pracoviště v dostatečné vzdálenosti od zdroje svářečských dýmů[1].

Pokud je měření delší než 2 hodiny, je třeba zkontrolovat průtok a držet jeho odchylku pod 5 procenty.

Po skončení experimentu se zaznamená jeho délka. Vzorky se uchovávají v přepravních boxech, aby se zamezilo jejich poškození. Následně se přepraví do laboratoře[1].

Při chemické analýze lze zkoumat všechny látky ze všech vzorků, nebo z jednotlivých vzorků vždy pouze jednu látku[1].

Při gravimetrické analýze se nejprve nechá u vzorků vyrovnat vlhkost pootevřením přepravních boxů nebo kazet po delší dobu, například přes noc. Dále je potřeba odstranit statický náboj neutralizátorem. Poté se zváží použitá odběrová média i slepé vzorky[1].

Výsledky z chemické i gravimetrické analýzy vyhodnotíme dle normy 10882-1[1].

4.4. Nestandardizované měření

Během experimentu se měřila i velikost a výskyt jednotlivých částí za pomoci přístroje Dekati® ELPI®+. Tento

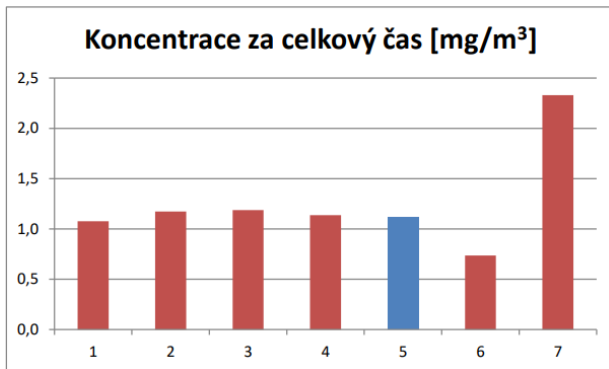
kaskádový impaktor rozděluje částice do 14 velikostních kanálů od 0,006 po 10 mikrometrů. Zařízení bylo zapůjčeno z CVUM (Centrum vozidel udržitelné mobility) od pana doc. Michala Vojtíška, Ph.D.

5. Výsledky experimentu

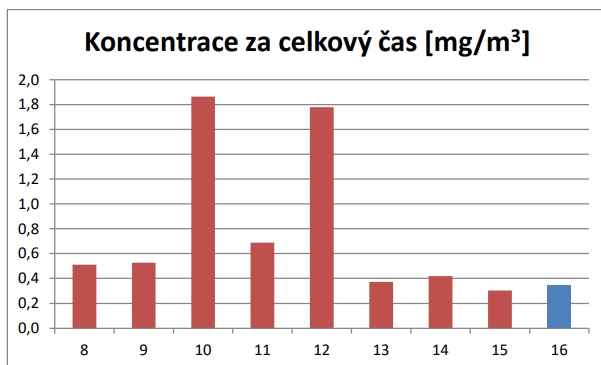
Experiment byl prováděn v několika dnech. Měření byla rozdělena na dvě části. Na odebrání vzorků při cvičeních Svařování v praxi, kde studenti byli samotnými svářeči a na měření předem vybraných metod MMA a MAG. V druhé části svařovali pan Ing. Petr Vondrouš Ph.D. a pan Ing. Tomáš Kramář Ph.D.[1].

Měření na cvičení probíhala v řádu hodin (obvykle 2-3 hodiny), měření jednotlivých metod většinou trvala od 5 do 20 minut podle produktivity metody[1].

5.1. Svařování v praxi

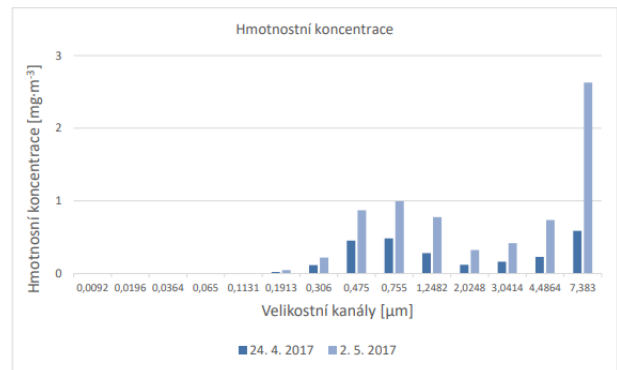


Graf 1: Naměřené koncentrace při prvním cvičení[1]

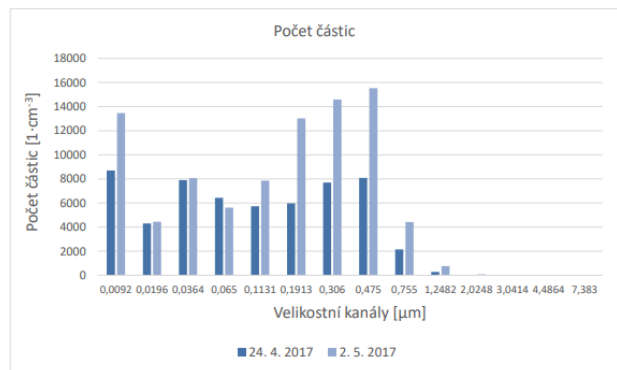


Graf 2: Naměřené koncentrace při druhém cvičení[1]

Na grafech 1 a 2 jsou měření ze cvičení. Všem studentům bylo řečeno, aby měli zapnutá odsávání, nicméně v případech 7, 10 a 12 odsávání nebylo zapnuto. Toto bylo zapříčiněno chybou na odsávacích zařízeních. Filtry označené modrou barvou (č. 5 a 16) byly použity k měření pozadí. Z grafů lze vyčíst, že pokud je odsávání zapnuto, svářeč je exponován přibližně stejným hodnotám, jako je pozadí pracoviště[1].



Graf 3: Rozdělení hmotnostní koncentrace do velikostních kanálů[2]



Graf 4: Rozdělení počtu částic do velikostních kanálů[2]

Z grafu 3 lze vidět, že hmotnostní koncentraci, která byla zvážena u vzorků z personálních vzorkovačů, tvoří hlavně větší částice od 0,475 μm. Graf 4 znázorňuje počet naměřených částic. Je zde výrazně vyšší podíl částic v kanálech od 0,0092 μm do 0,475 μm. Nicméně vzhledem k malé jednotkové hmotnosti těchto částic nemají velký vliv na hmotnostní koncentraci[2].

Vzorky z druhého cvičení vykazují vyšší hodnoty z důvodu umístění ELPI do buňky, ve které bylo nefunkční odsávání[2].

5.2. Metody MMA a MAG s různými podmínkami

U této metody byla z důvodu krátkého vzorkování přepočítána koncentrace dle následujícího vzorce a tabulky

$$VK = \left(\frac{\check{c}S \cdot \check{c}HOS}{Sm} \right) \cdot KS + \left(\frac{Sm - \check{c}S \cdot \check{c}HOS}{Sm} \right) \cdot KP \quad (1)$$

VK - Výsledná koncentrace [mg/m³]

ČS - Čas svařování - experiment [s]

ČHOS - Čas hoření oblouku během směny [s]

ČHO - Čas hoření oblouku - experiment [s]

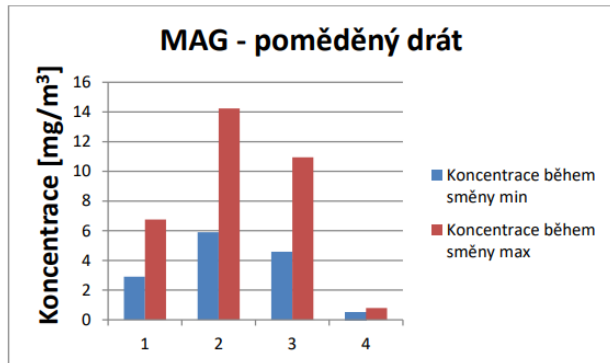
Sm - Délka směny (8h) [s]

KS - Naměřená koncentrace při svařování [mg/m³]

KP - Naměřená koncentrace pozadí [mg/m³]

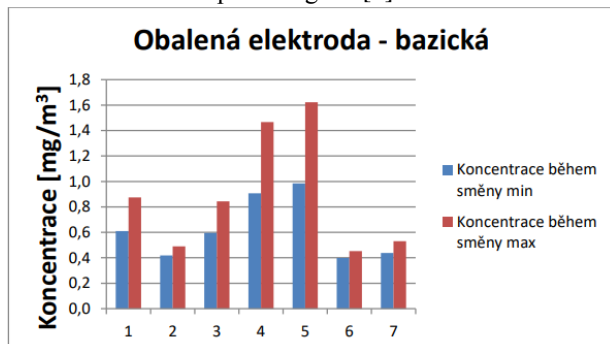
Tabulka 1: Využití pracovní doby z hlediska svařování[1]

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 %



Graf 5: MAG - poměděný drát – koncentrace[1]

V grafu 5 jsou 4 měření. V případech 1-3 nebylo zapnuté odsávání. Vzhledem k vysoké produktivitě této metody byl násobně překročen limit $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. V případě 4 bylo odsávání zapnuté a i přes vysokou produktivitu se koncentrace snížila pod $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ [1].



Graf 6: MMA - bazická – koncentrace[1]

V grafu 6 byla testována metoda svařování obalenou elektrodou. V prvních 5 případech nebylo zapnuté odsávání. V případech 6 a 7 odsávání zapnuté bylo. I zde je vidět jasný vliv odsávání na výslednou koncentraci. Obdobná měření byla provedena i v dalších pokusech. Metodou MAG bylo svařováno například ještě trubičkovým drátem, který byl plněn práškem (zde byly naměřeny nejvyšší koncentrace za celý experiment, až $40 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). U metody MMA se používala kromě bazické u rutilová elektroda. Výsledky byly analogické. I při těchto měřeních bylo využito kaskádového impaktoru ELPI. Výsledné rozdělení do kanálů u hmotnostní koncentrace a počtu částic odpovídá již prezentovaným výsledkům ze cvičení Svařování v praxi v grafech 3 a 4[1].

6. Závěr

Při měření bylo zjištěno, že limitu PEL $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ vyhovují všechna měření, pokud je zapnuté odsávání a to i

přes to, že ve vzorkování jednotlivých metod bez odsávání jsou velké rozdíly. Největší expozice byla naměřena u metody MAG při použití plněného drátu.

Jako možný problém při hodnocení škodlivosti polé-tavého prachu u svařování se naskytá samotný limit PEL, který nebere v potaz velikost jednotlivých částic, ale pouze jejich hmotnost.

Toto řešení se jeví jako nedostatečné vzhledem k rozložení hmotnostní koncentrace jednotlivých částic. Většinu hmotnosti tvoří částice, které mají větší průměr, nicméně zdraví škodí více částice, které jsou menšího průměru.

Nabízí se využití limitu PELr, který se používá v Německu a zohledňuje velikost částic.

Bylo by vhodné, kdyby se o této problematice vedly další debaty, protože například oproti emisím automobilů, se o svařování a jeho důsledcích na zdraví pracovníků ví obecně méně a téma není tak populární.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat za spolupráci Ing. Lukáši Sýkovi, který v rámci své diplomové práce se velkým dílem podílel na experimentu.

Dále bych rád poděkoval RNDr. Bohumilu Kotlíkovi, Ph.D. za konzultace, Mgr. Jitce Sikorové a Ing. Vlastě Švecové, Ph.D. za zapůjčení osobních vzorkovačů spolu s filtry a Centru vozidel udržitelné mobility za zapůjčení přístroje ELPI a poskytnutí pracoviště pro vážení vzorků.

Literatura

- [1] VÍTEK, Tomáš. MĚŘENÍ EMISÍ PRACHOVÝCH ČÁSTIC PŘI SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM DLE PLATNÝCH NOREM. Praha, 2017
- [2] SÝKORA, Lukáš. MĚŘENÍ PRACHOVÝCH ČÁSTIC VZNIKAJÍCÍCH PŘI SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM. Praha, 2017
- [3] Urban Aerosol. In: University of Florida [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: http://aerosol.ees.ufl.edu/atmos_aerosol/images/PSD%20aerosol.gif
- [4] NAŘÍZENÍ VLÁDY 361/2007 Sb.: Vyhláška o přípustné úrovni znečištění 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>