OBSAH

1. Předmět standardního operačního postupu 2
   1.1. Zjednodušený popis 2
2. Statut Výzkumného energetického centra 2
3. Související normy 3
4. Stanovované parametry 3
   4.1. Přímo stanovované parametry 4
   4.2. Počítané parametry 4
   4.3. Doplňující parametry 4
5. Požadované přístroje a pomůcky 4
6. Požadované podmínky 5
   6.1. Průtokoměr (Venturiho trubice) 5
   6.2. Charakteristika připravovaného hmotnostního toku TZL v prašné trati 6
   6.3. Charakteristika dávkovaných částic 6
7. Popis postupu přípravy referenčního hmotnostního toku pevných částic 6
   7.1. Obecně 6
   7.2. Příprava zkoušky 7
      7.2.1. Spuštění PC a řídícího software 7
      7.2.2. Kontrola funkčnosti a spuštění filtračního zařízení 8
      7.2.3. Zapnutí ventilátoru 8
      7.2.4. Příprava vibračního podavače 9
   7.3. Vlastní průběh zkoušky 10
      7.3.1. Ukončení zkoušky 12
      7.3.2. Počet prováděných zkoušek 13
   7.4. Popis a funkce řídícího software na prašné trati 13
8. Výpočet 15
9. Nejistota měření 16
   9.1. Nejistota měření přímo měřených veličin 16
   9.2. Šíření nejistot ve výpočtových vzorcích pro určení nejistoty nepřímo měřených veličin 16
10. Přílohy SOP 19

1. Předmět standardního operačního postupu

Předmětem SOP (standardní operačního postupu) je příprava referenčního hmotnostního toku pevných částic v prašné trati, která je provozovaná na zkušebně Výzkumného energetického centra (viz. obr. č. 10).

1.1. Zjednodušený popis

Příprava koncentrované aerodisperzní směsi je zajištěna vibračním dávkovačem, který sype známé množství pevných částic do trychtýře, ze kterého je směs vzduchu a pevných částic dopravována k ejektoru. Ejektor nasává dávkované pevné částice se vzduchem a v difuzoru dochází k smíchání této směsi se vzduchem trysky ejektoru. Následně je tato směs potrubím ϕ20 mm dopravována přes kónický směšovací kus (perforovaný plech) na vstup do odběrového úseku testovací tratě, který je tvořen vertikálním potrubím o vnitřním ϕ 313 mm a o délce cca 7 m. Na vertikálním odběrovém úseku jsou dvě stanoviště umožňující realizaci reprezentativního odběru vzorku vzdušiny pro stanovení střední koncentrace pevných částic a jejich hmotnostního toku. Dále je vzdušina vedena do filtračního zařízení, kde dojde k záchytu podstatné části dávkovaných pevných částic. Filtrační zařízení je následně spojeno s ventilátorem, který představuje zdroj sání pro měřící trať. Referenční hodnota hmotnostního toku pevných částic je stanovena na základě zváženého množství nadávkovaných pevných částic a doby dávkování. Referenční hodnota střední koncentrace pevných částic v měřícím profilu je stanovena z hmotnostního toku pevných částic a z objemového průtoku vzdušiny v testovací trati. Objemový průtok vzdušiny je stanoven Venturiho trubicí, která je umístěna před filtračním zařízením. Průtok je řízen pomocí frekvenčního měniče, který mění otáčky ventilátoru.

Ověřované měřící subjekty stanovují hmotnostní tok pevných částic v měřících profilech třikrát (3 odběry) a jejich naměřené hodnoty jsou porovnány s referenčními hodnotami hmotnostního toku pevných částic, který je v připraven v prašné trati dle níže uvedeného postupu.

2. Statut Výzkumného energetického centra

Výzkumné energetické centrum (VEC) při VŠB – TUO je specializované pracoviště zabývající se výzkumnými a vývojovými (VaV) činnostmi primárně v oblasti energetiky. VEC bylo od roku 2002 do roku 2020 samostatným vysokoškolským ústavem ve smyslu Zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Od roku 2021 je součástí Centra energetických a environmentálních technologií (CEET). Náplní jeho činnosti je výzkum a vývoj zejména v oblasti spalování a zplyňování pevných paliv, zejména biomasy, obecně oblast modernizace zařízení, efektivní energetiky a jejich environmentálních vlivů. Další významnou činností je zkoušení kotlů a spalovacích zařízení a to jak ve vlastní zkušebně, tak u provozovatele. Součástí VEC je akreditovaná zkušební laboratoř č. 1166.3 pro měření tepelně-technických veličin, pracoviště má autorizaci MŽP ČR pro měření emisí škodlivin a pověření pro vzdělávání pracovníků v oblasti měření emisí ve všech kvalifikačních úrovních. VEC má statut školícího pracoviště doktorského studijního programu "Energetické stroje a zařízení".

Organizace všech činností pracoviště, preferující zapojení doktorandů je zárukou dalšího rozvoje pracoviště.

Kontakt:
Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB-TUO)
Centrum energetických a environmentálních technologií (CEET)
Výzkumné energetické centrum (VEC)
17. listopadu 2172/15
708 00 Ostrava – Poruba

Osoba odpovědná za prašnou trať:
Ing. František Hopan, Ph.D.
Tel.: 597 32 38 56, 608 347 930
E-mail.: frantisek.hopan@vsb.cz

Osoby oprávněné obsluhovat prašnou trať:
Zdeněk Kysučan
Tel.: 597 32 38 53
E-mail: zdenek.kysucan@vsb.cz

Miroslav Jaroch
Tel.: 597 32 49 06
E-mail: miroslav.jaroch@vsb.cz

3. Související normy

ČSN EN 13284-1	Stacionární zdroje emisí - Stanovení nízkých hmotnostních koncentrací prachu - Manuální gravimetrická metoda
STN ISO 9096	Ochrana ovzdušia. Stacionárne zdroje znečisťovania. Manuálne stanovenie hmotnostnej koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok.
ČSN ISO 10780	Stacionární zdroje emisí - Měření rychlosti v průtoku plynů v potrubí
ČSN EN ISO 16911-1	Stacionární zdroje emisí - Manuální a automatické stanovení rychlosti proudění a průtoku plynů v potrubí - Část 1: Manuální referenční metoda
ČSN EN 15259	Kvalita ovzduší - Měření emisí ze stacionárních zdrojů - Požadavky na měřicí stanoviště, měřicí úsek, plán měření a protokol s výsledky měření

4. Stanovované parametry

Stanovované parametry je možno rozdělit do tří skupin.

- Přímo stanovované parametry.
- Počítané parametry
- Doplňující parametry

4.1. Přímo stanovované parametry

- Hmotnost pevných částic před zkouškou [g]
- Hmotnost pevných částic po zkoušce [g]
- Počáteční čas zkoušky [hh:mm:ss]
- Konečný čas zkoušky [hh:mm:ss]
- Průtok vzdušiny v prašné trati při normálních stavových podmínkách (0 °C a 101 325 Pa) [m^3/h]
- Průměr potrubí tratě – neměnná konstanta [mm]
- Statický tlak v prašné trati [Pa]
- Teplota vzdušiny v prašné trati [°C]
- Atmosférický tlak okolního prostředí [Pa]
- Teplota okolí [°C]
- Relativní vlhkost okolního vzduchu [%]
- Výstupní signál z prachoměru [mA]

4.2. Počítané parametry

- Průměrný hmotnostní tok pevných částic za dobu zkoušky [g/h]
- Průměrný průtok vzdušiny v prašné trati při normálních podmínkách (0 °C a 101 325 Pa) za dobu zkoušky [m^3/h]
- Průměrná koncentrace pevných částic při normálních podmínkách (0 °C a 101 325 Pa) za dobu zkoušky [mg/m^3]
- Průměrná rychlost vzdušiny při aktuálních podmínkách v prašné trati za dobu zkoušky [m/s]

4.3. Doplňující parametry

- Časová stabilita připraveného prašného prostředí za dobu zkoušky – směrodatná odchylka z výstupního signálu triboelektrického prachoměru za dobu zkoušky [mA]
- Časová stabilita průtoku vzdušiny v prašné trati za dobu zkoušky – směrodatná odchylka v průtoku na Venturiho trubici za dobu zkoušky [m^3/h]

5. Požadované přístroje a pomůcky

Přístroj	**Výrobce**	**Ident. číslo**
Váhy	Ohaus	IČ 549 nebo IČ 561
Venturiho trubice (objemový průtokoměr)	MATTECH + Yokogawa	IČ 623
Teploměr pro měření teploty vzduchu v prašné trati	JSP	IČ 368
Tlakoměr pro stanovení atmosferického tlaku okolí	CRESSTO	IČ 568
Vlhkoměr pro stanovení relativní vlhkosti okolí	COMET SYSTÉM s.r.o.	IČ 562
Tlakoměr tlak vzduchu v trati	CREESTO	IČ 565

Přístroj	Výrobce	Ident. číslo
Časomíra (PC)		
Triboelektrický prachoměr pro kontrolu rovnoměrnosti dávkování prachu do prašné trati	PCME	IČ 551
Řízený vibrační dávkovač prášku	FRITSCH	
Ejektor pro uvedení prášku do vznosu a transpotrt koncentrované aerodisperzní směsi vzduchu a prášku do prašné trati		
Kompresor s filtrací a odstraněním vlhkosti vzduchu	ATMOS Chrást, s.r.o.	
Potrubí pro přivedení aerodisperzní směsi do prašné trati		
Kónický směšovací díl pro mísení aerodisprzní směsi a dalšího vzduchu		
Potrubí prašné trati délky 7 metrů osazené dvěmi měřicími stanovišti pro měření parametrů připravovaného prostředí		
Filtrační zařízení pro vyčištění odpadního vzduchu s práškem	RAYMAN spol. s r.o.	
Ventilátor	Nederman	
Frekvenční měnič pro řízení výkonu ventilátoru	Emotron	
Dávkovaný prášek		
D/A převodník vstupně výstupní	Moravské Přístroje a.s.	
PC + SW pro řízení průtoku a dávkování prášku		

6. Požadované podmínky

Při měření je nutno dodržet podmínky požadované všemi používanými přístroji (uvedené v návodech k obsluze přístrojů).

6.1. Průtokoměr (Venturiho trubice)

Průtokoměr měří průtok vzdušiny v prašné trati. Průtokoměr se skládá z normované Venturiho trubice a vyhodnocovače průtoku. Vyhodnocovač na základě vložených geometrických parametrů Venturiho trubice, diferenčního tlaku na Venturiho trubici, statickému tlaku na Venturiho trubici, teplotě proudící vzdušiny a parametrů proudící vzdušiny automaticky vyhodnocuje okamžitou hodnotu průtoku vzdušiny v prašné trati za normálních stavových podmínek (101325 Pa a 0 °C).

6.2. Charakteristika připravovaného hmotnostního toku TZL v prašné trati

Do prašné trati s nastaveným definovaným průtokem vzdušiny jsou rovnoměrně dávkovány pevné částice.

6.3. Charakteristika dávkovaných částic

Je možné dávkovat jakékoli neexplosivní, neradioaktivní, netoxické, suché, sypké a nelepivé pevné částice, které jsou tvořeny částicemi o velikosti přibližně od 0,005 do 0,2 mm. Původ těchto pevných částic musí být znám, aby bylo možno vyloučit pro lidské zdraví nebezpečné vlastnosti. V případě neznámého původu částic nebo při podezření, že by mohly být pevné částice pro zdraví nebezpečné, je nutné toto nebezpečí vyloučit nebo tyto pevné částice nepoužívat.

Pevné částice mohou být polydisperzní nebo také v případě potřeby pseudo monodisperzní (s výrazným podílem částic o určité velikosti).

Granulometrie dávkovaných částic je stanovovaná externě např. pomocí přístroje MASTERSIZER 2000.

Systém připravuje proudící prostředí s obsahem pevných částic v prašné trati. Celý systém je navržen tak, aby v maximální možné míře dosáhl jak prostorové homogenity proudícího prostředí s obsahem pevných částic v prašné trati, tak časové stability proudícího prostředí s obsahem pevných částic v prašné trati.

Proto musí být proudící prostředí s obsahem pevných částic v prašné trati připravováno (pro jedno stanovení) po dostatečně dlouhou dobu (obvykle 50 minut).

Jako dávkovaných pevých částic se obvykle používá popílek zachycený v poslední sekci elektrostatického odlučovače za kotlem spalující uhlí v kotli s výtavným ohništěm, jehož granulometrie je po odběru a vysušení upravena síty s oky velikosti 0,2mm. V případě potřeby je možno pomocí sít připravit pevné částice s určitým dominantním průměrem částic.

Částice připravené ke zkoušce musí mít obsah vlhkosti menší než 1 %. Pokud tento předpoklad nesplňují, je nutné obsah vlhkosti v částicích snížit např. v elektrické sušárně. Obsah vlhkosti je ověřován z odebraného vzorku částic na sušící váze.

Částice připravené ke zkoušce je nutné v době mezi jejich přípravou a použitím skladovat v uzavřené vzduchotěsné nádobě.

7. Popis postupu přípravy referenčního hmotnostního toku pevných částic

7.1. Obecně

Referenční hodnota průměrného hmotnostního toku pevných částic za zkoušku je stanovována z množství dávkovaných pevných částic a doby činnosti vibračního podavače.

Referenční hodnota průměrné koncentrace pevných částic za zkoušku je stanovována z průměrného hmotnostního toku pevných částic a naměřeného referenčního průtoku vzdušiny stanovené průtokoměrem (Venturiho trubicí).

Do vibračního podavače je nasypáno předem zvážené množství částic. Dle času na PC je stanovena doba dávkování částic do prašné trati.

Jsou měřeny všechny potřebné veličiny pro stanovení průtoku vzdušiny v trati (teplota, tlak).

Po skončení zkoušky jsou zváženy zbylé částice ve vibračním podavači.

Množství dávkovaných částic je stanoveno rozdílem hmotnosti před a po aplikaci. Z těchto hodnot je stanoven průměrný referenční hmotnostní tok částic a průměrná referenční koncentrace pevných částic po dobu zkoušky.

7.2. Příprava zkoušky

7.2.1. Spuštění PC a řídícího software

Po spuštění řídícího PC se spustí řídící software pomocí ikony s názvem „zástupce - PT“ na ploše obrazovky.

Načítání měřených dat do interního databázového souboru je spuštěno do minuty od spuštění řídícího software. Komunikace D/A převodníku s řídícím software je indikována žlutou ikonou v levém horním rohu aplikace (vlevo vedle ukazatele aktuálního času – viz obr. č. 8). V případě chybné komunikace svítí v aplikaci červená ikona.

Po spuštění software je nutné překontrolovat aktuální průtok v prašné trati, který před zapnutím ventilátoru musí být nulový. Drift nulové hodnoty se nastavuje na přepočítávači průtoku YOKOGAWA umístěném v přízemí vedle filtračního zařízení (viz. obr. č. 1). Na přepočítávači jsou postupně zobrazovány cca v pětisekundových intervalech:

- diferenční tlak na Venturiho trubici
- statický tlak na Venturiho trubici
- teplota v trati za Venturiho trubicí
- průtok vzduchu v prašné trati



obr. č. 1 Vyhodnocovač průtoku YOKOGAWA

Když je na displeji zobrazován diferenční tlak je možné jej otáčením šroubu na pravé straně vyhodnocovače (viz. obr. č. 2) upravit na nulovou hodnotu diferenčního tlaku.

Dále je potřeba překontrolovat aktuální zobrazovaný statický tlak. Tento se při vypnutém ventilátoru musí přibližně rovnat okolnímu atmosférickému tlaku.



obr. č. 2 Šroub na vyhodnocovači YOKOGAWA

7.2.2. Kontrola funkčnosti a spuštění filtračního zařízení

Filtrační zařízení se spouští zároveň s chlazením ventilátorové skříně (viz. obr. č. 3). Před zapnutím je nutné překontrolovat, zda je připojen tlakový vzduch pro regeneraci filtračního zařízení. Spínač se nachází na kovovém krytu ventilátoru hned vedle filtračního zařízení.



obr. č. 3 Spínač filtračního zařízení a chlazení ventilátorové skříně

Po zapnutí spínače je automaticky provedena regenerace filtračního zařízení tlakovým vzduchem. Funkčnost je kontrolována akusticky. Musí dojít ke čtyřem hlasitým akustickým projevům.

7.2.3. Zapnutí ventilátoru

Po regeneraci filtračního zařízení je možné spustit odtahový ventilátor. Ventilátor se spouští tlačítkem na frekvenčním měniči umístěném na zdi za filtračním zařízením. Ventilátor je uveden do chodu pravým tlačítkem s piktogramem doprava se otáčející šipky (viz. obr. č. 4). Spuštění frekvenčního měniče je indikováno rozsvícením kontrolky ve tvaru otáčející se šipky na ovládacím panelu frekvenčního měniče. Po zapnutí software je defaultně nastavena žádaná hodnota průtoku nulová, proto nebude spuštění ventilátoru slyšitelné.

Nastavení požadovaného průtoku vzduchu v prašné trati se provádí zadáním požadované hodnoty průtoku do zadávacího políčka na řídícím PC.

Zastavení ventilátoru se provádí tlačítkem „reset“ na ovládacím panelu frekvenčního měniče (viz. obr. č. 4).



obr. č. 4 Ovládací panel frekvenčního měniče

7.2.4. Příprava vibračního podavače

Před zkouškou je nutno vyzkoušet zda je vibrační dávkovač (viz. obr. č. 5) nastaven přibližně na požadovaný hmotnostní tok.



obr. č. 5 Vibrační dávkovač pevných částic

Hrubé nastavení

Do zásobníku se připraví množství pevných částic potřebné pro zkoušku (obvykle 500 g) a vibracemi se rovnoměrně zaplní korýtko podavače. Pevné částice, které z podavače vypadnou se zachytí do misky a nasypou zpět do zásobníku na podavači.

Pod korýtko podavače se umístí prázdná předem zvážená miska a nastaví se vibrace (vibrace se nastavují potenciometrem na vibračním dávkovači – viz. obr. č. 6). Spustí se dávkovač na dobu cca 1 až 3 minuty. Měří se čas dávkování. Po této přípravné zkoušce opět zváží miska s částicemi a stanoví se hmotnost nadávkovaných částic.



obr. č. 6 Ovladač vibračního dávkovače částic

Hmotnost nadávkovaného prášku při přípravné zkoušce

$m = m_2 - m_1 \quad [g]$

Doba dávkování prášku při přípravné zkoušce

$\tau = \tau_2 - \tau_1 \quad [s]$

Tok prášku z dávkovače při přípravné zkoušce

$$Q = \frac{m}{\tau} \cdot 3600 \quad [g/h]$$

Pokud vypočtený hmotový tok prášku z vibračního podavače (Q) vyhovuje požadavku, nastavení podavače se ponechá. Pokud je podávané množství prášku větší nebo naopak menší je nutné změnit vibrace a přípravnou zkoušku provést znovu.

Jemné nastavení

Pro jemné nastavení je potřeba stanovit, jaká je odezva triboelektrického prachoměru při nastavení vibračního podavače, které bylo popsáno v kapitole o hrubém nastavení.

Zásobník vibračního dávkovače se naplní práškem a korýtko se nastaví nad dvojitou nálevku nad tu část nálevky, která odvádí prášek do prašné trati. Po potřebnou dobu (cca 5 minut) je do prašné trati dávkovány částice a sleduje se čas dávkování, množství nadávkovaných částic a odezva triboelektrického prachoměru.

Podle výsledku zkoušky jemného nastavení je nutné tuto zkoušku opakovat tak dlouho, dokud není docíleno požadovaného hmotnostního toku při daném průtoku vzduchu v prašné trati. Jemné nastavení hmotového toku se provádí natočením korýtka nad rozhraní dvou spojených nálevek, kde část prášku je dávkována do prašné trati a zbytek je zachytáván do nádobky.

Nastavení je dokončeno jakmile je známa odezva triboelektrického prachoměru, vhodné nastavení vibrací a vhodné umístění korýtka vibračního podavače nad spojenými nálevkami.

Poznámka: Přesná hodnota hmotnostního toku pevných částic a koncentrace pevných částic je vždy známa teprve po ukončení zkoušky.

7.3. Vlastní průběh zkoušky

Jestliže je známa požadovaná hodnota odezvy triboelektrického prachoměru, optimální nastavení vibrací dávkovače a poloha korýtka nad spojenými nálevkami, je možno přistoupit k vlastní přípravě referenčního hmotnostního toku pevných částic.

V dávkovacím zařízení je připravena známá hmotnost pevných částic a korýtko je zaplněno práškem. Ověřované aparatury jsou připraveny k měření referenčních hodnot na stanovištích č.1 (nahoře) a č.2 (dole). Ověřované aparatury provádějí gravimetrické měření dle ČSN EN 13284-1 nebo dle ISO 9096.

Obsluha prašné trati pomocí řídícího software nastaví požadovaný průtok vzdušiny v prašné trati, otevře přívod tlakového vzduchu do ejektoru a v první celou minutu spustí vibrační dávkovač. Za minutu poté vydá pokyn k zahájení měření obsluhám ověřovaných aparatur na stanovišti č.1 a č.2. Do checklistu P 01/1 je zapsána počáteční hmotnost pevných částic připravených v násypce dávkovače a čas počátku dávkování pevných částic.
Tímto je zkouška zahájena.

Harmonogram zkoušky:

	čas
1. zapnutí podavače prášku a tlakového vzduchu	t + (-1) min
2. počátek odběru v **prvním** bodě	t + 0 min
3. posunutí sondy do **druhého** bodu	t + 15 min
4. přerušení odběru	t + 30 min
5. přesun sondy do druhé přímky	x min
6. pokračování odběru ve **třetím** bodě	t + 30 + x min
7. posunutí sondy do **čtvrtého** bodu	t + 45 + x min
8. **konec** odběru	t + 60 + x min
9. vypnutí podavače prášku	t + 60 + x + 1 min

x … doba v minutách, kterou potřebují obsluhy ověřovaných aparatur k přesunu odběrových sond z jedné odběrové přímky do druhé odběrové přímky.

Obsluhy ověřovaných aparatur jsou povinny dodržovat tyto zásady:
- Během zkoušky je zakázáno otevírat měřicí příruby
- Během zkoušky se měření provádí ve čtyřech měřicích bodech
- Měření v každém bodě trvá 15 minut
- Pořadí měřených bodů určuje obsluha prašné trati tak, aby nedocházelo při měření k ovlivňování měřícího místa č.2 měřicím místem č.1.

Harmonogram pořadí měřicích bodů na místě č.1 (nahoře)

poř. číslo odb. bodu	kód bodu	doba setrvání v bodě
1	**1A1**	15 min

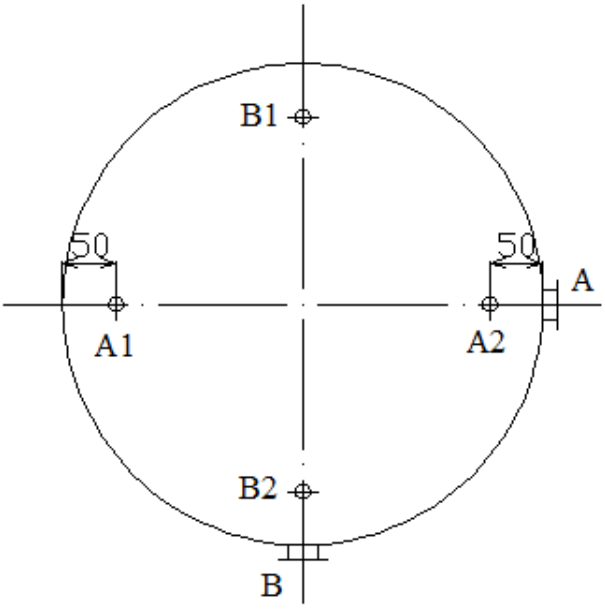
2	**1A2**	15 min
přesunutí sondy	**-**	2-5 min
3	**1B1**	15 min
4	**1B2**	15 min

kód bodu: první číslo 1 nebo 2 znamená označení měřicího profilu (1 - nahoře, 2 - dole), zbytek viz. obr. č. 7

Harmonogram pořadí měřicích bodů na místě č.2 (dole)

poř. číslo odb. bodu	kód bodu	doba setrvání v bodě
1	**2B1**	15 min
2	**2B2**	15 min
přesunutí sondy	**-**	2-5 min
3	**2A1**	15 min
4	**2A2**	15 min

kód bodu: první číslo 1 nebo 2 znamená označení měřicího profilu (1 - nahoře, 2 - dole), zbytek viz. obr. č. 7



obr. č. 7 Schéma profilu prašné trati a umístění měřicích bodů v profilu prašné trati.

7.3.1. Ukončení zkoušky

V čase ukončení zkoušky je vypnut vibrační dávkovač prášku a je zastaven tlakový vzduch do ejektoru.

Do vytarované (předem zvážené) prázdné kádinky se sesypou zbylé pevné částice z vibračního dávkovače a z kádinky přepadu pod nálevkou. Tyto zbylé pevné částice jsou zváženy a hmotnost je zaznamenána do checklistu P 01/1.

7.3.2. Počet prováděných zkoušek

Obvykle jsou prováděny tři zkoušky, při kterých je kladen důraz na dosažení přibližně stejných referenčních hodnot. Avšak může být dohodnut i jiný počet zkoušek s různým nastavením prašné trati. Změny v nastavení prašné trati se uvádí v poznámkách na checklistu PT 001.

7.4. Popis a funkce řídícího software na prašné trati

Řídící software zpracovává změřené hodnoty níže uvedených veličin v sekundových intervalech:

- teplota vzduchu v prašné trati [°C]
- statický tlak vzduchu v prašné trati [Pa]
- atmosferický tlak v prostorách zkušebny[Pa]
- aktuální průtok vzduchu v prašné trati [m^3/h]
- odezva triboelektrického prachoměru [mA]

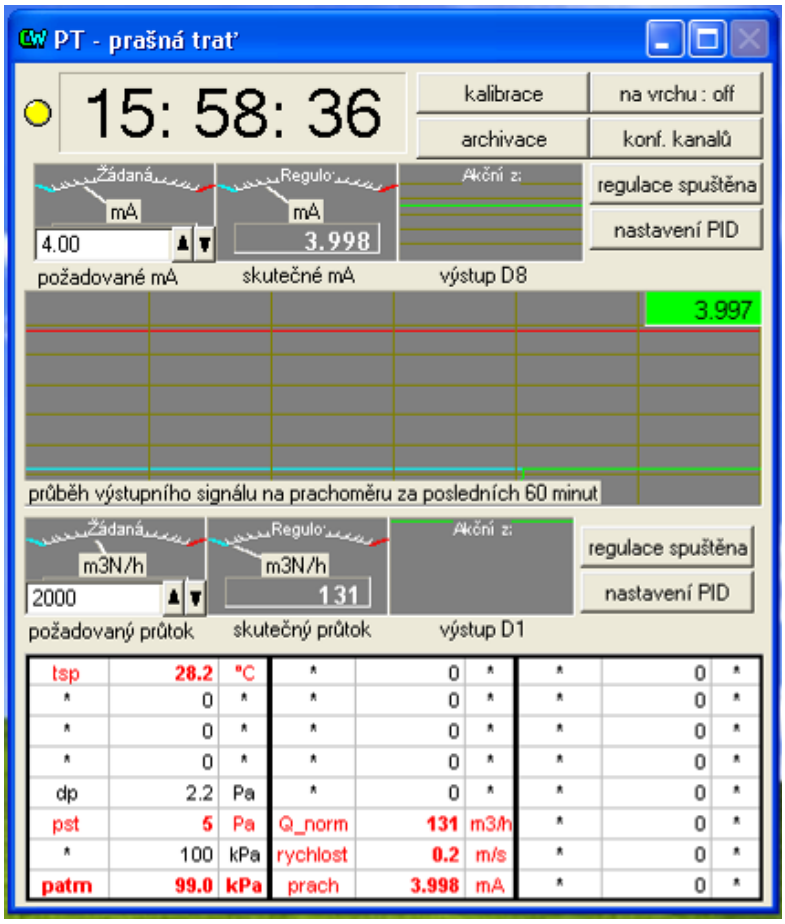
Tyto hodnoty jsou softwarem načítány a minutové průměry jsou ukládány do interního databázového souboru. Hodnoty z interního databázového souboru jsou načítány do mustru ve formátu xls. Tento mustr je uzpůsoben pro uživatelsky jednoduché vypočtení průměrných hodnot za zkoušku.

Řídící software slouží kromě ukládání naměřených hodnot také k regulaci těchto parametrů:

- ovládání výkonu ventilátoru
- ovládání vibračního dávkovače

Parametry jsou řízeny na základě zadaných požadovaných hodnot.

Během zkoušky se mírně mění tlaková ztráta filtračního zařízení, je tedy nutné postupně měnit výkon ventilátoru, tak aby bylo dosaženo konstantního požadovaného průtoku vzdušiny v prašné trati. Výkon ventilátoru je řízen pomocí PID regulátoru, žádané hodnoty průtoku a aktuální hodnoty průtoku vzdušiny.



obr. č. 8 Náhled okna ovládacího software

Stabilitu dávkování pevných částic do prašné trati řídí druhý PID regulátor. Jeho funkční logika je následující. Vstupními veličinami pro tento regulátor je žádaná hodnota proudu na triboelektrickém prachoměru a skutečná hodnota proudu na triboelektrickém prachoměru. U vibračního dávkovače je však možné ovládat jen jeho zapnutí a vypnutí. Systém pracuje s časovým intervalem 1 sekundy. Tento sekundový interval je rozdělen na 10 dílů a vibrační dávkovač je možno nastavit do 11 diskontinuálních stavů tj.(0,1s zap. 0,9s vyp.), (0,2s zap. 0,8s vyp.), … , (0,9s zap. 0,1s vyp.), (1s zap.). Ideální je, když je dávkovač kontinuálně zapnut. Přijatelné je, když je dávkovač zapnut více než 0,7s. Z tohoto je patrné, že regulace ovládání je schopna vyregulovat jen relativně drobné nerovnoměrnosti v dávkování.

Je velmi důležité, aby obsluha prašné trati byla velmi pečlivě zaškolena a znala omezené možnosti regulace dávkování prášku do prašné trati a také chování prášku na vibračním dávkovači (hrudkování, ulpívání apod).
Nastavení vibračního dávkovače a následnou odezvu triboelektrického prachoměru je nutné při změně dávkovaného prášku nebo při změně

průtoku vzduchu v prašné trati nebo při jiné hodnotě požadovaného hmotového toku prášku před vlastní zkouškou vždy důkladně odzkoušet.

8. Výpočet

Před započetím zkoušky se do checklistu P 01/1 (viz. obr. č. 9) zaznamená hmotnost prášku v gramech umístěného ve vibračním podavači (m_1) a po započetí zkoušky také čas spuštění zkoušky (τ_1) formátu hh:mm:ss.

Po ukončení zkoušky se do checklistu P 01/1 zaznamená hmotnost zbylého prášku ve vibračním dávkovači spolu s hmotností prášku odsypaného do záchytné nádobky (τ_2) v gramech a také čas vypnutí vibračního dávkovače ve formátu hh:mm:ss.

Z měřícího PC jsou po skončení zkoušky odečteny a do checklistu P 01/1 zapsány tyto průměrné hodnoty za celou zkoušku:

t	průměrná teplota vzduchu v prašné trati během zkoušky [°C]
p_{st}	průměrný statický tlak vzduchu v prašné trati [Pa]
$Q_{vz,N}$	průměrný průtok vzduchu prašnou tratí během zkoušky [m^3_N/h]
p_{atm}	atmosferický tlak okolního vzduchu [Pa]
I_{prach}	průměrná hodnota výstupního signálu z triboelektrického prachoměru [mA]

Z těchto údajů jsou vypočítávány následující parametry:

Množství nadávkovaných pevných částic během zkoušky

$$m = m_2 - m_1 \quad [g]$$

Doba dávkování pevných částic

$$\tau = \tau_2 - \tau_1 \quad [s]$$

Průměrný referenční hmotnostní tok pevných částic v prašné trati

$$Q_{TZL} = \frac{m}{\tau} \cdot 3600 \quad [g/h]$$

Průměrná referenční koncentrace pevných částic v prašné trati při normálních stavových podmínkách vzdušiny (0°C a 101 325 Pa)

$$c = \frac{Q_{TZL}}{Q_{vz,N}} \cdot 1000 \quad [mg/m^3]$$

Střední rychlost proudění vzdušiny v prašné trati

$$v = \frac{Q_{vz,ef}}{S \cdot 3600} \quad [m/s]$$

kde $Q_{vz,ef}$ je průtok vzdušiny v prašné trati při aktuální teplotě a tlaku

$$Q_{vz,ef} = Q_{vz,N} \cdot \frac{t + 273{,}15}{273{,}15} \cdot \frac{101325}{p_{atm} + p_{st}} \quad [m^3/h]$$

a S je průřez potrubí na prašné trati

$$S = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad [m^2]$$

D je průměr potrubí na prašné trati.

9. Nejistota měření

9.1. Nejistota měření přímo měřených veličin

Každý použitý měřicí přístroj je charakterizován svou nejistotou měření jež je dokladována kalibračními listy v provozních denících přístrojů.
Nejistoty je možno rozdělit na:

- **nejistotu typu A**, která je stanovena jako výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru naměřených hodnot při mnohonásobném měření stejné matrice.
- **nejistoty typu B**, tato nejistota je určena zvážením všech zdrojů chyb

Pomocí součtu čtverců pod odmocninou se z nejistoty typu B a nejistoty typu A se stanoví kombinovaná standardní nejistota každé přímo měřené veličiny.

$$u_i = \sqrt{u_{Ai}^{\ 2} + u_{Bi}^{\ 2}}$$

u_i standardní kombinovaná nejistota i-té veličiny,
u_{Ai} nejistota typu A i-té veličiny,
u_{Bi} nejistota typu B i-té veličiny.

Naměřené průměrné hodnoty se vyjádří se standardní kombinovanou nejistotou.

Rozšířená kombinovaná nejistota je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření k=2 , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%.

9.2. Šíření nejistot ve výpočtových vzorcích pro určení nejistoty nepřímo měřených veličin

Nechť nepřímo měřená veličina f je funkcí $f(x_1, x_2, x_2, …., x_p)$ hodnot přímo měřených nebo jinak stanovených veličin x_j , j= 1,2,, …., p. Jako naměřenou hodnotu (nejlepší odhad skutečné hodnoty) veličiny f vezmeme hodnotu funkce $f(x_j)$ v naměřených hodnotách x_{mj} veličin x_j :

$$f_m = f(x_{m1}, x_{m2}, ..., x_{mp})$$

K určení nejistoty veličiny f použijeme vztah

$$u_{bj} = \sqrt{\sum_{j=1}^{p} A_j^2 \cdot u_{bj}^2}$$

kde součinitele citlivosti A_j jsou nyní totožné s parciálními derivacemi $\frac{\partial f}{\partial x_j}$:

$$u_{bf} = \sqrt{\sum_{j=1}^{p} \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u_{bj}^2}$$

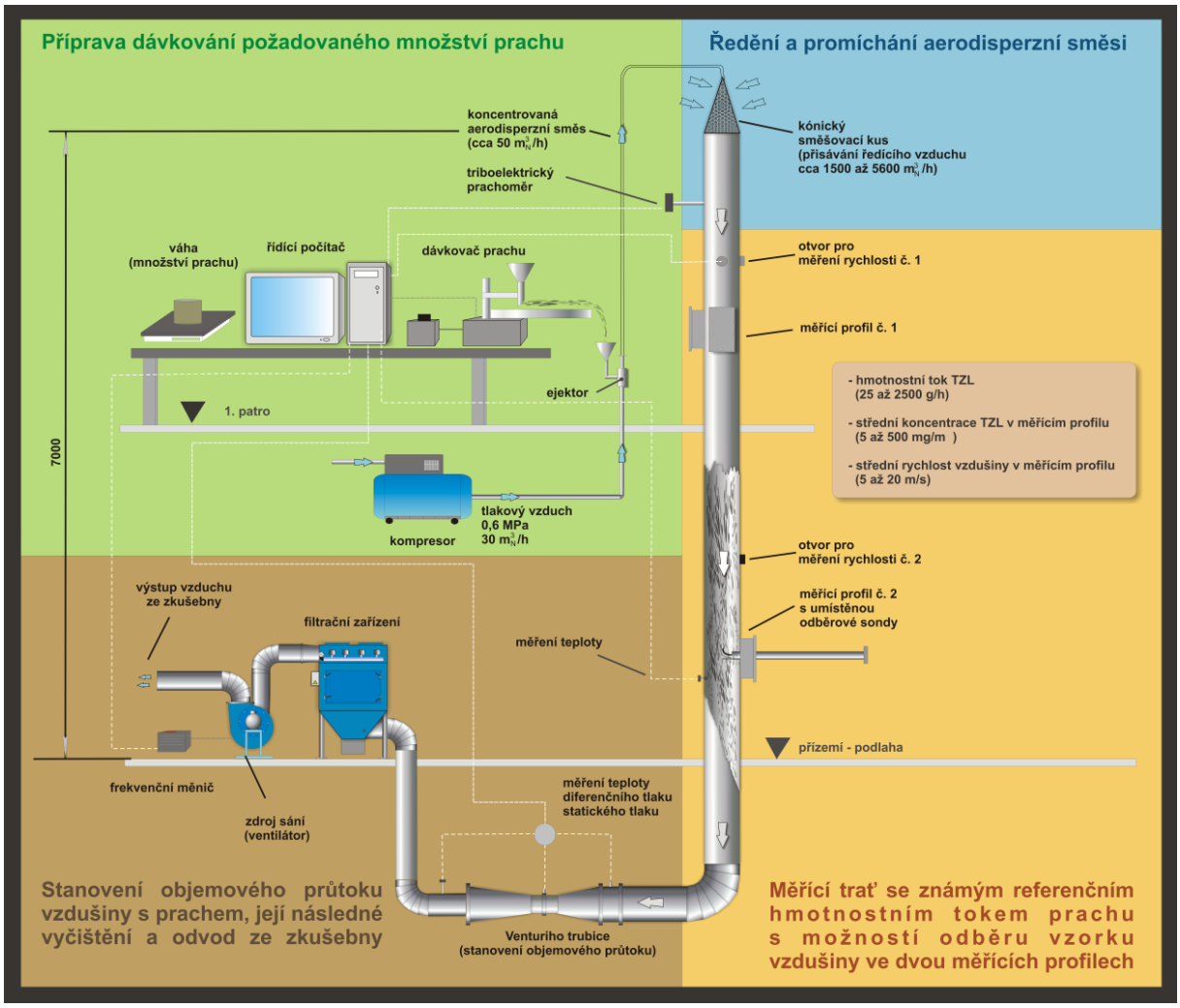
Všechny derivace vyhodnocujeme v bodě odpovídajícím naměřeným hodnotám x_{mj} veličin x_j.

Checklist P 01/1

Číslo checklistu			Měřicí skupina 1 - nahoře								
Datum			Měřicí skupina 2 - dole								
Teplota vzduchu okolí °C			Relativní vlhkost vzduchu okolí %								
kód odběru	teplota plynu	statický tlak	průtok vzdušiny	atmosferický tlak	prachoměr	doba dávkování prachu			hmotnost prachu před odběrem	hmotnost prachu po odběru	množství prachu
rrr_mm_dd_oo	°C	Pa	m^3_N/h	kPa	mA	od	do	délka	g	g	g

Seznam zařízení:	Poznámky k měření:
teplota plynu	
statický tlak	
atmosférický tlak	
venturiho trubice	
prandtlova sonda	
prachoměr	
měřicí karta	
váhy	
teplota okolí	
relativní vlhkost vzduchu	Kontrola váhy : g Čas kontroly:

obr. č. 9 Checklist P 01/1



obr. č. 10 Schéma prašné trati

10. Přílohy SOP

- Příloha č. 1 Pokyny pro účastníky měření na prašné trati (pokyny také popisují podobu a formu předání naměřených dat)
- Příloha č. 2 Karty pro měřicí skupiny (velmi stručný souhrn pokynů pro účastníky měření)
- Příloha č. 3 Výstupní formulář pro účastníka PZZ - Stanovení hmotnostního toku tuhých znečišťujících látek v proudící vzdušině
- Příloha č. 4 Zpráva č. 12/12 z přípravy prachu pro prašnou trať 2012
- Příloha č. 5 Zpráva č. 15/12 z validace výpočtů pro stanovení referenčních hodnot na prašné trati
- Příloha č. 6 Zpráva č. 19/12 z měření, které proběhlo v rámci witness auditu ČIA na prašné trati VEC
- Příloha č. 7 Zpráva č. 25/13 z přípravy prachu pro prašnou trať 2013