



Dávkování jemně mletého hydrogenuhličitanu sodného do spalin za účelem zachytu SO₂

Boleslav ZACH^{1,2,}, Michael POHOŘELÝ^{1,2}, Michal ŠYC¹, Lukáš KULAVIAK¹, Oleg SAMUSEVICH^{1,2}, Jaroslav MOŠKO^{1,2}, Karel SVOBODA¹, Miroslav PUNČOCHÁŘ¹*

¹ Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Rozvojová 1/135, 165 02 Praha 6 – Suchbátka

² Ústav energetiky, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6

* Email: zach@icpf.cas.cz

Příspěvek pojednává o problematice dávkování jemně mletého hydrogenuhličitanu sodného do spalin v laboratorním měřítku s ohledem na velikost částic a reologické vlastnosti dávkovaného materiálu. Následně je představen navržený dávkovací systém.

Klíčová slova: dávkování, hydrogenuhličitan sodný, jemně mletý, čištění spalin

1 Úvod

Pro účely testování vlivu parametrů na odstraňování polutantů ze spalin pomocí hydrogenuhličitanu sodného v laboratorním zařízení bylo nutno zvolit vhodný dávkovací systém umožňující dávkování NaHCO₃ namletého na jemnost kolem 10 μm. Malá velikost částic je nezbytná kvůli tvorbě filtračního koláče. V případě použití příliš velkých částic (nad 40 μm) by docházelo k usazování částic ve filtračním reaktoru a čištěné spaliny by nepřicházely s usazeným sorbentem do styku. Původně zamýšlený dávkovač založený na principu objemového dávkování pomocí komory o přesně definovaném objemu se ukázal být pro takto malé částice nepoužitelným. Bylo tedy nutno navrhnout systém jiný.

2 Vlastnosti mletého sorbentu

Prvním krokem pro volbu způsobu dávkování bylo stanovení vlastností dávkovaného materiálu. U takto jemně mletých materiálů sice lze určit vlastnosti, které udávají minimální průměr hrdla násypky a maximální sklon stěny násypky, aby materiál v násypce samovolně tekla a nedocházelo k tvorbě kleneb a dalším jevům omezujícím nebo zastavujícím tečení materiálu. Odhad chování v komplikovanějších systémech je však obtížný. V Tab. 1 jsou uvedeny vlastnosti jemně mletého hydrogenuhličitanu sodného. Podle těchto hodnot by pro samovolné tečení měla mít násypka průměr hrdla alespoň 95 cm a úhel náklonu stěn násypky (od svislé roviny) by měl být maximálně 16°. Vnitřní průměr spalinovodu, do kterého bylo sorbent potřeba dávkovat je ale 27 mm.

Z naměřených hodnot tedy vyplývá, že mletý NaHCO₃ má silné tendence k tvorbě kleneb a je tedy při dávkování (obzvláště v laboratorních podmínkách) třeba činit opatření, aby se tvorbě kleneb předešlo.



Pro zlepšení reologických vlastností sorbentu byl otestován přídavek malého množství stearátu hořečnatého a Aerosilu® (malých částic SiO₂). Přidávaná množství odpovídala 1-5 % (g/g). Ani jedna z variant ovšem nezlepšila reologické vlastnosti sorbentů dostatečně pro použití v malých laboratorních dávkovacích zařízeních. Bylo tedy nutno přistoupit k návrhu zařízení, které bude klenby rozrušovat mechanicky.

Tab. 1: Vlastnosti* mletého NaHCO₃

Název vzorku	α [°]	B [cm]	CBD [g/cm ³]	Komprese 1-15 kPa [%]	Permeabilita 1-15 kPa [*10 ⁻⁹ cm ²]	ff	ϕ_{eff} [°]	ϕ_x [°]	AE [mJ]
NaHCO ₃	16	95	0,78	13-38	13-1	1,2	50	26,3	1,8 GSC

* α – maximální úhel náklonu stěn násypky od svislé roviny (hopper half angle)

B – průměr ústí násypky (hopper outlet size)

CBD – standardizovaná sypná hustota měřená přístrojem FT4 (conditioned bulk density)

Komprese – změna objemu materiálů v závislosti na aplikovaném tlaku

ff – tekutostní funkce podle Jenikeho (flowability function/flow factor)

ϕ_{eff} – efektivní úhel vnitřního tření (effective angle of internal friction)

ϕ_x – úhel tření o stěnu (angle of wall friction)

AE – pokles energie aerace při průtoku 10 mm·s⁻¹ (aeration energy drop)

GSC – skupina C Geldartovy klasifikace fluidovatelných materiálů (Geldart's group C)

Permeabilita (k):

$$k = \frac{v \cdot \mu \cdot \Delta H}{\Delta p}$$

v – rychlost plynu [m·s⁻¹]

μ – dynamická viskozita [Pa·s]

ΔH – tloušťka materiálu [m]

Δp – pokles tlaku napříč materiálem [Pa]

3 Dávkovací zařízení

V případě pohyblivých dávkovacích systémů je těžké odhadnout, jak se takovýto materiál bude chovat. Proto je dobré, je-li možné způsob dávkování otestovat dříve, než je na jeho realizaci vynaloženo velké množství prostředků, ať už se jedná o finanční prostředky nebo čas strávený nad problémem.

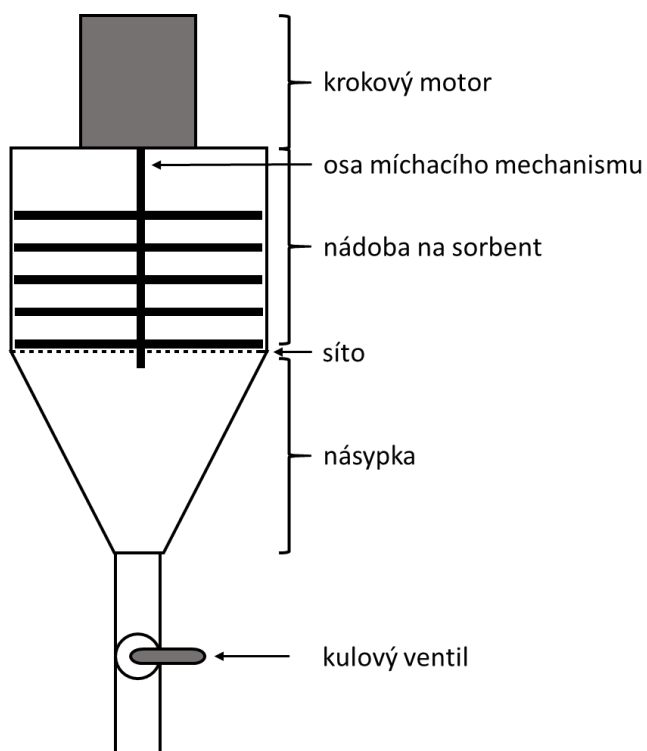
Účelem zařízení je dávkování sorbentu do proudu spalin a vzhledem k tomu, že se jedná o experimentální zařízení na testování čištění spalin, není vhodné používat pro dávkování nosný plyn a dávkovací systém musí být uzavřený.

Základem nového dávkovacího zařízení se stalo kuchyňské sítko, protože běžné slouží k dávkování srovnatelně velkých částic a jeho prvotní otestování nebylo časově ani finančně náročné.

Ke kuchyňskému sítku byl přidán krokový motor, pro ovládání míchacího mechanismu. Pod sítko byla zařazena skleněná násypka a kulový ventil. Násypka je v případě tohoto dávkovače neustále prázdná a slouží jen k usměrnění pádu částic. Ovládání krokového motoru je realizováno pomocí programu, který pracuje v prostředí LabVIEW. K automatické regulaci dávkování dochází na základě koncentrace SO₂ ve spalinách měřené analyzátozem Horiba PG-350. Schéma a obrázek dávkovacího systému jsou na Obr. 1 a Obr. 2. Dávkovací systém



je možné kdykoli během experimentu odpojit od zařízení a zvážit, čímž je možné docílit dobré hmotností bilance nadávkovaného sorbentu v jednotlivých fázích experimentu.



Obr. 1 Schéma dávkovacího zařízení

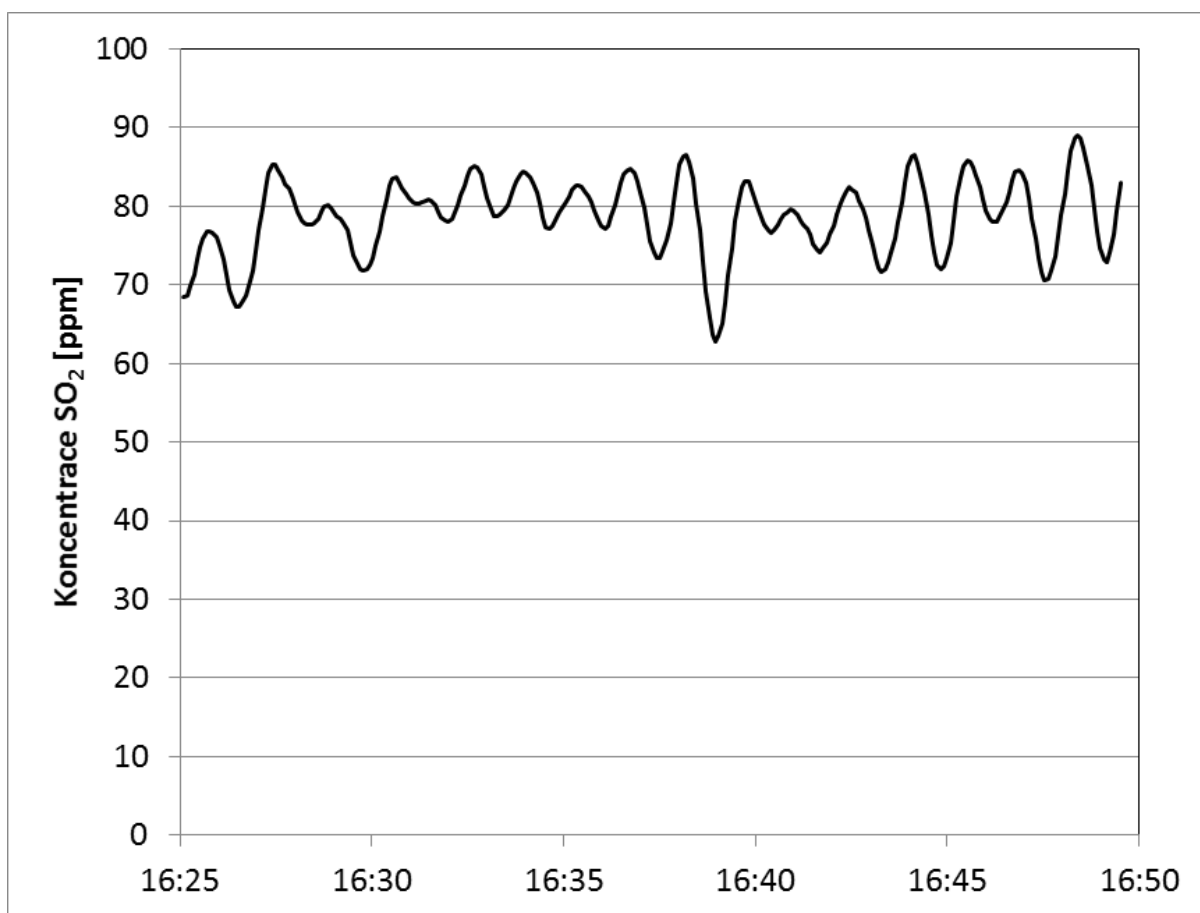


Obr. 2 Fotografie dávkovacího zařízení



4 Regulace

Regulování výsledné koncentrace SO_2 ve spalinách s dobrou stabilitou komplikuje relativně dlouhá doba odezvy, protože sorbent nezreaguje ihned po nadávkování a trvá několik vteřin, než se plyn dostane skrz sondu a úpravnu plynu do analyzátoru spalin. Protože experimentální zařízení pracuje s reálnými spalinami, je dalším faktorem, který znesnadňuje regulaci, kolísání koncentrace v původních spalinách. Nicméně i tak je možné dosahovat relativně stabilních hodnot. Jak hodnoty koncentrace SO_2 kolísají, závisí především na kolísání koncentrace SO_2 ve vstupujících spalinách. Na Obr. 3 je znázorněn průběh koncentrace SO_2 v čištěném plynu, kdy docházelo k relativně malému kolísání vstupní koncentrace SO_2 . I při větších výkyvech se ale průměr dosahovaných koncentrací SO_2 ve spalinách velmi blíží nastavené hodnotě, což je pro experimentální činnost klíčové.



Obr. 3 Záznam koncentrace SO_2 regulované na 80 ppm

Vzhledem k tomu, že v optimální regulační konstanty se pro ustálený stav a pro startování čištění spalin liší, bylo přistoupeno k manuálnímu náběhu čištění a automatické regulace je zapínána, až když je dosaženo blízkosti žádané koncentrace SO_2 ve spalinách.



5 Závěr

Hydrogenuhličitan sodný namletý na částice o velikosti 10 μm vykazuje špatné tokové vlastnosti. Vzhledem k těmto vlastnostem není možné očekávat samovolné tečení v násypce o velikosti použitelné pro laboratorní činnost. Pro experimentální testování čištění spalin bylo třeba dávkovat tento materiál do trubky o vnitřním průměru 27 mm z uzavřeného systému bez použití nosného plynu. Z toho důvodu byl navržen a sestrojen dávkovací systém, který dávkování takto jemných částic NaHCO_3 umožňuje. V tomto systému jsou klenby rozrušovány míchacím mechanismem. Dávkovací systém je možné kdykoli během experimentu odpojit od aparatury a zvážit, čímž je možné docílit dobré hmotností bilance nadávkovaného sorbentu v jednotlivých fázích experimentu. Dávkování je regulováno na základě koncentrace SO_2 ve spalinách měřené online analyzátozem spalin.

Poděkování

Práce vznikla v rámci Centra kompetence pro energetické využití odpadů (projekt TE02000236) s podporou Technologické agentury České republiky a byla spolufinancována z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum (MŠMT č. 20-SVV/2017).