



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

**Dávkování jemně mletého hydrogenuhličitanu sodného do spalin za účelem zachytu SO<sub>2</sub>.**

Zach, Boleslav  
2017

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-371567>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 20.03.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://nusl.cz).



## Dávkování jemně mletého hydrogenuhličitanu sodného do spalin za účelem záchytu SO<sub>2</sub>

*Boleslav ZACH<sup>1,2,\*</sup>, Michael POHOŘELÝ<sup>1,2</sup>, Michal ŠYC<sup>1</sup>, Lukáš KULAVIAK<sup>1</sup>, Oleg SAMUSEVICH<sup>1,2</sup>, Jaroslav MOŠKO<sup>1,2</sup>, Karel SVOBODA<sup>1</sup>, Miroslav PUNČOCHÁŘ<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> Ústav energetiky, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6

\* Email: zach@icpf.cas.cz

*Príspevek 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 NaHCO<sub>3</sub> 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 NaHCO<sub>3</sub> 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 SiO<sub>2</sub>). 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 NaHCO<sub>3</sub>

Název vzorku	$\alpha$ [°]	B [cm]	CBD [g/cm <sup>3</sup> ]	Komprese 1-15 kPa [%]	Permeabilita 1-15 kPa [ $\cdot 10^{-9}$ cm <sup>2</sup> ]	ff	$\phi_{eff}$ [°]	$\phi_x$ [°]	AE [mJ]
NaHCO <sub>3</sub>	16	95	0,78	13-38	13-1	1,2	50	26,3	1,8 GSC

\*  $\alpha$  – 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)

$\phi_{eff}$  – efektivní úhel vnitřního tření (effective angle of internal friction)

$\phi_x$  – úhel tření o stěnu (angle of wall friction)

AE – pokles energie aerace při průtoku 10 mm·s<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup>]

$\mu$  – dynamická viskozita [Pa·s]

$\Delta H$  – tloušťka materiálu [m]

$\Delta p$  – 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.

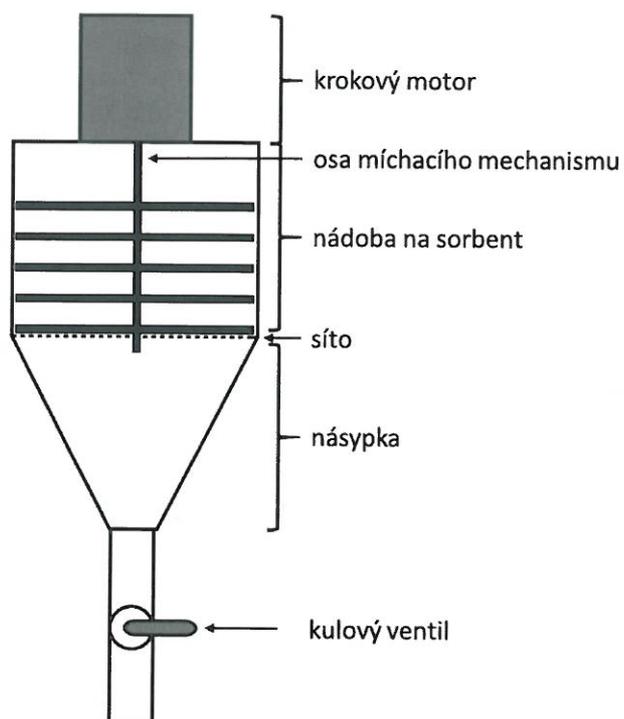
Účelem zařízení je dávkování sorbentu do proudu spalin a vzhledem k tomu, že se jedná o experimentální zařízení na testování čištění spalin, není vhodné používat pro dávkování nosný plyn a dávkovací systém musí být uzavřený.

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.

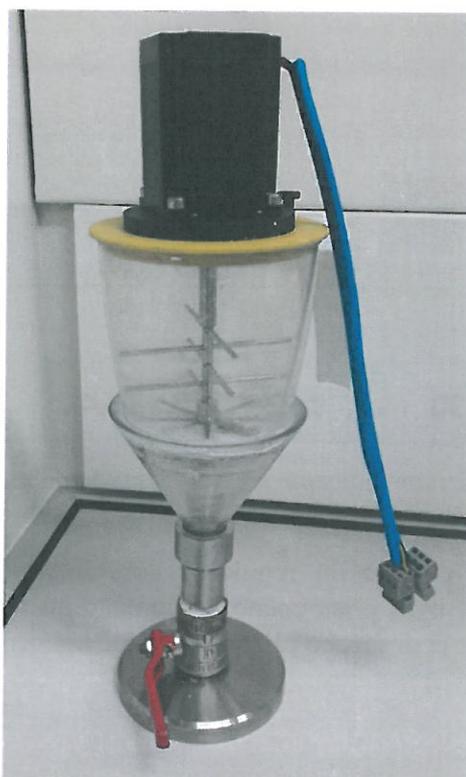
Ke kuchyňskému sítku byl přidán krokový motor, pro ovládání míchacího mechanismu. Pod sítko byla zařazena skleněná násypka a kulový ventil. Násypka je v případě tohoto dávkovače neustále prázdná a slouží jen k usměrnění pádu částic. Ovládání krokového motoru je realizováno pomocí programu, který pracuje v prostředí LabVIEW. K automatické regulaci dávkování dochází na základě koncentrace SO<sub>2</sub> 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

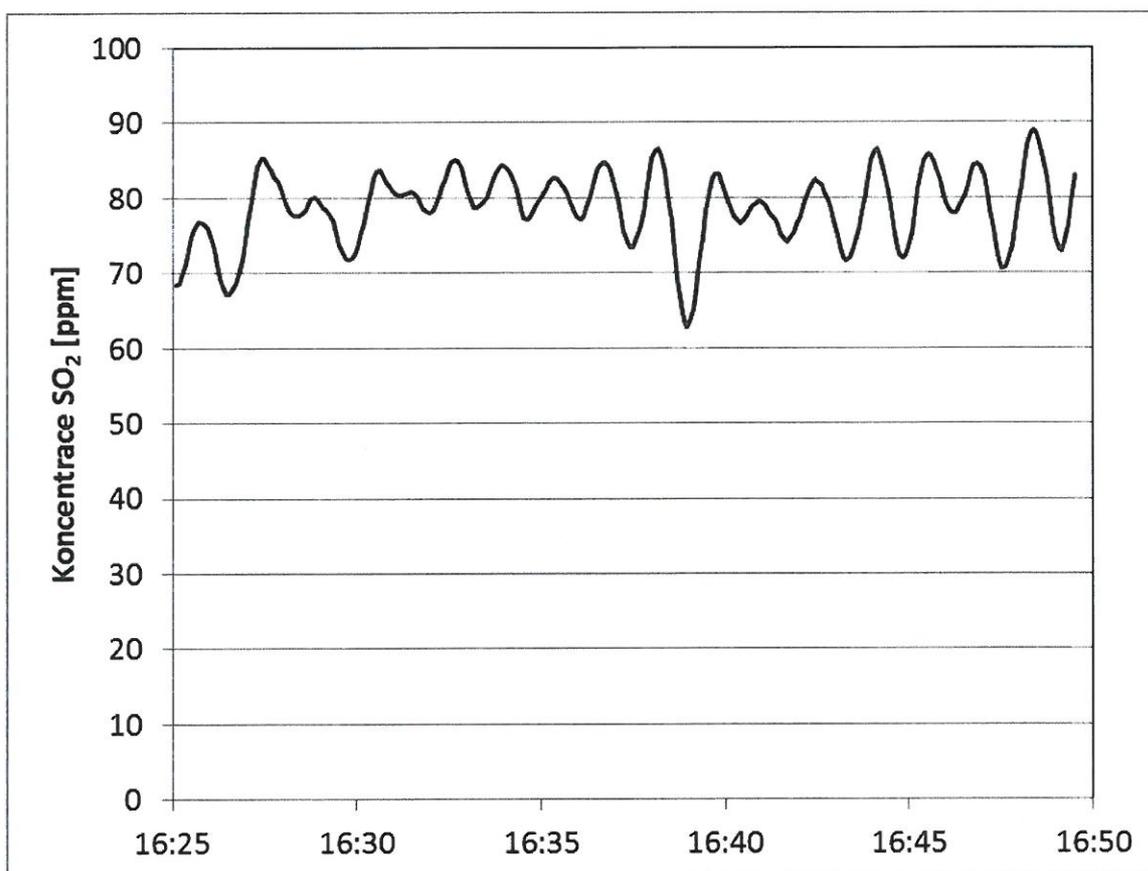


Obr. 2 Fotografie dávkovacího zařízení



## 4 Regulace

Regulování výsledné koncentrace  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  kolísají, závisí především na kolísání koncentrace  $\text{SO}_2$  ve vstupujících spalinách. Na Obr. 3 je znázorněn průběh koncentrace  $\text{SO}_2$  v čištěném plynu, kdy docházelo k relativně malému kolísání vstupní koncentrace  $\text{SO}_2$ . I při větších výkyvech se ale průměr dosahovaných koncentrací  $\text{SO}_2$  ve spalinách velmi blíží nastavené hodnotě, což je pro experimentální činnost klíčové.



Obr. 3 Záznam koncentrace  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  ve spalinách.



## 5 Závěr

Hydrogenuhlíčan sodný namletý na částice o velikosti 10  $\mu\text{m}$  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  $\text{NaHCO}_3$  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  $\text{SO}_2$  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).

