

KOMŮRKOVÝ SUVNÝ DÁVKOVAČ SYPKÝCH MATERIÁLŮ

MICHAEL POHOŘELÝ, KAREL SVOBODA
a MILOSLAV HARTMAN

Ústav chemických procesů, Akademie věd České republiky,
Rozvojová 135, 165 02 Praha 6
hartman@icpf.cas.cz

Došlo 18.7.03, přepracováno 28.1.04, přijato 16.2.04.

Klíčová slova: komůrkový surný dávkovač, dávkování
sypkých materiálů, fluidní reaktory

Úvod

Řízené dávkování sypkých materiálů představuje náročný technický problém. Příčiny častých mechanických potíží s touto operací tkví především ve složitostech toku jemně či hrubě zrnitých sypkých hmot. Chování těchto soustav je v porovnání s chováním newtonských tekutin nesrovnatelně komplikovanější. Široká variabilita vlastností částic zrnitých materiálů, vymezená např. velmi jemnými prášky kvalifikované chemie nebo farmacie a hrubými, širokodisperzními uhelnými palivy pro cirkulační fluidní kotle, vyžaduje diverzifikovaný přístup k veškerým manipulacím s látkami tohoto druhu.

K základním typům dávkovacích zařízení pro sypké hmoty patří dávkovače šnekové a dávkovače komůrkové (rotační nebo šoupátkové, surné). Oba typy jsou zařízeními objemovými, tzn., že na jednu otáčku šneku nebo jeden posun komůrky dodá zařízení jistý objem materiálu. Zatímco ze šnekového dávkovače vystupuje spojitý proud materiálu, dávkovač komůrkový poskytuje jednotlivé dávky s větší nebo menší frekvencí. Pro velmi nízké rychlosti dávkování částic ($5\text{--}100\text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$), jaké jsou obvykle potřebné u laboratorních fluidních reaktorů, nejsou šnekové dávkovače vhodné¹.

Na odsířování ve vysokoteplotní fluidní vrstvě^{2,3} se nám k dávkování vápence a vápna do reaktoru nejlépe osvědčil šoupátkový dávkovač. Jeho výhodnost je mj. také v tom, že zároveň umožňuje oddělit vnitřní prostor reaktoru od okolí. Při frekvencích dávek vápence větších než 2 min^{-1} se odsířovací reaktor choval jako reaktor s kontinuálním přívodem sorbentu. Snaha autorů nalézt praktické poznatky o komůrkových dávkovačích v literatuře nepřinesla žádané výsledky. Ani v podrobných přehledech o experimentálních metodách pro výzkum fluidizace^{4,5} nejsou tato užitečná zařízení zmiňována.

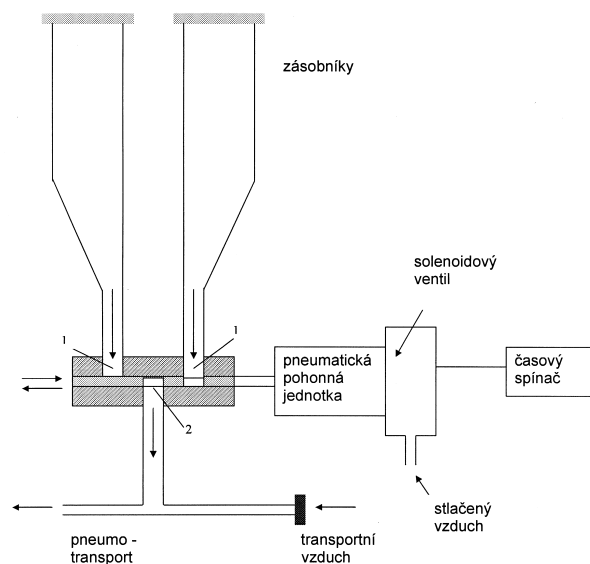
V této práci se blíže zabýváme takovými stránkami funkce komůrkového šoupátkového dávkovacího zařízení,

jako jsou reprodukovatelnost jednotlivých dávek a dlouhodobá pravidelnost a spolehlivost chodu aparátu. K experimentům byly také použity obtížně manipulovatelné, ale prakticky významné materiály, reprezentované vysušenými stabilizovanými čistírenskými kaly a dřevnou drtí. Spalování a zplyňování těchto obnovitelných energetických surovin ve fluidní vrstvě je předmětem dlouhodobého výzkumu naší laboratoře.

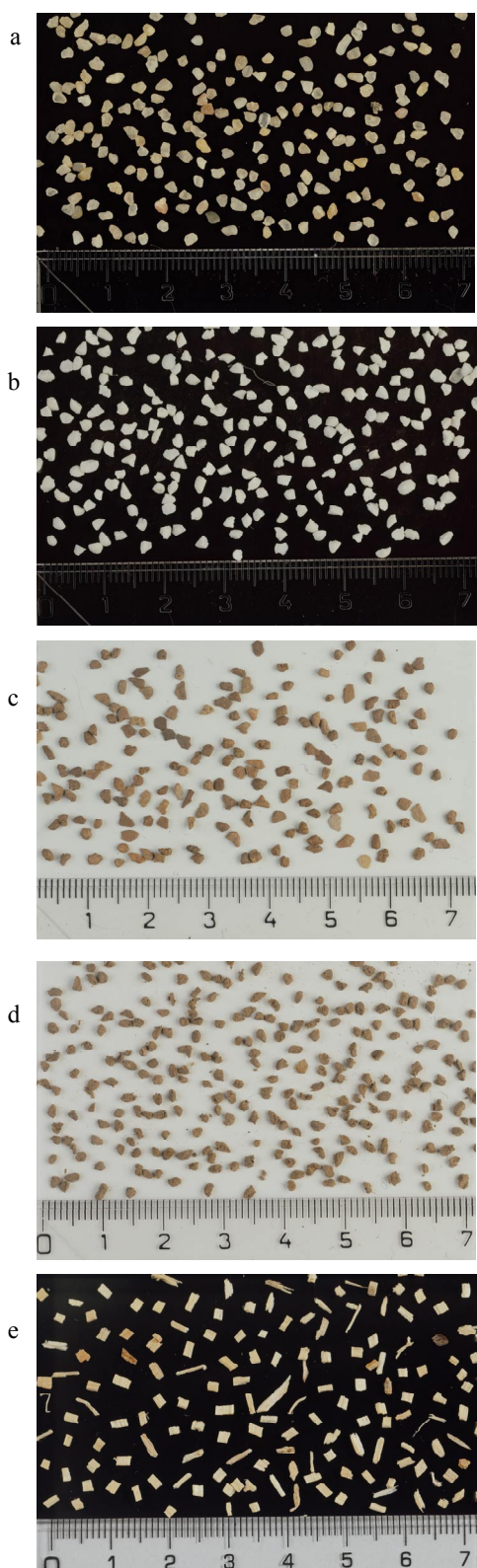
Experimentální část

Charakteristika surného komůrkového dávkovače

Surný (smykový) komůrkový dávkovač, znázorněný na obr. 1, využívá volného toku sypkých hmot vyvolaného gravitační silou. Dávkovaný zrnitý materiál (drcené palivo, mletý sorbent, nebo materiál cirkulující fluidní vrstvy) je uchovávan v přiměřeně velkém zásobníku (zásobnicích) vhodného tvaru. Přirozeným gravitačním tokem se materiál dostává ze zásobníku na horní, nehybnou destičku dávkovače. Prostřední, pohyblivá (surná) destička je opatřena jedním nebo dvěma cylindrickými otvory (komůrkami) o průměru d_h a výšce h a střídavě se pohybuje mezi přesně vymezenými pozicemi 1 a 2. V první pozici se komůrka (otvor) vyplní materiálem, který je poté přesunut do pozice druhé, kde s příslušným zrychlením padá svisle dolů a pneumotransportem se dále dostává na místo určení. Z několika testovaných materiálů se pro funkci surné destičky nejlépe osvědčil teflon. Dávkovač je na pneumatický pohon, jeho příkon se řídí tlakem a průtokem vzduchu odebíraného z rozvodné sítě.



Obr. 1. Schéma dvojitě surného komůrkového dávkovače poháněného vzduchem



Obr. 2. Snímky dávkovaných částic ($\bar{d}_p=1,5$ mm; zmenšeno 1,3 \times); a - křemenný písek; b - alumina; c - keramzit; d - vysušený stabilizovaný kal z městské čistírny odpadních vod; e - dřevná drť

Je zřejmé, že rychlost dávkování daného materiálu je určena objemem komůrky (otvoru) a frekvencí jejich střídavých posunů. Reprodukovatelnost jednotlivých dávek je podmíněna rovnoměrným plněním a vyprazdňováním komůrky. Tyto operace jsou závislé na tvarových a povrchových charakteristikách částic materiálu a na rozměrových relacích komůrka – částice. Dávkovací komůrky použité v práci byly cylindrického tvaru a měly rozměry ($d_h \times h$) 8 \times 8; 8 \times 10 a 10 \times 12 mm a objemy 402,1; 628,3 a 1131 mm³. Frekvence dávek činila 0,3663 s⁻¹ (tj. 1 dávka za 2,73 s). Tato hodnota je dostatečně konzervativní a neovlivňuje rovnoměrnost plnění ani vyprazdňování komůrky.

Materiály

Bylo použito dvou typů materiálů: 1. skupina zrnitých látek, které mohou vytvořit inertní vysokoteplotní vrstvu (písek, alumina a keramzit), 2. skupina sypkých materiálů obsahujících vysoké podíly hořlavých látek (stabilizované a vysušené kaly z velké čistírny městských odpadních vod a dřevná drť). Vzorky byly připraveny síťováním rozdrčené a vysušené suroviny. Dále uváděná střední velikost částic je aritmetickým průměrem velikosti ok sít, mezi kterými byla v normalizované řadě sítí frakce zachycena.

Kvantifikovatelné fyzikální charakteristiky použitých materiálů jsou uvedeny v tabulce I. Velikost částic se pohybovala od 0,315 do 1,60 mm, skutečná (skeletová, heliová) hustota částic byla v rozsahu 1420 (dřevěná drť) – 2530 (křemenný písek) g.l⁻¹ a mezerovitost nehybných vrstev výše zmíněných materiálů kolísala od 0,366 (alumina) do 0,582 (keramzit).

Jak je z obr. 2a a 2b zřejmé, jsou částice písku a aluminy oblé, rozměrově isotropní a tvarově homogenní. Povrchy částic – zejména u písku – jsou převážně hladké. Keramzitové částice na obr. 2c jsou už rozměrově isotropní méně a i tvarově jsou pestřejší (ostrohranné) než vzorky písku a aluminy. Svou podstatou je keramzit vypálené jílovité nadloží uhelných vrstev. Naše vzorky keramzitu byly připraveny z komerčního produktu jeho rozemletím, vyžiháním při 850 °C a následným síťováním. Na obr. 2c je patrný drsný povrch keramzitových částic i jejich nepravidelné tvary. Pro stabilizovaný a při 105 °C vysušený kal jsou charakteristická četná vlákna vystupující z povrchu jeho více či méně izometrických částic. Významná je též náchylnost kalových částic k otěru při jakékoli manipulaci. V dřevné drti na obr. 2e převažují pravouhlé hranolovité elementy s jistým podílem zcela nepravidelných štěpin. Charakteristický je též hrubý povrch veškerých dřevných částic.

Zásobníky a klenbování

Zásobníky na obr. 1 jsou vyrobeny z plexiskla. Je proto možné v nich vizuálně sledovat pohyb sypkých materiálů. Jak bylo očekáváno a experimenty dále prokázáno, intenzita i plynulost toku zrnitých hmot je silně ovlivňována tvarovými a povrchovými charakteristikami částic.

Zatímco tok částic písku, aluminy a keramzitu byl

Tabulka I
Fyzikální charakteristika použitých zrnitých materiálů

Parametr	1 Křemenný písek	2 Alumina	3 Keramzit	4 Keramzit	5 Vysušený kal	6 Dřevná drť
Velikost částic ^a , d_p , mm	0,315–0,500	0,315–0,500	0,315–0,500	1,40–1,60	1,40–1,60	1,40–1,60
Střední velikost částic, \bar{d}_p , mm	0,408	0,408	0,408	1,50	1,50	1,50
Sypná hustota, $g.l^{-1}$	1426	996	632	670	558	290
Zdánlivá hustota částic ^b , $g.l^{-1}$	2530	1572	1510	1470	1149	644
Skutečná hustota částic ^c , $g.l^{-1}$	2530	2202	2248	2248	2171	1421
Pórovitost částic	0	0,2861	0,3283	0,3461	0,4708	0,5468
Mezerovitost vrstvy	0,4364	0,3664	0,5815	0,5442	0,5144	0,5497

^aStanovena síťováním; ^bstanovena rtuťovou pykometrií; ^cstanovena heliovou pykometrií

v asymetrickém kónickém zásobníku zcela hladký, u kalů a dřevné drti se vždy a pravidelně vyskytoval jev označovaný jako klenbování. S téměř zákonitou pravidelností se klenba, vzniklá mechanickým pospojováním jednotlivých částic, tvořila v kónické části zásobníku (kaly) nebo v jeho cylindrické spodní části (dřevná drť). Protože šlo vždy o úzké frakce dobře vysušených materiálů, nevytvářely se klenby nepropustné. Rázy způsobené střídavými pohyby kluzné destičky s komůrkami stačily k tomu, aby klenbou procházelo množství materiálu dostačující k zaplnění dávkovací komůrky.

Pracovní postup

Reprodukovatelnost dávek byla testována tak, že bylo jednotlivě odebráno 20 po sobě jdoucích dávek. Každá dávka byla zvážena zvlášť na automatických analytických vahách s přesností $\pm 0,1$ mg. Dále uváděné střední a maximální hodnoty různých veličin byly určovány z tohoto souboru dat. Experimentálně byl vyšetřen vliv tvarových a povrchových charakteristik materiálu, daných jeho podstatou (druhem) a vliv poměru velikosti částic \bar{d}_p a průměru cylindrické komůrky d_h na reprodukovatelnost hmotnosti jednotlivých dávek.

Výsledky a diskuse

Je zřejmé, že rozdíly v hmotnosti jednotlivých dávek plynou z rozdílného vyplnění dávkovací komůrky (otvoru v suvné destičce) částicemi. O rovnoměrnosti takovéto vrstvy rozhodují především tvarové a povrchové charakteristiky dávkovaných částic (viz obr. 2a až 2e). Oblé a hladké částice písku na obr. 2a se blíží ideálnímu modelovému materiálu, jakými jsou např. skleněné kuličky (balotina). Naproti tomu hranaté tvary a hrubé povrchy částic dřevné drti (obr. 2e) naznačují výskyt nehomogenit v suvných i nehybných (nasypaných) vrstvách tohoto materiálu. Zmíněné charakteristiky částic jsou dány materiálem; způsobem přípravy je lze modifikovat jen do jisté míry. Z poznatků o mnohem větších systémech, jako jsou náplňové kolony nebo zkrápěné reaktory, plyne, že rovnoměrnost volně sypané nehybné vrstvy je také ovlivňována poměrem velikosti částic náplně a průměru zařízení.

Výsledky získané vážením souboru dvaceti jednotlivých, po sobě jdoucích dávek různých materiálů (křemenný písek, alumina, keramzit, vysušený stabilizovaný kal z čistírny odpadních vod a dřevná drť), jsou uvedeny v tabulce II. Průměrná hmotnost jedné dávky v komůrce o objemu $1,13 \text{ cm}^3$ se měnila od $0,078 \text{ g}$ (dřevná drť) do $1,34 \text{ g}$ (křemenný písek). Maximální odchylka hmotnosti jedné dávky od střední hodnoty široce kolísala od $0,23 \%$

Tabulka II

Reprodukovatelnost hmotnosti jednotlivých dávek různých sypkých materiálů^a

Materiál ^b	d_h/\bar{d}_p ^c	Střední hmotnost jedné dávky [g]	Rychlost dávkování [kg.h ⁻¹]	Maximální odchylka ^d od střední hodnoty [%]	Střední odchylka ^d [%]
1	29,4	1,3440	1785,5	0,441	0,246
2	29,4	0,9461	1257,5	0,226	0,135
3	29,4	0,5702	743,6	1,370	0,784
4	8,0	0,5751	752,6	4,36	1,900
5	8,0	0,2793	280,5	13,32	7,057
6	8,0	0,0781	119,7	31,59	15,055

^aData odpovídají souboru 20 po sobě jdoucích dávek. Objem cylindrické komůrky činil 1,131 cm³ (průměr $d_h = 12$ mm, výška $h = 10$ mm), frekvence dávek $f = 0,367$ s⁻¹; ^boznačení a fyzikální charakteristiky jednotlivých materiálů jsou uvedeny v tabulce I; ^cpoměr průměru cylindrické komůrky (d_h) ke střední velikosti částic (\bar{d}_p); ^djsou uváděny hodnoty odchylek v souboru 20 dávek bez ohledu na znaménko. Frekvence kladných a záporných odchylek jsou prakticky stejné

(alumina) do 31,6 % (dřevná drť). Krajiní meze absolutních hodnot středních odchylek činily 0,14 % (alumina) a 15,1 % (dřevná drť).

Z tabulky II je zjevné, že dávky aluminu a křemenného písku lze reprodukovat s velmi vysokou přesností. Přesnost dávek keramzitu je poněkud nižší; nicméně zůstává velmi dobrá u jeho jemnější frakce ($\bar{d}_p = 0,408$ mm). Větší částice keramzitu ($\bar{d}_p = 1,50$ mm) vykázaly výsledky horší a indikují nepříznivý vliv rostoucí velikosti částic.

Další citelné zhoršení reprodukovatelnosti dávek, zjevně související s jejich vláknitým („chlupatým“) povrchem, je vidět u kalových částic. Jak už bylo naznačeno výše, největší odchylky od střední hodnoty vykazují dávky

dřevné drti. Nepochybně jsou tyto nepravidelnosti v dávkování způsobeny hranolovitými tvary a hrubostí povrchu většiny jejích částic (obr. 2e). Dřevná drť je k tvorbě klenby v zásobníku ještě náchylnější než kalové částice. Vzniklá klenba ve vrstvě dřevných částic je stabilnější a méně propustná než je tomu u částic kalových.

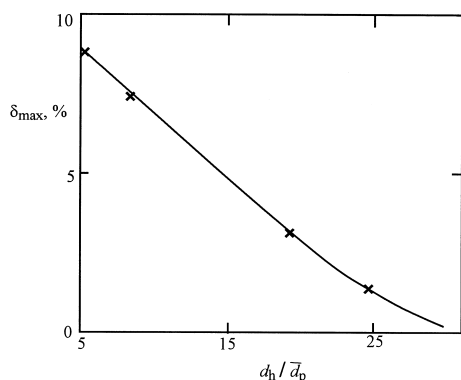
Jak je ilustrováno na částicích keramzitu v obr. 3, reprodukovatelnost dávek je významně ovlivňována poměrem průměru cylindrické komůrky d_h ke střední velikosti částic \bar{d}_p . Při praktických aplikacích by hodnota poměru d_h/\bar{d}_p neměla být menší než 15–20.

Závěr

Komůrkový dávkovač, vyvinutý pro kvazikontinuální dávkování zrnitých materiálů (inertní materiály vytvářející fluidní vrstvu nebo tuhé reaktanty uváděné do fluidních reaktorů), prokázal svou dlouhodobou provozní spolehlivost i dobrou reprodukovatelnost jednotlivých dávek.

Rozdíly v hmotnosti jednotlivých dávek jsou závislé hlavně na tvarových a povrchových charakteristikách dávkovaného materiálu. Nejlepší reprodukovatelnost byla zjištěna u izometrických, oblých a hladkých částic písku a aluminu. Vlákňité částice (vysušený kal) a hranolovité částice s hrubým povrchem (dřevná drť) vykazovaly rozdíly v hmotnosti jednotlivých dávek největší.

K minimalizaci nepravidelností při plnění a vyprazdňování cylindrických komůrek je žádoucí, aby poměr průměru komůrky ke střední velikosti částic byl větší než 15–20.



Obr. 3. Závislost absolutní hodnoty maximální odchylky hmotnosti jedné dávky δ_{max} od střední hodnoty na poměru průměru cylindrické komůrky d_h a střední velikosti částic \bar{d}_p pro částice keramzitu

Tato studie vznikla při řešení grantových projektů 203/02/0002 (GA ČR) a A 4072201 (GA AV ČR).

LITERATURA

1. Bell T. A., Couch S. W., Krieger T. L., Feise H. J.: Chem. Eng. Prog. 99, No. 2, 44 (2003).
2. Hartman M., Svoboda K., Trnka O.: Ind. Eng. Chem. Res. 30, 1855 (1991).
3. Hartman M., Trnka O.: AIChE J. 39, 615 (1993).
4. Yates J. G., Simons S. J. P.: Int. J. Multiphase Flow 20, Suppl., 297 (1994).

5. Werther J.: Powder Technol. 102, 15 (1999).

M. Pohořelý, K. Svoboda, and M. Hartman
(*Institute of Chemical Process Fundamentals, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague*): **A Chest Slide Feeder for Particulate Solids**

Results of extensive experiments with a laboratory slide feeder are presented. Various particulate materials such as sand, alumina, ceramsite, dried sewage sludge, and shredded wood were used in testing the device for reproducibility of single doses and general reliability.

ZPRÁVY

Co spojuje mezinárodní veletrh Svět knihy a fyzikální chemii?

„Dámy a pánové, milí přátelé, přátelé literatury a dobrých knih...“, tato slova zazněla v pátek 7. května 2004 v přeplněném Literárním sále 10. mezinárodního veletrhu Svět knihy. Na těchto slovech není nic neobyčejného, navíc v prostředí, kde kniha a literatura jsou po 4 dny hlavním tématem. Co vás však možná překvapuje, proč se tato informace objevuje v Chemických listech a ne v literárním měsíčníku. Důvod je prostý. Těmito slovy totiž zahájil televizní moderátor Václav Žmolík fyzikálně-chemické dopoledne završené křtem a autogramiádou knížky autorů Ivony Malijeuské, Anatola Malijeuského a Josefa Nováka – *Záhady, klíče zajímavosti očima fyzikální chemie*, obohacené vtipnými ilustracemi organického chemika Jana Budky, vydané vydavatelstvím Vysoké školy chemicko-technologické v Praze.

Věřím, že mi autoři knížky odpustí, že se nebudu věnovat rozboru jejich díla, koneckonců mi to ani nepřísluší – to je úkol pro recenzenta. Dovolte mi však, abych se na tomto místě s vámi podělila o atmosféru, která během pátečního dopoledne panovala.

Všichni zúčastnění jsme pocítovali jistou obavu a lehkou nervozitu. Nestává se příliš často, aby odborná knížka, byť napsaná popularizujícím stylem, byla s takovou vážností uváděna do světa knih, navíc před publikem, jehož převážnou většinu tvořili středoškolští studenti. Po úvodních slovech moderátora se naše obavy rychle rozptýlily.

Dopoledne se neslo v duchu zvědavých otázek, typu „Jsou molekuly rychlejší než auta Formule 1?“ „Jak rychle lze hubnout?“ „Dělá se nepořádek sám?“ ..., na které stu-

denti posílali ještě před zahájením veletrhu své písemné odpovědi. Otázek, zajímavých nejen pro odbornou, ale i laickou veřejnost, jejichž řešení můžete najít právě v nově vydané knížce. Stejně otázky pak byly moderátorem pokládány i přítomným studentům. Vážnosti celé akce dodala i přítomnost rektora VŠCHT Praha, prof. Růžičky, který hodnotil nejlepší odpověď z publika. Odbornou porotu tvořili autoři, kteří jednotlivé odpovědi uváděli na pravou míru. Svého úkolu se zhostili s takovou lehkostí a vtipem, že se postupně všichni středoškoláci nechávali vtáhnout do hry.

Až do křtu knížky a vyhlášení jmen studentů nejlepších odpovědí jsem měla možnost celé dění sledovat jako divák. Byla jsem okouzlena skvělou atmosférou, spontánním vystupováním studentů, jejich znalostmi i velkým zájmem. Opět jsem se ubezpečila, že má smysl takovéto knížky vydávat. Doufám, že se tato publikace stane inspirací k popularizaci dalších přírodovědných a technických oborů.

Po dvou hodinách báječné zábavy i poučení byla knížka přivítána do světa knih. Křtu se ujal příjemně neformálním způsobem přítomný rektor VŠCHT Praha. Poté následovala autogramiáda, která již probíhala přímo na stánku Vydavatelů vysokých škol, kde se vydavatelství VŠCHT Praha prezentovalo svou knižní produkcí v tištěné podobě a představilo svůj nový program v oblasti elektronického publikování včetně praktických ukázek

Závěrem mi dovolte poděkovat všem těm, kteří se na vydání knížky podíleli i všem, kteří toto příjemné dopoledne organizačně zajistili.

Pro zájemce, kteří se s knihou i s produkcí vydavatelství chtějí blíže seznámit, přidávám adresu: www.vscht.cz/vydavatelstvi

Eva Dibuszová