

# Proces sušenia keramického granulátu a aplikácia matematického modelu sušiarne

Článok hovorí o technológii výroby keramického granulátu, ktorý sa ďalej využíva na výrobu keramických obkladov. Sušenie je veľmi rozšírený technologický proces, ktorý sa uplatňuje takmer v každom priemyselnom odvetví. Jedným z nich je aj keramický priemysel. Vlhkosť granulátu je jedným z hlavných parametrov ovplyvňujúcich jeho kvalitu. V článku sú uvedené namerané hodnoty vlhkosti granulátu a spalín. Cieľom meraní by malo byť nájdenie vzájomnej závislosti vstupných parametrov od vlhkosti keramického granulátu.

## Úvod

Výroba keramického granulátu pozostáva z prípravy emulzie, sušenia a odlučovania granulátu od sušiacieho plynu. Hlavnou časťou je sušenie. Táto časť procesu využíva veľké množstvo tepla získaného spaľovaním. Teplo sa privádza od ohrievacieho zariadenia do sušiackej komory. Takto vyrobené teplo sa využíva na sušenie emulzie, z ktorej sa počas procesu odoberá vlhkosť. Vlhkosť je jedným zo základných parametrov, ktoré najviac vplyvajú na kvalitu vyrobeného materiálu. Sušiarenský plyn, ktorý prúdi zo sušiarne, obsahuje zvyšky vysušeného granulátu. Táto „zmes“ prúdi systémom cyklónov, kde sa zvyšný granulát odlučuje a plyn prúdi do komínového systému. Matematický model sušiarne, na ktorom boli vykonané experimentálne merania, opisuje a definuje rovnicu bilancie, z ktorej sa vyjadri hľadaná závislosť. Na základe týchto zistení sa navrhol systém riadenia a kontroly procesu sušenia. Na obr. 1 je schéma výroby keramického granulátu.

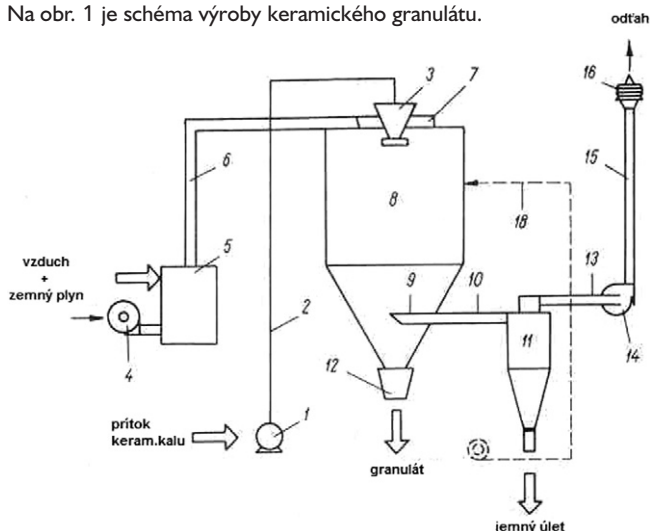
## 1. Matematický model sušiarne

Úlohou matematického modelu sušiarne je teoreticky opísať vstupujúce a vystupujúce veličiny, nájsť vzťahy medzi nimi a odvodiť hľadanú závislosť vlhkosti granulátu od vlhkosti sušiacieho plynu na výstupe zo sušiarne. Zároveň tento matematický model umožňuje teoreticky opísať, aké sú závislosti vystupujúcich veličín a ako vplyvajú na vstupné parametre. Pri tvorbe matematického modelu sušiarne sa vychádzalo z energetickej a materiállovej bilancie vstupujúcich a vystupujúcich veličín zo sušenia. Vzhľadom na rozsah spracovania problematiky sa uvažovalo s tzv. teoretickou sušiarňou. Pri tomto type sušiarne sa neuvažuje s tepelnými a materiálovými stratami. Predpokladalo sa, že entalpia sušiarenského plynu bola na vstupe a výstupe zo sušiarne rovnaká. Z rovnice bilancie sa vyjadri hľadaná závislosť, ktorá má tvar [1]:

$$u_2 = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot t_{s2}}{\dot{m}_{sp} \cdot [c_{pv} \cdot t_1 + Y_1 \cdot (r_0 + c_{pp} \cdot t_1)] - \dot{m}_{sp} \cdot [c_{pv} \cdot t_2 + Y_2 \cdot (r_0 + c_{pp} \cdot t_2)] + \dot{m}_s \cdot u_1 \cdot c_{v1} \cdot t_{v1} + \dot{m}_s \cdot c_{s1} \cdot t_{s2}} \quad (1)$$

popis rovnice:

$\dot{m}_{sp}$	– hmotnostný tok sušiacieho plynu prechádzajúceho sušiarňou	[kg.s <sup>-1</sup> ]
$i_0$	– entalpia vzduchu vstupujúceho do ohrievacieho zariadenia	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$t_0$	– teplota vzduchu vstupujúceho do ohrievacieho zariadenia	[°C]
$Y_0$	– absolútna vlhkosť vzduchu vstupujúceho do ohrievacieho zariadenia	[kg.kg <sup>-1</sup> ]
$i_1$	– entalpia sušiacieho plynu vstupujúceho do sušiarne	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$t_1$	– teplota sušiacieho plynu vstupujúceho do sušiarne	[°C]
$Y_1$	– absolútna vlhkosť sušiacieho plynu vstupujúceho do sušiarne	[kg.kg <sup>-1</sup> ]
$i_2$	– entalpia sušiacieho plynu vystupujúceho zo sušiarne	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$t_2$	– teplota sušiacieho plynu vystupujúceho zo sušiarne	[°C]
$Y_2$	– absolútna vlhkosť sušiacieho plynu vystupujúceho zo sušiarne	[kg.kg <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_s$	– hmotnostný tok suchého materiálu (sušiny) sušiarňou	[kg.s <sup>-1</sup> ]
$u_1$	– merná vlhkosť materiálu na vstupe do sušiarne	[kg.kg <sup>-1</sup> ]
$u_2$	– merná vlhkosť materiálu pri výstupe zo sušiarne	[kg.kg <sup>-1</sup> ]
$t_{s1}$	– teplota sušiny pri vstupe do sušiarne	[°C]
$t_{s2}$	– teplota sušiny pri výstupe zo sušiarne	[°C]
$t_{v1}$	– teplota vody pri vstupe do sušiarne	[°C]



- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1 – čerpadlo   | 9 – odsávanie             |
| 2 – prítok emulzie                                     | 10 – potrubie             |
| 3 – dýza   | 11 – cyklón               |
| 4 – ventilátor   | 12 – chladič              |
| 5 – spaľovacia komora                                  | 13 – odsávanie            |
| 6 – potrubie na prívod zmesi horúceho vzduchu a spalín | 14 – ventilátor odsávania |
| 7 – prívod horúcej zmesi                               | 15 – potrubie odsávania   |
| 8 – sušiarenská komora                                 | 16 – kryt                 |

Obr.1 Schéma rozprašovacej sušiarne [1]

$c_{s1}$  – špecifická tepelná kapacita sušiny na vstupe [ $].\text{kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ]  
 $c_{s2}$  – špecifická tepelná kapacita sušiny na výstupe [ $].\text{kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ]  
 $c_v$  – špecifická tepelná kapacita vody [ $].\text{kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ]

## 2. Experimentálna časť

Experimentálne merania boli realizované vo firme Ceramtec, s. r. o. Táto firma je dcérskou spoločnosťou nemeckej firmy Hoechst CeramTec AG a sídli v Českej republike v meste Šumperk. Táto časť pozostávala s prípravy merania, merania vybraných parametrov a vyhodnotenia. Sušenie prebiehalo v rozprašovacej sušiarňi Škoda 100F. Emulzia obsahovala 1 070 kg sušiny a 880 kg vody. Sušením sa získalo 861 kg granulátu. V prvej etape prípravy boli vytýpané merané veličiny a zvolené meracie miesta. Následne sa vymedzil časový plán meraní. Počas merania sa sledovala teplota a absolútna vlhkosť sušiacieho plynu na výstupe a vlhkosť vysušeného granulátu. Všetky hodnoty boli zaznamenané do tabuliek. Sušenie trvalo desať hodín. Použili sa meracie prístroje vlhkomer TESTO 645 na meranie vlhkosti sušiacieho plynu, analyzátor vlhkosti Sartorius MA 50, digitálna váha BP 8100 na meranie hmotnosti granulátu, teplomer GRYF 209 L na meranie teploty granulátu.

$\varphi_2$ [%]	$t_2$ [°C]	$Y_2$ [ $\text{kg}.\text{kg}^{-1}$ ]
15,76	85,79	63,47

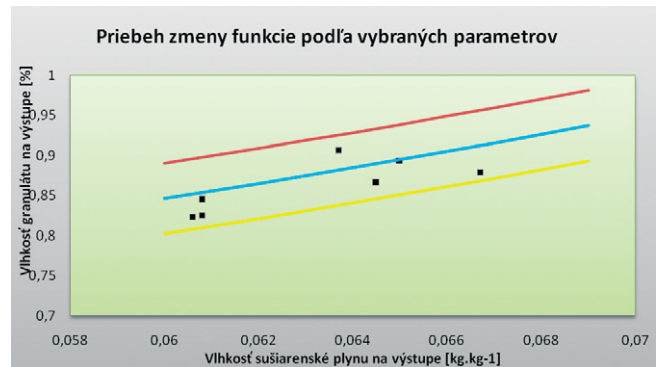
**Tab.1 Priemerné hodnoty namerané meracím prístrojom TESTO 645**

P č	čas	vlhkosť gran. [%]	teplota gran. [°C]	teplota suš. plynu na výstupe [°C]	vlhkosť suš. plynu na výstupe [g/kg]
1	9 : 10	0,825	35	86,50	60,80
2	9 : 21	0,845	35	85,80	60,80
3	9 : 34	0,823	35	86,30	60,60
4	9 : 44	0,772	35	86,40	61,70
5	10 : 07	0,907	35	86,30	63,70
6	10 : 18	0,866	35	85,60	64,50
7	10 : 27	0,894	35	85,00	65,00
8	10 : 36	0,879	35	85,30	66,70

**Tab.2 Namerané hodnoty vlhkosti granulátu, teploty a vlhkosti sušiacieho plynu na výstupe pri danom čase**

## 3. Vyhodnotenie

Cieľom tohto článku bolo opísať overenie matematického modelu sušiarne na danej technológii. Na základe nameraných a určených hodnôt bola vyjadrená závislosť mernej vlhkosti granulátu po vysušení od vlhkosti sušiacieho plynu na výstupe. Táto závislosť je vyjadrená vzťahom (1) a znázornená v grafe na obr. 2. Hmotnostný tok sušiacieho plynu na vstupe a výstupe  $\dot{m}_{sp}$  sa určil z množstva spáleného plynu a z výpočtu hmotnostného spalovania. Absolútna vlhkosť  $Y_2$  a teplota  $t_2$  sušiacieho plynu na výstupe sa zistili meraním a vlhkosť sušiacieho plynu na vstupe  $Y_1$  sa zistila s diagramu i-Y. Teplota sušiacieho plynu  $t_1$  bola zvolená a nameraná na mieste sušenia. Hmotnostný tok sušiny  $\dot{m}_s$  a vody  $\dot{m}_{v1}$  na vstupe sa určil na základe vstupných hodnôt zo sušenia a času trvania sušenia. Hmotnostný tok sušiny na výstupe sa stanovil vážením vysušeného množstva granulátu za určitý čas. Hmotnostný tok



**Obr.2 Priebeh zmeny funkcie podľa vybraných parametrov**

zostatkovej vlhkosti  $\dot{m}_{v2}$  sa určil zo zistenia vlhkosti vo vysušenom granuláte a z hmotnostného toku sušiny na výstupe. Merná vlhkosť na vstupe do sušiarne  $u_1$  sa určila z podielu hmotnosti vlhkosti a celkovej hmotnosti emulzie (voda + sušina). Tepelná kapacita sušiny na vstupe a výstupe sa určila na základe podobných materiálov, pretože nebolo možné zistiť presnú hodnotu.

## Záver

Uvedené merania preukázali, že vlhkosť sušiacieho plynu na výstupe zo sušiarne je v korelácii s vlhkosťou granulátu. Uvedená korelácia je pomerne dobre opísaná vzťahom (1) získaným z matematického modelu sušiarne. Vykonané experimenty poukázali na možnosť využitia kontinuálneho merania vlhkosti sušiacieho plynu na výstupe zo sušiarne na kontrolu vlhkosti granulátu, prípadne na riadenie procesu sušenia.

## Literatúra

- [1] ORLOVSKÝ, I.: Identifikácia tepelných javov v technologických procesoch. Doktorandská práca, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, Prešov 2008.
- [2] BROOK, R. J. (ed.): Processing of Ceramics I, II. Volume 17 A, B of Materials Science and Technology (R. W. Cahn, P. Haasen, E. J. Kramer, series eds.) VCH Weinheim 1996.
- [3] HÁBER, J.: Strojní sušení. Praha: STNL 1956, 336 s.
- [4] ORLOVSKÝ, I., SKOK, P.: Vplyv procesu sušenia na kvalitu keramického granulátu. In: Acta Mechanica Slovaca 2008, ISSN 1335-2393, s. 331 – 334.
- [5] KOSSACZKÝ, E., SUROVÝ, J.: Chemické inžinierstvo I. Praha: SNTL 1963

**Ing. Imrich Orlovský, PhD.**

62

Technická univerzita v Košiciach  
 Fakulta výrobných technológií TU Košice so sídlom v Prešove  
 Katedra výrobných technológií  
 Štúrova 31, 080 01 Prešov  
 e-mail: imrich.orlovsky@tuke.sk