

# Hygroskopické vlastnosti sušenej toruly

A. SEPITKA

---

Aby sme správne pochopili mechanizmus procesu sušenia, vybrali vedecky opodstatnený režim sušenia a správne podmienky skladovania vysušeného produktu, musíme poznať hygroskopické vlastnosti týchto materiálov a taktiež určiť formy väzby vlhkosti s materiálom. Pre posúdenie hygroskopických vlastností materiálu najčastejšie sa stanovujú rovnovážne krivky vlhkosti (izothermy sorpcie) a dynamika sorpcie vlhkosti materiálom.

Každá kapilárna pórovitá koloidná látka sa snaží dosiahnuť rovnovážnu vlhkosť, ktorá je pre danú látku typická a odpovedá atmosferickým pomerom. Rovnovážna vlhkosť, ktorá je limitným prípadom stavu termodynamickej a molekulárnej rovnováhy, keď teplota látky je rovná teplote okolitého vzduchu a tlak pary vody v látke so rovná parciálnemu tlaku vodnej pary vo vzduchu, závisí vždy od vlastností látky, od relatívnej vlhkosti vzduchu a od panujúcej teploty. Praktické pokusy ukázali, že pri väčšine látok rovnovážna vlhkosť nezávisí od teploty, ale závisí iba od relatívnej vlhkosti vzduchu.

Rovnovážne vlhkosti ako aj dynamika sorpcie vlhkosti rôznymi potravinami sa intenzívne študujú. Hodnoty rovnovážnych vlhkostí slúžia pri výpočtoch procesu sušenia zahriatym vzduchom a tak isto slúžia pre stanovenie konečného obsahu vlhkosti materiálu pri sušení s prihliadnutím na podmienky skladovania. Konečná vlhkosť materiálu po sušení nemá byť menšia ako rovnovážna vlhkosť podľa podmienok skladovania, lebo inakšie bude materiál pohlcovať vlhkosť zo vzduchu.

Z dôvodu správneho nastavenia konečnej sušiny pri sušení toruly stanovili sme rovnovážne krivky vlhkosti a dynamiku sorpcie sušenej toruly.

## Metodika a materiál

Ako materiál pre stanovenie hygroskopických vlastností sušenej toruly použili sme sušenú torulu z výrobní toruly v Trenčíne a Leopoldove. Vlastnosti použitej sušenej toruly sú uvedené v tabuľke 1.

Rovnovážnu vlhkosť ako aj dynamiku sorpcie vlhkosti sušenou torulou sme stanovili pri teplote 25 °C gravimetrickou metódou. Vzorka toruly sa vystavila pôsobeniu prostredia o definovanej relatívnej vlhkosti vzduchu. Dynamika adsorpcie a desorpcie sa určovala podľa zmeny hmoty vzorky toruly.

Vážili sme prvých 5 dní každý deň, druhých 6 dní obdeň, potom po 4. dňoch a neskôr týždenne. Po dosiahnutí rovnovážneho stavu vzorky toruly sme stanovili rovnovážnu vlhkosť vzorky, ktorú sme vyjadrili na hmotu vzorky.

T a b. 1. Vlastnosti sušenej toruly

Torula	Trenčín	Leopoldov
Surovina	melasa + drożdžiarské výpalky	melasa + liehovarské výpalky + odpady z výroby kys. citrónovej
Zloženie toruly: sušina, %	98,5	92,1
popol, % v suš.	8,3	11,2
bielkoviny, % v suš.	40,9	48,3

T a b. 2. Tlak pár a relatívna vlhkosť vzduchu nad nasýtenými roztokmi solí

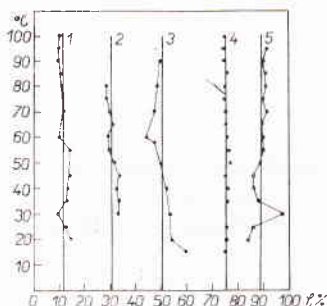
Teplota °C	LiCl		MgCl <sub>2</sub>		MnCl <sub>2</sub>		NaCl		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	p, torr	φ, %	p, torr	φ, %	p, torr	φ, %	p, torr	φ, %	p, torr	φ, %
15,5					7,85	59,4	9,9	74,9		
20	2,60	14,8			9,45	53,9	13,2	75,2	14,7	83,8
25	2,91	12,2					17,9	75,3	20,4	85,8
30	2,89	9,4	10,5	33,0	17,02	53,5	26,0	81,7	31,0	97,4
35	5,32	12,6	14,0	33,2			32,0	75,9	37,0	87,7
40	7,26	13,1	18,0	32,5	28,67	51,8	42,0	75,9	47,5	85,9
45	9,82	13,7	24,0	33,4			54,0	75,1	61,5	85,6
50			29,0	31,3	46,29	50,0	71,0	76,7	82,0	88,6
54,8	16,7	14,3								
55			35,0	29,7			90,0	76,3	106,0	89,8
57,8					62,9	46,7				
60	14,9	10,0	43,0	28,8	64,8	43,4	113,0	75,6	134,0	89,7
65			58,0	30,9			141,0	75,2	186,0	89,6
70	26,6	11,4	69,0	29,5	110,2	47,2	175,0	74,9	213,0	91,1
75			82,0	28,4			216,0	74,7	260,0	89,9
80	37,9	10,7	102,0	28,7	172,1	48,5	266,0	74,9	322,0	90,7
85	46,0	10,6					327,0	75,4	392,0	90,4
90	51,2	9,7			262,0	49,8	392,0	74,6	473,0	90,0
95	62,2	9,8					471,0	74,3	576,0	90,9
100	76,3	10,0					566,0	74,5		
105							675,0	74,6		
Priemer	11,6 ± 0,5		30,9 ± 0,7		50,4 ± 1,4		75,6 ± 0,2		89,2 ± 0,7	

Konštantnú relatívnu vlhkosť vzduchu v uzavretom prostredí sme udržiavali nasýtenými roztokmi solí:  $\text{LiCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Parciálne tlaky vodných pár nad uvedenými nasýtenými roztokmi solí pri rôznych teplotách sme zobrali z niektorých literárnych prameňov (1, 2, 3). Príslušné relatívne vlhkosti vzduchu ( $\varphi$ ) sme počítali podľa známeho vzťahu

$$\varphi = \frac{p \cdot 100}{p'}$$

pričom  $p$  = parciálny tlak nad roztokom soli pri teplote  $t$ ,  
 $p'$  = parciálny tlak nad vodou pri tej istej teplote  $t$ .

Výsledky sme zhrnuli do prehľadnej tabuľky 2, kde sú uvedené aj priemerné hodnoty relatívnej vlhkosti a im príslúchajúce stredné chyby priemeru. Z tabuľky 2 vidno, že relatívna vlhkosť vzduchu nad uvedenými nasýtenými roztokmi soli sa mení veľmi málo s teplotou. Zmeny môžu byť dané aj experi-



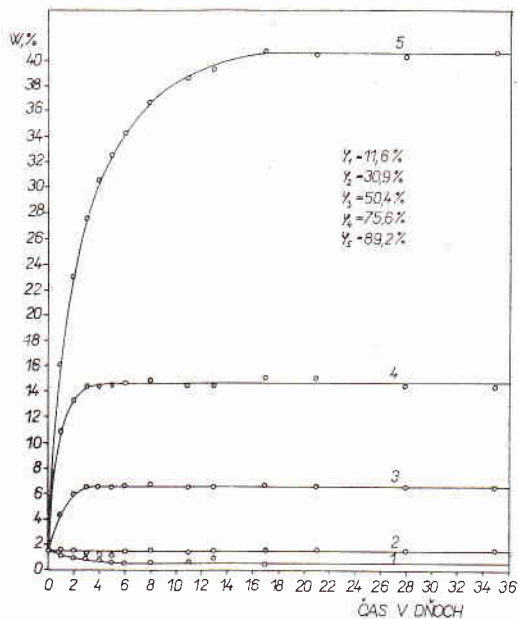
Obr. 1. Závislosť relatívnej vlhkosti vzduchu nad nasýtenými roztokmi solí od teploty. 1 —  $\text{LiCl}$ , 2 —  $\text{MgCl}_2$ , 3 —  $\text{MnCl}_2$ , 4 —  $\text{NaCl}$ , 5 —  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

mentálnymi chybami pri stanovení parciálnych tlakov. Závislosť relatívnej vlhkosti vzduchu nad nasýtenými roztokmi solí od teploty sme znázornili na obr. 1. Z tabuľky 1 a obr. 1 sme urobili pre naše praktické ciele ten záver, že sme považovali priemerné hodnoty (tabuľka 2) relatívnych vlhkostí vzduchu nad nasýtenými roztokmi uvedených solí ako konštantné pri uvedených teplotách.

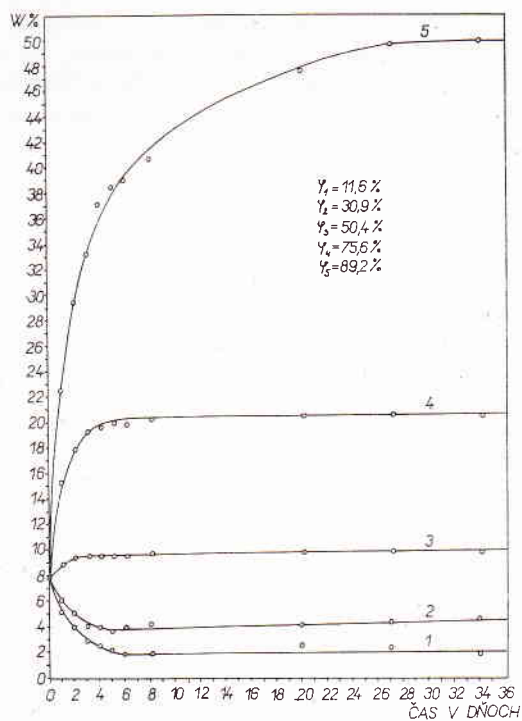
## Výsledky

Výsledky stanovenia dynamiky sorpcie vlhkosti sušenou torulou pri teplote  $25^\circ\text{C}$  sú uvedené na obr. 2 (Trenčín) a na obr. 3 (Leopoldov). Rýchlosť adsorpcie a desorpcie vlhkosti sušenou torulou je v prvom dni maximálna, potom sa znižuje a pri rovnovážnom stave je nulová. Už v prvom dni podľa relatívnej vlhkosti vzduchu pohltí sušená torula okolo 40 až 70 % celkovej vlhkosti. Dynamika sorpcie zrejme závisí od zloženia toruly (leopoldovská torula má o 3 % viac popolovín ako trenčianska), jej východiskovej sušiny a relatívnej vlhkosti vzduchu.

Obr. 2. Dynamika sorpcie a desorpcie vlhkosti sušenou torulou (Trenčín) pri teplote 25 °C.

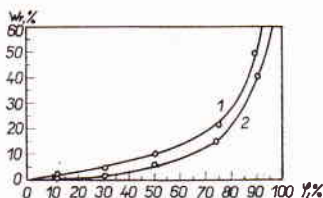


Obr. 3. Dynamika sorpcie a desorpcie vlhkosti sušenou torulou (Leopoldov) pri teplote 25 °C.



Izotermy sorpcie sušenej toruly (obr. 4) nemajú výrazný S-ovitý tvar. Oblasť monomolekulárnej adsorpcie je pravdepodobne tak rýchla (značnejší obsah bielkovín), že na krivkách nie je zachytená. Krivky až do 80 % relatívnej vlhkosti vzduchu predstavujú polymolekulárnu adsorpciu vlhkosti a ďalej kapilárnu kondenzáciu.

Vyššie hodnoty rovnovážnych vlhkostí u toruly z Leopoldova možno vysvetliť vyšším obsahom popola. Je známe, že osmotická sila je v priamej závislosti od koncentrácie solí v bunečnom obsahu a spôsobuje osmotické prenikanie vlhkosti do koloidného kapilárneho pórovitého materiálu.



Obr. 4. Krivky rovnovážnej vlhkosti toruly pri teplote 25 °C 1 — Leopoldov, 2 — Trenčín.

Získané výsledky ukazujú, že sušená torula má značnú hygroskopickú schopnosť. Je to dané väčším obsahom bielkovín a popolovín v torule.

Priemerná ročná relatívna vlhkosť vzduchu u nás sa pohybuje medzi 60 až 80 % (v neaklimatizovaných skladoch a miestnostiach okolo 50 až 60 %). Týmto vlhkostiam prislúcha podľa rovnovážnych kriviek vlhkosti toruly (obr. 4) konečná sušina (vzťahovaná na hmotu toruly) okolo 90 % pre torulu z Leopoldova a okolo 93 % pre torulu z Trenčína. Zbytočným presušaním toruly spotrebuje sa nadmerné množstvo tepelnej energie, nevyužije sa dostatočne výkon sušiarne a presušená torula spôsobuje aj značnú prašnosť.

## S ú h r n

Na základe gravimetrickej metódy sme stanovili dynamiku sorpcie a desorpcie vlhkosti sušenej torulou ako aj krivky rovnovážnych vlhkostí sušenej toruly pri teplote 25 °C a relatívnych vlhkostiach vzduchu: 11,6; 30,9; 50,4; 75,6 a 89,2 %. Ako experimentálny materiál sme použili vysušenú torulu z dvoch výrobní, pričom jedna torula obsahovala zvýšené množstvo popolovín, čo sa prejavilo aj na zvýšení hodnôt rovnovážnej vlhkosti toruly. Sušená torula má značné hygroskopické schopnosti. Na základe výsledkov sa stanovili konečné sušiny, na ktoré je potrebné torulu sušiť vzhľadom na podmienky jej skladovania.

## L i t e r a t ú r a

1. Ladolt — Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen, 6 Aufl., Berlin 1950
2. Perelman V. I.: Malá chemická příručka, Praha 1954
3. Komarov N. S.: Spravočnik choolodilščika, Kijev 1953

# Гигроскопические свойства сушенной торулы

## Выводы

На основании гравиметрического метода была определена динамика сорпции и десорпции влажности сушенной торулы и также кривые равновесной влажности сушенной торулы при температуре 25 °С и относительной влажности воздуха: 11,6; 30,9; 50,4; 75,6 и 89,2 %.

Материалом служила высушенная торула из двух заводов, причем одна торула содержала повышенное количество золы, что имело влияние на повышение величин равновесной влажности торулы. Сушена торула владеет значительными гигроскопическими свойствами.

На основании результатов были определены конечные содержания сухих веществ, на которые нужно торулу сушить, принимая во внимание условия складирования торулы.

## Hygroscopic Properties of Dried Fodder-yeast

### Summary

The dynamics of the moisture sorption and desorption by dried fodder-yeast and the curve of the balanced moistures in the dried fodder-yeast at the temperature of 25 °C and relative air humidity of: 11,6; 30,9; 50,4; 75,6; and 89,2 % has been determined by gravimetric method. For experimental material the dried fodder-yeast has been used from two production lines, the amount of the ashes in one of the fodder-yeasts was higher that becoming evident also in the rising the values of the fodder-yeast balanced moisture. The hygroscopic properties of the dried fodder-yeast are considerable. On the basis of the results final dry-matters have been determined to which the fodder-yeast is to be dried with regard to the storage conditions.