

## COMPOST EXPERIMENTAL DRYING IN FIXED-LAYER

¶  
JIŘÍ SOUČEK

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha

**Abstract:** Laboratorní zkoušky sušení kompostu byly realizovány v pokusné experimentální šaržové sušárně. V průběhu pokusu byl sledován vývoj teploty v jednotlivých vrstvách materiálu, teplota a relativní vlhkost vzduchu na vstupu a na výstupu. Průběžným stanovením hmotnosti byl monitorován úbytek vlhkosti. Experimenty byly realizovány při teplotě vstupního vzduchu 61 a 97 °C. Energetická náročnost sušení z 30 % obsahu veškeré vody pod 10 % se pohybovala mezi 3,5-4,5 kWh.kg<sup>-1</sup>

**Klíčová slova:** organické hnojivo, biopaliva, úprava kompostu, biomasa, odpady, zpracování odpadů

**Abstract:** The Laboratory compost drying experiments was implemented at the pilot experimental box drying apparatus. The temperature progress in separated layers of the material, temperatures and relative air humidity at the entry and outflow material were monitored during the experiment. The humidity decrease was monitored by continuous weight fixation. The experiments were realized in entry air temperature of 61 and 97 °C. Energetic intensity of drying from 30% of all water content to less than 10% was between 3.5 to 4.5 kWh/kg.

**Keywords:** manure, biofuels, compost treatment, biomass, waste treatment

## ÚVOD

Obsah vody v kompostu je nejčastěji snižován pro účely dalšího zpracování. Příkladem může být potřeba jeho homogenizace nebo energetického využití.

Sušení je proces, při kterém se prostřednictvím plynného sušicího media přivádí teplo potřebné k uvolnění vody vázané v sušeném materiálu při současném využití jeho vlhkostní jímavosti (kapacity). Sušící prostředí (sušící medium) je plynné prostředí absorbující a odvádějící páry vody z vysoušeného materiálu. Podle podmínek, za kterých dochází k přechodu páry do sušicího prostředí, lze podle (Maloun, 2001) rozlišovat:

- sušení neupraveným vzduchem, které využívá výhradně přirozené vlhkostní kapacity atmosférického vzduchu; nevýhodou je zde závislost na atmosférických podmínkách, jistá zdlouhavost a tedy i vznik ztrát, výhodou je naopak úspora energie na úpravu média.

- sušení v upraveném sušícím prostředí, při němž se vlhkostní kapacita výrazně zvyšuje ohřevem sušicího media; výhodou je nezávislost na klimatických podmínkách a minimalizace ztrát; k urychlení sušení dochází při značných požadavcích na přívod tepelné energie.

Každý materiál má určité charakteristické vlastnosti, které určují jeho chování při sušení. Tyto vlastnosti nezávisí jen na množství obsažené vody, ale i na druhu vazby vody se sušinou. Tato vazba může být :

- Fyzikálně mechanická - voda takto vázaná je poutaná v kapilárách, ve velkých dutinách a představuje také vodu adhezni, tj. vodu, která ulpívá na povrchu vlhkého materiálu.
- Fyzikálně chemická – ta je dále rozlišována na vazbu adsorpční, osmotickou nebo strukturní.
- Chemická - množství vody poutané tímto typem vazby nelze běžným způsobem vysušit; voda je zde součástí sušiny, tedy hmotnost je zahrnována do hmotnosti sušiny.

Uvedené způsoby vazeb vlhkosti se sušinou mají různé nároky na přívod energie k překonání těchto vazeb. Pokud lze vodu odstranit mechanicky, spotřebuje se energie jen na překonání hydraulického odporu sušiny. Při sušení tepelném, tj. při fázové změně kapaliny v páru je nutné porušit podstatně pevnější vazby. Spotřeba energie je vyšší, neboť se musí kromě výparného tepla přivést i teplo na porušení vazeb.

Vlivem různých vazeb vlhkosti v materiálu není průběh sušení lineární. Pro každý materiál lze sestavit křivku sušení za stálých podmínek sušicího prostředí.

Tato křivka je důležitá z hlediska vymezení nejvýraznějších úseků sušicího procesu. Údaje lze následně uplatnit při konstrukci nebo při volbě vhodné sušárny.

V praxi jsou pro sušení energetických surovin nejčastěji používány bubnové sušárny. Podle (Souhrady a kol., 1984). se při jejich využití se spotřeba tepla na odpar vody pohybuje nejčastěji v rozmezí 4 až 5 MJ kg<sup>-1</sup>.

Problematika sušení biologických materiálů v nehybné vrstvě byla na vědecké úrovni řešena zejména v minulosti ve vztahu k sušení objemných krmiv. Automatizaci procesů se věnovali především (Adamovský, Sladký a Neubauer, 1996) a (Plíva, 1989). Rozsáhlý výzkum sušení energetických dřevin ve stacionární vrstvě realizovali (Hutla a Sladký, 2000). Využití nízkopotencionálního tepla pro sušení řešil rovněž (Souhrahla a kol., 1984). V zahraničí je problematice sušení kompostu věnována pozornost především z pohledu změny chemických a fyzikálních vlastností v průběhu sušení (Fujiwara, T.; Hara, M.; Murakami, K., 2003) nebo (M. De Nobili a kol., 2006)

## MATERIAL A METODY

Měření parametrů sušení bylo prováděno ve stacionárních provzdušňovaných vrstvách na experimentální sušárně VÚZT. Měření proběhlo ve dvou tepelných režimech představujících nízkopotenciální zdroj tepla (61 °C), a zdroj s vyšší teplotou (97 °C).

Experimentální zařízení bylo složeno z jednotky pro úpravu a nastavení definovaných parametrů vstupního vzduchu, řídicí jednotky a sušicího boxu určeného pro navrstvení sušeného materiálu (viz obrázek 1).

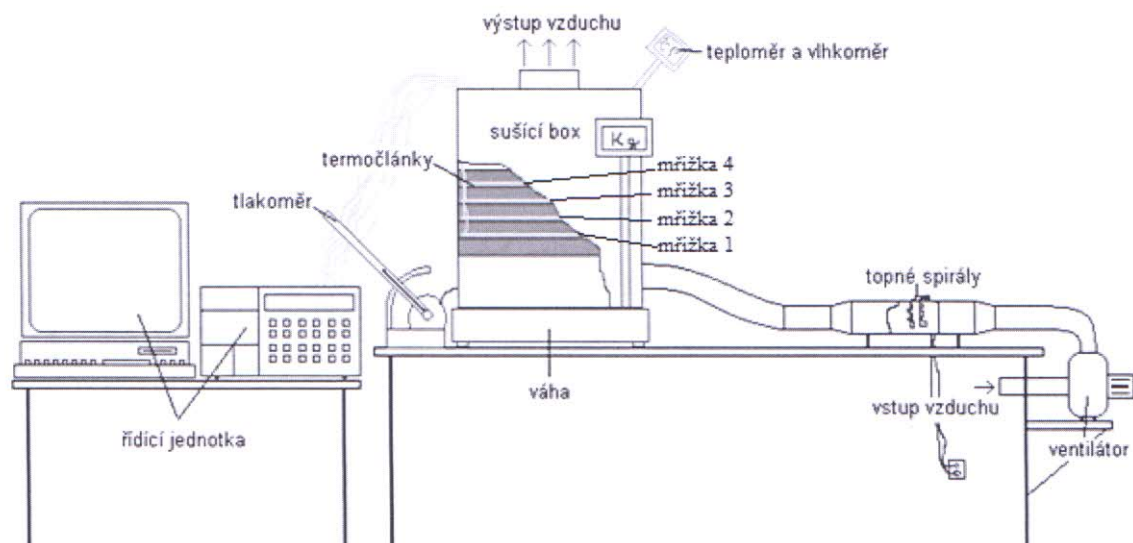
Do sušicího boxu byl vkládán kompost ve vrstvách vysokých 2,5 cm. Každá vrstva byla zvážena a na její povrch byla položena mřížka s instalovanými termočlánky typu T. Pro účely měření bylo na sebe narovnáno 5 vrstev.

Následně byl sušicí box překryt víkem s výstupním otvorem o průměru 89 mm opatřeným čidly pro měření teploty a relativní vlhkosti výstupního vzduchu.

V průběhu měření ventilátor nasával vzduch sacím otvorem opatřeným regulační škrticí klapkou. Proudící vzduch byl následně zahříván pomocí topné spirály na požadovanou teplotu a vhnán do utěsněného podroštového prostoru měřicího boxu. Odtud ohřátý vzduch prostupoval vrstvami sušeného materiálu, čímž byl ochlazován a sycen přijatou vlhkostí.

V průběhu měření byla automaticky odečítána hmotnost sušeného materiálu a teplota a relativní vlhkost výstupního vzduchu.

Dále byla měřena rychlost proudění vstupního a výstupního vzduchu. Průběh teplot v jednotlivých vrstvách byl stanoven měřením a následným přepočtem hodnot termočlánků.



Obrázek 1 - Schema experimentální sušicí jednotky

Energie spotřebovaná k odpaření 1kg vody je vyjádřena:

$$E = \frac{P_s \cdot t}{m_v} \quad (\text{kWh} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (3)$$

kde:  $P_s$  - příkon spirály (kW)  
 $t$  - čas sušení (h)  
 $m_v$  - hmotnost odpařené vody (kg)

## VÝSLEDKY

Podmínky okolí a nastavení experimentální sušárny v průběhu měření 1 a 2 udává tabulka 1.

Tabulka 1 – Podmínky okolí a nastavení sušárny v průběhu měření

sledovaný parametr	jednotky	měření 1	měření 2
teplota okolí	(°C)	22,1	24,5
příkon topné spirály	(kW)	1,8	3,3
teplota vstupního vzduchu	(°C)	61	97
šířka vrstvy	(mm)	25	25
počet vrstev	(-)	5	5
průtok vzduchu	(m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	7,2	6,1

V grafu na obrázku 2 jsou uvedeny hodnoty teploty a vlhkosti výstupního vzduchu zaznamenávané v pětiminutových intervalech.

U teploty vzduchu je prvních 4,5 hodiny zaznamenán pomalý konstantní nárůst teplot. Po uplynutí této doby se rychlost ohřevu výrazně zvyšuje až do konce měření.

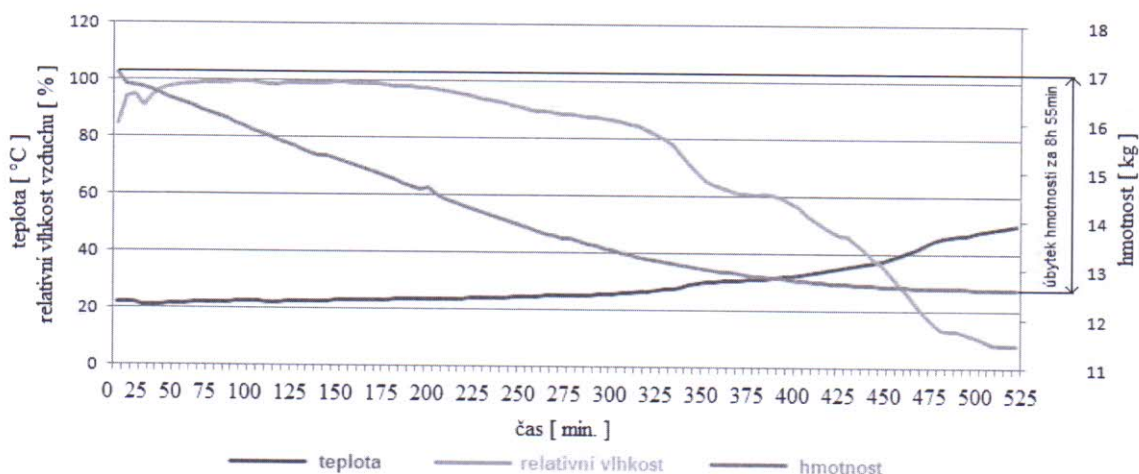
Relativní vlhkost výstupního vzduchu nejprve vzroste téměř k 100 % a následně postupně klesá až k hodnotám pod 10 %.

Tlaková ztráta v provzdušňované vrstvě byla v úvodu měření poměrně vysoká, ale v průběhu měření se materiál stával prostupnějším a tlaková ztráta klesla na konstantních 50 mbar.

Hmotnost materiálu v průběhu měření klesala v závislosti na odparu vody.

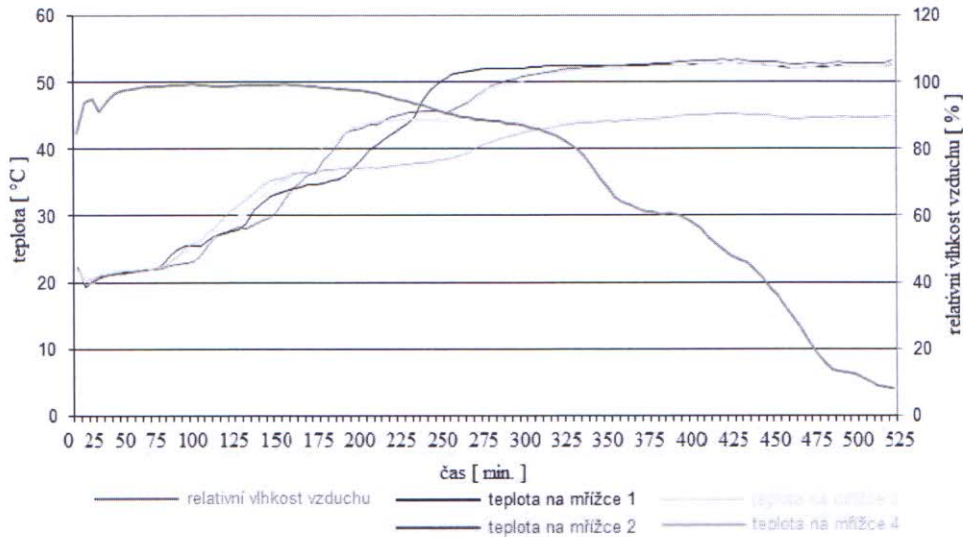
Na obrázku 3 jsou graficky znázorněny teploty zaznamenané termočlánky v jednotlivých vrstvách kompostu. Tyto teploty na jednotlivých termočláncích rostou postupně až na hodnotu, která se blíží teplotě vstupního vzduchu. Této teploty je dosaženo přibližně v polovině sušícího cyklu. Od dosažení maxima se teplota na termočláncích stabilizuje, s ohledem na ztráty se však této teplotě nevyrovná. Patrná je zejména nižší teplota vrchní vrstvy.

Teploty na prvním nejnižší položeném termočláncu začnou narůstat nejdříve a také nejdříve dosáhnou maxima. Čím výše je termočlánek nainstalován, tím později změny nastávají.



Obrázek 2 - Průběh teploty, relativní vlhkosti na výstupu a hmotnosti v průběhu měření 1

V grafu na obrázku 3 je znázorněn průběh vlhkosti výstupního vzduchu a nárůsty teplot na termočláncích.



Obrázek 3 - Průběh teploty na jednotlivých termočláncích a relativní vlhkosti na výstupu v průběhu měření 1

Energetická náročnost sušení sledovaného vzorku kompostu při teplotě sušícího vzduchu 61 °C byla 3,66 kWh.kg<sup>-1</sup> odpařené vody.

V průběhu druhého měření byly použity vzorky ze stejné šarže kompostu. Změny oproti prvním měření jsou způsobeny použitím topných spirál o vyšším výkonu.

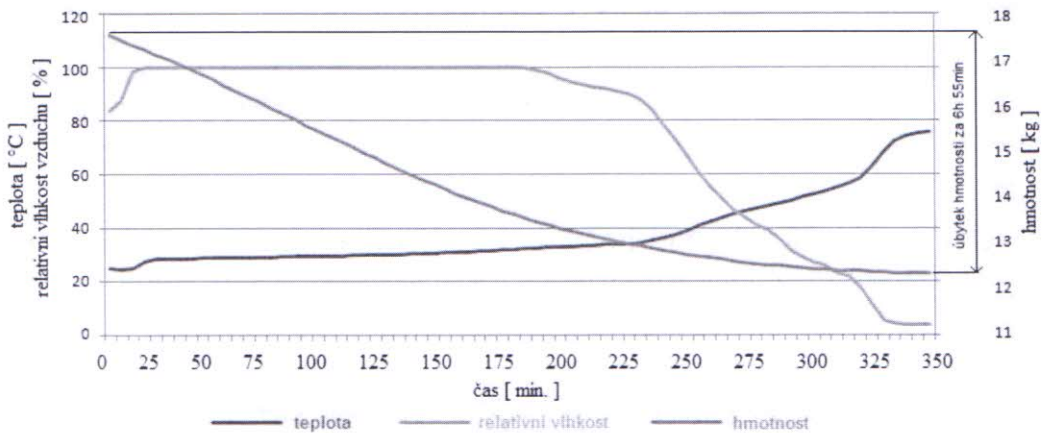
Průběh teploty výstupního vzduchu je podobný jako v předchozím měření, dosáhne však vyšších teplot v závislosti na teplotě vstupního vzduchu.

Relativní vlhkost výstupního vzduchu vystupuje až na 100 %, kde setrvává téměř polovinu měření. Následně rapidně klesá až k hodnotě pod 5 %.

Průběh tlakové ztráty je podobný jako v předchozím měření.

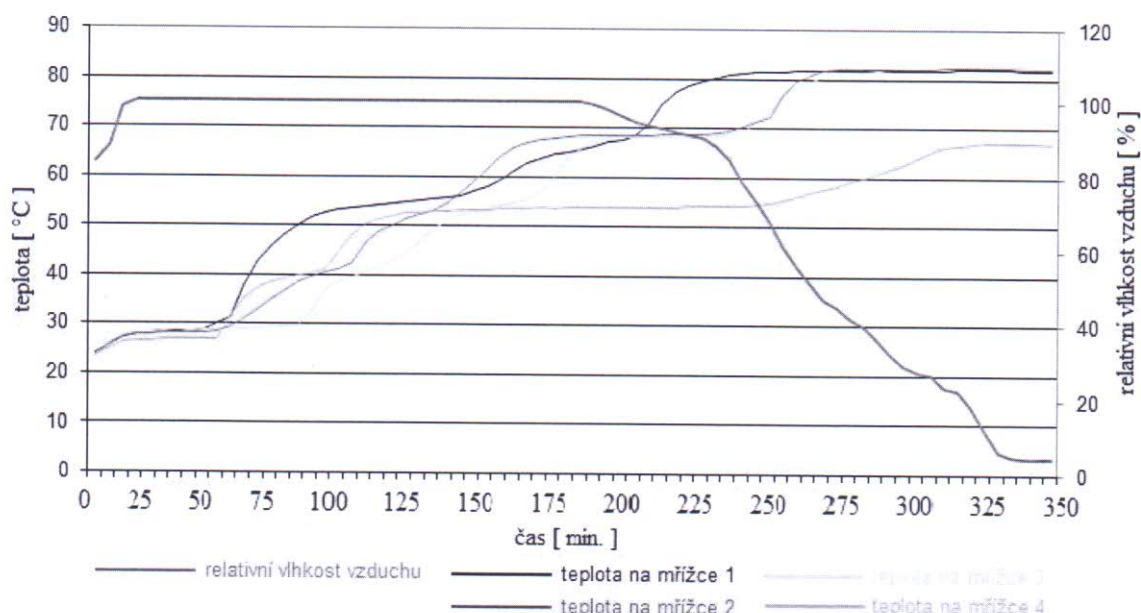
V průběhu měření 2 v souladu s teoretickými předpoklady probíhají všechny děje vlivem vyšší vstupní teploty rychleji. Ale vlivem většího tepelného spádu jsou vyšší ztráty.

Grafy na obrázcích 4 a 5 znázorňují průběh sledovaných veličin při teplotě sušícího vzduchu 97 °C.



Obrázek 4 - Průběh teploty, relativní vlhkosti na výstupu a hmotnosti v průběhu měření 2

V grafu na obrázku 5 je opět dobře viditelná závislost průběhu vlhkosti výstupního vzduchu a nárůstu teplot na termočláncích.



Obrázek 5 - Průběh teploty na jednotlivých termočláncích a relativní vlhkosti na výstupu v průběhu měření 2

Energetická náročnost sušení kompostu při teplotě sušícího vzduchu 97 °C byla 4,38 kWh kg<sup>-1</sup>

Tato hodnota je výrazněji ovlivněna ztrátami v sušárně. Při vyšších teplotách jsou ztráty výraznější.

## ZÁVĚR A DISKUSE

Energetická náročnost sušení kompostu se vstupním obsahem vody na úrovni 30 % se pohybuje mezi 3,5 - 4,5 kWh.kg<sup>-1</sup> odpařené vody, přičemž méně energeticky náročné je sušení s nižší teplotou sušícího média. Tím se ale samozřejmě prodlužuje doba sušení, a narůstá potřeba většího objemu sušícího vzduchu. To má v praxi dopad na celkovou výkonnost. Vyšší vrstva materiálu a větší rychlost proudění vzduchu má za následek zvýšení tlakové ztráty v provzdušňované vrstvě. Čímž dochází k dalšímu zvýšení energetických nároků celého procesu. Výsledky prezentovaného měření jsou do jisté míry ovlivněny ztrátami sušárny, nicméně platí, že sušení kompostu je energeticky náročná operace. Teoreticky lze v případě využívání nízkopotencionálního tepla energetickou náročnost snížit po vzoru algoritmu pro sušení sena (Hutla a Sladký, 2000).

Závěrem lze konstatovat, že při sušení kompostu ve stacionární vrstvě lze počítat s nižší energetickou náročností na úpravu média v porovnání s bubnovými sušárnami. V provozních podmínkách je ale způsob sušení ve vrstvě náročnější na organizaci a provoz provzdušňovacího systému. Z ekonomického hlediska může hrát významnou roli možnost využití odpadního tepla například ze spalovacího zařízení (teploty na úrovni při měření 2) nebo bioplynové stanice (teploty na úrovni měření 1).

## Literatura

ADAMOVSKÝ, R., SLADKÝ, V., NEUBAUER, P. 1996. *Automatizované řízení sušícího procesu ve velkokapacitním seníku*. In: Sborník vědeckého semináře Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství. Techagro 96 ČZU. ISBN 80-213-0272-0.

FUJIWARA, T.; HARA, M.; MURAKAMI, K. 2003. *The effect of drying method of animal waste compost samples on evaluation of plant growth inhibition*. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition 74 (5) Tokyo: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, , 607-614

HUTLA, P., SLADKÝ, V. 2000. *Zvýšení výhřevnosti energetických dřevin sušením*. In: Sborník přednášek z konference Technika a technologie pro nepotravinářské využití půdy a její udržování v klidu, Techagro Brno. VÚZT. Praha. ISBN 80-312-0619-X

MALOUN, J.: *Technická zařízení a hlavní procesy při výrobě krmiv*. Praha. ČZU. 2001. 201 p. ISBN 80-213-0783-8

PLÍVA, P. 1989. *Mikropočítačové řízení linky dvoustupňového sušení*. kandidátská disertační práce. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha

SOUHRADA, J., JEVIČ, P., CHMELÍK, K. 1984. *Využití nízkoteplotního sušení při výrobě krmiv*. ÚZPI. Praha.

M. DE NOBILI, M. CONTIN, P.C. BROOKES. 2006. *Microbial biomass dynamics in recently air-dried and rewetted soils compared to others stored air-dry for up to 103 years*. Soil Biology and Biochemistry, Volume 38, Issue 9, September Pages 2871–2881

*Článek vznikl v rámci institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj VÚZT, v. v. i. RO0614.*

**Contact address:** Ing. Jiří Souček, Ph.D., jiri.soucek@vuzt.cz  
Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Drnovská 507, Praha 6, 161 01, CzechRepublic