

Návrh solárnej sušiarne pre účely sušenia sypkých materiálov

Peter Horbaj¹, Peter Tauš², Zuzana Fiedorová² a Marek Laciak³

Design of solar drying-plant for bulk material drying

A generally well-known high energy requirement for technological processes of drying and the fact that the world's supply of the conventional energy sources has considerably decreased are the decisive factors forcing us to look for some new, if possible, renewable energy sources for this process by emphasising their environmental reliability. One of the possibilities how to replace, at least partly, the conventional energy sources – heat in a drying process is solar energy.

Air-drying of bulk materials usually has a series of disadvantages such as time expenditure, drying defects in the bulk material and inadequate final moisture content. A method that obviates or reduces the disadvantages of air-drying and, at the same time, reduces the costs of kiln drying, is drying with solar heat. Solar energy can replace a large part of this depletable energy since solar energy can supply heat at the temperatures most often used to dry bulk material. Solar drying-plant offers an attractive solution.

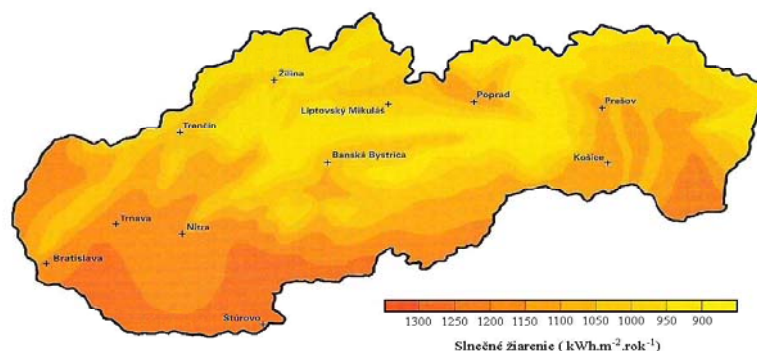
Key words: bulk material, solar drying-plant, energy savings, drying quality

Úvod

Slovenská republika, podobne ako mnoho okolitých krajín, má vysoko rozvinuté ťažké strojárstvo, hutníctvo, automobilovú výrobu, elektrotechnický priemysel a podobne, avšak za rovnako rozvinutý je možné označiť i drevársky priemysel a priemysel výroby sypkých hmôt. Sušiacie procesy, na ktoré je zameraný predkladaný príspevok, vo vymenovaných oblastiach spotrebujú viac ako 5 % z celkovej energetickej spotreby.

Klimatické podmienky

Slovenská republika patrí medzi krajiny s vysokou mierou hornatosti. Celé Slovensko je súčasťou Karpatského systému. Podľa globálnych klimatologických podmienok sa zaraďuje Slovensko do stredného klimatického pásma. Pre toto pásmo je príznačné pravidelné striedanie štyroch ročných období s odpovedajúcimi poveternostnými podmienkami a odpovedajúcim počasím. V porovnaní s Českou republikou a Rakúskom, ktoré ležia západnejšie ako SR, klimatické rysy majú v SR kontinentálny charakter. Priemerné teploty v januári sa pohybujú na úrovni od $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ v Dunajskej nížine až po $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ vo Vysokých Tatrách. Priemerné teploty v júli dosahujú a prekračujú $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ v nížinách Slovenska, zatiaľ čo vo výške cca 1000 m nad morom je to len cca $14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Juh Slovenska má približne 2 000 hodín slnečného svitu ročne, zatiaľ čo severozápad krajiny si musí vystačiť s 1 600 hodinami. Priemerná úroveň zrážok je na celom území SR 743 mm.



Obr. 1. Mapa slnečného žiarenia dopadajúceho na územie Slovenskej republiky.
Fig. 1. Map of solar radiation, falling to the region of Slovak republic.

¹ doc. Ing. Peter Horbaj, PhD., TU v Košiciach, Sj. F., Katedra energetickej techniky, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, peter.horbaj@tuke.sk

² Ing. Peter Tauš, Ing. Zuzana Fiedorová, TU v Košiciach, F BERG, Centrum obnoviteľných zdrojov energie, Park Komenského 19, 042 00 Košice, peter.taus@tuke.sk

³ Ing. Marek Laciak, TU v Košiciach, F BERG, Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov, B.Němcovej 3, 042 00 Košice, marek.laciak@tuke.sk

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 3. 11. 2008)

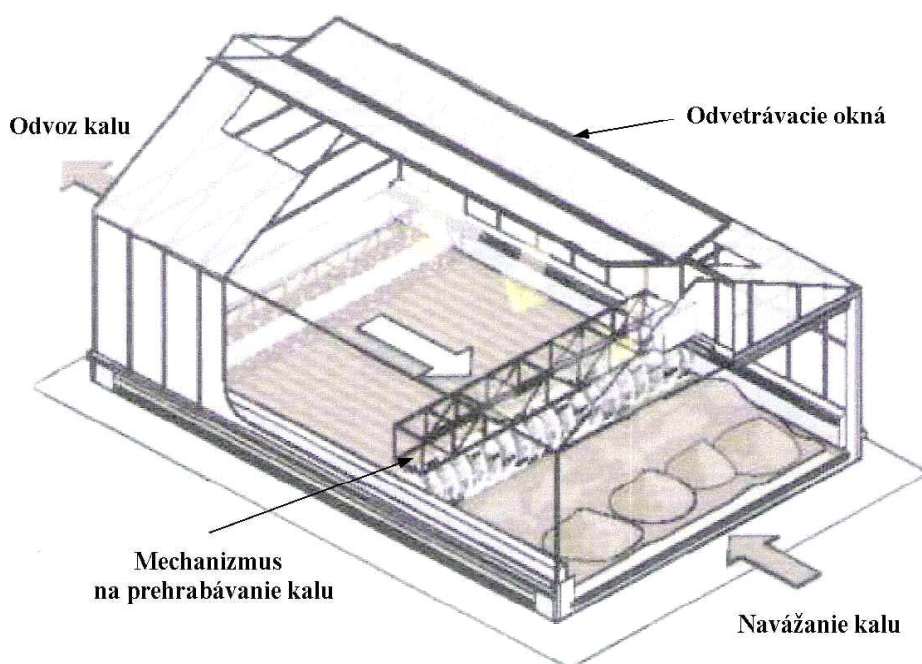
Solárne sušiarne

Pri sálavých sušiarňach je slnečné žiarenie absorbované priamo sušeným materiálom a čím dochádza k ohrevu a zároveň k odparovaniu prebytočnej vlhkosti. Tento spôsob spracovania kalu patrí v závislosti od klimatického pásma medzi energeticky najlacnejšie metódy sušenia odvodneného kalu z čistiarne odpadových vôd, ktorý sa využíval už v minulosti, keď sa kal sušil na kalových poliach.

Ak porovnáme rozloženie priemerných ročných množstiev energie globálneho slnečného žiarenia dopadajúceho na vodorovnú rovinu na 1m² za rok v Slovenskej republike,

Obr. 1 a priemernú dobu slnečného svitu v hodinách počas jedného roka v rôznych miestach na Slovensku, môžeme konštatovať, že Košice a jeho okolie spadá do klimatického pásma s dobrými predpokladmi na solárne dosušenie odvodneného kalu tak, aby sa tento dal ďalej energeticky využívať.

Jednou z možností dosušovania odvodneného kalu z čistiarní odpadových vôd je využitie skleníka ako solárnej sušiarne, ktorá je schematicky zobrazená na Obr. 2.



Obr. 2. Schématický pohľad na solárnu sušiareň.
Fig. 2. Schematic view of solar drying-plant.

V navrhovanej sušiarňi sa využíva princíp konvekčného a sálavého sušenia. Sálavé sušenie je iniciované, ak intenzita slnečného žiarenia je vyššia ako 300 W.m⁻². Sálavé teplo (žiarivá energia slnka) dopadajúce na sušený kal je sčasti pohlcované samotným materiálom, čím sa tento ohrieva a odparuje vodu, sčasti je reflektovaná do okolia – skleníka, kde sa v dôsledku zasklenia tepelné (infrarčervené) žiarenie odráža a je udržiavané v priestore skleníka.

Konvekčné sušenie je založené na prúdení ohriateho vzduchu, ktorý ohrieva kal a odvádza vlhkosť mimo priestorov skleníka. V dôsledku jeho relatívne vysokej teploty prebieha až do cca 80 % vlhkosti vzduchu.

Merný tepelný tok zachytený sušeným kalom - absorbérom (q_A) môžeme vypočítať z tepelnej bilancie:

$$q_A = \tau \cdot \alpha \cdot I - k_2 \cdot (t_A - t_V), \quad (1)$$

kde: q_A - merný tepelný tok zachytený sušeným kalom – absorbérom, [W.m⁻²],

τ - pomerná priepustnosť slnečného žiarenia zasklením,

α -pomerná pohltivosť slnečného žiarenia sušeným kalom – absorbérom,

k_2 - súčiniteľ prechodu tepla vrstvou zasklenia, [W.m⁻².K⁻¹],

t_V - teplota okolitého vzduchu, [°C],

t_A - stredná teplota absorpčnej plochy – sušeného kalu, [°C],

I - globálna intenzita slnečného žiarenia v danej oblasti, [W.m⁻²].

Ak predpokladáme, že teplota sušeného kalu sa v skleníku zvýši v priemere o 15 °C

Obr. 3) môžeme účinnosť solárnej sušiarne definovať ako pomer medzi zachyteným a dopadajúcim slnečným žiarením a vypočítať podľa vzťahu:

$$\eta_s = \eta_0 - k \cdot (t_A - t_V) / I \quad (2)$$

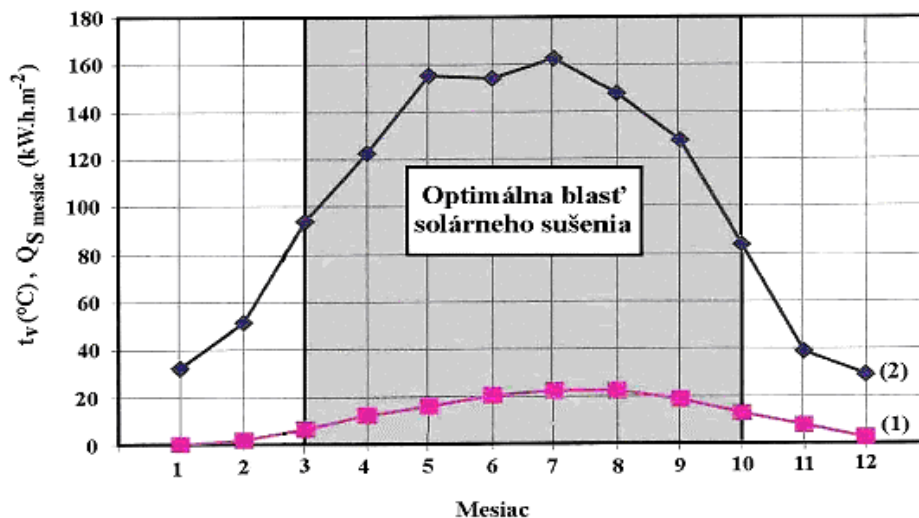
kde: η_s - účinnosť solárnej sušiarne,

η_0 - optická účinnosť solárnej sušiarne (priemerná hodnota s jedným krycím sklom je 0,85),

k - celkový súčiniteľ prechodu tepla solárnej sušiarne jedným krycím sklom $k = 6$ [W.m⁻².K⁻¹],

$(t_A - t_V) / I$ - redukovaný teplotný rozdiel.

Pre modelové riešenie skleníka s jednoduchým zasklením bola účinnosť solárnej sušiarne vypočítaná pre mesiace marec až október, kedy priemerná teplota vzduchu v dobe slnečného svitu dosahuje hodnoty minimálne 15 °C (Obr. 3).



Obr. 3. Stredná teplota vzduchu t_v v dobe slnečného svitu (1) a priemerná energia dopadajúca na plochu so sklonom 45° v Košiciach [2].

Fig. 3. Middle temperature of the air t_v in period of solar shine (1) and average energy, falling to the field with 45° declension in Košice [2].

Vypočítané účinnosti solárnej sušiarne sú sumárne uvedené v

Tab. 1 z ktorej vyplýva, že účinnosť solárnej sušiarne sa pohybuje na úrovni 66 %.

Tab. 1. Účinnosť solárnej sušiarne.

Tab. 1. The efficiency of solar drying-plant.

Mesiac	$I_{str,45^\circ}$	t_v (°C)	t_A (°C)	η
	[W.m ⁻²]	[°C]	[°C]	[%]
III.	94,0	6,6	21,6	66,0
IV.	122,6	12,1	27,1	67,4
V.	155,3	16,3	31,3	67,5
VI.	154,1	20,5	35,5	67,1
VII.	162,7	22,4	37,4	67,5
VIII.	148,1	22,2	37,2	67,4
IX.	127,8	18,7	33,7	66,0
X.	83,6	13,1	28,1	63,0
Priemer	131,0	16,5	31,5	66,5

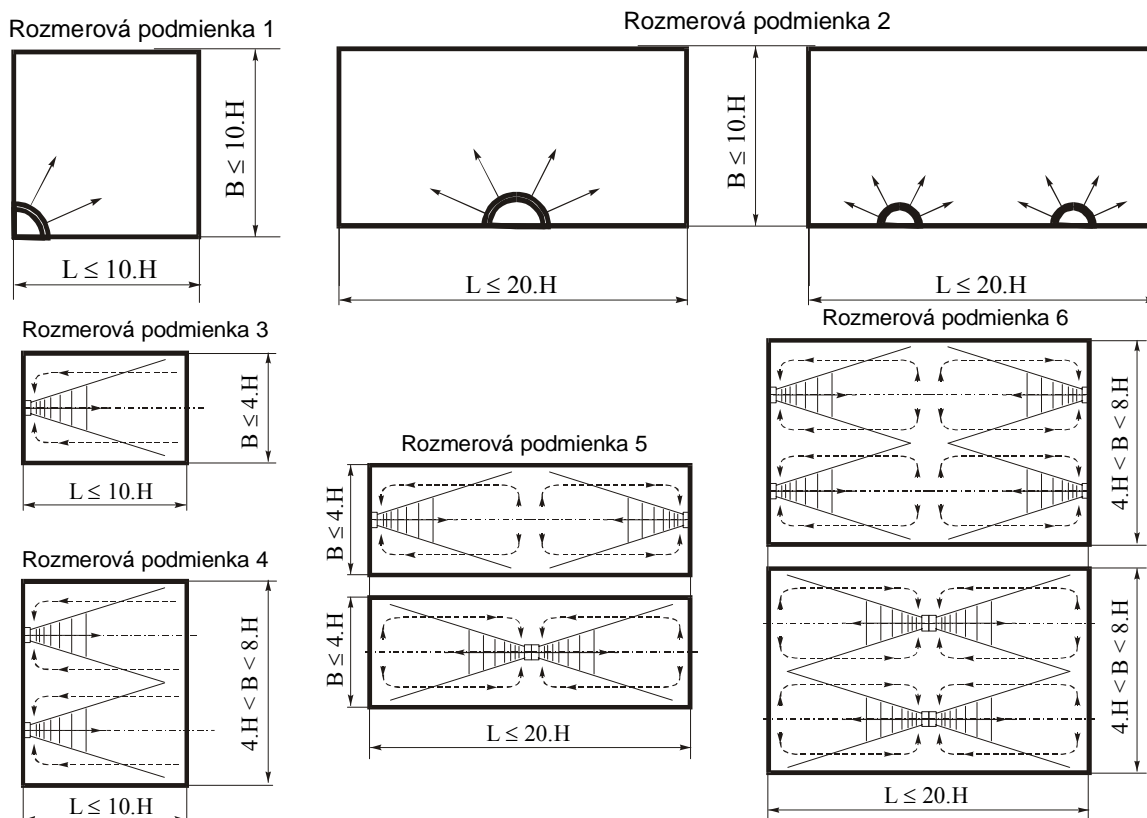
Ak poznáme účinnosť solárnej sušiarne, môžeme množstvo energie zachytenej sušeným kalom – absorbércom, vypočítať podľa vzťahu:

$$Q_{A\ mes} = \eta_k \cdot Q_{S\ mes} \quad [W.h.m^{-2}]. \quad (3)$$

Vzduch je možné okrem skleníka ohrievať pre potreby sušenia aj solárnymi energetickými fasádami, princíp ktorých je založený na využití transparentných i netransparentných materiálov slúžiacich ako absorbér slnečného žiarenia. Táto jednoduchá technológia spočíva v aplikácii vhodného absorbčného plášt'a na južnú fasádu budovy, pričom dochádza k vytvoreniu vzduchovej medzery.

Túto technológiu je možné využiť pri sušení kalov v existujúcich krytých halách, v ktorých by ich presklenie za účelom dosušovania predstavovalo neúmerne investičné nároky.

Pri plánovaní solárnych vzduchových kolektorov je možné počítať s ročným energetickým ziskom 80 až 120 kWh.m⁻². Tento zisk zabezpečuje vysoká účinnosť tejto technológie – využije sa 60 až 75 % energie slnečného žiarenia, pričom teplotu čerstvého vzduchu je možné zvýšiť až o 25 °C. Základným výpočtovým parametrom solárnych fasád je veľkosť absorpčnej plochy, ktorú je možné jednoducho určiť z nomogramov pre určenie veľkosti kolektorovej plochy [5]. Na základe navrhovaného prúdenia vzduchu v sušiarňach a jej vnútorných rozmerov je možné vybrať podľa Obr. 4 tzv. rozmerovú podmienku.



Obr. 4. Vstupné podmienky pre výpočet pri radiálnom a paralelnom usporiadaní prúdov.
Fig. 4. Input conditions for calculation during radial and parallel streams linking.

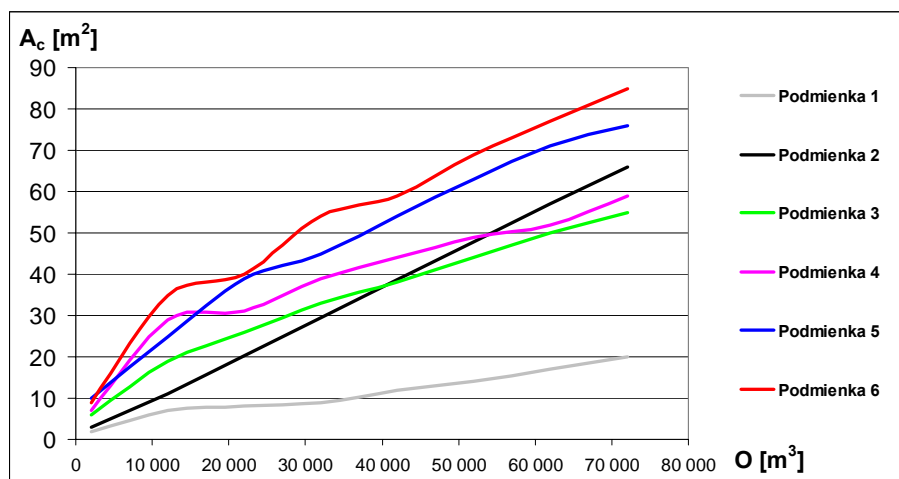
Následne z príslušného nomogramu sa určí potrebná veľkosť absorpčnej plochy solárnej energetickej fasády (Obr. 5).

Prednosti solárneho sušenia sa dajú zhrnúť do nasledovných bodov:

- nízke investičné náklady,
- dodatočná stabilizácia kalu,
- konštantná kvalita produktu,
- eliminácia pachovej záťaž,
- vysoká prevádzková spoľahlivosť.

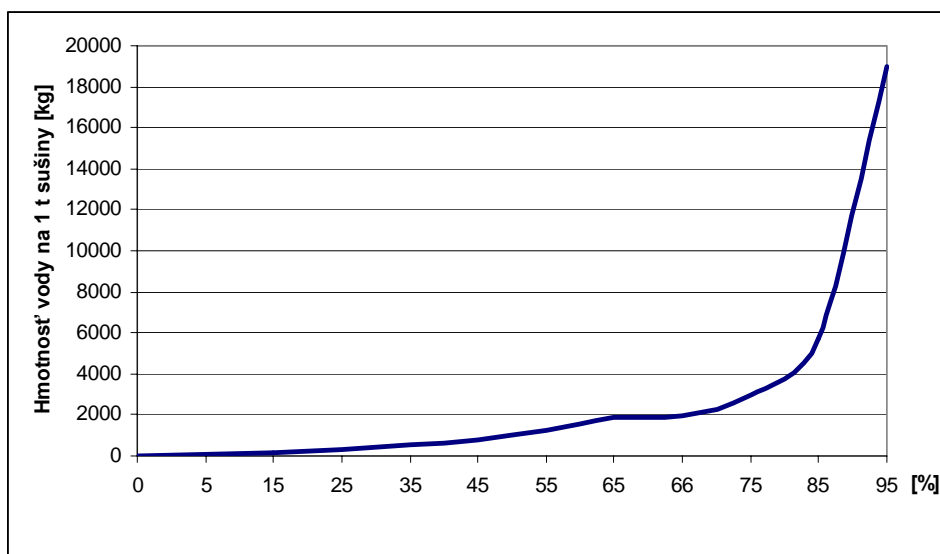
Na efektívne sušenie má vplyv:

- teplota sušiaceho vzduchu,
- vlhkosť sušiaceho vzduchu,
- rýchlosť prúdenia vzduchu nad sušeným kalom,
- povrchová štruktúra sušeného kalu,
- teplota sušeného kalu.



Obr. 5. Nomogram pre určenie veľkosti kolektorovej plochy.
Fig.5. Nomogram for determination of collector surface size.

Potrebu sušenia kalov pre jeho energetické využitie znázorňuje aj graf. Závislosť hmotnosti vody a kalu od vlhkosti kalu na 1 tonu sušiny je uvedená na Obr. 6. Pri maximálnej vlhkosti kalu vhodného na zhutnenie pre energetický proces, 15 % predstavuje hmotnosť vody na 1 t sušiny len 176 kg, pričom pri bežnej vlhkosti kalu cca 66 % je už táto hodnota na úrovni cca 1950 kg!



Obr. 6. Závislosť hmotnosti vody a kalu od vlhkosti kalu na 1 tonu suchého kalu.
Fig. 6. Dependence of water and dregs weight to the dregs dampness to 1 tone of dry dregs.

Záver

V súčasnej energeticky vysoko náročnej dobe predstavuje každý nový domáci zdroj energie ekonomický prínos pre celú spoločnosť. Aj Slovensko má záujem udržať krok s preferovaným trendom využívania obnoviteľných zdrojov energie, pričom sa však uchýľuje skôr k tendenčným ako systémovým krokom a rozhodnutiam. Pri posudzovaní potenciálu krajiny v oblasti alternatívnych zdrojov energie nesmieme zabúdať ani na zdroj posudzovaný v tomto príspevku, teda odpad. Množstvo komunálneho odpadu denne produkovaného spoločnosťou, vrátane odpadov z čistiarní odpadových vôd, môže predovšetkým vo veľkých mestách po vhodnej technologickej úprave v značnej miere podporiť výrobu energií v súčasných zariadeniach, ale aj ponúknuť príležitosť pre podnikanie v energetike novým subjektom, majúce za následok vplyv na tržové ceny energií.

Literatúra - References

- [1] Klenovčanová, A., Imriš, I.: Zdroje a premeny energie. *ManaCon. Prešov. 2006.*
- [2] Lukáč, P.: Niektoré možnosti energetických úspor pri prevádzke ústredného kúrenia v CZT. *Acta Mechanica Slovaca, 3-A/2004, s.631-636. 2004.*
- [3] Peavy, H. S. et al.: Environmental engineering. Mc Graw – Hill. *New York. 1985.*
- [4] Rybár, P., Tauš, P., Rybár, R.: Alternatívne zdroje energie I. *Elfa s.ro. Košice. 2001.*
- [5] Tauš, P., Rybár, R., Takáč, J.: Návrh nomogramov pre určenie veľkosti absorbéra solárnych vzduchových kolektorov. In: *Acta Montanistica Slovaca. roč. 12, mimoriadne č. 2 (2007), s. 293-299. Košice. 2007.*
- [6] Varga, A.: Základy tepelnej techniky. *ES HF TU Košice. 2000.*
- [7] Vargová I.: Atlas využívania obnoviteľných energetických zdrojov na Slovensku. *Energetické Centrum, Bratislava. Bratislava. 2002.*
- [8] Viglaský, J., Langová, N.: Technika prostredia. I. Vykurovanie. *ES TU vo Zvolene. Zvolen. 2006.*