

# Využití odpadního tepla z hvozdů pomocí tepelných výměníků

653.434 2

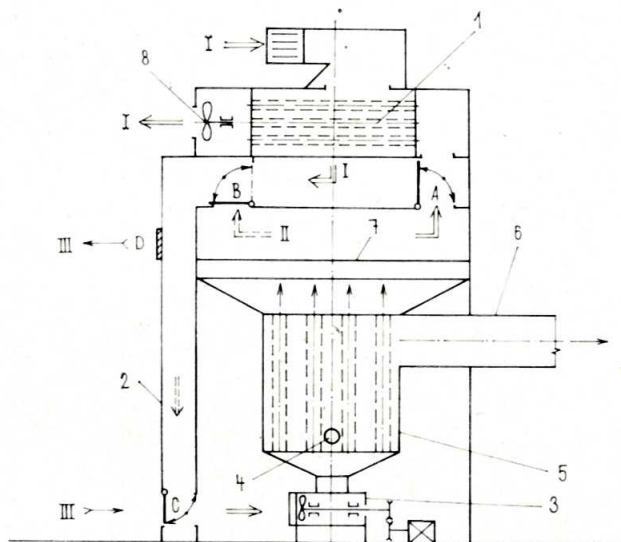
Ing. ZDENĚK HOŠEK, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha  
Ing. JOSEF PROKEŠ, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Brno

**Klíčová slova:** *slad, hvozd, odpadní teplo, využití, tepelný výměník, rekuperace*

S celosvětovými energetickými problémy se ve stále větším rozsahu hledají cesty ke snížení energetické náročnosti výrobních procesů. Při hledání úspor tepelné energie ve sladovně se musíme především zaměřit na hvozd, protože zde se spotřebovává 90 % energie z celkové spotřeby. Proto se pozornost v poslední době v zahraničí i v ČSSR zaměřila na využití tepelné energie obsažené v sušicím vzduchu vystupujícím z hvozdu volně do atmosféry. Vystupující vzduch se tak zde stává zdrojem nízkopotenciálního tepla s přibližnou teplotou 27 °C. I když teplota vystupujícího vzduchu z hvozdu je poměrně nízká, lze tepelné energie obsažené ve vzduchu účelně využít, vzhledem k velkým objemům sušícího vzduchu,

na predehřátí venkovního „studeného“ vzduchu před vstupem do topného systému hvozdu. Se stále se zvyšujícími nároky na zdravotní nezávadnost potravin se celosvětově přechází od hvozdů přímo vytápěných na hvozdy s nepřímým otopem. U přímo vytápěných hvozdů procházel sušící vzduch — směs spalín a vzduchu — hvozdeným sladem, ve kterém přítomnost spalín vytvářela řadu karcinogenních látek. Proto se přechází ve sladovnách na nepřímý otop, kde se proudem spalín ohřívá čerstvý vzduch v taškovém výměníku. Ukazuje se však, že přechod z přímého na nepřímý otop představuje v průměru zvýšení spotřeby tepla o dvacet procent. Z hlediska nedostatku energie a přechodu z přímo vytápěného na

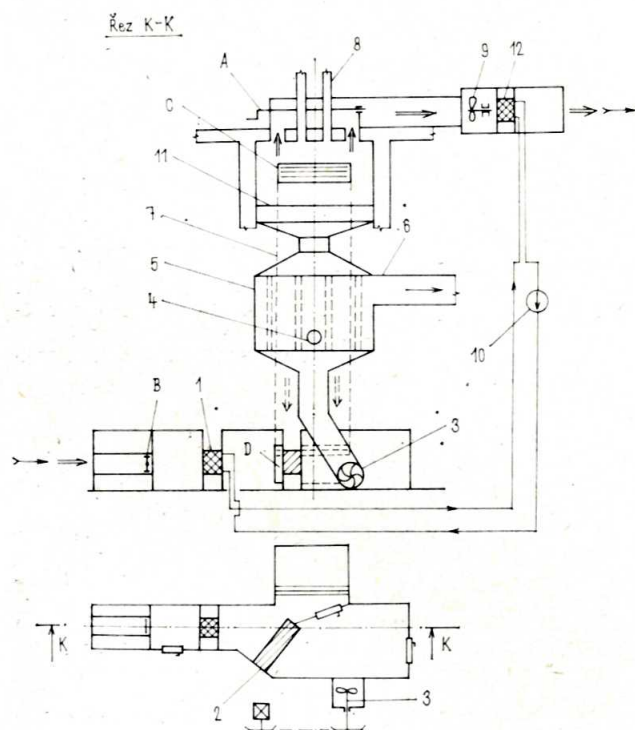
nepřímo vytápěný hvozď je tedy nutno zavádět tepelné výměníky na hvozdy.



- I rekuperace  
II recirkulace  
III přímý provoz

Obr. 1. Systém rekuperace vzduch-vzduch

- 1 — výměník, 2 — recirkulační kanál, 3 — ventilátor,  
4 — hořák, 5 — taškový výměník, 6 — odvod spalin,  
7 — líska, 8 — pomocný ventilátor  
A, B, C — klapky  
D — tlaková žaluzie



Obr. 2. Systém rekuperace vzduch-kapalina

- 1 — spodní výměník, 2 — parní předehřívák, 3 — radiální ventilátor, 4 — hořák, 5 — taškový výměník, 6 — odvod spalin, 7 — recirkulační kanál, 8 — valečka, 9 — pomocný ventilátor, 10 — čerpadlo kapalinového okruhu, 11 — líska, 12 — horní výměník  
A, B — klapky  
C, D — tlakové žaluzie

## VLASTNÍ PRINCIP A TYPY TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ (REKUPERÁTORŮ) PRO SLADOVNÝ

Pro zpětné získávání tepelné energie z nasyceného sušícího vzduchu, který vystupuje z hvozdu, jsou nám dnes známy čtyři typy rekuperátorů. Je to systém rekuperace vzduch-vzduch, vzduch-kapalina, tepelné trubice a systém hliníkových desek (např. Rototherm).

První rekuperátor byl instalován ve sladovně A. Jednalo se o systém vzduch-vzduch. Druhý rekuperátor se systémem vzduch-kapalina byl instalován ve sladovně B. Při použití obou systémů lze na hvozdu nastavit přestavitelnými klapkami v zásadě tři režimy proudění vzduchu.

1. Režim rekuperace vzduchu na hvozdu je nastaven přibližně 90 % času hvozdní a slouží převážně k odstranění nevázané vlhkosti ve sladu.

2. Režim recirkulace vzduchu na hvozdu je nastaven asi 10 % času hvozdní a slouží hlavně k odstranění vázané vlhkosti ve sladu.

3. Režim přímého provozu hvozdu (bez rekuperace) — při tomto režimu hvozdní dosáhneme sice nejkratší doby hvozdní (nejmenší odpor proudícího vzduchu), ale neúměrně stoupne spotřeba tepelné energie. Tento režim se nepoužívá.

### Systém vzduch-vzduch

Na obrázku 1 je patrné funkční znázornění systému vzduch-vzduch.

#### 1. Režim rekuperace vzduchu na hvozdu

Venkovní studený vzduch je nasáván z atmosféry do výměníku (rekuperátoru) 1, který je tvořen svazkem ležatých trubek z borosilikátového skla. Zařízení pracuje na principu křížového výměníku. Studený vzduch je veden vně trubek a nasycený teplý vzduch je veden vnitřkem trubek. Takto předehřátý vzduch je veden recirkulačním kanálem 2. Klapky B a C jsou zavřeny. Předehřátý vzduch vstupuje do sání radiálního ventilátoru 3 a prochází taškovým výměníkem 5, který s plynovým hořákem 4 tvoří vlastní topný systém hvozdu. V taškovém výměníku 5 se vzduch dohřívá na požadovanou teplotu technologie hvozdní, s níž musí vstupovat v daném okamžiku pod líska 7. Takto ohřátý vzduch prochází liskou, kde dochází k vlastnímu sušení — hvozdní sladu. Nasycený teplý vzduch se odvádí z prostoru nad liskou klapkou A do výměníku (rekuperátoru) 1. Ve výměníku 1 nasycený vzduch odevzdává své teplo, tj. normální ohřevací teplo a kondenzační teplo vodní páry. Vzhledem k odporům proudění vzduchu ve výměníku 1 je nutno na jeho konec zabudovat pomocný ventilátor 8. V tomto místě je instalována též plechová vana pro odvod zkoncentrované vody.

#### II. Režim recirkulace vzduchu na hvozdu

Při recirkulaci proudí vzduch z prostoru nad liskou přes klapku B (klapka A je zavřena) recirkulačním kanálem zpět do sání ventilátoru 3 a taškovým výměníkem 5 na hvozď. Tepelný výměník 1 je vyřazen.

#### III. Režim přímého provozu na hvozdu

Klapka C je otevřena a přes ni se nasává atmosférický vzduch, který dále prochází ventilátorem 3, taškovým výměníkem 5, sladem na lísce a klapkou B do recirkulačního kanálu. Z recirkulačního kanálu odchází tlakovou žaluzií D do atmosféry. Jak bylo uvedeno, tento způsob se nepoužívá.

### Systém vzduch-kapalina

Na obrázku 2 je patrné funkční znázornění systému vzduch-kapalina. Tento hvozď může rovněž pracovat ve třech režimech proudění vzduchu. Různé režimy se vytvoří přestavitelnými klapkami A, B a žaluziemi C, D.

#### I. Režim rekuperace vzduchu na hvozdu

Čerstvý vzduch je přiváděn z venkovního prostoru do spodní plechové skříně přes otočnou klapku B. Poté vzduch prochází spodním výměníkem 1 typu ZZT-80, ve kterém se předehřívá. Tento výměník ZZT-80 má čelní plochu 324 m<sup>2</sup> (1,8 × 1,8 m). Předehřátý vzduch se dále ohřívá přes parní předehříváky typu Wettag 2. Ty jsou namontovány šikmo ve skříně tak, že přes ně prochází



jak čerstvý vzduch, tak i vratný vzduch při recirkulaci. Vzduch je poté nasáván radiálním ventilátorem 3 a prochází taškovým výměníkem 5, který s hořákem 4 na lehký topný olej tvoří vlastní topný systém hvozdu. V taškovém výměníku 5 se vzduch ohřívá na požadovanou teplotu. Takto ohřátý vzduch prochází lískou 11 o ploše 31 m<sup>2</sup>. Na zadní stěně lísky je umístěna tlaková žaluzie C do recirkulačního kanálu 7, který spojuje prostor lísky se spodní skříň, kde je kanál uzavřen tlakovou žaluzií D. Ve stropě lísky je vzduchový kanál, který se uzavírá klapkou A. Vzduch proudí do horní plechové skříň. Na jejím začátku byly namontovány tři pomocné ventilátory 9 pro překonání pasivních odporů proudění vzduchu. Dále vzduch prochází horním výměníkem ZZT-80 12, kde odevzdává svou tepelnou energii. Tímto teplem se ohřívá teplotonosná kapalina solar. Kapalina je hnána potrubím čerpadlem 10 do spodního výměníku 1, ve kterém předá své teplo vstupujícímu vzduchu. Na výdech hvozdu je umístěn látkový filtr, který zachycuje sladový květ. Tento filtr vyžaduje pravidelné čištění, jinak se zvyšuje odpor proudění vzduchu.

## II. Režim recirkulace vzduchu na hvozdu

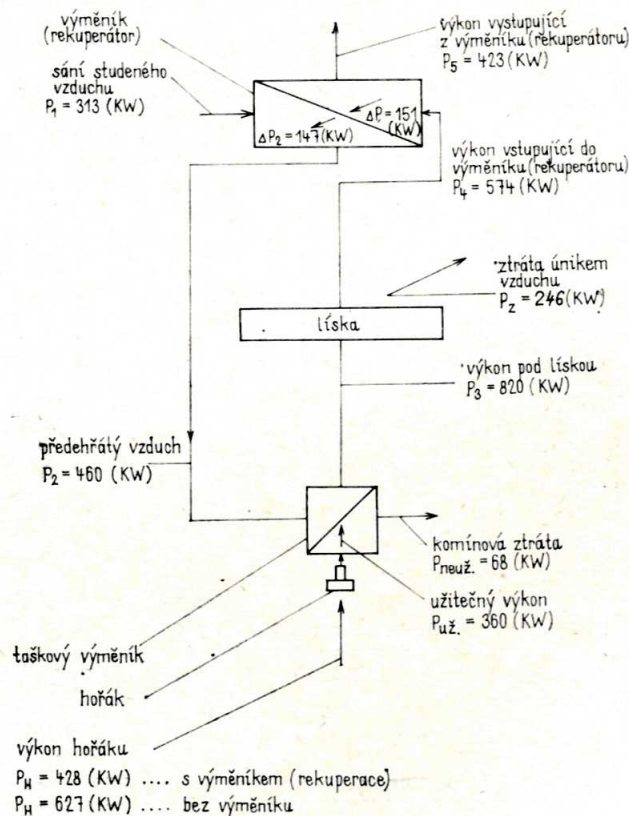
Při recirkulaci proudí vzduch z prostoru nad lískou přes tlakovou žaluzii C do recirkulačního kanálu 7. Dále kanálem do spodní plechové skříň přes ventilátor 3 na hvozdu. Klapky A a B jsou zavřeny. Oběhové čerpadlo 10 je vypnuto.

## III. Režim přímého provozu na hvozdu

Při přímém režimu proudí vzduch jako při režimu rekuperace. Oběhové čerpadlo 10 je vypnuto a žaluzie C a D jsou uzavřeny.

## TEPELNÁ BILANCE HVOZDU (SYSTÉM VZDUCH-VZDUCH)

Vlastní tepelná bilance hvozdu je zachycena na obrázku 3. Bilance je zde vyjádřena pomocí tepelných výkonů pro jednotlivá klíčová místa. Tepelné výkony byly vypočteny z entalpie vlhkého vzduchu. Pro vzájemnou kontrolu vypočtených entalpií pod lískou i nad lískou vy-



Obr. 3. Přehled tepelných výkonů na hvozdu s rekuperátorem typu vzduch-vzduch

Tabulka 1. Technické parametry

	Systém vzduch-kapalina		Systém vzduch-vzduch	
	bez rekuperace	s rekuperací	bez rekuperace	s rekuperací
Čas hvozdění (h)	19	18	16	17
Spotřeba paliva k odsoušení (l), (m <sup>3</sup> )	1090*	820*	1046**	733**
Měrná spotřeba tepla q na 1 tunu hotového sladu (GJ/t)	5,32	3,98	6	4,9
Výkon hořáku při odsoušení (kW)	559,5	444,3	627	428
Výkon dodávaný výměníkem (rekuperátorem) (kW)	—	123,7	—	147
Úspora paliva rekuperací (%)	—	25	—	30
Měrné množství sušícího vzduchu (m <sup>3</sup> /t h)	3 813	3 813	6 478	5 288
Úspora za 1 rok (Kčs)	155 922		162 890	
Návratnost investice (roky)	2,05		1,5	
Souhrnná ekonomická efektivnost (Kčs/Kčs)	7,308		9,77	

\* lehký topný olej (l)

\*\* zemní plyn (m<sup>3</sup>)

užijeme faktu, že sušení je izoentaltický děj. Pro sestavení bilance byly měřeny tyto fyzikální veličiny:

1. objemový tok sušícího vzduchu,
2. tlak vzduchu,
3. relativní vlhkost vzduchu,
4. teplota vzduchu.

Při hodnocení rekuperátoru probíhalo první odsoušení sladu s vyřazeným tepelným výměníkem (rekuperátorem). Výkon hořáku byl při této zkoušce stanoven na 627 kW. Při druhé zkoušce byl výměník (rekuperátor) zapojen a výkon hořáku poklesl na 428 kW. Snížení výkonu hořáku se přibližně kryje s výkonem, který zpět vrací výměník (rekuperátor). Naproti tomu vidíme, že ve vzduchu, odcházejícím netěsnostmi z lísky, odchází značný tepelný výkon 246 kW. Z tepelné bilance je možno určit též účinnost taškového výměníku. V tomto případě je to 84 %. Tepelná bilance systému vzduch-kapalina je uvedena v tabulce 1.

## POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ REKUPERACE

V současnosti můžeme porovnat dva systémy rekuperace, a to systém vzduch-vzduch a systém vzduch-kapalina. Oba systémy mají své výhody a nevýhody. Systém vzduch-vzduch, využívající skleněný výměník, pracuje s vyšší tepelnou účinností, má menší tlakové ztráty, ale vyžaduje větší stavební prostor — vhodnou stavební dispozici. Systém vzduch-kapalina má nižší tepelnou účinnost, větší tlakové ztráty, ale nevyžaduje velký stavební prostor nad lískou. Tento systém je proto výhodnější pro dvouliskový hvozdu. V tabulce 1 je srovnání obou systémů rekuperace. Z tabulky je patrné, že rekuperací je možno ušetřit okolo 20 % spotřeby paliva. Jeden z nejdůležitějších parametrů v tabulce pro hodnocení provozu hvozdu je měrná spotřeba tepla q. I když se nám tuto hodnotu rekuperací podařilo snížit, její absolutní hodnota je oproti zahraničním hvozduům poměrně vyšší. Firma Air Fröhlich udává hodnotu u ekvivalentně vybaveného hvozdu q = 3,06 GJ na tunu sladu. Při závěrečném ekonomickém hodnocení je nutno vzít v patřnost nárůst spotřeby elektrické energie pro přídavné ventilátory. Ale z ekonomické

ké bilance vyplývá, že cena nárůstu elektrické energie představuje zhruba u systému vzduch-kapalina 20 % a u systému vzduch-vzduch 4 % z úspor na vlastním palivu.

*Lektoroval Ing. L. Chládek, CSc.*

**Hošek, Z. - Prokeš, J.: Využití odpadního tepla z hvozdru pomocí tepelných výměníků.** Kvas. prům., 35, 1989, č. 2, s. 38—41.

V článku jsou popsány dva způsoby využití odpadního tepla z hvozdru tepelnými výměníky (rekuperátory). Jde o systémy vzduch-vzduch a vzduch-voda. Výsledky prokázaly, že rekuperací lze ušetřit asi 20 % paliva.

**Гошек, З. - Прокеш, И.: Использование отходного тепла из солодосушилки теплообменниками.** Квас. прум., 35, 1989, № 2, стр. 38—41.

В статье описаны два способа использования отходного тепла из солодосушилки теплообменниками (рекуператорами). Это системы воздух-воздух и воздух-вода.

Результаты доказали, что путем рекуперации можно сэкономить около 20 % отработанного топлива.

**Hošek, Z. - Prokeš, J.: Utilization of Waste Heat from Kiln by Heat Exchangers.** Kvas. prům., 35, 1989, No. 2, pp. 38—41.

Two different systems for the utilization of waste heat from kiln by heat exchangers are described. The first system is air-air, the second one air-water. Using the waste heat 20 % of fuel can be saved according to the results obtained.

**Hošek, Z. - Prokeš, J.: Ausnützung der Abfallwärme aus der Darre mittels Wärmeaustauscher.** Kvas. prům., 35, 1989, Nr. 2, S. 38—41.

In dem Artikel werden zwei Verfahren zur Ausnützung der Abfallwärme aus der Darre durch Wärmeaustauscher (Rekuperatoren) beschrieben. Es handelt sich um die Systeme Luft-Luft und Luft-Wasser. Die Ergebnisse beweisen, daß man durch Rekuperation ungefähr 20 % Brennstoff sparen kann.