

# Ekonomické využití odpadního tepla při větrání, klimatizaci a vytápění

## Economical utilisation of waste heat for heating, ventilation and warm service water preparation

Ing. Josef DVOŘÁK  
Klima Praha s. r. o.

*Príspevek pojednáva o možnom využití odpadního tepla z chladicího zařízení pro vytápění, vzduchotechniku a přípravu TUV. Na konkrétním případě projektů nového závodu masné výroby dokládá přínos využití odpadního tepla jeho transformací tepelným čerpadlem na teplotní hladinu cca 60 °C a zapojením do zdrojů energie. Nová koncepce projektů je ekonomicky zhodnocena.*

**Klíčová slova:** chladicí zařízení, odpadní teplo, vzduchotechnika, TUV

*The contribution deals with possible utilisation of refrigerating equipment waste heat for heating, ventilation and warm service water preparation. The actual example of the new meat production factory design exemplifies the benefit of waste heat utilisation by its transformation by means of heat pump to the temperature level of ca 60 °C and connection to energy sources. The new designs conception has been evaluated economically.*

**Key words:** refrigerating equipment, waste heat, ventilation, warm service water

### 1. PŮVODNÍ KONCEPCE PROJEKTŮ

#### A. Vzduchotechnika

Je navrženo 16 VZT jednotek pro šatny, umývárny, příjem a zpracování, chlazené místnosti, udírny, chladírny, udírenské vozíky, sklad přepravků a obalů, balení, kanceláře a energocentrum s parametry:

– celkové přiváděné množství vzduchu	30,9 m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup>
– celkový výkon ohřivačů	848 kW
– rekuperační komory	4x rotační výměník 4x deskový výměník
– směšovací komory	
– celkový výkon chladiců	112 kW
– celkem příkon motorů	120 kW

media: topná voda 90/70 °C, chladicí voda +2/+6 °C, elektro 3 x 400 V, 50 Hz.

Jednotky jsou rozmístěny v několika strojovnách, řízeny MaR s regulovanou teplotou na přívodu pro: chlazené místnosti +10 °C, udírny +18 °C, kanceláře +22 °C, šatny a umývárny +22 °C.

*Poznámka:* VZT jednotky kryjí jen ztráty a zisky větráním, v místnostech s teplotou 22 °C je ještě ÚT a v místnostech s +10 °C jsou ještě cirkulační chladice s médiem –8/-2 °C.

#### B. Zdroje tepla

Celkem se počítá se třemi strojovými s plynovými kotli.

1. Teplovodní kotelna s 2 kotli, každý o výkonu 550 kW, celkem 1 100 kW, pokrývá požadavky ÚT (227 kW) a VZT (848 kW).
2. Teplovodní kotelna s dvěma kotli o celkovém výkonu 128 kW. Pokrývá vytápění energocentra a kompresorovny.
3. Parní kotelna s třemi kotli, každý s výkonem 4,5 t/h páry o tlaku 1 MPa. Dodává jednak technologickou páru a jednak páru pro ohřev TUV na dvě konečné teploty:
  - 40 °C, zásobník 1,6 m<sup>3</sup>,
  - 60 °C, zásobník 2 x 10 m<sup>3</sup>.

#### C. Zdroj chladu

Ve strojovně chlazení jsou instalovány 4 provozní a 1 rezervní čpavkový kompresor, které mají při otáčkách 2 940 min<sup>-1</sup>, vypařovací teplotě –13,5 °C a kondenzační teplotě 30 °C každý parametry:

– chladicí výkon	751 kW
– příkon	190,2 kW
– chladíče oleje	77,5 kW při oleji 80/50 °C
– kondenzátor	863,8 kW
– množství obíhajícího chladiva	2 418 kg/h.

Celkem je pak k dispozici při špičkovém letním výkonu

~ 4 x 863,8 = 3 455,2 kW výkonu odpadního tepla v hladině 30 °C,

~ 4 x 77,5 = 310 kW výkonu odpadního tepla v hladině 80 °C.

Trvalý potřebný výkon chladu v zimě (minimální) je 1 550 kW, to odpovídá:

– 1 782 kW tepelného výkonu v hladině 30 °C,

– 160 kW tepelného výkonu v hladině 80 °C.

Projekt předpokládal jen oddělené využití tepla z přehřátých par pro ohřev části TUV.

### 2. NOVÁ KONCEPCE PROPOJENÝCH PROJEKTŮ

Z výše popsaného se nabízí hned několik otázek:

- Proč není využíváno odpadové teplo z výkonného chlazení, které v létě i v zimě je k dispozici 2 směny, 6 dní v týdnu.
- Proč vzduchotechnika nevyužívá odpadní teplo z chlazení a s podstatně vyššími investičními i provozními náklady rekuperuje teplo z odpadního vzduchu.
- Proč vytápění a příprava TUV nevyužívá odpadní teplo z chlazení a má vlastní teplovodní a parní kotelny.

Jelikož jsme si tyto otázky mohli položit až na začátku výběrového řízení na dodavatele VZT a ÚT a nebyl čas na předělání všech dotčených projektů a navíc nejsou v ČR v masné a uzenářské výrobě praktické zkušenosti s využíváním tepla od chladicích strojů, navrhli jsme realizovat následující variantu:

- VZT řešit bez rekuperace tepla a ohřivače navrhnout na plný výkon z 0 °C nebo z –15 °C na poloviční vzduchový výkon a to vodou z TČ o teplotě 60 °C.
- ÚT ponechat systém i velikosti těles, které vyhovují výpočtem na vodu 60 °C až do venkovní teploty –3 °C. Dní s průměrnou nižší teplotou je v místě jen 39 dní (15,3 % z otopného období). Při nižších venkovních teplotách by se topná voda přehřívala v plynových kotlích na 75 °C.

- TUV připravovat celoročně pouze z odpadového tepla s využitím větších zásobníků na nárazové odběry TUV dle technologie.
- Stávající kotle se ponechají dle původního projektu pro částečné využití při nízkých venkovních teplotách (-3 °C a méně) a pro případ poruchy TČ.

Pro uvedené zadání jsme zpracovali společně s prof. ing. Jiřím Petrákem, CSc. Studii BAT (nejlepší dostupná technika) pro VZT, chlazení, vytápění, TUV a udrírny pro nově budovanou provozovnu.

Další uvedené hodnoty a výsledky výpočtů jsou převzaty z této studie.

### A. Vzduchotechnika

Koncepční úpravy vzduchotechniky, při dodržení všech výstupních parametrů upraveného vzduchu, spočívají především ve:

1. Využití topné vody o teplotě 58 °C, která bude připravena tepelným čerpadlem z odpadního tepla z hladiny cca 25 °C.
2. Vypuštění rekuperátorů rotačních, resp. deskových ze všech jednotek VZT. Sníží se tím výrazně investiční náklady, ale především i provozní náklady na energie a údržbu jednotek. Kromě rekuperátorů odpadne i filtrace odpadního vzduchu. Příkony elektromotorů klesnou o více než 50 %, v zimním období dokonce až o 75 %.
3. Vybavení jednotek VZT frekvenčními měniči pro plynulou regulaci otáček motorů ventilátorů. Odběr elektřiny se tím minimalizuje na skutečnou potřebu a to jak při nastavení požadovaného průtoku, tak při zimním snížení průtoku vzduchu na 50 % při podnulových teplotách, jak umožňuje Nařízení vlády 178/2001 Sb. Při tomto zimním snížení klesne příkon elektromotorů teoreticky až na 25 %.

### B. Vytápění

Teplovodní otopný systém je již v souladu s vyhláškou 151/2001 Sb. § 5, odst.3 navržen na výpočtovou teplotu přiváděné vody 75 °C, odváděné vody 65 °C. Při proměnlivém průtoku vody tělesem lze závislost výkonu tělesa na průtoku, teplotě přiváděné vody a jejím ochlazení určit z časopisu VVI [2].

Z grafů vyplývá, že bez zásahu do velikosti otopné plochy lze např. vodu o teplotě 60 °C použít pro vytápění až do teploty vnějšího vzduchu -3 °C. Spotřeba tepla pro vytápění ve dnech s teplotou nižší než -3 °C je cca 24,4 % ze spotřeby tepla za celou otopnou sezónu.

### C. Zdroje chladu a tepla včetně TUV

Ze zadané spotřeby chladu a daného chladicího výkonu šroubového kompresoru Grasso S-5 lze dojít k závěru, že v rámci první etapy bude minimálně jeden kompresor v nepřetřžitém provozu a druhý bude provozován s přestávkami. Po dokončení druhé etapy budou trvale provozovány dva kompresory, další dva budou provozovány přetřžitě.

Aby odpadní teplo z chladicího zařízení bylo hospodárně využito, je navrženo využít plně teplo z chladicích olejů pro ohřev TUV na 60 až 65 °C a teplo obsažené v parách chladiva (přehřívací a kondenzační) použít jako nízkopotenciální zdrojové pro tepelné čerpadlo pracující s chladivem R 134a a transformovat je na teplotu umožňující ohřev vody ve vloženém okruhu na 60°C. Tuto vodu pak použít jednak pro ohřev další TUV na 58 °C, jednak ji použít v otopné sezóně k vytápění v teplovodním otopném systému a k ohřevu

vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách. Proti projektu není předpokládáno oddělené využití tepla z přehřátých par chladiva, což vede ke snížení investičních nákladů o cca 1 mil.Kč.

Schéma zapojení je uvedeno na obr. 1 a je třeba upozornit, že toto řešení je chráněno jako užitečný vzor č. 11054 a přihláškou vynálezu č. 2001-119 ze dne 9. 1. 2001. I tato skutečnost by měla přispět při jednání o udělení statutu BAT technika. Popis zapojení, uvedeného v Příloze 1, je následující.

Zdrojem odpadního tepla jsou páry čpavku přiváděné do kondenzátoru v němž kondenzují v závislosti na teplotě okolí, počtu kompresorů v provozu a regulačním zásahům při teplotě 25 až 35 °C. Průměrnou roční kondenzační teplotu lze uvažovat 30 °C a pro tuto teplotu jsou ve schématu uvedeny i teploty ostatních látek.

Studená užitková voda přichází z vodovodního řádu s teplotou cca 10 °C a přímo se přehřívá ve výměníku 1 vodou ohřátou kondenzujícím chladivem na teplotu cca 20 až 28 °C. Takto přehřátá voda se na konečnou teplotu cca 60 °C dohřívá jednak ve výměníku 2 teplem získaným z chlazení oleje u šroubových kompresorů, jednak vodou z vloženého okruhu v němž je tato voda ohřívána tepelným čerpadlem. Vložený okruh je použit jednak z důvodu ochrany kondenzátoru tepelného čerpadla před zanášením teplosměnné plochy, jednak jako hygienická ochrana TUV před její kontaminací olejem a chladivem v případě netěsnosti kondenzátoru. Část ohřívání TUV je odebrána ze spodní části zásobníku, vedena k chladiči spalín (součást dodávky udíření) a po ohřevu na cca 60 °C vracena zpět do horní části zásobníku.

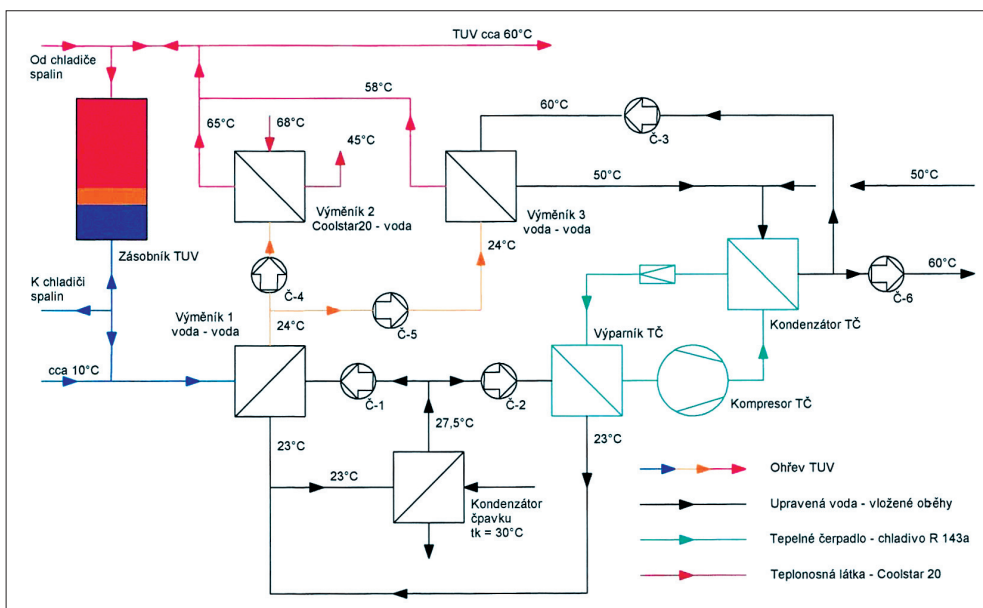
Tepelné čerpadlo bylo navrženo tak, aby jeho chladicí výkon odpovídal množství odpadního tepla z jednoho čpavkového kompresoru při jeho provozu s kondenzační teplotou 25 °C, tj. v zimních měsících.

## 3. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

### 3.1 Provozní náklady

#### A. Vzduchotechnika

V projektu předpokládaný výpočtový výkon 732 kW představuje spotřebu tepla pro větrání ve výši 2 129 MWh/rok.



Obr. 1 – Schéma zapojení TČ, výměníků a zásobníků pro přípravu vody pro vytápění, VZT a TUV

Pokud toto teplo bude krýt plynová kotelná, spotřeba plynu bude představovat cca 265 tis.m<sup>3</sup>/rok. Při použití tepelného čerpadla bude toto krýt cca 87,8 % této spotřeby, tj. cca 1 869 MWh/rok, zbytek 260 MWh/rok zbude na plynovou kotelnou. Spotřeba plynu poklesne na 32 tis m<sup>3</sup>/rok při nárůstu spotřeby elektrické energie o 525 MWh/rok. Tepelné čerpadlo využije 1 344 MWh/rok odpadního tepla z chladicího zařízení a uspoří tak cca 3.360 m<sup>3</sup>/rok chladicí vody.

Při zadané ceně energie a chladicí vody vede realizace navrženého opatření k úsporám:

<input type="checkbox"/> Snížení platby za zemní plyn	1 120 730 Kč/rok
<input type="checkbox"/> Úspora tepla dle 187/2001 Sb.	410 000 Kč/rok
<input type="checkbox"/> Snížení platby za vodu	80 808 Kč/rok
<input type="checkbox"/> Nárůst platby za elektřinu pro TČ	-630 000 Kč/rok
<input type="checkbox"/> Úspora el. pro nové motory VZT	610 000 Kč/rok
<b>Celkem úspora</b>	<b>1 591 538 Kč/rok.</b>

### B. Vytápění

Při použití tepelného čerpadla a teploty bivalence -3 °C, bude tepelné čerpadlo krýt 75,6 % spotřeby, tj. cca 675 MWh/rok, zbytek 218 MWh/rok zbude na plynovou kotelnou. Spotřeba plynu poklesne na 27,1 tis m<sup>3</sup>/rok při nárůstu spotřeby elektrické energie o 189,6 MWh/rok. Tepelné čerpadlo využije 485,3 MWh/rok odpadního tepla z chladicího zařízení a uspoří tak cca 1.213 m<sup>3</sup>/rok chladicí vody.

Při zadané ceně energie a chladicí vody vede realizace navrženého opatření k následujícím úsporám:

<input type="checkbox"/> Snížení platby za zemní plyn	403 559 Kč/rok
<input type="checkbox"/> Snížení platby za vodu	29 173 Kč/rok
<input type="checkbox"/> Nárůst platby za elektřinu	-227 520 Kč/rok
<b>Celkem úspora</b>	<b>205 212 Kč/rok.</b>

### C. Příprava TUV

Při předpokládané potřebě 218 m<sup>3</sup>/den TUV a jejím ohřevu z 10 na 60 °C je spotřeba tepla pro vlastní ohřev vody 12 674,4 kWh/den. Při ohřevu vody parou dle projektu a účinnosti plynové kotle a přenosu tepla do výměníku pára – TUV 85 % by spotřeba tepla z plynu činila 14 914,6 kWh/den, tj. cca 1 577 m<sup>3</sup>/den zemního plynu. Při použití zapojení podle obr. 1 má topný faktor systému ohřevu TUV hodnotu 6,35. Spotřeba elektrické energie pro ohřev TUV je 1 996 kWh/den.

Navržený systém pro ohřev TUV využije odpadní teplo z chladicího zařízení ve výši 10 678,4 kWh/den. Jinak by toto teplo bylo odvedeno do okolí v odpařovacích kondenzátorech při spotřebě chladicí vody ve výši 26,7 m<sup>3</sup>/den. S úsporou elektrické energie u kondenzátorů není počítáno, protože je vyvážena spotřebou energie pro pohon čerpadel v systému.

Při zadané ceně energie a chladicí vody vede realizace navrženého opatření k následujícím úsporám:

<input type="checkbox"/> Úspora platby za zemní plyn	7 585,37 Kč/den
<input type="checkbox"/> Úspora platby za vodu	642,14 Kč/den
<input type="checkbox"/> Nárůst platby za elektřinu	-2 395,20 Kč/den
<b>Celkem</b>	<b>5 832,31 Kč/den</b>

Při předpokládaných 250 pracovních dnech v roce je úspora 1 458 tis.Kč/rok.

### Celkem úspora za A, B a C

Celkové snížení provozních nákladů na energii představuje **3,255 mil. Kč/rok.**

Při předpokládané životnosti zařízení 15 roků a dnešních cenách energií **uspoří navržené řešení na energiích a médiích celkem cca 49 mil. Kč.**

### 3.2 Investiční náklady

- Tepelné čerpadlo s R 134a Climaveneta typ ERH 3606,

nabídka AB Klimatizace ze dne 18. 7. 2003, rozměry:  
d. 4 105, š. 1 450, v. 2 000 mm

<input type="checkbox"/> Sada výměníků tepla podle obr. 1 od fy. Gúntner	cca. 1 060 tis. Kč
<input type="checkbox"/> MaR, elektro	cca. 500 tis. Kč
<input type="checkbox"/> Potrubí, armatury, izolace, montáž	cca. 1 200 tis. Kč
<input type="checkbox"/> Projekt, rezerva	cca. 560 tis. Kč
<input type="checkbox"/> Vypuštění chladiče přehřáté páry a zjednodušení rozvodů	cca. -1.000 tis. Kč
<input type="checkbox"/> Vypuštění rekuperace z VZT jednotek a přidání frekvenčních měničů	cca -1.000 tis. Kč

### Změna investic celkem

Navržené opatření představuje nárůst investic o cca 3,5 mil.Kč.

Při nárůstu investic o cca 3,5 mil.Kč a provozních úsporách cca 3,254 mil.Kč/rok je prostá návratnost cca 1,08 roku.

Význam realizace navržených úprav spočívá zejména v

- Snížení energetické náročnosti, šetrný přístup k životnímu prostředí a příspěvek k naplnění zákona o integrované prevenci znečištění.
- Snížení provozních nákladů.
- Přijatelné navýšení investic s rychlou návratností.
- Možnost požádat na tyto techniky o přiznání statutu BAT a získání podpory z prostředků Státního fondu životního prostředí.

### Použité zdroje:

- [1] PETRÁK, J., DVOŘÁK, J.: *Studie BAT pro vzduchotechniku, chlazení, vytápění, TUV a udírny.* Klima Praha s. r. o., 7/2003.
- [2] BAŠTA, J.: *Výkon otopných ploch a regulační zásah.* 12, VVI 3/2003, s. 98–100.

*Pozn. redakce:*

*Příspěvek byl připraven na konferenci Klimatizace a větrání 2004 a pro svoji praktickou hodnotu a aktuálnost byl zařazen se souhlasem autora do VVI.*

(Hz)

### \* Vytápění bazénů

Firma Alfred Kaut a spol. z Wupertalu představuje jako novinku tepelné čerpadlo vzduch-voda, které je možno s úspěchem použít k ohřevu vody ve venkovních bazénech. Firma vyrábí sedm typů o výkonu 4,6 až 66 kW, použitelných s vysokou účinností při venkovní teplotě 20 °C.

CCI 6/2003

(Laj)