



Zvýšení účinnosti výroby stlačeného vzduchu v kompresorových stanicích pomocí ORC systému.

Josef KOHUT¹, Jan NAJSER¹, Jaroslav FRANTÍK^{1,*}, Jiří MIKA¹,

¹ Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Centrum ENET,
17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava -Poruba, Česká republika

* Email: Jaroslav.frantik@vsb.cz

V současnosti je na celosvětovém trhu poměrně velké množství výrobců kompresorů. Ověřené velké značky a renomovaní výrobci se v posledních 20-ti letech výrazně zaměřili na zvýšení účinnosti kompresorů a snížení energetické náročnosti výroby stlačeného vzduchu. Výsledkem jsou nové typové řady strojů využívající moderní technologie - např. motory s premanentními magnety, přesné regulace otáček motorů, chlazení a řídicí systémy s propracovanými algoritmy. Tyto inovativní snahy vedly k úsporám na spotřebované elektrické energii v řádu 10 - 15 %. V případě správné volby typu kompresoru a jeho optimální aplikace je možno docílit i dalších 30 až 50 % úspory na provozních nákladech.

Klíčová slova: Organický Rankinův cyklus, kompresor, účinnost

1 Úvod

Zvýšení účinnosti výroby stlačeného vzduchu v kompresorových stanicích pomocí ORC systému je zaměřen na výzkum a možnosti spojené s výrobou vzduchu pomocí nových technologií. Technologie Organického Rankinova cyklu (ORC), která by se mohla stát součástí výrobních jednotek vzduchu. ORC technologie v daném projektu bude využívat zbytkové teplo, které vzniká při stlačování vzduchu.

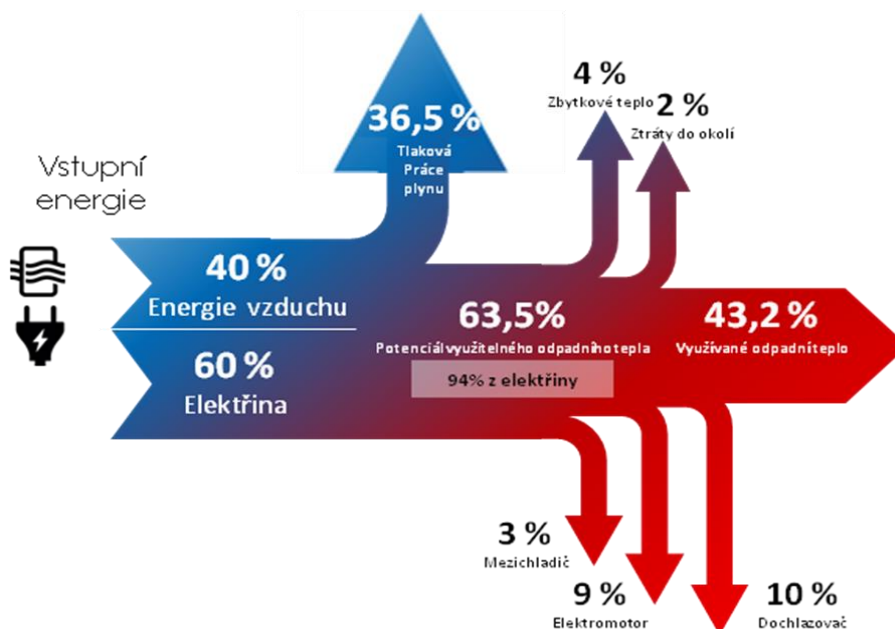
2 Důvod využití

Stlačování vzduchu či jakéhokoli jiného plynu je velmi energeticky náročný proces hlavně z pohledu vznikajících ztrát, jak je patrné dle obrázku Obr. č. 1.

Komprimovaný nebo tlakový vzduch využívaný pro technologické účely je spolu s chladem nejdražší energetická komodita, které se v současnosti pro technologické celky využívá. K danému přispívá fakt, že se při stlačování plyných látek přemění 63-72% vstupní elektrické energie na energii odpadní (teplo) a zbytek tedy 28-36%, přeměněných v tlakovou energii plynu. Tyto ztráty je možné snížit pomocí mezichlazení plynu použitím vícestupňového kompresoru. Odvedením tepla je snížena energetická požadavka na vnitřní práci kompresoru, ale odvedené teplo je nízkopotenciální a jeho využití je problematické a tím se výhoda vícestupňové komprese snižuje. U šroubových kompresorů se mimo to vícestupňová komprese používá jen při požadavku na vysoký kompresní poměr. Výstupní teplota



komprimovaných plynů je proto relativně vysoká a s použitím ORC technologie je možno část tepelné energie využít. ORC jednotky jsou na trhu v širokém spektru výkonů, takže by nemělo být problém získat vhodné jednotky, odpovídající potřebám příslušné kompresní stanice. Důležitou otázkou je volba vhodného zařízení a vhodného média, které umožní ekonomické využití nízkopotenciálního tepla.



Obr. č. 1. Sankeyův diagram idealizovaného toku energie při stlačování plynu

3 Typy použitých kompresorů

V technologických celcích se v současnosti s výhodou využívá šroubových kompresorů, pro jejich bezproblémovost a dlouhou životnost. Zastoupení na těchto strojů na trhu je cca 70% a předpokládá se zvyšování.

Šroubové kompresory viz Obr. č. 2 patří do skupiny kompresorů objemových s rotujícími písty, respektive s rotujícími funkčními orgány. Tato konstrukce nahrazuje přímočarý vratný pohyb funkčního orgánu klasických pístových kompresorů pohybem rotačním, který je podstatně vyváženější a tedy méně namáhá konstrukci kompresoru. Umožňuje také provoz v řádově vyšších otáčkách a díky tomu je možné přímé spojení s pohonem, snížení rozměru, hmotnosti a také investičních nákladů. Chod těchto kompresorů probíhá stlačování média s konstantním „vestavěným kompresním poměrem“.



Obr. č. 2 Pracovní prostor šroubového kompresoru - šroubovice

Volba správné velikosti kompresoru, je jedním z úkolů, které bude třeba po funkčních testech – měřeních vyhodnotit a na konci projektu najít správný energetický/finanční přínos pro jednotlivé velikosti/výkonnosti kompresorů.

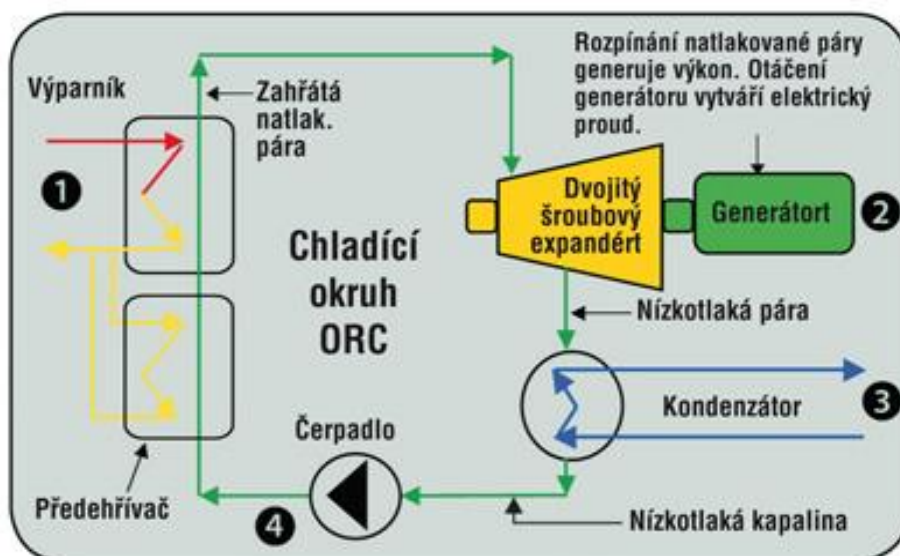
4 Využití odpadního tepla

Většina odpadního tepla z výroby stlačeného vzduchu je v současnosti často mařena bez dalšího využití případně se využívá nepatrná část. Naším cílem je určit teplotní potenciály jednotlivých ztrát a využít je pro zvýšení efektivity výroby stlačeného vzduchu.

Pro daný projekt se bude využívat technologie ORGANICKÉHO RANKINOVA CYKLU - ORC, kde expandérem bude šroubovice kompresoru. Na obrázku Obr. č. 3 je znázorněné zjednodušené schéma ORC technologie.

Zjednodušeně lze popsat ORC jako uzavřený tlakový parní oběh s uhlovodíkovým pracovním médiem, které má parametry (zejména bod varu) vhodné pro využití zdroje tepla s nižším potenciálem. Jako média se využívají tzv. „silikonové oleje“ nebo také „chladiiva“

Zásobníkem pro pracovní médium je napájecí nádrž, z níž je napájené oběhové čerpadlo. Oběhové čerpadlo, navyšuje tlak média na pracovní úroveň (různé dle teplotního potenciálu využitelného tepla), v ekonomizéru se přehřívá a poté vstupuje do výparníku, kde se dle parametrů kapaliny odpařuje. Vzniklé páry postupují přes separátor kapiček do expandéru, kde je entalpie pracovní látky transformována na energii kinetickou. Nízkotlaká pára vstupuje do kondenzátoru a poté jako kapalina do napájecí nádrže.



Obr. č. 3 schéma ORC technologie

4.1 Komerčně nabízené ORC jednotky

Jednotky s vysokorychlostní turbínou - ORC technologie Capstone Clean Cycle 125 kW. Tato turbína je provedena v kompaktním modulárním systému. Pracuje ve vysokých otáčkách, má tedy poměrně malé rozměry. Pracuje se vzduchovými (magnetickými) ložisky, bez maziva s nízkými nároky na údržbu.

Jednotky se šroubovým expandérem – tyto jednotky používají šroubový expandér, vlastně se tedy jedná o objemový parní motor. Jeho předností může být nižší citlivost na kvalitu páry, zejména může pracovat s mokrou parou bez nebezpečí poškození. V referencích jednotky s elektrickým výkonem 11-315 kWe, v nabídce pro vstupní teploty v rozmezí 85-105°C jsou jednotky s elektrickým výkonem od 55 do 315 kWe s tím, že pro tepelný příkon v rozmezí 4-7MWt dodávají jednotky zdvojené. Pro vstupní teploty v rozmezí 105-150°C jsou jednotky s elektrickým výkonem od 90 do 370 kWe s tím, že pro tepelný příkon v rozmezí 4-6MWt dodávají jednotky zdvojené.

4.2 Chladiva

Do nedávné doby, se pro tuto technologii využívala převážně pracovní média, která měla podstatnou nevýhodu, že byla hořlavá. Problémy s touto skutečností vedly k několika nehodám a v současnosti se většina výrobců snaží využívat technologii nehořlavých chladiv, i když některé firmy stále využívají např. toluen, propan-butan či jiné pracovní média s pro ně zajímavými pracovními křivkami v h/s diagramu.

Součástí projektu je volba správného pracovního média „chladiwa“ dle teplotních potenciálů jednotlivých tepelných ztrát. Předpokladem je vycházet ze dvou chladiv, R235fa a R138. Každé chladivo má specifický kritický bod využitelný pro jednotlivé výparné teploty. Hodnoty vybraných chladiv jsou uvedeny v Tab.1.



Tab.1. Přehled základních vlastností vybraných médií pro ORC

| Označení média | | M | Bod varu *) | TCR | PCR | Poznámka | ODP | GWP |
|----------------|--------------|-----------|-------------|--------|--------|-----------|------|------|
| | | [kg/kmol] | [°C] | [°C] | [MPa] | [-] | [-] | [-] |
| 78-78-4 | Isopentane | 72,149 | 27,83 | 187,2 | 3,378 | Hořlavý | 0 | 0 |
| 76-13-1 | R113 | 187,38 | 47,585 | 214,06 | 3,3922 | Nehořlavý | 0,8 | 6130 |
| 76-14-2 | R114 | 170,92 | 3,591 | 145,68 | 3,257 | Nehořlavý | 1 | 1000 |
| 306-83-2 | R123 | 152,93 | 27,823 | 183,68 | 3,6618 | Nehořlavý | 0,02 | 77 |
| 431-63-0 | R236ea | 152,04 | 6,19 | 139,29 | 3,502 | Nehořlavý | 0 | 1370 |
| 460-73-1 | R245fa | 134,05 | 15,14 | 154,01 | 3,651 | Nehořlavý | 0 | 1030 |
| 406-58-6 | R365mfc | 148,07 | 40,15 | 186,85 | 3,266 | Hořlavý | 0 | 794 |
| 624-64-6 | Trans-butene | 56,106 | 0,88 | 155,46 | 4,0273 | Hořlavý | | |
| 107-83-5 | Isohexane | 86,175 | 60,21 | 224,55 | 3,04 | Hořlavý | | |
| 107-46-0 | MM | 162,38 | 100,25 | 245,6 | 1,939 | Hořlavý | | |
| 108-88-3 | Toluene | 92,138 | 110,6 | 318,6 | 4,1263 | Hořlavý | | |
| 7732-18-5 | Voda | 18,015 | 99,974 | 373,95 | 22,064 | Nehořlavý | | |

*) při normálním tlaku

(ODP) potenciální poškození ozonové vrstvy,

(GWP) případný vliv na globální oteplování v rámci 100 let.

5 Měřicí trať kompresoru

Pro zjištění tepelného potenciálu jednotlivých tepelných ztrát je navržena zkušební trať, na které se provede soubor měření.

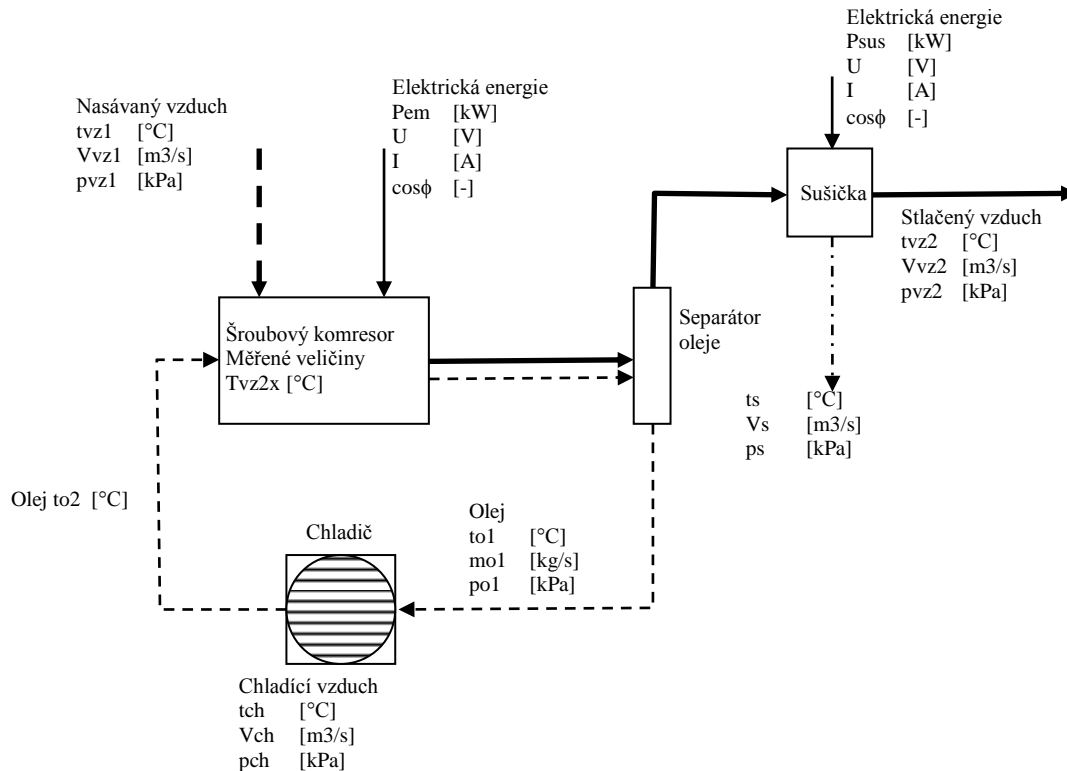
Měřené veličiny na straně komprimovaného vzduchu: Teplota vzduchu a množství vzduchu na straně sání, případně tlak (podtlak) v sání, teplota a tlak na výstupu z kompresoru před chladičem a za chladičem, resp. sušičkou vzduchu, množství za sušičkou.

Měřené veličiny na straně oleje: Teplota, tlak a množství oleje před chladiče, teplota oleje za chladičem.

Měřené veličiny na straně chladícího vzduchu: teplota, tlak a množství. Chladícího vzduchu za chladičem.



Měřené veličiny elektrické energie: Příkon elektromotoru kompresoru, napětí, proud a účinník, příkon topení sušičky, napětí, proud a účinník.



Obr. č. 4 Návrh měřících míst a jednotlivých veličin

6 Závěr

Výzkumným záměrem je zvýšit účinnost kompresorového celku. Současná účinnost výroby stlačeného vzduchu je poměrně nízká a možnost regenerovat část tepelných ztrát může představovat trvalou úsporu elektrické energie, respektive výrobu této energie z odpadního tepla. Tato energie bude vyrobena bez vzniku dalších emisí, tedy vysoce ekologicky a zároveňlepší ekonomické výsledky kompresorové stanice. Využití ORC jednotky v tomto případě představuje poměrně vysoce adaptabilní zdroj vzhledem k tomu, že je možno použít komerčně dodávané jednotky, které jsou na trhu v poměrně velkém spektru odpovídajících výkonů a je možno použít i modulární koncepce, tedy několik vhodně zvolených jednotek tak, aby pokryly okamžitou produkci odpadního tepla s co nejvyšší účinností přeměny energie.



Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu TH02020183 - Zvýšení účinnosti výroby stlačeného vzduchu v kompresorových stanicích pomocí ORC kompresoru a Adjustace syntézních plynů pro užití v sekundárních energetických strojích SP2017/98.

Použitá literatura

1. VÍTEK, S. ORC oběh pro využití tepla KJ. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. XY s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
2. ONDRÁŠ, Přemysl. *Využití organického Rankinova cyklu v teplárnách spalujících biomasu*. 2006. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
3. KAMINSKÝ, J. *Objemové kompresory*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 59 s. ISBN 80-7078-407-5.
4. <https://www.lbgmoravia.cz/technologie/premena-odpadniho-tepla-na-elektrinu-nebo-chlad/orc-organic-rankine-cycle-p48/>
5. <http://www.ggcenergy.cz/produkty/orc-technologie>
6. <https://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/co-je-treba-vedet-o-chladivech>