

Zákazník: **Česká energetická agentura**Zakázkové 5358-900-2
Číslo 5358-900-2/2-KS-01
Revize: 0

Energeticky efektivní spotřebitelské systémy – účinný nástroj snižování skleníkových plynů

Autor: Doc. Ing. Roman Povýšil, CSc
Telefon: 251 038 257
Telefax: 251 038 252
E-mail: povysil@tebodin.cz

Datum: 2006-10-30

Anotace

Vytvoření kompatibilních informačních základů o spotřebě energie v regionálních energetických systémech je nutným předpokladem pro možnost věrohodného začlenění zdrojů úspor do seznamu potenciálních energetických zdrojů na straně nabídky pro optimalizaci programu pro snižování emisí látek přispívajících ke změně klimatu Země.

Odpovídající základní údaje o spotřebě jsou potřebné pro ocenění účinků a nároků. Zhodnocení účinnosti opatření může být například kvantifikováno potencionálními možnostmi substituce fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie, absolutními úsporami energie v konečné spotřebě, zvýšením účinnosti energetických procesů apod. Tato „úspora“ odpovídá velikosti zdroje, který je k dispozici ve zdrojové části energetické soustavy, jako funkce ceny za dodanou energii a dodaný výkon. Takto definovaný a oceněný zdroj „negawattů“ je porovnáván s potenciálními zdroji dodavatele na bázi dlouhodobých marginálních nákladů včetně zahrnutí komparativních nákladů spojených s negativními vlivy na životní prostředí.

Hodnocení efektivnosti navržených variant musí vycházet jednak z porovnání účinků racionalizačních opatření a nároků potřebných k dosažení těchto účinků a jednak z nároků na zvýšení odběrů jednotlivých forem energie, resp. výstavbu nových energetických zařízení v předmětném systému a emisních stropů a limitů produkce skleníkových plynů.

Za hlavní faktory působící komplikace při praktické činnosti lze považovat:

- měřitelnost budoucích úspor
- kvantifikace vlivu úspor na průběh zatížení energetických soustav
- doba působnosti úspor
- náklady spojené s realizací
- hodnocení rizik souvisejících s realizací úspor

Z těchto důvodů je vypracovaný produkt zaměřen na postupy a metody, které umožní věrohodnou kvantifikaci těchto úspor na straně poptávky a tím verifikovat budoucí prognózu poptávky po energii. Jádrem produktu jsou návrhy řešící kvantifikaci a měřitelnost úspor v průmyslových systémech, dobu působnosti těchto úspor, nákladovou náročnost a rizika realizace.

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2006 – část A

0	2006-04-06	Ing.M.Mareš Ing.M.Svoboda Ing.J.Šváb Doc.Ing.R.Povýšil,CSc.			Doc.Ing.R.Povýšil, CSc.
Rev.	Datum	Vypracoval	Zodpovědný projektant	Vedoucí oddělení	Vedoucí projektu

© Copyright Tebodin Czech Republic, s.r.o.

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být kopírována nebo přenesena v jakékoliv formě nebo jakýmikoliv prostředky bez povolení vydavatele.

Technická zpráva

5353-900-2/2-KS-01

1	Úvod do problematiky	5
2	ENERGETICKÁ EFEKTIVNOST	6
2.1	Definice energetické efektivity	6
3	Ukazatele energetické efektivity v průmyslu	8
3.1	Výrobní procesy	8
3.2	Faktor energetické intenzity a index energetické efektivity	8
3.3	Energetická efektivity výrobních jednotek	9
3.4	Energetická efektivity provozního celku	14
3.5	Aspekty definování indikátorů energetické účinnosti	15
4	Aplikované techniky úspor energie	17
4.1	Spalovací procesy	17
4.2	Obecné strategie ke snížení ztrát	17
4.3	Technické postupy zvyšování energetické efektivity	19
4.4	Mezisyستمové vlivy	21
5	Energeticky úsporné technologická zařízení	22
5.1	Ohřívací pece	22
5.2	Parní systémy	26
5.3	Kogenerace	42
5.4	Trigenerace	53
5.5	Centrální chlazení	55
5.6	Rekuperace odpadního tepla	57
5.7	Tepelná čerpadla	61
5.8	Systémy poháněné elektromotorem	67
5.9	Systémy stlačeného vzduchu	74
5.10	Čerpací systémy	83
5.11	Systémy sušení	89
6	Obecné nejlepší postupy	92
6.1	Indikátory energetické efektivity	92
6.2	Struktura a nástroje energetického managementu	93
6.3	Techniky zlepšení energetické efektivity	95
6.4	Rekuperace tepla	97
6.5	Systémy poháněné elektromotorem	97
6.6	Systémy stlačeného vzduchu	97
6.7	Čerpací systémy	98
6.8	Systémy sušení	98
7	Literatura	98



TEBODIN
Consultants & Engineers

Tebodin Czech Republic, s.r.o.

Zakázkové číslo: 5375-900-2

Číslo dokumentu: 5375-900-2/2-KS-01

Revize: 0

Datum: říjen 2006

Strana: 4 z 98

1 Úvod do problematiky

Vytvoření kompatibilních informačních základů o spotřebě energie v regionálních energetických systémech je nutným předpokladem pro možnost věrohodného začlenění zdrojů úspor do seznamu potenciálních energetických zdrojů na straně nabídky pro optimalizaci programu pro snižování emisí látek přispívajících ke změně klimatu Země.

Odpovídající základní údaje o spotřebě jsou potřebné pro ocenění účinků a nároků. Zhodnocení účinnosti opatření může být například kvantifikováno potencionálními možnostmi substituce fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie, absolutními úsporami energie v konečné spotřebě, zvýšením účinnosti energetických procesů apod. Tato „úspora“ odpovídá velikosti zdroje, který je k dispozici ve zdrojové části energetické soustavy, jako funkce ceny za dodanou energii a dodaný výkon. Takto definovaný a oceněný zdroj „negawattů“ je porovnáván s potenciálními zdroji dodavatele na bázi dlouhodobých marginálních nákladů včetně zahrnutí komparativních nákladů spojených s negativními vlivy na životní prostředí.

Jestliže krátkodobý marginální náklad na zajištění poptávky po energii je vyšší než dlouhodobý marginální náklad na úspory energie, pak spotřebitel má zájem na jejich realizaci. Důležitou součástí rozhodování bude stále častěji i příspěvek předemtných opatření ke snižování emisí CO₂ a možnosti obchodování s těmito emisemi resp. naplnění požadavků na splnění emisních limitů. Naopak jsou-li nižší, pak se vzdává možnosti doplňkových investic do úspor energie.

Hodnocení efektivnosti navržených variant musí vycházet jednak z porovnání účinků racionalizačních opatření a nároků potřebných k dosažení těchto účinků a jednak z nároků na zvýšení odběrů jednotlivých forem energie, resp. výstavbu nových energetických zařízení v předemtném systému a emisních stropů a limitů produkce skleníkových plynů.

Za hlavní faktory působící komplikace při praktické činnosti lze považovat:

- měřitelnost budoucích úspor
- kvantifikace vlivu úspor na průběh zatížení energetických soustav
- doba působnosti úspor
- náklady spojené s realizací
- hodnocení rizik souvisejících s realizací úspor

Z těchto důvodů je třeba těmto problémům věnovat neustálou pozornost a vytvářet postupy a metody, které umožní věrohodnou kvantifikaci těchto úspor na straně poptávky a tím verifikovat budoucí prognózu poptávky po energii. Na základě toho navrhujeme produkt zaměřený na tuto doposud velmi málo prozkoumanou problematiku. Jádrem produktu budou návrhy řešící kvantifikaci a měřitelnost úspor v průmyslových a bytových spotřebitelských systémech, dobu působnosti těchto úspor, nákladovou náročnost a rizika realizace.

Produkt patří do skupiny produktů zaměřených na vypracovávání podkladů pro vyhledávání, přípravu a propagaci energeticky úsporných projektů s výrazným snížením emisí CO₂ včetně informací o možnostech financování těchto projektů.

Publikace bude určena pro informační střediska EKIS, pracovníky státní správy, vlastníky budov a energetického hospodářství a odbornou veřejnost.

2 ENERGETICKÁ EFEKTIVNOST

Kapitola se zabývá pojmem energetické efektivity a jeho možnými definicemi, které jsou významné pro průmysl, a způsobem, jímž lze zpracovat indikátory, jimiž je energetická efektivity monitorována. Dále jsou uvedeny různé aspekty, které energetickou efektivity ovlivňují. Některé z nich může podnik kontrolovat, některé nikoli.

V kapitole jsou také uvedeny příklady, jak různě vymezené hranice systému ovlivňují tuto energetickou efektivity a s tím spojenou účinnost.

2.1 Definice energetické efektivity

Definování energetické efektivity je složitý úkol, neboť není možné představit řešení, které bude možné použít pro všechny případy a s kterým budou souhlasit všechny zainteresované osoby .

Je-li používán pojem energetická efektivity, obvykle není definován jeho význam. Je-li význam definován, závisí na kontextu, v němž je pojem používán. Je tomu tak, protože se všichni energií nezabývají stejným způsobem nebo neaplikují stejné hranice systému. Může být snadné popsat význam pojmu energetická efektivity, je-li řešen samostatný prvek systému nebo jeho subsystém, ale jakmile je řešena energetická efektivity komplexních průmyslových výroben vyvstává řada problémů s jejím definováním.

Jelikož pro různé zainteresované osoby znamená energetická efektivity různé věci, je nutné vyjasnit, co je v tomto dokumentu energetickou efektivity míněno. Za prvé je nutné rozlišovat mezi energetickou efektivity na makro úrovni (např. národního hospodářství) a efektivity na mikro úrovni (např. podnikové hospodářství). V tomto produktu je diskutována pouze energetická efektivity na mikroúrovni. Energetická efektivity je řešena z perspektivy průmyslu v hranicích zařízení a bez posouzení životního cyklu produktu průmyslových procesů. Přístup je v souladu s koncepcí Směrnice IPPC, která je zaměřena na výrobu, nikoli na její produkty. Rovněž není věnována pozornost palivům, z nichž je energie vyráběna.

V Evropské unii neexistuje široce přijímaná definice energetické efektivity. Směrnice IPPC energetickou efektivity nedefinuje vůbec. Přesto je požadováno, aby IPPC zařízení byla provozována energeticky účinně a energetická efektivity je prvkem úvah o BAT a měla by jí být věnována pozornost při žádání o povolení a v podmínkách povolení. Aby byly splněny požadavky na prokázání energetické efektivity, jsou potřebné vhodné indikátory.

Energetická efektivity byla definována na příklad následujícími způsoby:

- poměr mezi výstupem v podobě výkonu, služeb, statků a energie a energií na vstupu. Definici energetické efektivity je možné nalézt v Společném postoji č. 34/2005 ke Směrnici o účinnosti energie a spotřeby a energetické službě (93/76/EEC). Podle této definice není nahrazení neobnovitelných zdrojů energie obnovitelnými zlepšením energetické efektivity. V tomto Společném postoji je definováno i zlepšení energetické efektivity jako zvýšení konečné účinnosti užití energie, které je výsledkem technologických, behaviorálních a/nebo ekonomických změn. Tyto definice zabírají širší rozsah, než jen energetickou efektivity v průmyslu. Jedná se o:
 - získání neměnné hodnoty výstupu za nižší úrovně spotřeby energie

- získání zvýšené hodnoty výstupu s nezměněnou spotřebou energie nebo získání hodnoty výstupu, které relativně převyšuje spotřebu energie
- množství energie spotřebované na jednotku produkce/výstupu
- množství energie spotřebované na jednotku suroviny
- spotřeba energie na jednotku produkce, kde spotřeba energie je vyjádřena na základě nosičů energie.

Tato definice se netýká neenergetické spotřeby v podobě surovin. Spotřeba energie z sekundárních nosičů energie je zpětně přepočtena na výhřevnost (nejmenší hodnota spalného tepla) primárních nosičů energie. Čisté nákupy elektrické energie jsou přepočteny účinností výroby elektrické energie.

V průmyslu je nejčastěji používaná definice energetické efektivity jako množství energie spotřebované na jednotku produkce/výstupu, což lze označit také jako měrnou spotřebu energie nebo faktor energetické intenzity.

Zlepšení energetické efektivity tudíž znamená snížení množství energie potřebné k výrobě jednotky produkce.

V tomto produktu bude užívána hlavně tato definice. Definice se jeví na první pohled jako jasná. Nicméně zkušenosti ukazují, že při kvantifikaci konceptu za účelem monitoringu energetické efektivity, je potřebný pracovní rámec s lepší definicí a způsoby měření energetické účinnosti. Definice sama o sobě hodně vypovídá o problému, zda je energie využívána nebo vyráběna účinně.

Aby měly údaje informativní hodnotu a byly užitečné, je nutné energetickou efektivnost s něčím porovnat (jiná výrobní jednotka, podnik, s údaji časové řady), a pro toto porovnání je nutné stanovit pravidla. V případě, že je porovnávána energetická efektivnost, obzvláště významné je definování hranic systému, neboť pak uživatelé údajů hovoří o stejných věcech.

Ve své jednoduchosti definice nezohledňuje ani účinnost výroby energie, ani užití „odpadní“ energie za hranicemi systému. Aby bylo možné vyhodnotit zlepšení energetické efektivity, je nutné tyto otázky a řadu dalších posoudit transparentně. O energetické efektivnosti je uvažováno hlavně z perspektivy samostatného průmyslového podniku z perspektivy výrobní provozovny, v níž je seskupeno několik výrobních procesů a jednotek. Nejlepší energetická efektivnost provozovny nemusí být rovna souhrnu optim energetické efektivity jednoho nebo více výrobních procesů/jednotek/komponent. Pro dosažení optimální energetické efektivnosti provozovny může být nutné uvést jeden nebo více výrobních procesů/jednotek/komponent mimo energeticko - účinné optimum. Proto je důležité porozumět, jak definice hranic systému ovlivňuje energetickou efektivnost.

Celková energetická efektivnost může být zvýšena rozšířením hranic systému až na činnosti překračující podnikové činnosti a integrací výroby a spotřeby energie s potřebami společností z okolí provozovny, např. dodávkami nízkopotenciální energie pro vytápění bytového sektoru.

3 Ukazatele energetické efektivity v průmyslu

V předchozí části byly diskutovány definice užívané pro vymezení pojmu energetická efektivnost. Následující část je zaměřena na problematiku vyjádření energetické efektivity a její indikátory pro jednotlivé průmyslové výrobní procesy/jednotky/provozovny. Pozornost je soustředěna vysvětlení, které aspekty jsou relevantní této úloze a jak je posoudit. Hlavním cílem indikátorů je umožnit zpracování analýzy nebo porovnání výrobních jednotek s ostatními jednotkami nebo podniky. Zdůrazněn je význam jasných rozhodnutí o vymezení hranic systému, o energetických tocích energie a o způsobu, jak řešit další související aspekty (např. odpady/paliva, faktor přeměny elektrické energie).

3.1 Výrobní procesy

Výrobní proces/jednotka je děj, při němž je jeden nebo více vstupních materiálů a surovin přeměněno na jeden nebo více hodnotnějších produktů a při této přeměně je spotřebována energie. Příklady výrobních procesů/jednotek jsou:

- uhelná elektrárna jako vstupní materiál používá hnědé uhlí jako vstupní surovinu a produktem výrobního procesu je elektrická energie. Spotřebovanou energií je chemická energie obsažená v uhlí. Elektrická energie může být vyrobena také na jednotce kombinované výroby tepla a elektrické energie a pak je pochopitelně celková energetická efektivnost procesu lepší
- rafinerie zpracovává surovou ropu a přeměňuje ji na benzín, naftu, topný olej a řadu dalších produktů. Část produktů je při procesu přeměny spálena, neboť tak je zajištěna energie nutná pro běh procesu přeměny. Obvykle je nutné, pokud není v rafinerii instalována kogenerační jednotka, importovat ještě elektrickou energii. Pokud je v rafinerii kogenerační jednotka, může se rafinerie stát exportérem elektrické energie
- surovinou válcovny plechu v ocelárnách jsou ploché ocelové pláty o tloušťce několika centimetrů, které jsou válcovány do pásů, jejichž tloušťka je několik milimetrů. Válcovna sestává z pecí, válcovacího zařízení, chladicího zařízení a pomocných systémů, které zahrnují čerpadla, ventilátory, hydraulické a mazací systémy, osvětlení, pracovní dílnu, prostor pro pracovníky, šatny atd.

Pro objektivní vyhodnocení změny energetické efektivity procesů je třeba mít k dispozici definované indikátory energetické efektivity, kterými je možné měřit a vyhodnocovat změny účinnosti, a tak např. prokázat, že energie je využívána/vyráběna účinně - optimálně.

3.2 Faktor energetické intenzity a index energetické efektivity

Vývoj energetické efektivity v podniku či porovnání mezi různými podniky lze provádět využitím následujících indikátorů: *faktor energetické intenzity a index energetické efektivity*.

Faktor energetické intenzity je často označován jako měrná spotřeba energie a vyjadřuje množství energie, které je spotřebováno na výrobu daného produktu/ů.

V další části bude pozornost soustředěna na výklad, jak rozvinout strukturu pro definování energetické efektivity a jejích indikátorů na úrovni výrobních jednotek a provozoven.

Hlavním účelem indikátorů energetické efektivity je umožnění monitoringu změny energetické efektivity dané produkční jednotky v čase a zjištění dopadu opatření a projektů ke zlepšení energetické efektivity výrobního procesu/jednotky.

V nejjednodušší formě lze **faktor energetické intenzity** (v zahraniční literatuře označovaný jako EIF – energy intensity factor) definovat takto:

$$\text{EIF} = (\text{energie importovaná} - \text{energie exportovaná}) / \text{vyrobené produkty}$$

EIF reprezentuje rozměrový koeficient, např. GJ/t.

Index energetické efektivity (EEI – energy efficiency index) je definován jako podíl referenčního faktoru energetické intenzity a faktoru energetické intenzity.

$$\text{EEI} = \text{EIF}_{\text{ref}} / \text{EIF}$$

EIF_{ref} může být buď referenční koeficient, jenž je ve výrobním procesu odpovídajícím průmyslovém odvětví všeobecně uznávaný, nebo jím může být faktor energetické intenzity monitorovaného výrobního procesu v určitém referenčním roce.

EIF ukazuje, kolik energie je spotřebováno na výrobu daných produktů bez jakéhokoliv zřetele na předchozí výkony.

Zatímco EEI je koeficient, jenž s rostoucí energetickou efektivitou roste, EIF je koeficient, jenž s rostoucí energetickou účinností klesá. Energetický management je proto zacílen na nejnižší možnou hodnotu EIF a nejvyšší možnou hodnotu EEI.

Pro účely monitoringu je nejlépe stanovovat dlouhá období (např. měsíce nebo roky), z kterých je počítána energetická efektivity. Například indikátor energetické efektivity počítaný na základě hodinových hodnot může u nepřetržitých procesů vykazovat značné kolísání a pro dávkové procesy dokonce nebude mít smysl žádný. Kolísání hodnot je stanovením delších období vyhlazeno.

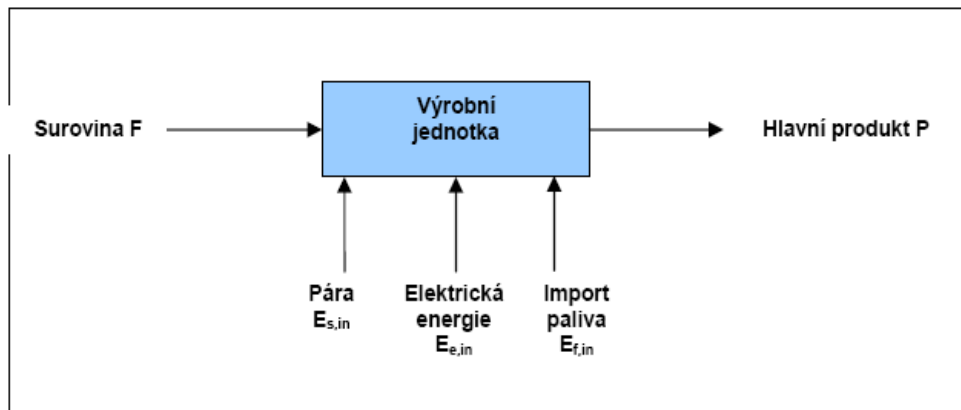
Výše uvedené rovnice na první pohled vypadají jednoduše, zkušenosti ukazují, že definice ponechávají prostor pro interpretace; aspekty, jako jsou hranice systému, energetické toky, či způsob vypořádání se s různými palivy, musí být před jejich aplikací definovány a vymezeny, obzvláště pokud je výrobní proces porovnáván s jiným.

3.3 Energetická efektivity výrobních jednotek

Na následujících dvou převzatých příkladech jsou ilustrovány koncepty EIF a EEI.

Příklad 1.

Obrázek zobrazuje příklad jednoduché výrobní jednotky. Pro účely zpřehlednění je posuzovaný proces bez exportu energie a zpracovává pouze jednu vstupní surovinu/materiál na pouze jeden produkt. Výrobní proces využívá páry, elektrické energie a paliv.



Indikátor EIF tohoto procesu je dán rovnicí:

$$EIF = \frac{E_{s,in} + E_{e,in} + E_{f,in}}{P}$$

Kde:

- $E_{s,in}$ energie dodaná procesu párou za účelem výroby množství produkce P
- $E_{e,in}$ energie dodaná procesu jako elektrická energie za účelem výroby množství produkce P
- $E_{f,in}$ energie dodaná procesu v palivu za účelem výroby množství produkce P.

V uvedeném vztahu je nezbytné vyjádřit různé energetické toky jako primární energii.

Například 1 MWh elektrické energie je vyrobena z většího množství energie, než 1 MWh páry, neboť elektrická energie je obvykle vyráběna s účinností 35-45 % a pára s účinností 85-95 %. Spotřeby energie na různých energetických tocích je proto nutné vyjádřit jako primární energii. Primární energie zahrnuje účinnost výroby energie příslušného toku.

Příklad výpočtu energetické efektivity

Předpokládejme, že na výrobu 1 tuny produktu P1 je nutné využít následující energetické toky:

- 0,01 t paliva
- 10 kWh elektrické energie
- 0,1 t páry.

Dále předpokládejme následující:

- výhřevnost paliva = 50 GJ/t
- účinnost výroby elektrické energie = 40 %
- pára je vyráběna z vody s teplotou 25 °C
- rozdíl mezi entalpií páry a entalpií vody s teplotou 25 °C je = 2,8 GJ/t
- pára je vyráběna s účinností 85 %.

K výrobě 1 t produktu P1 je spotřeba energie následující:

- $E_{f,in} = 0,01 \text{ t paliva} \times 50 \text{ GJ/t} = 0,5 \text{ GJ}$
- $E_{e,in} = 10 \text{ kWh} \times 0,0036 \text{ GJ/kWh} \times 1/0,4 = 0,09 \text{ GJ}$
- $E_{s,in} = 0,1 \text{ t páry} \times 2,8 \text{ GJ/t} \times 1/0,85 = 0,33 \text{ GJ}$.

EIF procesu je určena výrazem:

- $EIF = (0,5 + 0,09 + 0,33) \text{ GJ/t} = 0,92 \text{ GJ/t}$.

V rámci konceptu EEI předpokládáme, že je k dispozici referenční EIF. Nyní předpokládáme, že v provozovně je realizována řada projektů zlepšení energetické efektivity, takže o rok později je spotřeba energie výrobního procesu následující:

- 0,01 t paliva
- 15 kWh elektrické energie
- 0,05 t páry.

Výsledkem projektů zlepšení energetické efektivity je nová hodnota EIF procesu:

- $EIF = (0,05 + 0,135 + 0,165) \text{ GJ/t} = 0,8$.

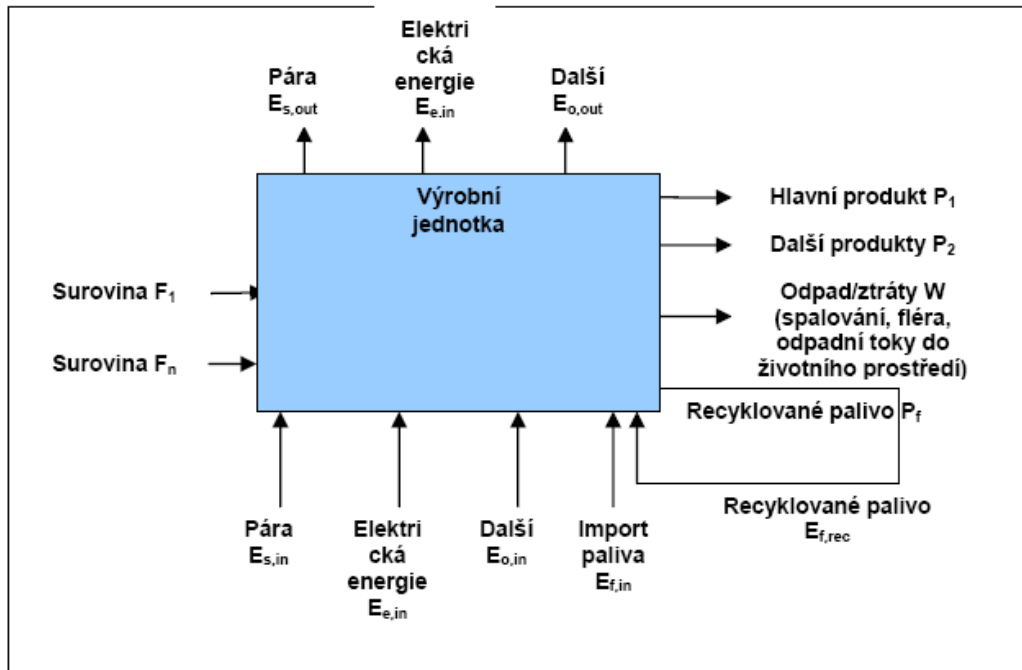
EEI procesu je potom:

- $EEI = 0,92/0,8 = 1,15$.

Výsledek ukazuje, že energetická efektivity výrobního procesu vzrostla o 15 %.

Příklad 2.

Následující obrázek poukazuje na obecnější případ, v němž dochází jak k exportu energie, tak vnitřní recyklaci paliva.



Faktor energetické intenzity EIF výše uvedeného procesu je definován rovnicí:

$$EIF = \frac{[E_{s,in} + E_{e,in} + (E_{f,in} + E_{f,rec}) + E_{o,in}] - (E_{s,out} + E_{e,out} + E_{o,out})}{P_1}$$

Tuto obecnou rovnici lze použít pro všechny výrobní procesy/jednotky nebo provozovny, ovšem je nutné její jednotlivé složky přizpůsobit specifikum každého výrobního procesu/jednotky/provozovny. Jednotkou indikátoru (jednotka energie)/(jednotka množství) je obvykle GJ/t produkce nebo MWh/t produkce.

Níže jsou v sedmi bodech popsány vybrané aspekty, které mohou být brány v potaz při aplikaci

1. Toky surovin/produktu (Fi, Pi)

Na výše uvedeném obrázku jsou v horizontálním směru zobrazeny hmotné toky produktů. Suroviny F_i jsou rozličné surové materiály používané k výrobě produktu. Produkty, které vycházejí z procesu jsou rozděleny na hlavní produkty P_1 a vedlejší produkty. Vedlejší produkty jsou rozděleny na dvě části: část, která je recyklována na palivo (P_f) a ostatní zbývající produkty (P_2).

2. Vektory energetických toků (Ei)

Energetické vektory jsou různé druhy energetických toků, které probíhají jednotkou. Na obrázku jsou ve vertikálním směru zobrazeny importy energie a energie exportovaná, jež je využita mimo proces. V úvahu jsou brány následující energetické vektory:

- Ex = pára a/nebo teplá voda
- Ee = elektrická energie spotřebovaná procesem
- Ef = palivo (plynné, kapalné nebo pevné).
- Eo = ostatní: zahrnuje jakákoliv pomocná zařízení, která vyžadují výrobu energie.

Je důležité, aby na straně exportu byly započteny pouze ty energetické vektory, které jsou za hlavním procesem/jednotkou „užitečně“ spotřebovány jiným procesem. Do výše uvedené rovnice nelze jako export energie zahrnout zejména energii vázanou k chlazení produktu a přenesenou na chladicí vodu nebo vzduch. Energie je spotřebována na výrobu chladicí vody (provoz čerpadel a ventilátorů), ale tato energie není vždy zahrnuta, a je tomu podobně u stlačeného vzduchu. Také by nikdy neměly být započteny ztráty tepla do ovzduší.

3. Pára s různými parametry (Es)

Výrobní provozovna může využívat nebo vyrábět více než jeden druh páry (druhy s různými tlaky a/nebo teplotami). Pod výraz Es je nutné zahrnout všechny tyto úrovně kvality páry. Pokud je využívána teplá voda (nebo v procesu vyráběná a jinou výrobní provozovnou využívaná), měla by být započtena. Každá z úrovní kvality páry může vést k jinému faktoru účinnosti.

4. Odpadní toky (W)

Každý proces povede ke vzniku množství odpadních produktů. Odpadní produkty mohou být pevné, kapalné či plynné a lze je:

- odstranit na skládky (pouze pevné) nebo spalováním
- využít jako palivo (Pf) nebo
- recyklovat.

5. Palivo nebo produkt nebo odpad (Eo, Pf)

Na obrázku není palivo zobrazeno jako vektor exportované energie. Důvod spočívá v tom, že palivo je považováno spíše za produkt, než za nosič energie, a že hodnota paliva, která by byla přiřazena palivovému toku, je již přítomna v surovinách, které vstupují do a procházejí výrobní jednotkou. Toto pojetí je standardem v rafinériích a chemickém průmyslu.

V ostatních odvětvích lze aplikovat odlišné postupy.

Proto je důležité stanovit pravidla pro suroviny, produkty, importované nosiče energie a exportované nosiče energie, a podle nichž bude v daném odvětví definována specifická energetická účinnost.

6. Časový rámeček

Faktor energetické intenzity lze spočítat za jakýkoliv požadovaný časový rámeček (hodina, týden, měsíc, rok). Pro porovnání energetické efektivity je nicméně upřednostňován rámeček měsíce nebo roku, neboť v takových obdobích lze lépe podchytit a vyrovnat nastalé odchylky spotřeby energie v procesu.

Proces může vykazovat na příklad během běžného provozu relativně nízkou spotřebu energie, ale kvůli poruchám může být často zastavován a restartován, což může vést k významným spotřebám

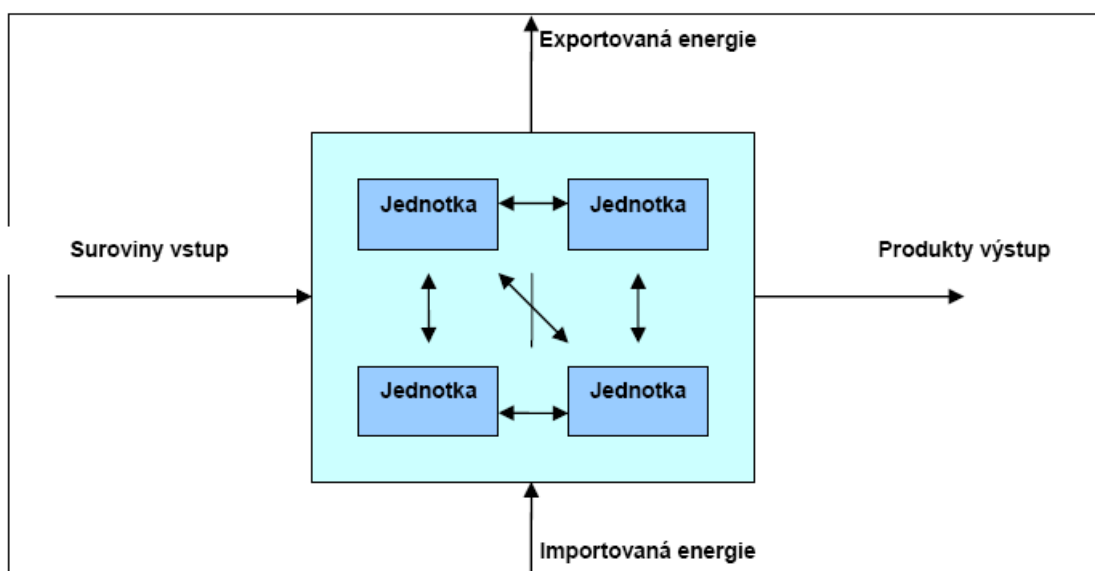
množství energie: měsíční nebo roční faktor intenzity lépe podchytí účinky těchto opakujících se událostí.

7. Měření nebo odhad

V rovnici pro výpočet faktoru energetické intenzity je předpokládáno, že různé energetické vektory výrobního procesu jsou známy. V běžném výrobním procesu ale nejsou spotřeby různých pomocných zařízení vždy měřeny. Za účelem řízení procesu jsou často měřeny pouze spotřeby hlavní jednotlivých zařízení výrobního procesu. Celková spotřeba energie je potom součet spotřeb na mnoha jednotlivých zařízeních, z nichž některé spotřeby jsou měřeny, jiné „odhadovány“. Pravidla odhadování musí být definována a průhledným způsobem dokumentována.

3.4 Energetická efektivnost provozního celku

Ve složitých výrobních systémech je provozován více než jeden výrobní proces nebo výrobní jednotka. Aby bylo možné určit energetickou efektivnost celého systému, je nutné ji rozdělit na menší jednotky, které obsahují procesní jednotky a jednotky pomocných zařízení. Energetické toky výrobního systému lze schematicky např. znázornit následně:



Ve výrobní provozovně mohou být zhotovovány různé druhy produktů, z nichž každý může mít vlastní faktor energetické intenzity. Proto není vždy snadné definovat indikátor energetické efektivnosti výrobního systému.

Indikátorem může být např. následující výraz:

$$EEI = \frac{\sum_{i=\text{jednotka}} P_{1,i} \times EIF_{ref,i}}{\text{Energie spotřebovávána za hodnocené období v provozovně}}$$

Při rozčleňování výrobních provozoven na výrobní jednotky je nutné zohlednit, bude-li centrum pomocných zařízení a procesů uvažováno za samostatnou výrobní jednotku. Obvykle tomu tak je, neboť centrum pomocných zařízení a procesů poskytuje služby více než jedné výrobní jednotce.

Dalším aspektem je, zda má centrum pomocných zařízení a procesů vlastní spotřebu energie nebo zda ji pouze přeměňuje na energetický tok jiné výrobní jednotky.

Samotnou sekci pomocných zařízení a procesů je možné rozčlenit na další sekce: na příklad ji lze rozdělit na část, která zahrnuje prostor skladování a nakládky/vykládky, na část, která zahrnuje teplé procesy a část, která zahrnuje chladné procesy .

Vždy by měla být ověřena následující rovnice:

$$\text{Energie spotřebovávaná v provozovně} = \sum_{i=\text{jednotka}} EIF_i \times P_i + \text{Energie spotřebovávaná v oddělení pomocných}$$

Rozčlenění provozovny na výrobní jednotky je pro realizaci energetického managementu nezbytné. Rozčlenění zahrnuje jasné systémové hranice výrobních jednotek, čímž jsou jasné definovány energetické toky do a z provozovny a mezi jednotlivými výrobními jednotkami . Tímto způsobem je pak jasné definováno, jak bude vypočítána energetická efektivnost daných výrobních procesů. Rozčlenění provozovny na výrobní jednotky bude odvislé od složitosti výrobního systému.

3.5 Aspekty definování indikátorů energetické účinnosti

V této části jsou diskutovány vybrané důležité aspekty, ke kterým může podnik učinit rozhodnutí, a které by měly být brány v potaz při definování energetické efektivnosti a jejích indikátorů. Dále je pozornost soustředěna na vysvětlení strukturálních aspektů, které ovlivňují definici energetické efektivnosti.

3.5.1 Hranice systému

Při definování účinnosti procesu/jednotky, provozovny, je nejdůležitější jasné definování hranic systému procesu/jednotky . Je-li jednou o začlenění rozhodnuto, jsou stejná rozhodnutí uplatňována vždy. Jako příklad uvedem parní kotel.

Zdroj tepla - kotel lze začlenit jako samostatnou jednotku nebo jako část procesní jednotky.

Například v malých provozovnách s pouze jedním výrobním procesem bude kotel často začleněn do hranic systému výrobního procesu. Primárním zdrojem energie budou v takovém případě paliva spalovaná v kotli. Naopak ve velkých provozovnách, v nichž jsou kotle společné pro všechny procesy budou často ponechány mimo hranice systému výrobního procesu a hlavním nosičem energie bude místo paliva teplo.

3.5.2 Další aspekty

1. Jmenovatel faktoru energetické intenzity a indexu energetické intenzity

Ve většině případů je zcela zřejmé, že jmenovatelem je produkt/výstup. Nicméně někdy může být příslušné jako dělitele použít množství suroviny a v jiných případech, kdy je během času vyráběno více produktů, by mělo být zváženo, který jmenovatel povede k nejlepším výsledkům:

- produkty, sdružené produkty a surovina – v nejjednodušším případě bude výrobní jednotka vyrábět jeden hlavní produkt, jenž pak lze použít jako dělitel. V některých případech může být vyráběna řada rovnocenně důležitých produktů nebo řada důležitých sdružených produktů. Kde je to vhodné, tam lze jako dělitel použít součet těchto produktů. Jinak je nutné ustanovit hranice tak, aby byla zachována smysluplná konzistence energetické bilance a výrobní bilance
- v některých případech může být vhodné použít jako dělitel množství surovin. Tento dělitel je doporučen, pokud je spotřeba energie danou výrobní jednotkou určena především množstvím vstupující suroviny a méně množstvím produkce na výstupu, což by mohl být případ, kdy množství produkce na výstupu značně závisí na kvalitě suroviny. Použití suroviny jako dělitele nicméně nemusí zohledňovat ztrátu účinnosti procesu
- několik produktů v dávce/vsázce nebo ve výrobní kampani – zvláštní pozornost by měla být věnována provozovnám, na nich je z vsázky nebo při spuštění výrobní kampaně vyráběno několik různých produktů. Aby bylo možné monitorovat indikátor energetické efektivity procesu, může být vhodné definovat referenční indikátor energetické účinnosti ke každému stupni (vycházejícího z průměrné spotřeby energie v daném stupni).

Postup je použitelný také v případě, kdy výrobní provozovna vyrábí pouze jeden produkt, který ovšem má různé specifikace a pro každou specifikaci je odlišná spotřeba energie.

2. Interní výroba a spotřeba energie

V řadě procesů je uvnitř procesu využito palivo, které je procesem vyrobeno. Je důležité, aby energie tohoto paliva byla při určování energetické efektivity procesu započtena. Např. rafinerie by měly velmi malé spotřeby energie, neboť všechna kapalná a plynná paliva (pokud není zpracováván zemní plyn) spotřebovaná při procesu rafinace, jsou vyrobena uvnitř procesu z

importované surové ropy. Obvykle 4-8 % importované surové ropy je přeměněno na paliva, která jsou pak interně spotřebována. Jediným importovaným energetickým tokem je pak elektrická energie (která představuje malý příspěvek ve srovnání se spáleným palivem). Zjevně to dobře neodráží realitu, neboť rafinerie spotřebují významné množství energie.

3.5.3 Hierarchie opatření energetické efektivity

Následuje výčet tří hierarchických úrovní opatření:

1. Maximálně omezit spotřebu/poptávku po energii. Druhou úrovní tohoto požadavku je použití:

- opatření na technologickém procesu, která snižují spotřebu energie
- opatření na pomocných zařízeních
- opětovné užití energie
- zvýšení účinnosti výroby tepelné a elektrické energie.

2. Pokrýt zbývající spotřebu v maximální míře obnovitelnými zdroji energie.

3. Je-li nadále nutné spotřebovávat fosilní paliva, využívat je s maximální účinností a při minimálním znečištění.

Systémy a provozní jednotky nejsou navíc vzájemně nezávislé a tudíž je při rozhodování o opatření energetické efektivity vždy důležité nahlížet na ně jako na celek.

Elementárním příkladem ilustrace vlivu vzájemné závislosti je případ pořízení kotle s vysokou účinností pro centrální zásobování teplem; následně je na budovách realizováno zateplení obvodového pláště a následkem toho je instalovaná tepelná kapacita kotle příliš vysoká. Příliš velký kotel vede k poklesu energetické efektivity zdroje tepla.

4 Aplikované techniky úspor energie

4.1 Spalovací procesy

Tato část se zabývá ztrátami při spalování obecně a uvádí příklady správných technik snižování ztrát.

4.2 Obecné strategie ke snížení ztrát

Spalovací zařízení

Spalovacími zařízeními, o nichž je pojednáno v této části, jsou zařízení, která pro výrobu a přenos tepla pro určitý proces využívají proces spalování paliva. Diskutovaná zařízení zahrnují:

- kotle pro výrobu páry nebo horké vody
- ohřivače pracovního procesu, např. ohřívání surové ropy v destilačních jednotkách, parní krakování v petrochemických závodech nebo parní reforming při výrobě vodíku

- pece, v nichž je pevný granulovaný materiál zahřán na teplotu, která vyvolá chemickou transformaci, např. cementářské pece.

Ve všech těchto zařízeních lze s energií hospodařit řízením parametrů procesu a řízením spalování.

Informace zde uvedené se týkají jak plamenového spalování (využití hořáku), tak spalování ve fluidním loži. Informace se dále týkají pouze strany spalování od vstupu paliva a vzduchu k odvodu spalin komínem.



Výklad různých energetických toků

Tepelný tok paliva H_f je dán jeho hmotnostním průtokem a jeho energetickou hodnotou (množství energie, které je uvolněno spálením jednotky paliva). Energetická hodnota je vyjádřena v MJ/kg.

Teplo přenesené na proces H_p je reálným výkonem spalovacího systému. Tepelná energie zahrnuje citelné teplo (zvyšuje teplotu), skupenské (latentní) teplo vypařování (pokud je ohřívána tekutina částečně nebo zcela odpařena), a chemické teplo (pokud dochází k endotermické chemické reakci).

Tok citelného tepla ve spalinách H_c (které představuje komínovou ztrátu) směřuje do ovzduší a je ztracen. Závisí na průtoku odpadních plynů, jeho tepelné kapacitě, skupenském teple vody, které je uvolněno při spalování a odvedeno do spalin, a na teplotě spalin.

Průtok spalin lze rozdělit na dvě části:

- „stechiometrický tok“ CO_2 a H_2O , jenž je výsledkem spalovacích reakcí, a dusíku přítomného ve spalovacím vzduchu (tento stochiometrický tok je proporcionální H_f)
- toku přebytku vzduchu, jímž je množství vzduchu přivedeného nad potřebu spalovacího vzduchu stanoveného stochiometrickým výpočtem dokonalého spalování. Mezi přebytkem vzduchu a koncentrací kyslíku ve spalinách existuje přímý vztah.

Tok tepla sdílením do okolí H_w je energie, která je ztracena v okolním vzduchu vedením přes stěny spalovacího zařízení.

Úspory energie jsou jednoduše dány rovnicí :

$$H_f = H_p + H_g + H_w$$

Jedná se o obecnou bilanci, kterou lze případ od případu upravit:

- v závislosti na konfiguraci zařízení mohou být do bilance začleněny další toky energie. Tento případ nastává, pokud jsou z pece/topeniště odebírány další materiály, jako horký popel ze spalování uhlí, nebo pokud je do spalovací komory za účelem omezení emisí vstříkována voda
- bilance je založena na předpokladu, že spalování je dokonalé: tento předpoklad je přijatelný jen potud, dokud jsou ve spalinách malá množství nespálených složek paliva, jako je oxid uhelnatý nebo uhlíkaté tuhé částice, což je případ zařízení, které splňuje emisní limity.

Energetická účinnost spalovacího zařízení

Energetická účinnost spalovacího zařízení je v podstatě dána poměrem užitečné tepelné energie odvedené ze zařízení ku energii obsažené v přivedeném palivu:

$$\eta = \frac{H_p}{H_f}$$

nebo dosazením

$$\eta = 1 - \frac{H_g + H_w}{H_f}$$

Použit lze obě dvě rovnice, ale obecně je mnohem praktičtější použít druhou rovnici, v níž jsou patrná množství ztracené energie a tudíž i oblasti, kde lze dosáhnout úspor. Strategie zlepšování energetické efektivity jsou založené na snížení ztrátových toků tepelné energie sdílením s okolím nebo ve spalinách.

4.3 Technické postupy zvyšování energetické efektivity

Existují tři způsoby, jimiž lze dosáhnout nejnižších možných ztrát tepelné energie ve spalinách:

1. snížení teploty spalin,
2. snížením hmotnostního průtoku spalin, kterého lze dosáhnout pouze snížením přebytku vzduchu,
3. snížením ztrát ze sdílení tepelné energie s okolím, kterého lze dosáhnout izolací stěn.

Snížení teploty spalin

Snížení teploty spalin lze provést několika způsoby:

- zvýšení přenosu tepla do technologického procesu navýšením míry přenosu tepla nebo povrchu tepelných výměníků. Tyto způsoby jsou možné pouze tehdy, pokud existuje dostatečný rozdíl mezi teplotou na vstupu do technologického procesu a teplotou odcházejících spalin
 - alternativním způsobem je tepelná integrace, kdy je provedena kombinace s dalším procesem (např. s výrobou páry), a tak rekuperováno „odpadní teplo“ ve spalinách. Způsob je podmíněn dostatečně vysokou teplotou spalin a potřebností dodatečného procesu
 - předehřívání spalovacího vzduchu na tepelném výměníku ve spalinách. V procesu může být předehřívání vzduchu využito, pokud je požadován plamen s vysokou teplotou (sklo, cement, atd.). Předehříváky vzduchu jsou tepelné výměníky s médii plyn-plyn, jejichž konstrukce závisí na rozpětí teplot. Předehřívání vzduchu není možné u hořáků s přirozeným tahem
 - čištění povrchů výměny tepla (teplosměnných povrchů), které jsou postupně zanášeny popelem nebo uhlíkatými částicemi. Tímto způsobem je udržována vysoká účinnost přenosu tepelné energie. Oblasti vedení tepla lze udržet čisté periodickým spouštěním ofukovače sazí. Čištění teplosměnných povrchů ve spalovacím prostoru je obecně prováděno během kontrolních a údržbářských odstávek. V některých případech je možné provádět nepřetržité čištění. Výše uvedené strategie kromě periodického čištění vyžadují dodatečné investice a je vhodné je realizovat již ve fázi návrhu a výstavby zařízení. Technická modernizace zařízení je možná, ale je nákladná a může být znevýhodněna omezenou dostupností prostoru v okolí zařízení. Čím nižší je teplota spalin, tím vyšší je energetická účinnost. Teplotu spalin ovšem nelze pod určitou úroveň více snížit. Na další snížení teploty působí dvě omezení:
 - rekuperace tepelné energie za nízké teploty může být provedeno pouze za podmínky, že existuje místní potřeba po takovém teple. Na příklad spaliny s teplotou nižší než 100 °C mohou být využity na výrobu horké vody, pro níž je využití pouze při vytápění budov, které jsou v přijatelné vzdálenosti, a pouze v zimním období.
 - kyselý rosný bod je teplota, pod níž dochází ke kondenzaci vody a kyseliny sírové. Dosahování teplot pod tímto rosným bodem vyvolává poškození kovových povrchů. Hodnota kyselého rosného bodu je v rozmezí 110 – 170 °C v závislosti zejména na obsahu síry v palivu. V praxi musí teplota spalin tuto hodnotu překročit o 30 °C, čímž je zohledněn teplotní gradient mezi proudem spalin a stěnami komínu. Existuje možnost použít materiály, které jsou odolné kyselé korozi, ale to je velmi nákladné a je nutné instalovat systém odběru kyselých kondenzátů a odstranit je bez negativního dopadu na životní prostředí.
- Snížení hmotnostního průtoku spalin (snížením přebytku vzduchu)
- Přebytek vzduchu lze minimalizovat přizpůsobením průtoku vzduchu průtoku paliva. Regulaci přebytku vzduchu může značně napomoci měření obsahu kyslíku ve spalinách automatickým měřícím přístrojem. V závislosti na rychlosti, s níž dochází ke kolísání spotřeby tepla, lze regulovat přebytek vzduchu manuálním vybavením nebo automaticky. V každém případě by ovšem měl být dodán minimálně stechiometrické množství O₂, jinak by spaliny vypuštěné do ovzduší mohly

vytvářet výbušné prostředí. Z bezpečnostních důvodů by měl být vždy dodán určitý přebytek vzduchu (obvykle 1 – 2 %).

Z pohledu energetické účinnosti bude optimální přebytek vzduchu dosažen tehdy, kdy se vyrovnávají ztráty energie z nespálených hořavin se energií získanou snížením hmotnostního průtoku spalin. V praxi dochází s poklesem přebytku vzduchu k rychlému nárůstu formování znečišťujících látek, a tak je snižování přebytku vzduchu omezeno mezisložkovými vlivy.

Snížení tepelných ztrát izolací

Účinná tepelná izolace stěn, kterou jsou udržovány nízké hodnoty tepelných ztrát přenosu do okolí zařízení, je obvykle instalována již ve fázi uvedení do provozu. Izolační materiál se ovšem může postupně znehodnotit a je nutné jej v rámci kontrolních a údržbářských programů nahradit.

K naplánování výměny poškozeného izolačního materiálu během doby odstávky zařízení je vhodné využít některé techniky využívající infračervené zobrazovací metody (termovize), jimiž lze zvenku určit oblasti poškozeného materiálu.

4.4 Mezisystémové vlivy

V některých případech může dojít ke konfliktu mezi snižováním teploty spalin a kvalitou ovzduší.

K tomu lze uvést několik příkladů:

- přehřátý spalovací vzduch vede k vyšším teplotám plamene, což má důsledek v nárůstu formování NO_x až na úrovni, které překračují hodnoty emisních limitů. Modernizace stávajících spalovacích zařízení přehříváči vzduchu může být obtížně prosaditelná, neboť vyžaduje prostor, další ventilační zařízení a instalaci zařízení na odstraňování NO_x, pokud dojde k překračování hodnot emisních limitů.
- systémy čištění odpadního plynu, jako jsou systémy na odstraňování NO_x či SO₂, fungují pouze v určitém rozmezí teplot. Pokud musely být instalovány za účelem splnění hodnot emisních limitů, uspořádání systémů čištění plynu a rekuperace tepla je složitější a z ekonomického pohledu může být obtížné je odůvodnit
- v určitých případech místní úřady požadují kvůli příslušnému rozptylu znečišťujících látek a prevenci vzniku kouřové vlečky minimální teplotu v komínu.

Strategie minimalizace přebytku vzduchu

Pokud je sníženo množství přebytku vzduchu, dochází ke vzniku nespálených složek, jako jsou uhlíkaté částice, oxid uhelnatý nebo uhlovodíky. Spalovací proces se rychle dostává do neshody s hodnotami emisních limitů. Tato skutečnost omezuje výnos energetické účinnosti dosažený omezením přebytku vzduchu. V praxi je množství přebytku vzduchu upravováno tak, aby emise byly pod limitními hodnotami. Minimální přebytek vzduchu, při němž jsou emise ještě udrženy pod limity, je závislý na hořáku a technologickém procesu.

Dosažené environmentální přínosy, zejména zlepšení energetické účinnosti

Zlepšení energetické účinnosti spalovacího zařízení, které vede ke snížení spotřeby paliva, je příznivé z hlediska emisí CO₂. V takovém případě jsou emise CO₂ sníženy proporciálně obsahu uhlíku v palivu.

Zlepšení účinnosti ovšem může být využito ke zvýšení výkonu (množství procesem dodaného tepla) při zachování průtoku paliva (vyšší H_p se stejným H_f). Dochází tak k „rozšíření úzkého profilu“ výrobní jednotky a současnému zlepšení energetické účinnosti. Potom klesá měrná emise CO₂ (vztažená na úroveň produkce), ale absolutní emise CO₂ se nesníží.

5 Energeticky úsporné technologická zařízení

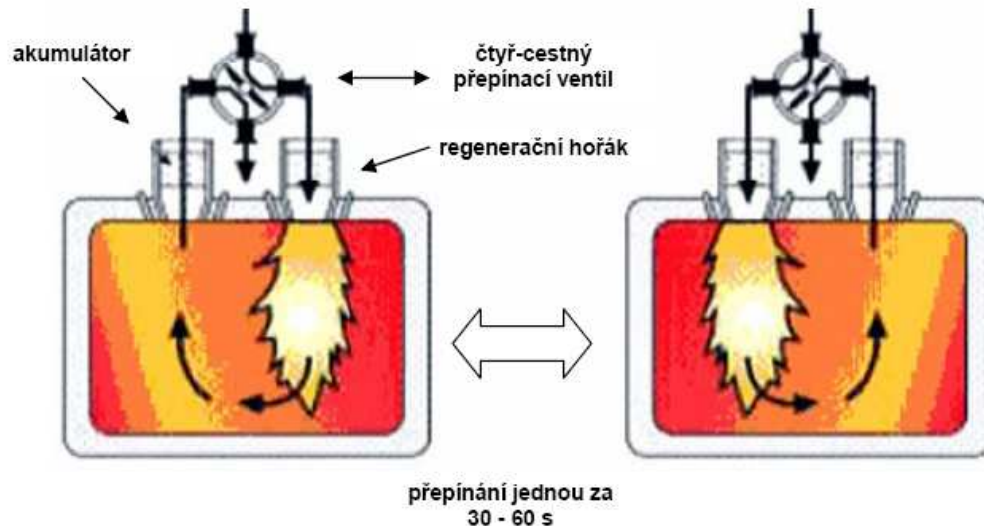
5.1 Ohřívací pece

Nejvýznamnějším problémem z hlediska energetického hospodářství je u průmyslových procesů vytápění pecí ztráta energie. V konvenční technologii je okolo 70 % tepelného vstupu ztraceno odpadními plyny, které mají teplotu přibližně 1 300 °C. Zejména u procesů, v nichž je dosaženo vysokých teplot (v rozmezí 400 – 1 600 °C) proto mají opatření úspor energie důležitou roli.

Byly vyvinuty rekuperační a regenerační hořáky, které přímo rekuperují odpadní teplo spalováním a předešívají spalovací vzduchu. Rekuperátor je tepelný výměník, jenž odebírá teplo z pecních spalin a využívá jej k předešívání spalovacího vzduchu. V porovnání se systémy využívajícími chladný spalovací vzduchu, lze očekávat, že rekuperátorem budou dosaženy úspory energie přibližně 30 %.

Obvykle bude rekuperátorem vzduch předešíván maximálně na teplotu 550 – 600 °C. Ve vysokoteplotních procesech je možné využít rekuperační hořáky (700 – 1 100 °C).

Rekuperační hořáky jsou provozovány ve dvojici a pracují na principu krátkodobé akumulace tepla přes keramické tepelné regenerátory (viz Obrázek). Z pecních spalin odvedou zhruba 85 – 90 % tepelné energie. Z tohoto důvodu může být spalovací vzduch předešíván až na velmi vysoké teploty o 100 – 150 °C nižší, než je provozní teplota pece. Rozsah teplot je u takového zařízení od 800 do 1 500 °C. Spotřebu paliva lze snížit až o 60 %.



Pracovní princip regeneračních hořáků

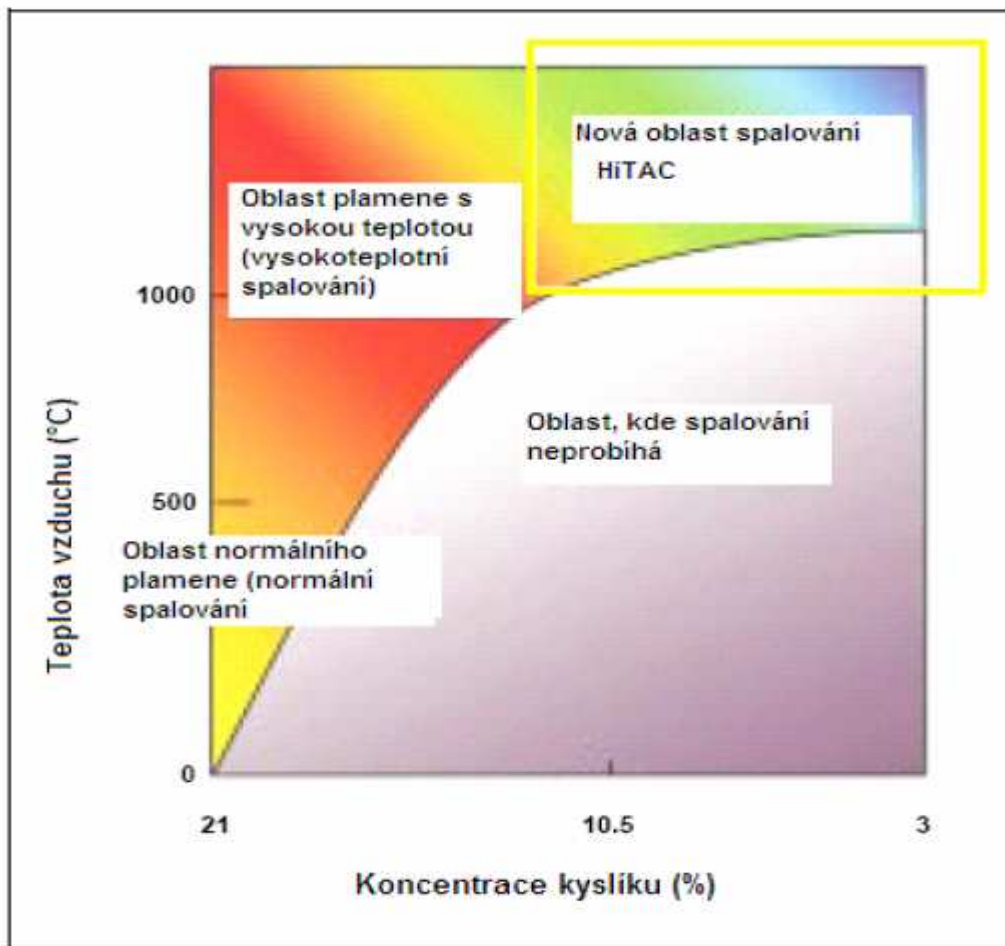
V porovnání s touto zavedenou technikou je hlavním znakem techniky HiTAC inovace režimu spalování, neboť plamen homogenní teplotu, nedosahuje teplotních špiček, jako je tomu u konvenčního spalování, a podstatně je rozšířena zóna spalování.

V technologii HiTAC je spalovací vzduch před vstříknutím vysokou rychlostí do peci předeheřán na velmi vysokou teplotu. Vysoká teplota spalovacího vzduchu umožňuje dokonalé spálení paliva za velmi nízkých úrovní kyslíku. Dosud panovalo přesvědčení, že za těchto úrovní je dokonalé spalování nemožné. Metoda HiTAC prodlužuje plamen, zpomaluje rychlost hoření a udržuje teploty spalování na nižší úrovni ve srovnání s běžnými vysokoteplotními spalovacími pecemi. Tak je dosaženo nižších emisí NO_x a současně rovnoměrné distribuce teploty plamene. Plamen má v průběhu procesu výrazně bledé zelené zbarvení.

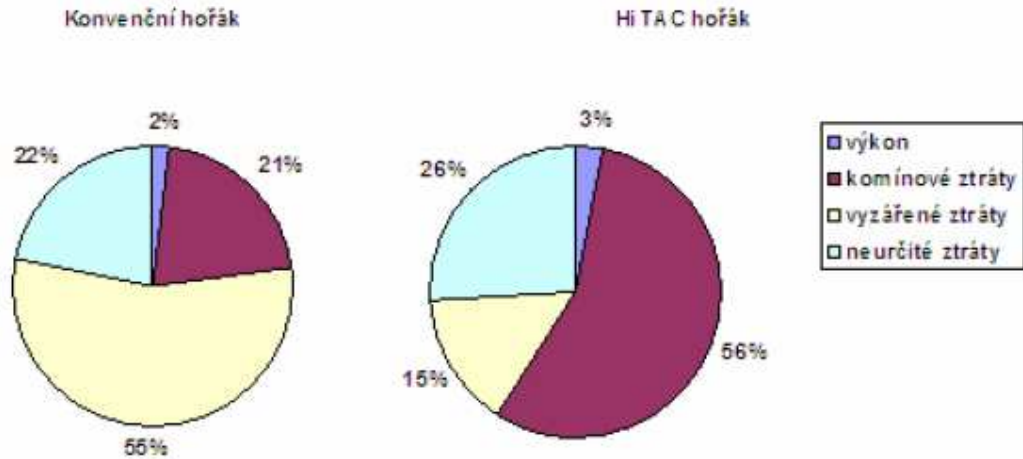
Existují dva typy HiTAC hořáků: jednoplamenný hořák a dvouplamenný hořák. Jednoplamenný HiTAC hořák je charakterizován jediným plamenem, jenž se tvoří na palivové trysce, která je obklopena vstupujícím vzduchem a odcházejícími spaliny. Plamen se tvoří podél osy palivové trysky během chladících a zahřívacích period. Palivo je dodáváno nepřetržitě právě touto tryskou, tak lze plamen nepřetržitě udržovat ve stálé pozici. Pozice plamene je v průběhu ochlazovacích a zahřívacích period téměř neměnná, neboť regenerátory jsou umístěné okolo palivové trysky.

Dvouplamenný HiTAC hořák má dva oddělené dvouokruhové regenerační hořáky. Tyto dva hořáky jsou umístěné na stěně pece a pracují v tandemu – jeden po druhém. Sada ventilů mění směr proudění vzduchu a spalin v požadovaném čase přepínání. Obvykle je instalováno několik párů hořáků, které jsou provozovány společně. V tomto typu HiTAC je plamen z jednoho hořáku přenesen na jiný podle času přepnutí mezi ohřívací a chladící periodou regenerátoru.

Tato spalovací technika dále využívá koncept odděleného vstříkávání paliva a horkého vzduchu do pece. Pec tak má lepší výkonnost a vyšší úspory paliva.



Podle testů dosáhl HiTAC hořák o 35 % vyšší účinnosti oproti běžnému hořáku. Kromě vyšší účinnosti vedl velký objem plamene na HiTAC hořáku k nárůstu koeficientu přenosu tepla. Energetická bilance jak HiTAC, tak konvenčního hořáku, je zobrazena na obrázku :



Celkový tok vyzářeného tepla naměřeného v HiTAC peci vykazuje hladké rozložení po celé spalovací komoře.

Formace NO_x je u paliv neobsahujících dusík v podstatě funkcí teploty, koncentrace kyslíku a času trvání spalovacího procesu. V typické ohřívací peci je čas trvání obvykle dostatečně dlouhý ke vzniku NO_x.

V HiTAC technologii jsou základním problémem snížení NO_x pokles špičkové teploty plamene a pokles koncentrace kyslíku. Technologickým řešením pro snížení NO_x je v HiTAC recirkulace spalin .

HiTAC pec nabízí:

- vysokou účinnost užití energie, nebo snížené emise CO₂
- více homogenní teplotní profil
- nízké emise NO_x a CO
- menší hluk ze spalování
- nejsou potřebná žádná další zařízení na úsporu energie
- menší spalinové potrubí
- hladkou distribuci teploty
- navýšený přenos tepelné energie
- zvýšenou produktivitu a kvalitu výroby
- větší životnost pece a potrubí.

Důležitým omezením současných technologií rekuperačních/regeneračních hořáků je konflikt technologie energetické efektivity s technologiemi omezování emisí. Díky vysokým teplotám předehřátého vzduchu dosahují konvenční plameny vysokých teplotních špiček, což vede ke značnému nárůstu emisí NO_x.

Zvýšený transfer tepelné energie na HiTAC hořácích může vést k vyšší produktivitě (či zvýšení

kapacity) a/nebo nižším investičním nákladům.

Při použití HiTAC v průmyslu jsou palivové trysky a trysky přivádějící spalovací vzduch upořádány na hořáku v určité vzdálenosti od sebe. Palivo a vzduch o vysoké teplotě jsou vháněny vysokou rychlostí přímo do pece. Plyn v zóně blízké hořáku je proto důkladně promíchán a parciální tlak kyslíku je v plynu snížen. Pokud je teplota předehřátého vzduchu vyšší, než teplota samovznícení paliva, pak je zachována spalovací stabilita paliva přímo přiváděného do této zóny, v níž má kyslík nižší parciální tlak.

V průmyslové peci lze použitím vysoce výkonného tepelného výměníku získat spalovací vzduch o teplotě v rozmezí 800 – 1 350 °C. Moderní regenerační tepelné výměníky zapínané v rychlých cyklech mohou rekuperovat téměř 90 % odpadního tepla. Tak je dosahováno velkých úspor energie.

Ohřívací pece, v nichž lze použít regenerační hořáky využívající HiTAC technologii, jsou rozšířené po celé Evropě v odvětvích, které využívají vysokých teplot. Jsou jimi pece železáren a oceláren, cihlářské pece, zpracování neželezných kovů a slévárny. V těchto odvětvích energie představuje také významnou část výrobních nákladů.

Brzdou rozšíření těchto hořáků jsou investiční náklady. Růst cen energie však bude stále výrazněji ovlivňovat rozhodování ve prospěch těchto zařízení. Dalším faktorem pro implementaci těchto energeticky efektivních zařízení je nízká náklady. Významnými faktory pro urychlenou implementaci takovýchto zařízení dále jsou vyšší produktivita pece a nízké emise oxidů dusíku.

5.2 Parní systémy

V následující části jsou charakterizovány parní systémy a současně jsou popsány opatření, s nimiž je možné snížit energetické ztráty páry a zlepšit energetickou efektivnost parních systémů.

Vodní pára je v průmyslové praxi frekventovaným teplotním médiem, protože je netoxická, je stabilní a má vysokou tepelnou kapacitu.

Vodní páru lze využít ve třech typech systémů:

- kondenzační systémy, v nichž je takřka všechna pára využita k pohonu turbíny a elektrického generátoru za účelem výroby elektřiny
- kogenerační systémy, v nichž je pára využívána jak k výrobě elektřiny, tak pro vytápění
- parní systémy, v nichž je pára využívána jako teplotní pracovní látka pouze pro účely technologického vytápění resp. k otopným účelům prostor.

Naše pozornost bude soustředěna na poslední typ systémů. V takovémto případě pro instalaci systémů vytápění, je možné použít různé nosiče energie: páru, vodu nebo teplotní olej (minerální či silikonové). Pokud požadovaná teplota nepřekračuje 100 °C, je postačující voda a

volba teplotnosného média je snadná. Pro teploty nad 100 °C je stále možné využít vodu pod tlakem. Některá zařízení využívají i horkou vodu pro teploty nad 180 °C.

Olej má oproti vodě dokonce vyšší bod varu a používají se v některých technologických procesech nebo pro kogenerační systémy s využitím nankinových cyklů.

Volba použití páry jako teplotnosného média znamená překročení bodu varu vody. Přechod z kapalných do plynných stavů vyžaduje velké množství energie, která je přítomna ve skupenské (latentní) formě. Kvůli tomu je možné použitím páry dosáhnout vysokých přenosů tepla v prostoru s malým povrchem:

- voda 4 000 W/m² °C
- olej 1 500 W/m² °C
- voda 10 000 W/m² °C.

Pro stanovení energetického obsahu páry je často používána následující jednoduchá rovnice:

$$\text{Energetická hodnota páry} = h_s - h_w / \eta$$

Kde:

- h_s entalpie páry
- h_w entalpie napájecí vody kotle (po odvzdušnění)
- η tepelná účinnost kotle.

Důležitým parametrem páry je tlak, který přímo souvisí s teplotou. Teplotu páry lze totiž snadno měnit úpravou tlaku. Práce za vysokého nebo nízkého tlaku má na zařízení různé účinky.

V případě, že je aplikován vysoký tlak, lze využít následující přínosy:

- pára má vyšší teplotu
- objem je menší, což znamená, že postačuje menší síť rozvodného potrubí
- páru je možné rozvádět s vysokým tlakem a před použitím tlak nechat uvolnit. Pára se tak stává sušší a zvyšuje se spolehlivost
- vyšší tlaky umožňují stabilnější proces varu na kotli.

V případě, že je aplikován nižší tlak, lze využít následující přínosy:

- na kotli a v rozvodu páry dochází k menším ztrátám energie
- množství zbývající energie v kondenzátu je relativně menší
- ztráty z netěsnosti potrubního systému jsou nižší.

Tlak páry v zařízení je tudíž nutné pečlivě zvážit, neboť tak lze dosáhnout optimálního vztahu mezi spolehlivostí a energetickou efektivností parních systémů.

V parních zařízeních je obzvláště důležité hledisko bezpečnosti vysokých teplot a tlaků. Navíc jsou parní systémy často vystaveny vodním rázům nebo různým typům koroze. Spolehlivost a životnost různých součástí nakonec značně závisí také na konstrukci a konfiguraci zařízení.

5.2.1 Opatření ke zlepšení výkonnosti parního systému

Parní systém sestává ze tří odlišných součástí: výrobní zařízení (kotel), rozvodný systém (parovodní síť, tj. parovod a kondenzátový okruh) a spotřebič či konečný uživatel (tj. provoz/proces, v němž je pára/teplo využíváno). Účinná výroba a rozvod tepla, a provoz a údržba příslušných agregátů významně přispívají ke snížení tepelných ztrát.

Výkonnost kotelny je ovlivněna mnoha faktory, včetně tepelných ztrát z:

- odluhování kotle
- použití rezervních kotlů
- provoz s nízkým využitím kapacity a
- ztráty v samotné kotelně.

Systémy rozvodu tepla vykazují mnohem větší ztráty tepla z:

- úniků páry v různých fázích výroby a rozvodu
- ztráty nedostatečnou tepelnou izolací.

Ačkoliv jsou všechny moderní parní kotle (parogenerátory) schopné přeměnit energii ve vstupním palivu na páru s účinností kolem 85%, průměrná tepelná účinnost výroby páry za všechny typy paliv je 74,2 % s mezními hodnotami od 51 % do 82 %. Z odborných pramenů vyplývá, že dosud realizovaná opatření energetické účinnosti ukazují, že je možné dosáhnout průměrných úspor 7 %. Ztráty při rozvodu páry obvykle dosahují 15 % spotřeby tepelné energie a tyto ztráty lze také významně snížit.

Ke snížení ztrát v parních systémech lze realizovat např. následující opatření. Zahrnují jak parní okruh na kotli, tak samotný spalovací proces v kotli.

Parní okruh:

- použití ekonomizérů k předehtání napájecí vody
- preventivní odstraňování usazenin vodního kamene na teplosměnném povrchu
- minimalizace odkalu
- rekuperace tepla z odluhu kotle
- sběr a navrácení kondenzátu do kotle k opětovnému využití
- opětovné využití emisní páry e (emisní pára vzniká při přechodu horkého kondenzátu z relativně vysokotlakého parního systému do relativně nízkotlakého kondenzačního systému)
- program kontrol a údržby parních separátorů (separátor páry je v podstatě ventil, jenž odděluje páru a kondenzát a otevírá se pro vypuštění kondenzátu, ale nedovoluje uniknout páře)
- tepelná izolace potrubí parovodu a kondenzátového okruhu. Izolace systému rozvodu tepla: izolování neobalených částí potrubí, armatur, přírub je jedním z nejjednodušších a nákladově nejefektivnějších způsobů zlepšení energetické účinnosti systémů rozvodu tepla
- vylepšení tepelné izolace např. instalací snímatelných izolačních vycpávek na ventily a armatury
- omezení úniků páry: únik páry netěsnostmi je obvykle indikátorem nedostatečné údržby a

obsluhy systémů.

- energeticky účinná konstrukce a instalace potrubí parního rozvodu.

Spalovací proces v kotli

- úprava parametrů spalování (hořáky, poměr vzduchu k palivu, atd.)
- instalace přehříváče vzduchu
- instalace automatické regulace obsahu kyslíku . Instalace regulace obsahu kyslíku nebo přímé digitální regulace spalování . Opatření lze často zdůvodnit na základě úspor energie dosažitelných nepřetržitou optimalizací přebytku vzduchu.

Souhrnná opatření

- provádění údržby kotle
- modernizace regulačních prvků kotle
- minimalizace ztrát kotle z krátkých provozních cyklů
- aplikace sekvenčního řízení kotlů (pouze u provozoven, v nichž je instalováno 2 a více kotlů)
- zlepšení provozních postupů (pouze u provozoven, v nichž je instalováno 2 a více kotlů)
- výměna kotle/kotlů
- pravidelná, účinná údržba a optimální provoz kotle a systému rozvodu tepla
- zpracování strategie zlepšování analýzou výkonnosti systému, benchmarkingem výkonnosti systému a zlepšením provozu a managementu systému.

Pro zavedení všech těchto opatření je zásadní disponovat příslušnými kvantitativními informacemi a znalostmi o využití paliva, výrobě páry a parovodní sítě. Řídicímu procesu napomáhá měření a monitoring páry. Spolu se znalostmi o tom, jak dalece lze provozní parametry upravovat je monitoring zásadní pro úspěšnou integraci (např. rekuperace tepla do procesu).

Snížením ztrát při výrobě a rozvodu páry lze dosáhnout úspor velkého množství energie. Tím lze omezit odpovídající emise skleníkových plynů, což představuje podstatné environmentální přínosy. Náklady výroby páry jsou přímo ovlivněny cenou používaného paliva; cenová výhodnost určitého paliva může převážit relativně nižší tepelnou účinnost, která je dosahována s tímto výhodnějším palivem. Významné úspory lze nicméně dosáhnout zlepšením tepelné účinnosti při použití jakéhokoliv paliva.

Náklady na páru v místě jejího využití mohou být odstraněním vyhnutelných energetických ztrát při výrobě a rozvodu (včetně okruhu kondenzátu) páry významně sníženy.

Potenciální úspory energie v jednotlivých provezech mohou být v rozmezí 1 – 35 % při průměrných úsporách 7 %.

Tepelná izolace jednoho 100mm regulačního ventilu při tlaku páry 800 kPa (8 bar) a teplotě 175 °C, jenž je umístěn uvnitř stavby, sníží tepelné ztráty o 0,6 kW. Tím jsou sníženy náklady na palivo a vytváří úspory energie 6 MWh/rok.

Zahraniční zkušenosti uvádí, že instalace izolačních obalů na ventily a příruby vede k významným úsporám tepla.

Návratnost opatření v určitém systému rozvodu páry bude záviset na počtu provozních hodin, aktuální ceně paliva a geografickém umístění provozovny.

5.2.2 Využití ekonomizérů k přehřátí vody

Ekonomizér je dodatečným tepelným výměníkem, jenž zajišťuje přehřátí napájecí vody parního kotle. Ekonomizér je instalován do prostoru, kudy odchází spaliny. Voda, která prošla odplyňovačem má obecně přibližnou teplotu 105 °C. Voda s vyšší teplotou má v kotli vyšší tlak, což znamená, že lze přehříváním rekuperovat více tepelné energie.

Množství rekuperované energie, kterého lze dosáhnout ekonomizérem, závisí na teplotě spalin, výběru teplosměnného povrchu a také z velké míry na tlaku páry. Obecně je přijímán účinek ekonomizéru ve zvýšení výrobní účinnosti o 4 %.

Napájení vody ekonomizéru musí být vyřešeno modulačním způsobem, aby ekonomizér mohl být využíván nepřetržitě.

Spaliny mohou být dále ochlazeny chladičem spalin. Chladič spalin je instalován za ekonomizérem a ochlazuje spaliny pod úroveň teploty rosného bodu. Pak dochází ke vzniku kondenzátu a u plynových kotlů dojde k další korozi. Z těchto důvodů je nutné volit správné konstrukční materiály. Chladič spalin může přehřát surovou vodu před jejím odplyněním.

Ekonomizér lze použít pro plynový kotel, jenž vyrábí 5 t/h páry při 20 barech.

Instalace ekonomizéru se stává nákladově efektivní při teplotě spalin 230 °C a vyšší. Efektivita instalace se zvyšuje s rostoucím tlakem páry a v praxi se implementace tohoto zařízení jeví efektivní v případech, kdy je výroba páry vyšší než 10 t/h.

5.2.3 Preventivní odstraňování usazenin vodního kamene na teplosměnné povrchu

Na povrchu těles, přes něž dochází k přenosu tepla, se usazuje vodní kámen. Usazeniny se mohou vytvářet jak v kotli, tak v trubkách tepelných výměníků.

U kotlů lze pravidelným odstraňování usazenin vodního kamene dosáhnout významných úspor energie. Usazeniny vznikají reakcí rozpustných látek s vodou při kondenzaci.

Usazeniny vodního kamene mají obvykle odpor přenosu tepla až o řád vyšší, než je příslušná hodnota této fyzikální vlastnosti ocele. Drobné usazeniny tak mohou působit jako účinná tepelná izolace a mohou omezit přenos tepelné energie.

Formování usazenin také zvyšuje teplotu uvnitř tepelného výměníku. V kotlích může přehřátí kovu vést k narušení pláště trubek.

Prevenci vzniku usazenin lze realizovat třemi způsoby:

- usazeniny je možné odstraňovat během údržby, jak mechanicky, tak čištěním kyselinami
- pokud se usazeniny vodního kamene tvoří velmi rychle, je nutné revidovat způsob zpracování napájecí vody. Napomoci může lepší čištění nebo dodatečná aditiva

V tabulce jsou uvedeny ztráty při přenosu tepelné energie uváděné v literatuře, pokud dojde na teplosměnném povrchu k usazování vodního kamene:

Tloušťka vodního kamene (mm)	Rozdíl v přenosu tepla ⁴ (%)
0,1	1,0 %
0,3	2,9 %
0,5	4,7 %
1	9,0%

4 Hodnoty byly určeny pro přenos tepla v kotli s ocelovými trubkami. Sledován byl přenos tepla ve směru od spalin k napájecí vodě.

Provozovatelé mohou odstraněním usazenin snadno uspořit energii a roční provozní náklady. Pozměněním způsobu úpravy napájecí vody může vést ke zvýšené spotřebě chemických látek. Zda je nutné odstranit usazený vodní kámen lze prověřit jednoduchou vizuální kontrolou během údržby. Hrubým doporučením je provádět údržbu každých několik měsíců u zařízení, v nichž dochází k vysokým tlakům (50 bar). Pro zařízení nízkotlaká (2 bar) je doporučován roční cyklus údržby.

Indikátorem také může být sledování teploty spalin. Pokud je po delší období teplota spalin oproti normálu vyšší, pak mohlo dojít ke vzniku usazenin.

5.2.4 Minimalizace odluhu/odkalu

Protože teplota odluhu přímo souvisí s teplotou páry vyrobené v kotli, mohou být minimalizací míry odluhování podstatně sníženy ztráty energie. Minimalizace odluhování dále snižuje potřebu čištění vody určené pro dodávky surové napájecí vody a náklady na vypouštění odluhu.

Při vypařování vody v kotli za výroby páry zůstávají ve vodě rozpuštěné pevné látky, a tak je zvyšována koncentrace těchto látek v kotli. To může vést k ukládání látek na povrchy, přes něž probíhá přenos tepla. S cílem snížit úroveň koncentrací rozpuštěných pevných látek je upravená voda ve spodní části kotle periodicky vypouštěna či odluhována. Operace probíhá periodicky a manuálně. Pevné součásti, které se uskupily ve spodní části kotle, jsou všechny vypouštěny naráz. Odluhování je často nepřetržitým procesem. Nedostatečné odkalování může vést k poškození zařízení. Nadměrné odluhování naopak povede k plýtvání energií.

Optimální frekvence odkalování je určena různými faktory, jako je dodávka surové předupravené vody, typ kotle a koncentrace rozpuštěných pevných látek v surové upravené vodě. Míra odkalování obvykle dosahuje hodnot z intervalu 4 – 8 % množství surové vody, ale může

dosáhnout i hodnoty 10%, pokud má upravená voda vysoký obsah pevných látek. Zvážit lze také instalaci automatického systému řízení odkalování.

Instalace může vést k optimalizaci mezi spolehlivostí a ztrátami energie.

Snížení množství odluhu existuje několik možností, jak snížit potřebné množství odluhu. První možností je opětovné využití kondenzátu. Kondenzát byl již vyčištěn a tudíž neobsahuje žádné nečistoty, které by se uvnitř kotle zahustily. Pokud lze opětovně využít polovinu kondenzátu, bude také odluh snížen o 50 %.

Potřebu odkalu může snížit také předběžná úprava vody. V případě, že voda není předupravená, dosahuje odkal hodnot 7 až 8 %. Tuto hodnotu lze snížit na 3 % a méně, pokud je voda předupravena.

Množství energie odluhu závisí na tlaku v kotli. Energetický obsah odluhu je uveden v tabulce níže. Takto lze okamžitě zjistit přibližné hodnoty úspory, kterých lze dosáhnout snížením frekvence odluhu.

Energetický obsah odkalu, MJ/kg					
Četnost odkalu (% z výkonu kotle)	Provozní tlak kotle				
	2 barg	5 barg	10 barg	20 barg	50 barg
1 %	4,8	5,9	7,0	8,4	10,8
2 %	9,6	11,7	14,0	16,7	21,5
4 %	19,1	23,5	27,9	33,5	43,1
6 %	28,7	35,2	41,9	50,2	64,6
8 %	38,3	47,0	55,8	66,9	86,1
10 %	47,8	58,7	69,8	83,6	107,7

Příklad:

Na žárotrubném kotli je instalován automatický systém řízení odluhu. Kotel vyrábí páru s parametry 25 bar po dobu 5 500 hodin ročně. Systém odluhu sníží míru odluhování z 8 na 6 %. Kotel vyrábí 25 tun páry za hodinu a účinnost kotle dosahuje 82 %. Upravená voda je dodávána při 20 °C.. Předpokládejme, že kondenzát není vracen a stanovení potřebného odluhu je tak podmíněno průtokem surové vody, neboť kondenzát neobsahuje žádné soli. Vodivost surové vody je 222 $\mu\text{S/cm}$. Toto je ukazatel množství rozpuštěných solí ve vodě. Upravená voda může mít maximální vodivost 3 000 $\mu\text{S/cm}$.

Míra odluhování (B) je pak počítána podle následujícího vztahu:

$$\frac{\text{Množství soli do}}{(25000 + B) \times 222} = \frac{\text{Množství soli ven}}{B \times 3000}$$

Míra odluhu je tudíž: 1 998 l/h neboli 8 %.

Původní množství surové předupravené vody je:

$25000 \text{ kg/h} / (1 - 0,08) = 27174 \text{ l/h}$

Po instalaci systému řízení odluhu je spotřeba vody:

$25000 \text{ kg/h} / (1 - 0,06) = 26595 \text{ l/h}$, rozdíl je tudíž 578 l/h.

Entalpie napájecí vody s teplotou 20 °C za atmosférického tlaku je: 419,0 kJ/kg.

Rozdíl je tudíž 553,1 kJ/kg.

Množství uspořené vody dosahuje $578 \text{ l/h} \times 5500 \text{ h/r} = 3179 \text{ t/r}$.

5.2.5 Rekuperace tepla z odluhu kotle

Tepelnou energii lze rekuperovat z odkalu kotle využitím tepelného výměníku na předeřtátí napájecí upravené vody. Všechny kotle, v nichž míra odluhování dosahuje dlouhodobě 5 % vyrobené páry je vhodným kandidátem pro zavedení rekuperace tepelné energie odpadního odluhu. S rostoucím tlakem kotlů rostou úspory energie.

Pokud je voda z odluhu nejprve přivedena na nízký tlak ve vypařovací nádrži, pak pára bude vznikat s nižším tlakem. Tuto emisní páru lze přímo odvést do odplyňovače a pak je možné ji smíchat se surovou předupravenou vodou. Emisní pára neobsahuje žádné rozpuštěné soli a pára představuje velkou část energie v odluhu.

V následující tabulce jsou uvedeny potenciální energetické zisky z rekuperace tepla odkalu:

Regenerovaná energie ze ztrát přes odkal, MJ/h ⁵					
Míra odkalu v % z výkonu kotle	Provozní tlak kotle				
	2 barg	5 barg	10 barg	20 barg	50 barg
1 %	42	52	61	74	95
2 %	84	103	123	147	190
4 %	168	207	246	294	379
6 %	252	310	368	442	569
8 %	337	413	491	589	758
10 %	421	516	614	736	948

Uvedené hodnoty byly stanoveny podle výstupu kotle 10 t/h, průměrné teplotě napájecí vody 20 °C a účinnosti rekuperace 88 %.

Tepelný výměník s účinností 88 % je instalován mezi potrubí odkalu kotle a potrubím napájení surovou předupravenou vodou. Kotel je v provozu 7 600 hodin ročně, pracuje při tlaku 10 barg a má účinnost 82 %. Frekvence odluhování kotle je 6 % a palivové náklady za zemní plyn činí 4 EUR/GJ.

Příklad

Dodávka surové předupravené vody je 5,3 t/h.

Na každých 10 t/h surové předupravené vody při 6% poměru odkalování je dosažen zisk z titulu

účinnosti o velikosti 368 MJ/h (viz Tabulka). Dosud je potřeba dodávat 5,3 t/h surové předupravené vody. To vede k zisku z titulu účinnost $5,3/10 \times 368 = 195$ MJ/h.

Efektivnost takového opatření často vede k návratnosti vložených prostředků během několika málo let.

5.2.6 Zavedení programu kontrol a oprav separátorů páry

Pokud nebyly v parních systémech za posledních pět let provedeny kontroly na separátorech páry, často 30 % všech separátorů páry může být poškozeno tak, že dochází k únikům páry.

V systémech, na kterých je pravidelně vykonáván program údržby by úniky páry měly být minimalizovány na cca 5 % ze všech jednotlivých separátorů páry.

Úniky na separátorech páry znamenají ztrátu množství páry, která představuje velké ztráty energie. Správná údržba může snížit tyto ztráty účinným způsobem.

Separátorů par existuje řada typů a každý typ má zvláštní vlastnosti a parametry provozu. Pro kontrolu, zda nedochází k únikům par na jejich separátorech lze použít různé metody. Kontroly jsou často založeny na sledování zvukových, vizuálních, elektrických a tepelných charakteristik.

Na všech typech separátorů par lze instalovat automatický řídicí mechanismus. Významné jsou zejména u separátorů, které jsou provozovány za vysokých tlaků.

Pro všechny parní systémy je nutná alespoň roční kontrola všech parních separátorů.

Každoroční prohlídka všech separátorů páry vyhodnotí každý separátor páry z hlediska jeho funkčnosti. V následující tabulce jsou uvedeny různé kategorie funkčnosti.

	Popis	Definice
OK	Vše v pořádku	Pracuje tak, jak je požadováno
BT	Profukování	Pára ze separátoru páry uniká, ztráty páry jsou maximální. Výměna je nutná.
LK	Úniky	Pára ze separátoru páry uniká. Nutná je oprava nebo výměna.
RC	Rychlé provozní cykly	Provozní cyklus termodynamického parního separátoru je příliš rychlý. Nutná je oprava nebo výměna.
PL	Ucpání	Separátor páry je uzavřen. Neprojde jím žádný kondenzát. Výměna je nutná.
FL	Zahlcení	Separátor není schopen dále zpracovat průtok kondenzátu. Nutná je výměna za separátor správné kapacity.
OS	Mimo provoz	Linka je mimo provoz.
NT	Netestován	Ke separátoru páry neexistuje přístup, a tudíž nebyl kontrolován/testován.

Množství ztracené páry lze odhadnout pro jednotlivý separátor následovně:

$$L_{t,y} = \frac{1}{150} \times FT_{t,y} \times FS_{t,y} \times CV_{t,y} \times h_{t,y} \times \sqrt{P_{in,t}^2 - P_{out,t}^2}$$

Kde:

- $L_{t,y}$ je množství páry, které ze separátoru páry t unikne v období y (t)
- $FT_{t,y}$ součinitel provozu separátoru páry t v období y

- $F_{St,y}$ součinitel zatížení separátoru páry t v období y
- $CV_{t,y}$ koeficient průtoku separátoru páry t v období y
- ht,y počet hodin provozu separátoru páry t v období y
- $P_{in,t}$ vstupní tlak na separátoru páry t (atm)
- $P_{out,t}$ výstupní tlak na separátoru páry t (atm).

Součinitel provozu $FT_{t,y}$ je určen podle hodnot tabulky

	Typ	FT
BT	Profukování	1
LK	Úniky	0,25
RC	Rychlé cykly	0,2

Součinitel zatížení zohledňuje vztah mezi párou a kondenzátem. Čím více kondenzátu prochází separátorem páry, tím méně je v něm prostoru pro páru.

Množství kondenzátu závisí na typu separátoru, jak je uvedeno v tabulce níže:

Typ separátoru	Součinitel zatížení
Standardní aplikace	0,9
Odkapávací a vektorové sběrače	1,4
Průtok páry (bez kondenzátu)	2,1

Nakonec rozměr potrubí určuje hodnotu koeficientu průtoku.

$$CV = 3,43 D^2$$

kde D = poloměr ústí potrubí (cm).

Uvažujme příklad netěsnícího separátoru páry s následujícími údaji:

- $FT_{t,y} = 0,25$
- $F_{St,y} = 0,9$ protože množství páry, které projde separátorem, zkondenzuje, ale ve srovnání s kapacitou separátoru je to správně
- $CV_{t,y} = 7,72$
- D = 1,5 cm
- $ht,y = 6000$ h/r
- $P_{in,t} = 16$ atm
- $P_{out,t} = 1$ atm.

Ze separátoru páry za rok unikne až 1 110 tun páry.

Tyto ztráty jsou silným odůvodněním pro zavedení účinného managementu a kontrolního systému všech parních separátorů v podniku.

Program sledování úniků ze separátorů par a určování, které separátory je potřebné vyměnit, jsou nutností pro každý parní systém. Separátory páry ovšem často mají relativně krátkou životnost. Náklady výměny jsou často nepatrné ve srovnání s ekonomickými ztrátami, ke kterým dochází provozem vadného zařízení.

5.2.7 Sběr a vrácení kondenzátu do kotle pro opětovné využití

Opětovné využití kondenzátu má dvojí cíl. Prvním cílem je opětovné využití vody. Voda byla upravena, což představuje náklady. Navíc kondenzát má vyšší teplotu a obsahuje energii, již lze ještě využít. Kondenzát, jenž je opětovně využíván, nemusí být vypouštěn, což opět představuje úspory nákladů.

Kondenzát je obvykle sbírán při atmosférickém tlaku. Kondenzát může pocházet z páry, která byla využívána s mnohem vyšším tlakem. V takovém případě dochází při sběru kondenzátu za atmosférického tlaku k spontánnímu vzniku emisní páry. Tuto páru lze také využít.

Při tlaku 1 atm má kondenzát teplotu a entalpii 419 kJ/kg. Pokud je z kondenzující páry rekuperována emisní pára, pak bude celkový energetický obsah záviset na provozním zatížení zařízení. Energetický obsah kondenzátu, je charakterizován následující tabulkou:

Absolutní tlak (bar)	V kondenzátu za atmosférického tlaku (%)	V kondenzátu + emisní páře (%)
1	13,6	13,6
2	13,4	16,7
3	13,3	18,7
5	13,2	21,5
8	13,1	24,3
10	13,0	25,8
15	13,0	28,7
20	12,9	30,9
25	12,9	32,8
40	12,9	37,4

Poznámka: Napájecí voda pro zařízení má často průměrnou roční teplotu přibližně 15 °C. Tyto hodnoty byly vypočteny ze situace, kdy dodávka vody do zařízení má teplotu 15 °C, či entalpii 63 kJ/kg.

Z těchto důvodů je rozhodně užitečné prověřit možnost opětovného využití kondenzátu. Opětovné použití kondenzátu vede také k významnému snížení nákladů za úpravu vody a spotřebu příslušných chemických látek. Významně je dále sníženo množství vypouštěné vody.

Využití kondenzátu má mnoho přínosů, které je rozhodně nutné posoudit, neboť v převážné většině případů, kdy kondenzát není znečištěn je jeho opětovné využití ekonomicky efektivní.

5.2.8 Opětovné využití emisní páry

Emisní pára vzniká při snižování tlaku vysokotlakého kondenzátu. Jakmile se dostává kondenzát do nižšího tlaku, část kondenzátu se ještě odpaří a vytvoří tak emisní páru.

Emisní pára nereprezentuje pouze hmotnou složku v podobě upravené vody, ale emisní pára obsahuje také významnou energetickou položku, která je stále přítomna v kondenzátu.

Rekuperace emisní páry je tak zisková, neboť je sníženo množství potřebné surové vody, ovšem hlavní úspory nákladů jsou dosahovány díky využití energetického potenciálu. Rekuperace emisní páry vede k mnohem vyšším energetickým úsporám, než jednoduchý sběr kapalného kondenzátu. V další tabulce je uvedeno relativní množství energie v kondenzátu/emisní páře. Za vyšších tlaků emisní pára obsahuje většinu energie.

Emisní pára ve srovnání s kondenzátem zabírá o mnoho více místa. Vratné trubky tudíž musí být schopné vést tuto páru, aniž by v nich došlo k nárůstu tlaku. Pokud tomu tak není, může dojít k omezení správného fungování parních separátorů a navazujících zařízení.

V kotelně lze emisní páru podobně jako samotný kondenzát využít k ohřevu surové napájecí vody v odplyňovači. Mezi další možnosti patří použití páry k ohřívání vzduchu.

Mimo kotelnu lze emisní páru využít k ohřevu součástí, kterým stačí 100 °C. V praktickém provozu jsou spotřebiče páry běžně činné za tlaku 1 bar. Do takových zařízení lze vést emisní páru.

Při tlaku 1 atmosféry má kondenzát teplotu 100 °C a entalpii 419 kJ/kg.

Energetická složka, která opouští parní systém v kondenzátu, je uvedena v tabulce:

Absolutní tlak (bar)	V kondenzátu za atmosférického tlaku (%)	V kondenzátu + dodatečné evaporaci (%)	Relativní podíl energie v emisní páře (%)
1	13,6	13,6	0,0
2	13,4	16,7	19,9
3	13,3	18,7	28,9
5	13,2	21,5	38,6
8	13,1	24,3	46,2
10	13,0	25,8	49,4
15	13,0	28,7	54,7
20	12,9	30,9	58,2
25	12,9	32,8	60,6
40	12,9	37,4	65,4

Poznámka: Napájecí voda pro zařízení má často průměrnou roční teplotu přibližně 15 °C. Tyto hodnoty byly vypočteny ze situace, kdy dodávka vody do zařízení má teplotu 15 °C, či entalpii 63 kJ/kg.

Spotřeba vody je rekuperací emisní páry snížena. Rekuperace má také pozitivní účinek na množství potřebného odluhování a následně na množství vypouštěné odpadní vody.

Často existuje více možností opětovného využití emisní páry, než provozovatele napadnou poprvé. Teoreticky jakákoliv spotřeba páry za účelem výroby energie při nižší teplotě může vést k potenciálnímu užití emisní páry, místo páry ostré.

5.2.9 Tepelná izolace parovodů, kondenzátního potrubí, ventilů a armatur

Potrubí a trubky, které nejsou tepelně izolovány, jsou zdrojem ustavičných ztrát tepelné energie. Tento zdroj ztrát lze poměrně snadno odstranit. Ve většině případů je tepelná izolace teplých povrchů snadno realizovatelným opatřením. Navíc místní poškození izolace lze snadno napravit. Tepelnou izolaci je možné během provádění údržby nebo oprav odstranit. Snímatelné izolační kryty ventilů či další izolace by nemohla být při opravách na svém místě.

Tepelná izolace potrubí vede k podstatným úsporám energie. Určitý obrázek podává tato tabulka:

Tepelné ztráty na metr potrubí (h/m) ⁶									
Průměr potrubí	100 °C			150 °C			200 °C		
	50 mm	125 mm	300 mm	50 mm	125 mm	300 mm	50 mm	125 mm	300 mm
Tloušťka izolace									
0 mm	249	516	1074	480	1000	2091	769	1615	3401
20 mm	35	69	146	67	123	260	95	187	395
40 mm	23	42	84	44	74	150	61	113	228
100 mm	14	22	41	27	40	73	37	61	112

6) Hodnoty byly určeny pro ocelové potrubí, ve vnitřním prostředí, bez vlivu rychlosti větru v okolí armatur.

Snížení ztrát energie díky lepší tepelné izolaci může vést také ke snížení spotřeby vody a souvisejícím úsporám při úpravě vody.

Tepelná izolace různých součástí zařízení je často velmi odlišná. Moderní kotel je samotný velmi dobře izolován. Armatury, ventily a další spojovací prvky jsou obvykle méně tepelně izolována. Pro přibližně všechny možné povrchy emitující teplo jsou dostupné opětovně použitelné a odnímatelné izolační kryty.

Zvláštní pozornost je ovšem nutné věnovat při izolování separátorů páry. Různé typy separátorů mohou být správně provozovány pouze tehdy, kdy je umožněna kondenzace limitovanému množství páry, nebo když je umožněno emitování určitého množství tepelné energie (např. u jistých termostatických a termodynamických separátorů páry).

Pokud jsou takové separátory páry nadměrně izolované, může to bránit jejich provozu. Proto je nutné konzultovat úroveň izolací s výrobcem těchto separátorů.

Účinnost této techniky je zjevně podmíněna parametry příslušného zařízení. Ztráty tepelné energie, k nimž dochází drobnými mezerami v izolaci, jsou ovšem často podhodnocovány. Řada přírub na jediném parovodu s tlakem páry 10 barů může vést ke ztrátě energie přibližně 350 Nm³ za rok. Ve většině případů tato ztráta odůvodní pořízení izolačních krytů nebo ochranného povrchu.

Správná instalace izolačních povrchů může snížit také emise hluku ze zařízení.

5.2.10 Využití emisní páry v prostorách provozovny rekuperací kondenzátu za nízkého tlaku

V mnoha případech je možné opětovné využití emisní páry. Emisní pára je často využívána pro ohřívání součástí pod 100 °C. Existuje řada užitečnějších oblastí, kde lze ve stávajícím zařízení emisní páru opětovně využít.

První vhodnou možností využití sebrané emisní páry je na samotných trubkách kondenzátoru. Během životnosti zařízení lze dodatečně přidat na jednu linku další součásti. Vratné potrubí kondenzátu se může stát příliš úzké pro množství kondenzátu, které je nutno regenerovat. Ve

většinu případů je kondenzát rekuperován za atmosférického tlaku. Proto je větší část trubky zaplněna emisní párou.

V případě, že dojde k nárůstu vypouštění kondenzátu, tlak v těchto trubkách může vzrůst nad 1 bar. To může vést k problémům na dalších následných zařízeních a může ztížit správné fungování separátorů páry a zařízení.

Uprostřed vratné trubky je možné odpouštět emisní páru do instalovaného zásobníku. Emisní páru je pak možné použít pro místní přehřívání nebo ohřívání součástí s požadovanou teplotou menší jak 100 °C. Současně dojde ke snížení tlaku kondenzátu ve vratné trubce zpět na normální úroveň, čímž lze zabránit nutnosti vyměnit potrubní síť vracení kondenzátu.

V případě, že jsou prováděny úpravy na stávající síti, může být užitečné prověřit, zda lze kondenzát regenerovat za nižšího tlaku. To by vedlo ke vzniku ještě většího množství emisní páry a teplota by také klesla pod 100 °C.

5.2.11 Instalace přehříváče vzduchu

Kromě ekonomizéru je možné instalovat také ohříváky spalovacího vzduchu, které ohřívají vzduch, jenž proudí k hořáku. Znamená to, že spaliny mohou být ochlazený ještě víc, neboť vzduch má často teplotu venkovního prostředí. Vyšší teplota spalovacího vzduchu zlepšuje spalování a celková účinnost kotle vzrůstá. V literatuře se obecně uvádí, že lze poklesem teploty spalin o 20 °C dosáhnout 1% zlepšení energetické účinnosti.

Mezi další možné přínosy ohříváků patří:

- horký vzduch může vysušit palivo. Vhodné to je zejména při spalování uhlí či organických paliv
- již ve fázi návrhu zařízení lze využít menší kotel, pokud je počítáno s ohřívákem.

S instalací ohříváku vzduchu jsou ovšem spojeny určité praktické nevýhody, které brání jeho instalaci:

- jedná se o výměník vzduch – vzduch, a tudíž zabírá hodně prostoru. Tepelná výměna také není tak účinná jako když médiem výměny tepla je voda
- pokud dojde k vyššímu poklesu tlaku spalin, je nutné zapojit u hořáku ventilátor, jímž je tlak zvýšen
- hořák musí zajistit, aby systém byl nasycen přehřátým vzduchem. Ohřátý vzduch spotřebuje větší objem. Znamená to také větší problémy se stabilitou plamene.

Méně účinným, ale jednodušším způsobem přehřívání, může být instalace nasávače vzduchu pro hořák na strop kotelny. Obecně vzduch zde má často teplotu o 10 až 20 °C vyšší, než je teplota vzduchu venkovního prostředí. Tato instalace může kompenzovat část ztráty účinnosti.

Jiným řešením je vedení vzduchu do hořáku přes dvouvrstvý spalinovod. Spaliny kotle opouštějí vnitřní trubkou, vzduch do hořáku je veden v druhé vrstvě. Takto lze vzduch přehřát ztrátami tepla ve spalinách.

V praxi může ohřívák vzduchu zvýšit účinnost až o 3 až 5 %.

Přivádění ohřátého vzduchu na hořák má dopad na velikost ztrát ze spalín kotle. Procentní část spalínových ztrát je obecně dána Siegertovou rovnicí:

$$W_L = c \times \frac{t_{\text{plyn}} - t_{\text{vzduch}}}{\% \text{CO}_2}$$

kde:

- W_L spalínové energetické ztráty, v % ze spálené hodnoty (%)
- c Siegertův koeficient (-)
- t_{plyn} naměřená teplota spalín (°C)
- t_{vzduch} teplota přiváděného vzduchu (°C)
- % CO_2 naměřená koncentrace CO_2 ve spalínách vyjádřená v procentech.

Následující příklad má tyto východiska: parní kotel spalující vysoce kvalitní zemní plyn produkuje spaliny s těmito parametry: $t_{\text{plyn}} = 240 \text{ °C}$ a $\text{CO}_2 = 9,8 \%$. Přívod vzduchu je upraven a je využíván teplejší vzduch z prostoru u stropu kotelny. Před úpravou přívodu byl vzduch přiváděn s teplotou venkovního prostředí.

Průměrná venkovní teplota je 10 °C , zatímco roční průměrná teplota u stropu kotelny je 30 °C .

Siegertův koeficient je v tomto případě: $0,390 + 0,00860 \times 9,8 = 0,4743$

Před instalací přehříváče byla ztráta ve spalínách:

$$W_R = 0,4743 \times \frac{240 - 10}{9,8} = 11,1 \%$$

Po instalaci přehříváče je ztráta ve spalínách:

$$W_R = 0,4743 \times \frac{240 - 30}{9,8} = 10,2 \%$$

To představuje zvýšení účinnosti o 0,9%. Ač jde o poměrně malou úpravu, může být vysoce efektivní.

Instalace ohříváku vzduchu je nákladově efektivní u nových kotlů. Změna přívodu vzduchu nebo instalace ohříváků jsou často limitovány technickými důvody nebo požární bezpečností. Instalace ohříváků na stávající kotel je často příliš složitá z prostorových důvodů.

5.2.12 Minimalizace ztrát kotle z krátkých provozních cyklů

Ke ztrátám během krátkých cyklů dochází pokaždé, kdy je kotel na krátkou dobu vypnut. Cyklus kotle sestává z fáze spalování, vyčištění, nečinnosti, vyčištění a opět spalování. U moderních, dobře izolovaných kotlů mohou ztráty během fází čištění a fáze nečinnosti být nízké, ale mohou rychle růst u starších kotlů s nedostatečnou izolací.

Ztráty z krátkých provozních cyklů parníků kotlů mohou být vyšší, pokud je kotel schopen vyrobit požadovaný objem ve velmi krátké chvíli. Tento případ nastává, kdy je instalovaná kapacita kotle výrazně vyšší, než je obecně potřebné. Potřeba páry do technologického procesu se může v čase měnit. Je také možné, že celková potřeba páry poklesla díky realizaci opatření úspor energie. Na druhou stranu kotle byly původně dodány s nadměrnou kapacitou, která tvořila rezervu pro případná rozšíření výroby, ke které ovšem nikdy nedošlo.

Již v návrhové etapě výstavby zařízení je pozornost nutno věnovat nejprve druhu kotle. Žárotrubné kotle jsou tepelně značně setrvačné, a mají významný obsah vody. Tyto kotle jsou určeny pro nepřetržitou dodávku páry a krytí odběrových špiček. Parní generátory nebo průtlačné (vodotrubní) kotle naproti tomu dodávají páru ve větších objemech. Vodotrubné kotle jsou díky relativně menšímu obsahu vody vhodnější pro zařízení, kde zatížení značně kolísá. Oba typy kotlů není vůbec vhodné používat v jednom zařízení současně.

Krátké cykly lze omezit místo instalace jednoho kotle s velkou kapacitou instalací většího počtu kotlů s menšími kapacitami. Ve výsledku vzroste jak flexibilita, tak spolehlivost provozu. Manažerský systém provozu kotlů může být napojen na automatické řízení účinnosti výroby a vyhodnocování mezních nákladů výroby páry na každém kotli. Dodatečná spotřeba páry je tímto způsobem zajištěna kotlem, jenž má nejnižší mezní náklady výroby.

Zlepšení lze dosáhnout tepelnou izolací kotle nebo jeho výměnou. Je možné zvážit výměnu velkých kotlů několika menšími kotli. Udržování kotle v pohotovostním režimu při správné teplotě stojí ročně mnoho energie, která dosahuje přibližně 8 % celkové kapacity kotle. Podniky opět musí srovnat přínosy ze spolehlivosti a přínosy opatření úspor energie.

Negativní dopad krátkých provozních cyklů je zřejmější tehdy, kdy je kapacita kotle zřídka kdy využita, na příklad méně než z 25%. V takovém případě je doporučeno analyzovat, zda by výměna kotle nebyla vhodnější.

5.3 Kogenerace

Následující část pojednává o různých kogeneračních aplikacích popsaných z hlediska jejich vhodnosti pro různé případy. Vyhledávání možností ke kogenerační výrobě je důležitým krokem na cestě zlepšování energetické účinnosti. V současnosti jsou již dostupné nákladově efektivní aplikace, které jsou vhodné pro malé kapacity.

5.3.1 Druhy kogenerace

Kombinovaná výroba tepelné a elektrické energie (CHP – combined heat and power) – kogenerace – je procesem souběžné přeměny primárního paliva na elektrickou/mechanickou energii a užitečné teplo, které lze využít pro účely vytápění nebo jako procesní technologickou páru v průmyslových aplikacích. Množství vyrobené energie závisí na tom, jak hodně lze snížit tlak páry na turbíně, zatímco pára si uchová schopnost splnit potřebu tepelné energie v provozovně. Ve Směrnici 2004/8/EC o podpoře kogenerační výroby je kogenerace definována jako „souběžná výroba tepelné a elektrické nebo mechanické energie v jednom procesu“.

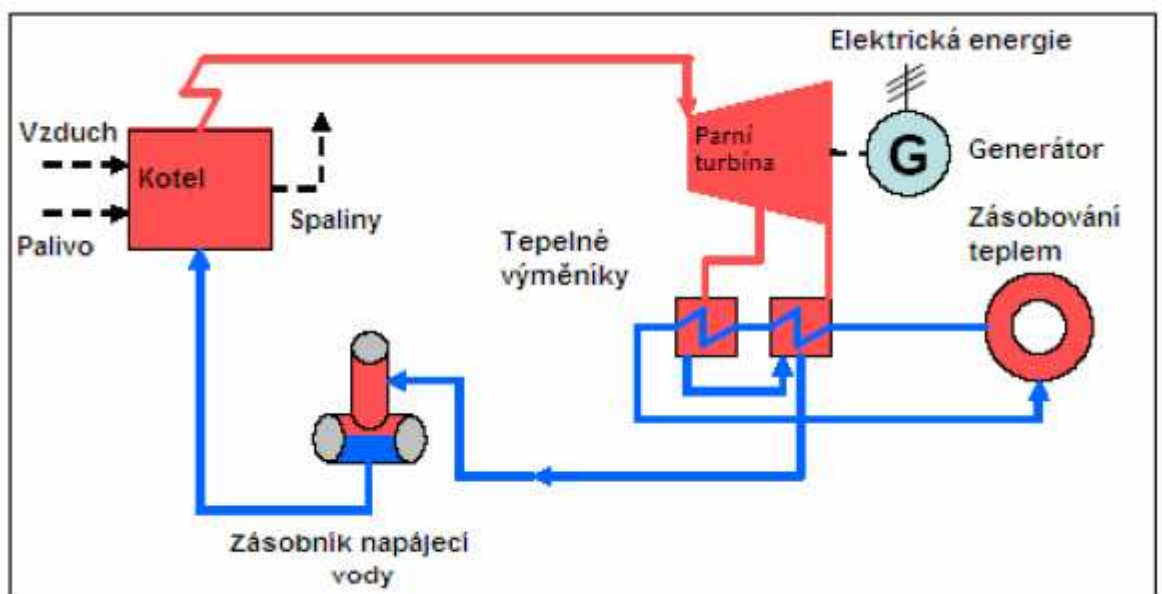
Existují kogenerační jednotky různých typů:

- zařízení s parní turbínou (protitlaké, odběrové protitlaké, odběrové kondenzační turbíny)
- plynové turbíny s kotli na rekuperaci odpadního tepla
- kombinovaný cyklus plynové turbíny (plynové turbíny kombinované se spalinovými kotli na rekuperaci odpadního tepla a jednou z výše uvedených parních turbín)
- elektrárny s pístovými motory (Ottovy motory nebo dieselové agregáty s využitím tepla) a
- palivové články s využitím tepla.

Protitlak

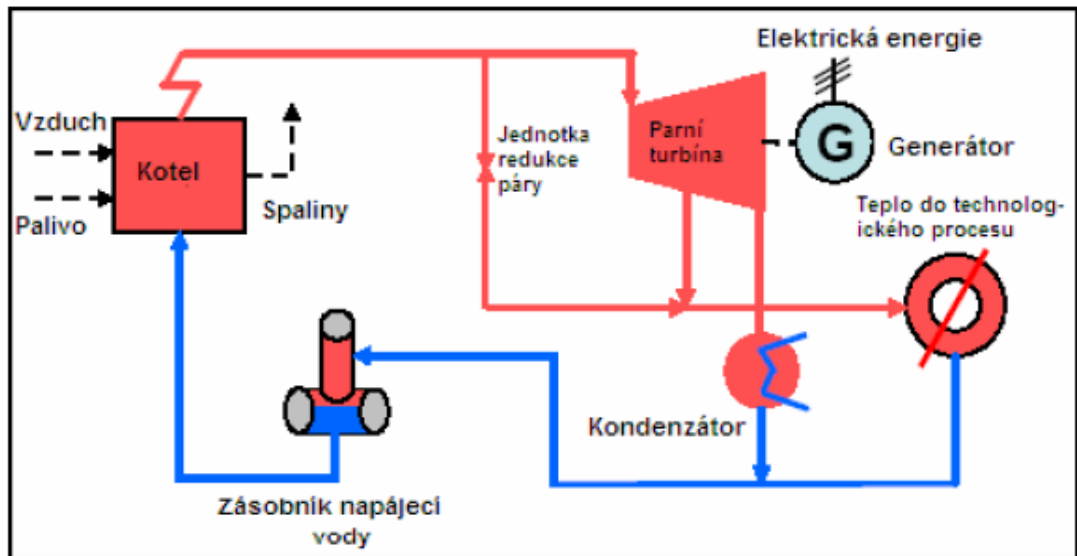
Nejjednodušší kogenerační elektrárnou je tak zvaná protitlaká elektrárna, kde je elektrická a tepelná energie vyráběna na parní turbíně (viz obrázek). Elektrický výkon elektrárny využívající protitlakou parní turbínu je obvykle několik desítek megawattů. Poměr elektrické energie k tepelné je obvykle mezi 0,3 – 0,5. Elektrický výkon elektráren s plynovou turbínou je oproti protitlakým turbínám obvykle o něco menší, ale jejich poměr elektrické energie k tepelné je často blízko 0,5. Velikost průmyslové protitlaké elektrárny závisí na spotřebě tepla v technologickém procesu a na vlastnostech vysokotlaké, střednětlaké a protitlaké páry. Hlavním determinantem protitlaké výroby páry je poměr elektrické energie k tepelné.

V teplárnách pro centrální zásobování teplem kondenzuje pára na tepelných výměnících za parní turbínou a ke spotřebitelům je rozváděna cirkulující vodou. Pára z průmyslové protitlaké elektrárny je odvedena do továrny, kde odevzdává své teplo. Protitlak je v průmyslové elektrárně ve srovnání s elektrárnou napojenou na CZT vyšší. To vysvětluje, proč je poměr elektrické energie k tepelné v průmyslové protitlaké elektrárně nižší, než v elektrárně s rozvodem tepla do centrálního zásobování.



Protitlaká jednotka

Odběrová kondenzační

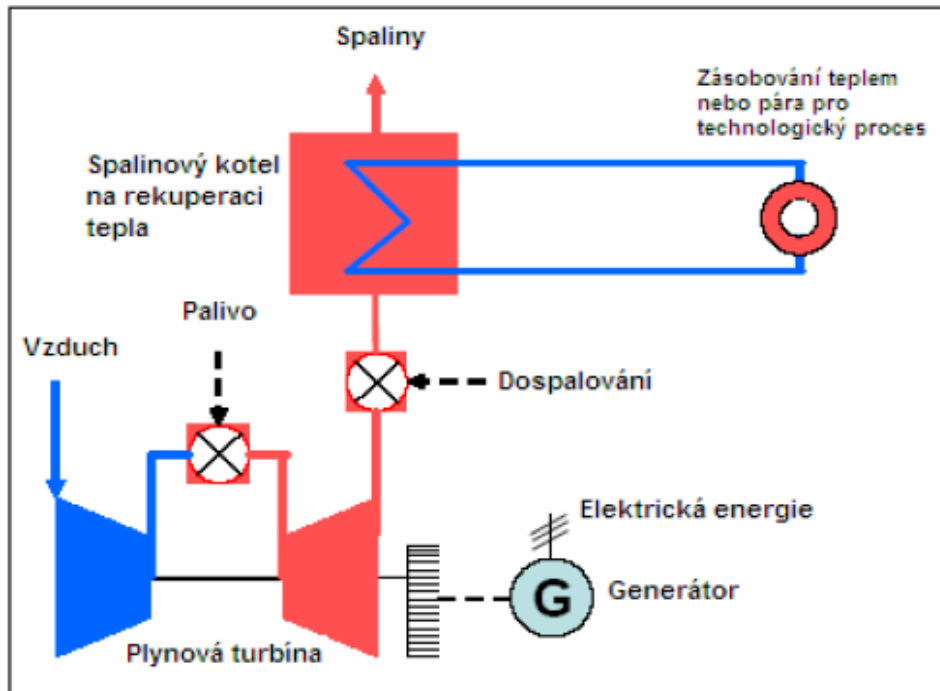


Kondenzační elektrárna vyrábí pouze elektrickou energii, zatímco odběrová kondenzační elektrárna část z páry odebere z turbíny a vyrobí z ní teplo .

Plynová turbína se spalínovým kotlem na rekuperaci tepla

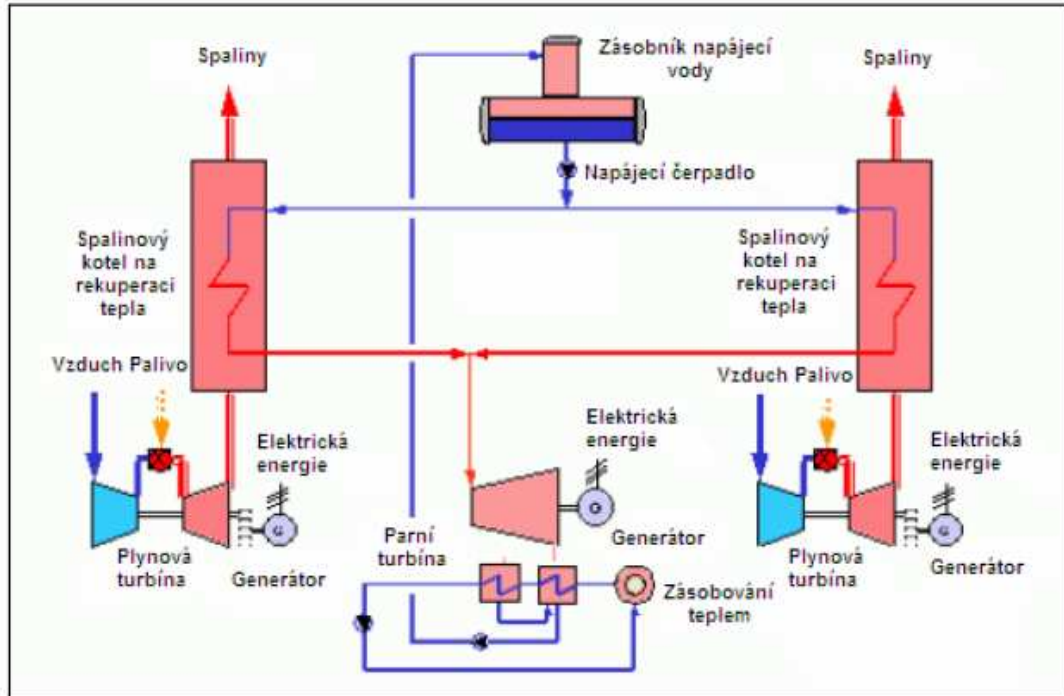
V elektrárnách s plynovou turbínou a spalínovým kotlem je teplo vyráběno ze spalin turbíny (viz obrázek). Jako palivo je většinou užíván zemní plyn, topný olej nebo jejich kombinace. Plynové

turbíny mohou spalovat dokonce i zplyněná pevná nebo kapalná paliva.



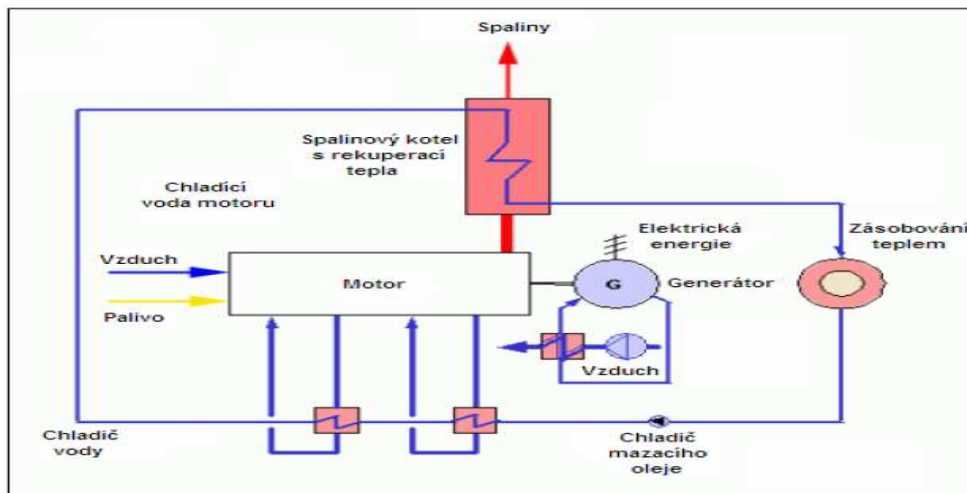
Elektrárna s kombinovaným cyklem

Elektrárna s kombinovaným cyklem sestává z jedné nebo několika plynových turbín propojených na jednu nebo více parních turbín. Elektrárna s kombinovaným cyklem představuje vyvinutější verzi kombinované výroby tepelné a elektrické energie. Teplo ze spalin procesu plynové turbíny je rekuperováno pro proces parní turbíny. Přínosem systému je vyšší poměr elektrické energie k tepelné a vyšší účinnost. K elektrárnám s kombinovaným cyklem byly během posledního vývoje napojeny jednotky zplyňování pevných paliv. Technika zplyňování snižuje emise oxidů síry a dusíku na výrazně nižší úroveň, než dosahují konvenční techniky spalování.



Pístové motory

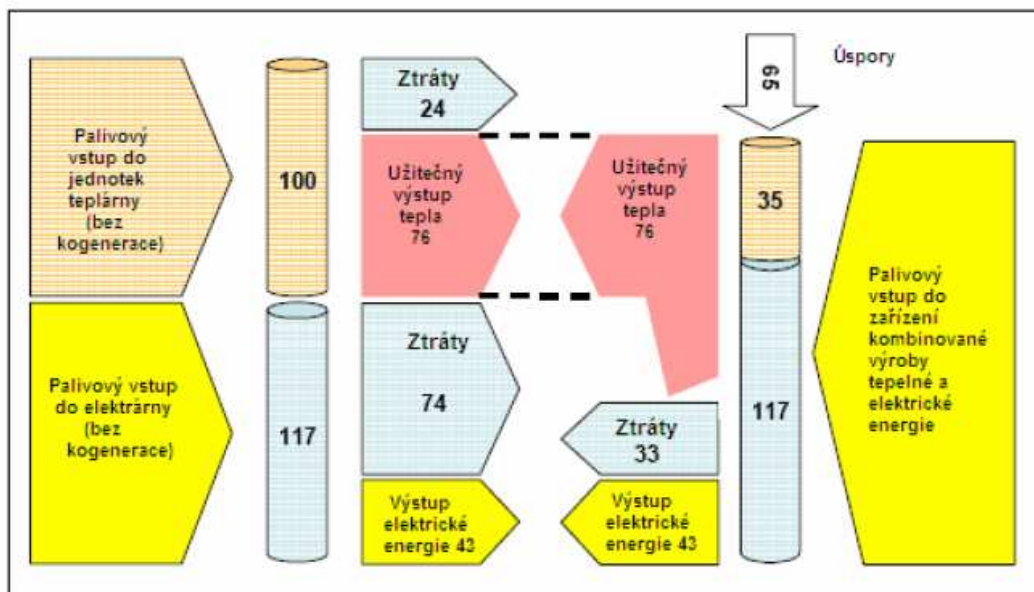
Oproti plynové turbíně lze pístové motory kombinovat se spalinovým rekuperačním kotlem, který v některých instalacích dodává páru na parní turbínu a vyrábí jak elektrickou, tak tepelnou energii. V tomto typu kogenerace lze teplo rekuperovat z mazacího oleje a chladicí vody motoru a také ze spalin, jak ukazuje obrázek.



Při kombinované výrobě jsou dosahovány významné ekonomické a environmentální výhody. Kogenerační jednotky maximálně využívají energii paliva na výrobu jak elektrické, tak tepelné energie, a při výrobě dochází k minimálnímu plýtvání primárními energetickými zdroji. Zařízení

dosahují celkové účinnosti 80 až 90 %, zatímco účinnosti konvenčních kondenzačních zařízení zůstávají maximálně okolo 45%.

Vysoká účinnost CHP procesů vede k výrazným úsporám energie a emisí. Následující obrázek uvádí typické hodnoty pro výrobu s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla ve srovnání s procesem samostatného kotle pro vytápění a samostatné kondenzační uhelné elektrárny. Podobné výsledky jsou dosahovány i pro ostatní paliva. Čísla na obrázku uvádějí jednotky energie. Oddělené jednotky a kogenerační jednotka vyrábějí stejné množství užitečného výstupu. Oddělená výroba ovšem vede k celkové ztrátě 98 jednotek energie – ve srovnání ke ztrátě pouze 35 jednotek procesu kogenerace. Kogenerační výroba tudíž potřebuje o přibližně 30 % méně paliv při výrobě shodného množství užitečné energie.



Srovnání účinnosti kondenzační elektrárny se zařízením kombinované výroby tepelné a elektrické energie

Palivová neutralita kogenerace, při níž lze využívat řadu různých paliv od biomasy po uhlí a plyn, dále přispívá větší různorodosti palivového mixu a tím ke snížení palivové závislosti.

Obecně jsou kogenerační jednotky použitelné v zařízeních, která mají významnou spotřebu tepla při teplotách v oblasti střído- nebo nízkotlaké páry.

Volba konfigurace kogeneračních jednotek je ovlivněna řadou faktorů a dokonce podobné požadavky na energii nejsou ve dvou provozech řešeny stejně. Úvodní výběr kogenerační jednotky je často podmíněn dvěma faktory:

- potřebou tepla v provozu, s množstevními, tepelnými a dalšími parametry, kterou lze zajistit teplem z kogenerační jednotky

- potřebou elektrické energie pro základní zatížení provozu, tj. úroveň, pod kterou potřeba elektrické energie v provozu zřídka kdy klesne.

V následujících bodech je uveden přehled, jaké typy kogenerace jsou obvykle vhodné pro různé situace.

Volba typu kogenerace

Parní turbíny mohou být vhodnou volbou do provozoven, kde:

- základní elektrické zatížení více jak 3 – 5 MWe
- existuje potřeba nízkotlaké páry v technologickém procesu; poměr elektrické energie k tepelné je větší jak 1:4
- je dostupné levné, palivo, bez příplatků za kvalitu
- je dostupný náležitý prostor
- je dostupné prvotřídní odpadní teplo z technologického procesu (např. z pecí nebo spaloven)
- stávající kotelnu je potřeba vyměnit
- poměr elektrické energie k tepelné bude minimalizován, pokud je použit kombinovaný cyklus plynové turbíny, pak je plánováno, že poměr elektrické energie k tepelné bude maximalizován.

Plynové turbíny mohou být vhodné, pokud:

- je potřeba elektrické energie nepřetržitá, a je vyšší jak 3 MWe (menší plynové turbíny v současnosti teprve vstupují na trh)
- je dostupný zemní plyn (ačkoliv toto není vylučující faktor)
- existuje vysoká potřeba střední/vysokotlaké páry nebo horké vody, zejména s teplotami vyššími, jak 500 °C
- existuje potřeba horkých plynů s teplotami 450 °C a výše – spaliny lze ředit atmosférickým vzduchem a ochladit je tak, nebo je odvést na tepelný výměník. (technika k uvažování také při konfiguraci kombinovaného cyklu s parní turbínou).

Pístové motory mohou být vhodné do provozoven, kde

- výkon, či procesy, jsou cyklické, nikoli nepřetržité
- je potřeba nízkotlaké páry nebo vody se střední či nízkou teplotou
- poměr elektrické energie k tepelné je nízký
- je dostupný zemní plyn – plynové pístové motory jsou preferovány
- zemní plyn není dostupný – mohou být vhodné vznětové motory na topný olej nebo LPG
- elektrické zatížení je menší jak 1 MWe – zážehový motor (dostupné jsou jednotky od 0,003 do 10 MWe)
- elektrické zatížení je vyšší jak 1 MWe – vznětový motor (jednotky od 3 do 20 MWe).

5.3.2 Kogenerační jednotka v zařízeních na výrobu bezvodé sody

Obecné vysvětlení ve formě typického zařízení (produkce bezvodé sody - uhličitanu sodného) Výroba bezvodé sody je typickým příkladem procesu, v němž je spotřebováno významné množství tepelné a mechanické energie. Procesu potřebné dodat nízkotlakou a středotlakou páru a mechanickou energii.

Spotřeba tepelné energie je pravidelná a převážně ve formě středotlaké či nízkotlaké páry. Středotlaká pára (10 – 40 bar) je obvykle využívána pro tepelný rozklad a sušící procesy při konverzi kyselého uhličitanu sodného na lehký uhličitán sodný a rozkladu monohydrátu uhličitanu sodného a pro proces sušení, jímž je vyráběna bezvodá soda. Nízkotlaká pára (<5 bar) je primárně využívána při destilaci čpavku, která umožňuje úplnou regeneraci čpavku a jeho recirkulaci v technologickém procesu.

Pro pohon točivých strojů (plynový kompresory, vodní čerpadla, vakuovače, atd.) je potřebná mechanická energie. Stroje mohou být poháněny buď elektromotory nebo parními turbínami. Výrobci bezvodé sody vyvinuli výrobu energie z primárních zdrojů, jako je uhlí, topný olej či zemní plyn.

Podle jejich zkušeností je proces výroby energie při kombinované výrobě tepelné a elektrické energie mimořádně dlouhý. Od počátku 20. století vyráběli elektrickou energii na kotlích a protitlakách turbínách. V současnosti jsou protitlaké parní turbíny stále důležitým prostředkem výroby elektrické energie pro zařízení výroby uhličitanu sodného. Po několik desítek let výrobci bezvodé sody využívali také plynové turbíny. Zpočátku to byly stroje s velkým zatížením. V poslední době po vývoji leteckých technologií byly použity z leteckých motorů odvozené turbíny s vysokou elektrickou účinností. Dnes jsou v provozovnách na výrobu bezvodé sody používány kogenerace dvojího typu: za prvé jednotky s kotli na fosilní paliva a protitlakými parními turbínami, a za druhé kogenerace s plynovými turbínami a spalinovými rekuperačními kotli s nebo bez protitlaké parní turbíny.

Přínosy:

Kogenerační jednotka nahrazuje dvě samostatné jednotky, které vyrábí shodné množství tepelné a elektrické energie (elektrická energie může být dodávána z provozovny nebo jiným způsobem): porovnání mezi kogenerační jednotkou a dvěma nahrazenými jednotkami vykazuje úspory energie a pokles celkové energetické intenzity. S kogenerací jsou úspory primární energie v porovnání s oddělenou výrobou tepelné a elektrické energie běžně mezi 5 – 30% v závislosti na změně paliva a na technologii. Pokud nahrazená jednotka výroby elektrické energie není místní, CHP vylučuje ztráty při přenosu elektrické energie k místě spotřeby.

Účinné užití energie kogenerací může navíc pozitivně přispět ke snížení emisí skleníkových plynů. Typická kogenerace může ve srovnání s oddělenou výrobou tepelné a elektrické energie v závislosti na palivu a technologii snížit emise CO₂ o 5 až 60 %.

Ekonomická efektivnost kogenerace značně závisí na dostupnosti a cenách paliv a elektrické energie. Volba primární energie (uhlí, topný olej, plyn, atd.) a technologie kogenerace (plynová turbína, protitlaká parní turbína, atd.) podléhá místním podmínkám.

Na příklad dostupnost zemního plynu dovoluje posoudit v provozu výroby bezvodé sody instalaci CHP jednotky s plynovou turbínou. Toto řešení výrazně zvyšuje poměr vyrobené elektrické energie na tunu bezvodé sody. Obvykle je elektrické energie vyrobeno více, než je potřeba a z tohoto velkého množství energie je tudíž část odváděna do rozvodné soustavy.

Limitujícím faktorem instalace kogenerace je rostoucí ekonomické riziko při značně pohyblivých cenách plynu.

Ve zvláštním případě, kdy je v kogenerační jednotce spalován zemní plyn, je příslušným parametrem tzv. „bleskové rozpětí“ [spark spread], který vyjadřuje rozdíl mezi cenou elektrické energie dodané ze sítě a cenou plynu za předpokladu, že je plyn na elektrickou energii přepočten podle dané výhřevnosti. Ukazatel představuje výrobní marži produkce elektrické energie ze zemního plynu.

Pokud je marže příliš nízká (neboť elektrická energie ze sítě je vyráběna jiným způsobem, než z plynu), kogenerace není ekonomická, není-li možné na ni získat dotaci.

5.3.3 Konfigurace se stacionárními pístovými motory

Pístové motory pracující v Ottově nebo dieselovém cyklu jsou velmi známé pro jejich vysokou primární účinnost a provozní pružnost. Stacionární motory jsou používány pro výrobu elektrické energie s účinností obvykle v rozmezí 40 – 48 % (v závislosti na velikosti a typu motoru). Pružnost zařízení vybavených motory je dána palivovou všestranností, schopností přizpůsobení zatížení, flexibilně alokovatelnou výrobou elektrické energie a dostupností řešení rekuperace tepla. Při použití pro centralizované zásobování teplem mohou celkové elektrické a tepelné účinnosti dosáhnout dokonce 90%.

Typy pístových motorů a různorodost palivové základny

Pístové motory spalováním přeměňují chemicky vázanou energii paliv na energii tepelnou. Tepelná expanze spalin probíhá ve válci a vynucuje pohyb pístu. Mechanická energie z pohybu pístu je převedena na setrvačný pohyb klikového hřídele a dále alternátorem připojeným ke klikovému hřídeli přeměněna na elektrickou energii. Přímou přeměnou vysokoteplotní tepelné expanze na mechanickou energii a dále na energii elektrickou je na pístových motorech dosaženo nejvyšší tepelné účinnosti (vyrobená elektrická energie na jednotku energie v palivu) ze všech jednookruhových primárních strojů. Díky nejvyšší tepelné účinnosti je dosaženo také nejnižších měrných emisí CO₂.

Dvoutaktní motory s malou rychlostí (< 300 otáček za minutu) jsou dostupné do výkonu 80 MWe. Čtyřtaktní motory se střední rychlostí (300 < n < 1 500 otáček za minutu) jsou dostupné do výkonu

20 MWe. Pro nepřetržitou výrobu elektrické energie jsou obvykle voleny právě motory dosahující středních rychlostí. Čtyřtákní motory s vysokou rychlostí (> 1 500 otáček za minutu) jsou dostupné s výkonem okolo 3 MWe a nejčastěji jsou používány pro špičkové zatížení.

Nejčastěji používané typy motorů lze dále rozdělit na dieselové, zážehové se zapalovacím vstřikem a dvoupalivové motory. Alternativními palivy může být jedno nebo dvě z široké řady od zemního plynu, doprovodné plyny, skládkové plyny, plyny z těžby (z uhelné slaje), bioplyn a dokonce plyny z pyrolýzy, kapalná biopaliva, nafta, surový olej, těžký topný olej a palivové emulze rafinérských zbytků.

Stacionární motorová zařízení

Stacionární zařízení s motory jsou běžně vybavena několika generátory poháněnými paralelně zapojenými agregáty. Násobná instalace motorů v kombinaci se schopností motorů zachovat vysokou účinnost při částečném zatížení těmito zařízeními dává provozní pružnost pro optimální pokrytí různých požadavků na výkon a výtečnou dostupnost. Doba trvání studeného startu je v porovnání s uhelnými, olejovými nebo plynovými zařízeními s kotli a parními turbínami nebo se zařízeními s kombinovaným cyklem plynové turbíny krátká. Spuštěný motor má schopnost rychle reagovat na požadavky sítě a tudíž lze rychle stabilizovat výkon soustavy.

Uzavřené radiátorové chladicí systémy jsou pro tuto technologii vhodné, přičemž udržují nízkou spotřebu vody v zařízení stacionárních motorů.

Kompaktní design motorových zařízení je činí vhodnými pro decentralizovanou kombinovanou výrobu tepelné a elektrické energie (CHP) v blízkosti spotřebitelů elektrické a tepelné energie v městských a průmyslových zónách. Energetické ztráty v transformátorech a přenosovém vedení a teplovodním potrubí jsou tak sníženy. Typické ztráty při přenosu spojené s centralizovanou výrobou elektrické energie dosahují v průměru 5 až 8% vyrobené elektrické energie, podobně tepelné ztráty v městských sítích centrálního zásobování jsou obvykle menší než 10 %.

Kombinovaná výroba tepelné a elektrické energie s vysokou účinností

Vysoká účinnost jednoho výrobního cyklu pístových motorů spolu s relativně nízkými plynnými splodinami a teplotami chladicí vody činí tyto motory ideálním řešením CHP. Typicky je okolo 30% energie uvolněné při spalování paliva odvedeno do spalin a okolo 20% do chladicí vody. Energii ve spalinách lze rekuperovat instalací spalivového kotle za motor. Spalinový kotel pak vyrábí páru, horkou vodu nebo horký olej. Toky chladicí vody lze rozdělit na obvody s nízkou a vysokou teplotou a stupeň rekuperace závisí na nejnižší teplotě, kterou lze přivést pro účely potenciálního spotřebiče tepla.

Celkový energetický potenciál chladicí vody lze rekuperovat v rozvodech centralizovaného zásobování teplem s nízkými teplotami vratné vody. Zdroje tepla z chlazení motoru ve spojení se spalivovým kotlem a ekonomizérem mohou vést k celkové (elektrická + rekuperace tepla) účinnosti až 85 % u kapalných paliv a až 90 % u použitých paliv plynných.

Tepelnou energii lze ke konečné spotřebě dodat v podobě páry (obvykle přehřátou až na 20 bar), horké vody nebo horkém oleji v závislosti na potřebě konečného spotřebiče. Teplo může být také využito v procesu absorpčního chlazení k výrobě chlazené vody.

Dále je možné využít absorpční tepelná čerpadla k přenosu energie z nízkoteplotního obvodu chlazení motoru na vysokoteplotní tok, jenž lze použít v sítích zásobování teplem s vysokými návratovými teplotami. Akumulátory horké a chlazené vody mohou být využity pro stabilizaci krátkodobě nerovnovážné poptávky po elektrické energii, teple nebo chladu.

Zařízení s kombinovaným cyklem

V případě, kdy není možné nadbytečné teplo z motoru využít přímo nebo je jeho potřeba sezónní, celkovou elektrickou účinnost zařízení lze navýšit mírně nad 50 % instalací kombinovaného cyklu, v němž je pára z rekuperačního kotle přeměněna na parní turbíně na elektrickou energii. Využitím organických rankingových cyklů, které jsou schopné využít nízkoteplotní toky tepelné energie, lze dosáhnout dokonce ještě mírně vyšších účinností. Použití technologie kombinovaného cyklu vede k nižší celkové účinnosti ve srovnání s čistým CHP řešením. Technologie kombinovaného cyklu také potřebují vodu pro chlazení parních kondenzátorů, a tudíž je vždy její instalaci případ od případu nutné ekonomicky vyhodnotit podle místních podmínek a geografickém umístění.

Alternativou kombinovaného cyklu, která zlepšuje celkovou účinnost zařízení s pístovým motorem, je využití procesu rekuperace tepla, jímž je zahřívána napájecí voda velkých uhelných, olejových nebo plynových kotelen místo páry odebrané z parní turbíny.

Pístové motory mají při výrobě elektrické energie obvykle vysokou účinnost v rozmezí 40 – 48 %, v kombinovaném cyklu může účinnost dosáhnout 85 – 90 %. Při trigeneraci lze zvýšit pružnost výroby skladováním horké a chlazené vody, a využitím doplňující regulační kapacity kompresorových chladičů nebo přímo vytápěných pomocných kotlů.

Použitelnost

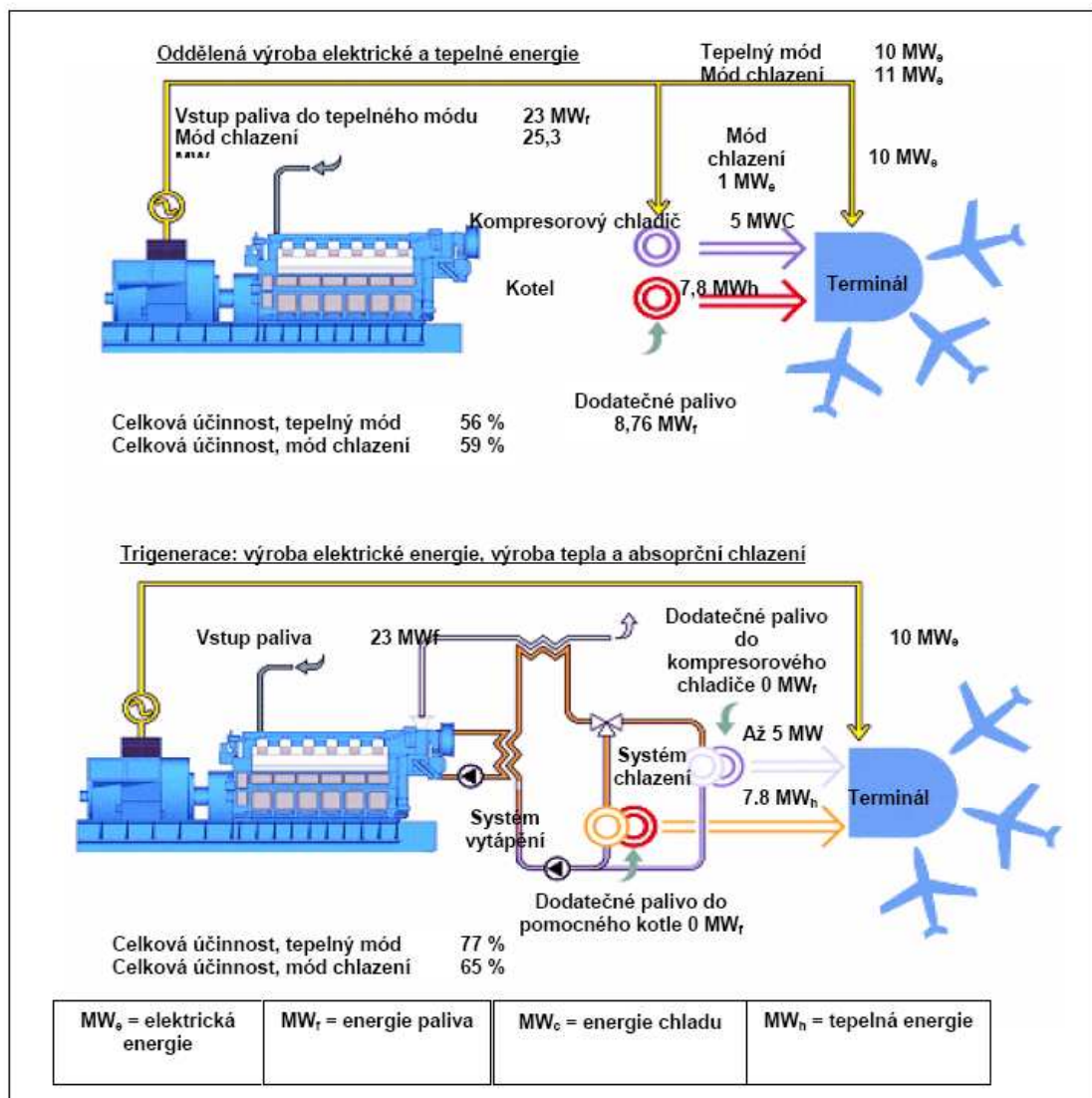
Pružnost motorových kogeneračních jednotek je dána: palivovou všestranností, kapacitou pro přizpůsobení výkonu, pružně alokovatelnou výrobou energie a zařízeními rekuperace tepla.

Pístové motory mohou být vhodné pro provoz, kde:

- výkon, či procesy jsou cyklické či nárazové
- je požadována nízkotlaká pára nebo horká voda se střední nebo nízkou teplotou
- je nízký poměr potřeby tepelné energie k potřebě energie elektrické
- je dostupný zemní plyn – preferovány jsou plynové pístové motory
- zemní plyn není dostupný – vhodné mohou být vznětové motory na topný olej nebo LPG
- elektrické zatížení je méně než 1 MWe – zážehové zapalování (jednotky dostupné od 0,003 do 10 MWe)
- elektrické zatížení je vyšší, než 1 MWe – vznětové zapalování (jednotky od 0,1 do 20 MWe).

5.4 Trigenerace

Termínem trigenerace je obecně míněna souběžná přeměna paliva na tři užitečné energetické produkty: elektrická energie, horká voda nebo pára a chladná voda. Systém trigenerace je ve skutečnosti kogenerační systém s absorpčním chladičem, v němž je využita část tepla k výrobě chlazené vody (viz obrázek).



Příklad trigenerace v porovnání s oddělenou výrobou

Na obrázku jsou porovnány dva koncepty výroby chlazené vody: trigenerace využívající rekuperované teplo k provozu absorpčního chladiče s bromidem lithným a kompresorových chladičů využívajících elektrickou energii. Jak je patno z výše uvedeného obrázku, teplo je rekuperováno jak z odpadních plynů, tak z vysokoteplotního chladičového obvodu motoru. Flexibilitu trigenerace lze

Význam mají provozní filozofie a strategie řízení a měly by být náležitě vyhodnoceny. Optimálně řešení je zřídka kdy realizováno tak, že celkové množství chlazené vody je vyrobeno na adsorpčních chladičích. Na příklad pro klimatizaci může být většina z potřebného chlazení realizována ze 70% z maximální kapacity chlazení, a zbývajících 30 % doplněna kompresorovými chladiči. Celkové investiční náklady na chladiče lze takto minimalizovat.

Použitelnost

Trigenerace a decentralizovaná výroba elektrické energie

Z důvodu větší obtížnosti a nákladnosti rozvodu horké nebo chladné vody ve srovnání s elektrickou energií, trigenerace vede automaticky k decentralizované výrobě elektrické energie, neboť trigenerační zařízení je nutné umístit blízko spotřebičů horké nebo chladné vody.

S cílem maximalizace celkové účinnosti zařízení je koncept založen na propojení potřeby teplé a chladné vody. Elektrárna umístěná v blízkosti spotřebičů tepelné a chladné vody má také nižší ztráty z přenosu elektrické energie. Trigenerace je kogenerací rozšířenou o chladič. Je zřejmé, že všechny výhody dodatečné investice do chladiče jsou nevýhodné, pokud lze všechno rekuperované teplo účinně využít po všechen čas provozu zařízení.

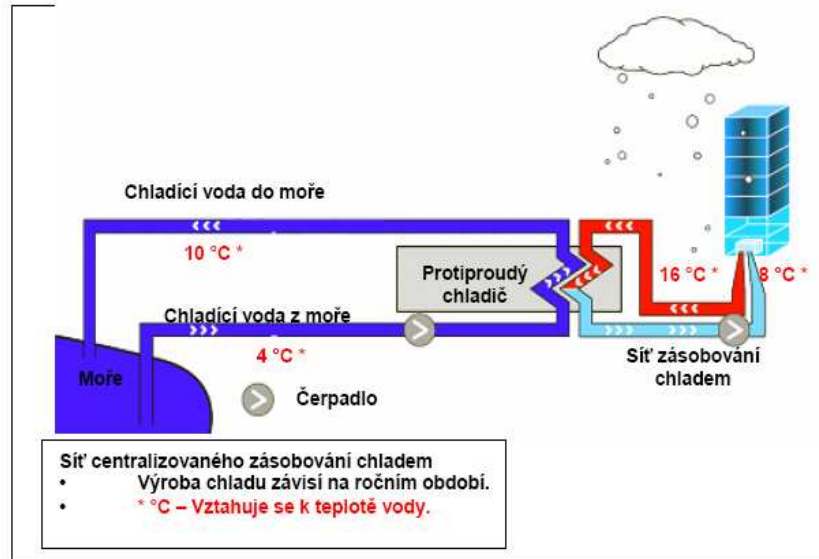
Dodatečná investice se začne splácet, pokud jsou období, kdy ne všechno teplo může být využito, nebo neexistuje žádná potřeba tepla, ale existuje použití pro chladnou vodu nebo vzduch. Pro příklad je trigenerace často používána pro klimatizaci budov, pro ohřev vody během zimy a pro její chlazení v létě, nebo pro vytápění určitého prostoru a chlazení prostoru jiného.

Letiště jsou dobrým příkladem výše uvedených podmínek. Mnoho průmyslových provozoven a veřejných staveb také představuje vhodný mix potřeb vytápění a chlazení. Uvedme tři příklady: pivovary, nákupní centra a nemocnice.

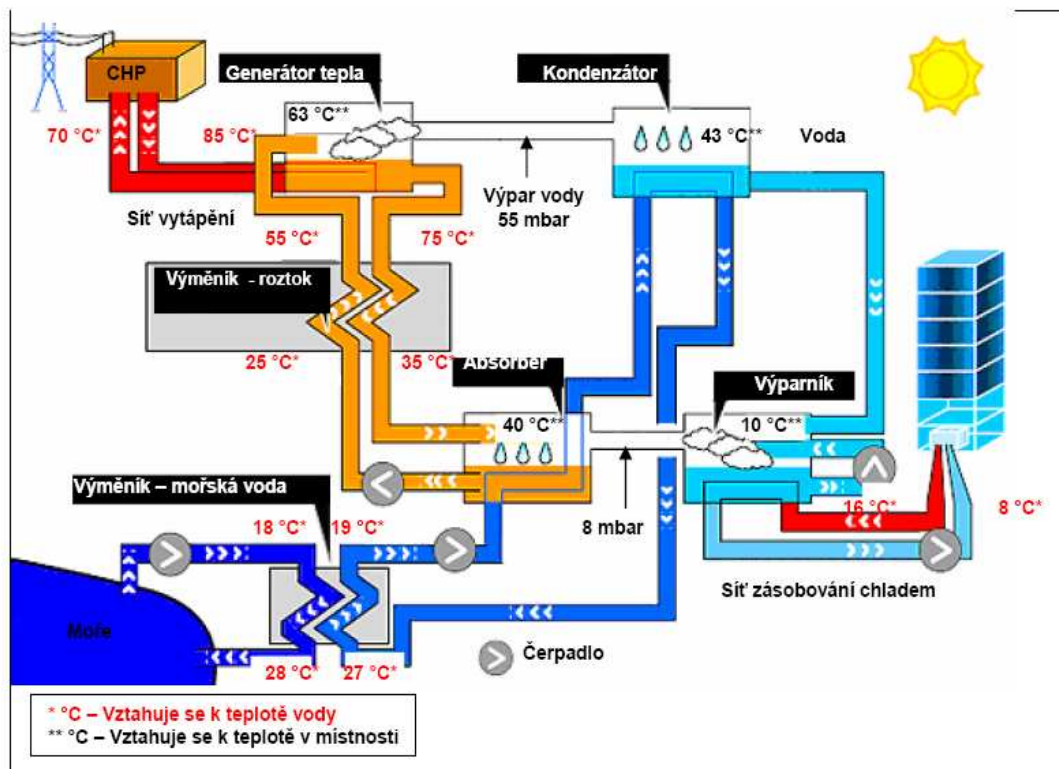
5.5 Centrální chlazení

Termín kogenerace může znamenat také centrální zásobování chladem (DC – district cooling), které představuje centralizovanou výrobu a rozvod chladicí energie. Chladicí energie je do spotřebičů dodávána chladnou vodou vedenou oddělenou distribuční sítí.

Centralizované zásobování chladem lze realizovat různými způsoby v závislosti na ročním období a venkovní teplotě. V létě může být centralizované zásobování chladem zajištěno absorpční technologií (viz obrázek). Centralizované zásobování chladem může být provedeno také technologií tepelných čerpadel. Centralizované zásobování chladem je využíváno pro klimatizaci, chlazení kanceláří a komerčních staveb a také obytných budov.



Obrázek 4.14: Centralizované zásobování chladem prostou chladicí technologií
[93, Tolonen, 2005]



Implementace trigenerace v Helsinkách vedlo k dosažení mnoha významných cílů :

- zavedením trigenerace v systému centralizovaného zásobování teplem a chladem byly značně sníženy emise skleníkových plynů a další emise, např. oxidů

dusíku, oxidu siřičitého a tuhých znečišťujících látek

- pokles spotřeby elektrické energie omezí špičky spotřeby elektrické energie, které jsou způsobeny chladícími jednotkami v budovách během horkých dnů
- od října do května je všechna DC energie obnovitelná, protože je získána z chladné mořské vody. To představuje 30 % roční spotřeby DC
- v teplejších obdobích využívají absorpční chladiče přebytečné teplo z CHP, které by jinak bylo odvedeno do moře
- zařízení tepelného čerpadla sníží emise oxidu uhličitého o 80 % v porovnání s konvenčními výrobními technologiemi
- škodlivý hluk a vibrace chladícího zařízení jsou v DC odstraněny
- prostor vyhrazený v budovách na chladící vybavení je uvolněn pro jiné účely
- je zabráněno vzniku problému mikrobiálního bujení ve vodě chladících věží
- v procesech DC nejsou používány žádné škodlivé látky (např. sloučeniny CFC a HCFC), které jsou jinak používány jako chladící média v kompresorovém chlazení jednotlivých budov
- DC zlepšuje estetické vyznění městského prostoru: výrobní jednotky a potrubí nejsou viditelné. Velké kondenzátory na střechách budov a početné chladiče v oknech nejsou dále potřeba
- životní cyklus DH a DC systémů je mnohem delší, než u jednotek pro jednotlivé budovy, např. doba životnosti chladícího zařízení je dvojnásobná ve srovnání s oddělenými jednotkami. Technická doba životnosti hlavních potrubních rozvodů DH a DC překračuje sto let
- podobné technologie je možné různým způsobem využít v mnoha městech .

5.6 Rekuperace odpadního tepla

V této kapitole je pozornost soustředěna na různé typy rekuperace odpadního tepla včetně instalací výměníků tepla, tepelných čerpadel a opětovné komprese par.

Rekuperace odpadního tepla je proces regenerace a opětovného využití degradovaného(odpadního) tepla a nahrazení nakupované energie energií z rekuperace. Téměř ve všech průmyslových odvětvích vznikají příležitosti pro rekuperaci tepla z procesů a pomocných systémů pracovních látek. Některé z nich byly popsány v předcházejících částech. Užitečná energie může mít původ v:

- horkých spalinách
- horké nebo chladné vodě vypouštěné do kanalizace
- odpadním vzduchu
- horkých nebo chladných produktech nebo odpadních produktech
- chladící vodě nebo hydraulickém oleji
- podzemní tepelné energii
- teple z panelových solárních kolektorů
- přehřátém kondenzátoru v odpadním teple z chlazení a
- ostatních zdrojů.

Nejčastěji používanými technikami rekuperace tepla jsou:

- přímé využití a tepelné výměníky ke spotřebě tepla jako takového
- tepelná čerpadla a vypařovací systémy opětovné komprese zušlechťují teplo tak, aby s ním bylo možné vykonat užitečnější práci, které lze dosáhnout s jeho novou teplotou
- vícestupňové operace, jako je víceefektové vypařování, emise páry a kombinace přístupů popsaných výše.

Tepelné výměníky a tepelná čerpadla mají širokou řadu použití bez ohledu na druh průmyslového odvětví.

Před zavedením zařízení na rekuperaci tepla je doporučeno vyhodnotit možnost využít teplo v procesu, z něhož teplo pochází (např. využití recirkulací), využít teplo v jiném procesu (tato varianta může být relevantní, protože odpadní teplo nemá dostatečně vysokou teplotu). Pokud není přímé využití tepla v procesu možné, a proces potřebuje chlazení, odpadní teplota může být využito přes absorpční chladiče k zajištění chlazení a úspore elektrické energie za konvenční chlazení.

Variantou může být také využití tepla z vytápění místností nebo ohřevu užitkové vody.

Podstatné je disponovat relevantními, kvantifikovanými informacemi a znalostmi o procesu, k němuž má být rekuperace tepla připojena. Primárním důvodem potíží a selhání je nedostatek znalostí. Chyby a opominutí budou mít pravděpodobněji závažnější vliv než na příklad špatné posouzení při výběru typu tepelného výměníku. Kromě chyb v termodynamice jsou hlavním zdrojem problémů fyzikální vlastnosti zdroje odpadního tepla. Ať už je vybrán jakýkoliv tepelný výměník, je problematické nemít na počátku výběru dostatečné znalosti.

Hluboké znalosti o provozu technologického procesu spolu se znalostmi o míře, v níž lze upravovat jeho provozní parametry, jsou nezbytné pro úspěšné začlenění rekuperace tepla do procesu. Výborné výchozí předpoklady poskytuje důkladné měření a zaznamenávání údajů o provozu. Technikům mohou také snáze identifikovat úspory dosažitelné nízkonákladovými opatřeními.

5.6.1 Přímá rekuperace tepla

Přímou rekuperaci tepla vykonávají tepelné výměníky. Tepelný výměník je strojní zařízení, v kterém je energie předávána z jedné tekuté či plynné pracovní látky na jinou přechodem přes neprostupnou stěnu. Přenos tepla probíhá jak prouděním (konvekci), tak vedením (kondukcí).

Tepelné výměníky patří do jedné z následujících kategorií, podle použití:

- plyn – plyn (deskové/plotnové, kotoučové, souosé trubkové, rekuperátor využívající záření kovů, Z-bos-Box, obtékač systémy, teplovodní trubky, rekuperace tepla z pece)
- plyn – kapalina (lamelová trubka, spirála, ohřivače odpadního tepla)
- kapalina – kapalina (deskové/plotnové, spirála, plášťové a trubkové typy) a
- fluidní lože (pro značně znečištěné prostředí, např. v papírnách).

V následujících průmyslových odvětvích dochází k vypouštění tepla s relativně nízkými teplotami (do 400 – 500 °C):

- chemie včetně umělých hmot a gumárenství

- potraviny a nápoje
- papír a lepenka
- textil a tkaní textilií.

V tomto rozmezí teplot mohou být využity v závislosti na typu tekutiny (tj. plyn – plyn, plyn – kapalina, kapalina – kapalina) a na konkrétním použití následující zařízení rekuperace tepla (tepelné výměníky):

- tepelný výměník typu plyn – plyn, plyn – kapalina nebo kapalina – kapalina
- rotační regenerátor
- deskový tepelný výměník
- cívkový
- trubkový/termosifonový tepelný výměník
- trubkový rekuperátor
- ekonomizér
- kondenzační ekonomizér
- rozstřikovací ekonomizér
- plášťový a trubkový tepelný výměník
- plotnový tepelný výměník
- plotnový a plášťový tepelný výměník
- tepelné čerpadlo
- jednotka opakované mechanické komprese výparů (MVR – mechanical vapour recompression).

Za vyšších teplot (nad 400 °C) lze ve zpracovatelském průmyslu, jako je odvětví zpracování železa, železa a oceli, mědi, hliníku, skla a keramiky k rekuperaci odpadního tepla z plynů využít následující postupy:

- deskové výměníky
- plášťové a trubkové tepelné výměníky
- radiační trubky s rekuperátory
- konvekční trubky s rekuperátory
- rekuperační spalovací systémy a hořáky s vlastní rekuperací
- statické regenerátory
- rotační regenerátory
- kompaktní keramické regenerátory
- impulsní regenerační hořáky
- radiální deskové rekuperační hořáky
- regenerační hořáky s integrovaným ložem
- energeticky optimalizační pece.

Účinnost

Tepelné výměníky jsou konstruovány pro konkrétní použití.

Provoz tepelných výměníků po změně provozních podmínek je možný pouze v určitých limitech. Změny provozních podmínek vedou ke změně přenášené energie, součiniteli přestupu tepla (U – hodnota) a poklesu tlaku energonosného média.

Součinitel přenosu tepla a tudíž i přenesená energie jsou ovlivněny tepelnou vodivostí stejně jako parametry povrchu a tloušťkou hmoty, přes níž je teplo převáděno. Účinnost výměníku tepla může být zvýšena vhodnou mechanickou konstrukcí a volbou materiálů. Náklady a mechanické napětí také hrají významnou roli při volbě materiálu a návrhu konstrukce.

Množství energie přenesené tepelným výměníkem je značně závislé na teplosměnném povrchu výměníku tepla. Teplosměnný povrch tepelného výměníku může být zvětšen využitím lamel (např. výměníky tepla s žebrovanými trubkami, lamelové tepelné výměníky). Vhodné je to zejména pro dosažení nízkých součinitelů přestupu tepla (např. v plynových tepelných výměnících).

Hromadění nečistot na teplosměnném povrchu výměníku tepla snižuje přenos tepla. Stupeň znečištění lze snížit použitím vhodných materiálů (s velmi hladkými povrchy), členitostí tvarů (např. spirální tepelné výměníky) nebo změnou provozních podmínek (např. vysoké rychlosti média).

Tepelné výměníky mohou být dále vybaveny a čištěny automatickými systémy čištění.

Vyšší průtoky zvýší součinitel přenosu tepla. Zvýšené průtoky ovšem povedou také k vyšším poklesům tlaku. Vysoký stupeň turbulence v toku zlepšuje přenos tepla, ale povede ke zvýšení poklesu tlaku. Turbulenci lze vytvořit za pomoci tepelných výměníků s lisovanými plotnami nebo odchylovali proudění.

Množství přenesené energie závisí také na fyzickém stavu média (např. teplotě a tlaku). Pokud je jako primární pracovní látka používán vzduch, je možné jej před přivedením do výměníku zvlhčit. Takto lze zlepšit přenos tepla.

Výroba páry z odpadního tepla je ekonomicky únosná pouze pokud je dodávka odpadního tepla nepřetržitá a jednoznačná potřeba procesní páry.

Úspory energie jsou dosahovány využitím sekundárních toků energie.

Použitelnost

Systémy rekuperace tepla lze zavést do technologických procesů z následujících odvětví:

- chemie, včetně plastů a gumárenství
- potraviny a nápoje
- papír a lepenka
- textil a tkaní textilií
- železo a ocel
- měď
- hliník
- sklo
- keramika.

Motivy pro zavedení

Snížení nákladů za energii, emise a rychlá návratnost investice.

5.7 Tepelná čerpadla

Hlavním účelem tepelných čerpadel je přeměna energie z úrovně s nízkou teplotou na úroveň s teplotou vyšší. Tepelná čerpadla mohou přenášet pro obytné nebo průmyslové účely tepelnou energii (nikoli vyrábět teplo) z přírodních nebo umělých zdrojů tepla v okolním prostředí, jako je ovzduší, půda nebo voda, nebo z lidmi vytvořených zdrojů, jako je průmyslový nebo komunální odpad.

Tepelná čerpadla mohou být využita také pro chlazení. Teplo je tehdy přenášeno opačným směrem, z chlazeného prostředí do okolí. Někdy je zbytkové teplo z chlazení využíváno pro naplnění tepelných požadavků na jiném místě.

Pro přenos tepla z tepelného zdroje do místa, kde je požadováno, je potřeba dodat externí energii, jíž je poháněno tepelné čerpadlo. Pohonem může být elektromotor nebo spalovací motor.

Kompresorová tepelná čerpadla

Nejnámějšími tepelnými čerpadly jsou nejspíše kompresorová čerpadla. Jsou instalována na

příklad
v ledničkách, klimatizaci, chladičích, odvlhčovačů vzduchu, tepelných čerpadel pro vytápění energií ze skalních masivů, půdy, vody a vzduchu. Obvykle jsou poháněna elektromotorem, ale pro velká zařízení lze použít kompresory poháněné parní turbínou.

Kompresorová tepelná čerpadla využívají protisměrný - levotočivý Carnotův oběh (proces chladné páry) se stávající z uzavřeného cyklu fází vypařování, komprese, kondenzace a expanze.

Ve vypařovači se odpařuje cirkulující pracovní látka (chladicí látka) za nízkého tlaku a nízké teploty,

např. v důsledku odpadního tepla). Následně je kompresorem zvýšen tlak a teplota látky. Pracovní látka je v kondenzátoru zkapalněna a užitečné teplo se z ní při tomto procesu uvolňuje. Po té je vyvolána expanze látky na nízký tlak, látka se odpařuje a absorbuje teplo ze zdroje tepla. Energie s nízkou teplotou ze zdroje energie (např. odpadní voda, spaliny) je přeměněna na energii s teplotou

vyšší a použitelnou v technologickém procesu nebo zásobování teplem.

Obrázek zobrazuje princip kompresorového tepelného čerpadla.

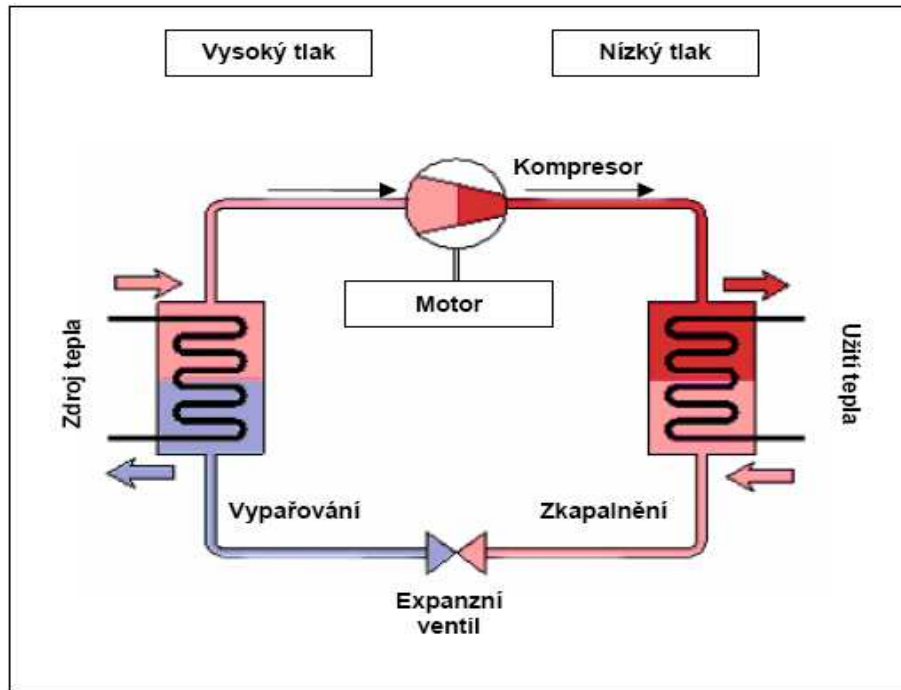


Schéma kompresorového tepelného čerpadla

Stupeň účinnosti kompresorového tepelného čerpadla je stanoven jako tzv. koeficient výkonnosti (COP – coefficient of performance), jenž je poměrem tepelného výstupu ku vstupu elektrické energie.

Potřebný vstup elektrické energie je realizován dodávkou elektrické energie do motoru kompresoru. Moderní kompresorová tepelná čerpadla mohou dosáhnout hodnot COP až 6, což znamená, že ze dodávky 1 kW elektrické energie na kompresor lze vyrobit 6 kW tepelné energie. Za podmínek „odpad na energii“ (W-t-E – waste to energy), poměr mezi tepelným výstupem a energií kompresoru (poměr teplo k výkonu) může být okolo 5.

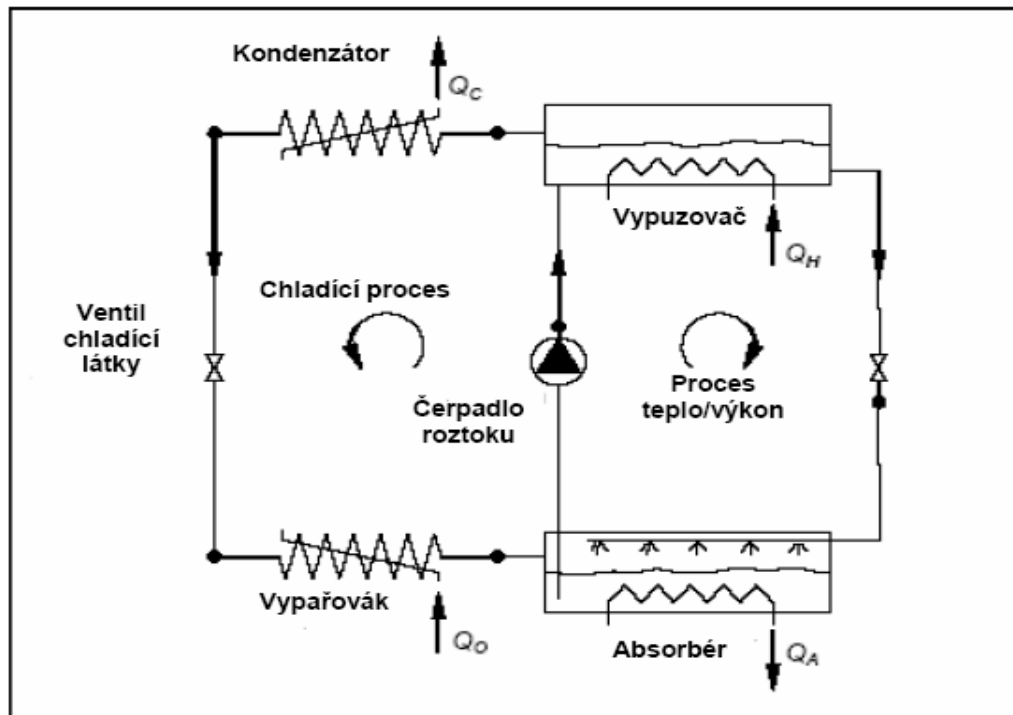
Absorpční tepelná čerpadla

Druhým dobře známým typem tepelných čerpadel jsou absorpční tepelná čerpadla. Podobně jako kompresorová čerpadla byly původně vyvinuty pro účely chlazení. Komerční tepelná čerpadla pracují s vodou v uzavřeném oběhu mezi generátorem, kondenzátorem, vypařovákem a absorbérem. Místo komprese je oběh udržován pohlcováním vody solným roztokem (obvykle bromidu lithného) v absorbéru.

V absorpčním tepelném čerpadle je plynná pracovní látka (chladicí látka) přivedená z vypařováku pohlcena kapalným rozpouštědlem a při tomto procesu je vyráběno teplo. Obohacený roztok je za nárůstu tlaku odveden proudovým čerpadlem na vypuzovač (ejektor). Po té je pracovní látka (chladicí látka) odebrána ze dvousložkové sloučeniny za pomoci externí dodávky tepla (např. hořák zemního plynu nebo odpadní teplo). Kombinace absorbér/proudový vypuzovač způsobuje nárůst tlaku (tepelný kompresor).

Plynná pracovní látka opouští vypuzovač za vyššího tlaku a vstupuje do kondenzátoru, kde je zkapalněna a uvolňuje teplo využitelné v technologickém procesu. Energetický vstup potřebný pro provoz čerpadla roztoku je ve srovnání s energetickým vstupem pro provoz kompresoru nízký (energie potřebná k čerpání kapaliny je nižší, než energie potřebná ke kompresi a dopravě plynu v kompresorovém čerpadle).

Princip absorpčního tepelného čerpadla je uveden na následujícím obrázku:



Kde je:

- Q_C odevzdaný výstup tepelné energie
- Q_H vstup primární energie
- Q_O vstup odpadního tepla
- Q_A odevzdaný výstup tepelné energie.

Stupeň účinnosti je u absorpčních čerpadel stanoven koeficientem tepelné účinnosti, tzv. topným faktorem. Je definován jako poměr tepelného výstupu k energii palivového vstupu. Pokud je na proudovém vypuzovači jako zdroj tepla využito odpadní teplo, je místo tepelné účinnosti používán tepelný koeficient, jenž je definován jako poměr výstupu tepelné energie k vstupu odpadního tepla. Palivový vstup je dodáván ve formě tepla, na příklad z hořáků na zemní plyn, páry nebo odpadního tepla. Hodnoty koeficientu tepelné účinnosti mohou u moderních absorpčních tepelných čerpadlech dosáhnout až 1,5. Poměr mezi výstupem tepelné energie a výkonem absorbéru je obvykle okolo 1,6.

Otevřená tepelná čerpadla

Třetí typ tepelných čerpadel je někdy nazýván otevřeným tepelným čerpadlem. Principem takového čerpadla je snížení obsahu vody ve spalínách využitím zbývající energie spalin za kondenzátorem na zvlhčení spalovacího vzduchu. Vyšší obsah vody ve spalínách znamená vyšší teplotu rosného bodu vody a větší rozdíly oproti vodě, která je vrácena ze systému centralizovaného zásobování teplem.

Obecné výhody tepelných čerpadel:

- tepelná čerpadla mohou přivést nízkoteplotní tepelnou energii (např. odpadní teplo) na užitečnou teplotu přivedením energie s vyšší exergetickou hodnotou
- obtížně využitelné teplo v nízkoteplotním rozsahu může být přivedena na teplotní stupeň, jenž lze využít
- absorpční tepelná čerpadla mají velmi nízkou spotřebu elektrické energie a velmi málo pohyblivých součástí.

Nevýhody tepelných čerpadel jsou následující:

- maximální dosažitelnou teplotou je 140 °C
- nákladově efektivní jen tehdy, kdy jsou ceny energie vysoké
- tyto systémy vytápění budou spíše složitější, než systémy se spalováním fosilních paliv.

Tepelná čerpadla spotřebují méně primární energie ve srovnání s konvenčními systémy vytápění, a jsou důležitou technologií pro snižování emisí plynů, jako je oxid uhličitý (CO₂), oxid siřičitý (SO₂) a oxidy dusíku (NO_x).

Použitelnost

Tepelná čerpadla lze využít pro:

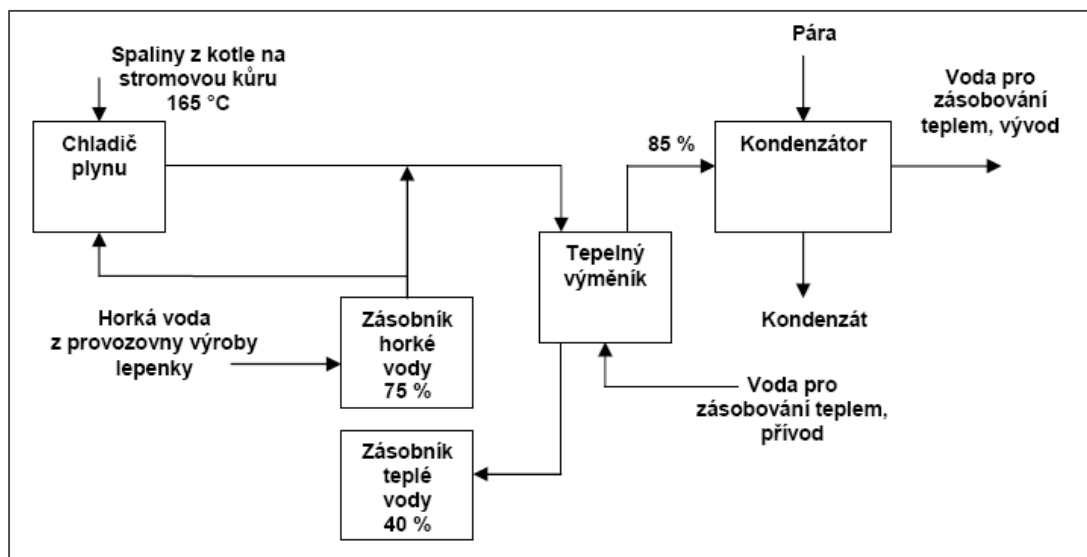
- vytápění prostor
- vytápění a chlazení procesních toků
- ohřev užitné vody pro mytí, hygienu a čištění
- výrobu páry
- sušení/odvlhčování
- vypařování
- destilaci
- koncentraci (dehydrataci).

Nejběžnějšími průmyslovými toky odpadního tepla jsou chladicí voda, odpadní voda, kondenzát, vlhkost, a kondenzační teplo z chladících zařízení. Může být nutné instalovat rozměrné skladovací zásobníky pro akumulaci zdrojů tepla, neboť dodávka odpadního tepla může kolísat, a tak bude nutné zajistit ustálený chod tepelného čerpadla.

V průmyslu je v současnosti instalováno relativně málo tepelných čerpadel. Obvykle jsou zaváděna v průběhu rekonstrukce provozoven a zařízení.

5.7.1 Využití rekuperace v systému CZT

Spolupráce mezi obcemi a průmyslem je považována za důležitý způsob, jak zvyšovat energetickou účinnost. Dobrým příkladem takové spolupráce jsou případy využití odpadního tepla z technologických procesů v systémech centralizovaného zásobování teplem obcí a měst. Dále prezentované schéma uvádí příklad využití tepelné energie z dřevozpracujícího závodu.



Systém rekuperace tepla napojený na systém centralizovaného zásobování teplem

V takto uspořádaném systému rekuperace tepla je využíváno nadbytečné teplo z provozovny výroby lepenky, které bylo shromážděno v sekundárním tepelném systému. Navíc je využíváno také teplo spalin, které by jinak bylo vypuštěno do životního prostředí. Využití těchto zdrojů tepla obvykle nezvyšuje spotřebu paliva v provozovně. Při špičkovém zatížení je ovšem postupně zapojován parní kondenzátor a tato spotřeba páry vede ke zvýšené spotřebě paliva v provozovně (převážně biopaliv).

Kromě zřejmých přínosů z menší spotřeby fosilních paliv a elektrické energie vede odstavení tepelného čerpadla ke snížení emisí látek poškozujících ozonovou vrstvu.

Použitelnost

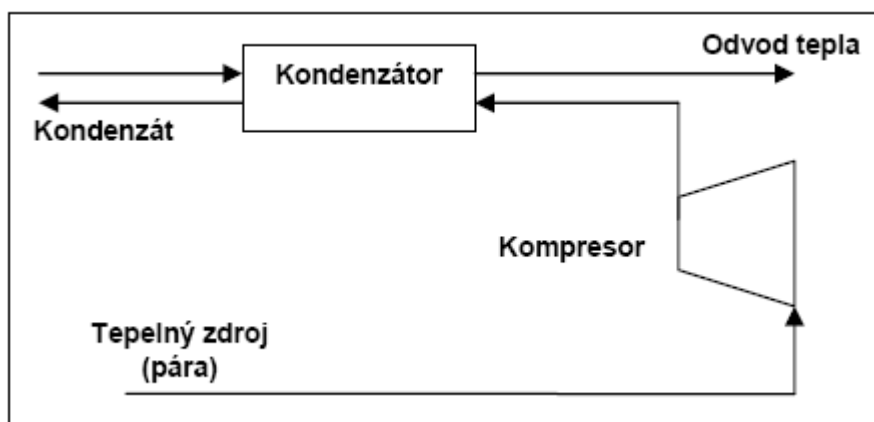
Tento druh spolupráce není omezen pouze na průmysl a obce. V průmyslovém parku může být tento druh spolupráce velmi přínosný. Ve skutečnosti se jedná o jednu z idejí podstaty konceptu ekoprůmyslových parků.

5.7.2 Mechanická rekompresie par (MVR)

Popis techniky energetické účinnosti

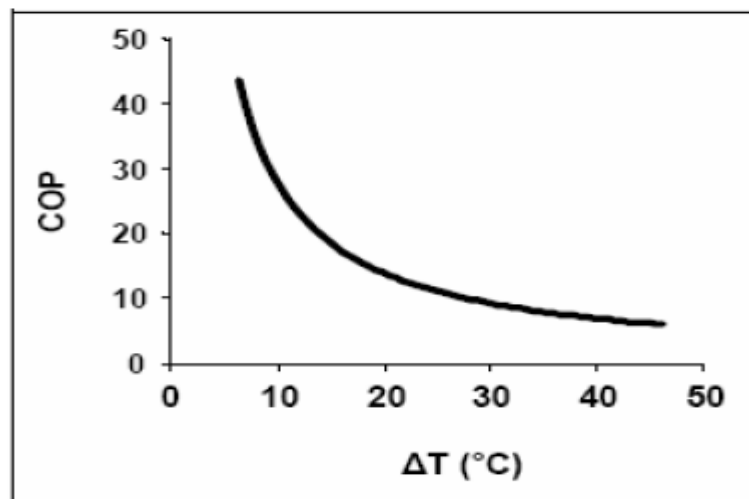
V systému mechanické rekompresie par (MVR - mechanical vapour recompression) jsou stlačovány

a následně kondenzovány nízkotlaké odpadní výpary z průmyslových procesů, jako jsou vypalovače nebo varné nádoby. Při kondenzaci výpary odevzdávají teplo s vysokou teplotou, a tak je nahrazována pára nebo jiný primární zdroj energie. Pohon kompresoru spotřebuje jen 5 až 10 % vyrobené tepelné energie. Na dalším obrázku je zobrazeno zjednodušené tokové schéma zařízení MVR. Pokud jsou výpary čisté, lze je použít přímo. Kontaminované výpary je nutné nechat projít tepelným výměníkem. Nejčastěji je stlačována vodní pára, ačkoliv jiné výpary z procesů jsou také využívány, zejména v petrochemickém průmyslu.



Jednoduché zařízení MVR

Účinnost zařízení MVR (či jakéhokoliv jiného systému s tepelným čerpadlem) je značně závislá na požadovaném zvýšení teploty zdroje k teplotě na odvodu. V MVR zařízeních je obvykle zvýšení teploty nízké a tudíž účinnost obecně vysoká. Účinnost je vyjádřena ve formě koeficientu výkonnosti (COP). Je definován jako poměr vyrobeného tepla a mechanické práce kompresoru. Na následujícím obrázku jsou vyneseny typické hodnoty COP pro MVR zařízení vzhledem k navýšení teploty. Obvyklé hodnoty COP jsou pro MVR zařízení v rozmezí 10 – 30.



V diskusi o energetické účinnosti technologií, v nichž dochází k tokům jak tepelné, tak mechanické nebo elektrické energie, by měly být hranice systému přednostně rozšířeny za hranice průmyslové provozovny, aby zahrnovaly také výrobu elektrické energie. Je-li do analýzy začleněna elektrárna, je pak i tepelné čerpadlo poháněné elektromotorem energeticky účinné, pokud platí

$$\text{COP} > \frac{\eta_{\text{kotel}}}{\eta_{\text{elektrárna}} \eta_{\text{distribuce}}}$$

Kde :

- η_{kotel} je účinnost kotle v provozovně/odvětví
- $\eta_{\text{elektrárna}}$ je účinnost elektrárny vyrábějící elektrickou energii do rozvodné soustavy
- $\eta_{\text{distribuce}}$ vyjadřuje distribuční ztráty v elektrické síti.

Hodnota COP tak musí být dejme tomu 3, aby bylo zařízení energeticky účinné, pokud je elektrická energie vyráběna na kondenzační elektrárně. V praxi dosahují všechna MVR zařízení hodnot COP hodně nad uvedenou hodnotu.

V odvětví s kombinovanou výrobou tepelné a elektrické energie, na příklad na protitlakých turbínách, je úloha komplikovanější. V takovém případě je nutné započítat také ztracenou práci na protitlakách turbínách.

MVR jednotky využívající páru pracují obvykle s teplotou tepelného zdroje v rozmezí 70 – 80 °C a dodávají teplotu s teplotou v rozmezí 110 – 150 °C. U zdrojů tepla s nižší teplotou vyvstávají problémy s velkými objemy výparů a nízkým absolutním tlakem. Za nízkého absolutního tlaku vzniká vysoké riziko pronikání vzduchu, jenž může snížit užitečnost rekomprimovaných par. Pro kompresní fázi je tlakový poměr obvykle limitován na hodnotu 2.

Většina instalací MVR je na jednotkách, jako je destilace, vypařování a sušení, ale běžné jsou také u výroby páry určené do rozvodné parní sítě.

Ziskovost MVR zařízení je závislá kromě cen paliv a elektrické energie na nákladech pořízení.

Motivy pro zavedení

Motivy jsou jak environmentální, tak ekonomické. Kromě úspor provozních nákladů může instalace vést ke zvýšení výroby bez investice do kapacit nového kotle, pokud je kapacita kotle omezujícím faktorem růstu výroby.

5.8 Systémy poháněné elektromotorem

Tato část je zaměřena na obecný výklad účinnosti motorových pohonů a způsobů, jak je zlepšovat. Celková účinnost motorového systému závisí na několika faktorech, mezi něž patří: účinnost motoru, regulace rychlosti motoru, vhodné dimenzování, kvalita dodávaného výkonu, ztráty při rozvodu, mechanické převody, postupy údržby a mechanická účinnost konečného spotřebiče (čerpadlo, ventilátor, kompresor, atd.).

Energie motorů podle typu poháněného stroje je v EU-15 následující: čerpadla (20 %), ventilátory (18 %), vzduchové kompresory (17 %), chladicí kompresory (11 %), dopravníky (4 %), a ostatní (30 %). Systémy motorových pohonů spotřebují přibližně 65 % energie v průmyslu Evropské unie. Potenciál energetických úspor podle studie SAVE v průmyslu EU-15, v němž jsou využívány elektrické servomotory (AC pohony), dosahuje 43 TWh/r, a potenciál ze zlepšení účinnosti samotných motorů je 15 TWh/r.

Pohonný systém s elektromotory přeměňuje elektrickou energii na mechanickou a odvádí ji ve formě vhodné pro provoz strojového vybavení. AC pohony (frekvenční konvertory, pohony s proměnlivou rychlostí, pohony s proměnlivou frekvencí, motorové převodníky/výkonové převodníky/převodníky) mohou regulovat rychlost elektromotoru takovým způsobem, že rychlost odpovídá v každé chvíli zatížení nebo rychlosti procesu.

Elektromotory jsou primárními pohony téměř všech průmyslových strojních zařízení: čerpadel, ventilátorů, kompresorů, mixérů, dopravníků, papírenských a lepenkárenských strojů, odkorňovačích bubnů, drtiček, pil, vytlačovacích strojů, centrifug, lisů, válcoven, atd.

V současnosti je ze 2/3 veškeré elektrické energie využito při průmyslových činnostech.

Pohon elektromotorem

Jedná se o systém nebo o sled součástí mezi zásobováním elektrickou energií a poháněným strojem.

Může sestávat z:

Zásobování elektrickou energií	Poháněný stroj
• napájení elektrickou energií	např.: transformátor
• regulační zařízení	AC pohon
• elektromotor	indukční motor
• mechanický převod	spojkové zařízení
• poháněný stroj	odstředivé čerpadlo

Seznam součástí v tabulce výše představuje základní formu pohonu elektromotorem. Variací tohoto základního systému existuje dlouhá řada. Na příklad struktura systému se může téměř v každém bodě rozvětvit, takže na jedné úrovni jsou dvě součásti připojeny k jedné součásti z „vyšší“ úrovně.

Všechny úrovně technických zařízení uvedené v tabulce 4.14 jsou v dalším textu popsány. Popis začíná od „spodku“ (tj. od konce procesu směrem k zásobování provozovny elektrickou energií).

Pohonný stroj

Někdy také označovaný jako výkonný/zatížený stroj – tento stroj vykonává nezbytné úkony, které přidávají hodnotu a mají určitý vztah k finálnímu účelu průmyslového provozu. Úkony, které stroj vykonává, lze rozdělit na dvě hlavní kategorie, takže pohonný stroj může:

- pohybovat nebo přepravovat materiál/objekty (dopravníky, jeřáby, zdviže, navijáky jsou ryzí

přepravní stroje) nebo

- měnit vlastnosti určitými způsoby (stlačování, strojové obrábění, deformování, navíjení (drátu)). Čerpadla a ventilátory lze zařadit do dvou kategorií, neboť mění vlastnosti tekutiny – pracovní látky – zvýšením jejího tlaku, což obvykle vede k průtoku čerpané tekutiny nebo plynu přes ventilátor.

Mechanické převody

Mechanické převody mechanicky spojují poháněný stroj s motorem.

Může se jednat o zcela jednoduchou, pevnou spojku, která propojuje konec hřídele stroje s motorem nebo převodovou skříní, o řetězový nebo pásový pohon, variátor, nebo hydraulickou spojku. Všechny tyto typy způsobují další ztráty energie v systému pohonu.

Elektromotor

Elektromotor je stroj přeměňující energii z formy elektrické na mechanickou práci. Obvykle je mechanická práce přenesena na poháněný stroj v podobě točivé mechanické energie (točivý hřídel).

Elektromotory lze rozdělit na dvě hlavní skupiny – stejnosměrné elektromotory (DC – direct current) a střídavé elektromotory (AC – alternating current). V průmyslu existují oba typy, ale v posledních desetiletích se technologickým trendem je přibližování se značně směrem k AC technologii.

Výhody AC elektromotorů jsou:

- robustnost, jednoduchá konstrukce, malé požadavky na údržbu
- vysoká úroveň účinnosti (zejména u vysoce výkonných elektromotorů) a
- relativní cenová výhodnost.

Hlavními podskupinami AC elektromotorů jsou:

- asynchronní
- synchronní elektromotory.

AC indukční elektromotory jsou v průmyslu široce používány, neboť mají jednoduchou a robustní konstrukci a jsou relativně cenově výhodné. Lze je ovšem provozovat pouze při jedné rychlosti otáčení. Pokud zatížení není stabilní, je nutné měnit rychlost a toho lze dosáhnout s vyšší energetickou účinností tehdy, pokud je pohon instalován před elektromotor.

Technologie indukčního motoru je vhodná pro motory s výkonem několika megawattů. Synchronní motory (nebo stroje) jsou často konstruovány pro využití velkých výkonů, jako jsou kompresory v petrochemickém průmyslu.

Jinou technologií jsou synchronní elektromotory s permanentním magnetem (PM). PM motory jsou vhodné pro procesy, které vyžadují nízké rychlosti otáčení, než které jsou obvykle dosahovány použitím indukčních motorů. V těchto nízkootáčkových aplikacích (220 – 600 otáček za minutu), jako jsou tak zvané úsekové (sekcionální) papírenské nebo lepenkárenské stroje, se lze často vyhnout instalaci mechanického převodu (převodové skříně) použitím PM motorů, které zlepšují celkovou účinnost systému.

Silnou stránkou DC motorů je tradičně snadné elektrické ovládání rychlosti a točivého momentu.

Točivý moment při startu je vysoký, což je vhodné pro určité aplikace. Poslední vývoj elektronických součástek a řídicích algoritmů však zlepšil pozici AC technologie, takže již neexistuje skutečná výkonnostní nadřazenost DC technologie nad technologií AC. V mnoha ohledech moderní AC motory a pohony převyšují své DC protějšky. Jinými slovy i nejnáročnější procesy, jako je ovládání rychlosti a točivého momentu papírenských navíjecích strojů, lze dnes zajistit pomocí AC motorů a pohonů.

Regulační zařízení

V nejjednodušší formě se může jednat o vypínač nebo o stykač, jímž je elektromotor spojován a odpojován od elektrické sítě. Může být ovládáno manuálně nebo vzdáleně za pomoci kontrolního napětí. V těchto zařízeních mohou být zapojeny funkce ochrany elektromotoru. Spouštěč elektromotoru je vypínač, jenž má zabudované bezpečnostní funkce.

Pokročilejší metodou napojení motoru na elektrickou síť je „měkký spouštěč“ (aka: star-delta spouštěč). Tento přístroj umožňuje odstupňované spuštění AC motoru, snižuje tak zvaný „zapínací proud“ startování a tím chrání mechaniku a pojistky. AC motor se bez prvků měkkého spuštění prudce uvádí do provozu a prudce zvyšuje otáčky na hodnotu jmenovité rychlosti. Měkký spouštěč ovšem NENÍ zařízením úspor energie, ačkoliv existují výrobci, kteří to někdy tvrdí.

Jediným způsobem, jímž mohou výše uvedené přístroje přispět k energetické účinnosti, je vypínání motorů v době, kdy pro ně není využití.

„Reálná“ zařízení regulace elektromotoru jsou schopná regulovat výstup elektromotoru (rychlost a točivý moment):

v minulosti byly používány DC pohony, dnes jejich využití neustále upadá

AC pohony spolu s indukčními motory jsou v současnosti převažující technologií pohonu v průmyslu.

Některé AC pohony mohou být využity se synchronními PM elektromotory.

Princip činnosti AC pohonu spočívá v převodu frekvence síťového elektrického proudu na odlišnou frekvenci elektromotoru a tím mít možnost měnit rychlost otáčení. Regulační zařízení je pro AC motory někdy nazýváno:

- „frekvenční měnič“
- „pohon s proměnlivou rychlostí“ (VSD - variable speed drive)
- „pohon s měnitelnou frekvencí“ (AFD – adjustable frequency drive)
- kombinace termínů ASD a VFD jsou často používány k označení stejného zařízení
- motorový invertor nebo pouze invertor je termín používaný skutečnými průmyslovými uživateli.

Pojetí konceptu energetické účinnosti v motorově poháněných systémech existují přinejmenším dvojí.

Jedním je prostudování jednotlivých součástí a jejich účinností a zajištění, aby byly výlučně používány pouze součásti s nejvyšší účinností.

Jinou metodou je studium potřeby výrobního procesu a způsobu, jímž by měl provozován pohonný

stroj. Na příklad jde o studium toho, zda je možné čerpadlo na určitou dobu vypnout, nebo je-li možné snížit jeho průtok, a jak by měl být snížen. Tuto metodu lze označit jako systémový přístup.

Elektromotory

Zlepšení energetické účinnosti samotného elektromotoru lze dosáhnout změnou materiálů a zlepšením konstrukce.

Z hlediska energetické výkonnosti existují „dobré“ elektromotory a „špatné“ elektromotory. Špatné elektromotory spotřebují na produkci určitého mechanického výstupu mnoho elektrického příkonu. Lepší motory jsou schopné poskytnout stejný mechanický výkon z výrazně menšího odebraného elektrického příkonu. Tento jev lze popsat využitím konceptu účinnosti – čím vyšší je účinnost motoru, tím menší je množství energie, které je vyplýváno jako ztrátová. Ztráty pocházejí z její disipace elektromotorem ve formě tepla.

V různých částech světa existuje několik systémů klasifikace účinnosti motorů.

Evropský systém klasifikace elektromotorů rozlišuje mezi vysoce účinnými elektromotory (EFF1 – účinnosti 1), elektromotory s normální účinností (EFF2) a „špatnými“ elektromotory (EFF3).

S moderními konstruktérskými nástroji a materiály je možné vyrábět elektromotory, které mají lepší účinnost, než činí hranice mezi třídami EFF2 a EFF1. Formálně tyto elektromotory patří do třídy EFF1, ačkoliv mohou být zjevně lepší, než jaká je minimální účinnost požadovaná pro klasifikaci EFF1.

Někteří výrobci mají tyto elektromotory s „prémiovou účinností“ ve svých výrobních řadách.

Výběr metody regulace a energetická účinnost

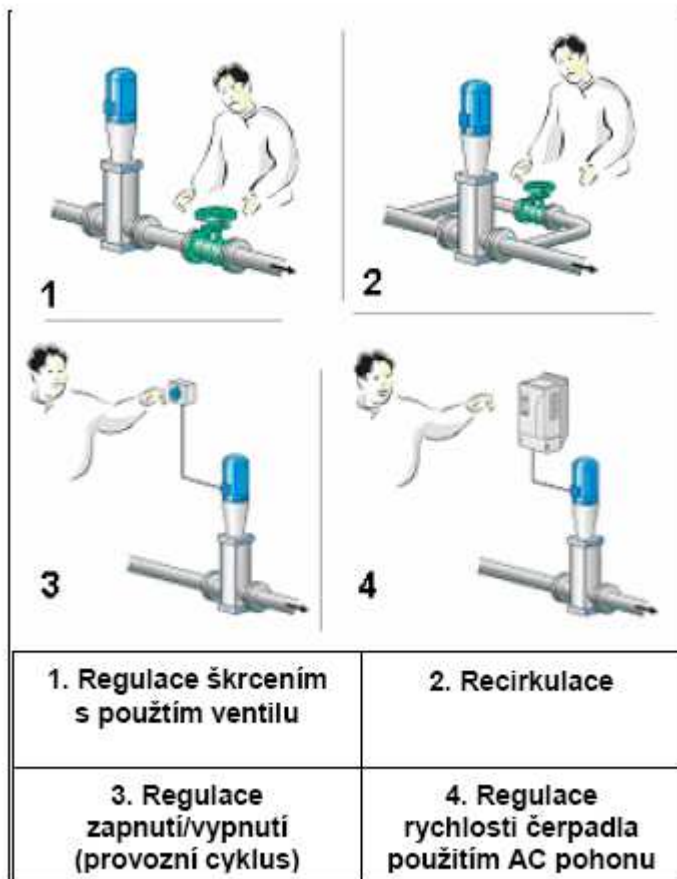
Energetické úspory z využití AC pohonů jsou dosažitelné, pokud je AC pohonem nahrazen jiný způsob regulace výkonu (viz následující obrázky).

AC pohony spoří energii a díky lepšímu řízení procesů současně zlepšují kvalitu výsledného produktu.

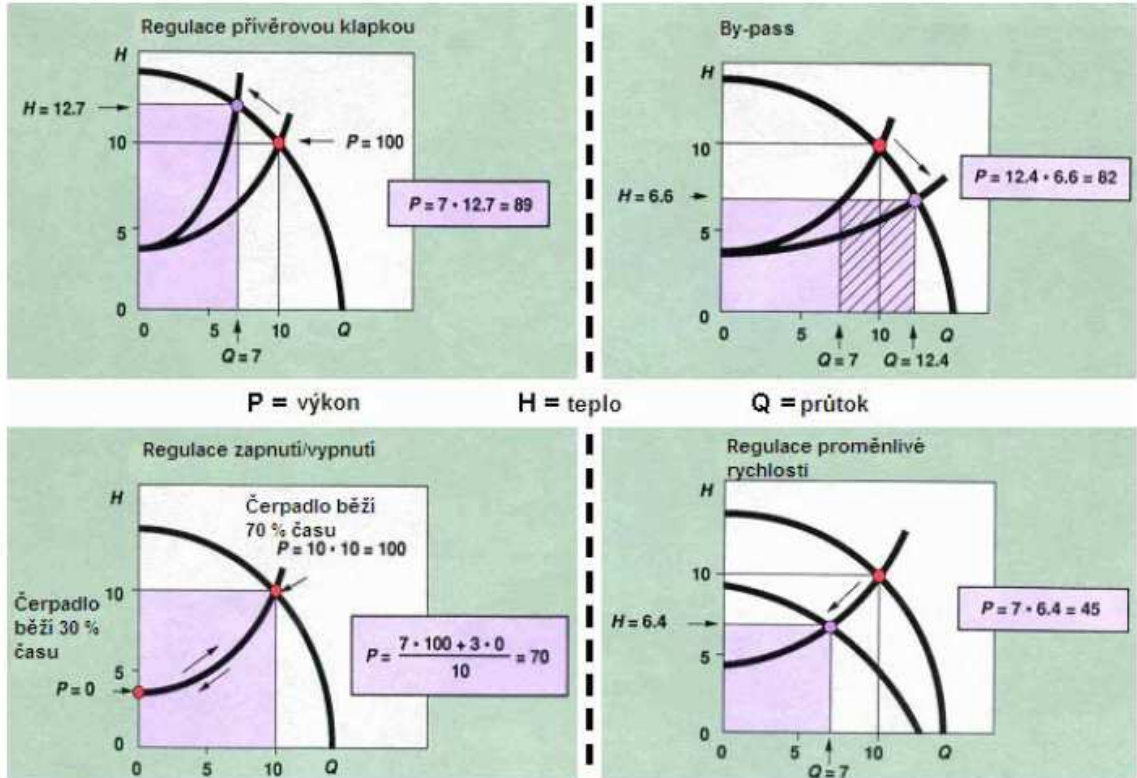
Mezi typické použití AC pohonů jsou ventilátory v elektrárnách, dopravníky na pilách, řezačky v papírnách, stavební čerpadla, přístavní jeřáby, kladkostroje v ocelárnách, stroje v papírnách, čerpadla vrtných souprav, centrifugy v cukrovarech a odkorňovací bubny. Velikost úspor závisí na metodě regulace, s níž je AC regulace pohonu porovnávána.

Čerpání

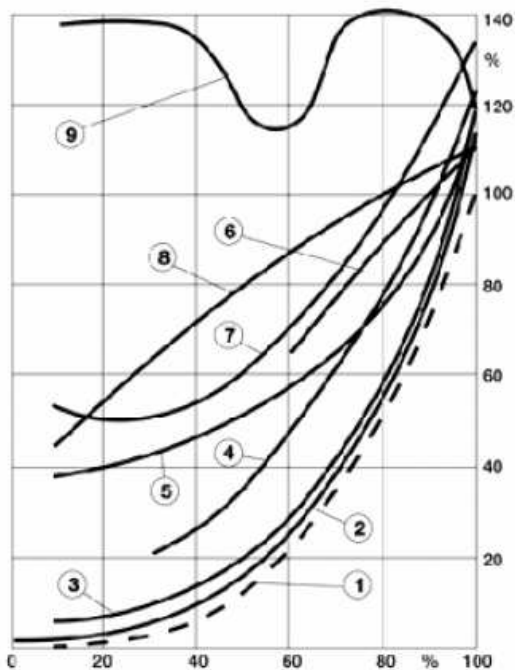
Kapalný tok může být regulován za pomoci několika různých metod, jako jsou škrťací ventily, pracovní cyklus čerpadla (regulace zapnuto/vypnuto) nebo hydraulická spojka. Každá z těchto tradičních metod má různých stupeň ztrát a plýtvání energií.



Vybrané metody kontroly výkonu odstředivého čerpadla



Výkonnost čerpadel s odlišnou regulací



- 1 – Ideální regulace (regulace rychlosti, nulové ztráty na spojce/motoru/pohonu)
- 2 – Regulace rychlosti AC pohonem (jak pro odstředivé, tak pro axiální ventilátory)
- 3 – Proměnný úhel klonění (pouze pro axiální ventilátory)
- 4 – Hydraulická spojka (regulace skluzu)
- 5 – Lopatková regulace přívodu (pro odstředivé ventilátory se zpětným lopatkovým kolem)
- 6 – Regulace bypassem (pro axiální ventilátory)
- 7 – Regulace tlumicí klapkou (pro odstředivé ventilátory s dopředným lopatkovým kolem)
- 8 – Regulace tlumicí klapkou (pro axiální ventilátory)

Spotřeba energie čerpadlem

Pohony s elektromotory jsou prakticky ve všech průmyslových provozech, v nichž je dostupná elektrická energie.

Efektivnost

- doba návratnosti aplikace AC pohonů může být pouze jeden rok a méně
- doba návratnosti přes úspory energie je pro vysoce účinné motory delší.

Motivy pro zavedení

AC pohony jsou často instalovány s cílem zlepšit řízení stroje a technologického procesu.

5.9 Systémy stlačeného vzduchu

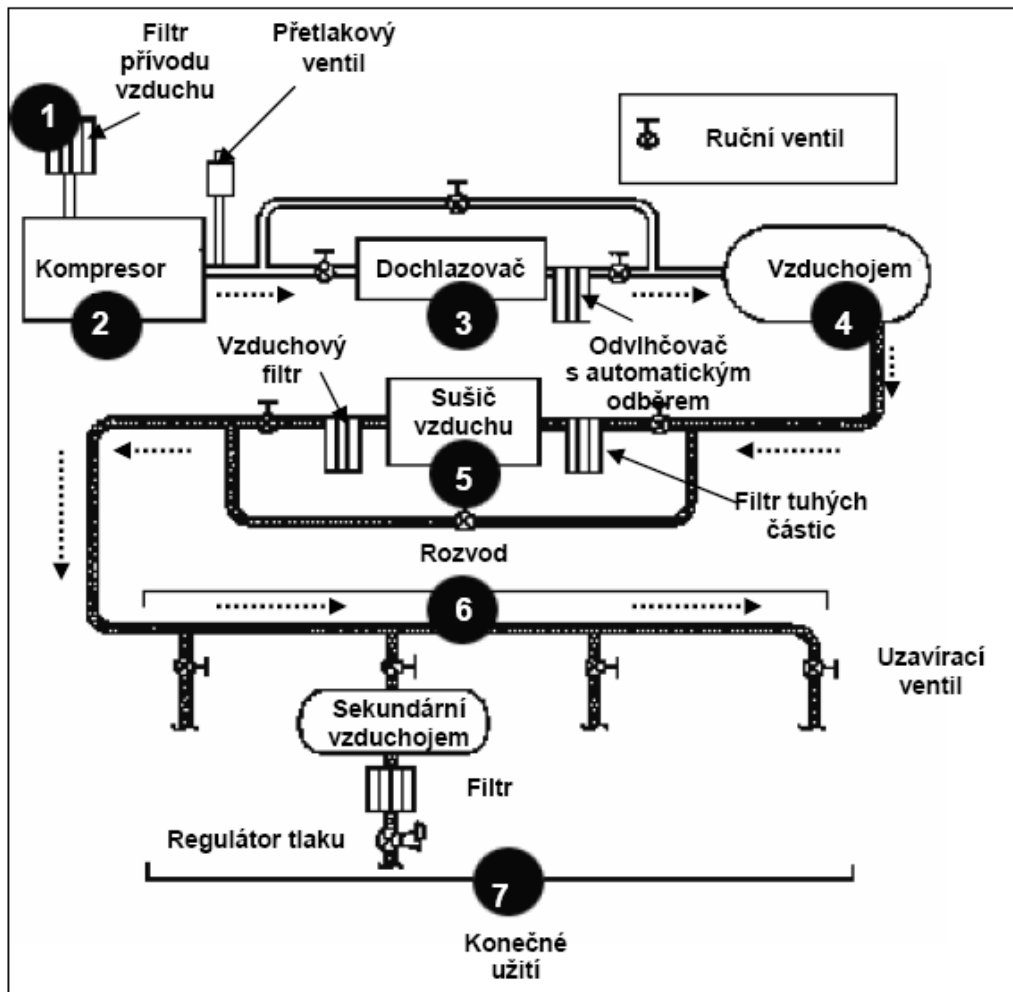
V systémech stlačeného vzduchu spotřebuje průmyslu 17 % veškeré energie. Opatření ke zlepšení energetické účinnosti ve stlačených systémech budou popsány v následující části.

Stlačený vzduch je ve všech průmyslových odvětvích široce používán a je považován za jednu z nejužitečnějších pracovních látek. Jeho použití je jednoduché a jeho výroba je levná. V podstatě lze stlačený vzduch nahradit ostatními energetickými zdroji (např. nahrazování pneumatických napájecích systémů systémy hydraulickými nebo elektrickými). Navzdory vysokým energetickým požadavkům a souvisejícím provozním nákladům je použití stlačeného vzduchu upřednostněno před ostatními systémy, neboť jsou jednodušeji obsluhovány.

Typický systém stlačeného vzduchu sestává z komprese, chlazení, skladování a zařízení rozvodu – viz obrázek :

- filtrace přívodu (1): z vstupujícího vzduchu musí být odfiltrován prach a další znečišťující látky
- komprese (2): filtrovaný vzduch je stlačen pomocí šroubového, odstředivého nebo pístového kompresoru, jenž je poháněn motorem
- chlazení (3): stlačování vzduchu výrazně zvyšuje jeho teplotu, tudíž je nutné jej chladiť. Při výrobě stlačeného vzduchu je mnoho energie „ztraceno“ ve formě odebraného tepla při chlazení. Chlazení je důležité také v procesu sušení vzduchu. Při chlazení vzduchu dochází ke kondenzaci velkého množství vodních par, čímž je voda snadno odváděna pryč
- skladování vzduchu (4): zásobník nazývaný jako vzduchojem je obvykle umístěn za chladičem a umožňuje systém vyrovnávat. Některé systémy obsahují v prostoru technologického procesu dodatečné vzduchojemy, jimiž je zajišťována proměnlivá potřeba stlačeného vzduchu
- sušení (5): ochlazený stlačený vzduch obsahuje stále významnou vlhkost a množství maziv z procesu stlačování – prakticky všechny tyto kontaminace musí být před použitím vzduchu odstraněny. Sušení stlačeného vzduchu může být energeticky značně intenzivní.
- rozvod (6): systém rozvodného potrubí a regulačních prvků dopravuje stlačený vzduch z centrální kompresorové jednotky od prostoru technologického procesu. Systém zahrnuje různé uzavírací ventily, zachycovače pracovní látky, přechodné skladovací nádoby, a dokonce i sledování tepla na potrubí, čímž je zabráněno kondenzaci nebo zmrazování trubek, které jsou vystaveny venkovnímu prostředí. Ztráty tlaku v rozvodu jsou obvykle vyrovnány zvýšením tlaku na výpusti kompresoru

- místo užití (7): na zamýšleném místě užití přivede napájecí trubka s posledním uzavíracím ventilem, filtrem a regulačním prvkem stlačený vzduch do hadicového vedení, které zásobuje technologický proces nebo pneumatické nástroje.



Systém stlačeného vzduchu

Systémy stlačeného vzduchu jsou často špatně řízené a jejich nízká účinnost využití – pouze 4 až 8 % sekundární energie je přeměněno na mechanickou expanzivní práci – vytváří velký potenciál úspor z optimalizace systémů stlačeného vzduchu. V neoptimálním systému jsou zhruba tři čtvrtiny spotřebované energie při stlačování uvolněny ve formě odpadního tepla. Další 10 % je ztraceno v pohonném systému viz Obrázek 4.31). Vysoký počet jednotlivých součástí zvyšuje koeficient ztrát a výrazně snižuje energetickou účinnost celého systému. Další ztráty jsou způsobeny poklesy tlaku a úniky.

Hlavními principy optimalizace výroby stlačeného vzduchu jsou:

- minimalizaci potřeby stlačeného vzduchu

- optimalizace výroby stlačeného vzduchu
- minimalizace úniků a zbytných poklesů tlaku – zabránění zbytečné spotřebě (vypínání, správná dimenzovanost systému)
- maximalizace rekuperace tepla a
- zavedení programu pravidelné údržby a oprav.

Pro řízení odchylek výstupu stlačeného vzduchu během provozu jsou zásadní řídicí systémy, jako je

regulace rychlosti nebo pohony s proměnlivou rychlostí. Zavedení regulace rychlosti motoru se v mnoha případech ukázalo jako nákladově efektivní. Takto lze významně měnit spotřebu elektrické energie a umožnit využití menších tlakových zásobníků, přičemž jsou také sníženy náklady nevyužitých kapacit. Jinou variantou je využití vysoce účinných motorů .

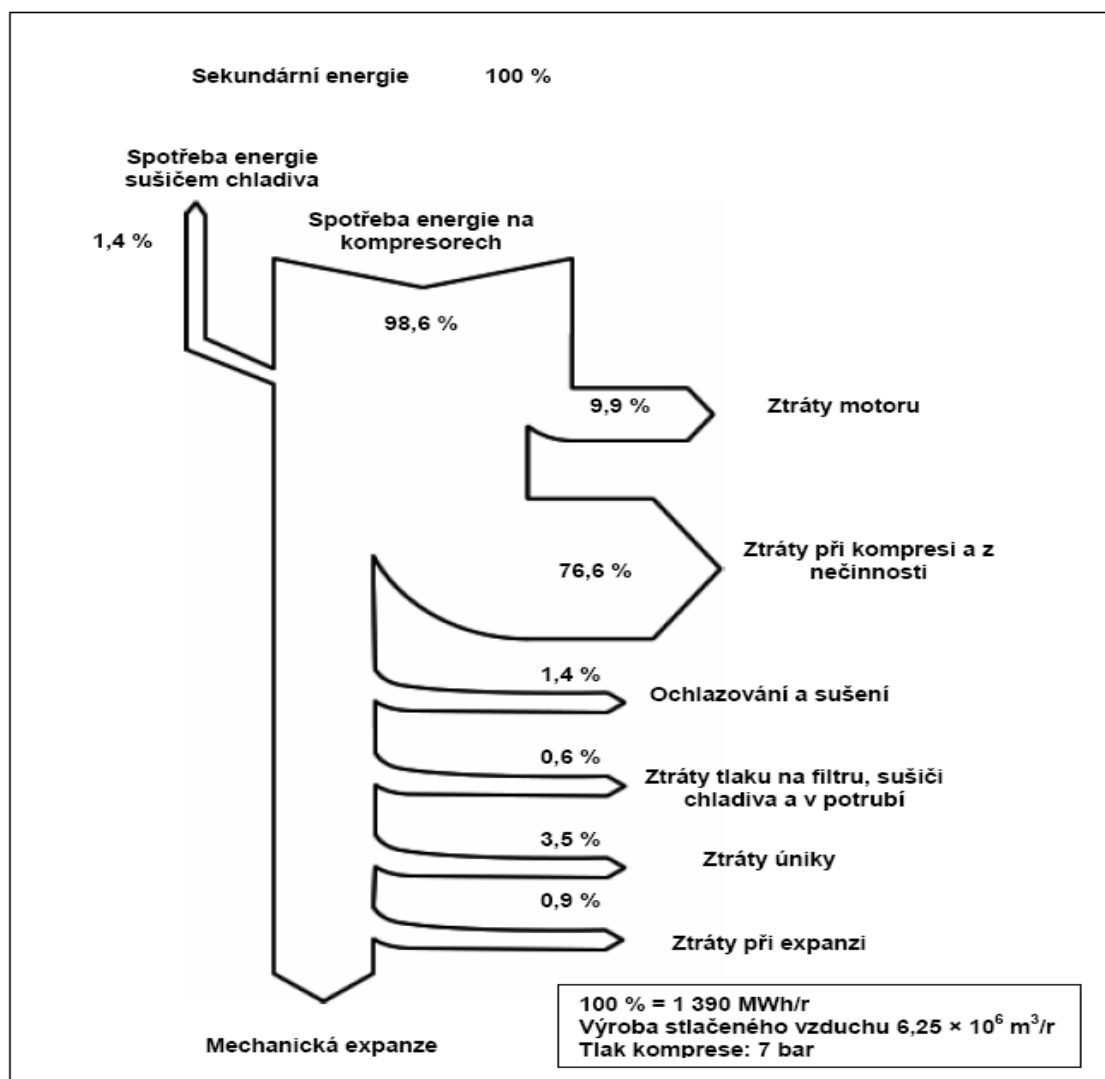


Diagram toku energie pro neoptimální jednotku stlačeného vzduchu

Tabulka 4.15 uvádí možná opatření ke zlepšení účinnosti systémů stlačeného vzduchu. Použitelnost jednotlivých opatření musí být jednotlivě prověřena.

Opatření úspor energie
Výroba stlačeného vzduchu
Optimalizace využití systému: přizpůsobení ventilů a regulace tlaku
Optimalizace tlaku systému
Snížení teploty nasávaného vzduchu výběrem vhodného místa nasávání
Zavedení a optimalizace regulace kompresoru
Optimalizace intervalů výměny vložek filtrů (v závislosti na poklesu tlaku, atd.)
Filtrace a sušení pouze na základě minimálních požadavků (možná instalace lokálních filtrů/sušičů pro zvláštní účely)
Rekuperace a využití odpadního tepla
Zvětšení zásobníku stlačeného vzduchu
Zavedení regulace kompresoru pohonem s proměnlivou rychlostí (VSD)
Kontrola, zda jsou využívány sítě s různými úrovněmi tlaku
Nahrazení starých motorů jednotami s vysokým stupněm účinnosti (EFF1)
Nahrazení kompresoru(ů) novějšími nebo lépe upravenými stroji, které mají menší měrou spotřebu energie
Rozvod stlačeného vzduchu
Zavedení programu pravidelné kontroly úniků. Snížení úniků: řídicí panely minimálních úniků, rychlé, vysoce kvalitní spojky, atd.
Rozdělení systému na zóny s vhodnou regulací tlaku nebo uzavíracími ventily. Uzavření trubek, jež nejsou používány
Použití elektrických sběračů páry
Použití dodatečných skladovacích zásobníků stlačeného vzduchu v blízkosti spotřebičů, jejichž potřeba stlačeného vzduchu značně kolísá
Zlepšení sítě: instalace, průměr/rozměr trubky
Konečné spotřebiče (zařízení)
Zabránit spotřebě stlačeného vzduchu pro nepříslušné účely
Oprava a nahrazení zařízení, v nichž dochází k únikům

Z několika důvodů podléhá potřeba stlačeného vzduchu v průmyslových operacích fluktuacím. Může jít o nesoulad mezi procesy čištění nebo dávkovou výrobu, při níž je stlačený vzduch potřebován pouze na počátku a na konci výrobního procesu. Tato kolísání potřeby stlačeného vzduchu jsou vyrovnávána pomocí skladovacích zásobníků stlačeného vzduchu a přepínáním kompresorů do stavu plného provozu (zatížení), provozu bez zatížení a stavu klidu. Moderní kompresory jsou regulovány na základě regulace rychlosti jejich motorů .

5.9.1 Zlepšení regulačního systému plného/nulového vytížení

Kompresory s regulací plného/nulového zatížení, jsou používány pro výrobu stlačeného vzduchu v systémech, které nevyužívají pohonné systémy s regulací rychlosti motoru.

Nevýhodou takové regulace výkonu kompresoru je to, že kompresory s nevhodnou dimenzí budou vykazovat špatný stupeň provozní účinnosti (= energie obsažená ve stlačeném vzduchu/spotřebě elektrické energie). Důvodem jsou dlouhé doby provozu bez zatížení a vynucené velké intervaly změny tlaku. Rozsah změny tlaku popisuje rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší nastavenou úrovní tlaku, tj. úrovně tlaku při vypnutém a spuštěném kompresoru.

Kompresor je spuštěn a vyrábí stlačený vzduch do té doby, dokud není dosaženo určité minimální úrovně tlaku. Jakmile je dosaženo nastavené maximální úrovně tlaku, kompresor je přepnut do provozu bez zatížení a uvolňuje tlak. Pokud je při provozu bez zatížení dosažena nižší tlaková hranice, kompresor se opět přepíná do provozu plného zatížení. Je-li využíván pouze malý objem vzduchu, kompresor se po nadefinované době nulového zatížení zcela vypne.

Tato regulace výkonu je využívána v 70 – 80 % všech systémů stlačeného vzduchu.

Náklady za energii při provozu s nulovým zatížením dosahují obvykle 10 %, ale ve výjimečných případech mohou být dokonce vyšší.

5.9.2 Technologie proměnné rychlosti pohonu (VSD)

Tradiční kompresorové systémy nejsou schopné přesně sledovat odchylky v potřebě stlačeného vzduchu ve výrobním procesu. Průtok vzduchu je obvykle regulován ventilovou regulací, která průtok dává mezi pozicemi otevřeno a uzavřeno. Kompresor je při tom neustále v provozu daném jeho původním nastavením. Tato metoda vede ke kolísání tlaku, které ovlivňuje obecně stabilitu celého technologického procesu a snižuje účinnosti jednotlivých zatížení, neboť kompresor je provozován za vyššího tlaku, než je nutné.

Naproti tomu technologie proměnlivé rychlosti sestává z dynamičtější regulačního zařízení kompresoru, které kompresoru umožňuje vyrábět přesné množství vzduchu s požadovaným tlakem.

Regulační zařízení mění rychlost motoru, který pohání kompresor, a tím minimalizuje spotřebu energie. Řídící software také umožňuje kompresor úplně odpojit, pokud pro jeho výkon není využití, čímž je v době nečinnosti výrazně snížena spotřeba energie.

VSD technologie spočívá v mikroprocesorem řízeném systému neustálého monitorování tlaku vzduchu na výstupu z kompresoru. V závislosti na signálu, který vyše tlakový senzor pak řídící systém reguluje frekvenční konvertor a tak zvyšuje nebo snižuje frekvenci dodávanou elektromotoru.

Tak je upravena rychlost motoru a následně výstup stlačeného vzduchu.

Environmentální přínosy z instalace VSD kompresorů jsou odvozeny zejména ze snížení spotřeby energie. Omezení úniků může být také významným přínosem, kterého lze dosáhnout použitím

kombinovaných bezolejových VSD kompresorů a environmentálně příznivým provozem.

Protože kompresor je v provozu za přísnějších podmínek a pouze pokud je provoz žádoucí, je snížena úroveň hluku.

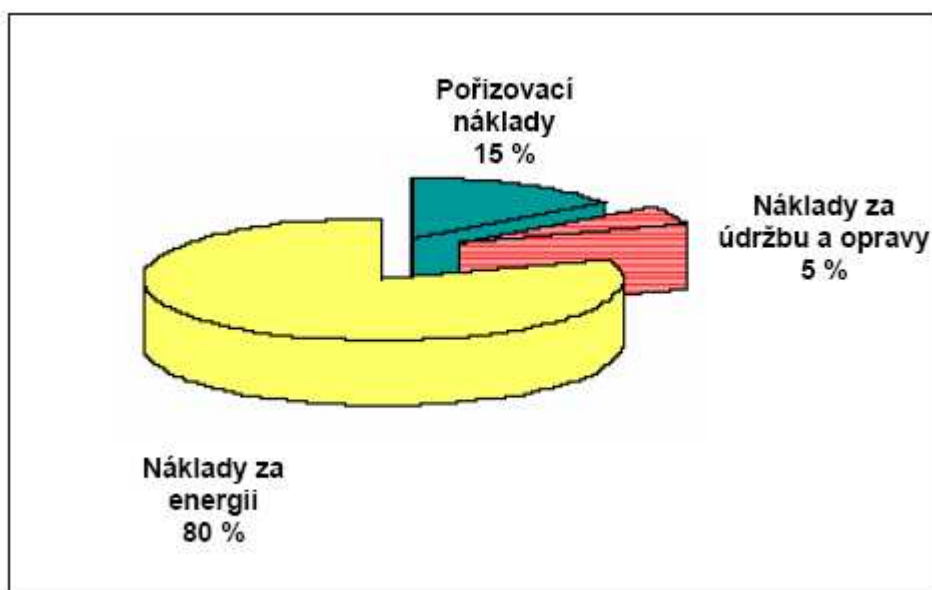
Dalším pozitivním vlivem na životní prostředí, který nelze přímo vykázat, je menší opotřebení součástí a zvýšení doby životnosti kompresoru, neboť je provozován při nejlepších mezních technických parametrech.

Kromě stabilního provozu kompresoru VSD technologie umožňuje plynulé spouštění za nízkých rychlostí, čímž je zabráněno špičkám odběru elektrického proudu a točivého momentu, čímž je sníženo mechanické a elektrické přetížení.

Kompresory s proměnlivou rychlostí pohonu jsou vhodné pro řadu činností v mnoha průmyslových odvětvích, včetně zpracování kovů, potravin, textilií, farmaceutických a chemických provozech, a dalších, kde je potřeba stlačeného vzduchu vysoce kolísavá v průběhu výrobního procesu. Kdekoliv je kompresor provozován nepřetržitě na plné zatížení nebo blízko plného zatížení, tam není možné dosáhnout reálných přínosů z použití této technologie.

VSD kompresory lze použít nav jakémkoliv existujícím zařízení stlačeného vzduchu. Je sice možné VSD řídicí zařízení začlenit mezi stávající kompresory se stálou rychlostí, ale lepší výkonnosti je dosaženo tehdy, pokud jsou VSD řídicí zařízení a motor zapojeny současně, neboť pak spolu v rámci provozní rychlostí dosahují nejvyšší účinnosti.

Spotřeba energie představuje přinejmenším 80 % celkových nákladů souvisejících s využitím kompresoru, které dále zahrnují pořizovací náklady a náklady na opravy a údržbu (viz obrázek).



Obrázek 4.32: Náklady kompresoru během jeho životnosti

Je docela zřejmé, že náklady za energii hrají kritickou roli, neboť jasně převyšují pořizovací náklady stroje.

Zavedení kompresoru s regulovanou frekvencí pohonu umožní dosáhnout úspor za elektrickou energii a nákladů z nečinnosti, které mohou činit až 35 %. Zavedení bude mít dále vliv na všechny ostatní celkové náklady, neboť bude méně údržby a oprav, bude prodloužena doba životnosti kompresoru, a budou v důsledku větší kontroly provozních parametrů snížena nastavení jmenovitého příkonu.

Nepřímých přínosů bude také dosaženo zlepšením produktivity. Zlepšení produktivity bude dosaženo vyšší kvalitou stlačeného vzduchu, vyšší stabilitou procesu a vyšší kvalitou finálního produktu.

V součtu tyto přínosy povedou k výraznému snížení nákladů provozu kompresoru a doba návratnosti investice do zařízení bude činit jeden až dva roky.

Motivy pro zavedení

- vysoké náklady za energii
- špatná výkonnost mimo provozní parametry.

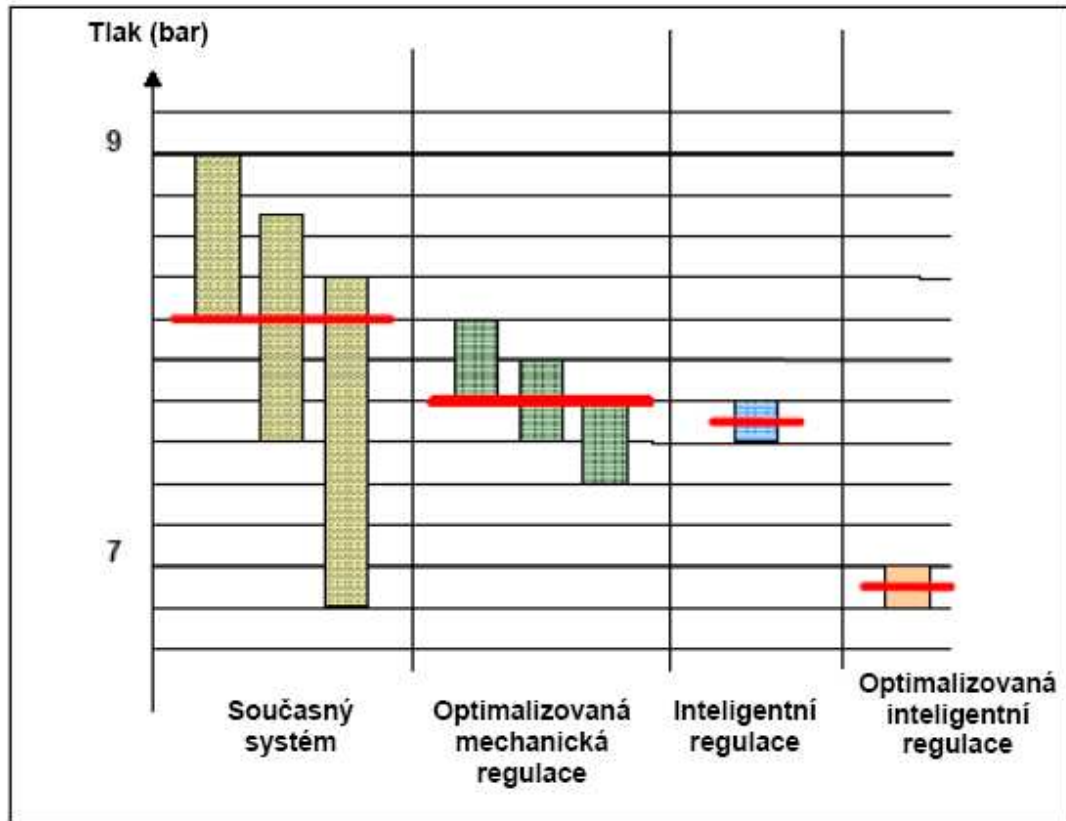
5.9.3 Optimalizace velikosti tlaku

Čím nižší je úroveň tlaku vyrobeného stlačeného vzduchu, tím více nákladově efektivní je výroba. Je ovšem nutné zajistit, aby byly vždy všechny aktivní spotřebiče zásobeny dostatečně stlačeným vzduchem. Zlepšené systémy regulace umožňují snížit špičkový tlak. V podstatě existuje několik způsobů, jak „zúžit“ rozsahy tlaku, a tak snížit tlak vyrobeného stlačeného vzduchu. Tyto způsoby jsou uvedeny v bodech níže a ilustrovány na dalším obrázku :

- přímé úpravy parametrů mechanickými přepínači na kompresorech. Nejlevnějším způsobem je změnit tlakový rozsah kompresoru mechanickými přepínači stlačování. Protože se nastavení kompresoru někdy mění samy od sebe, tyto přepínače musí být čas od času upraveny
- inteligentní regulace využitím kompresoru s frekvenčním konvertorem nebo optimálně dimenzovaného kompresoru. Rozsah tlaku je upravován frekvenčním konvertorem kompresoru, který funguje jako kompresor špičkového zatížení a upravuje rychlost svého pohonu podle specifických potřeb stlačeného vzduchu. Rozsah tlaku může být upravován také pomocí hlavní ovládací jednotky, která přepíná požadavek na stlačený vzduch ke kompresoru, jehož velikost nejlépe této potřebě odpovídá
- snížení rozsahu tlaku přímo na „limitní“ úroveň tlaku (optimalizovaná inteligentní regulace).

Systém inteligentní regulace snižuje rozsah tlaku na úroveň tlaku, která síti kompresorů dovoluje fungovat těsně nad limitní hodnotou nedostatečné dodávky stlačeného vzduchu.

Obrázek dole zobrazuje různé účinnosti uvedených regulačních systémů.



Vysvětlivky:

- červené horizontální přímký pro různé regulační systémy zobrazují průměrný tlak vyrobeného stlačeného vzduchu
- žluté diagonální přímký ukazují hodnotu průměrného tlaku stlačeného vzduchu 8,2 bar
- zelené vertikální přímký znázorňují, že mechanické přepínače tlaku mohou být kvůli tolerančním mezím nastaveny pouze na rozdíl 0,4 bar (rozdíl mezi předdefinovaným spodním a horním limitem). Tak je vyráběn stlačený vzduch s tlakem 7,8 bar. Vychází se z předpokladu, že úroveň, při které je zapnut první kompresor při špičkové zátěži, zůstává neměnná s hodnotou 7,6 bar
- inteligentní regulační systém – modrý tečkovaný obdélník – dokáže snížit rozsah tlaku celé kompresorové stanice na 0,2 bar. Tento regulační systém reaguje na míru změny tlaku. Za předpokladu, že úroveň, při které je spuštěn první kompresor špičkové zátěži, zůstává na nižší předdefinované úrovni tlaku, je v tomto systému průměrný tlak 7,7 bar.

Tlak 7,7 bar je při porovnání s jinými srovnatelnými kompresorovými stanicemi stále docela vysoký. Protože má limitní tlak pro spuštění druhého kompresoru špičkové zátěže (= následný kompresor) hodnotu 6,8 bar, je tato hodnota považována za spodní limit stlačeného vzduchu. Tento tlak odpovídá tlaku podobných kompresorových stanic. Průměrný tlak je v tomto případě 6,9 bar. V praxi bylo prokázáno snížení tlaku o 1 bar, které vedlo k úsporám energie od 6 do 8%.

Použitelnost

Regulace kompresoru založená na VSD technologii a kterou lze použít v inteligentním a optimalizovaném inteligentním regulačním systému se obvykle ukazuje jako nákladově efektivní pouze v případech, kdy jde o pořízení nového zařízení. Výrobci nedoporučují dodatečnou instalaci frekvenčního měniče na stávající kompresor. Optimalizovaná inteligentní regulace umožňuje snížit průměrný tlak stlačeného vzduchu z 8,2 na 6,9 bar, což odpovídá úsporám energie 9,1 %. Optimalizací regulace vznikají pouze drobné náklady a je možné jí dosáhnou úspor v řádu několika stovek MWh/r, což jsou desítky tisíc euro (např. výkon instalovaného kompresoru 500 kW, úspory přibližně 400 MWh/r a přibližně 20 000 EUR/r, pokud je doba provozu 8 700 h/r).

5.9.4 Redukce úniků

Úniky jsou přítomné ve všech místech systémů stlačeného vzduchu a výrazně přispívají k provozním nákladům. Na základě kontroly úniků v celém systému je možné přesně odhadovat účinnost rozvodu stlačeného vzduchu.

Aby bylo možné provést podrobnou kontrolu úniků, musí být celý systém stlačeného vzduchu uzavřen.

Znamená to, že ze systému nesmí být na spotřebiče odveden žádný stlačený vzduch. Systém včetně tlakových nádob je pak přiveden na určitou úroveň tlaku (např. 7 bar). Po té je systém včetně tlakových nádob uzavřen (také na straně kompresoru), což znamená, že do systému nesmí přes kompresory vniknout žádný stlačený vzduch.

Následně je změřena doba, než tlak v nádobách neklesne z určité předdefinované úrovně (např. 7 bar) na nižší předdefinovanou úroveň (6 bar). Délka trvání tohoto poklesu tlaku způsobeného úniky indikuje objem ztrát úniky. Ztrátu úniky lze vypočítat z výsledků kontroly úniků dosazením do níže uvedené rovnice:

$$V_L = \frac{V_{B+N}(P_1 - P_2)}{t p_0}$$

Kde:

- V_L ztráta úniky (m³/min)
- V_{B+N} objem tlakové nádoby a celého systému (m³)
- p_1 tlak v tlakové nádobě na počátku kontroly úniků (např. 7 bar)
- p_2 tlak v tlakové nádobě na konci kontroly úniků (např. 6 bar)
- t doba trvání kontroly úniků
- p_0 okolní tlak, lze předpokládat 1 bar.

Náklady úniků

Ztráty úniky často činí 15 – 20 % výrobních nákladů na stlačený vzduch. Cílem by mělo být snížení tohoto podílu na 5 až 10 %. Hodnoty menší než 5 % lze dosáhnout za podmínky, že systémy stlačeného vzduchu jsou udržovány a kontrolovány pravidelně.

Pokud jsou systémy pravidelně kontrolovány, je možné nalézt netěsnosti a utěsnit je. Výdaje na těsnění a osobní náklady jsou relativně malé. Doba návratnosti je často menší než jeden rok.

5.10 Čerpací systémy

Čerpací systémy představují v EU-15 téměř 20 % veškeré spotřeby elektrické energie na průmyslových elektromotorech .

Cílem je v čerpacím systému buď přeprava kapaliny ze zdroje na požadované místo, např. plnění vysokoúrovňového zásobníku, nebo oběh tekutiny v systému, např. jako pracovní látky tepelného přenosu. Pro pohyb kapaliny požadovaným průtokem je potřebný určitý tlak a dále je nutno pokrývat ztráty v systému.

Mezi metody zlepšení ukazatele využití a účinnost čerpadel patří:

- optimalizace podmínek průtoku
- zlepšená regulace systému
- zlepšené vyrovnaní výkonu motoru čerpadla požadavkům na průtok
- zlepšené dimenzování potrubního systému
- konstrukce čerpadla.

Konstrukce čerpadla

V současnosti je standardním postupem hydraulicky optimalizovat rotační čerpadla. Účinnost čerpadla je závislá hlavně na tření mezi povrchem a tekutinou a stejně tak na vnitřním unikajícím proudění.

Všechny ostatní ztráty s výjimkou odměrných (volumetrických) a mechanických ztrát zdroje, dále nejsou podrobněji specifikovány.

Největší prostor ke zlepšení leží v oblasti určitých nízkých rychlostí. Rozdíl mezi účinností systému s pracovním kolem čerpadla vyrobeného metodou lití do pískových forem (drsnost: $k_s = 0,4$ mm [!není jasné, zda je míněna střední nerovnost stěny δ , nebo měrnou drsnost δ/D]) a vyrobeného v nejvyšší kvalitě ($k_s = 0,024$ mm) dosahuje 18% bodů. Použití teoreticky hladkého povrchu může zvýšit účinnost o více než 20 %. Dodatečné ztráty účinnosti jsou způsobeny postupným zhoršováním kvality povrchu.

Účinnost lze o dalších 6 procentních bodů zlepšit omezením netěsnících trhlin na 0,1 mm. Takto je minimalizováno vnitřní unikající proudění. Očekává se, že klasické pístové čerpadlo bude

v budoucnosti nahrazeno membránovými čerpadly a to dokonce i tehdy, kdy je potřeba jen čerpání. Důležitým faktorem kromě čerpání bez úniků se stává také nižší potřeba údržby.

V oblasti těchto aplikací existuje vysoký potenciál úspor energie díky širokému použití rotačních čerpadel a četnému zjištění předdimenzovanosti systémů a jejich nevhodné regulaci z hlediska spotřeby energie. Pozornost není zaměřena pouze na zlepšení technologie čerpání, ale mnohem více na jejich přesné nastavení podle provozních podmínek.

Plánování čerpacích systémů

Zlepšené metody plánování a prostředky stanovení parametrů potrubní sítě a zjištění údajů o průtoku poskytují lepší vstupní data pro budoucí výběr čerpadla.

Důležitým krokem plánování systémů je výběr vhodného potrubního vedení a profilů trubek. Tyto parametry mají významný vliv na ztráty tlaku v systému a tak i na požadovaný průtok čerpadla. Ztráty tlaku v systému jsou z velké části způsobeny ztrátami třením tekutiny v potrubí, přípojkách a armaturách, které kvadraticky rostou s průtokem. Ztráty tlaku lze snížit využitím co možná největších profilů a nejmenšího počtu přípojek, trubkových oblouků atd. Kvůli dosažení menších hodnot průtoku je nutné překonat určité překážky, jako jsou investiční náklady, parametry stavby, atd.

Vyrovnaní systému

Zlepšené přizpůsobení čerpadel stávajícím systému může být dosaženo také nahrazením jednotlivých součástí. Byly provedeny testy, které potvrdily, že by nahrazením stávajících oběhových kol poháněcí optimalizovanými na zatížení došlo ke zlepšení účinnosti čerpadla. Úpravy potrubní sítě také napomáhají zlepšit účinnost čerpadla (dokonce i při částečném zatížení).

Parametry elektromotoru a čerpadla si musí vzájemně odpovídat. Potom lze čerpadlo provozovat při maximální účinnosti elektromotoru. Za různých provozních podmínek by stále mělo být dosahováno vysoké celkové účinnosti čerpacího systému. Při výrazných změnách provozních podmínek by neměla účinnost systému vykazovat extrémy.

Ve většině systémů (nejen v těch, kde je regulace prováděna škrťicí klapkou) dochází k tak zvaným škrťicím jevům, které jsou způsobeny usazeninami, termostatickými ventily, atd. Rotační čerpadla je proto nutné konstruovat na průtoky vyšší nebo rovny průtoku, který odpovídá maximální účinnosti.

Regulace

Regulace proměnlivé rychlosti pohonu je důležitým nástrojem pro nastavení čerpadla statickým provozním podmínkám a je variantou nastavení čerpadla dynamicky proměnlivému průtoku. Těmito úpravami nastavení lze významně snížit spotřebu energie. Poslední vývoj elektroniky vedl k tomu, že lze regulaci rychlosti instalovat na stále se zmenšující jednotky (viz Část 4.7). V případě nesprávné dimenze může být nákladově efektivním řešením nahrazení samotného čerpadla.

5.10.1 Výběr mezi čerpadly poháněnými parní turbínou a elektrickou energií

V popisované bauxitové rafinerii je v kotelně vyráběna vysokotlaká pára, kterou je zásobován provoz,

v němž je párou udržována určitý technologickým procesem požadovaný teplotní profil.

Technologický proces vyžaduje dodávat páru s dvěma různými úrovněmi tlaku.

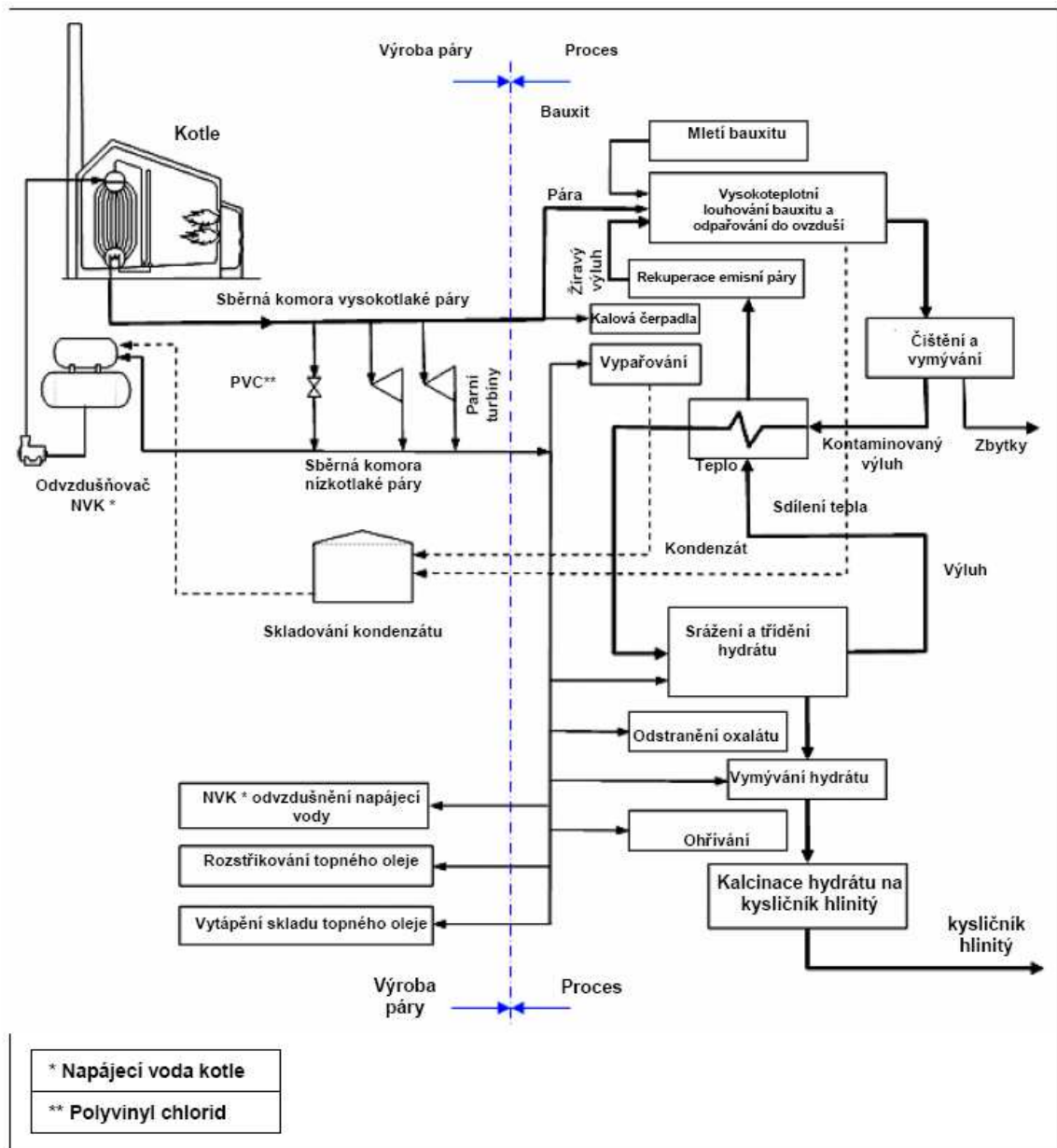


Schéma distribuce páry v bauxitové rafinerii

Zvýrazněná oblast vymezuje část s vysokou teplotou, v níž probíhá rozklad bauxitu při teplotě 250 °C.

Výstupy rozkladu jsou žíravý kontaminovaný výluh bohatý na oxid hlinitý a směs zbytků. Výstupy jsou bleskově zahřány v sérii 10 nádob, přičemž vzniká velké množství emisní páry (přibližně 600 t/h) a teplota klesá až na úroveň atmosférických podmínek.

Vytvořené množství emisní páry je téměř všechno absorbováno v baterii plášťových trubkových tepelných výměníků, či kondenzátorů, které jsou napojeny na parním potrubím napojeny na zahřívací nádoby (na každou nádobu tři nebo čtyři výměníky). Příslušné kondenzační teplo je rekuperováno ohříváním chladnějšího výluhu, který proudí vnitřní stranou trubek výměníku, tj. v toku, který je recyklován na konci cyklu technologického procesu. Část emisní páry je dále určena pro ohřev dalších částí procesu, čímž je zvýšena celková rekuperace.

Zbylá pára není rekuperována a je vypouštěna do ovzduší, a tak představuje jednu z nejvýznamnějších částí celkových energetických ztrát procesu.

Účinnost rekuperace ve výměnících pak hraje významnou roli v energetické bilanci výroby oxidu hlinitého. Jakákoliv práce na zvýšení účinnosti výměníků a rekuperace emisní páry tudíž může snížit spotřebu energie a zlepšit ekonomické výsledky výroby oxidu hlinitého.

Podmínky v procesu rozkladu bauxitu činí 38 bar a 250 °C. Pára je vyráběna (přehřívána) na kotlích při 53 bar a 375 °C. V technologickém procesu je řada dalších součástí a prvků, které je nutné pro různé účely ohřívát na nižší teploty. Pro tyto součásti a prvky je vedena pára z druhého sběrače nízkotlaké páry.

V původní konfiguraci rafinérie je požadavek na nízkotlakou páru pokrýván řadou parních turbín vybavených vysoce výkonnými čerpadly. Turbíny pracují jako pohony a jako pracovní látku využívají vysokotlakou páru.

Pára vypouštěná při nižší tlaku (8 bar) z turbín je rozvedena do procesu a využita jako teplotně médium.

Pára během své expanze na turbíně z 50 na 8 bar uvolňuje část své entalpie, která je přeměněna na mechanickou energii, která je hřídelí převedena na čerpadlo.

Před touto změnou pokrývá vysokotlaká pára potřebu:

- mechanické energie absorbované čerpacími stanicemi poháněnými parními turbínami, které nahrazují velké elektromotory
- tepelné energie účelně absorbované všemi rozličnými součástmi a prvky technologického procesu.

Původní konfigurace sestávala ze čtyř hlavních čerpacích stanic (tři pro proces vyluhování a jedna stanice pro čerpání napájecí vody kotle – NVK), které všechny byly vybaveny čerpadly s turbínovým pohonem, provozními a náhradními čerpadly, a z osmi instalovaných turbín.

Po několika letech provozu byl úspěšně realizován plán postupné optimalizace obsahující dosažení energetických úspor. Byla snížena celková potřeba nízkotlakého vytápění. V jedné chvíli množství nízkotlaké páry vyrobené na turbínách pro mechanické procesy překročilo množství páry potřebné pro účely vytápění.

Trend se během let zesiloval a nakonec bylo rozhodnuto místo turbín instalovat elektromotory. Aby byla zajištěna pružnost systému a zabráněno jakémukoliv vynucenému užití nízkotlaké páry, z celkového počtu bylo zachováno pět turbín.

Dosažené environmentální přínosy, zejména zlepšení energetické účinnosti

Výroba potenciálního nadbytku nízkotlaké páry představuje jisté riziko, neboť může vést jak k vynucenému užití přebytečné páry (tj. vyšší spotřebě energie), tak k prostému plýtvání vypouštěním páry do ovzduší.

Zjištění těchto nedostatků ale nemusí být zjevné z pozorování provozu zařízení. Zabránit situacím, kdy je pára využívána neoptimálně, lze podrobným a nepřetržitým monitoringem parametrů procesu doplněným o bilanci páry.

Mezisložkové vlivy

Technika spočívá ve vybavení provozovny příslušným zařízením, které je potřebné k pružnému řízení procesu. Nevýhodou zavedení techniky je nutná investice při změně typu zařízení, jako tomu bylo v uvedeném případě. Při konstrukci provozu je možné zohlednit možné budoucí změny potřeby páry, a tak se vyhnout nákladným změnám strategie a nahrazování stávajícího zařízení.

Provozní údaje

Provozní údaje ilustrují praktický provoz parních turbín, z nichž každá maximálně absorbovala přibližně 19 t/h přehřáté páry s tlakem 50 bar a teplotou 370 °C. Pára byla vypouštěna při tlaku 8 bar a stále byla přehřátá. Příkon dodaný na připojené odstředivé čerpadlo byl v řádu 1 MW. Využití parní turbíny pro pohon čerpadla také umožňuje zcela přizpůsobit provoz čerpadla a regulovat jej podle průtoku.

Odstředivá čerpadla jsou vybavena regulačními průtokovými ventily, kterými je průtok regulován podle potřeb technologického procesu a díky nimž dochází k poklesu tlaku, nebo jsou vybavena moderním pohonem s proměnlivou rychlostí, které vyvolávají příslušné náklady.

Je-li použita jako pohon turbína, není potřebné využívat regulační průtokové ventily, neboť regulace probíhá průtokem páry turbínou. Variabilita průtoku vyžadovaná technologickým procesem je zajištěna proměnlivým průtokem páry turbínou. Jinými slovy regulace průtoku technologického procesu je zajištěna změnou rychlosti čerpadla, která probíhá přes turbínu. Turbína funguje jako regulační průtokový ventil, ale nedochází ke změně charakteristické křivky oběhu.

To je další výhoda, neboť je vyloučen pokles tlaku, který může v případě formování kamene z výluhu být mnohem významnější.

Použitelnost

Použití parních turbín jako pohonů čerpadel se jeví jako poměrně jednoduchá technika, neboť turbína s dvěma oběžnými koly, která je předmětem uvedeného příkladu, je v porovnání s elektromotorem malá, a elektromotor navíc potřebuje příslušné dodávky elektrické energie. Kombinace dvou typů pohonů, jak byla použita v uvedeném příkladě, se ukazuje jako vhodný kompromis.

Ekonomie

Z ekonomického hlediska je nutné rozlišovat dvě situace, při nichž je technika posuzována:

- návrh a konstrukce nového systému distribuce páry – v takové situaci lze kombinace parních pohonů a elektromotorů úspěšně zvažovat
- vylepšení systému původně navrženého a konstruovaného s jedním typem pohonu (např. pouze turbíny) instalací dalšího typu pohonu. O takové situaci je uvedený příklad rafinérie bauxitu, v níž byly vyhodnoceny úspory energie a investice do nahrazení vybraných stávajících parních turbín elektromotory. Hodnoty investičních nákladů a úspor jsou specifické podle energetické bilance a míře poklesu využití páry. Proto je nutné je posuzovat případ od případu.

Motivy pro zavedení

Zavedení techniky bylo navrženo z ekonomických důvodů. V provozu výroba nízkotlaké páry pružně řízena podle proměnlivé potřeby páry na vytápění.

5.10.2 Vakuová čerpadla jako náhrada parních vypuzovačů

Popis techniky energetické účinnosti

Parní vypuzovače jsou zařízení, která jsou rozšířena ve všech průmyslových zařízeních, kde je využívána pára s tlakem pod atmosférickými podmínkami. Jsou používány např. v rafinériích, kde jsou provozovány vakuové jednotky vypařovačů a mžikového vypařování vybavené barometrickými kondenzátory a parními vypuzovači pro odvedení nekondenzovaného plynu.

Nahrazení vypuzovačů vakuovými čerpadly je odůvodněno úsporou páry, neboť není vyplývána jejím vypuštěním vypuzovači do ovzduší. Na druhou stranu roste spotřeba elektrické energie, ale úspora páry nárůst převyšuje.

Voda pro vakuové čerpadlo představuje část celkového množství vody spotřebované v rafinérii v technologickém procesu. Čerpadlo je uvnitř osazeno rotujícím těsnícím kroužkem.

Dosažené environmentální přínosy, zejména zlepšení energetické účinnosti

Celkově uspořena pára. Úspory je dosaženo nahrazením vypuzovačů. Pára představuje dodatečný zdroj energie pro účely ohřevu součástí rafinérie, které využívají entalpii páry a její hmotu.

Mezisložkové vlivy

Technika spočívá v nahrazení stacionárních a velmi jednoduchých zařízení, jako jsou vypuzovače, dynamickými stroji s rotujícími oběžnými koly a dodávkou pracovní vody, což vyžaduje další pomocné služby. Ačkoliv jsou vakuová čerpadla velmi spolehlivé stroje, které potřebují méně údržby, hlavním důvodem pro změnu bylo všeobecné vyhodnocení energetické bilance a dostupnosti páry.

Pára vedená na vypuzovače v provozovně představovala omezení pro ohřívání celého procesu, a to zejména tehdy, kdy výrazně narostla výroba a dodávka páry z kotleny zůstávala na stejné úrovni.

Provozní údaje

V rafinérii bylo původně instalováno celkem 10 parních vypuzovačů, které obsluhovaly jednotky

vypařovačů, chladicí zásobníky a vakuové rotační válcové filtry. Vypuzovače byly v rámci celkové optimalizace provozovny z hlediska spotřeby páry a energie postupně nahrazeny vakuovými čerpadly.

Použitelnost

Vakuové čerpadlo lze instalovat buď na nové systémy, jako např. při instalaci filtrace a podobně, nebo jimi nahradit stávající parní vypuzovače, přičemž nahrazení vypuzovačů nepředstavuje vysoké dodatečné náklady.

Ekonomie

Při ekonomickém vyhodnocení byly posouzeny přínosy vyvolané zvýšenou dostupností páry a dodatečná spotřeba elektrické energie na čerpadlech.

Motivy pro zavedení

Pokud dochází k výraznému nárůstu výroby oxidu hlinitého, je nutné zajistit dodávku potřebné páry.

5.11 Systémy sušení

V mnoha průmyslových odvětvích je sušení běžně používanou metodou zpracování.

V systému sušiče je nejprve ohřán vlhký materiál na teplotu odpařování vody, voda je pak vypařena za konstantní teploty.

$$Q_{th} = (c_G m_G + c_W m_W) \Delta T + m_D \Delta H_V$$

Kde:

- Q_{th} užitečný výkon v kWh/h
- m_G/W hmotnostní tok suché hmoty a podílu vody v materiálu v kg/s
- ΔT interval teploty ohřívání v K
- m_D množství vypařené vody za jednotku času v kg/s
- c_G, c_W měrné tepelné kapacity suché hmoty a podílu vody v materiálu v kJ/(kg K)
- ΔH_V teplo vypařování vody při dané teplotě vypařování (přibližně 2 300 kJ/kg při 100 °C).

Objem vypařené vody je zcela odebrán pomocí vzduchu ze sušící komory. Potřeba energie Q_{pd} potřebné k ohřátí objemu čerstvého vzduchu (výhradně užitečný tepelný výstup Q_{th}) lze vypočítat podle

Rovnice 4.10:

$$Q_{pd} = V_{Cpd} \Delta T_{pd}$$

Kde:

- Q_{pd} spotřeba energie na ohřátí čerstvého vzduchu v kW/h (ztráty odváděného tepla)

- V průtok čerstvého vzduchu v m³/h
- cpd měrná tepelná kapacita vzduchu (přibližně 1,2 kJ/(m³K) při 20 °C a 1013 bar)
- ΔT_{pd} rozdíl mezi teplotou čerstvého vzduchu a odváděného vzduchu v K.

Ztráty tepla v provozovně (jako např. ztráty sdílením tepla) musí být kryty také touto spotřebou energie. Ztráty v systému odpovídají energetické kapacitě Q_{hp} (spotřeba energie systému nezátíženého

při pracovní teplotě a při recirkulaci vzduchu). Celková spotřeba tepla je dána Rovnicí 4.11:

$$Q_I = Q_{th} + Q_{pd} + Q_{hp}$$

Kde:

- Q_I potřebná energie na výstupu
- Q_{hp} potřeba energie v nezátíženém systému.

Dále je nutné vzít v úvahu tepelnou účinnost spalování paliva η, která závisí na spalovacím zařízení.

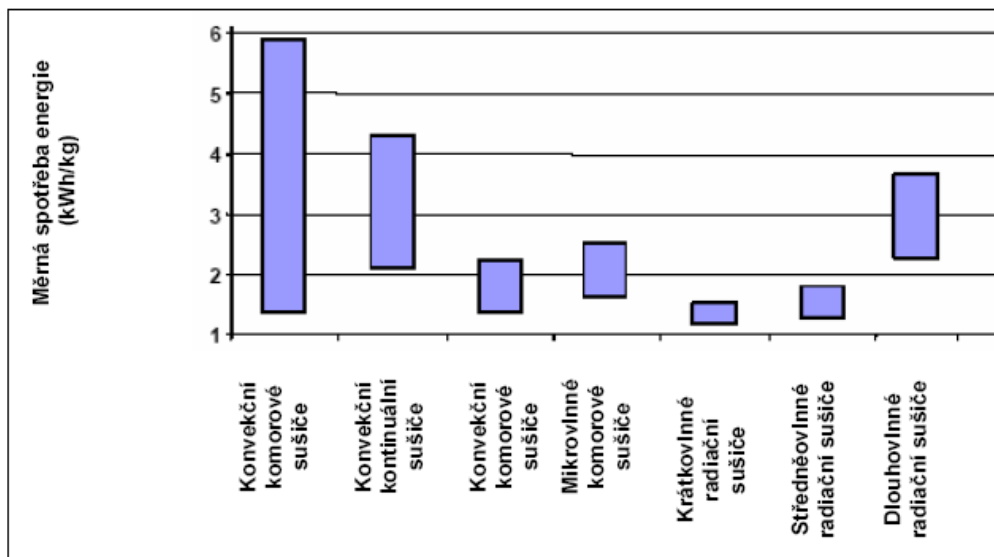
Následný výstup energie Q_{total} je dán Rovnicí 4.12:

$$Q_{total} = \frac{Q_I}{\eta_{palivo}}$$

Kde:

- Q_{total} celkový výstup energie
- η_{palivo} tepelná účinnost.

Obrázek 4.35 ilustruje pásma měrných spotřeb sekundární energie na kilogram vypařené vody při maximálním zatížení a při maximálním dosažitelném výkonu vypařovací jednotky pro různé typy sušičů. Aby bylo možné provést porovnání, je předpokládáno, že konvekční sušiče využívají ohřevu elektrickým odporem.



Pásma měrné spotřeby sekundární energie různých typů sušičů při vypařování vody

5.11.1 Techniky snižování spotřeby energie

5.11.1.1 Mechanické procesy

Vykonaná práce při separačních mechanických procesech může být přibližně 100krát menší ve srovnání s procesy tepelného sušení. Proto dokud je možné materiál sušit, je doporučováno využívat hlavně procedury mechanické dehydratace, čímž je snížena spotřeba energie celého procesu. Obecně řečeno většinu produktů je možné mechanicky předběžně dehydratovat na úroveň průměrného obsahu vlhkosti (= poměr mezi hmotou kapaliny, která má být odstraněna, a hmotou suchého materiálu), které činí 40 – 70 %. V praxi je využití mechanických procesů omezeno maximálním zatížením procesu materiálem a/nebo dobou sušení, která je ekonomickým faktorem.

5.11.1.2 Počítačem podpořené řízení procesů, automatizace procesu

Ve velké většině použití tepelných sušících procesů jsou sušiče obvykle regulovány přes stanovení cílových hodnot a/nebo převážně podle empirických parametrů (opřené o zkušenosti obsluhy). Jako regulační parametry jsou používány: doba setrvání v sušiči, průchozí rychlost, vstupní obsah vlhkosti, teplota a kvalita produktu. Pro stanovení obsahu vlhkosti jsou potřebné senzory vlhkosti s lineárními charakteristikami, nízkou poruchovostí a dlouhou dobou životnosti. Měření senzorů může být v reálném čase zpracováno počítačem a porovnáno s cílovými hodnotami vypočtenými na základě matematických modelů procesů sušení. Potřebné jsou přesné informace o procesu sušení a vhodný software. Obsluha pak mění příslušné regulační proměnné v závislosti na odchylce cílových a skutečných hodnot.

6 Obecné nejlepší postupy

Zlepšení energetické efektivity jako jedna úloha zahrnuje mnoho různých typů opatření, které je nutné realizovat, aby byly dosaženy nejlepší výsledky a bylo zabráněno nedosažení optimálního stavu, který respektuje jak energetické tak i ekonomické a environmentální hledisko.

Z těchto důvodů je třeba vždy přistupovat k řešení předemné problematiky systémově a při realizaci využívat postupy stanovené při činnostech spojených s procesem IPPC. Proto také tento produkt se snažil maximálně využít současně vypracovaných metodik spojených s procesem IPPC, který je zaveden a rozšířen v celé Evropské unii. Proto také při zpracování tohoto produktu autoři vycházeli zejména s návrhu referenčního dokumentu o technikách energetické účinnosti / 1 / a Manuálu pro integraci nástrojů čistší produkce a zvyšování energetické účinnosti / 2 /.

Pro zabezpečení efektivního postupu zvyšování energetických úspor formou zvyšování energetické efektivity výroby, distribuce a užití energie je třeba věnovat pozornost nejprve produktům a spotřebě energie při jejich výrobě, a následně nalezení způsobu, jak je vyrábět energeticky nejúčinněji.

Pro zajištění optimálního postupu je třeba se řídit těmito zásadami:

1. zavést opatření energetických úspor v následujícím pořadí:

- realizovat opatření v technologickém procesu, která snižují spotřebu energie
- řídit pomocné procesy a zařízení
- opětovně využívat energii (zpětné využití odpadní energie -rekuperace)
- zvýšit účinnost výroby energie včetně kombinované výroby energie.

2. realizovat důkladný energetický audit s využitím platné legislativy definovaných přístupů k jeho realizaci:

- nejprve identifikovat příležitosti energetických úspor na jednotkách/procesech, např. spotřeby energie v motorech
- následně prověřit, zda jsou tato opatření úspor energie v souladu s obecnějším cílem
- zvýšit celkovou energetickou efektivnost celého energetického hospodářství podniku.

6.1 Indikátory energetické efektivity

Vývoj energetické efektivity v průmyslovém zařízení je žádoucí zobrazovat ve formě indikátorů.

Důležité je indikátory vyvinout a užívat jednotným a transparentním způsobem, a tak umožnit pokračování neustálého zlepšování a porovnávání s referenčními hodnotami [benchmarking].

Nejlepším postupem pro neustálé udržování informací o energetické účinnosti

procesu/jednotky/provozovny, je:

- neustále rozvíjet a používat indikátory energetické účinnosti, a tak názorně prokázat změny

energetické účinnosti a efektivnosti.

- dokumentovaně a transparentně zpracovávat indikátory energetické efektivnosti realizací všech dále uvedených úkolů :
 - vymezit a definovat znaky indikátorů a dodržovat je, aby bylo možné provádět vyhodnocení energetické účinnosti
 - jasně vymezit (např. co indikátory vyjadřují, jak je vypočíst, jaké jednotky v nich budou použity) a udržovat záznamy o následujících znacích:
 - o hranice systému výrobní jednotky a pomocných zařízení
 - o vymezit a definovat pro rozličné energetické toky (paliva, odpady, elektrická energie, atd.)
 - palivo, produkt, odpad
 - vnitřní recyklace paliva
 - konverzní faktor primární energie
 - rekuperace z odpadů nebo na fléře
 - různé úrovně páry

Průmyslová odvětví obvykle mají různý pohled na zhodnocování odpadů pro vnitřní užití a důsledky na jejich energetickou účinnost. Je důležité, aby v každém průmyslovém odvětví byl jasně vymezen standardní postup, jenž je v odvětví používán

o jmenovatele ukazatelů energetické intenzity a indexů energetické účinnosti v případě, že je vyráběno více produktů

o korekční faktory použité v případě, kdy působí „strukturální“ vlivy, mezi něž patří :

- změny ve využití výrobní kapacity
- změny výrobní technologie
- změny ve vývoji produktu
- změny užití energie během životního cyklu produktu
- změny v rozvržení výroby
- ukončení výroby energeticky náročných produktů
- outsourcing
- změny v integraci energetického systému podniku
- změny v integraci.

6.2 Struktura a nástroje energetického managementu

Zásadní podmínkou pro dosažení dobrých výsledků energetické účinnosti je správné zavedení energetického managementu. Energetické aspekty je nutné spravovat podle stejných systematických a prověřených principů managementu, které jsou uplatňovány při řízení ostatních zdrojů. Bylo vyvinuto několik nástrojů a vybrané z nejlepších jsou uvedeny níže.

Pro řízení energetických aspektů systematickým, nepřetržitým a dokumentovaným způsobem, nejlepšími postupy jsou:

1. zavést do praxe standardizovaný systém energetického managementu, jenž bude obsahovat

všechny následující prvky:

- struktura plánování-realizace-kontroly-nápravy
- závazek nejvyššího managementu
- neustálé zlepšování energetické výkonnosti
- nástroje sběru a vyhodnocování údajů a ostatních informací, které přímo či nepřímo souvisí s energetickou účinností.

2. připravit akční plán realizace neustálého zlepšování energetické výkonnosti, jenž bude obsahovat všechny následující prvky:

- měřitelné přímé a nepřímé energetické cíle
- aktivity vedoucí k dosažení energetických cílů
- prostředky zdroje pro každou aktivitu
- časový plán aktivit
- indikátory
- prostředky k monitoringu indikátorů a cílů.

Pro získání spolehlivých údajů a ostatních informací potřebných k rozhodnutí o opatření energetické

účinnosti, nejlepšími postupy jsou:

3. realizace příslušných manažerských a technických energetických auditů ve stanovených obdobích :

- předběžný/úvodní energetický audit na počátku procesu energetického managementu
- každoroční audit managementu
- podrobný energetický audit v okamžiku, kdy je k dispozici podrobný rozpis celkové spotřeby energie
- cílený audit za účelem nalézt nákladově nejefektivnější opatření energetických úspor, která budou realizována.

4. použití standardizovaných a zdokumentovaných nástrojů auditu, které zahrnují

- národní a mezinárodní standardy
- kontrolní seznamy
- databáze.

5 použití dokumentovaných energetických modelů a ostatních nástrojů určených pro energetické

výpočty včetně:

- modely elektrické energie

- modely tepelné energie
 - pinch metodika .
6. zavést podrobné schéma monitoringu, které bude zahrnovat všechny následující prvky :
- sběr dat
 - analýzy
 - reporting.

Nejlepším postupem pro zajištění informací o vlastní výkonnosti podniku/provozovny je pak pravidelné srovnání s externími referenčními hodnotami (externí benchmarking)

6.3 Techniky zlepšení energetické efektivity

Technická opatření zahrnují aktivity z následujících kategorií:

- efektivnost a účinnost technologického procesu
- efektivnost a účinnost výroby tepla a elektrické energie
- účinné užití energetických toků v provozovně (rekuperace tepla)
- efektivnost a účinnost pomocných zařízení (např. stlačeného vzduchu).

6.3.1 Spalování

Nejlepšími postupy ke snížení ztrát při spalování jsou:

= snížit teplotu spalin následujícími opatřeními :

- zvýšení přenosu tepla na technologický proces zvýšením součinitele přestupu tepla nebo zvětšením teplosměnných povrchů
- začlenění dodatečného procesu, např. výroby páry, jímž bude rekuperováno odpadní teplo
- předeřívání spalovacího vzduchu využitím tepelného výměníku
- pravidelné čištění teplosměnných povrchů ofukovačem sazí.

= optimalizovat přebytek vzduchu automatickým měřením obsahu kyslíku ve spalinách v kombinaci s úpravou přívodu vzduchu do kotle .

= posílit tepelnou izolaci kotle a potrubí .

= využít technologie vysokoteplotního spalování HiTAC .

6.3.2 Parní systémy

Pára je v průmyslových technologiích nejužívanějším médiem přenosu tepla, protože je netoxická, stabilní a má vysokou tepelnou kapacitu. Účinnost využití páry nelze měřit tak snadno, jako tepelnou účinnost kotle a v důsledku toho je tato účinnost často opomíjena. Účinnost parního systému může být zvýšena zlepšením výroby páry, rozvodu páry a využití páry.

Nejlepšími postupy ke snížení tepelných ztrát jsou:

- = aplikace rekuperace tepla prostřednictvím:
 - předeřívání napájecí vody ekonomizérem
 - rekuperací tepla z odluhu kotle
 - předeřívání spalovacího vzduchu.
- = zavedení programu pravidelných kontrol, oprav a údržby
 - na separátorech páry
 - odstraňování usazenin kamene.
- = snížení ztrát energie následujícími opatřeními
 - minimalizace odluhu
 - sběr a navrácení kondenzátu do kotle k opětovnému využití
 - opětovné využití emisní páry
- = řádná tepelná izolace kotle a potrubí, jímž je vedena pára a kondenzát.
- = modernizace ovládacích prvků
- = optimalizací kapacity kotle minimalizace ztrát z krátkých provozních cyklů kotle

5.4.3 Kogenerace

Nejllepšími postupy s cílem správného využití kogenerace jsou:

- = identifikace všech možností k zavedení kogenerace :
 - možnosti v podniku
 - spolupráce s ostatními podniky a bytovými komplexy
- = zavedení kogenerace :
 - s parní turbínou, je-li:
 - o základní elektrické zatížení vyšší, jak 3 – 5 MWe
 - o v technologickém procesu potřeba nízkohodnotné páry; a poměr spotřeby elektrické energie ku tepelné energii je vyšší, jak 1:4 o dostupné levné, palivo
 - o dostupný vysoce kvalitní odpadní teplo z procesu (např. z pecí nebo spaloven)
 - o potřeba vyměnit stávající kotle
 - o nutné minimalizovat poměr elektrické ku tepelné energii
 - o při využití kombinovaného cyklu plynové turbíny maximalizován poměr elektrické ku tepelné energii
 - s plynovou turbínou, je-li
 - o spotřeba elektrické energie nepřetržitá a vyšší, jak 3 MWe
 - o dostupný zemní plyn
 - o vysoká spotřeba středně/vysokotlaké páry nebo horké vody, obzvláště s teplotami
 - vyššími, jak 500 °C
 - o užití pro horké plyny s teplotami 450 °C a výše – spaliny mohou být naředěny

s okolním vzduchem a tak ochlazený, nebo odvedený na vzduchový tepelný výměník

- s pístovým motorem, je-li
 - o spotřeba elektrické energie, nebo průběh technologického procesu cyklický či přerušovaný
 - o požadována nízkotlaká pára, nebo horká voda se střední či nízkou teplotou
 - o požadavek na poměr tepelné ku elektrické energii nízký.

6.4 Rekuperace tepla

Nejlepšími postupy pro nalezení a zavedení ineditifikovaných příležitostí, jak využít „odpadní“ toky energie, jsou:

= identifikace všech možností :

- možnosti v podniku
- spolupráce s ostatními podniky nebo sousedícími obcemi.

= realizace jednoho z následujících opatření:

- pinch metodiky
- podrobný energetický audit .

= optimalizace využití různých toků energie jednou nebo oběma následujícími technikami :

- použití výměníků tepla, je-li požadováno teplo s nízkou teplotou
- použití tepelných čerpadel a rekompresí výparů, je-li nutné zvýšit úroveň teploty.

6.5 Systémy poháněné elektromotorem

Celková účinnost systému poháněného elektromotorem závisí na několika faktorech, mezi něž patří:

účinnost motoru, ovládání rychlosti motoru, vhodné dimenzování, kvalita napájení proudem, ztráty při rozvodu, mechanický převod, postupy údržby a mechanická účinnost konečného spotřebiče.

Nejlepšími postupy pro systémy poháněné elektromotorem jsou :

- = použití motorů s vysokou účinností
- = využití AC pohonů s proměnlivou rychlostí.

6.6 Systémy stlačeného vzduchu

Nejlepšími postupy ke snížení spotřeby energie v systémech stlačeného vzduchu jsou:

= kombinovaná realizace některých z následujících opatření :

- minimalizace spotřeby stlačeného vzduchu
- zavedení programu pravidelné údržby a oprav
- regulace kompresorů pomocí VSD elektromotorů (pohon s říditelnou/proměnlivou rychlostí motoru)

- použití optimalizovaného inteligentního řízení, jímž je udržován tlak ve vhodné úrovni
- nahrazení starých motorů motory s vysokou účinností .

6.7 Čerpací systémy

Nejlepším postupem ke zlepšení energetické účinnosti čerpacích systémů je:

= kombinované zavedení následujících opatření :

- optimalizace parametrů průtoku
- zlepšení systému ovládání
- sladění čerpadla a motorového systému.

6.8 Systémy sušení

Nejlepším postupem ke zlepšení energetické účinnosti systémů sušení je:

= zavedení kombinace následujících opatření:

- nejprve aplikovat postupy mechanické dehydratace
- využití počítačového ovládání procesu
- vybrat optimální technologii sušení .

7 Literatura

/ 1 / Návrh referenčního dokumentu o technikách energetické účinnosti , Evropská komise, 2006

/ 2 / Manuál pro integraci nástrojů čistší produkce a zvyšování energetické účinnosti. Pracovní verze 1.1
UNEP, 2003