

Možnosti výroby elektrické energie z OZE

Elektrina s vůní dřeva...

Od historie k budoucnosti

Práce je určena pro širokou laickou i odbornou veřejnost, energetické a environmentální poradce, učitele i žáky všech typů škol, kteří se chtějí dozvědět něco nového. Aby mohla být užitečnou pomůckou potenciálním investorům, obsahuje cenné zkušenosti stávajících provozovatelů, řadu internetových odkazů, orientační investiční náročnosti jednotlivých systémů a přehled použitelných dotačních titulů i komerčních zdrojů financování.

Publikaci zpracoval: Mgr. Radovan Šejvl

Tato práce mohla vzniknout jen díky České energetické agentuře, která prostřednictvím programu EFEKT 2007, Program – G2: „Publikace, příručka a informační materiály v oblasti úspor energie a OZE“ tento projekt podpořila. Práci spolufinancoval její autor Mgr. Radovan Šejvl, který se specializuje na problematiku výroby elektrické energie z biomasy a je akreditovaným odborným poradcem zařazeným do sítě poradenských středisek EKIS-ČEA.

Něco jako úvodník

Vážení přátelé,

právě se Vám dostala do rukou práce **Možnosti výroby elektrické energie z OZE, která se specializuje na možnosti výroby elektrické energie z biomasy**. Studie objektivně mapuje a porovnává veškeré současné i již zaniklé výrobní elektrické energie z biomasy. Klade důraz na energetickou účinnost a celkovou technickou i ekonomickou efektivitu využití paliva. Výrobu elektrické energie zatím téměř vždy doprovází teplo, proto se výrazně zabývá kogenerací, tedy společnou výrobou elektrické energie a tepla. Upozorňuje na nové vývojové trendy v oblasti „malé“, tzv. komunální energetiky – MIKROKOGENERACE. Výkonově se jedná o jednotky, desítky až stovky kW, ovšem jejich souhrnný instalovaný výkon může dosahovat impozantních rozměrů. To je patrné u bioplynových stanic, proto je pochopitelné, že se o jejich realizaci začínají zajímat i velké elektrárenské společnosti.

Stejně důležitou roli jako bioplyn může v naší elektrizační soustavě sehrát i zatím téměř neznámý dřevoplyn. Celým materiálem se prolíná časová linie od historie k současnosti se směřováním k budoucnosti, což je patrné zejména u dřevoplynu. Většina materiálu v téhle kapitole pochází z „místního šetření“ u jednotlivých subjektů, které se touto problematikou zabývají, proto má práce místy reportážní až dobrodružný charakter. Práce „nadzvedává pokličku“ nad vědeckovýzkumným „kotlíkem“ prototypových dílen soukromých subjektů i laboratoří vědeckovýzkumných institucí, a tím svým čtenářům částečně dává odpověď na položenou otázku: Kam kráčíš, česká energetiko?

Práce si klade za cíl, aby každému čtenáři přinesla něco nového, byť by jej přiměla jen k malému zamyšlení, napsání školní seminární práce a nebo k úpravě státní energetické koncepce na příštích 30 let. V celém obsahu se snažím o čtivé, poutavé vyprávění o různých způsobech získávání energie, které je v kapitole *Malé filosofické zamyšlení* zasazené do celkových souvislostí využití energie vůbec. V kapitole věnované vztahu mezi životním způsobem a spotřebou energie docházím k jednoznačnému závěru, že jakýkoli indikativní cíl podílu OZE na celkové spotřebě energie je reálný, splnitelný a dosažitelný. Jediným nástrojem vedoucím k dosažení tohoto cíle je potenciál energetických úspor, který je realizovatelný bez jakýchkoli investic – docela jednoduchým organizačním, beznákladovým opatřením – změnou myšlení.

Civilizace zrozená z ohně

Naše dnešní civilizace byla zrozena z ohně. Spalování fosilních paliv je stále nejdůležitějším zdrojem energie naší společnosti. „Člověk dnes za jediný rok ze zemských hlubin vytěží a spaluje tolik uhlí, ropy a zemního plynu, kolik se jich tam vytvořilo během předcházejících dvou milionů let.“ Fosilní paliva tak nenávratně mizí v kotlích elektráren, vytopen a lokálních topenišť.

V motorech lodí, lokomotiv, automobilů i letadel tak nenávratně mizí kapalná paliva. Z chemického hlediska jde o naprosto stejnou reakci, jaká probíhala v pravěku, nebo když náš dávný prapředeek maloval v jeskyni Altamira. Motory nejnovějších raketoplánů létají na úplně stejný technický princip, který poháněl palírové draky před několika tisíci lety v Číně.



Prvky, které v ohni neshoří, ovšem vytvářejí exhaláty zamořující okolí, skleníkové plyny a haldy popele a popílku. Emise popílku u klasické TE v průměru dosahují asi 7.000 tun, emise SO₂ asi 196.000 tun na každých 1000 MW instalovaného výkonu. Ke každým deseti tunám uhlí musíme připočítat třicet tun kyslíku, které si tohle spalení vezme ze vzduchu.¹



Jak vypočítal jeden plyšový medvídek, spalování je barbarským způsobem získávání energie. V teplo se ve skutečnosti promění sotva čtyři tisíciný gramu, což je v přepočtu podle Einsteinova ekvivalentu hmoty a energie pouhá desetimiliontina procenta energie, kterou v sobě spálené látky obsahují. Pro názornost je to 0.000 000 1 %. Bez energie dnes nedovedeme udělat ani krok. Na spotřebě energie jsme dnes životně závislí. Není možné jednorázově utnout dráty, naši pupeční šňůru, a přestat energii spotřebovávat. Tak jako alkoholik upíjíme ze "své lahve" neobnovitelných zdrojů energie a snad ani nevíme, jak nám každý lok škodí. Ne že bychom nechtěli, ale už neumíme přestat. Jsme tedy nuceni energii dále získávat, ovšem jsme povinni to dělat šetrně s maximálním ohledem k životnímu prostředí, což je i tématem této práce.

¹ Celá strana je zpracována s využitím podkladů uvedených v prvním sešitě Encyklopedie Energie pro zítřek – ČEZ 1994.

Přehled použitelných technických systémů

V době nastupující energetické krize a rostoucí snahy o omezení závislosti na dovozových fosilních palivech zaznamenáváme zvyšující se tlak na využití OZE. Významnou roli rovněž hraje snaha o snížení množství vypouštěných skleníkových plynů. To vše vede k vyššímu využití OZE, a to nejen ke značně rozšířené výrobě tepla, ale i ke společné výrobě elektřiny a tepla, což je z ekonomického hlediska mnohem příznivější. Na několika úvodních stranách si přiblížíme doposud nejrozšířenější energetické využití biomasy – její prosté spalování, z chemického hlediska OXIDACI. Prosté spalování biomasy je mnohdy považováno za energeticky nejefektivnější. To samozřejmě platí pouze ve srovnání s oddělenou výrobou elektrické energie v kondenzačních elektrárnách, jejichž celková míry využití energie v palivu je velice nízká. Proces spalování pohání parní stroj i parní turbínu, ať již jde o jakýkoli výkon nebo provedení. Stirlingův motor, kterému se také obšírně věnuji, pracuje rovněž na principu spalování. Závěrečné kapitoly však pojednávají o biologickém a termochemickém zplyňování, ať se již jedná o bioplyn a nebo o „znovuobjevený“ dřevní plyn.

Elektrickou a tepelnou energii z biomasy je možné vyrábět různými způsoby.

O všech způsobech se dočtete v následujících kapitolách.

- *Parní stroj*
- *Parní protitlaká turbína*
- *Parní kondenzační turbína*
- *Klasický Rankinův nebo ORC cyklus*
- *Stirlingův motor*
- *Bioplynová stanice s kogenerací*
- *Kogenerační jednotka na dřevoplyn*

Každý uvedený systém má svoji energetickou účinnost, provozní spolehlivost a zejména měrné investiční a provozní náklady. Nepříznivější poměr mezi výrobou elektrické energie a tepla vykazují dva posledně uvedené systémy kogenerace s pístovým spalovacím motorem. Celá práce proto dodržuje členění dle vzestupné účinnosti výroby elektrické energie, podává zevrubné vysvětlení technického principu nebo uvádí odkazy na dostupné prameny a ukazuje jednotlivé příklady využití uvedených energetických systémů v praxi včetně zkušeností jejich uživatelů.

Orientační energetické účinnosti jednotlivých systémů

- *Rankinův cyklus* – parní kotel – turbína
Elektrická účinnost cca 10 % v protitlakém, cca 20 % v kondenzačním provozu.
- *Organický Rankinův cyklus (ORC)* – Pracovní látka silikonový olej
Elektrická účinnost cca 22 %.
- *Ottův cyklus* - výroba dřevního plynu – pyrolýzní jednotka – plynový spalovací motor
Elektrická účinnost cca 30 %.

Orientační investiční náročnost jednotlivých systémů

- | | |
|--------------------------------|-------------------|
| ■ <i>Parní kotel + turbína</i> | 85 – 90. 000 Kč |
| ■ <i>Bioplynová stanice</i> | 90 – 120. 000 Kč |
| ■ <i>Technologie ORC</i> | 100 – 130. 000 Kč |

Ve velkých kondenzačních elektrárnách je míra využití paliva velice nízká, protože teplo z chladicích věží odchází do okolního prostředí. Elektrická účinnost u velkých kondenzačních elektráren představuje v průměru 35 %, a to se dalších více než 10 % elektřiny ztratí na cestě ke konečnému spotřebiteli, čímž probíhá další „energetická degradace“ již spáleného paliva.

Z pohledu celkového využití energie v palivu však existují nebo postupně vznikají mnohem účinnější decentralizované systémy, o kterých zatím příliš neslycháme. Pokud ano, tak s mnohdy nedůvěřivým až pejorativním zabarvením. Co se týká velikosti jejich instalovaného výkonu, moje práce zavádí členění dle výkonové dimenze pro které v přeneseném slova smyslu používá označení „váhové kategorie“. Setkáte se tedy s pojmem „středně těžká – těžká“ váhová kategorie, pro stovky kW až desítky MW, ale také „lehká střední“ pro desítky až stovky kW, ale také „lehká muší“ pro jednotky až desítky kW, což platí zejména v oblasti domácí mikrokogenerace. Jednotlivé technologie jsou řazeny vzestupně dle elektrické účinnosti, což ovšem neznamená, že ten „největší“ je i ten „nejúčinnější.“ Pozorný čtenář si povšimne, že za kapitolou pojednávající o parních turbínách s výkony v řádu několika MW, systémech ORC s výkony v řádu MW následují systémy MIKROKOGENERACE o výkonech jednotek až desítek kW. Je pravda, že v rámci kapitoly o mikrokogeneraci najdete velké množství různých energetických systémů a některé z nich by měly být dle zavedeného členění uvedeny ještě před systémy ORC, každý z nich je však přesně označen elektrickou i tepelnou účinností. Učinil jsem tak v rámci zachování přehlednosti s vírou, že si jemné dotřídění dle vzestupné energetické účinnosti každý zájemce provede alespoň v myšlenkách, neboť kapitola o mikrokogeneraci vytváří jednotlý celek.

V přehledné tabulce kromě elektrické účinnosti jednotlivých energetických systémů uvádím i klasické výkonové členění a stav vývoje jednotlivých energetických systémů.²

Přehled technologií pro výrobu elektřiny z biomasy

Technologie	Účinnost	Výkon	Stav vývoje
Parní stroj	10 – 12 %	200-2000 kW	využívá se
Parní turbína	15 – 40 %	0,5-240 MW	využívá se
Organický Rankinův cyklus	10 – 12 %	300-1500 kW	připraveno ke komerci
Spalovací motor	27 – 31 %	100-2000 kW	demonstrační jednotky
IGCC	40– 55 %	> 10 MW	demonstrační jednotky
Šroubový parní stroj	10 – 12 %	20-1000 kW	demonstrační jednotky
Stirlingův motor	18 – 22 %	0,5-100 kW	demonstrační jednotky
Mikroturbína	15 – 25 %	5-100 kW	výzkum a vývoj
Palivový článok	25 – 40 %	20-2000kW	výzkum a vývoj



VŠB - Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum

² Prof. Noskiewicz- ředitel VEC na semináři energetiků: Jelenovská, leden 2007 – elektronický sborník přednášek

Porovnání ekonomické výtěžnosti paliva společné výroby elektrické energie a tepla s klasickým kotlem na spalování dřeva

Elektrina je velice drahou formou energie, z tohoto důvodu tabulka ukazuje, co se stane, pokud k energetickým jednotkám přiřadíme jejich ekonomické zhodnocení.

V levém sloupci jako energetický vstup uvažuji 1 tunu dřeva v ceně 1.000 Kč. Tabulka uvádí účinnost kotle a energetický ekvivalent tepelné energie v kWh i GJ. K ceně paliva na výstupu je nutné podotknout, že se jedná pouze o palivovou složku ceny tepla bez ceny nákladů na obsluhu a amortizaci zařízení a také bez zisku. Jde tedy pouze o teoretickou hodnotu, kterou ovšem potřebujeme k pochopení výpočtu: Do kotle „vložíme“ 1.000 Kč, vzhledem k jeho energetické účinnosti nám ve formě tepla „vypadne“ 830 Kč, zbytek jsou ztráty, které vylétnou komínem. Za kolik vyrobené teplo prodáme a jaký bude zisk, to je zcela jiná kapitola. V pravém sloupci ze stejného množství dřeva za stejnou cenu vyrobíme dřevní plyn, který pustíme do motoru kogenerační jednotky. Tepla je pochopitelně mnohem méně, navíc jej pro srovnání oceníme stejnou částkou jako v levém sloupci *Cena tepla dle spalování*. Kromě tepla však vyrobíme ještě elektřinu, kterou ve výpočtu oceníme částkou 3,50 Kč na kWh, i když to v mnoha případech může být mnohem víc, ale i tak se na řádku *Cena paliva na výstupu* dostaneme k částce, která je o násobky vyšší než u pouhého spalování. Při prodeji vyrobeného tepla za tržní cenu je zase ekonomika provozu mnohem zajímavější. Druhou stranou mince jsou ovšem podstatně vyšší investiční náklady, které jsou částečně kompenzovány možností získání finanční podpory z některého z dostupných dotačních titulů.

Výhřevnost paliva	15000 MJ/t
Cena za jednotku	1000 Kč/t
Množství paliva	1 t
Energie v palivu	15 GJ/t
Energie v palivu (výhřevnost)	4155 kWh/t

Klasický kotel na dřevo

Cena paliva na vstupu:	1000 Kč
Účinnost výroby tepla:	83 %
Množství vyrobeného tepla:	12,75 GJ
Palivová složka ceny tepla	65 Kč/GJ
Cena paliva na výstupu:	830 Kč
Účinnost výroby tepla	83 %
Využitelná energie	12,75 GJ
Využitelná energie	3532 kWh
Ceny tepla z paliva	65 Kč/GJ
Cena tepla z paliva	0,28 Kč/kWh

Zplyňování a kogenerace

Cena paliva na vstupu:	1000 Kč
Účinnost výroby dřevoplynu:	65 %
Energetický obsah dřevoplynu	9,75 GJ
Energetický obsah dřevoplynu	2700,8 kWh
Cena paliva na výstupu:	3007 Kč
Účinnost výroby tepla:	48 %
Produkce tepla	4,875 GJ
Produkce tepla	1296,4 kWh
Cena tepla dle spalování	316 Kč
Účinnost výroby elektřiny:	28 %
Cena za elektřinu:	3,50 Kč/kWh
Výroba el. energie:	769 kWh
Cena elektřiny:	2691 Kč

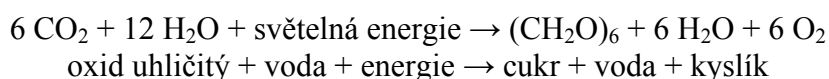
Biomasa jako palivo³

Biomasa je palivo, bez kterého se v nejbližší budoucnosti neobejdeme, nechceme-li nadále zatěžovat životní prostředí spalováním fosilních paliv.

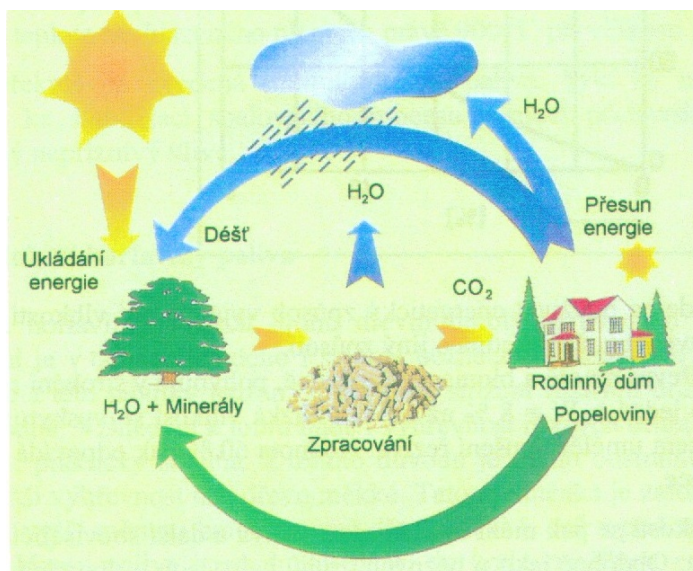
Spalováním fosilních paliv vzniká velké množství znečišťujících látek, především však oxid uhličitý, který byl takto navázán z prostředí za miliony let v období, kdy ještě homo sapiens neobýval tuto planetu. Dění kolem nás, především globální oteplování a klimatické změny tak, jak je pociťujeme stále častěji na vlastní kůži, jsou pravděpodobně důsledkem zvyšování koncentrace oxidu uhličitého. Řada vědců to potvrzuje. Je důležité, že si toto začíná uvědomovat i obyvatel modré planety. Kjótský protokol vstoupil v platnost, Evropská unie si stanovila nemalé cíle ve využívání obnovitelných zdrojů energie a připojila se i naše republika.

Co je to vlastně biomasa a proč ji považovat za obnovitelný zdroj energie?

Obecně ji lze definovat jako substanci biologického původu neboli hmotu všech organismů na Zemi. Velké množství organických látek vzniká při fotosyntéze z oxidu uhličitého a vody za spolupůsobení enzymů, chlorofylu a světelné energie. Schematicky to lze znázornit následovně:



Při jejím spalování logicky opět oxid uhličitý vzniká. Dochází tedy k uzavřenému procesu, kdy rostliny za svého růstu odebírají z ovzduší CO_2 a při spalování ho do ovzduší opět vracejí. Jejím množství se činností organismů neustále obnovuje a nedochází tak k jednostrannému narušení rovnováhy prvků a energie v biosféře a k navyšování skleníkových plynů.



Srovnají-li se fyzikální vlastnosti biomasy (objemová hmotnost, výhřevnost, vlhkost) v podobě dřevního odpadu, štěpky a slámy s uhlím, získá se jednoznačný závěr. Biomasa, ať již ve formě odpadu či účelově vyrobená pro energetické účely, musí být zužitkována v místě jejího vzniku, protože dlouhý transport zbytečně zvyšuje její cenu.

³ Název kapitoly včetně dovětky jsem si vypůjčil ze stejnojmenného článku ze dne 11.4.2005 od Ing. Jan Kunc a Ing. Libora Nováka. Celý článek je umístěn na informačním serveru www.tzb-info.cz, recenzentem byl doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Centrální kotelny fungující na biomasu

V České republice jsou v provozu čtyři desítky kotelen, kde se získává teplo spalováním biomasy. Asi ve dvou třetinách z nich se spaluje pouze biomasa, v ostatních také zemní plyn, uhlí, či topné oleje. Celkové náklady na technologii pro spalování biomasy a někde i rozvody a další teplárenská zařízení se již u těchto kotelen blíží částce 2 miliardy korun. Jejich tepelný instalovaný výkon z biomasy přesáhl hranici 120 MW, instalovaný elektrický výkon je zatím ve čtyřech biokotelnách 3 MW. Pro výrobu energie se v uvedených biokotelnách v roce 2006 spálilo 200.000 tun dřevní hmoty, slámy, kůry, štěpky a energetický plodin. Z nich bylo vloni vyrobeno a dodáno odběratelům přes jeden milión GJ tepla za průměrnou cenu 440 Kč/GJ a kolem 12 GWh elektřiny.

Teplem z biomasy je zásobováno přes 18.000 bytů a další občanská vybavenost – úřady, školy, obchody, nemocnice, domovy důchodců, kulturní střediska a podobně. To odpovídá okresnímu městu se zhruba 50.000 obyvateli. Čtveřice biokotelen vyrobila z biomasy elektřinu pro běžnou roční spotřebu 4.000 rodinných domků s 20.000 obyvateli. Biokotelny zásobují lokality s několika desítkami domů (Staré Třebívlice, Jindřichovice pod Smrkem, Moravany u Kyjova, Neznášov u Českých Budějovic, Rybníště u Děčína), ale i soustavy s několika sty i tisíci byty (Pelhřimov, Třebíč, Jindřichův Hradec, Trhové Sviny, Bystřice nad Pernštejnem, Zruč nad Sázavou, Brno - Bystřec). Celkem v obcích a městech s biokotelnami žije přes půl miliónu obyvatel.

V komunálních kotelnách spalujících biomasu do instalovaného výkonu 4 MW s dodávkou tepla až pro 250 bytových jednotek se cena tepla pohybuje od 260 do 320 Kč/GJ. V konečné ceně jsou zpravidla zahrnuty pouze provozní a palivové náklady, nikoliv investice – zejména státní dotace, granty a podobně. Cenu tepla 320 až 420 Kč/GJ kalkulují komunální a ostatní kotelny spalující biomasu s instalovaným výkonem nad 4 MW. Do konečné ceny tepla se promítají částečně nebo úplně investice (i dotace, půjčky, granty), provozní a palivové náklady. Ceny tepla 420 až 570 Kč/GJ mají kotelny nebo i soustavy centralizovaného zásobování teplem, kde se spaluje biomasa, ale i ostatní paliva, zejména zemní plyn nebo topné oleje, dokonce i uhlí. I tady se do konečné ceny tepla promítají částečně nebo úplně investice (dotace, půjčky, granty), provozní i palivové náklady. Nejvyšší cenu tepla mají lokality, kde došlo k modernizaci v posledních letech a kde místo státní dotace mají komerční úvěr, který obec či provozovatel musí splácet.

Na konferenci Svazu zaměstnavatelů v energetice dne 4. 10. 2007 v Brně zaznělo:

200.000 t biomasy ročně spotřebují naše tepelné elektrárny.

200.000 t spotřebují lokální topeniště.

500.000 t exportujeme mimo území ČR.

900.000 t je celkový součet energeticky využité biomasy v ČR.

V uvedeném součtu „nějak“ schází dalších 200.000 t, které spálily naše bioelektrárny (viz první odstavec této kapitoly) a 200.000 t pro individuální topeniště také na mne působí velice skromným dojmem. Statistikou je však možné dokázat téměř vše, záleží jen na způsobu a přesnosti součtu nepřesných čísel, proto jsem ke všem „sumářům“ o využívání a využitelnosti biomasy velice zdrženlivý. Podle jiných součtů v ČR spotřebujeme asi 2 miliony tun biomasy, což se mi již jeví jako věrohodnější údaj.

Využití instalovaného výkonu jednotlivých výtopen

Jako příklad jsem z materiálů Teplárenského sdružení České republiky použil tabulku výtěžnosti (efektivity) výroby tepla, která ukazuje jak velké množství tepla přepočtené na instalovanou 1 MW vyrábějí jednotlivé biokotelný. Většina z nich vznikla za výrazné podpory státu s výjimkou instalace ve firmě Iromez. V Pelhřimově vyrobí na instalovanou MW až desetkrát více tepla z biomasy než v některých biokotelnách. Navíc je s teplem vyráběna v Pelhřimově v kombinovaném cyklu z biomasy i elektřina. To zvyšuje využití zařízení o produkci již uvedených 5000 MWh elektřiny ročně.⁴

Lokalita	dodávka tepla	Instalovaný výkon	výtěžnost výroby
	GJ/rok	MW	TJ/MW
Pelhřimov IROMEZ	122 000	11	11,1
Kardašova Řečice (JH)	40 000	5	8,0
Bouzov (Olomouc)	19 000	2,4	7,9
Jindřichovice p. S. (LBC)	2 300	0,35	6,6
Hostětín (Uher. Hradiště)	4 000	0,73	5,5
Žlutice (Karlovy Vary)	35 000	7,9	4,4
Moravany u Kyjova	1 500	0,35	4,3
Nová Cerekev (Pelhřimov)	8 500	2	4,3
Velký Karlov (Znojmo)	3 800	1	3,8
Hartmanice (Klatovy)	16 300	4,4	3,7
Dříteň (České Budějovice)	7 100	2	3,6
Rokytnice v O.h. (RK)	20 000	5,9	3,4
Svatý Jan n.M. (Kaplice)	2 100	0,68	3,1
Roštín (Kroměříž)	12 000	4	3,0
Deštná (Jindřichův Hradec)	7 400	2,7	2,7
Nová Pec (Prachatice)	7 500	3,3	2,3
Rybniště (Děčín)	2 700	1,5	1,8
Staré Město p.L. (JH)	3 800	2,8	1,4

Jak je patrné z uvedené tabulky, využití instalovaného výkonu v reálném čase je různé a u některých systémů velice nízké, což snižuje jejich ekonomickou návratnost. Při navrhování energetických systémů je nutné postupovat s maximální precizností, aby byl výkon zdroje správně dimenzovaný, je nutné přesně zmapovat stávající energetické potřeby celého systému a výkon zdroje dimenzovat podle jeho potřeb. Postup bych přirovnal k „odvažování na lékárnických vážkách“, protože se jedná o velice nákladné investice.

⁴ Časopis 3T – Teplo Technika Teplárenství č. 5/2007, str.4. Pavel Kaufman - V Pelhřimově začínali na komerční bázi se spalováním biomasy už před patnácti lety.

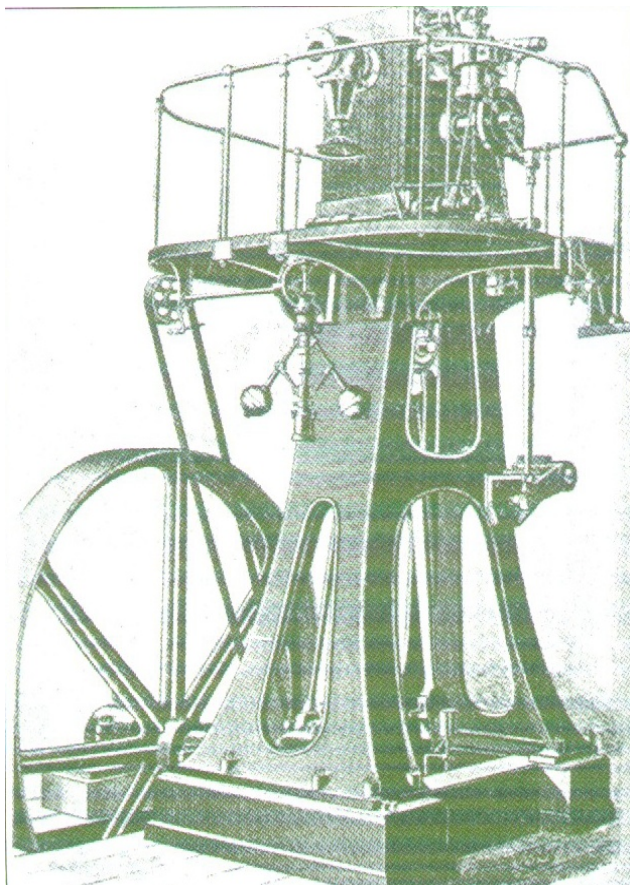
Parní stroj

V roce 1824 vyšla práce *Úvahy o pohybové síle ohně*, jejímž autorem byl Faradayův současník Francouz Sadi Carnot. Jeho práce měla zásadní význam pro další zkoumání tepelných motorů⁵. Jakmile se lidstvu podařilo spoutat sílu ohně do topenišť kotlů, vyrobená pára se opřela do pístů parního stroje a přes klikový mechanismus se přenesla na rotační pohyb, který se zprvu po výrobních závodech rozváděl pomocí transmisí.

„Pohleďte, Sire, zde je to, čemu se celý svět klaní. Síla! Držím ji pevně ve svých rukou. Zmocnil jsem se jí, té, která může zbavit všechny lidi otroctví, té, která může pohnout dějinami víc než všechno, co dosud bylo vytvořeno. Mám sílu! Matthew Boulton, první výrobce parních strojů (1800). Vyobrazený vertikální parní stroj však pochází u roku 1887.

Přibližně ve stejné době k hřídeli parního stroje připojili dynamo a mohl tak vzniknout další citát.

„Zde dávám technice stroj – dynamo – který dokáže vyrábět nejpohodlnější cestou elektrický proud jakékoliv síly. Rozumíte mi dobře? Jakékoliv síly!“ Werner Siemens (1876). Oba Citáty pocházejí z mnohokrát citované Encyklopedie energie, kterou v devadesátých letech minulého století v několika brožovaných sešitech vydala elektrárenská společnost ČEZ.



Na první pohled by se mohlo zdát, že parní stroj již několik desítek let patří na smetiště dějin, kam jej vlivem nízké provozní účinnosti a problémům s kontaminací vodní páry mazivem odsunuly parní turbíny. Dříve tolik nablýskané pístnice, regulátory otáček i setrvačníky si dnes můžeme prohlédnout jen ve sbírkách muzeí nebo při svátečních jízdách parních lokomotiv. PolyComp je však jedním ze subjektů, které „oprašují“ zašlou slávu parního stroje a vracejí jej opět na energetickou scénu.

⁵ Velká kniha o energii str. 155 vydal L.A Consulting Agency, s.r.o. v roce 2001.

Parní motor PM-VS - PolyComp

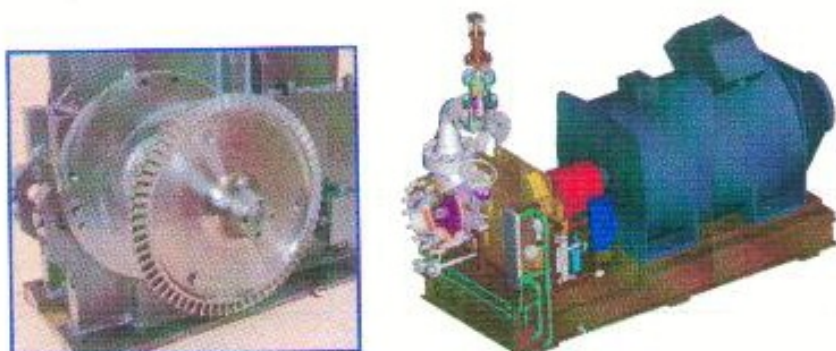
Parní motor byl v rámci soutěže Inovace v roce 2000 oceněn čestným uznáním a také vyhodnocen jako nejlepší exponát na výstavě Aqua-Therm v roce 2000.

Prvním místem instalace tohoto agregátu se v roce 2002 stal podnik Sapelli v Jihlavě, další instalace po sobě následující jsou Lázně Poděbrady, Hermo Servis Nymburk, Bioferm Lihovar Kolín a nakonec Dukol Ostrava, kde jde o kontejnerové provedení. Jak už to u „novinek“ (což je pro parní stroj trochu rozporuplné označení) bývá, po několika tisících hodinách provozu se objevily technické problémy, které si vynutily odstavení motoru včetně zásahu do konstrukce. Všechny uvedené instalace měly (některé ještě mají) ověřovací ráz chodu parního motoru při různých provozních stavech. V současnosti je v ověřovacím provozu parní motor s novými konstrukčními prvky v Lihovaru Kolín, Dukolu Ostrava a v podniku Thermo Servis Nymburk.



Společnost POLYCOMP se sídlem v Poděbradách se v první řadě zabývá dodávkou různých stacionárních i mobilních kotlů instalovaných v kontejnerech a instalací rozvodů páry pro topné i průmyslové systémy. Seznam představuje velice široké a různorodé spektrum zákazníků od sodovkáren, cementáren, cukrovarů, lihovarů, sušáren krmiv, přes nemocnice, mlékárny, masokombináty, různé výrobní podniky, až po teplárny a elektrárny, které spojuje ten nejdůležitější svorník: potřeba topné nebo technologické páry. Technologická pára se používá v mnoha průmyslových odvětvích, ať se jedná o sušení obilovin, nebo třeba vlisování pneumatik. Mnohdy je zcela běžné, že v jednom výrobním podniku se používá několik tlakových a teplotních úrovní páry, ovšem většinou dodávané z jednoho parního kotle. K regulaci tlakové úrovně je možné použít redukční škrťací ventily, kde se v podstatě maří entropie páry (schopnost konat práci).

Daleko efektivnějším způsobem je tzv. [točivá redukce páry](#), kde je nasazena malá, většinou jednostupňová turbína, která vstupující páře odebere požadovanou energii a tu převede na jinou, efektivněji využitelnou formu energie (většinou elektrický proud).



TOČIVÁ REDUKCE TR 320 –DALKIA MORAVA, a.s.

Stejnou funkci „regulační armatury“ plní i parní motor PM-VS. Díky značnému množství realizovaných parních rozvodů u nás i v zahraničí společnost PolyComp disponuje značným okruhem potenciálních zákazníků, proto vidí budoucnost svého motoru právě v takových provozech.



Výrobce ve svých propagačních materiálech výslovně uvádí:

„Parní motor ve spojení s generátorem elektrické energie je schopen zajistit redukci tlaku páry a získanou mechanickou energii převést na elektrickou. Konstrukce parního motoru vylučuje znečištění páry mazacím olejem a je patentově chráněna. Doposud vyvinuté jednotky jsou určeny pro výkony od 10 do 75 kW elektrického výkonu. S výhodou lze oproti parním turbínám zpracovávat menší množství páry při větším tlakovém spádu a také pro provoz parního motoru postačuje sytá pára. Toto zařízení je proto možno použít i do malých technologických procesů. Alternativně pro kolísavý odběr páry lze osadit motor frekvenčním měničem pro výrobu elektrické energie od cca 20 % do 150 % jmenovitého množství páry. Po dohodě se zákazníkem je možno navrhnout motor na vyšší výkon a vyšší množství zpracované páry, stejně tak dohodnout možnost ostrovního provozu, jako náhradního zdroje energie. Vyvedení výkonu do distribuční sítě nízkého napětí 3x400 V / 230 V je provedeno v souladu s platnými předpisy a normami týkajícími se provedení ochrany před nebezpečím dotykového napětí.“

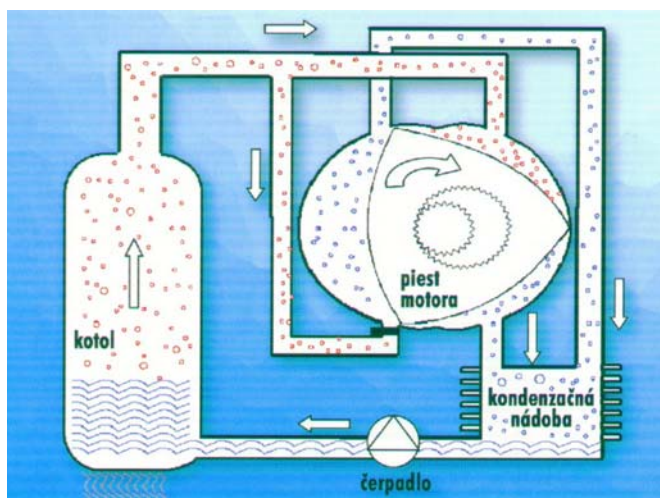
Podle vyjádření pracovníků firmy PolyComp registrují ze strany potenciálních zákazníků velký zájem o parní motory, proto intenzivně pracují na dokončení vývoje. Co se týká předpokládaného množství realizací, na základě marketingového průzkumu předpokládají instalace v desítkách kusů ročně. **Konstrukční budoucnost parního motoru firmy PolyComp se ubírá až k výkonové hranici 500 kW.** Současný energetický příkon parního motoru se pohybuje v oblastech 1 – 1,5 tuny páry hodinově, což představuje el. výkon maximálně 70 kW, který je nejvíc závislý na tlakovém spádu.

Jak bylo uvedeno, parní motor může pracovat jako točivá redukce páry, která si po průchodu motorem může zachovat jistou dále využitelnou entropii. Principiálně je parní motor v tomto případě nasazen jako protitlaká turbína, jejíž elektrická účinnost je relativně nízká – pohybuje se kolem 11 %. Na druhou stranu, jak uvádí výrobce, pokud si uvědomíme, že parní motor firmy PolyComp je navržen jako zařízení nahrazující redukční ventil, u kterého je vedlejším produktem jistý elektrický výkon, můžeme dosáhnout účinnosti až 80 %, bereme-li v potaz jako hlavní produkt tohoto zařízení páru na nižší tlakové hladině. Parní motor však může pracovat jako kondenzační pouze za předpokladu, že je za ním umístěn kondenzátor nízkoparametrické páry, ve kterém je tepelná energie páry převedena do vody. V případě dalšího využití tepla se účinnost výroby elektrické energie zvyšuje právě o hodnotu využitelného tepla a mluvíme již o parní kogeneraci.

V případě, že se firmě podaří zkonstruovat nebo nabídnout a dodat cenově dostupný parní kotel na spalování biomasy, který bude svými parametry odpovídat potřebám parního motoru, může vzniknout úplně nové zařízení. Pokud se podaří efektivně vyřešit kondenzaci vodní páry a využít zbytkový potenciál tepla, otevře se pro tuhle kogenerační jednotku pracující na biomasu úplně nový a daleko širší segment trhu. V případě, že měrná investiční náročnost celého zařízení bude stejná nebo nižší než u parního kotle s turbínou, masovému nasazení již nebude stát nic v cestě a bezesbýtku se naplní již dnes používaný firemní slogan ENERGIE PRO BUDOUCNOST, protože cenově dostupná spolehlivě pracující kogenerační jednotka na biomasu v tomto výkonovém segmentu stále celosvětově chybí a poptávka po konkurenceschopných technologiích stále stoupá.

Nový parní motor s rotačním pístem – Motor pro obnovitelné zdroje energie

Další „vývojovou novinku“ představuje parní motor s rotačním pístem, fungující na principu spalovacího Wankelova motoru s rotačním pístem. Prostřednictvím ventilů je pára střídavě přiváděna vždy jen na jednu stranu pístu, čímž vytváří jeho rotační pohyb, který se přenáší na elektrický generátor, nebo slouží k pohonu jiného mechanického zařízení. Do systému parního oběhu je vřazen kondenzátor, kde dochází k odběru zbytkového tepla. Máme tedy co dočinění s malou kogenerační jednotkou. Tak jako u Stirlingova motoru můžeme tento princip charakterizovat jako motor s vnějším spalováním, tedy tepelný motor pracující na principu expanze vodní páry. Teplonosným médiem však může být i plynná látka nebo jiná kapalina s nižší teplotou varu. Pokud budeme vodní páru získávat spalováním biomasy, prostřednictvím koncentrovaného slunečního záření nebo z geotermálního zdroje, můžeme tak jako v případě Stirlingova motoru hovořit o zdroji využívajícím OZE. Výkonově však zařízení stejně jako Stirlingův motor spadá do kategorie [mikrokogenerace](#).



Skříň motoru i hřídel je v případě prototypového zařízení vyrobena z nerezavějící oceli. Povrch pístu a těsnění motoru je provedeno ze samomazného plastu, který dlouhodobě odolává teplotám do 250 °C. Ložiska v motoru jsou z grafitu nebo karbidu křemíku. Chlazení a mazání vnitřních součástí je zajištěné pracovním médiem. Maximální teplota pracovního média je

250 °C, což napovídá, že motor pracuje na nízkopotencionální páru. To je bezesporu výhodou pro jeho případné komerční rozšíření. Maximální otáčky hřídele motoru představují 1.500 otáček/min. Výkon motoru závisí na velikosti pracovních komor, vstupní teplotě a tlaku pracovního média.

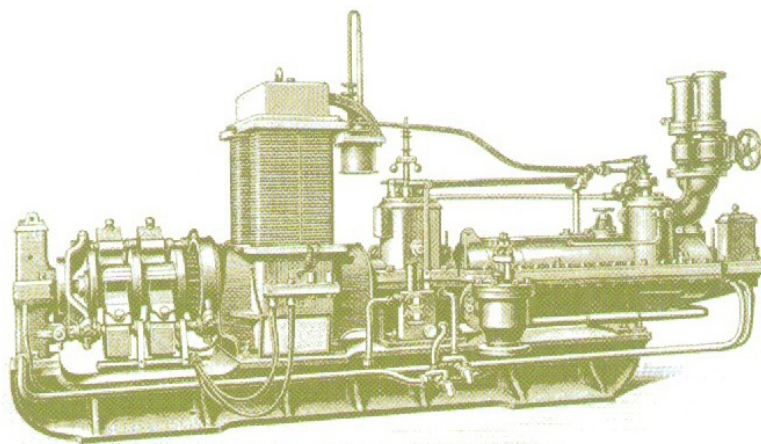


Zpracováno s použitím stejnojmenného článku uveřejněného v časopise AE – 5/2007 a firemních materiálů publikovaných na www.parnymotor.sk.

Parní turbína a technický princip dnešních tepelných elektráren

První prakticky použitelnou parní turbínu sestavil v roce 1883 švédský inženýr Gustaf Laval (1845 – 1913). Nechal veškerý tlak páry přeměnit na rychlost. Pára přes soustavu trysek ofukovala oběžné kolo turbíny, jejíž lopatky byly tak zakřivené, aby se kinetická energie páry co nejlépe proměnila v obvodovou rychlost oběžného kola. Takto konstruovaná turbína dosahovala 30.000 otáček za minutu. Tolik otáček však nebylo průmyslově využitelných, proto se mezi turbínu a el. generátor musela vsadit komplikovaná převodová skříň.

Druhý vynálezce parní turbíny, anglický inženýr Ch. A. Parson (1854 -1931) se vysokým otáčkám vyhnul tím, že nechal páru rozpínat jak v rozváděcích lopatkách nahrazujících trysky, tak mezi lopatkami oběžného kola. Vzhledem k tomu, že tlak páry vstupující do oběžného kola je vyšší než na výstupu, dostala jeho turbína název přetlaková. K plnému využití energie vstupující páry však Parson musel použít většího počtu oběžných kol, vložených mezi větce rozváděcích lopatek. První Parsonova turbína z roku 1884 měla výkon 3 kW. K přímému pohonu dynama byla použita až jeho třetí turbína s dvaceti stupni kol.⁶



Jedna z prvních Parsonsových rovnotlakých parních turbín s dynamem na společném rámu

Princip parních turbín zůstal stejný. Parní turbíny se v mnoha dalších modifikacích používají v dnešních klasických tepelných elektrárnách, kde je tepelná energie transformována na mechanickou v tepelném oběhu, který nazýváme Rankin - Clausiův cyklus. Tento elektrárenský kondenzační cyklus, ve své podstatě složený ze základních termodynamických změn, používá jako pracovní látku vodu resp. vodní páru. Voda na mezi sytosti, která je přivedena napájecím čerpadlem do parního generátoru (kotle), se v něm ohřívá, odpařuje (mění skupenství) a v parním přehříváku dosahuje parametrů tzv. admisní páry (tlak cca 14,5 MPa, teplota cca 530 °C), která je přivedena do parní turbíny. V parní turbíně pára expanduje (přehřátá pára přechází do oblasti syté páry) a následně mění své skupenství v kondenzátoru, odkud je v kapalném stavu kondenzačním čerpadlem dopravována přes zásobní nádrž a případné doplnění zpět do parního generátoru. Termická účinnost takového cyklu (poměr tepla přeměněného na mechanickou práci ku teplu přivedenému do oběhu) se u nejmodernějších elektráren pohybuje na úrovni cca 35 %. Tento technický princip je však v odborné literatuře dostatečně podrobně zmapovaný.

⁶ Velká kniha o energii, str. 142. Vydala L.A Consulting Agency, s.r.o. v roce 2001. Ze stejného zdroje pochází i použitý obrázek.

V Pelhřimově začínali se spalováním biomasy už před patnácti lety

Před 15 lety, když v Pelhřimově společnost IROMEZ kupovala městské tepelné hospodářství, jediným domácím zdrojem na spalování dřeva pro dálkové vytápění byla kotelna v Kardašově Řečici. Ta odpadním dřevem z provozu tužkárny vytápěla část obce. Při naší návštěvě jsme se proto ředitele společnosti IROMEZ Pelhřimov pana Ladislava Duba zeptal na začátky jejich podnikání v teplárenství. „V roce 1992 jsme získali do svého majetku na základě kupní smlouvy od města Pelhřimov dvě výtopny včetně rozvodů a předávacích stanic. Výtopny spalovaly mazut a zemní plyn. Bylo nám jasné, že musíme palivovou základnu změnit. Drahý plyn a mazut nahradila postupně cenově výhodnější biomasa a hnědouhelný generátorový dehet. I díky tomuto kroku jsme mohli zmodernizovat zdroje, veškeré sekundární rozvody přebudovat na dvoutrubkový systém a začít provozovat i tři turbosoustrojí pro výrobu elektřiny. Zatím jsme do změny paliva a rozvodů investovali přes 160 milionů korun. Společnost Iromez tvoří tři společníci jako fyzické osoby, bez účasti státu, města či zahraničního kapitálu.“

Zkušenosti jsme na začátku získávali na prvních výjezdech Teplárenského sdružení do Dánska. Díky nim jsme už na podzim roku 1992 na veletrhu Pragotherm mohli kontaktovat konkrétní dánskou firmu, která svým kotlem vyhovovala našim požadavkům. Další dva a půl roku však ještě trvalo, než jsme v srpnu 1995 zapálili v přestavěné pelhřimovské kotelně nový kotel na spalování biomasy s tepelným výkonem 5 MW. Ročně tenhle kotel spálí kolem 17. 000 tun dřevěného paliva.“

Po pěti letech provozu byl v roce 2000 kotel doplněn malou protitlakou turbínou s instalovaným výkonem 160 kW (pracuje jako točivá redukce páry, která se dále dodává do teplárenské sítě). Dnes tato turbína z biomasy vyrobí 600 MWh elektřiny ročně. Tím využití biomasy v Pelhřimově neskončilo, naopak. K původnímu kotli Volund začátkem roku 2004 přibyl nový kotel Kohlbach s tepelným výkonem 6 MW. Ten byl krátce na to doplněn další turbínou o výkonu 1.000 kW.



„Jedná se vlastně o dvě turbíny,“ dodává pan Dub. „Každá je připojená z opačné strany asynchronního generátoru. Jedna turbína je výhradně protitlaká, druhá je kondenzační s vodním kondenzátorem. Při potřebě dodávky tepla pro město pracuje pouze protitlaký

modul. V případě, že parní síť nepožaduje páru, převádí se pára z protitlaké strany až do kondenzačního modulu. Možná je i kombinace provozu obou modulů. V případě tohoto turbosoustrojí se jako velká přednost projevuje možnost rychlé změny kondenzačního výkonu ve prospěch odběru. Toto umožňuje udržovat maximální výkon kotle bez ohledu na potřeby dodávky tepla do tepelné sítě. Proto dosahujeme vysokého ročního využití maximálního výkonu kotle, které se blíží 8.000 hodinám.“

V současné době u nás tedy pracují dva kotle s celkovým výkonem 11 MW_t a dva turbogenerátory s výkonem 430 kW_e až 1.160 kW_e. Roční spotřeba biomasy je kolem 40 tisíc tun včetně výroby briket, na které spotřebujeme kolem 5.000 tun biomasy. Palivo je sváženo z okruhu do 100 km. Jeho vlhkost se pohybuje od 35 do 50 %. Jedná se především o kůru a dřevní zbytky z různých výrobníků. Cenu paliva až ze 70 % tvoří jeho doprava a manipulace na skládce. Spalování klasické štěpky je pro její vysokou cenu velmi omezené, jedná se o objem do 3 % celkového množství paliva.“

Celková produkce tepla do tepelné sítě je 155 000 GJ. Přes 80 % tepla vyrábí IROMEZ pouze z biomasy. Zbytek tepla dodávají do sítě špičkové plynové a mazutové kotle. Vedle tepla se v Pelhřimově vyrobí z biomasy dalších 5000 MWh elektrické energie. Celé zařízení je pořízeno převážně z komerčních a dodavatelských úvěrů. Skládka paliva je částečně krytá pro 600 tun, částečně venkovní pro 6 až 8 000 tun biomasy, což stačí na čtyřměsíční plný provoz biokotelny.



Ačkoliv hlavní činností firmy IROMEZ s.r.o. je výroba a prodej tepla a elektřiny spalováním biomasy, troufla si i na výrobu biobriket. Ty jsou vyráběny z čistých dřevních zbytků, jako jsou piliny, hobliny, drcená a tříděná kůra. Tyto dřevěné brikety jsou speciálně lisovány za tepla, přirozeně bez jakéhokoliv pojiva pod vysokým tlakem. Zatím se většina z 5.000 tun tohoto ekologického paliva vyváží. V roce 2006 vedení společnosti dokonce rozhodlo o koupi linky na zpracování biomasy, tedy vyvážecí podvozky a štěpkovací stroj. Jeden z důvodů koupě byly stále větší problémy s dodávkami kvalitního paliva. Vložené prostředky do tohoto projektu přinesou z hlediska ochrany přírody díky využití obnovitelných zdrojů energie užitek

nejen firmě, ale vlastně všem. Zájem o zpracování dřevního odpadu, štěpkování zbytků po lesní těžbě, štěpkování dřevního odpadu z údržby měst a obcí i porostů poničených sněhem či větrem je velký. Iromez je schopen vlastní technikou zpracovat dřevní odpad v okolí Pelhřimova do okruhu 50 km.

Je nějaký rozdíl mezi podnikatelským záměrem při spalování biomasy a obecní biokotelnou? Zajímalo nás. Pan Dub se pousmál: „Roční využití maximálního výkonu u nás nesmí klesnout pod 5000 hodin. Pokud by nebylo dosaženo této hodnoty, nebude projekt schopen splácet poskytnuté úvěry. Z toho vyplývá, že projekty bez investičních podpor z veřejných prostředků nelze dimenzovat na maximální potřebný výkon soustavy. Takovéto zdroje musí krýt základní zatížení soustavy a maxima musí být kryta levnými tepelnými zdroji na ušlechtilá fosilní paliva, většinou zemní plyn.“

Celé zařízení je provozováno na komerční bázi, musí si na sebe vydělat a ještě vytvářet zisk. Je to prostě podnikatelský záměr a jemu je vše podřízeno. Platí tu jasně, že ekologicky šetrná výroba se musí vyplácet. Ekologický efekt sice není zanedbatelný, ale jen pro něj nelze tato zařízení provozovat. Tak to spíše vypadá u některých biokotelen za desítky miliónů státních podpor a grantů.

Po patnácti letech máte jistě hodně zkušeností. Jak jste sám přiznal, ze dvou třetin u vás konají návštěvy zástupci municipality, z jedné třetiny podnikatelé. Co byste například poradil starostovi, který chce postavit biokotelnu v obci. „Sami jsme zkoušeli nejdříve zjistit si množství biopaliva v okolí. Udělali jsme okruh kolem Pelhřimova a rozjeli se na pily. - Ano. Vemte si, co tu mám a třeba zadarmo. - říkali nám skoro na každé pile. - Ale jestli to bude i za půl roku, to vám nemůžu slíbit. A za jakou cenu, to nevím. Přejde nový majitel. Přeplatí vás někdo jiný a je to. – To byl obvyklý dodatek. V okolí je několik desítek pil. Když jich pár krachne, jejich práci si rozdělí ostatní. Biomasa tu tedy bude. Spálíme ročně 40.000 tun a nebyl by problém získat i 60.000 tun. Rezervy tu ještě stále jsou. Pokud by přišel starosta s nápadem na biokotelnu, jako opozičního zastupitel by mne po zkušenostech nezajímalo, jestli má zajištěno palivo. Ale ekonomická rozvaha projektu. Kolik to bude stát, jaký bude výkon kotelny, kolik ročně prodáme tepla a musíme utržit. Z toho vypočteme, kolik by stál GJ a zjistíme, kolik odběratelů se při té ceně připojí. Zdůrazňuji, že paliva je dostatek, je otázkou, za jakou cenu. Ale to se promítne do rozvahy.

Každé zastupitelstvo se zatím ptá starosty, napřed nám dolož že máš zajištěné palivo. Vypadá to logicky. Pokud tím chce ale starosta začínat, tak to zrovna může zabalit, tudy cesta nevede. I když bude mít smlouvy na palivo, pila zkrachuje a nic nedostanete.“

Tak tohle všechno vzkazuje provozovatel naší nejstarší kotelny na biomasu s výrobou elektřiny všem potenciálním provozovatelům.

A co chystají v Pelhřimově nového? Na biomasu se žádné povolenky k vypouštění emisí nedostávají. Tak je mají v Pelhřimově alespoň na topný olej. Aby mohli prodat povolenky, musí snížit spotřebu mazutu. K tomu by měla sloužit na druhé kotelně další kogenerace a spalování biomasy. Z uvolněných nádrží po mazutu budou pak nádrže akumulární. Na ně se ale musí nejdříve vydělat. Část nákladů se vrátí v prodaných povolenkách, část v ceně elektřiny. Ale nejdříve musí v Pelhřimově investovat⁷.

⁷ Časopis 3T – Teplo Technika Teplárenství č. 5/2007, str.3-4 Pan Pavel Kaufman - V Pelhřimově začínali na komerční bázi se spalováním biomasy už před patnácti lety.