

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 výroby 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 této 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, roxy a zemního plynu, kolik se jich tam vytvořilo během předcházejících dvou milionů let.“ Fosilní paliva tak nenávratně mizí v kotlích elektráren, výtopen 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 prapředek 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 desetimilióntina 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 jednolitý 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

Elektřina 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 uvažují 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
Cena 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

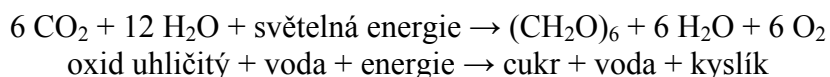
Biomasa jako palivo³

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

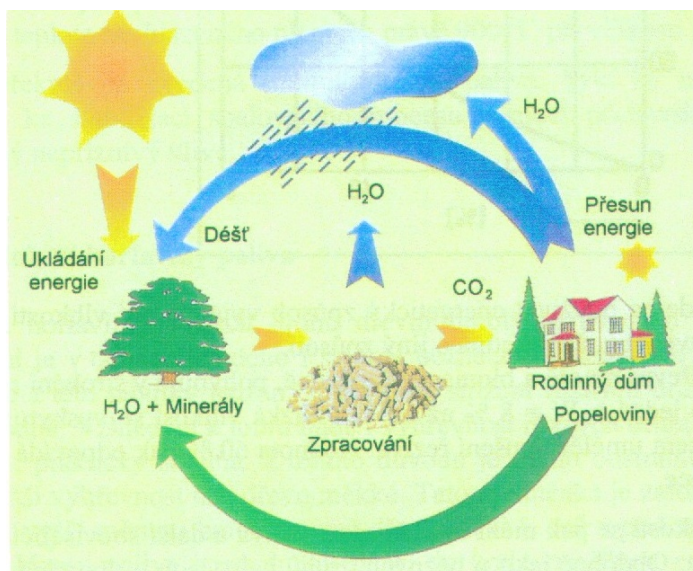
Spalováním fosilních paliv vzniká velké množství znečišťujících látek, především však oxid uhličitý, který byl takto navázán z prostředí za miliony let v období, kdy ještě homo sapiens neobýval tuto planetu. Dění kolem nás, především globální oteplování a klimatické změny tak, jak je pociťujeme stále 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. Její 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, štěrky 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 dovětku jsem si vypůjčil ze stejnojmenného článku ze dne 11.4.2005 od Ing. Jan Kuncce 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 - Bystrc). 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 využití 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 (efektivitu) výroby tepla, která ukazuje jak velké množství tepla přepočtené na instalovanou 1 MW vyrábějí jednotlivé biokotelny. 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.

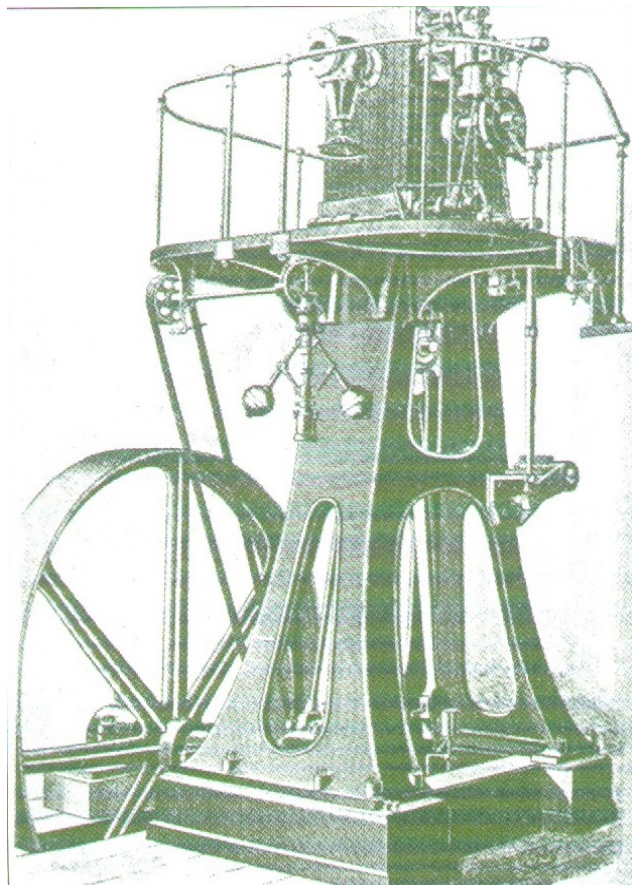
Parní stroj

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

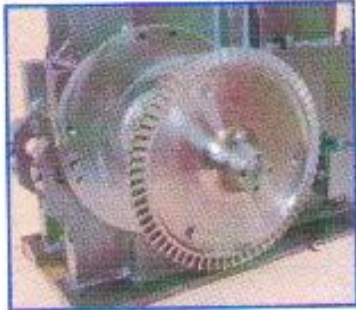
Parní motor byl v rámci soutěže Inovace v roce 2000 oceněn čestným uznáním a také vyhodnocen jako nejlepší exponát na výstavě Aqua-Therm v roce 2000.

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 Poděbradech 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.“

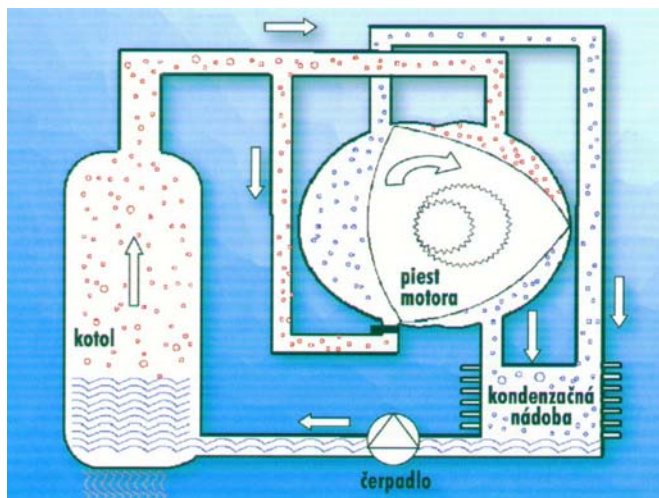
Podle vyjádření pracovníků firmy PolyComp registrují ze strany potenciálních zákazníků velký zájem o parní motory, proto intenzivně pracují na dokončení vývoje. Co se týká předpokládaného množství realizací, na základě marketingového průzkumu předpokládají instalace v desítkách kusů ročně. **Konstrukční 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 nejméně 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 bezesbytku 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.

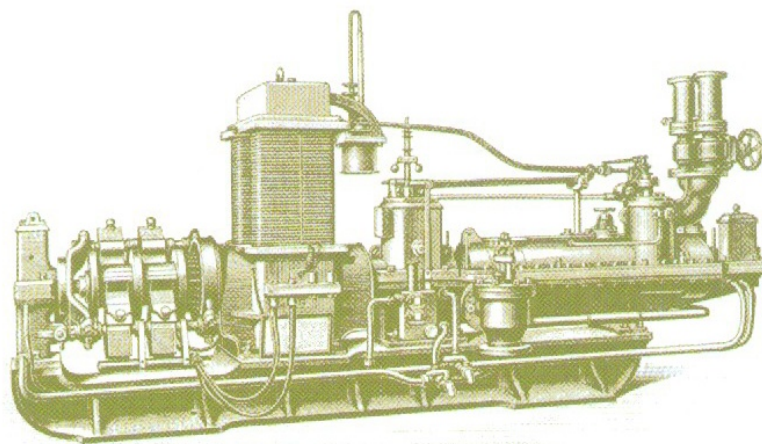


Zpracováno s použitím stejnojmenného článku uveřejněného v časopise AE – 5/2007 a firemních materiálů publikovaných na www.parnymotor.sk.

Parní turbína a technický princip dnešních tepelných elektráren

První prakticky použitelnou parní turbínu sestrojil 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 tužkárný 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 dál 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 výroby. 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 být kryty základní zátěží 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.

Kotle na spalování biomasy z PBS

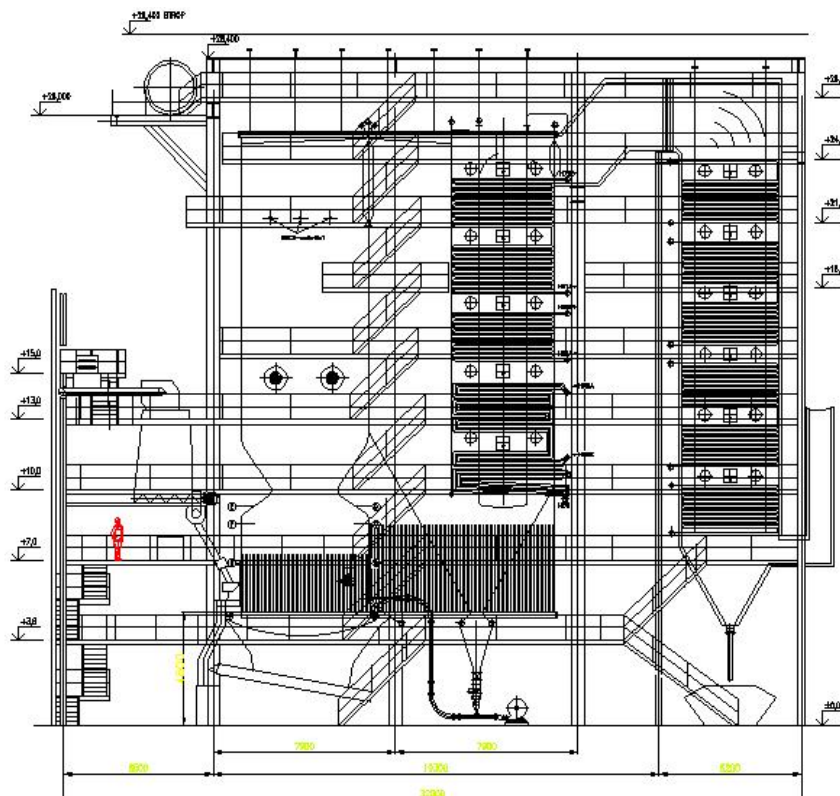
V posledním období je věnována velká pozornost spalování paliv z kategorie obnovitelných zdrojů. Řada jednotek o výkonu 20 až 50 MW_t byla postavena v zemích Evropské unie, zejména v Německu. Díky dotacím, které vlády některých zemí takovým projektům poskytují, se realizace jinak finančně náročných projektů stává pro investory přitažlivější a následně je touto cestou dosahováno hlavního cíle – snížení spotřeby klasických paliv, především zemního plynu a uhlí se všemi pozitivními dopady na životní prostředí.

Široce dostupné palivo, které patří do této kategorie obnovitelných zdrojů, je biomasa, a to jak původní, jako je kůra, dřevo a rychle rostoucí zelené plodiny, tak i sekundární, což je vesměs použitý stavební odpad, včetně kontaminovaného dříví a dřevního odpadu z nábytkářské výroby.

První brněnská strojírna postavila v sedmdesátých letech kotle spalující biomasu na roštu a v pomocném cyklonu. Jednotky o výkonu 12 t/h byly i přes některé potíže úspěšně zprovozněny a splnily základní účel, výrobu tepla spalováním odpadu při zpracování dřeva. V té době nebyly požadovány přísné emisní limity.

Vývojem moderních kotlů spalujících biomasu při dosažení nejpřísnějších emisních limitů jsme se začali zabývat opět až po r. 2000. Impulsem pro to byly četné požadavky investorů v Německu, kde výroba el. energie z biomasy má podporu.

Obrázek kotle spalujícího biomasu o výkonu 55 t/h, teplotě 450 °C a tlaku 70 bar.



V letech 2002 až 2005 PBS realizovala dva kotle spalující kontaminovanou biomasu o výkonu 55 a 52,2 t/h v městech Wicker a Pforzheim.

Zadávací podmínky a naše řešení pro kotle v Německu byly následující:

a/ Spalování kontaminované biomasy jako je lakované nebo penetrované dřevo, stavební dřevěný odpad, dřevotříska a podobně.

Palivo v menším procentuálním poměru obsahovalo také plasty, hlinu, kamení a jiné nespecifikované příměsi. Výhřevnost paliv je od 12 do 17 MJ/kg při obsahu vody 10 až 30 %. Pro spalování takové široké škály paliv byl použit pásový rošt s pohazováním paliva pomocí vzduchu. Při pohazování dochází k předsušení a vyhoření větší části paliva (cca 70 %) ve vzhledu nad roštem, větší částice dohořívají na roštu.

b/ Ochrana tlakových částí kotle proti vysokoteplotní korozi.

Na základě definovaného obsahu chloru, síry a některých dalších prvků by docházelo při spalování k vysokoteplotní korozi kovových teplosměnných ploch. Konkrétním konstrukčním řešením spalovací komory, výparníku a přehříváků a nastavením správných teplotních poměrů je tomu zabráněno a nedojde ke zkrácení životnosti žádné části kotle.



c/ Opatření proti tvorbě dioxinů.

Při spalování kontaminovaného dřeva dochází ke tvorbě dioxinů.

Pro zabránění tvorbě dioxinů je nutno zaručit setrvání spalin v teplotách nad 850 °C po dobu minimálně 2 sec. při všech provozních stavech. S ohledem na tuto podmínku byly navrženy rozměry spalovací komory a teplotní charakteristika vyzdívky. Kotel je vybaven stabilizačními hořáky pro najetí a které také zabrání poklesu teploty pod 850 °C při nižších výkonech a při spalování dřeva s horší výhřevností.

d/ Maximální účinnost kotle a celého bloku.

Parametry páry z kotle byly na základě řady analýz stanoveny takto: tlak 70 bar, teplota 450 °C. Vyšší hodnoty jsou s ohledem na nebezpečí chlorové koroze nevhodné. Účinnost byla dosažena přes 92 % díky nízké odchozí teplotě spalin (140 °C) a minimálnímu přebytku vzduchu (3 % O₂ ve spalinách).

e/ 8.000 provozních hodin za rok.

Kotel je navržen tak, aby delší inspekce a údržba kotle byla prováděna 2x za rok, vždy po 4.000 hodinách chodu. Všechny dodatkové plochy jsou vybaveny účinnými parními ofukovači a podmínky přestupu tepla jsou prakticky neměnné po celou dobu chodu. K žádnému dalšímu zanášení kotle, které by vyžadovalo přerušování provozu, nedochází.

f/ Minimální struskování kotle.

Zabránit nadměrnému struskování zejména při spalování paliva s vyšší výhřevností je možné pomocí řízení teploty spalování recirkulací spalin. Pro dosažení dostatečně nízké teploty stěn byla instalována vyzdívka z SiC desek, která má vysokou vodivost a dobré mechanické a tepelné vlastnosti.

g/ Emisní limity: CO pod 50 mg/Nm³, NO_x pod 200 mg/Nm³.

Instalované kotle dosahují díky dokonale řízenému spalování nízkých emisních limitů, které požadují regionální úřady životního prostředí. Emise NO_x jsou sníženy vstřikováním močoviny do prostoru na konci spalovací komory.

h/ Bezobslužný provoz.

Kotle byly vybaveny řídicím systémem a přístroji pro bezobslužný provoz. Tato výbava slouží pro zvýšení bezpečnosti provozu, vlastní provoz kotlů je s běžnou obsluhou.



Náročným zkušebním provozem a ověřovacím měřením kotlů, které provedly nezávislé instituce, se prokázalo splnění všech zadávacích podmínek a garantovaných hodnot. Stejně tak byla potvrzena provozní spolehlivost a bezporuchovost kotlů a příslušenství, které byly dodány formou na klíč.

V rámci projektu Výzkumu a vývoje byla za finanční podpory ze státních prostředků poskytnutých prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v letech 2004 a 2005 na kotli projektu Pforzheim provedena řada úprav a zlepšení.

Tímto byla vytvořena a ověřena koncepce a konstrukce kotle spalujícího širokou škálu paliv. Jde po technické i cenové stránce o vysoce konkurenceschopný produkt.

Všechny dosavadní zkušenosti umožnily technikům PBS modifikovat výše popsanou technologii a připravit nové návrhy kotlů spalujících také tak zvanou čistou biomasu, tj. štěpku, piliny, kůru a některé rychle rostoucí plodiny a biologické odpadní materiály.

Technické řešení těchto kotlů je poněkud odlišné, spalované palivo má vesměs nízkou výhřevnost, vysoký obsah vody a některé další odlišnosti.

PBS připravuje realizaci první kotelní jednotky o výkonu 25 t/h, tlaku páry 52 bar a teplotě 450 °C pro energetickou centrálu ve velkém dřevozpracujícím závodě v ČR.



- Spotřeba paliva je cca 12,5 t/h – s ohledem na aktuální výhřevnost
- Instalované kondenzační turbíny mají výkon 13 až 15 MW_e
- Účinnost kotlů je nad 92 %

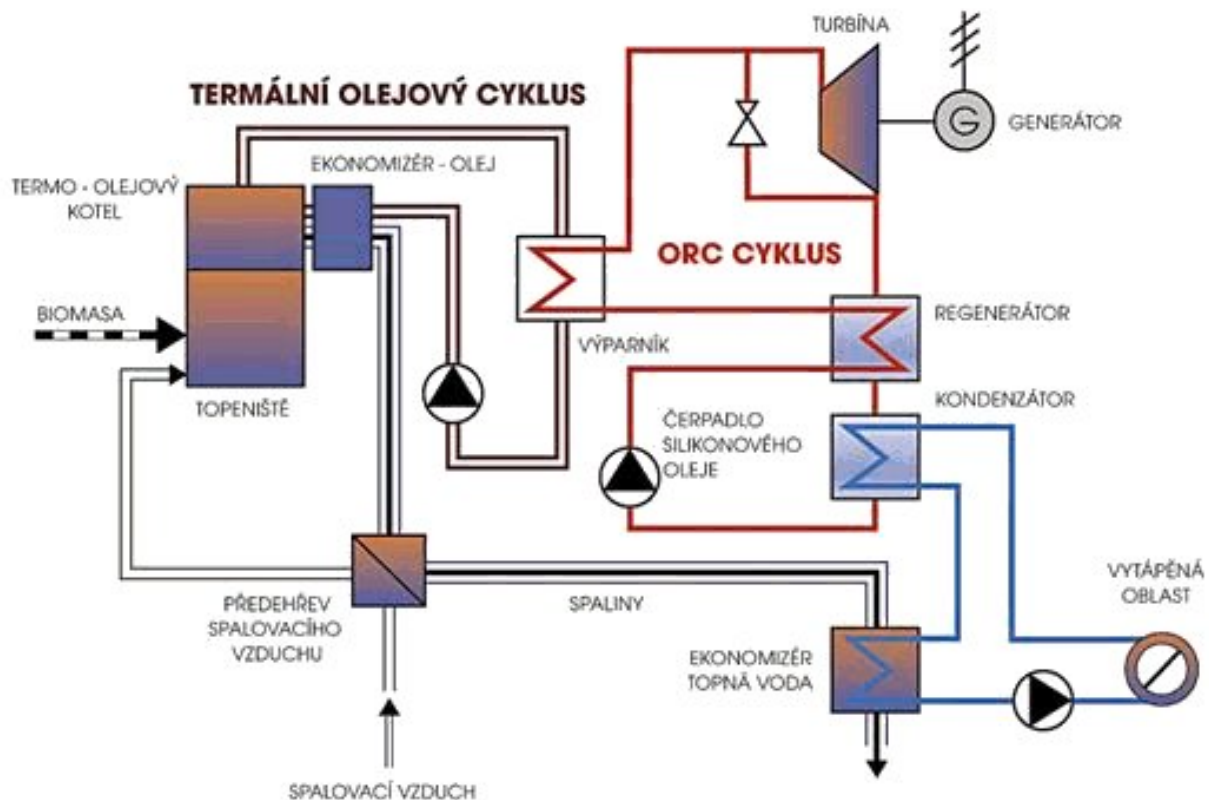
Materiál připravil: Ing. Vladimír Kroča – technický ředitel První brněnské strojírny Brno DIZ, Hlinky 110, 656 11 Brno.¹

V přílohové části najdete technické specifikace obou uvedených kotlů pracujících v Německu.

¹ Energetické kotle na spalování biomasy české konstrukce – Ing. Jiří Kroča 3T – Teplá Technika Teplárenství, číslo 1/2007.

Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC) je v podstatě elektrárenský kondenzační cyklus, který používá namísto vody resp. vodní páry jako pracovní látku v primárním okruhu směs organických sloučenin (silikonový olej), které jsou svými termodynamickými vlastnostmi vhodné k použití v tepelném oběhu. Výhodou oleje je, že při dané teplotě (např. 300 °C) se udrží v kapalném stavu při značně nižším tlaku než voda. Ve výparníku předává olej teplo do sekundárního okruhu, kde se pracovní organická látka vypařuje, dosahuje většího tlaku než má olej a organické páry jsou vedeny do parní turbíny, kde expandují. Pára je za turbínou vedena do kondenzátoru, kde kondenzuje po odebrání výparného tepla chladicí vodou, která pak dodává teplo do objektů připojených na tuto tepelnou síť. Organické látky použité jako náhrada vody v sekundárním tepelném oběhu musí samozřejmě splňovat přísné předpisy a normy ve vztahu k životnímu prostředí.



Schematické uspořádání ORC cyklu při využití kogenerace z biomasy

Z kondenzátoru je náplň ORC dopravována čerpadlem přes regenerátor zpět do výparníku. Spaliny z olejového kotle jsou využity jednak k předehřevu vlastní olejové náplně a předehřevu spalovacího vzduchu pro olejový kotel, jednak k dohřevu topné vody na požadované parametry pro okruh CZT.

Typické využití ORC se nabízí ve spojení s kotelny na biomasu, kde je primární energie v palivu využita jednak na výrobu tepla, ale i elektrické energie. V takovém případě je celková účinnost kogenerace cca 85 %. Jen pro porovnání, v klasické tepelné elektrárně, kde je teplo z kondenzace odvedeno do okolí, se dosahuje celkové účinnosti cca 30 %. Jaderná elektrárna Temelín pracuje s účinností 32 %, Dukovany vlivem nižší teploty páry s účinností 26 %. Další cca 12% elektrické energie se ztratí při transformaci a v rozvodech². (Je zcela zřejmé, že s potenciálem biomasy tepelné elektrárny nahradit nelze, ale uvedené srovnání ukazuje, že je téměř povinností státní energetické

² Poznámka autora

politiky, aby byla kogenerace z biomasy preferována zřetelněji než doposud.) Parní generátor je zde nahrazen olejovým kotlem a výparníkem. Olej ohřátý v tomto kotli je využíván jako teplotonosná látka, jež přes výparník předává své teplo pracovní látce uzavřeného sekundárního okruhu ORC. Vzniklá sytá pára organických sloučenin je vedena na axiální turbínu, která je přímo spojena s generátorem elektrické energie. Teplo z kondenzátoru, ve kterém náplň ORC okruhu mění své skupenství zpět do kapalné fáze, je vedeno k dalšímu využití (kogenerace). Při vhodném navržení tepelného oběhu lze toto teplo využít např. v systému CZT, případně k jiným účelům. Nabízí se využití u dřevozpracujících provozů k sušení řeziva, kde je kotelná přímo u zdroje paliva.

Provozní výhody ORC oproti parní turbíně

- systém je schopen využívat energii s relativně nízkou teplotou
- vysoká účinnost turbíny, zejména při částečném zatížení
- nízké otáčky turbíny umožňující přímý pohon generátoru
- zanedbatelná eroze turbínových lopatek (nepřítomnost kapiček pracovního média)
- nízké mechanické namáhání částí turbíny v důsledku nízké obvodové rychlosti
- možnost jakékoli regulace výkonu turbosoustrojí v celém výkonovém rozsahu
- celý cyklus pracuje s teplotou max. 300 °C a tlakem do 10 barů – vyšší životnost zařízení
- kotle mají dvojnásobnou životnost tlakových dílů – nízký tlak, teplota a chemické vlastnosti oleje
- nenáročnost na obsluhu zařízení, on-line monitoring stavu – bezobslužný provoz
- minimální nároky na stavbu a požadovaný prostor
- odpadá jakákoli chemická úprava jednotlivých médií
- vysoká pracovní spolehlivost při nízkých provozních nákladech

Celá kapitola popisující klasický i organický Rankinův cyklus vyjma označené poznámky autora pochází z článku *Biomasa – efektivní palivo pro ORC technologii*, který zpracovali Ing. Jan Kunc a Ing. Libor Novák. Recenzentem převzatého materiálu článku byl Ing. Karel Brož. Text článku pochází z informačního serveru www.tzb-info.cz, kde byl publikován dne 11. 4. 2005. Ze stejného zdroje, ovšem ze dne 7. 11. 2005, pochází popis technologie ORC, realizované v Trhových Svinech, uvedený v článku *ORC technologie (II) v realizaci – Trhové Sviny*, zpracovaném Ing. Janem Kuncem. Z uvedeného zdroje rovněž pochází fotodokumentace z výstavby teplárny ORC v Trhových Svinech.

Teplárna na biomasu s technologií ORC – Trhové Sviny

Město Trhové Sviny, ležící v Jihočeském kraji v nadmořské výšce 458 m, je vstupní branou do Novohradských hor. Žije zde zhruba 4800 obyvatel.



K slavnostnímu spuštění nového zdroje tepla s jednotkou ORC došlo za účasti ministra životního prostředí pana Libora Ambrozka ve čtvrtek 3. listopadu 2005.

Historie centrálního zásobování teplem ve městě Trhové Sviny sahá do roku 1977, kdy se začalo s budováním soustavy CZT. Hlavním zdrojem tepla byla výtopna spalující hnědé uhlí s celkovým tepelným výkonem 12 MW_t. V letech 1993 - 1997 byly hnědouhelné kotle postupně nahrazovány kotli plynovými o celkovém tepelném výkonu 8,73 MW_t. Tepelné hospodářství města Trhové Sviny s.r.o., jež je provozovatelem centrální kotelny, hledalo způsob zajištění vhodného alternativního zdroje tepla, a proto byl koncem roku 1999 spuštěn kotel na spalování biomasy (dřevní štěpka, piliny, kůra) o tepelném výkonu 2,5 MW_t, na který mimochodem město získalo dotaci od České energetické agentury ve výši 3 mil. Kč. Dobré zkušenosti s výrobou tepla z biomasy, zejména jeho celoroční využití, snížení provozních nákladů a v neposlední řadě do jisté míry nezávislost na dodávkách zemního plynu, vedly provozovatele k úvahám o rozšíření výroby tepla z tohoto obnovitelného zdroje. Proto byla v dubnu v roce 2004 zahájena instalace dalšího kotle na spalování biomasy, tentokrát s využitím biomasy při společné výrobě tepla a elektrické energie se systémem ORC. V současné době jsou v teplárně instalovány tyto hlavní zdroje:

- 3 plynové kotle (3 x 2,91 MW_t), z nichž jeden je ve stavu studené zálohy
- kotel na spalování biomasy o tepelném výkonu 2,5 MW_t
- termoolejový kotel na spalování biomasy o tepelném výkonu 3,5 MW_t
- jednotka ORC o elektrickém výkonu 0,6 MW_e
- 2 plynové KJ o celkovém elektrickém výkonu 44 kW_e a tepelném výkonu 90 kW_t

Rozvod tepla, provedený pomocí dvoutrubkového předizolovaného potrubí, byl z původní délky 5,3 km rozšířen v rámci instalace technologie ORC na současných 8,4 km.

V provozu teplárny mají prioritu oba kotle spalující biomasu, přičemž maximální roční využití se předpokládá u termoolejového kotle, který je zdrojem tepla pro jednotku ORC. Jako špičkové zdroje v dodávce tepla slouží dva plynové kotle (palivo zemní plyn). Principiální skladba jednotlivých celků je totožná jako u předchozích dvou instalací (Lienz, Třebíč), liší se pouze v některých částech.

Dávkování paliva z denního skladu paliva do termoolejového kotle je zabezpečeno přesuvným hydraulickým dopravníkem, rošt kotle je šikmý posuvný s přívodem spalovacího vzduchu pomocí spalinových ventilátorů.



Obr.1 - Instalace kotle termoolejového kotle na biomasu



Obr.2 - Pohled do spalovací komory (posuvný rošt) po usazení a před instalací vyzdívky

Spaliny z kotle proudí přes olejový výměník, ekonomizéry oleje a vody do odlučovače tuhých částic (multicyklonu) a následně do komína. Před vstupem do komína mají teplotu cca 200 °C. Odvod popela ze spalovací komory do venkovního kontejneru zajišťuje dopravník popele.

Kogenerační jednotka ORC pracuje na principu popsaném v předchozí kapitole. Její elektrický výkon je 0,6 MW_e. Termoolej předehřátý v olejovém ekonomizéru (spaliny/termoolej) a v olejovém výměníku kotle ohřátý na 300 °C je zavedený buď do výparníku jednotky ORC nebo do výměníku přímého ohřevu topné vody (podle potřeby) a dále zpět do olejového ekonomizéru. Havarijní chlazení okruhu termooleje je řešeno pomocí nádoby s trubkovým výměníkem termoolej/voda s přímým odparem vody z této nádoby do okolního prostředí. Systém zapojení okruhu topné vody kogenerace je oddělen od ostatního topného teplovodního systému kotelny hydraulickým vyrovnávačem dynamických tlaků. V teplárenském režimu provozu (jednotka ORC je mimo provoz) je ohřev topné vody zajišťován pomocí výměníku termoolej/voda a dále přes výměník spaliny/voda (vodní ekonomizér). Regulace se provádí na straně termoolejového okruhu.



Obr.4 - Instalace olejového a vodního ekonomizéru

V elektrárenském režimu provozu (jednotka ORC je v provozu), je topná voda vedena od hydraulického vyrovnávače dynamických tlaků přes dochlazovací výměník (teplota topné vody 60 °C) do kondenzátoru jednotky ORC, kde se ohřívá na teplotu cca 80 °C. Dále je topná voda vedena přes vodní ekonomizér, kde se dohřívá na požadovanou teplotu, zpět do hydraulického vyrovnávače dynamických tlaků a odtud k odběru do topné sítě. Teplota topné vody na výstupu z vodního ekonomizéru je regulována škrcením na straně spalin. Maximální teplota topné vody do okruhu topné sítě je 110 °C.



Obr.5 - Instalace modulu ORC



Obr.6 - Pohled na vlastní turbínu jednotky ORC

Jelikož je nutné při provozu jednotky ORC udržovat teplotní spád topné vody na kondenzátoru 80/60 °C, je v okruhu topné vody vložen dochlazovací výměník, který udržuje teplotu topné vody před vstupem do kondenzátoru pod 60 °C. Tento výměník je zapojen ve vloženém okruhu s nemrznoucí směsí, jehož chlazení zajišťují výměníky vzduch/nemrznoucí směs s axiálními ventilátory.

Na uvedeném informačním serveru www.tzb-info.cz rovněž najdete podrobnější popis technického principu i další článek ze dne 26. 11. 2005 - **ORC technologie v Trhových Svinech**, který je zpracovaný Ing. Miroslavem Bílým z pohledu generálního projektanta celé stavby. Tento text technicky přesně doplňuje, upřesňuje a rozvíjí výše uvedené pasáže. Svým rozsahem však již překračuje rozsah i náplň téhle práce, proto pouze pro případné zájemce uvádím odkaz ke stažení.

Tabulka měrné investiční náročnosti jednotlivých systémů a ORC

Název projektu	Výkon e. (MW)	Výkon t. (MW)	Investice do zdroje (Kč)	Měrné investiční náklady (Kč/kWe.)
IROMEZ - Pelhřimov	1	4,9	85 000 000	85 000
ORC – Třebíč – sever	1	6,6	120 000 000	120 000
ORC- Trhové Sviny	0,6	3,5	85 000 000	141 000

Investor systému ORC v Trhových Svinech zveřejnil i strukturu financování (50 % - dotace SFŽP, 30 % - půjčka SFŽP, 10 % - vlastní zdroje, 10 % - dotace Rakousko), která ukazuje nutnost použití různých dotačních titulů. K investici do zdrojové části a samotné technologie je nutné připočítat dalších cca 10 mil. Kč do teplovodních rozvodů, které již v Třebíči i Pelhřimově byly vybudovány z dřívějšího období, ale i tak bylo všude nutné investovat do budov, skládky paliva i mechanismů zajišťujících přípravu paliva. Tabulka na následující straně v případě systémů ORC uvádí orientační celkové investiční náklady.

Tabulka uvádí porovnání s podobnou ORC teplárnou v Třebíči, která byla první spuštěnou realizací ORC technologie v ČR a s teplárnou v rakouském Lienzu

			Stadtwärme Lienz	ORC teplárna Třebíč	Teplárna Trhové Sviny
Palivo			dřevní štěpka	dřevní štěpka	dřevní štěpka
Tepelný výkon kotle		MWt	5,8	6,6	3,5
Výkon jednotky ORC	tepelný	MWt	4,65	5,38	2,8
	elektrický	MWe	1	1	0,6
Účinnost zařízení při jm. výkonu	tepelná	%	80	80,5	80
	elektrická	%	18	17	17,1
Roční využití jednotky ORC		hod/rok	7200	5500	7000
Dodávka tepla z biomasy *		MWh/rok	60000	35800	8400
Dodávka el. energie z biomasy		MWh/rok	7200	5500	4200
Průměrná cena paliva		Kč/t	1250	720	350
Celková investice **		mil. Kč	231	194	115
Uvedení do provozu		rok	2003	2005	2005
Celkový tepelný výkon teplárny ***		MWt	24,5	44,4	14,8
Délka rozvodů SCZT		m	37500	14700	8400

Tabulka porovnání technických parametrů jednotlivých realizací

- u teplárny Lienz se jedná o teplo vyrobené z obou kotlů na biomasu
- ** obtížně porovnatelné, obsahují různé technologické části a stavební objekty
- *** jedná se o celkový instalovaný tepelný výkon všech spalovacích zařízení



Celkový pohled na Městskou teplárnu Lienz

ORC Teplárna TTS Třebíč – Sever

Dne 2. 6. 2005, týden po slavnostním uvedení do provozu modulu ORC v třebíčské teplárně „sever“, jsem se zúčastnil vzdělávacího semináře ***Možnosti výroby elektřiny z biomasy v podmínkách ČR***. Spolupořadatelem uvedené vzdělávací akce bylo Sdružení pro biomasu CZ – BIOM. Od přednáškového pultu se nesla celá řada chvalořečí i chvalozpěvů z úst politiků i odborníků. (Akce probíhala ve velkém sále třebíčského divadla.) Součástí programu byla také prohlídka čerstvě spuštěného modulu ORC. Co se týká historie a postupného budování teplárny, zástupce provozovatele uvedl:

Geneze třebíčské teplárny, která by se dala z pohledu zdrojů paliv charakterizovat slovy “od uhlí přes plyn k biomase”, je v mnohém poučná. Zajímavostí je mimo jiné její postupná modernizace, optimalizace a doplňování technologie teplárny zařízeními převážně tuzemského (a přímo třebíčského) původu a současně i promyšlená strategie využívání několika druhů paliv s postupným nárůstem podílu energetické biomasy.

Historie kotelny sahá do roku 1987, kdy byla uvedena do provozu jako tepelný zdroj spalující tuhá paliva pro areál učiliště ČEZ JE Dukovany. Pro potřeby učiliště však byla kotelná několikanásobně výkonově předimenzována (stejně jako další, postupně rušené kotelny ve městě), a proto došlo v roce 1991 k jejímu odstavení a k plynofikaci areálu učiliště. Třebíčská společnost TTS energo tento areál (budovu kotelny, komín a plochu pro skládku paliva) s demontovanou technologií v prosinci roku 2000 zakoupila a začlenila ho do svého projektu koncepce zásobování teplem a TUV v severní části Třebíče (pro lokality Hájek, Nové Dvory, Brněnská). Od počátku byl projekt koncipován jako vícepalivová ekologická teplárna.

V následujících letech pak byly v kotelně postupně instalovány dva kotle na spalování zemního plynu o celkovém tepelném výkonu 10 MW_t, a v lednu 2002 i první kotel na spalování biomasy o tepelném výkonu 3 MW_t. Dále byly instalovány dvě kogenerační jednotky na zemní plyn o celkovém tepelném výkonu 0,4 MW_t, a celkovém elektrickém výkonu 0,272 MW_e.

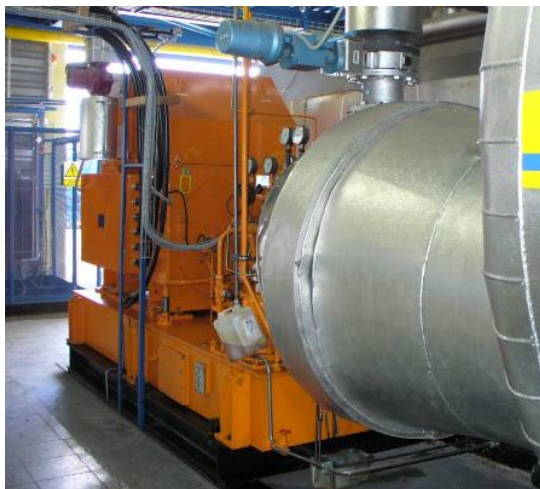


V lednu roku 2005 byl spuštěn termoolejový kotel na spalování biomasy o tepelném výkonu 7 MW_t, který je využit pro současný ohřev pracovní látky okruhu ORC. Po zkušebním provozu byla jednotka 1. června oficiálně spuštěna. Provedení a zapojení termoolejového kotle na spalování biomasy umožňuje kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie nebo pouze výrobu tepla, kdy je veškeré teplo z termoolejového okruhu vedeno přes paralelní výměník olej/voda a přes vložený okruh voda/voda do systému centrálního zásobování teplem. Denní výkyvy v potřebě tepla a teplé vody bude překonávat zásobník o objemu 1.800 m³, což umožní plynulý chod kogenerační jednotky ve stálém režimu.

Nebude se již podrobně věnovat technickému popisu, protože je dostatečně uvedený v předchozích kapitolách, pokusím se však zachytit „dojem“, který se mi z návštěvy uvedeného zdroje zchoval. Při prohlídce teplárny ORC jsem se nemohl zbavit pocitu, že je to taková malá „atomová katedrála“³. K navození tohoto dojmu přispěly hlavně všudypřítomné vibrace a velikost celé stavby. Jen akumulční zásobník, který vyrovnává disproporci mezi spotřebou tepla ve městě a výrobou ve zdroji, má objem 1.800 m³ (válec vpravo na fotografii z předchozí strany). Intenzita vibrací byla místy tak silná, že evokovala mnohem dříve realizovanou návštěvu strojovny turbogenerátorů Jaderné elektrárny v Dukovanech.

V každém případě zmíněná velkolepost zanechala dojem nejen ve mně, ale patrně i v duších politiků, novinářů i dalších odborníků, proto je možné zaznamenat pozitivní, mnohdy vysoce kvalifikované ohlas reagující na technologii ORC. Právě velikost, která si vynucuje nutnost budování dlouhých rozvodů CZT i nutnost shromáždění velkého množství paliva na jedno místo, může být z jistého úhlu pohledu tím největším problémem pro svoji zranitelnost. V dalších kapitolách si proto ukážeme další, mnohem menší systémy, použitelné pro decentralizovanou výrobu elektrické energie a tepla, které vykazují vyšší energetickou účinnost i nižší měrné investiční náklady.

Pohled na energetické srdce teplárny ORC sever v Třebíči - turbínu pracující na páry silikonového oleje a elektrický generátor s vyvedením el. výkonu 1 MW.



V regenerátoru silikonového oleje je uloženo 3,5 km žebrových trubek o průměru 16 mm

³ Někdy v sedmdesátých nebo osmdesátých letech byl natočen celovečerní budovatelský film – ATOMOVÁ KATEDRÁLA, který se odehrával v prostředí staveniště dukovanské jaderné elektrárny. Pamatuji si z něj tuny betonu, oceli, nějakou rodinnou epizodu. Hlavní myšlenkou ale byla vládou sledovaná stavba – výstavba elektrárny.



Strojovna oběhových čerpadel (sběračů a rozdělovačů) vícepalivového zdroje tepla TTS o celkovém tepelném výkonu 44,4 MW.

Podle vyjádření odborníků je považováno 20.000 tun biomasy ročně shromážděných na jenom místě za ekologicky, logisticky a ekonomicky limitní množství paliva. Uvedené systémy v Třebíči, Trhových Svinech i Pelhřimově tento limit splňují, čímž si ještě zachovávají přijatelné měřítko. Ovšem dostat 100.000 tun biomasy ročně na jedno místo je již větší logistický problém⁴, který s úspěchem zvládají pouze směrem na západ od našich hranic, kde existují teplárenské systémy na biomasu o podstatně vyšších výkonech.



Obrázek vpravo dokumentuje málo známého výrobce pneumatik, kterým je společnost NOKIA, která ve Finsku v minulosti začínala jako dřevařská firma.

⁴ Ing. Miroslav Šafařík – Předseda sdružení CZ-BIOM, mezinárodní konference OZ v energetice sídel dne 6. 11. 2007.

Jak se biomasa z lesa do kotelny dostává

V Třebíči biomasu svážejí z okruhu několika desítek km. Většinou se jedná o odpad z lesní těžby. K tomuto účelu provozují mobilní linku na přípravu dřevní štěpky. Linka využívá 2 deponie, kde lesníci průběžně shromažďují odpadní biomasu pocházející z lesní těžby. Linka zpracuje denně v průměru 200 prn (prostorový metr) biomasy. Vstupní „tlamu“ představuje otvor o rozměru 100*70 cm. Štěpkovač pohání spalovací motor o výkonu 300 hP. Součástí linky je odvozní souprava velkoobjemových kontejnerů 2x40 prn na vozidle TATRA. Za zmínku stojí, že na pasece v lese je cena biomasy 25 Kč/prn. Shrnutí a vyvezení klesu vyjde na 90 Kč/prn, štěpkování stojí 90 Kč/m³ a doprava do 60-ti km dalších 60 Kč/prn. Celkově jsou tedy přímé náklady na jeden prn dřevní biomasy cca 265 Kč. Třetinu ceny dřevní štěpky představuje lidský faktor. Celou obsluhu linky zajišťují 3 lidé. Někdy připraví pouze 2 kontejnery paliva, jindy 8, v průměru však produkuje 5 kontejnerů denně. Celková efektivita však závisí na jejich souhře a harmonické spolupráci. Skládka paliva u teplárny se rozprostírá na ploše 4.300 m². Před nástupem topné sezony zde bývá uskladněno cca 70 tun paliva, vesměs pocházejícího z okolních dřezpracujících podniků a lesů. Podávání paliva do denního zásobníku, který je vybaven hydraulicky posuvnou podlahou, zajišťuje kolový nakladač lžící o objemu 6 m³.



Malé velké, větší, menší nebo ještě menší energetické systémy?

Často na různých konferencích a seminářích slýchávám, že malé energetické systémy mají vysokou investiční náročnost a nízkou provozní účinnost, což pochopitelně platí o parních turbínách, proto je nutné stavět ty „velké a ještě větší věci“. Předchozí stránky jsou tedy z výkonnostního pohledu reprezentantkou té „nejtěžší a těžké“ váhové kategorie, i když pro využití fosilních paliv existují systémy mnohem větší. Pro spalování uhlí v tepelné elektrárně Mělník pracuje kotel s více než dvojnásobnou výškou a desetinásobným výkonem. Ale i ten představuje jen ¼ výkonu jaderné elektrárny Temelín. Tím se ale investiční příležitost výrazně zužuje na několik subjektů spočitatelných na prstech jedné ruky, protože pro již dříve uvedené příklady tepláren ORC budete muset v případě jejich instalace z portmonky vytáhnout více než 100 milionů korun. Pokud si budete chtít postavit jeden blok Temelína, přichystejte si zhruba 100 miliard korun. Pravdou je, že u velkých energetických systémů se výrazně snižují měrné investiční náklady. To nejlevnější ale ještě nemusí znamenat nejvýhodnější a zdaleka ne nejlepší. „Lacný, dvakrát placený“ - praví lidové rčení. Jak je to se skutečnou „cenou“ za energie, se dozvíme ve filosofickém zamyšlení v závěrečné části práce. Kdo chce mít jasno hned, musí přeskocit na stranu 111, kde jsou uvedeny tzv. [externality](#).

Setkal jsem se s názorem, že spalování biomasy ve velkých kondenzačních elektrárnách je omyl.⁵ Jak ale naznačuje výpočet „plyšového medvídká“ v úvodu této práce, platí to pro spalování obecně.



Z pohledu energetické účinnosti však existují nové, mnohem účinnější decentralizované systémy, o kterých zatím příliš neslycháme. Pokud ano, tak s mnohdy nedůvěřivým až pejorativním zabarvením. Výkonově jsou mnohem menší, pro budoucí uživatele ale mnohem dostupnější, neboť elektřina vzniká v místě své spotřeby. Je tedy čas si podrobněji vysvětlit termín kogenerace. Po vysvětlení obecného principu kogenerace nás čeká výkonnostní veletoč od těžké a středně těžké „váhové kategorie“ k „lehké muší“ výkonnostní kategorii. Z hlediska energetické účinnosti se však jedná o „královskou disciplínu“, která ve smyslu v úvodu zavedeného členění vykazuje nejvyšší doposud dosažitelný teplárenský modul, nejvyšší míru energetické účinnosti. Z technického hlediska tedy půjde o kogeneraci, i když její pohonné jednotky v oblasti mikrokogenerace budou různé. Celou kapitolu o mikrokogeneraci nás bude provázet přesně definovaná energetická účinnost všech použitelných systémů.

⁵ Vztah mezi úsporami energie a využitím OZE - Karel Murtinger - Alternativní energie AE 5/2007.

Kogenerace – obecný princip

V předchozích kapitolách se tu a tam nesměle mihnul termín „kogenerace“. V kapitolách následujících se bude tento termín vyskytovat stále častěji, a proto nezbyvá nic jiného, než si jej vysvětlit podrobněji. Kogenerace představuje nejen ekologický, ale i ekonomický, vysoce efektivní princip kombinované výroby tepla a elektrické energie. Elektrická energie vždy vzniká roztočením elektrického generátoru, k tomu je však zapotřebí vnější mechanická práce, která je v klasických elektrárnách získávána spálením uhlí nebo rozštěpením jader uranu. Teplo, které vzniká, vytváří páru, která pak přes lopatky turbín roztáčí elektrický generátor.

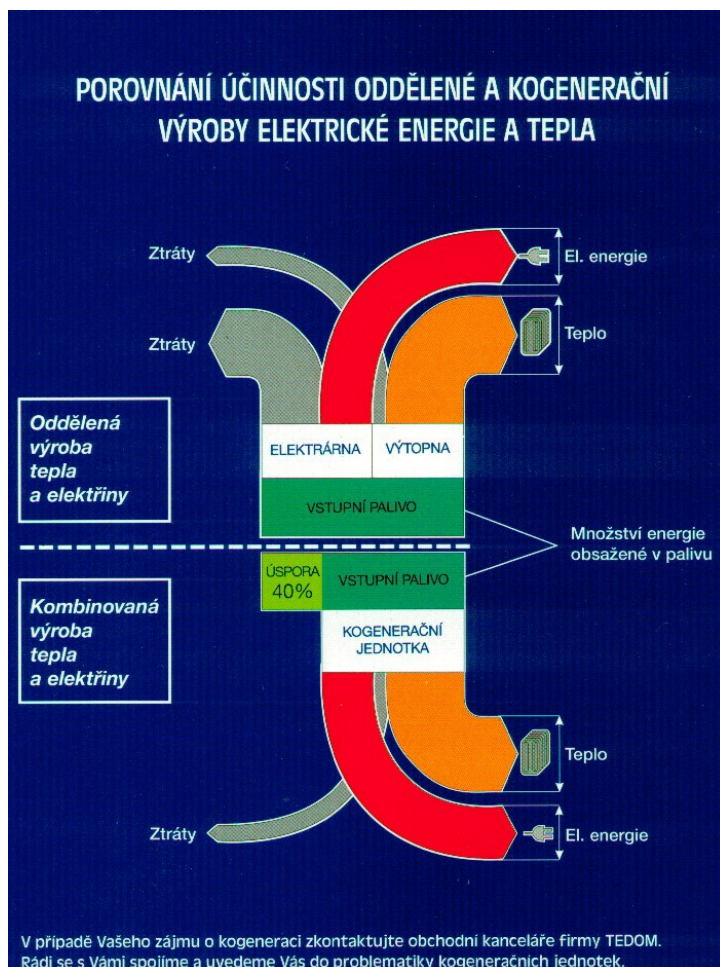
Účinnost výroby elektrické energie se pohybuje kolem 35 %.

Teplo, které je zapotřebí k roztočení elektrického generátoru, je v klasických JE a TE bez dalšího užítu pomocí chladicích věží vypouštěno do okolní krajiny.

V kogenerační jednotce el. energie vzniká stejným způsobem jako ve všech ostatních elektrárnách - tedy roztočením elektrického generátoru, což probíhá se srovnatelnou účinností. Teplo, které se k roztočení elektrického generátoru v pístovém spalovacím motoru uvolní, je prostřednictvím chlazení spalovacího motoru a výfukových plynů efektivně využito, což účinnost kogenerační výroby elektrické energie zvyšuje právě o hodnotu využitého tepla.

Účinnost kogenerace se pohybuje v rozmezí 80 - 90 %.

Teplo i elektrická energie vznikají v místě své spotřeby, čímž odpadají náklady na rozvod i ztráty tímto dálkovým rozvodem způsobené. Teplo vznikající v kogenerační jednotce je efektivně využito k vytápění budov, přípravě TUV nebo k přípravě technologického tepla. Kogenerační jednotky se synchronním generátorem rovněž mohou plnit funkci náhradního, bezvýpadkového zdroje elektrické energie. Kogenerace představuje kombinovaný zdroj, bez ohledu na instalovaný výkon. Za největší kogeneraci lze považovat elektrárnu Mělník se svým tepelným napáječem do Prahy. O těch nejmenších jednotkách v řádu jednotek kilowatt se dočteme dále.



Kromě vysoké energetické účinnosti, která je předpokladem masového rozvoje kogeneračních jednotek, je kogenerace významným nástrojem pro snižování emisí skleníkových plynů, zejména CO₂. Příložený článek vypracovaný výkonnou ředitelkou zájmového Sdružení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla COGEN Czech jen potvrzuje výrazný rozvoj tohoto odvětví.

Kogenerace na vzestupu

Projekt „COGEN Challenge“ dosáhl významného milníku – v 19 evropských zemích je registrováno 500 kogeneračních jednotek.

Podle databáze projektu „COGEN Challenge“ v Evropě narůstá důvěra ve spolehlivost kogenerace, o kterou narůstá zájem daleko více, než se původně předpokládalo. Použití malé kogenerace v domech, bazénech a hotelích je intenzivně a pozitivně přijímáno. Političtí činitelé by tedy měli být více přesvědčivější v podpoře kogenerace a zahrnout ji jako nedílnou součást energetických plánů.

COGEN Challenge je evropská informační kampaň na podporu malé kogenerace. Projekt je koordinován sdružením COGEN Europe³⁾, a je podporován a financován v rámci programu „Inteligentní energie“ Evropské unie.

Cílem je nárůst použití kogenerace se zaměřením na malé jednotky.

Partnery projektu jsou energetické instituce a agentury v Belgii, Francii, Německu, Rakousku a Španělsku.

Manažer projektu „COGEN Challenge“ Stefan Craenen říká:

„Kogenerace je velmi efektivní způsob výroby elektřiny. Jestliže vyrábíte společně elektrickou energii a teplo, primární energie je plně využita. Při současných snahách o energetickou efektivnost a snižování produkce CO₂ je kogenerace vyspělou technologií významně přispívající k cílům EU snížit emise skleníkových plynů nejméně o 20 % do roku 2020.“

Současně dokládá výhodnost malé kogenerace příkladem z belgického města Liege.

Provozovatel – firma, potřebuje pro výrobu plastických desek (titulních stran) brožur a časopisů elektrickou energii a teplo. Provoz firmy je založen na použití řepkového oleje a získává tak na základě místního „zeleného certifikátu“ bonus 150 eur za každou MWh elektrické energie (jednotky založené na zemním plynu jsou bonifikovány 30 eur). Navíc mikrokogenerace snižuje množství emisí CO₂ až o 156 000 kg ročně.

Podle pramenů COGEN Europe zpracovala
Olga Solaříková



COGEN
europe

³⁾ COGEN Europe – Evropské sdružení pro podporu kogenerace – je organizace zastřešující subjekty reprezentující zájmy kogenerace jako odvětví, uživatele technologie a podporující její přínosy v EU a celé Evropě. Organizace je podporovaná hlavními průmyslovými hráči včetně plynárenských a elektroenergetických společností, dodavatelů zařízení, konzultačních, finančních a dalších servisních subjektů.

Drtivá většina kogeneračních jednotek nejen v ČR, ale celosvětově doposud pracuje na zemní plyn, ve velkých městských aglomeracích tomu ani jinak být nemůže. **Dostáváme se však k poslednímu a z hlediska účinnosti výroby elektrické energie nejúčinnějšímu energetickému systému použitelnému pro energetické využití biomasy.** Před téměř sto padesáti lety dospěli technici k poznatku, že spalování vhodných paliv přímo ve válci pístového stroje bude účinnější než složitý přenos tepla z paliva na vodu a páru, jako je tomu u motorů parních. Pan N.A. Otto (1833 – 1895) je považován za duchovního otce pístového spalovacího motoru. Tento německý inženýr výrazně zdokonalil původní Lenoierův motor, čímž se jeho výkon výrazně zvýšil. Ing. Otto v roce 1876 získal patent na čtyřdobý spalovací motor, proto je jeho princip označován jako *Ottův cyklus*. Z hlediska technického principu je již lhostejné, zda je pístový spalovací motor poháněn naftou, zemním plynem, bioplynem, řepkovým olejem, mazutem nebo dřevním plynem. Z hlediska environmentálního se však jedná o podstatný rozdíl. Mechanická účinnost pístových spalovacích motorů se pohybuje v rozmezí 30 – 40 %, což převyšuje elektrickou účinnost většiny tepelných elektráren. V dalších odstavcích se kogenerační jednotky rozdělují na několik vývojových směrů a podskupin, ať se již jedná o členění dle výkonu, způsobu spalování, paliva, nebo jednotlivých paliv fosilních i obnovitelných, pořád jde o společný technický princip kombinované výroby elektrické energie a tepla – KOGENERACI.

MIKRO-KOGENERACE - změni systém zásobování domácností elektřinou?

Jak již bylo předznamenáno v úvodu, tato práce se věnuje také monitorování různých vývojových směrů v oboru tzv. malé „komunální“ energetiky, nemůžeme tedy opomenout potenciál mikro-kogenerace. **Vymezení pojmu MIKRO-KOGENERACE:**

Evropská unie klasifikuje jako kogeneraci do 50 kW elektrického instalovaného výkonu. Můžeme se však setkat i s vymezením pojmu do 70 kW energetického příkonu v palivu. V každém případě je mikrokogenerace určena k přímé náhradě kotle určeného k topů bytů a individuálních rodinných domků. Individuální výroba tepla v rodinných domech a bytech je dnes naprosto běžnou záležitostí, oproti tomu výroba elektrické energie v domácích podmínkách je výjimečná.

Jelikož si tato práce klade za cíl být i malým zamyšlením nad vývojem energetických potřeb a technických prostředků vedoucích k jejich uspokojení, můžeme si dovolit v názvu kapitoly malou řečnickou otázku. Na sklonku tohoto roku jsem se zúčastnil konference Decentrální kogenerace, kterou uspořádalo *Sdružení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla*. Panelové diskuse nazvané Quo vadis, česká energetiko? se mimo jiné zúčastnil Ing. Ladislav Pazdera – vrchní ředitel sekce energetiky MPO, Ing. Vladimír Vlk – ředitel odboru ekologické energetiky MŽP, Ing. Jiří First – předseda energetického regulačního úřadu i zástupce elektrárenské společnosti ČEZ. Z úst moderátora, kterým byl Ing. Josef Jeleček, předseda sdružení COGEN Czech, zazněla památná věta, kterou jsem si zvýraznil do svého poznámkového bloku:

Kam kráčíš, česká energetiko?

Tam, kam celá evropská energetika, tedy k nejisté budoucnosti.

Jisté je, že nás nejen s nastupující změnou klimatu, ale i ve snaze o omezení dovozové závislosti a omezení spotřeby fosilních paliv čeká spousta změn. Stačí jen, aby v kontinuálním měřítku „trochu“ fouklo, napršelo nebo nasněžilo a hned jsou noviny plné titulků jako: *Desetitisíce domácností jsou odříznuty od zásobování elektřinou*. Miniteplárny sice nevyřeší celý nastíněný problém, protože většinou pracují v souběhu se sítí rozvodných závodů, mohou však zejména v případě provozu na OZE sehrát svoji významnou roli na naší cestě k omezení závislosti na zranitelných centralizovaných systémech zásobování lidstva energií.

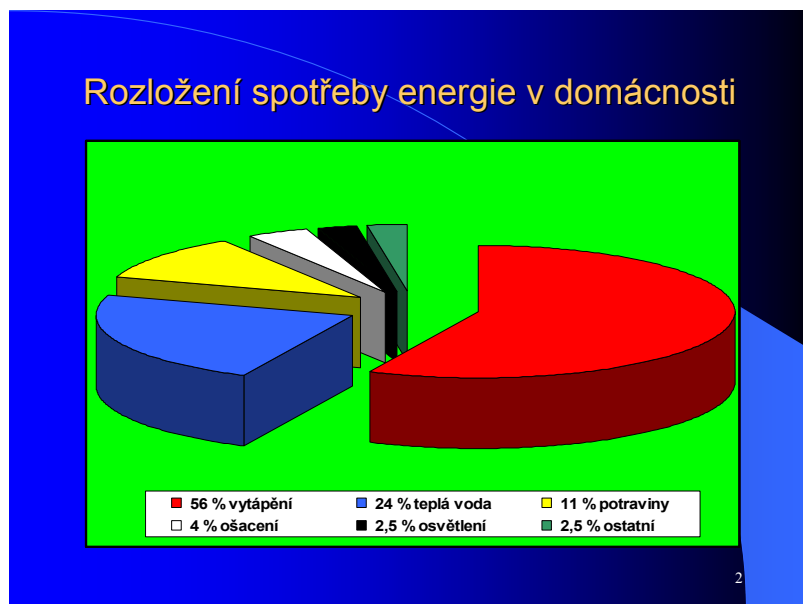
Virtuální elektrárna tvořená miniteplárnami

Od září 2004 do července 2007, kdy má elektrárna zahájit normální provoz, probíhá projekt „Virtuální elektrárna Harz“, v němž se využívají miniteplárny provozované podle potřeby tepla ke snížení, resp. převzetí špiček v síti regionálního dodavatele elektřiny Harz Energie. Špičkové zatížení je asi 180 MW. Virtuální elektrárnu tvoří cca 1000 minitepláren (agregátů) 5,5 kW_e, 10,3–12,5 kW_t v soukromých obydlích a objektech, dále pak miniteplárna a nouzové agregáty domovní správy města Güslar se součtovým výkonem téměř 1 MW a vodní elektrárny a nouzové agregáty jiných provozovatelů (celkem asi 10 MW). Řídící centrála elektrárny dostává údaje z Harz Energie a je spojena s částí minitepláren. Tato zařízení mohou být rychle napojena na síť. Spojení s každou miniteplárnou by bylo drahé, proto se k řízení virtuální elektrárny používají též statistické metody a odvozené „syntetické produkční profily“. Snížení špičky zatížení (odběru z nadřazené sítě) o 5 MW znamená úspory 250 000 Euro/rok. Náklady na výzkumný projekt jsou 430 000 Euro.

Energie a Management č. 23 - 24/2006, str. 28

DOMÁCÍ MIKRO-KOGENERACE - zhodnocení současných technologií

Na jaře tohoto roku jsem se spolu se stovkami dalších zájemců oslavil „svátek teplárníků“, který na sebe každoročně bere podobu konference: *Teplářenské dny 2007*, kterou v Hradci Králové pořádá Teplářenské sdružení ČR. Vyslechl jsem mnoho zajímavých přednášek. Hitem č.1 se pro mne stala velice zajímavá přednáška Doc. Ing. Dvorského ze Západočeské univerzity v Plzni. Tato přednáška zřejmě zaujala i redakční radu časopisu 3T – teplo, technika teplárenství, který teplářenské sdružení vydává, protože v jeho čísle 5/2007 je publikovaný rozsáhlý článek¹³ v duchu přednesené prezentace. Materiál zapadá do charakteru mojí práce, proto s laskavým svolením autora přebírám výraznou část jeho díla.



Jak je z uvedeného grafu¹⁴ patrné, náklady na vytápění a přípravu TUV v domácnostech představují drtivou část celkové spotřeby. V kolonce „ostatní elektrické spotřebiče“ je zahrnuto i elektrické osvětlení, které se na celkové spotřebě domácnosti podílí 2 – 3 %. Dosažení energetické úspory v těch nejvýznamnějších položkách představuje nejvyšší potenciál energetických úspor, proto je tomuto tématu věnována zasloužená pozornost.

DOMÁCÍ MIKRO-KOGENERACE - zhodnocení současných technologií

Príspevek se snaží o systematický rozbor současného stavu kogeneračních technologií a jejich předpokládaný vývoj na trhu. Kogenerační technologie představují způsob, jakým je provedena transformace primárního paliva na elektřinu při užitečném využití zbytkového tepla (odváděného). Některé technologie jsou využívány poměrně dlouho, zvláště v oblasti vyšších výkonů u CZT, kdy lze eliminovat vysokou investiční náročnost KJ její velkokapacitní výrobou. Další oblastí, kde našly KJ uplatnění, byly případy potřeby mobilních KS nebo zajištění pokrytí spotřeby odlehlého místa popřípadě pohybujících se prostorů (lodě apod.), kdy dodávka z centrálních systémů nepřipadá do úvahy. Pro technické umístění KJ do domácích prostorů je především nutné splnit požadavky na malou prostorovou náročnost, nízkou hlučnost, vibrace a schopnost nekomplikovaně provádět transformaci z plynného paliva. To splňují (nebo částečně splňují) jen některé technologie.

¹³ Domáci mikrokogenerace změni systém energetického zásobení domácností. Emil Dvorský, Pavla Hejtmánková – ZČU v Plzni, fakulta elektrotechnická.

¹⁴ Pavel Kaufman, seminář energetiků, Jelenovská 2007.

Rozdělení kogeneračních technologií

Kogenerační technologie a tím i *KJ* lze rozdělovat podle různých hledisek. Jedno ze základních dělení *KJ* je podle počtu transformačních kroků nutných k „výrobě“ elektřiny. *KJ* lze tedy rozdělit na ty, které provádí transformaci:

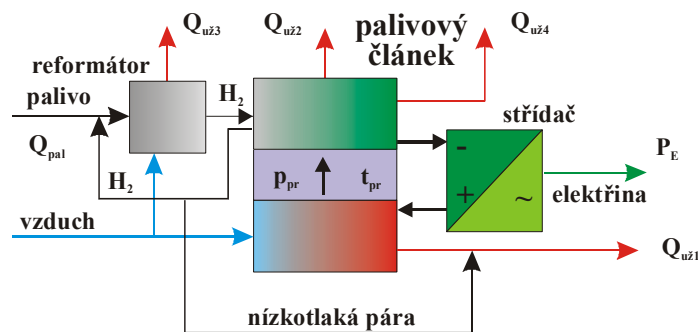
přímou přeměnou - palivové články,

nepřímou přeměnou - prováděnou pomocí tepelných oběhů (TO).

KJ s přímou přeměnou – palivové články (PC)

Přímá přeměna energie obsažené v palivu pomocí palivových článků je v současnosti intenzivně vyvíjena. *PC* nabízejí velký potenciál, jakožto ekologicky čisté, tiché a vysoce účinné jednotky. Lze předpokládat, že *PC* se v budoucnosti stanou nejrozšířenějšími typy *KJ* pro decentralizované *KS*.

Protože náklady na výzkum a ověření provozu *PC* jsou vysoké, provádějí se pouze v renomovaných velkých světových firmách, které předpokládají jejich brzké široké komerční využití nejen jako stacionární *KJ*, ale hlavně v dopravě. Nejčastější rozdělení palivových článků je podle typu použitého elektrolytu, iontové vodivosti a pracovní teploty. Protože nízkoteplotní *PC* ($t_{pr} < 200 \text{ }^\circ\text{C}$) potřebují jako palivo vodík, je nutné provádět reformování plynného paliva (viz obr. 1), což je pro přímé využití zemního plynu méně výhodné.



Obr. 1: Principiální schéma PC.

Ve světě soupeří o uplatnění v domovních *KS* dva typy palivových článků:

- **PEMFC** (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) - membránové nízkoteplotní články, které potřebují pro reakci vodíkové palivo a membrány. Výrobci těchto membrán jsou hlavně v Japonsku a USA. U typu *PEM* nastává problém s výrobou a udržováním čistoty *PC*.
- **SOFc** (Solid Oxide Fuel Cells) - vysokoteplotní články pracující s elektrolytem tvořeným z oxidů vybraných kovů. Jejich výhodou je, že nepotřebují pro reakci drahé materiály. Mohou používat přímo plyn nebo využívat vnitřního reformingu. Jejich relativní nevýhodou je delší doba náběhu na jmenovité parametry.

Ve vývoji *KJ* a ve stádiu předkomerčního použití *PEM* článků jsou nejdále firmy:

- Ebara Ballard Corporation
- Vaillant

Ebara Ballard Corporation

Tato japonská firma oznámila, že v roce 2008 začne s komerční výrobou *KJ* využívající *PC* *PEM* třetí generace, tzv. články s dlouhou dobou životnosti (Long-Life Fuel Cells) s označením 1030 V3. U těchto článků se jí pomocí nových nanotechnologií podařilo zmenšit rozměry o 26 % a váhu o 40 % oproti předcházející generaci V2 (viz obr. 2). U *LLFC* se požaduje životnost bez opravy 10 let provozu.



P_e	P_q	Typ PC	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	1,5	PEM	35	48	-	40 000	-	-	8 500

Obr. 2: Parametry PC 1030 V3 (rozměrové porovnání s PC V1 a V2).

Vaillant

Tato německá firma úzce spolupracuje s americkou firmou Plug Power. V roce 2005 byl ukončen projekt virtuální elektrárny, kdy byl ověřován provoz 56 KJ na bázi PEM článků. Protože jmenovité výkony článků této firmy označené Euro 1 byly 4,6 kW_e/7 kW_t, byly instalovány pouze v komerční sféře. Současné výkonové rozmezí u jednotek Euro 2 je 1,6 - 4,6 kW_e. Parametry jsou na obr. 3.



P_e	P_q	Typ PC	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1,5-4,6	1,5-7	PEM	35	50	-	8 000	75x50x150	170	-

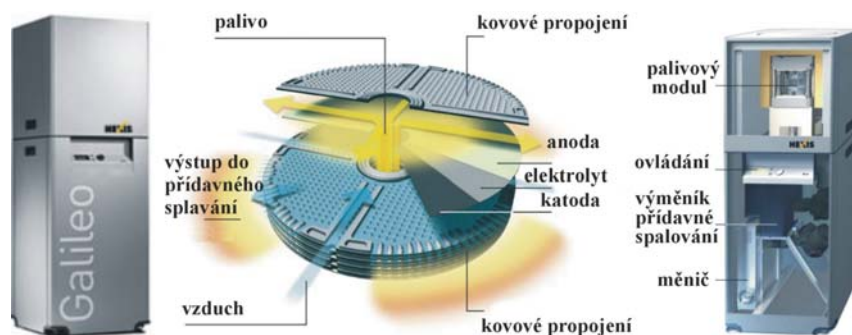
Obr. 3: Parametry KJ Vaillant Euro 2.

Nejvýznačnějšími výrobci KJ využívajícími PC SOFC jsou firmy:

- *SULZER HEXIS*
- *Ceramic Fuel Cells Limited*

SULZER HEXIS

Tato švýcarská firma uvedla na trh novou řadu KJ Galileo s PC typu SOFC pro rodinné domy. Jejich předpokládaný roční prodej v letošním roce je 1000 – 10 000 ks. Parametry těchto KJ jsou uvedeny na obr. 8. Keramický PC je složen z elektrolytu, elektrod a metalické sběrnice elektřiny (MIC = Metallic Interconnect). Palivový modul je složen ze 60 PC. Metalické kroužky propojují články a umožňují přívod paliva (plynu) na elektrody. Článek umožňuje použít přídavné spalování při zvýšeném požadavku na teplo pro KS.



P_e	P_q	Typ PC	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	2,5	SOFC	25-30	60	-	8 000	55x55x160	170	-

Obr. 4: KJ Galileo.

Ceramic Fuel Cells Limited

Tato australská firma, která má v předkomerčním provozu jednotky SOFC, je ukázkovým příkladem rychlého vývoje palivového článku. V letošním roce zahájí v Německu výstavbu závodu na výrobu PC. Během 4 let se jí podařilo zmenšit rozměry jednotky NetGenTM o elektrickém výkonu modulu 1 kW_e na polovinu (obr. 5).



- 1 blok PC
- 2 tepelný výměník
- 3 doprava vzduchu
- 4 spalinový výměník
- 5 střídač a ovládání



P_e	P_q	Typ PC	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	1	SOFC	40	45	-	8 000	70x60x120	170	-

Obr. 5: Parametry KJ Net Gen.

KJ s nepřímou přeměnou

KJ s nepřímou přeměnou využívající tepelné motory (TM) pracující s vnějším spalováním

TM provádějí prostřednictvím TO transformaci tepla na mechanickou práci. Použitím TM s vnějším spalováním odpadají některé nedostatky, které mají tepelné motory s vnitřním spalováním, tj.:

- při vnějším přívodu tepla do TM lze využít jakékoliv palivo (nejen plyn),
- mají výrazně nižší náklady na údržbu (dlouhé servisní intervaly 5.000 až 10.000 hodin),
- vykazují dlouhou dobu životnosti (i když mají rotující části, olej není v přímém kontaktu se spalinami ani horkými díly motoru, pracovní látka TO není agresivní vůči pracovním částem),
- velmi nízká hlučnost vlivem pozvolné změny tlaku během cyklu a absence cyklických zážehů či vznícení.

Nevýhody těchto motorů oproti klasickým spalovacím jsou:

- použití speciálních materiálů,
- pomalejší regulace výkonu (vlivem použití vnějšího přívodu tepla),
- vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu,
- nižší elektrická účinnost.

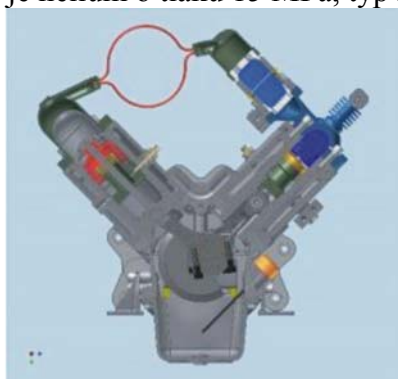
Pro *KJ* lze využít následující technologie s vnějším přívodem tepla do *TM*:

- Stirlingův motor
- Parní článek (*Rankinův motor*)

V ČR je pouze jeden výrobce motorů s vnějším spalováním, kterým je firma TEDOM. Výkonová hladina jejich motorů sice není přímo využitelná pro domácí kogeneraci, ale protože je to jediná firma působící u nás ve vývoji, zahrneme ji do výčtu výrobců produkujících nebo vyvíjejících domovní kogenerační technologie.

Stirlingův motor

Na trhu malých kogeneračních jednotek pracujících na bázi Stirlingova motoru můžeme nalézt následující firmy: TEDOM, WhisperGen, Microgen, Natec, Disenco. Kogenerační jednotku TEDOM se Stirlingovým motorem není možné využít pro potřeby *DKJ*. Cílové parametry vyvíjené jednotky při spalování zemního plynu jsou uvedeny v tabulce u obr. 6. Takto výkonově postavenou primární pohonnou jednotku lze využít pouze do oblasti minikogenerace, tj v oblasti podnikové sféry, služeb apod. Pracovní látkou *TO* je hélium o tlaku 15 MPa, typ motoru je α .

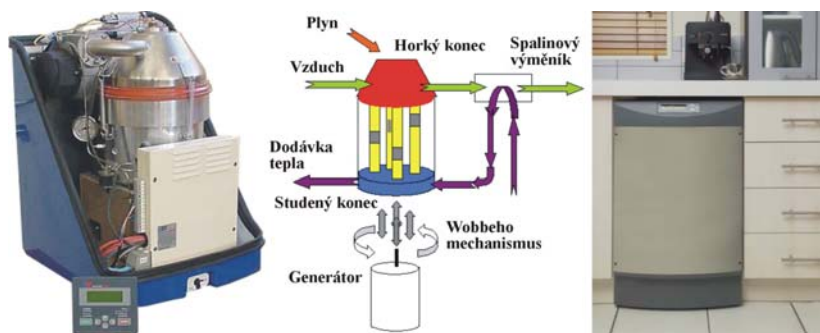


P_e	P_q	prac. látka	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
9	26	hélium	23	67	-	8 000		110	-

Obr. 6: Vývojový prototyp Stirlingova motoru firmy TEDOM.

WhisperGen

Novozélandská firma WhisperGen je v komerčních aplikacích Stirlingova motoru nejdále. Vyrábí *KJ* produkující stejnosměrný i střídavý proud. Anglická společnost PowerGen nakoupila 80 000 jednotek pro instalaci do domácností. Kinematický motor je dvoučinný čtyřválcový typu α s dusíkem o nízkém tlaku jako pracovní látkou tepelného oběhu. Pro převod posuvného pohybu na rotační je použit Wobbeho mechanismus. Teplota horkého konce není vysoká a účinnost regenerátoru je nízká. To má za výsledek poměrně nízkou elektrickou účinnost. V jednotce jsou ale použity běžné materiály. Přestože jednotka vykazuje hlučnost jako domácí lednička, je modul umístěn do protihlukového krytu (obr. 7).

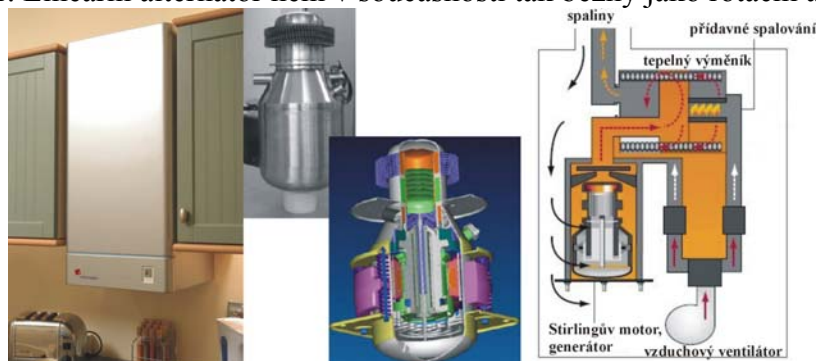


P_e	P_q	prac.látk a	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	7	dušík	12	80	63	7500	50x85x60	140	2 500

Obr. 7: KJ firmy WhisperGen.

Microgen

Jednotka Microgen je vyvíjena společností BG Group – US (Sunpower). Tato firma spolupracuje s japonskou firmou Rinnai Corporation, která vyrábí zařízení pro ohřev vody v domácnostech – obr.8. Provedení jednotky je nástěnné a umožňuje pokrýt dodatečné nároky na teplo (bez použití tepelného zásobníku v KS). Tím se snižuje využití plynu na výrobu elektřiny (elektrická účinnost). Řešení je však koncepčně jednoduché založené na funkci průtokového ohřívače. Stirlingův motor je typu β principu FPSE, což zvyšuje spolehlivost. Motor pohání lineární alternátor. Lineární alternátor není v současnosti tak běžný jako rotační alternátor.

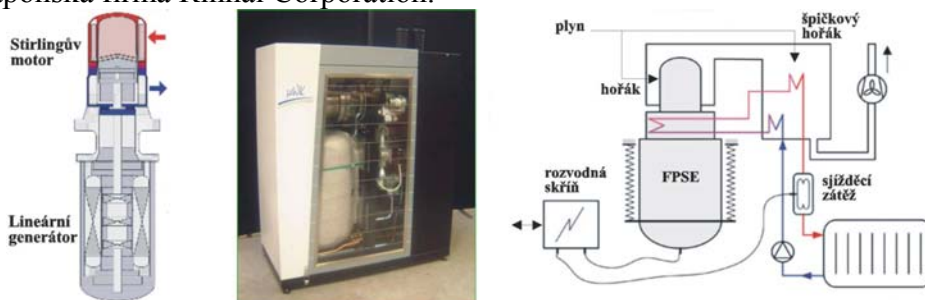


P_e	P_q	prac. látka	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	15	-	16	77	43	10 000	50x25x80	50	-

Obr. 8: KJ nástěnného provedení firmy Mikrogen.

Enatec

Tato firma využívá pro své KJ Stirlingův motor firmy Infinia (USA) typu FPSE s lineárním elektrickým generátorem (obr. 9). Výhodou těchto motorů je, že se posuvně pohybující a statické části nedotýkají. KJ je kombinací tohoto zařízení a klasického kondenzačního kotle, kde se provádí přidavné spalování pro pokrytí požadavků na teplo. Motory Infinia využívá pro KJ také již zmíněná japonská firma Rinnai Corporation.

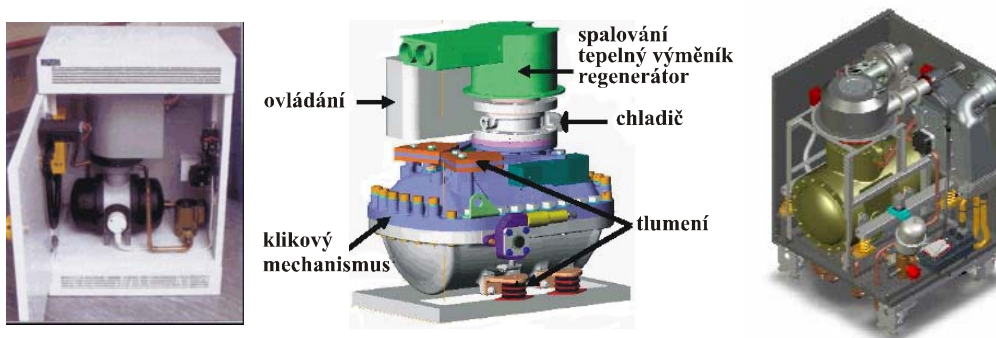


P_e	P_q	prac. látka	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	6-24	dušík	11	70	54	60 000	50x85x60	140	-

Obr. 9: KJ firmy Enatec.

Disenco –Sigma

Anglická firma Disenco připravuje komerční využití DKJ založených na Stirlingově motoru vyvinutém firmou Sigma o výkonu $P_e = 3 \text{ kW}_e$ a $P_q = 9 \text{ kW}_t$. V modulu je použit Stirlingův motor typu β s héliem jako pracovní látkou tepelného oběhu (obr. 10).



P_e	P_q	prac. látka	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
3	15	hélium	25	68	54	0 000	60x85x60	140	-

Obr. 10: KJ firmy Disenco.

Parní článek

Parní články využívají možností uzavřených parních oběhů (Rankine-Clausiusův oběh - **RC**). Jednotky pro transformaci tepla na mechanickou práci, parní stroj nebo turbína se také občas nazývají Rankinovy motory. Pracovní látkou tepelného oběhu je nejčastěji voda, ale využívají se i jiné tekutiny. Uvolnění tepla probíhá buď klasicky prostřednictvím plamene, nebo nízkoemisním hořením bez plamene v keramické pórovité látce. Nejdále jsou s touto technologií firmy:

- OTAG GmbH & CO KG
- Enginion
- Cogenmicro

OTAG GmbH & CO KG

Jednotka **Lion** využívá parní motor s dvojitým pístem (obr. 11), tzv. free piston. Kmitavým pohybem je vyráběna elektřina v lineárním elektrickém generátoru LINATOR. Frekvence se mění v závislosti na počtu parních expanzí ve válcích motoru. V rozmezí počtu expanzí 2400 - 4500 se frekvence pohybuje od 40 - 75 Hz. V případě, že je LINATOR vypnut, pracuje jako kotel.

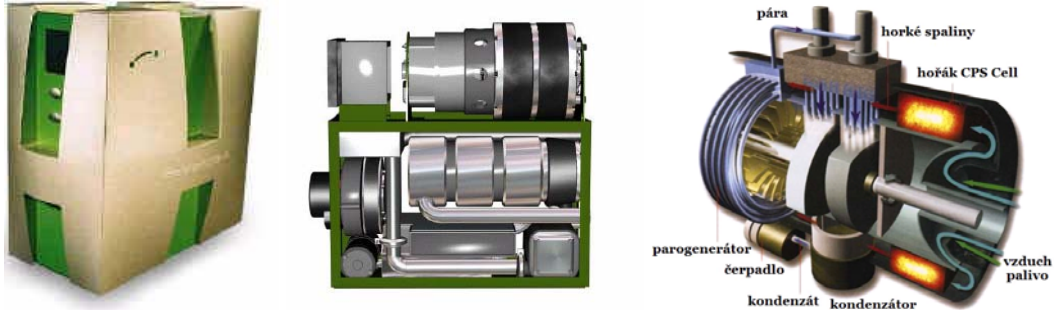


P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
0,2-2,2	2,5-16	20	80	42	-	125x62x83	190	-

Obr. 11: KJ Lion.

Enginion

Jednotky firmy Enginion jsou hlavně plánovány pro použití do komerční sféry. Podle původní koncepce měly tyto parní články výkon 200 W. V současné koncepci je využíváno spalování v keramickém materiálu (viz obr. 12), kde mikro-výkonové rozmezí nelze dobře aplikovat.

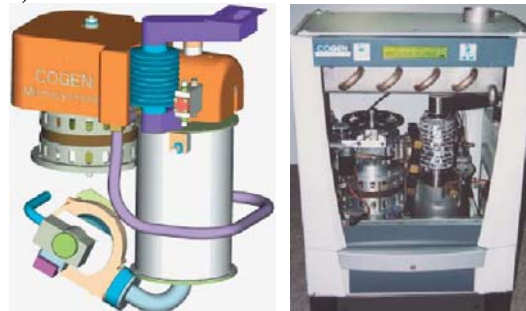


P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
3-22	2,5-15	20	72	44	30 000	85x80x40	170	-

Obr. 12: KJ Enginion.

Cogenmicro

Tato australská firma předpokládá, že ke komerčnímu využití bude mít v roce 2008 k dispozici parní články ve výkonovém rozmezí od 2,5 kW_e. V parním článku se využívá přímé spalování a je zde použit parní stroj (obr. 13).



P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
2,5	11	17	72	44	-	87x60x40	60	-

Obr. 13: KJ Cogenmicro.

KJ využívající tepelné motory pracující s vnitřním spalováním

Motory s vnitřním spalováním mají nespornou výhodu ve skutečnosti, že už jsou dlouho využívány. Oproti motorům s vnějším spalováním jsou daleko pružnější při změně zatížení. Tato výhoda není však tak důležitá, protože rychlé změny zatížení (důležité např. pro dopravní prostředky) buď nejsou u KS vyžadovány, nebo se jim snažíme vyhnout. Počáteční koncepce těchto KJ bývaly odvozeny od automobilových motorů, které měly vysoké provozní a servisní nároky. Současné motory KJ s dlouhou dobou životnosti a servisními intervaly se více přibližují k požadavkům na BKJ a hlavně pak na DKJ. Mezi hlavní výrobce těchto jednotek, kteří působí v Evropě, patří: Ecopower, Baxi SenerTec, Ecowill, Giese, EC-Power UK Ltd, Ecopower.

Tato firma je založená společností Vaillant (Německo). Její KJ obsahují motory Marthon. Parametry nabízených KJ jsou uvedeny v obr. 14.



P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1,3 – 4,7	4,0 - 12,5	25	65	56	3500	137x74x108	390	12 000

Obr. 14: KJ Ecopower.

Baxi SenerTec

Jde o firmu vedenou Baxi Group company SenerTec GmbH. DACHS jsou v Evropě vyráběné kogenerační mini-moduly s vysokou spolehlivostí provozované v mnoha zemích. Provoz těchto jednotek je dobře odzkoušen a dosahuje dobrých výsledků – kolem 10 000 instalací. Jejich výkonové rozmezí je ale pro BKJ a často i pro DKJ poměrně vysoko položené (od 5 kW_e). Jako příklad kompaktních modulových kombinací KS (Dachs SEplus, Dachs SE 30, Dachs NE, Dachs WRA) je uvedena aplikace instalovaná v rodinném domě (viz obr. 15).



P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	Váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
5,5	12,5	27	62	54	3 500	72x107x100	530	18 500

Obr. 15: Instalace KJ DACHS SE 30 v rodinném domě.

Ecowill

Jde o společnost využívající ve svých jednotkách motory Honda GE160V, což jsou nejmenší výkonové jednotky na světě v kategorii spalovacích motorů na zemní plyn (obr. 16). I když je tato jednotka výkonově vhodná pro BKJ, její původní provedení nebylo s ohledem na emise a hluk vhodné pro instalaci do vnitřních prostor bytu. Po použití katalyzátoru a provedení protihlukových opatření to možné je. Tyto dodatečné náklady pochopitelně zvýšily cenu jednotky. V Japonsku je v současné době instalováno velké množství těchto jednotek.



P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]

1	3,25	20	65	45	6 000	64x38x94	81	7 500
---	------	----	----	----	-------	----------	----	-------

Obr. 16: KJ Honda GE160V.

Giese

Tato německá firma dodává na trh širokou řadu KJ na tekutá a plynná paliva. Parametry typové jednotky Energator GB6-12 spalující zemní plyn, jejíž elektrický výkon se pohybuje v rozmezí 3,3 – 5,5 kW_e, jsou ukázány na obr. 17.



P _e	P _q	η _e	η _q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
5	12	20	65	55	3 300	140x68x88(140)	320	17 000

Obr. 17 Energator GB6-12.

Rozměry jednotky jsou uvedeny bez a s ovládacím panelem.

EC-Power UK Ltd

Tato anglická společnost využívá pro své DKJ motory Toyota. Ke KJ je přiřazen tepelný zásobník objemu 0,475 m³ v kvádrovém provedení s rozměry 70x70x168 cm (obr. 18).



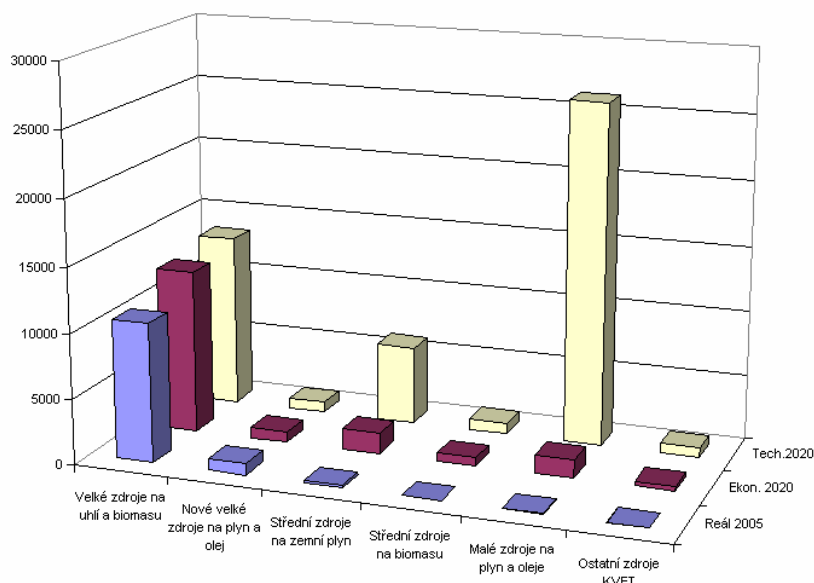
P _e	P _q	η _e	η _q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
4	13	25	65	55	3 300	125x110x75	270	-

Obr. 18: KJ EC-Power.

Trh s kogeneračními technologiemi

Ministerstvo průmyslu a obchodu provedlo podle směrnice 2004/8/ES analýzu vnitrostátního potenciálu kombinované výroby elektřiny a tepla v České republice, kdy hlavními body hodnocení bylo stanovení technického a ekonomického potenciálu, rizika a možnosti rozvoje KVET. Celkový nárůst výroby elektřiny z KVET ze současných cca 11,8 TWh (v r. 2005) na budoucích 17,4 TWh (v r. 2020) by měl být dosažen díky růstu poptávky po užitném teple, aplikací modernějších

technologii *KVET* v rekonstruovaných zdrojích a instalaci nových zařízení *KVET* do malých a středních zdrojů tepla.



Obr. 19: Potenciál skupin zdrojů *KVET* do roku 2020.

Z analýzy vyplývá, že přestože *KVET* v oblasti malých výkonů má velký technický potenciál, měl by být nárůst *KVET* pokryt především z velkých centrálních zdrojů. Ze závěrů je vidět pesimistický postoj k rozvoji využití *DKJ* a *BKJ*. Pro zlepšení podmínek uplatnění *KJ* je v podstatě možné nedělat žádná opatření a čekat, až nové technologie vstoupí na náš trh v pozici, kdy budou moci konkurovat centrálním dodávkám elektřiny a tepla, a nebo usilovat o vytvoření dostatečně velkého trhu. Druhá cesta předpokládá určitou podporu výzkumných a pilotních projektů a vznik podniků produkujících nové kogenerační technologie.

Literatura použitá autory příspěvku:

- [1] Dvorský E., Hejtmánková P.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. BEN Technická literatura, Praha 2005, ISBN 80-7300-118-7.
- [2] Dvorský E.: Optimalizace provozu kogeneračních jednotek. Habilitační práce, ZČU v Plzni 2003.
- [3] Tůma I.: Ekonomické hodnocení decentralizovaných kogeneračních systémů s využitím počítačové simulace. Disertační práce, ZČU v Plzni 2006.
- [4] MPO ČR: Vyhodnocení statistických údajů z energetiky za rok 2005.
- [5] Kaufmann P.: Náklady domácností na energii v roce 2002, časopis Energetika 12/2002
- [6] MPO ČR: Analýza potenciálu *KVET* v ČR. Zpráva o výsledcích analýzy vnitrostátního potenciálu kombinované výroby elektřiny a tepla v České republice podle směrnice 2004/8/ES.
- [7] Firemní materiály výše uvedených společností vyrábějící *BKJ* a *DKJ*.

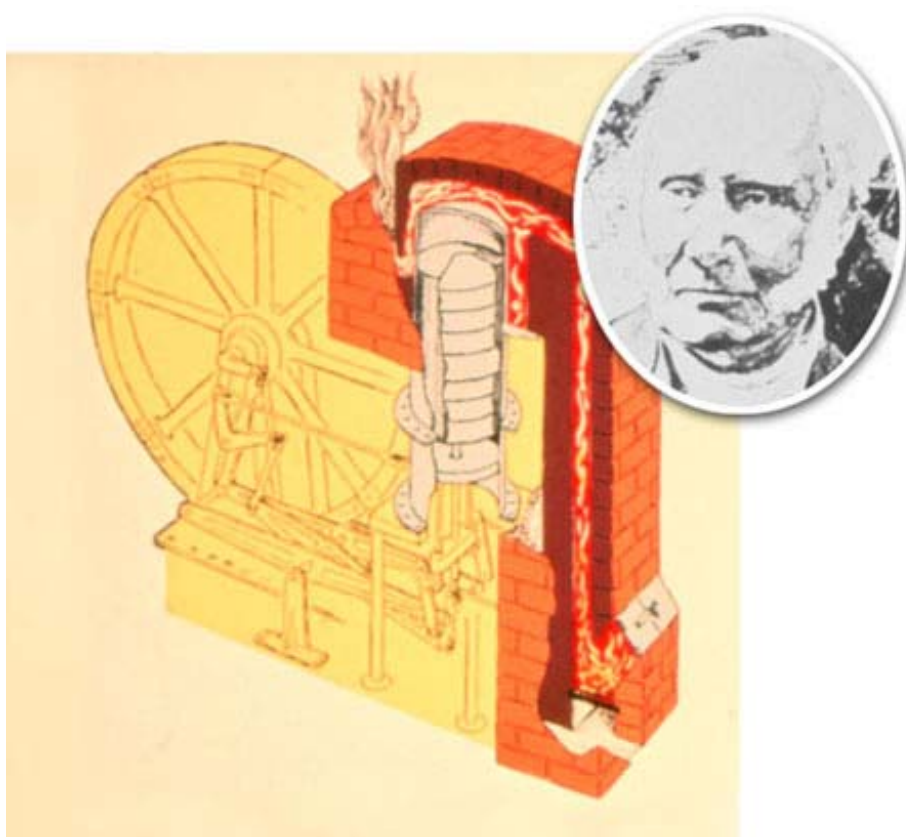
Problematika je řešena v rámci projektu GAČR 102/06/0132.

Stirlingův motor

Stejně jako v kapitole pojednávající o novém parním motoru s rotačním pístem v úvodu práce se u aplikací Stirlingova motoru jedná o tepelný motor (motor s vnějším spalováním), který postupně nachází své nezastupitelné místo v energetickém segmentu mikrokogenerace. Princip je starý desítky let. Tepelný výměník je u tohoto motoru trvale nahříván teplem z vnějšího zdroje, ať se již jedná o spalování zemního plynu, řepkového oleje, biomasy nebo koncentrované sluneční záření. Pracovní látkou je plyn, který je stlačován a chlazen v kompresním válci a po přesunutí (daném pouze kinematikou mechanismu) do expanzního válce je ohříván, expanduje a koná práci. Teplo nutné pro uzavření oběhu se odvádí chladičem, ale z větší části je akumulováno v tzv. regenerátoru a využívá se v následujícím pracovním cyklu. Pro zájemce je technický princip podrobně popsán v dostupné literatuře. Řadu dalších podrobností týkajících se Stirlingova motoru najdete na serveru WWW.TEDOM.CZ v sekci kogenerace/naše produkty/motor STIRLING. Z uvedeného pramene kapitola týkající se historie Stirlingova motoru výrazně čerpá.

Historie Stirlingova motoru

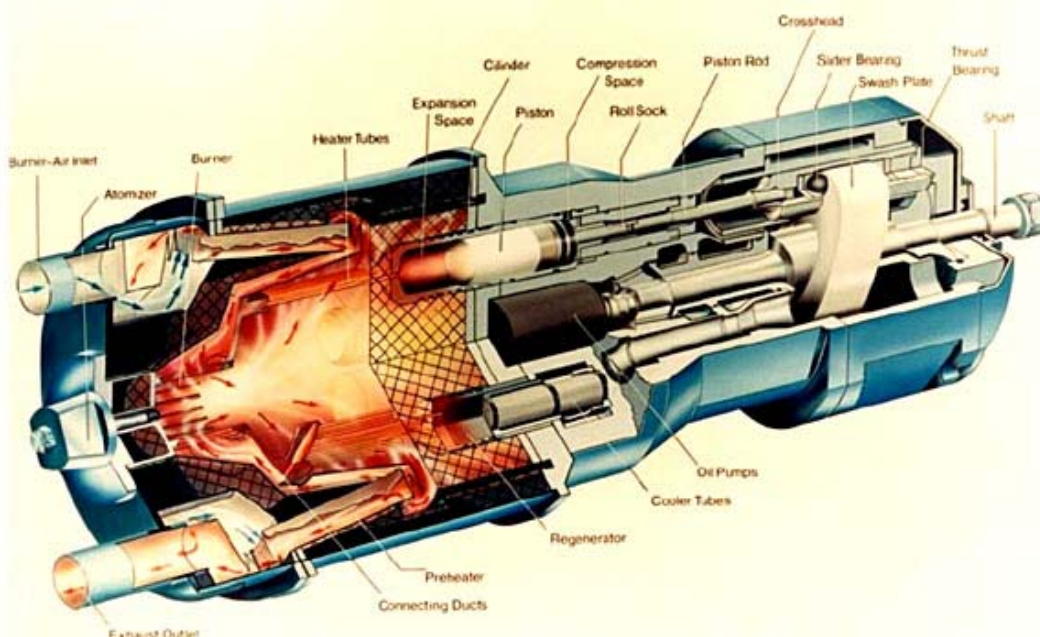
Stirlingův motor se zrodil 27. 9. 1816, kdy si tento typ motoru nechal patentovat tehdy šestadvacetiletý skotský pastor Robert Stirling (1790-1878). Stalo se tak osm let před vydáním odborné práce Sadi Carnota „Úvahy o hnací síle ohně a strojích tuto sílu rozvíjet“. Jinak řečeno bylo to v době, kdy ještě neexistovala teorie tepelných motorů. Stirlingův patent však dokazuje, že si autor již tehdy plně uvědomoval všechny podmínky nezbytné k efektivní přeměně tepla v mechanickou práci. V roce 1818 postavil velký motor s výkonem 2 hp (koňské síly), aby čerpal vodu z kamenolomu v Ayrshire ve Skotsku. V letech 1827 a 1840 obdržel Robert Stirling ještě dva patenty (č. 5456 a 8652) na zdokonalené varianty svého stroje. Robert Stirling s teplovzdušnými motory, jak se jim tehdy říkalo, pracoval celý život. Na počest svého duchovního otce nesou jeho jméno do dnešních dnů, kdy prožíváme jejich renesanci pro energetický sektor.



Robert Stirling a jeho první teplovzdušný motor

V průběhu 19. a na počátku 20. století se objevovaly nejrůznější aplikace Stirlingových motorů. Pumpovaly vodu pro dobytek na vyprahlém západě Spojených států, na železnicích, v dolech a dodávaly vodu bezpočtu sídel a statků. Malé Stirlingovy motory poháněly zubařské vrtačky, domácí ventilátory, šicí stroje atp. Velké typy byly používány k pohonu navijáků a v dalších průmyslových aplikacích. Používala se kapalná, pevná i plynná paliva. Mnohé z těchto motorů byly vyvinuty švédským vynálezcem Johnem Ericssonem, jehož nejznámějším projektem byla pancéřová bitevní loď Monitor z doby občanské války v USA. Ericsson postavil mnoho motorů založených na Stirlingově principu pro obchod, průmysl a zemědělství. Uvědomoval si výhody Stirlingova motoru a svými konstrukcemi předběhl svou dobu. Postavil například Stirlingův motor poháněný pouze sluneční energií. Stirlingův motor byl v 19. století limitován hlavně metalurgickými možnostmi své doby. Právě z těchto důvodů a z důvodu vyšší hmotnosti byl nakonec vytlačen nově vyvinutými spalovacími motory a elektromotory. Stirlingův motor byly téměř zapomenut až do 20. let minulého století.

Zájem o tento typ motoru znovu podnítil až v roce 1938 N.V. Philips z Nizozemí, když začal s vývojem malého Stirlingova motoru výkonu 200 W. Philips, výrobce dobře známých stolních radiopřijímačů, používal tento motor jako kompaktní tichý zdroj energie, který na rozdíl od zážehových motorů nepoužívá zapalovací svíčky, a tudíž nevytváří interferenci radiových vln. Při hledání možností, jak zvýšit měrný výkon a účinnost, zjistil, že plyny s nižší molekulovou hmotností jako helium či vodík jsou výhodnější než vzduch. Rychlý rozvoj technologie výroby materiálů, který nastal v padesátých letech minulého století, otevřel nové perspektivy i pro **Stirlingův motor**.

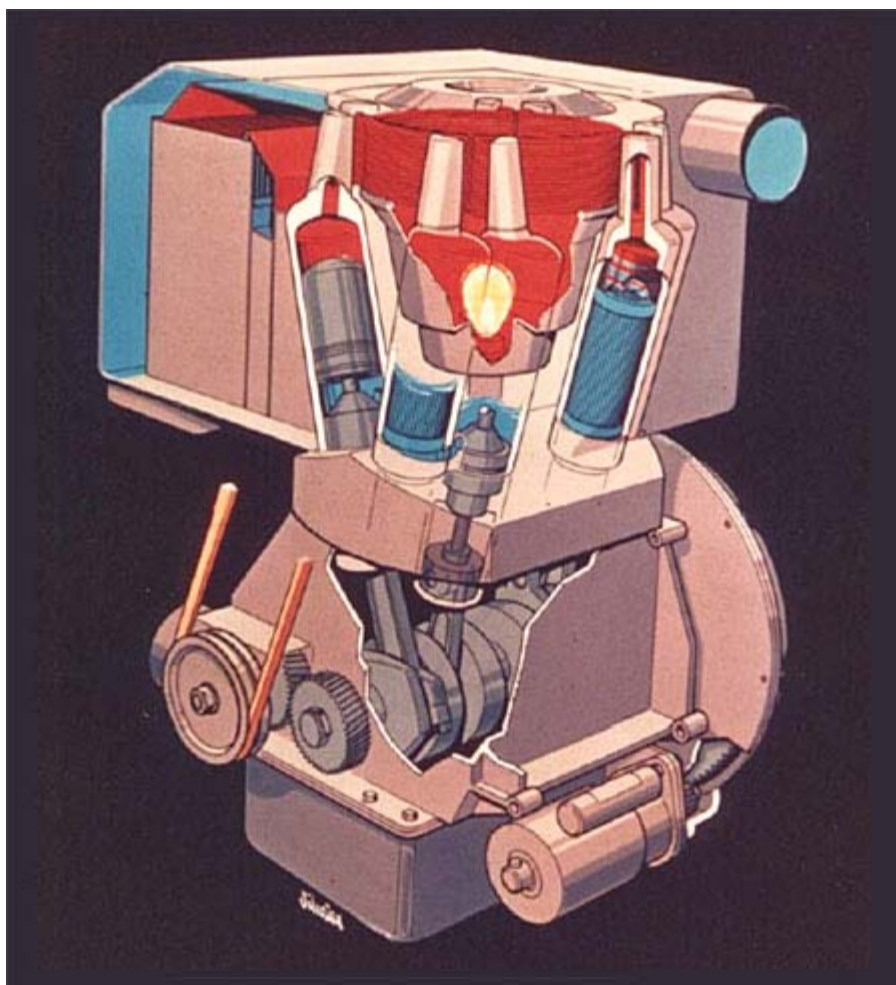


Stirlingův motor Philips V4-65

V roce 1968 švédská FFV Group vytvořila joint venture s dalšími švédskými společnostmi, aby prozkoumaly možnosti vývoje zdokonalené sériové verze moderního Stirlingova motoru. Tato nová joint venture dostala jméno United Stirling. K tomuto kroku přispěla velkým dílem hlavně blížící se ropná krize, která vyvolala snahu používat do motorových vozidel jiná paliva, než je benzín či nafta. Za použití licence N.V. Philipse začala tato společnost s vývojem motoru o výkonu 200 hp (koňských sil) určeného pro městské autobusy, terénní vozidla a ponorky.

V průběhu let 1969-1970 Philips vyvinul pohonnou jednotku s rombickým mechanismem pro městský autobus. Motor byl čtyřválec se zdvihovým objemem 235 cm³ na každý válec a při středním tlaku 22 MPa a 3000 min⁻¹ dosahoval 200 hp. Motor však při tak vysokém tlaku neskýtal předpoklad dosažení očekávané životnosti. United Stirling se proto rozhodl vyvinout svůj vlastní motor s označením 4-65. Tento motor dosahoval stejného výkonu jako motor Philips už při 15 MPa a 1500 ot/min. Následovaly další verze společného vývoje Philips a United Stirling s cílem minimalizovat výrobní náklady. Podrobným výpočtem se nakonec ukázalo, že i v sérii 10.000 ks ročně bude cena stále 2,5krát vyšší než stejně výkonný vznětový motor, a to z důvodu značné komplikovanosti motoru.

V 70. letech 20. století United Stirling intenzivně pracoval na vývoji pohonné jednotky pro osobní automobily. Po zkušenostech s problematickou výrobou motorů řady 4-615 se rozhodl pro tento účel použít konstrukci motoru Philips 4-65 s naklápěcí deskou (viz obr.). Tento motor prošel dlouhým vývojem, který byl směřován do použití v osobních automobilech. Jeden z následných typů V4X2 byl roce 1974 zastavěn do osobního vozidla Ford Pinto s automatickou převodovkou a předveden představitelům společnosti Ford. Vůz přesvědčil komfortem a tichostí jízdy, avšak do výroby se nedostal. Vývoj dále pokračoval až do finálního typu V4X35, který byl v roce 1974 zastavěn do vozu Ford Taurus s manuální převodovkou!!! Tři vykřičníky proto, že největší slabinou Stirlingova motoru je právě rychlá změna výkonu, kterou manuální převodovka vyžaduje mnohem více než automatická. Přes uspokojivé jízdní zkoušky v rozsahu 10 000 km a splnění veškerých požadavků na akceleraci i deceleraci (90 % výkonu za 0,5 s) nebyla sériová výroba nikdy zahájena z důvodů ceny pohonné jednotky, kterou značně prodražil právě systém regulace výkonu.



Stirlingův motor V4X2

Novodobé aplikace Stirlingova motoru

Současné aplikace používající Stirlingův motor směřují především ke kombinované výrobě elektrické a tepelné energie. Jako zdroje tepla pro ohřívák se nejčastěji používá spalování nejrůznějších paliv, a to většinou plynů (zemní plyn, LPG, bioplyny). Začínají se objevovat informace o připravovaných aplikacích spalujících biomasu, ale žádná firma zatím nenabízí komerční produkt. Největší budoucnost Stirlingova motoru je bezesporu ve výrobě elektrické energie z odpadního tepla z technologických procesů a z obnovitelných zdrojů energie, jako je např. biomasa či sluneční záření.

V případě použití biomasy je výhodou Stirlingova motoru v tom, že spalování probíhá vně motoru, což je výhodnější ve srovnání s klasickými pístovými motory či turbínami, kdy spaliny působí přímo na píst či lopatky stroje.

V případě slunečního záření je zase Stirlingův motor jediným pístovým motorem, který dokáže teplo slunečního záření přeměnit přímo na elektrickou energii. Navíc dosahuje v porovnání se solárními elektrovoltaickými panely vyšší účinnosti. Komerční aplikace Stirlingova motoru nabízí jen několik následujících firem.



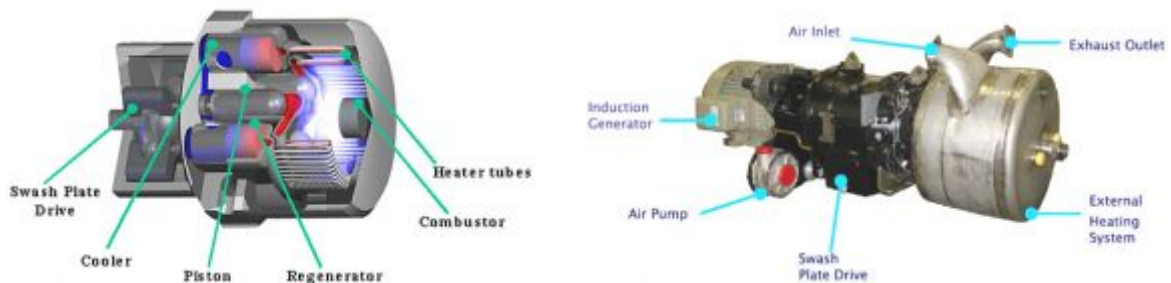
Solární jednotka SES, 25 kW

SES (Stirling Energy Systems, Inc., USA) vyvinula solární jednotku pro výrobu elektrické energie s elektrickým výkonem 25 kW a se špičkovou účinností 29,4 %. Koncentrátorem sluneční energie je parabolické zrcadlo o průměru 11,37 m. Použitý Stirlingův motor vychází z typu V4-95 Kockums. Pracovním plynem je vodík s tlakem až 20 MPa. Celý projekt je realizován za spolupráce firem United Stirling, Kockums, Volvo a Boeing. Několik těchto zařízení bylo podrobena provozním zkouškám v reálném provozu téměř 20 let a v současné době je připravována sériová výroba. SES totiž uzavřela kontrakt na dodávku jednotek pro jednu solární elektrárnu s výkonem 500 MW s možností rozšíření až na 850 MW a druhou podobnou s výkonem 300 MW s možností rozšíření na 900 MW. Obě elektrárny by měly být postupně realizovány do roku 2025 v poušti Mojave a v Imperial Valley. Další aktivity firmy směřují k vývoji motoru na plyná paliva, především na bioplyn.

Dalším produktem na trhu je výrobek americké firmy STM Power, Inc. Je jím kogenerační jednotka na bázi Stirlingova motoru určená pro plynná paliva s elektrickým výkonem 55 kW a elektrickou účinností až 30 % (viz obr.). Nespornou výhodou u tohoto stroje je jeho servisní interval, který činí 10.000 hodin. Pracovním plynem je v tomto případě opět vodík, který je vytvářen pomocí elektrolýzy z vody a dle potřeby je možno pokrývat jeho ztráty. Další aktivity této společnosti směřují k vývoji výkonnější verze motoru.



Kogenerační jednotka STM Power, Inc.



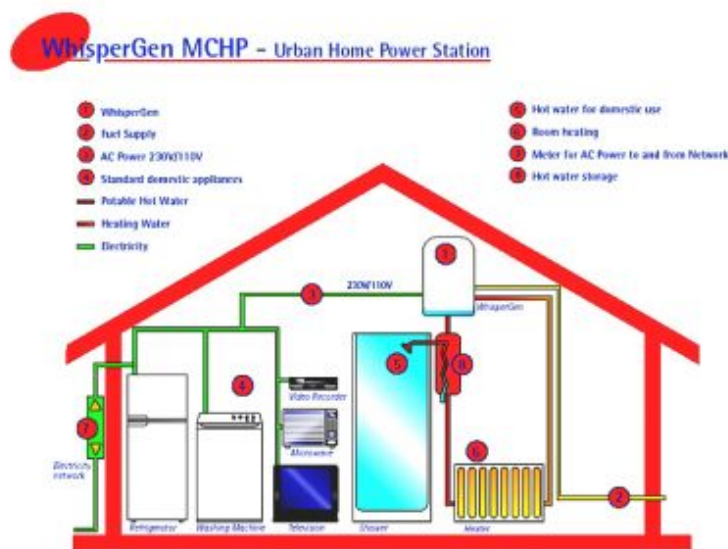
Stirlingův motor z KJ STM-Power, Inc.

Z evropských firem je nejvýznačnější německá SOLO STIRLING GmbH. Ta vyrábí a dodává kogenerační jednotku na bázi inovovaného motoru, který vychází z dobře známého United Stirling V-160. Jedná se o jednočinnou **a**-modifikaci s válci V pod úhlem 90°, což je co do výrobní náročnosti a dosažených parametrů bezesporu jedno z nejlepších řešení pro výkony do 10 kW. Tato kogenerační jednotka dosahuje elektrického výkonu 7,5 kW při 13 MPa helia (dříve uváděný výkon 9 kW při 15 MPa) a účinnosti 24 % při 650 °C teploty helia v expanzním válci a 50 °C topné vody. Servisní interval pro výměnu oleje, doplnění helia atp. je udáván na 5.000 – 8.000 hodin. Cena základní kogenerační jednotky na zemní plyn je však při dnešních cenách energií poměrně vysoká.



KJ SOLO STIRLING 16 (zemní plyn)

Velice zajímavým produktem je i malá kogenerační jednotka novozélandské firmy Whispergen s elektrickým výkonem 1,2 kW a tepelným výkonem 8-10 kW a účinností 10-13 %, která je díky svým parametrům přímo předurčená pro běžné domácnosti. Vyznačuje se velmi nízkou hlučností, malými zástavbovými rozměry a zdařilým designem, umožňujícím instalaci jednotky do běžné kuchyňské linky. Jednotka má velmi malou elektrickou účinnost, tudíž by byla lepší charakteristika „plynový kotel s doplňkovou výrobou elektřiny“. Malá elektrická účinnost však podstatně snižuje cenu stroje, a tak provozní filozofie má své opodstatnění. Provoz je řízen výhradně potřebou tepla. V topné sezoně je pak vyráběný přebytek elektrické energie dodáván do sítě. Naopak mimo topné období, kdy je potřeba tepla malá a jednotka většinou není v provozu, je elektrická energie ze sítě odebírána. Energetická síť je tak využívána jako „roční akumulátor elektřiny“, pro což však ve většině zemí chybí legislativní podpora. Instalace v systému rodinného domku je naznačena na obr.



KJ Whispergen v systému rodinného domku

Špičkou ve vývoji a výrobě Stirlingových motorů je švédská společnost Kockums AB. V současné době je jedna z jejích divizí i United Stirling AB. Kockums se však v posledních letech zaměřuje většinou na vývoj a výrobu vysoce výkonných pohonných jednotek pro ponorky, **v nichž používá téměř k dokonalosti dotažený motor V4-235 s výkonem 75 kW. Jejich hlavním zájmem jsou pouze parametry motoru, a tak není divu, že cena jednoho takového dosahuje i 1,5 mil. €.**

Společnost Kockums vyvinula pro ponorky unikátní AIP systém (Air Independent Propulsion System) na bázi Stirlingova motoru. Tento systém je založen na spalování vodíku za přítomnosti syntetického vzduchu, připravovaného z tlakových lahví. Proto může být motor v provozu i pod hladinou. Produktem spalování je pouze vodní pára, která je následně kondenzována a ukládána v zásobníku. Součástí celého pohonného systému jsou dále akumulátory elektrické energie, dieselagregát, elektromotor a elektrický generátor. Hlavním pohonem je většinou elektromotor. Při plavbě na hladině jsou dobíjeny akumulátory dieselagregátem a současně elektrolyzou rozkládána dříve zkondenzovaná voda opět na kyslík a vodík. Tento systém umožní ponorce zůstat pod hladinou několiknásobně déle než při použití klasického řešení (dieselagregát a akumulátory).

Jak je vidět, vojenský průmysl umí vyprodukovat zajímavá technická řešení, bohužel někdy však příliš dlouho trvá, než jsou aplikována v běžném provozu. Podobný příklad platí pro jaderné reaktory typu VVER, použité na mnoha místech včetně Temelína i Dukovan, které jsou odvozené od původních modelů VVER, určených pro pohon ruských jaderných ponorek. (Poznámka autora)

Výhody Stirlingova motoru oproti klasickým spalovacím motorům:

- díky vnějšímu přívodu tepla lze přímo využít prakticky jakéhokoli paliva (plynná, kapalná i pevná fosilní paliva včetně OZE)
- lze využít i odpadního tepla z technologických procesů, geotermální energie, solární energie a s rozumnou účinností toto teplo převést přímo v elektřinu
- vyšší vnitřní tepelná účinnost
- výrazně nižší servisní náklady, dané dlouhými servisními intervaly, které činí běžně 5.000 až 10.000 hodin; dlouhá životnost je dána hlavně skutečností, že olej není v přímém kontaktu se spaliny ani horkými díly motoru a náplň motoru je z výroby velmi čistým, k materiálům netečným plynem
- nulová spotřeba oleje
- velmi nízká hloučnost vlivem pozvolné změny tlaku během cyklu a absence cyklických zážehů či vznícení
- při správné konstrukci spalovacího systému má motor díky vnějšímu spalování nižší emise škodlivin.

Nevýhody Stirlingova motoru oproti klasickým spalovacím motorům:

- vyšší cena z důvodu malé sériovosti a náročné, čisté montáže vysoce kvalifikovanými pracovníky, nutnosti použití speciálních materiálů a některých technologií nevhodných pro sériovou výrobu
- pomalejší regulace výkonu - pro výrobu elektřiny a tepla to nepředstavuje žádný problém
- vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu, opět není problémem pro výrobu elektřiny a tepla
- většinou mírně nižší účinnost, která je však u malých výkonů bohatě kompenzována podstatně nižšími servisními náklady.

Stirlingův motor TEDOM

V roce 2001 padlo ve firmě TEDOM s.r.o., našeho největšího výrobce kogeneračních jednotek, rozhodnutí zahájit vývoj kogenerační jednotky na bázi Stirlingova motoru. Dle vyjádření vedoucího vývoje Stirlingova motoru pana Josefa Brože to bylo z dnešního pohledu odvážné rozhodnutí. Nicméně práce na vývoji byly na počátku roku 2002 zahájeny. V letech 2002 a 2003 byl vývoj prováděn částečně za podpory MPO v rámci projektu s názvem „*Výzkum a vývoj zařízení na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla ve výkonové třídě mikrokogenerace na bázi Stirlingova motoru s možností spalování biomasy*“. V dnešní době probíhá vývoj již za vlastního financování a celkové náklady projektu přesáhly 40 milionů Kč.

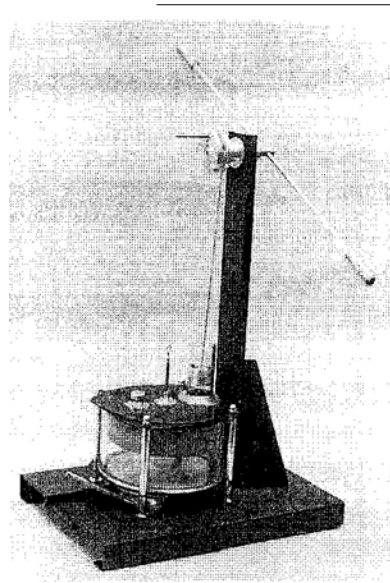
Podrobnější informace o principu provozu Stirlingova motoru i technické podklady vlastního vývoje Stirlingova motoru najdete na WWW.TEDOM.CZ v sekci kogenerace/naše produkty/motor STIRLING. Kapitola týkající se Stirlingova motoru je zpracována s výrazným použitím firemních materiálů TEDOM.



Perspektiva Stirlingova motoru

Poprvé jsem Stirlingův motor viděl před mnoha lety na nějakém semináři, kde model vyrobený posluchači VUT Brno předváděl Ing. Kaplan. Pohonem modelu byla svíčka. Obyčejná zapálená svíčka. Motor se nejprve několik minut zahříval a potom se roztočil. Užasle jsem zíral, jak plamínek svíčky roztáčí klikový mechanismus a ten otáčí tyčkou se závažíčky.

Jak se říká, byla to láska na první pohled. Mé další setkání se Stirlingem bylo někdy na konci minulého století v garáži pana Janety v Orlové na Ostravsku. Propanbutanovým hořákem zahřál výměník, motor se roztočil a přes generátor rozsvítil silnou žárovku. Postupem času jsem se o tomto principu dozvídal stále víc.



Na mezinárodní konferenci o decentrální kogeneraci, pořádané Sdružením pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla COGEN CZECH, jsem vyslechl zajímavou přednášku, jejíž velká část je obsažena v předchozí kapitole věnované historii Stirlingova motoru. Závěrem přednášky vedoucího vývoje Stirlingova motoru TEDOM, která se zabývá seriózním vývojem motoru s vnějším spalováním, zaznělo velice zajímavé stanovisko, parafrázující pověst spojených Svatoplukových prutů, o kterém ještě budeme mluvit v kapitole o dřevním plynu. Jeho vyjádření mne zaujalo natolik, že jsem si vyžádal jeho písemnou formu, kterou předkládám v plném znění:

Situace je asi taková, že ve světě existuje několik výrobců, kteří se problematikou Stirlingova motoru seriózně zabývají. Mnoho z nich dokonce prezentuje, že dokončili i vývoj a teď už zbývá "jen zavést sériovou výrobu" a snížit tak výrobní náklady, které jsou u kusové výroby obrovské. Nikdo z těchto výrobců není v současné době schopen vyrobit více než desítky motorů ročně. I když je vývoj jak říkají dokončen, tato množství slouží většinou k dalšímu testování životnosti v různých projektech, které však chtějí mít pod vlastní kontrolou. Na firmy, které by chtěly Stirlingovy motory dále používat ve svých zařízeních, tedy kapacita nezbyvá. Jistou roli zde může hrát i obava z odhalení know-how, neboť nabídne-li se motor pro jinou firmu pro aplikovaný výzkum, musí tato firma znát minimálně principy a algoritmy řízení, servis, údržbu atp. Poptávka po Stirlingových motorech je patrná zejména v oblasti využití solární energie, spalování biomasy a spalování plynů s nízkým obsahem metanu (< 25%). Na druhé straně většina firem chce mít jistotu, že jejich motor je spolehlivý.

Klíčem k vyřešení tohoto problému mohou být pouze rozsáhlé investice do výrobních kapacit, alespoň co se týče specifických dílů, jako jsou písty, pístní tyče, válce, těsnící prvky, ohřívák, chladič, regenerátor a u spalovacích aplikací rekuperační výměník. Nejdůležitější je přitom kvalita, kvalita a zase jen kvalita!!! Samozřejmě za přijatelnou cenu. Toho nebude možné docílit pouhými investicemi do strojního vybavení, ale bude záviset velkou měrou na kvalitě a proškolenosti personálu vstupujícího do procesu výroby, a to na jakékoliv pracovní pozici.

Stirlingův motor je něco, o čem se příliš neví a ani nemluví. Pokud vím, Stirlingův motor není v současné době součástí osnov na základních ani středních školách. Je pouze okrajovou součástí

látky na technický vysokých školách!!! Vzniká velice málo teoreticky připravených absolventů, o praktické zkušenosti už vůbec ani nemluvě. To vše by se mělo změnit. To jsem ale trochu odbočil. Většina firem zajišťuje výrobu i specifických dílů v kooperaci a do budoucna hledají dodavatele i pro sériovou výrobu. Činí tak, protože si logicky uvědomují velkou finanční náročnost a snaží se přenést náklady na tyto dodavatele, jako je to běžné např. v automobilovém průmyslu. Tímto způsobem bude velice těžké a možná téměř nemožné docílit rozumné kvality, ceny a termínů dodávek především z důvodů velké specifčnosti požadavků na díly Stirlingova motoru. V automobilovém průmyslu se jedná o mnohem větší výrobní množství a jistota návratnosti investic a dobrého výdělku je téměř 100%. U Stirlingova motoru je situace poněkud jiná. Neexistují a ani zatím nemohou existovat žádné firmy, které by se specializovaly na výrobu specifických dílů pro Stirlingovy motory. Dá se předpokládat, že množství vyrobených Stirlingových motorů nebude nikdy vyšší než spalovacích motorů s vnitřním spalováním. Troufám si odhadnout, že když vše půjde dobře, v blízké budoucnosti můžeme mluvit o řádově tisících, možná desetitisících kusů ročně. Proto je zde pouze jediná cesta, a to již zmíněné investice do vlastních výrobních kapacit. Má ale logiku, aby každá firma investovala do vlastních výrobních kapacit, když jsou si zmíněné díly po rozměrové i technologické stránce značně podobné? Z mého pohledu to logiku nemá. Dokonce si myslím, že by věci pomohla i spolupráce na vývojové úrovni. Samozřejmě chápu snahu chránit si know-how, získané za obrovského úsilí a finančních prostředků. Na druhé straně koncepce a výkonové úrovně motorů jsou různé (1 - 50 kW) a nejde zde většinou o přímou konkurenci. Navíc by to mohlo zkrátit dobu návratnosti investic a posloužilo by to i k vytvoření jakéhosi výrobně technologického standardu Stirlingových motorů. Od toho se může každý odklonit, bude-li chtít prosadit svoje vlastní speciální řešení, ale bude si to řešit sám. Neříkám, že se musí spojit všichni, ale zřízení několika společných výrobních podniků je jedna z cest. Druhý možný způsob je, aby se každá ze spolupracujících firem zaměřila na určitou oblast výroby a ji zainventovala a společně tvořily síť dodavatelů a odběratelů. Možná je to myšlenka příliš naivní, ale podobným způsobem se dnes chovají i automobilky, kdy se sdružují do koncernů, aby snížily výrobní i vývojové náklady. Tak proč by to nemohlo fungovat i u Stirlingova motoru?

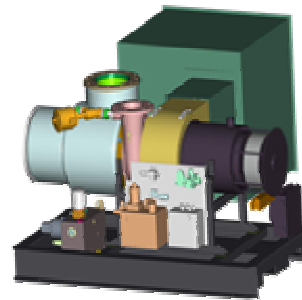


S pozdravem
Josef Brož
vedoucí vývoje Stirlingova motoru
TEDOM-VKS s.r.o.
www.tedom-vks.cz



TALBOTTS horkovzdušná, vysoce expanzivní turbína z První brněnské strojírny Velká Bíteš

Přiznám se, že jsem tuhle kapitolu několikrát přemístoval, než našla své pravé místo tak, aby správně zapadala do celkového konceptu práce, který kategorizuje jednotlivé energetické zdroje vzestupně dle elektrické účinnosti. Předchozí kapitola zabývající se malými výkony z oblasti MIKROKONERACE sice obsahuje rozličné agregáty s různou účinností, ale je to ucelený soubor, do kterého jsem nechtěl zasahovat. Po kapitole pojednávající o tak malých výkonech zákonitě muselo přijít „něco většího“. Z technického hlediska se jedná o motor s vnějším spalováním tak jako u Stirlingova i parního motoru, mělo by to tedy být co nejbližší uvedeným motorům. Je to kogenerace, musí to tedy být teprve potom, co si ozřejmíme její technický princip. Pohonnou jednotkou je ale turbína i když se nejedná o parní systém, patří tedy k turbínám? Dle zavedeného rozdělení jednotlivých technologií vzestupně podle energetické účinnosti kapitola patří daleko za parní stroj, turbínu i systém ORC. Navíc jde o novinku, o kterých závěru svého příspěvku pojednává Ing. Dvorský, proto „to“ patří právě sem. Co se týká výkonové, neboli boxerskou terminologií „váhové“ kategorie, po předchozí lehké „muší“ se tedy dostáváme k „lehké střední“ výkonnostní kategorii:



Celkový výkon i uvedený poměr mezi elektrickým a tepelným výkonem záleží především na kvalitě paliva, jeho vlhkosti a homogenitě zpracování. Protože jde o novinku, výrobce uvádí pro jednotku BG 100 přibližně 100 kW elektrického a 200 kW tepelného výkonu. Předpokládejme tedy, že co se týká energetické účinnosti, systém patří někam mezi velké uvedené systémy s cyklem ORC a kogeneraci pracující s pístovým spalovacím motorem. Výkonově však jde o „lehkou střední váhu“, což bude svým určením i četností budoucích realizací mnohem blíže bioplynovým a dřevoplynovým kogeneračním jednotkám, které jsou uvedeny dále. V našich podmínkách lze předpokládat, že především jednotka BG 100 s možností mobility za zdrojem paliva najde četné uplatnění.

Uvedené fotografie pocházejí z firemních podkladů TALBOTTS, které si můžete prohlédnout v přílohové části práce. V elektronické příloze umístěné na www.energis24.cz rovněž najdete funkční schéma a podrobnější prezentaci uvedeného soustrojí i činnosti firmy Talbotts.



Pohled do spalovacího prostoru kotle a celkový pohled na turbínu BG 100.

Britská firma Talbotts se již více než 30 let věnuje konstrukci a výrobě kotlů na spalování biomasy od výkonu 25 kW do výkonu 10 MW. Relativně jednoduchý technický princip je založený na využití teplotního potenciálu horkých plynů ze spalin, jejichž teplo je přes výměník využito k pohonu horkovzdušné vysoce expanzivní turbíny. Turbína pochází z vývojových a konstrukčních dílen První brněnské strojírny z Velké Bíteše (PBSVB). Jedná se o upravenou turbínu BG 100. Jelikož se konstruktéři obávali nečistot, mastnoty nebo sazí ze spalin kotle, je použitý výměník. Po průchodu turbínou se horký vzduch vrací zpět do kotle jako vysoce předehřátý spalovací vzduch, čímž se výrazně zvyšuje účinnost celého systému.

Od prvotních myšlenek uplynulo jen několik málo let. Na sklonku roku 2007 je již v provozu více než 10 zařízení. Všechna si můžete prohlédnout na Britských ostrovech, pouze jedna instalace je ve Švýcarsku. Tak rychlý vývoj mohl být jen proto, že výrobce kotlů Talbotts našel u První brněnské strojírny použitelnou turbínu, kterou stačilo upravit pro jejich potřeby. Pochopitelně se to neobešlo bez příznačných porodních bolestí. V tuto chvíli však existuje hotový fungující výrobek, který má své technické parametry i konečnou prodejní cenu. Stačí mít 500.000 EUR a můžete si jej odvézt.

Jsem rád, že ve Vaší práci popisujete právě činnost fy Talbotts, protože se mi tato technologie jeví jako velmi vhodná. Proto jsem asi před dvěma lety přijal nabídku zástupců PBSVB a pana Talbotta, abych v naší republice, případně i v jiných zemích směrem na východ prováděl podrobnějšího informátora s cílem instalovat a zprovoznit tyto jednotky.

Ing. Miroslav Samec mail: miroslav.samec@volny.cz mobil: 606 641 817

V následujícím oddíle se podrobněji podíváme na bioplynové stanice. Tato „malá komunální energetika“ je použitelná v každé vesnici nebo zemědělském družstvu. Z hlediska energetické účinnosti se však jedná o „královskou disciplínu“, která ve smyslu v úvodu zavedeného členění vykazuje nejvyšší podíl mezi elektrickým a tepelným výkonem a nejvyšší míru celkové energetické účinnosti. Z technického hlediska se jedná o kogeneraci, reprezentantku Ottova cyklu – s pístovým spalovacím motorem, pracujícím na zemní plyn, bioplyn, řepkový olej a nebo znovuobjevený dřevní plyn. Použitelná je pochopitelně i spalovací turbína nebo v budoucnu i palivový článek.

Bioplyn – pohonným médiem pro motorovou kogeneraci

Hlavním produktem anaerobní fermentace organické hmoty je bioplyn (BP). BP je bezbarvý plyn skládající se hlavně z CH_4 a CO_2 . Bioplyn může ovšem obsahovat ještě malá množství N_2 , H_2S , NH_3 , H_2O , ethanu a nižších uhlovodíků. Vedlejším produktem je stabilizovaný anaerobní kal, který lze výhodně použít jako hnojivo. Složení a další vlastnosti BP závisí především na zpracovávané BM a druhu procesu. Pro ilustraci uvádíme v následující tabulce srovnání vlastností různých druhů bioplynů:

<i>Parametr</i>	<i>Skládkový plyn</i>	<i>Bioplyn (ČOV)</i>	<i>Bioplyn (prasečí kejda)</i>
¹⁾ <i>Výhřevnost (MJ/m³)</i>	16,9	21,1	24,0
<i>H₂ (%)</i>	1	1	-
<i>CO (%)</i>	1	-	-
<i>O₂ (%)</i>	3	-	-
<i>N₂ (%)</i>	-	-	-
<i>Cl, F (mg/m³)</i>	-	-	-
<i>NH₃ (mg/m³)</i>	-	-	40
<i>CO₂ (%)</i>	46	38	31
<i>CH₄ (%)</i>	49	61	69
<i>H₂S (mg/m³)</i>	350	1 000	²⁾ 2 300

¹⁾ vztaženo na 15°C, 101 325 Pa.

²⁾ na vstupu do odsiřovacího zařízení.

²⁾ výše uvedené vlastnosti BP je potřeba brát jako orientační. Skutečné vlastnosti BP na konkrétní BPS jsou závislé a mnoha faktorech (zejména na fermentovaném materiálu).

Bioplyn vzniká jakožto produkt anaerobní digesce organických materiálů. Bioplyn se vytváří v přirozených prostředích, jako jsou mokřady, sedimenty, v trávícím ústrojí zejména přežvýkavců, ale i některých savců, což závisí hlavně na skladbě jejich potravy. Bioplyn dále vzniká v zemědělských prostředích, jako jsou rýžová pole, uskladnění hnojů a kejdy, v odpadovém hospodářství na skládkách odpadů (zde je označován jako skládkový plyn), na anaerobních čistírnách odpadních vod (ČOV), v bioplynových stanicích. Bioplyn z bioplynových stanic, ČOV a některých skládek je cíleně využívám ke společné výrobě tepla a elektrické energie. Bioplyn je také výrazným skleníkovým plynem, proto je na jeho využití v poslední době kladen čím dál větší důraz. Bioplyn tedy představuje velice důležitý zdroj pro energetické využití, což je hlavním důrazem celé kapitoly věnované jeho energetickému využití.

Energetický potenciál bioplynových stanic

Bioplynové stanice jsou již v zahraničí značně rozšířeny a masově se začínají budovat i v naší zemi. Jenom v sousedním Německu pracuje téměř 3800 kogeneračních jednotek na bioplyn a jejich souhrnný instalovaný výkon dosahuje 1200 MW el., což již je výkon, za který se nemusí stydět ani ta největší jaderná elektrárna. Jen v loňském roce bylo v Německu zprovozněno 770 bioplynových stanic s celkovým výkonem 550 MW. V České republice by do roku 2010 mohl elektrický instalovaný výkon bioplynových stanic představovat cca 90 MW¹⁵. V roce 2006 bylo v ČR prostřednictvím bioplynových stanic vyrobeno 175 GWh elektrické energie. Po výrobě ve vodních elektrárnách a spalování biomasy se tak bioplyn stává třetím největším obnovitelným zdrojem v ČR¹⁶. Nezbyvá než si jen přát, aby podobný rozmach výstavby bioplynových stanic, jaký zažívají okolní státy, nastal i u nás. Zvýšení výkupní ceny el. energie může být tím správným impulsem.

¹⁵ Tisková zpráva Českého sdružení pro biomasu: Bioplyn se může významně podílet na energetické bilanci České republiky.

¹⁶ Tisková zpráva – 2.11.2007 Bioplyn se v ČR rozvíjí - Česká bioplynová asociace CzBA. Celá zpráva je uvedena v přílohavé části.

● ZAJÍMAVOSTI

Bioplyn v Rakousku: dynamický růst a vysoký potenciál

V Rakousku zaznamenal bioplyn v minulých letech dynamický nárůst: celkový elektrický výkon stoupl od roku 2001 z 1,55 MW na více než 80 MW, což odpovídá padesátinásobnému nárůstu. V současnosti je v Rakousku 300 bioplynových stanic s roční produkcí 570 GWh elektřiny. To odpovídá 0,9 % spotřeby elektrické energie v Rakousku nebo proudu pro zásobování 160 000 domácností.

Francie: Nové atraktivní tarify elektřiny z OZE

Ve Francii platí nové tarify pro výkup elektřiny z OZE, které byly ohlašovány již od 13. července 2006. Je to dobrý krok ke splnění cíle francouzské vlády vyrábět do roku 2010 21 % elektřiny z obnovitelných zdrojů. Výše výkupní ceny se řídí podle roku uzavření smlouvy odběru. Od roku 2008 budou ceny klesat o 2 % ročně. Podle výkonu zařízení se budou ceny pohybovat od 7,5 do 9 Ct/kWh (8,6–10,3 Ct/kWh pro zámořské lokality). Toto zvýhodnění bude poskytováno po dobu 15 let a je možno ho navýšit dalšími příplatky až o 5 Ct/kWh.

Existuje dostatek informačních pramenů, kde je historie i technický popis výroby bioplynu dostatečně a kvalifikovaně popsány, proto uvádím pouze **hlavní informační prameny** a několik pozitivních příkladů.

CZBIOM

Jedním z nich je České sdružení pro biomasu: CZ-BIOM, které mimo jiné vydává Odborný časopis a informační zpravodaj Českého sdružení pro biomasu. Tento časopis a mnoho dalších informací je k dispozici na jejich oficiálních internetových stránkách www.biom.cz. Tyto informační stránky se v průběhu několika let své existence vyvinuly v expertní informační systém, který již obsahuje tolik informací, že se stal málo přehledným. V letošním roce CZ-BIOM zahájil provoz druhých oficiálních stránek www.czbiom.cz, které se zaměřují především na prezentaci činnosti sdružení a na přehlednost.



Česká bioplynová asociace

Dalším subjektem, který se výrazně zasazuje o rozvoj bioplynových stanic, je Česká bioplynová asociace CzBA, která byla založena s posláním stát se národní technologickou platformou v oblasti bioplynu, identifikovat a hájit zájmy v této oblasti, prosazovat tyto zájmy na evropské úrovni a realizovat vědecko-výzkumné a technologické inovační aktivity¹⁷. V říjnu tohoto roku ČOV Třeboň uspořádala za podpory České bioplynové asociace s České energetické agentury dvoudenní konferenci „Výstavba a provoz bioplynových stanic“. Co do počtu účastníků a přednášejících se jednalo o největší konferenci svého druhu v České republice. Letošního ročníku se zúčastnilo přes 240 zájemců včetně dvaceti přednášejících z několika zemí.¹⁸

Podrobnější informace o činnosti asociace najdete v příložené tiskové zprávě ze dne 2. 11. 2007 a stanovách občanského sdružení CzBA nebo na www.czba.cz

¹⁷ Stanovy občanského sdružení České bioplynové asociace o.s.

¹⁸ Tisková zpráva – 2.11.2007 Bioplyn se v ČR - České bioplynové asociace CzBA. Celá zpráva v příloze.



Společnost BIOPROFIT, s.r.o., se od roku 2004 věnuje podpoře rozvoje efektivního využívání biomasy a bioodpadů jako obnovitelného zdroje energie. Jejím cílem je přispět k rozvoji společnosti v souladu s principy udržitelného rozvoje za účelem zachování přírodního bohatství dalším generacím. Krédem společnosti je spolehlivost, odbornost, nezávislost a efektivita řešení projektu. Služby poskytuje v celorepublikovém rozsahu, jejími zákazníky jsou soukromé i veřejné subjekty. V posledních třech letech se společnost specializovala na inženýring bioplynových stanic, přípravy nosných projektů obcí a mikroregionů zaměřených na využití vybraných druhů obnovitelných zdrojů energie. Své služby však nabízí v poměrně široké oblasti, kterou lze charakterizovat jako poradenství, inženýring a management projektů obnovitelných zdrojů energie a rozvoje venkova. V oblasti bioplynu a využití obnovitelných zdrojů energie (OZE) společnost vyvíjí aktivity rovněž v oblasti výzkumu a vývoje za účelem zvýšení využití energetického potenciálu vstupů a zvýšení ekonomického přínosu řešených projektů.

Společnost rozvíjí činnosti rovněž v oblasti související s přípravami realizací staveb, tj. dotační management, řízení realizací formou supervize, geologické a hydrogeologické průzkumy a posudky, hodnocení vlivů projektů na životní prostředí EIA, SEA, zpracování žádostí o integrované povolení IPPC, ekologické audity, rizikové analýzy, studie nakládání s odpady apod. Provozují internetové stránky www.bioplyn.cz a www.bioprofit.cz.

Dalším specialistou, který se dlouhodobě věnuje propagaci bioplynových stanic a odbornému poradenství v tomto oboru, je Ing. Jiránek, který každoročně pořádá několik tematicky specializovaných zájezdů po fungujících instalacích bioplynových stanic u nás i v zahraničí. Kontakt: Ing. Jiránek 732 850 417

Všichni oslovení odborníci na bioplynové stanice se shodují v tom, že bioplynová stanice musí být navržena v závislosti na vstupní surovině, která je v dané lokalitě k dispozici. Po uvedení do provozu je nutné dodržovat technologickou kázeň a do bioplynové stanice zavážet jen to, na co byla vyprojektovaná a postavená. V případě, že je tomu jinak, hrozí celá řada vážných technologických problémů, které mohou vyústit až v úplné zastavení metanogenního procesu.

Odborníci na výstavbu bioplynových stanic i jejich provozovatelé všem potenciálním investorům vzkazují: Nepodléhejte lákavým, cenově nejvýhodnějším nabídkám a slibům dealerů a obchodních zástupců. Zajímejte se o konstrukční a materiálové provedení jejich výrobků, o provozní spolehlivost, energetickou a provozní náročnost. Vyžádejte si reference. Nejlevnější řešení nemusí být tím nejvýhodnějším.

Mezi nejrozšířenější aplikace bioplynových stanic patří ČOV, zemědělské podniky, skládky odpadů. Do budoucna se jako perspektivní jeví tzv. suchá fermentace, která je použitelná k likvidaci zbytků potravin i biomasy, např. z údržby veřejné zeleně. Na následujících stránkách uvádím několik pozitivních příkladů z realizace v jednotlivých uvedených segmentech možností instalací bioplynových stanic.

Bioplynová stanice Třeboň

ČOV Třeboň je nejstarší bioplynovou stanicí v ČR zpracovávající kejdu prasat společně s městskými odpadními vodami. Vlastníkem a provozovatelem je firma R.A.B., spol. s r.o. Třeboň. Do provozu byla ČOV uvedena v r. 1974, pořizovací náklady v té době činily 24 mil. Kč. Čistírna byla postavena jako mechanicko-biologická čistírna pro společné čištění kejdy a odpadních vod z města Třeboň (18 tis. ekvivalentních obyvatel). Producentem kejdy je velkovýkrmna Gigant. Dříve činil počet chovaných zvířat 30 tis. ks, dnes se stav snížil na 19 tis. ks. Z důvodu zvyšujících se požadavků na kvalitu odtoku byla čistírna rozšířena o druhý anaerobní stupeň, který tvoří aktivační a dosazovací nádrž doplněná kaskádou čtyř biologických rybníků o celkové ploše 10 ha a průměrné hloubce 1,2 m. Ve čtvrtém rybníku o ploše 5 ha se s úspěchem realizuje odchov kapřích násad.



Komunální odpadní vody jsou přiváděny přes česle, lapák písku a usazovací nádrže do aktivační nádrže 1. aerobního stupně. Do aktivační nádrže je také přiváděna fermentovaná směs kejdy a směsného kalu z prvního a druhého aerobního stupně v množství 80 m³ denně.



Kejda z velkovýkrmny Gigant je z části čerpána do homogenizační jímky potrubím, z části je dovážena v autocisternách. Směs je čerpána kalovým čerpadlem do prvního fermentoru. Fermentor má objem 3.200 m³ a je vytápěn na teplotu 39-41 °C. Ohřev je řešen externím způsobem – čerpáním substrátu přes tři výměníky voda/kal, z nichž každý má výkon 290 kW.

Obsah fermentoru je odčerpáván asi z 2/3 výšky a vrácen do jeho spodní části. Výhodou tohoto způsobu ohřevu je současně zajištění míchání. Míchání je zároveň zajišťováno bioplynem, který je kompresorem vháněn do trysky umístěné ve středu dna fermentoru.

Míchání se provádí přibližně každé dvě hodiny po dobu 20-30 minut. Za celou dobu provozu byl fermentor čištěn pouze jednou, přičemž ztuhlá vrstva usazeného kalu zaujímala asi 10 % objemu nádrže. Střední doba zdržení zde činí 25 dnů a uvolňuje se zde přes 80 % z celkové produkce plynu.

Předfermentovaná směs přetéká do druhého reaktoru o objemu 2.800 m³, ten je míchán bioplynem a není vytápěn (teplota je zde o 4-8 °C nižší). Oba reaktory jsou železobetonové konstrukce s kónickým dnem a stropem, izolované polystyrenovým obkladem, který je chráněn hliníkovým plechem. Bioplyn (3000 m³/den) se shromažďuje v horních částech reaktorů, kde jsou na sběrném potrubí instalovány kapalinové tlakové ventily, které zajišťují hodnotu tlaku plynu výškou vodní hladiny na úrovni 150-200 mm vodního sloupce. Vznikající bioplyn je uskladňován v dvoumembránovém plynojemu, který vypadá jako plánovaný americký radar v Brdech, ale jde o plynojem o objemu 2.100 m³ v Třeboni.



Na ČOV byla původně instalovány 2 kogenerační jednotky GEB 160 firmy ČKD Hořovice. Chlazení kogeneračních jednotek je propojeno s vytápěním fermentorů. Pro mazání motorů se používá olej pro plynové motory. Vzhledem k tomu, že se na ČOV doposud neprovádělo odsíření bioplynu, vyměňuje se olej po 500 Mh provozu, v případě odsíření lze životnost oleje zvýšit až dvakrát (bioplyn obsahuje v průměru 3-4,5 mg H₂S/l, úpravou je možné tento obsah snížit až na 0,15 mg/l).



Z reaktorů je část směsi čerpána na dekantační odstředivku (40 %) a zbytek do uskladňovací nádrže, odkud se dle potřeby vyváží na pole. Tuhá frakce z odstředivky je aplikována na půdu rozmetáním. Fugát z odstředivky je přiváděn do prvního aktivačního stupně.

Uvedený popis BPS v Třeboni, jehož autorem je pan Miroslav Kajan – zástupce provozovatele, včetně uvedené fotodokumentace pochází ze stejnojmenného článku Bioplynová stanice Třeboň, uveřejněného na informačním serveru: www.biom.cz v kategorii články, plynná paliva.

Na sklonku minulého století byla instalace rozšířena o kogenerační jednotku TEDOM s motorem LIAZ M 1,2 TG. Uvedená fotografie sice pochází z ČOV Havlíčkův Brod a je o poznání novější, ale zajímavá je tím, že je osazena dvojitou plynovou trasou pro spalování bioplynu a zemního plynu. Vzhledem k tomu, že každý plyn má jinou výhřevnost (proto je také odlišný průměr potrubí) a je nutné jej se spalovacím vzduchem míchat v jiném poměru, musí být instalována celá plynová trasa včetně směšovačů plynu a spalovacího vzduchu samostatně. Teprve potom je možné obě paliva za provozu dle potřeby střídat.



Celá instalace v Třeboni je z roku z roku 1974. Vzhledem k tomu, že se jedná o první BPS v ČR, mohli bychom tuhle **kapitulu považovat za historický přehled BPS**. Podobný bioplynový zásobník s tvarem kopacího míče a velikostí americké radarové základny byl přibližně ve stejné době instalován i v zemědělském podniku v Hustopečích u Brna, kde byla rovněž instalována kogenerační jednotka GEB - 160 firmy ČKD Hořovice. Její osud však nebyl tak radostný, proto byla již dávno odstavena z provozu. Instalace v Třeboni však žije dál svým bohatým životem a **stala se tak i pozitivním příkladem**. Do jejích prostor přicházejí četné exkurze a její provozovatelé stáli u zrodu České bioplynové asociace CzBA, která výrazně přispívá k rozvoji bioplynové technologie, proto o její činnosti informuji.

Využití skládkového plynu pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla

Kapitola pojednává zkušenosti s provozováním kogeneračních jednotek na bioplyn ze skládek komunálních odpadů. Jedná se o dvě největší skládky v České republice, které se nacházejí v pražských Ďáblicích a Dolních Chabrech.

Skládkový plyn je jedním z druhů bioplynu, který vzniká rozkladem biologického odpadu na skládkách a který obsahuje vysoké procento metanu a oxidu uhličitého. Pokud tyto plyny unikají samovolně ze skládek, stávají se původci tzv. skleníkového efektu. V našem případě dosahuje produkce bioplynu z obou skládek 2.200 m³/hod. Jejich likvidace je tedy významným ekologickým přínosem.

První kroky k využití bioplynu ze skládek v Ďáblicích a Dolních Chabrech učinila v roce 1997 společnost PDI a.s., když navrtáním jímacích studní odplynila obě skládky, svodným potrubím přivedla plyn ke kompresorové stanici v Ďáblicích a odtud dále plynovodem do kogenerační teplárny v areálu Avia, a.s. v Letňanech. V teplárně byly nainstalovány 2 kogenerační jednotky o elektrickém výkonu 2 x 826 kW, 1 jednotka o elektrickém výkonu 300 kW a plynový kotel o tepelném výkonu 12 MW. Elektřina i teplo sloužily ke krytí vlastní spotřeby areálu Daewoo Avia, část tepla se dodávala do sídliště Letňany. K tomuto účelu byl jako součást investice vybudován do sídliště teplovod. Kogenerační jednotky jsou v kontejnerech, jedna je umístěna v budově po demontovaném plynovém kotli.

Vzhledem k poměrně značné finanční náročnosti celé akce byl projekt v tehdejších ekonomických podmínkách nerentabilní. V posledních letech došlo ke změnám ekonomických podmínek v oblasti výroby tepla a elektřiny z bioplynu a biomasy, které iniciovaly jednání o spolupráci mezi firmami PDI, a.s. a TEDOM, s.r.o. S cílem optimalizovat projekt v nových ekonomických podmínkách. Výsledkem bylo rozdělení odpovědností za provoz. Jak vypadala zmíněná optimalizace projektu?

Na jaře roku 2002 byl demontován plynový kotel a místo něj byly nainstalovány další dvě kogenerační jednotky o elektrickém výkonu 2 x 1.100 kW. Tím došlo ke změně struktury služeb - klesl prodej tepla a výrazně se zvýšil prodej elektřiny. Uvedené úpravy vedly ke zvýšení využití energie v plynu, všechny jednotky jsou v provozu 24 hodin denně, jejich roční proběh činí 90 %. Nově dosahované tržby za prodej energie jsou již dostatečné pro splácení nové i staré investice.

Technické parametry optimalizovaného energetického systému:

- Instalovaný elektrický výkon: 5,2 MW
- Instalovaný tepelný výkon: 7,3 MW
- Roční výroba elektřiny: 30.000 MWh
- Roční výroba tepla: 120.000 GJ
- Roční spotřeba plynu: 15 mil m³



V současné době TEDOM provozuje projekty energetického využití bioplynu na dalších 14 skládkách v České republice, kde vyrábí kolem 50.000 MWh „zelené elektřiny“ ročně. Informace o využití skládkového plynu pochází z firemního magazínu TEDOM - č.5/2002.

BPS Chroboly – stávající koncepce

Mezi pozitivní příklady patří jedna z nejnovějších a nejmodernějších realizací, kde si **exkurze a potenciální zájemci podávají kliku u dveří** patří i BPS Chroboly. Tato instalace se od těch předchozích liší i vstupní energetickou surovinou. Popis této instalace připravil Ing. Urban, jednatel společnosti Bioprofit s.r.o., která realizovala kompletní návrh uvedené BPS.

Biodpady a cíleně pěstovaná biomasa je přijímána na zpevněné ploše v těsné blízkosti reaktoru. Zde je instalován zásobník zpracovávané biomasy o velikosti 1,5 násobku uvažovaného denního objemu. Slouží pro příjem trávy, senáže, siláže, hnoje, osazen je nožovým drtičem, do kterého se naváží plánovaná denní dávka. Dávkovacím šnekovým dopravníkem s dalším předřezáním a rozmělněním vstupních materiálů je zajišťována doprava ze zásobníku do reaktoru, pod hladinu kalu, kde jsou smíchány s materiálem zde fermentujícím a doředěny tekutinou (voda, tekutý fugát). V reaktoru (nadzemním fermentoru) potom probíhá mokrá mezofilní fermentace při teplotě cca 35 °C a době zdržení cca 80 – 100 dnů.

Po předpokládaném cca 70 – 80 % odstranění organické sušiny je kal následně vyčerpán do uskladňovací nádrže odkud se v tekutém stavu odváží přímo jako hnojivo na zemědělské pozemky.

Vznikající bioplyn je jímán v membránovém plynojemu, který je umístěn na vrchu fermentoru. Z plynojemu je bioplyn veden do kogenerační stanice. Kogenerační stanice je tvořena jednou kogenerační jednotkou na spalování bioplynu, stanice je umístěna v samostatném objektu spolu s rozvodnou a velínem BPS (umístění řídicího systému). Součástí plynového hospodářství je kromě vlastního plynojemu a kogenerační jednotky také hořák zbytkového plynu (fléra) pro případ jejího výpadku.

Na kogenerační jednotce vyrobená el. energie je dodávána do rozvodné sítě přípojkou NN a novou trafostanicí výkonu 630 kVA. Provoz celé linky fermentační stanice je v maximální míře automatizován a řízen z administrativní části objektu stanice.

Součástí vlastního technologického zařízení jsou trubní rozvody a propojení včetně čerpadel, armatur, izolací a nátěrů, veškerá elektroinstalace a systémy měření, řízení a regulace.

Dopravní a manipulační plochy v areálu bioplynové stanice jsou zpevněny asfaltem. Areál je oplocen a vybaven vjezdovou a výjezdovou branou. Rozmístění jednotlivých objektů je patrné ze situace zařízení BPS v samostatné příloze.

Personální zajištění bioplynové stanice tvoří 2 pracovníci – vedoucí zařízení a obsluha.



Uvažované rozšíření BPS Chroboly

Původně navrhované alternativy – rozšíření o 500 kW:

- 1) Výstavba dalšího fermentoru „kruh v kruhu“ + rozšíření potřebné skladovací kapacity.
- 2) Nabízí se úprava stávající zastřešené uskladňovací nádrže (UN) na další fermentor.
 - Úprava by spočívala v instalaci izolace, míchadel a pravděpodobně i vytápění, nebo externího ohřevu materiálu.
 - BPS by pak byla prakticky trojstupňová s prvním vysoce zatíženým stupněm (vnější sekce stávajícího reaktoru „kruh v kruhu“, druhým stupněm - vnitřní sekce „kruh v kruhu“ a třetím stupněm - upravenou UN).
 - Pro skladování FZ by pak bylo nutno vybudovat novou uskladňovací nádrž. – např. 2 jímky typu WOLF nebo zemní jímku typu BD TECH.

Konečná varianta – rozšíření o cca 300 kW:

Charakteristika: žádná výstavba nových nádrží, zrychlení procesu, pouze osazení nové KJ, osazení separace (snížení množství tekutého FZ).

Výhodou je úspornost řešení, využití materiálu z blízkého okolí.



Zatím jsou nejrozšířenějším reprezentantem střední „váhové kategorie“ bioplynové stanice. Vzhledem k značnému objemu i zápachu vstupní suroviny si bioplynovou stanicí nemůže pořídit každý. I když mohou svoji roli sehrát i při energetickém zpracování nejrůznějších biologických odpadů, jsou použitelné hlavně v zemědělském sektoru.

První vlašťovku v oblasti využití biomasy ve střední „váhové kategorii“ představuje již popisovaný výrobek britské firmy TALBOTTS. Jak naznačuje další rozsáhlý materiál pojednávající o energetickém využití dřevoplynu, vlašťovek brzy přilétne celé hejno. Díky výkonu v řádu desítek až stovek kilowatt a mnohem dostupnější palivové základně jsou dřevoplynové jednotky použitelné u daleko širšího spektra budoucích provozovatelů.

Technologie energetického využití dřevního plynu je použitelná ve všech provozech od menších truhláren až po velké dřevozpracující závody, kde je k dispozici odpadní biomasa a tepelná energie je využitelná k otopu nebo sušení řeziva. Snadná dostupnost a dopravitelnost paliva technologii pro energetické využití biomasy předurčuje pro využití v nejrůznějších komunálních i podnikových vytápěcích, kde existuje celoroční odbyt pro vyrobené teplo. Podívejme se ale nejprve na historické souvislosti energetického využití dřevního plynu.

ZAŠLÁ SLÁVA DŘEVNÍHO PLYNU?

Dřevní plyn je směsí mnoha uhlovodíků s velmi nízkou výhřevností. Dominantní spalitelnou složkou je oxid uhelnatý (CO), následuje vodík (H₂) a methan (CH₄). Výhřevnost se pohybuje v rozmezí 3-5 MJ/m³ (pro srovnání – u bioplynu je to cca 20 MJ/m³ a u zemního plynu cca 34 MJ/m³). První zmínky o výrobě dřevního plynu můžeme nalézt v souvislosti s výrobou dřevěného uhlí. V čouďících milířích docházelo ke karbonizaci dřeva a k postupnému uvolňování jeho plynných složek. Plyn unikal přes hlínu tvořící izolaci milířů do okolí a byl vlastně nežádoucím odpadem. V roce 1812 byla v Londýně poprvé uskutečněna suchá destilace na komerčním zařízení. První komerční protiproudý zplyňovač byl zprovozněn v roce 1839¹⁹. Plyn, produkovaný z uhlí nebo rašeliny, byl využíván pro výrobu tepla již od roku 1840, v roce 1884 byly v Anglii známy první upravené plynové motory. Tato technologie však nebyla až do roku 1940 využívána v širším měřítku. Teprve nedostatek ropy za druhé světové války vedl k širšímu využití vyvíječů plynu v průmyslu, automobilové dopravě a pohonu spalovacích motorů. (Taxi poháněná uhlím byla běžně k vidění v Koreji ještě v roce 1970.) V obsazeném Dánsku bylo dřevoplynovými vyvíječi během druhé světové války poháněno 95 % zemědělských strojů, traktorů, nákladních aut, stacionárních motorů a motorových lodí. Dokonce i v neutrálním Švédsku bylo takto poháněno 40 % vozidel.²⁰



Motory přebudované na dřevoplyn měly nízký a nestálý výkon, rychle se zanášely dehtem a trpěly zvýšeným abrazivním opotřebením vlivem popílku. Generátor dřevoplynu byl ve vozidlech velkou přítěží a vyžadoval častou ruční obsluhu, velmi podobnou obsluze kamen. I při poměrně malém proběhu kilometrů musely být prováděny střední a generální opravy motorů.

Něco málo z historie pohonu vozidel na dřevoplyn

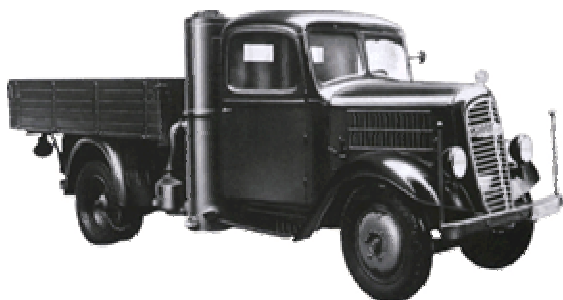
Na dřevoplyn lze upravit motor benzinový, ale i naftový, pokud je vstříkováno malé množství nafty, které je užito k zapálení směsi. Ve vyvíječi plynu dřevo hoří shora dolů, vzniklý plyn prostupuje přes žhavou vrstvu dřevěného uhlí, čímž se nehořlavý oxid uhličitý redukuje na jedovatý a hořlavý oxid uhelnatý, který je základní složkou dřevoplynu. Dále se v této části generátoru rozkládá vodní pára na vodík a také se zde rozkládá dehet, který je obsažen v plynu v důsledku nedokonalého hoření. Dřevěné uhlí k redukcí vzniká v generátoru samovolně. Plyn se filtruje od prachu, intenzivně se chladí v trubkovém nebo vodním chladiči, aby se z něj vysrážela voda a ocet. Místo karburátoru je osazen prostý směšovač, kde se plyn míchá se vzduchem v poměru 1 : 1. Motor plyn nasává z generátoru sám (od toho vznikl historický název – motory plynosací). Při tvorbě dřevoplynu vzniká přibližně 20 % vodíku, 20 % oxidu uhelnatého a malé množství metanu, zbytek (asi 50 až 60 %) tvoří dusík. Spalováním vzniká oxid uhličitý a vodní pára, vedlejšími produkty jsou oxid uhelnatý a jedovaté plyny.

¹⁹ Diplomová práce Jiřího Cvečka.

²⁰ Internetové stránky: www.autodotereny.cz.

Před startem motoru je nutné roztopit generátor dřevoplynu, většinou dřevěným uhlím. Běžná doba uvedení generátoru do provozu je cca 20 minut. Poté je nutné ohřát motor – cca 2 až 5 minut. Výkon motoru je nižší o více než 20 % oproti benzínu, je nutné řadit při vysokých obrátkách – motor musí neustále „samonasávat“ plyn. Spotřeba dřeva je (v případě dřeva tvrdého) 1,5 kg náhradou za 1 l benzínu. Při použití dřeva měkkého je jeho výhřevnost objemově nižší. Vlhkost paliva by neměla přesahovat 20 %.²¹

V prvních prototypch stacionárních výbušných motorů byl jako pohonná hmota používán právě dřevní plyn. Benzin a jiné ropné produkty přišly na řadu mnohem později. Ještě v první polovině minulého století v naší zemi pracovalo několik dřevoplynových stacionárních agregátů pro pohon obilných mlýnů. Největší rozvoj těchto zařízení nastal v průběhu druhé světové války, kdy Německo trpělo nedostatkem ropy a hledalo náhradu za benzin.²²



Od historie k současnosti

V období první republiky se u nás vyrábělo několik typů agregátů. Nejrozšířenějším z nich byly typy IMBERT, DOKOGEN a JANKA ze stejnojmenné továrny v Radotíně u Prahy. Tehdejší agregáty se uchovaly ve vzpomínkách řady pamětníků a v expozicích soukromých sbírek a muzeí. Firma ATMOS jako jediná z českých firem získala patent na výrobu generátorů dřevního plynu již v roce 1936 pod označením **DOKOGEN, neboli dokonalý generátor**. Dřevoplyn poháněl nákladní automobily, lodě a traktory, ale také osobní automobil Škoda Superba, kterým jezdil např. generální ředitel mladoboleslavské Škody. Ve vývojové dílně rodiny Cankařů z Bělé pod Bezdězem vzniklo v osmdesátých letech minulého století několik typů generátorů, např. k pohonu zavlažovacích čerpadel v zemědělství, k výrobě elektrické energie nebo pro pohon terénních vozidel ARO. Tato zařízení putovala také do vzdáleného Vietnamu, kde používaným palivem byl bambus. V našich podmínkách byly nejlepším palivem suché bukové špalíčky.



²¹ Internetové stránky: www.autodotereny.cz

²² Pasáže týkající se historického využití dřevního plynu pro pohon strojů a automobilů - s využitím publikace Jana Navrátila – Domácí kůtil a dřevoplyn, vydané vlastním nákladem autora v roce 1998.

Po automatickém zapálení, rozhoření a překontrolování kvality plynu, což pro zajímavost trvalo zhruba dvě minuty, mohl majitel se svým terénním vozidlem vyrazit vpřed. Byla také možnost vyjet z garáže na benzín a po dvou minutách přepnout na dřevní plyn. Velikost zásobníku byla volena tak, aby na jedno naplnění vozidlo ujelo vzdálenosti zhruba 100 až 120 km. Lze říci, že 3 kg suchého dřeva nahradily 1 l benzínu. Po ujetí daných kilometrů bylo nutné doplnit palivo, někdy i přímo v lese, a jelo se dál. Jednou týdně bylo potřeba provést kontrolu a běžnou údržbu generátoru, jakou bylo např. odstranění popele či doplnění dřevěného uhlí. Rychlost a intenzita dnešního automobilového provozu odsunula dřevoplynové agregáty do muzejních sbírek, ale kdo ví, kdy přijde znovu jejich chvíle? V dnešní době firma ATMOS ve vývoji zplyňovacích agregátů nepokračuje a plně se věnuje pouze vývoji a výrobě zplyňovacích kotlů.²³

I když se v severských státech pohon na dřevoplyn stále místy užívá, není divu, že bylo od něj upuštěno ihned po skončení ropné krize. Vysoké riziko otrav z toxických výparů vznikajících při nedokonalém spalování dřeva zejména při netěsnostech systému či při přikládání do generátoru, zamoření spalinami při dlouhém chodu naprázdno, nízký výkon motoru a velká váha generátoru dřevoplynu, poměrně velký prostor pro uložení paliva – to jsou největší zápory používání dřevoplynu.²⁴

Znovuobjevený dřevoplyn

„V dějinách techniky se nejednou stalo, že se konstruktéři vrátili k principům a technologiím, které již zdánlivě doba překonala a odvál je čas. Nové materiály, konstrukční postupy, možnosti regulace a počítačového řízení však mohou zdánlivě překonané technické principy opět vrátit do hry. Příběh dřevoplynu toho může být příkladem.“²⁵

Za „vývojovou novinku“, kterou na energetickém trhu čeká podobný rozmach jako bioplynové stanice, můžeme považovat kogenerační jednotky pracující na dřevní plyn. Zpracovaný materiál se tedy v samém počátku rozvoje tohoto „nového“ odvětví tzv. „malé komunální energetiky“ snaží monitorovat jednotlivé vývojové trendy, které se v tomto oboru objevují. Dnešní aktualizovaný přehled jednotlivých vývojových směrů vychází z dřívějšího přehledu, publikovaného v článku *Elektřina s vůní dřeva a DŘEVNÍ PLYN – od historie k současnosti*²⁶, který je však pro potřeby této práce výrazně rozšířen. Současná práce nejen že monitoruje historické využití dřevního plynu, ale také přináší aktualizovaný přehled vývojových a vědecko-výzkumných institucí zabývajících se problematikou energetického zplyňování.

Díky použití moderních materiálů, výrobních postupů a automatizačních prvků může dnes technologie výroby dřevního plynu sehrát významnou úlohu při využití biomasy ve velkých stacionárních motorech kogeneračních jednotek. Vysoká hmotnost samotného vyvíječe a filtrační cesty zde není přítěží. **Jak naznačují práce výzkumných ústavů**, kromě energetického využití může technologie energetického zplyňování sehrát svoji **důležitou roli i při likvidaci odpadů a výrazně přispět k ochraně životního prostředí.**

Přes všechny uvedené neúspěchy se v uplynulých letech v naší zemi pro vývoj agregátu na energetické zplyňování udělalo mnohé. Pracuje zde několik subjektů, u kterých nacházíme řadu velice zajímavých smysluplných ověřených technických principů. V celosvětovém kontextu, kdy do podobného vývoje investuje řada významných společností mnohamilionové částky, je proto až neuvěřitelné, kolik tvůrčí invence a technického nadšení dokázal český člověk s jeho pověstnými „zlatými ručičkami“ vložit do vývoje dřevního plynu. Následující kapitolu tedy můžeme chápat jako katalog novodobých instalací dokumentující pokusy o energetické využití, ať se již jednalo o pokusy úspěšné, či neúspěšné.

²³ Historické fotografie vozidel s generátorem DOKOGEN a popis technologie poskytl Ing. Petr Cankář ze společnosti ATMOS.

²⁴ Internetové stránky www.drevoplyn.wz.cz.

²⁵ Znovuobjevený dřevoplyn - Mgr. Radovan Šejvl a Břetislav Koč – Zemědělský týdeník, únor 2006.

²⁶ *Elektřina s vůní dřeva a znovuobjevený dřevoplyn* - od historie k současnosti. Časopis 3T č.5/2007.

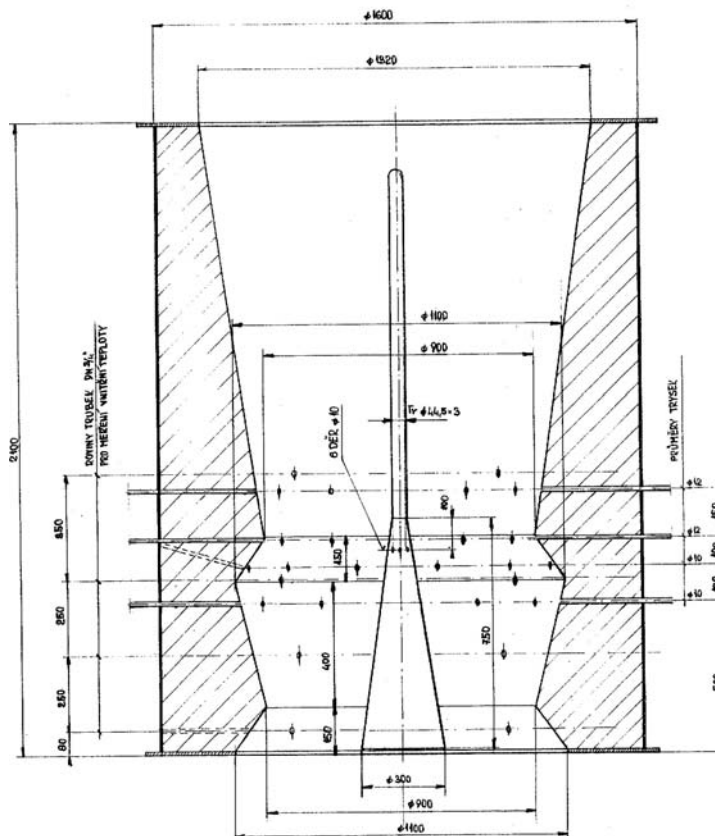
Přehled novodobých instalací a vývojových projektů pro energetické využití

Pravděpodobně první významnější pokus o energetické využití zplyňovacího generátoru v naší poválečné historii se odehrál v roce 1993 v Železničních opravárnách Česká Třebová. Na vývoji generátoru se podíleli tři pracovníci ČVUT Praha, fakulty strojní, z katedry tepelných a jaderných energetických zařízení, a to: František Hrdlička – dnešní děkan strojní fakulty ČVUT a člen vládou zřízené takzvané Pačesovy komise, dále pak Josef Havránek a Karel Trnobranský. Právě posledně jmenovaný doc. Ing. Karel Trnobranský, CSc., nám řekl:

Zplyňovací generátor byl projektován na tepelný výkon ve vyrobeném dřevoplynu 1 MW. Generátor byl kruhového průřezu s vnějším průměrem 1.920 mm a o celkové výšce 4.200 mm. Vrchní část generátoru o výšce 1.600 mm byla ocelová a představovala horní přívod paliva s dvojitým kuželovým uzávěrem. Spodní část byla z radiálních šamotových cihel SI. Ve spodní části generátoru byl umístěn rošt s možností ručního odpopelňování během provozu generátoru.

Systém zplyňování dřevní hmoty byl souproudý od vrchního přívodu paliva k odvodu vyrobeného dřevoplynu za roštem. Vyrobený dřevoplyn procházel na roštu přes rozžhavené zbytky po zplyňování, což snižovalo obsah dehtu ve vyrobeném plynu. Teplota dřevoplynu na výstupu z generátoru byla cca 500 °C. Plyn procházel přes hrubý filtr, vodní uzávěr, 4 kusy vzduchových chladičů plynu a jemný filtr k pístovému spalovacímu motoru s el. generátorem o výkonu 30 kW. Tento motor zapůjčila ke zkouškách firma ČKD Hořovice. Teplota plynu před vstupem do motoru byla cca 95 °C. Z uvedené úpravy plynu je patrné, že plyn před vstupem do motoru nebyl dostatečně vyčištěn. Společnost, která projekt financovala chtěla především odzkoušet provoz plynového generátoru a tak byly finanční prostředky na úpravu plynu značně zredukovány. S ohledem na dehtování ve válcích plynového motoru se ve vývoji dále nepokračovalo, i když samotný plynový generátor pracoval dobře.

Palivem pro zplyňování byly dřevěné odřezky. Rovněž se prováděly zkoušky s dřevní štěpkou o obsahu vody 28 %. I při tomto obsahu vody pracoval motor s vyrobeným dřevoplynem bez problémů (mini dehtování v motoru). Výhřevnost vyráběného dřevoplynu se dle použitého paliva pohybovala v rozmezí 4 až 6 MJ/m³. Navazující změny ve vedení společnosti, která projekt financovala, ukončily další práce na prototypu zařízení.



Přibližně ve stejné době, počátkem devadesátých let, na popud pana profesora Surého z Moravské Nové Vsi, který s dřevním plynem již v té době experimentoval, se začalo s vývojem "ENERGOBLOKU 400 kW" v závodu Škoda Plzeň. První z agregátů, na kterém v tehdejší době ve Škodovce pracovali, měl výkon cca 400 kW a byl osazený lokomotivním motorem ČKD. Bohužel se agregát nikdy nepodařilo dotáhnout do provozuschopného stavu. Hlavním důvodem byla nestabilita žárového pásma v celém průřezu zplyňovače, což způsobovalo nekontrolovatelný vývin dehtových sloučenin v dřevním plynu. Zkoušky skončily neúspěchem pro zanášení motoru dehtovými zplodinami. Následně se pokračovalo na menších generátorech (30 kW). V roce 1996 byly provedeny první zkoušky zařízení o výkonu 30 kW. Chlazení a čištění dřevního plynu bylo již celé výsledkem vývoje a výroby Škody Plzeň. Tento agregát úspěšně pracoval několik tisíc provozních hodin. Bylo provedeno velké množství zkoušek a provozních testů a ověřeno několik způsobů chlazení a filtrace dřevního plynu. Jak je vidět z přiložené fotografie, těleso vlastního zplyňovače bylo osazeno celou řadou technologických otvorů a přírub, což umožňovalo sledování teploty a tlaku v celém průřezu žárového pásma.



Po úspěšném ověření všech důležitých prvků a technologických skupin byla v roce 1999 dokončena výkresová dokumentace a připraven projekt na výstavbu agregátu o výkonu 100 kW pro investora z oblasti dřevozpracujícího průmyslu. Na vývoj agregátu byla z části využita dotace z programu MZe. Celkem bylo do vývoje investováno cca 25 mil. Kč. Vzhledem k jiným potížím investora však k realizaci nedošlo. Připravený projekt obsahoval zavážení paliva, vyvíječ plynu, strojní odstraňování popele, chlazení a čištění plynu, motor s generátorem s regulací otáček a filtrací chladicí vody. Po vyrobení vyvíječe dřevního plynu byly provedeny úspěšné zkoušky s motorem o výkonu 100 kW, ovšem chlazení a čištění plynu pokusně zajišťoval původní systém z malého agregátu o výkonu 30 kW, protože chlazení pro „stovku“ nebylo ještě vyrobeno. I tak zařízení pracovalo na plný výkon. Potom byly vývoj a výroba ve Škodovce zastaveny a jednotlivé díly (i nedodělané) rozprodány. Některé neúspěchy dalších pokračovatelů Škodováci připisují tomu, že nikde nebyl použit celý systém, ale jen jeho části. Celý projekt a svoji koncepci však ŠKODA Plzeň považuje za funkční a použitelné, proto jedná s potenciálními zájemci o prodeji výkresové dokumentace a patentových práv. Části tehdejších zplyňovačů a dalších technologických systémů odkoupily dva různé subjekty, které dál pracují na jejich vývoji.

První „plzeňský“ agregát odkoupila společnost MZE, s.r.o. (Marčák Zachrla Elektrárna), která se více než rok pokoušela torza plzeňských agregátů s různou mírou úspěšnosti provozovat. Právě z jejich dílny pocházejí fotografie uvedené na předchozí straně, které dokumentují torza původních plzeňských součástí. Dnes však většina původních dílů představuje pouze materiál určený k recyklaci. Firma se sice pomocí inzerce pokusila o odprodej původních součástí, ale všichni z cca deseti zájemců si prý počkají, až firma dokončí vývoj nového agregátu. MZE, s.r.o. sestavila nový zplyňovací agregát vlastní konstrukce a dnes pracuje na dalším, v pořadí již čtvrtém vývojovém prototypu. Cílem je vyvinout zplyňovač na štěpku o výkonu 100 kW_e. Principiálně je možné říct, že opustili princip „sesuvného lože“, který vyžaduje poměrně suché a velké částičky paliva (doporučená frakce paliva o objemu 250 – 500 cm³ a vlhkosti do 20 %). Naproti tomu právě testovaný systém ke svému provozu potřebuje syrovou nedosoušenou štěpku. Velké provozní problémy s roštem provozovatele přivedly na myšlenku zrušení roštu a konstrukčně svůj vyvíječ obrátili „nohama vzhůru“, kdy je dřevní štěpka podávacím šnekem přiváděna zespodu a jednoduchým mechanismem udržována v rovnoměrné vrstvě. Ve firmě MZE, s.r.o. svůj agregát používají jako „dvojstupňový“ s předúpravou, tzv. tarifkací dřevní štěpky. V prvním stupni se dřevní štěpka vysuší prostřednictvím horkého dřevního plynu, který se průchodem přes dřevní štěpku částečně filtruje, ale i významně chladí. Dřevní štěpka je již natolik vysušená a zahřátá, že při jejím kontaktu s horkým surovým dřevním plynem dochází k jejímu částečnému zplynění, čímž přímo obohacuje již vyrobený dřevní plyn o další spalitelné látky a vodní páry. Provedený vývoj nebyl prvotním cílem, ale „vedlejším produktem“ vznikajícím v prostředí malé zámečnické dílny hospodařící s minimem finančních prostředků. Přesto však jejich prototyp pracuje na podobném principu jako nejnovější zařízení na VŠB v Ostravě, o kterém informujeme dále v kapitole Vědecko-výzkumná základna.



Druhý „plzeňský“ agregát o výkonu cca 100 kW odkoupil z Kanady se navrátilší podnikatel pan Jaroš. Celý systém vybavil filtrační cestou vlastní konstrukce, ovšem odvozenou od původní plzeňské dokumentace. Instalaci osadil repasovaným pístovým spalovacím motorem Waukesha. Celé zařízení zabudoval do ocelového kontejneru a odprodal firmě DIZ Tábor, a.s. Tato firma se zabývá truhlářskou výrobou, zejména oken a dveří, a sušením řeziva. Odřezky a piliny využívá k výrobě briket, které zčásti používá pro pohon dřevoplynového agregátu.



V roce 2006 a první polovině roku 2007 se ještě investor pokoušel agregát provozovat. Vzhledem k dokonale vysušenému palivu i použití části dřevěných briket se dařilo agregát udržet v provozu i několik dní. Provoz agregátu byl však natolik problematický, že jeho majitel po ročním pokusu začal hledat cesty k jeho vylepšení. Spojil se s pracovníky ČVUT a VŠCHT, kteří provedli základní měření. K jejich velikému překvapení plyn dosahoval velice dobrých parametrů, ovšem pouze do doby, než došlo k nasycení cirkulačního okruhu dehtovými sloučeninami. Investor si sám po krátkém pokusu o provozování posílil filtračně sedimentační i chladič okruh, protože výkon původního okruhu byl nedostatečný. Aby vůbec udržel zařízení v provozu, musel provádět četné servisní zásahy a v polovině roku 2007 přistoupil k zásadní rekonstrukci a modernizaci celého systému, na které dosud pracuje.

Dodavatel výše uvedeného systému pan Jaroš v roce 2006 vyrobil vylepšenou repliku původního „plzeňského“ vyvíječe dřevního plynu, kterou, rozloženou na jednotlivé strojní součásti, dodal výrobnímu podniku pana Zlámala v obci Trnava u Slušovic. Investor byl přinucený sám celé zařízení sestavit, vybudovat elektrickou instalaci i systém řízení a postavit přístřešek pro celé zařízení.



Investor se prioritně věnuje zámečnické činnosti a zpracování řeziva. Pro uvedení do provozu a dobudování celého systému oslovil některé další subjekty, které se problematikou energetického zplyňování zabývají. Koncem roku 2007 proběhlo pokusné spuštění a od roku 2008 se předpokládá uvedení do trvalého provozu.



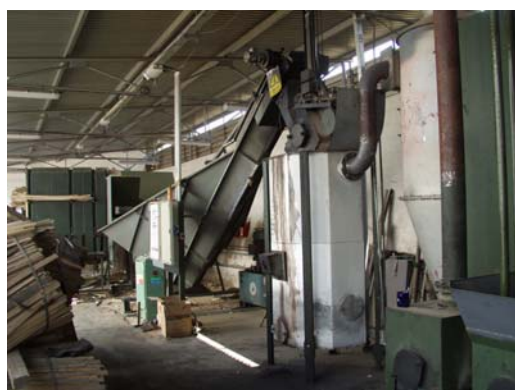
Pan Jiří Surý, který svého času pracoval na vývoji agregátu v Plzni, později založil společnost MWG Energy, s.r.o., která vyrobila několik pokusných agregátů. První komerční agregát byl uveden do provozu v Moravské Nové Vsi. Je instalován pod plechovým přístřeškem a produkuje dřevní plyn, který je prostřednictvím plynového potrubí přiváděn do kotelny a spalován v plynových kotlích bez výroby elektrické energie. Agregát byl sice osazen plynovým motorem ZIL o výkonu cca 30 kW_e, ale nikdy nebyl připojen k rozvodné síti. Při zkouškách se el. energie mařila na odporovém topidle. Za zajímavost stojí, že dřevní plyn je pomocí potrubí přiváděn do plynové kotelny a spalován v kotli. Z energetického hlediska považují provozování tohoto agregátu za nepochopitelné, protože dodává jenom teplo bez výroby elektrické energie, ale přesto se na původním místě zachoval do dnešních dní a je stále v topném období provozován, i když se „kotelník“ v zimě asi dost nazmrzá. Na snímku (vpravo) je patrná deformace vnějšího pláště způsobená vysokým žářem.



Na sklonku minulého století společnost MWG dodala agregát o výkonu cca 60 kW_e pro ČOV v Moravské Nové Vsi. Byl vybaven rotační sušárnou paliva, která měla využívat odpadní teplo ze spalin motoru. Tento agregát ovšem nebyl nikdy stavebně dokončen ani uveden do provozu. Pod oploceným přístřeškem chátral mnoho let. V roce 2007 byl demontován a převezen do Podivína na Břeclavsku, kde jeho nový majitel v součinnosti s původním dodavatelem připravuje jeho uvedení do provozu v místním zemědělském podniku.



V roce 1999 společnost MWG Energy, řízená panem Surým, dodala dnes již neexistující, ale v ČR patrně nejdéle pracující zařízení. Bylo v provozu asi 12 hodin denně a „naběhalo“ téměř 9 tisíc provozních hodin. Truhlářský provoz je vybaven sušárnou řeziva, která zabezpečuje celoroční využití vyrobeného tepla. K dispozici je rovněž dostatečné množství dřevního odpadu. Z energetického hlediska je tedy spolehlivě fungující zařízení pro energetické zplyňování dřeva ideálním doplňkem uzavírajícím materiálový a energetický tok celého provozu. Nedostatečnost elektrické přípojky byla dalším z důvodů, proč byl agregát instalován dávno před tím, než bylo výhodné prodávat elektrickou energii z OZE do sítě rozvodné společnosti. Provoz původního agregátu však provázela celá řada technických problémů a značná finanční náročnost, kterou majitel kalkuluje v milionech korun. Dodavatel nebyl schopen dodat fungující zařízení, proto bylo demontováno a v součinnosti s původním dodavatelem odprodáno firmě ENERGETIKA Partyzánske na Slovensko, kde dále pracují na vývoji agregátu pro energetické zplyňování.



Tento v naší zemi patrně nejdéle provozovaný agregát naběhal téměř 9.000 hodin a vyrobil cca 750.000 kWh elektrické energie.

Na jeho místě však již pracuje zcela nové zařízení. Provozovatel z oboru stolařské výroby při pokusu o provozování původního agregátu získal dostatek cenných zkušeností a současně disponoval kvalitní technickým zázemím vlastní nástrojárny, proto se rozhodl pro výstavbu vlastního agregátu. Geografická vzdálenost od Plzně, kde probíhal dřívější vývoj, usnadňuje komunikaci s pamětníky, kteří pomáhají v truhlárně pana Rendla vyvinout nový agregát. Z původního zařízení zůstal pouze elektrický generátor s úpravnou paliva. Všechno ostatní je nové. Investor opustil původní koncepci suchého chlazení a filtrace dřevního plynu, kterou nahradil vysoce výkonnou mokrou filtrační cestou. Zásadního vylepšení se dočkal i vyvíječ dřevního plynu, kde je nově řešeno materiálové provedení i konstrukční uspořádání. Zařízení je od první poloviny tohoto roku ve zkušebním provozu a investor již dnes připravuje výstavbu druhého modernizovaného agregátu. Hlavní prioritou pro tohoto zákazníka je zajištění nábytkářské výroby. První impuls pro vývoj agregátu pro energetické zplyňování vznikl z potřeby udržet v provozu původní problematické zařízení.



Na vývoji výše uvedeného agregátu se významnou měrou podílel pan Řepa, který je dnes jednatelem společnosti EOZ, s.r.o. – Energie z obnovitelných zdrojů. Firma sice sídlí v Brně, svůj agregát pro energetické zplyňování však postavila v malé vesničce v podhůří Kralického Sněžníku. Vývoj je společným dílem truhlářství pana Rendla, zámečnictví pana Beneše a společnosti EOZ. Pan Řepa, který je jejím jednatelem, své zkušenosti se zplyňováním sbíral na dodávkách řídicích systémů pro instalace firmy MWG Energy. Podobně jako u předchozí instalace je vyvíječ plynu trojplášťový. Spalovací vzduch se výrazně ohřívá od již vyrobeného dřevního plynu, který má v těsné blízkosti za vyvíječem teplotu cca 280 °C. Rošt je nahrazen vysokou vrstvou dřevěného uhlí a popel je odstraňován pomocí kónického mezikruží. Celá koncepce chlazení a filtrace dřevního plynu je řešena jako „mokrá“ se zkrápěním dřevního plynu vodní mlhou. Ve fázi příprav ověřovacích zkoušek je rovněž odstraňování popele ze spalovacího prostoru s pomocí proudění cirkulační vody. Cílem tohoto inovativního řešení by mělo být zamezení úletu jakýchkoli jemných prachových částí a úniku plynných složek. Vzhledem k provedeným změnám je ale možné usuzovat, že jeho elektřina bude dřevem „vonět trochu méně“ než ostatní instalace, což nikterak nezhorší její kvalitu a parametry, ale naopak zlepší životní prostředí a zpříjemní práci obsluze.





Dalším budoucím hráčem postupně vznikajícího segmentu trhu dřevoplynových jednotek je firma TARPO, s.r.o., sídlící v Rakovníku. Již v roce 1995 vážně uvažovali o vyvinutí a uvedení do provozu KJ na dřevoplyn, která by zajišťovala zdroj elektrické energie a tepla pro vlastní dřevozpracující závod – elektřinu k pohonu strojů, teplo na vytápění provozu a sušárny dřeva. TARPO je strojírenská firma s dobrým dílenským zázemím, která od samého počátku vyvíjí a vyrábí pouze vlastní výrobky. Majitel téměř po celou dobu své profesní kariéry pracuje jako vývojář a konstruktér se zaměřením na energetické stroje. Je to i jeho původní specializace z vysoké školy. Nepříznivé ekonomické podmínky pro výkup elektrické energie však tehdejší záměr oddálily. Firma jde svou vlastní cestou, není v kontaktu s žádnou společností zabývající se dřevoplymem a nevyužívá jejich zkušenosti. Staví zejména na zkušenostech našich dědů a pradědů. Spolupracuje částečně s americkým profesorem Benjaminem Higinsem zabývajícím se kvazistacionárními tepelnými ději ve zplyňovacích zařízeních. Koncem roku uvedli do provozu první zkušební zařízení o celkovém předpokládaném výkonu 300 kW.

Na otázku, jaký je zájem potenciálních zákazníků o uvedený výrobek, majitel firmy Ing. Pícek odpověděl: „Snažíme se z důvodů klidu v práci o co nejmenší publicitu, nechceme se chvástat něčím, co není podle nás ještě to pravé, neděláme proto žádné exkurze a náš současný záměr nijak nerozšiřujeme. Přesto věříme, že je jen otázka času, kdy řekneme: „Ano, teď je to ono!“ Jako to bylo u všech našich předcházejících výrobků. I přesto nějaké dotazy jsou a svědčí o značném zájmu o uvedené zařízení.“



Na otázku, kdy očekávají uvedení svého zařízení na trh, Ing. Pícek odpověděl prozaicky: „Zatím nic takového neplánujeme, zařízení musí bezvadně pracovat minimálně 1 rok (7.000 h!), abychom mohli o něčem podobném uvažovat.“

Nezbývá tedy nic jiného, než čekat na dokončení vývoje a uvedení agregátu na trh. Předpokládané investiční náklady se budou pohybovat kolem 100.000 Kč/kW_e instalovaného výkonu. Dle několikanásobného měření spotřeba paliva vychází na 1,0-1,1 kg/kWh elektrické energie při vlhkosti dřeva 10-15 %. Z toho vyplývá celková elektrická účinnost 22-24 %.

Je pochopitelné, že vzhledem k rozpracovanosti vývoje firma nestojí o předčasnou publicitu. Tímto majiteli děkuji za poskytnutí uvedených informací i použitých fotografií, které obohacují moji práci.

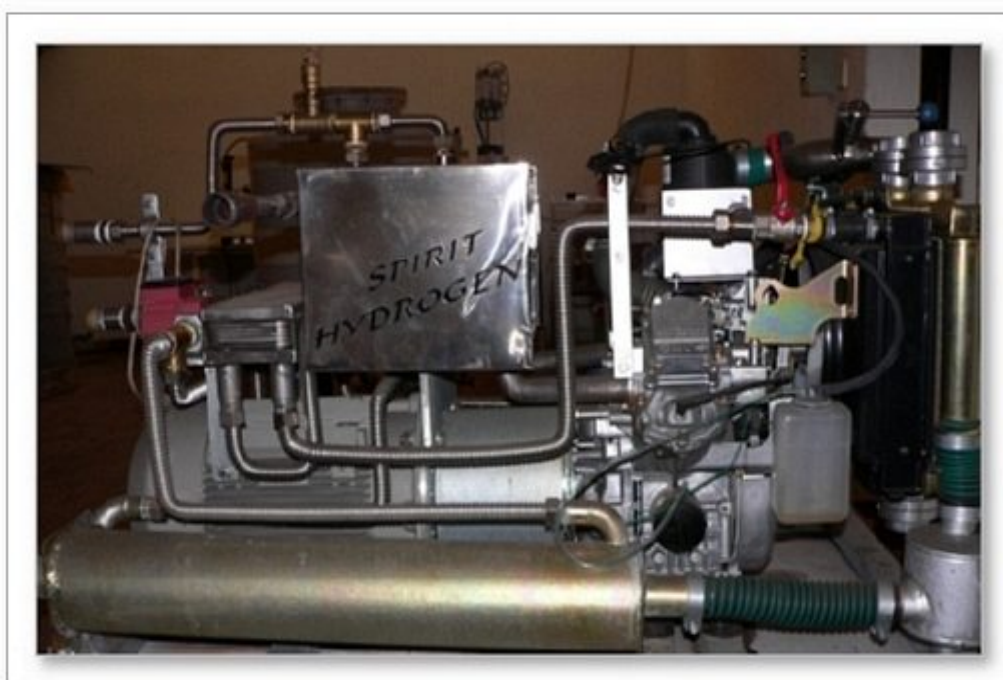


B-NATUR – Klobouky u Brna

Pravděpodobně samostatnou kapitolu bez přímé vývojové návaznosti na dřívější aktivitu plzeňské Škodovky píše firma B-Natur. Tato firma se rovněž zabývá vývojem a zkušebním provozem zplyňovacího agregátu. Zajímavé přitom je, že B-Natur působí v oblasti potravinářské a strojní výroby.

Její středisko průmyslové výroby strojů a zařízení vyvíjí energetické zařízení využívající biomasu a čisticí zařízení nízkoenergetických plynů. Úkolem vývoje a výzkumu bylo zkonstruovat funkční prototyp energetického zařízení pro nízkonákladovou ekologickou výrobu elektrické a tepelné energie bez potřeby uhlovodíkových fosilních paliv.

Firma pracuje na optimalizaci chodu generátoru na výrobu vodíku a bioplynu a jeho následném čištění. Podle posledních zpráv uvažují o mokré propírce nečistot z dřevního plynu pomocí řepkového oleje. Od roku 2000 v oblasti vývoje zplyňovacího zařízení a výroby vodíku spolupracuje s Masarykovou univerzitou a v oblasti využití OZE od roku 2005 úzce spolupracuje s Vysokou školou chemicko-technologickou. Zařízení má zatím zkušební charakter a množství vyrobené elektrické energie provozovatel neuvádí.



BIOGAS – EJPOVICE Instalace v roce 2004. Dodávku hlavních technologických součástí pro výrobu dřevního plynu zajišťovala firma MWG Energy, výrobu některých komponentů pro čištění a chlazení plynu si podle dokumentace MWG zákazník zajišťoval sám. Zařízení se po celou dobu svého provozu potýkalo s řadou vážných technických problémů, které se dodavatel v součinnosti se svými subdodavateli pokoušel řešit. Technické problémy však postupně nabývaly takového rázu, že na sklonku roku 2006 bylo zařízení odstaveno z provozu a jeho provozovatel začíná kalkulovat penále.



BOSS engineering, s.r.o., plnil úlohu generálního dodavatele, sám pak zajišťoval dodávku elektroinstalace a řízení kogenerační jednotky s vyvedením elektrického výkonu.



Na vývoji agregátu pro energetické zplyňování se rovněž významně podílí i firma BOSS engineering, s.r.o., která své zkušenosti s dřevním plynem sbírá od roku 2001. Prvním počinem spolupráce s firmou MWG bylo zprovoznění agregátu v Moravské Nové Vsi.

V letech 2004 – 2005 BOSS engineering do sousedního Rakouska dodal agregát o jmenovitém výkonu cca 150 kW, který je osazen americkým osmiválcovým motorem WAUKESHA. Významnou část strojního zařízení rovněž zajišťovala firma MWG. Tento agregát byl v provozu cca 2.000 hodin. Po celou dobu vykazoval celou řadu technických problémů. I když se je dodavatel v součinnosti se subdodavatelem snažil průběžně odstraňovat, odběratel odmítl zařízení převzít a podílet se na financování oprav. Na obhajobu dodavatele je možné říct, že v době, kdy se rakouský investor rozhodoval o nákupu vyobrazené technologie, byla v ČR jedinou výkonově přiměřenou, ovšem dnes již neexistující referencí instalace v truhlárně pana Rendla u Klatov. Z hlediska investora to tedy byl trochu nákup „zajíce v pytli“. Stejnou vírou v úspěch patrně oplýval i dodavatel. Co se technického a materiálového provedení týká, bylo dodané zařízení na podstatně vyšší úrovni než předchozí instalace, ale to nestačilo k tomu, aby bylo dlouhodobě schopné plnit parametry, ke kterým se dodavatel smluvně zavázal. Celá realizace tak bude mít pravděpodobně soudní dohru.



Instalace v Rakousku však pomohla vzbudit zájem několika potenciálních investorů i dodavatelů komponentů a různých strojních částí nezbytných pro chod celého soustrojí nejen z České a Slovenské republiky, ale, jak je patrné z fotografie, i v dalekém zahraničí.



Tento projekt získal i hlavní cenu v kategorii inovativních postupů, technologií, materiálů nebo modernizací stávajícího energetického hospodářství 3. ročníku celostátní soutěže Energetický projekt roku 2004. Soutěž vyhlásilo Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR ve spolupráci s agenturou ČEA, společností ENVIROS, s.r.o a ABF, a.s.

3. ročník celostátní soutěže

 energetický
projekt
2004

HLAVNÍ CENA

ING. MILAN MALÍK - PROJEKTOVÁ, ZNALECKÁ a AUDITORSKÁ KANCELÁŘ
MIROSLAV KOZUMPLÍK - PROJEKČNÍ A ZNALECKÁ KANCELÁŘ

udělena za

Kombinovanou výrobu tepla a elektřiny kogenerací z média dřevní plyn s výrobou dřevoplynu zplynováním biomasy

Praha, dne 10. 3. 2005

 ABF

 MPO ČR

 ČEA

Louka u obce Velká nad Veličkou

BOSS engineering v areálu firmy TRIPAL – Truhlářství Pavelka v obci Louka na jižní Moravě provozuje vlastní agregát o jmenovitém výkonu 90 kW. Elektrina je dodávána do rozvodné sítě, teplo do přilehlých sušáren. Dodávku paliva částečně zajišťuje truhlárna pana Pavelky, zbytek investor nakupuje z jiných zdrojů. Instalace slouží jako vlastní demonstrační realizace. Výstavba začala v roce 2004, avšak nejen díky průtahům s dodávkou pro sousední Rakousko byla dokončena až v roce 2005. Tento projekt byl vůbec jako první podpořen z programu OPPT v letech 2004-2006 a získal podporu necelých 30 % z investice. Zařízení však potýkalo se řadou tak závažných problémů, že byl koncem roku 2007 původní vyvíječ dřevního plynu dodávaný společností MWG Energy nahrazen novým výrobkem z dílen spolupracující firmy DSK, s.r.o v Teplicích. Na této instalaci byl z důvodu úspory finančních prostředků i kvůli neochotě výrobců nových motorů použit starší, repasovaný motor ČKD.



Ing. Vildman – ředitel výrobního závodu TEDOM – MOTORY při prohlídce instalace



Spolehlivě pracující pístový spalovací motor představuje důležitý funkční prvek celého zařízení. Dřevní plyn je ovšem natolik specifické palivo, že celá řada renomovaných světových výrobců motorů nemá zájem kvůli eventuelnímu prodeji několika málo kusů provádět jakékoli úpravy motorů a zákazníkům odkazuje na standardní typové řady. Nejinak tomu bylo i u výrobce motorů TEDOM (dříve LIAZ, jehož motorárnu zakoupila firma TEDOM). V současnosti největší tuzemský výrobce kogeneračních jednotek v ČR vzhledem ke vzrůstající poptávce po motorech na dřevní plyn přece jen přistoupil na provedení úprav na svém motoru.



Prvních 800 provozních hodin motor pracoval pouze v atmosférickém provedení a poskytoval výkon cca 70 kW_e na sklonku roku 2007 měl za sebou zhruba 1.200 provozních hodin a firma TEDOM zahájila zkoušky vedoucí ke zvýšení výkonu prostřednictvím speciálně upraveného turbodmychadla. Výkon motoru při použití turbodmychadla stoupl na 110 kW. To však netrvalo dlouho. Zatím je spolehlivě vyzkoušené, že turbodmychadlo nefunguje, protože ve velkých rychlostech, kdy se jeho lopatky střetávají z dřevním plynem, se velice rychle objevují usazeniny, které jeho další provoz znemožní. Bílé výkvěty na vnitřní straně potrubí nové škrťící klapky z lehkých slitin po 400 provozních hodinách představují korozi hliníku. Někteří si mohou myslet, že hliník nerezaví. To, že jde o korozi, nám objasnili teprve pracovníci z VŠCHT Praha. Díky spolupráci s firmou TEDOM i díky instalaci v Rakousku, která je osazena motorem Waukesha, BOSS engineering jako první získává zkušenosti s provozováním nových motorů, které jsou díky jiným materiálům a celkově jiné konstrukci a koncepci nových motorů výrazně odlišné od zkušeností provozovatelů starých repasovaných motorů.



I tato firma si postupně začíná uvědomovat nutnost vzájemné komunikace jednotlivých subjektů, které na vývoji pracují, včetně komunikace s vědeckovýzkumnou základnou.

Firma BOSS engineering je příjemcem dotace z rozpočtu MPO v programu TANDEM. Na řešení projektu spolupracuje s Výzkumným energetickým centrem při VŠB – TU Ostrava, s Ústavem plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší VŠCHT Praha a s ostravskou firmou TEMEX, spol. s r.o. Cílem výzkumného úkolu je vyvinout a vyrobit komerčně použitelný agregát pro společnou výrobu elektrické energie a tepla s energetickým využitím odpadní biomasy. Výstupem tohoto výzkumného úkolu by mělo být postavení nového agregátu o výkonu cca 200 kW_e.



E blok

Ještě před získáním dotace na další vývoj agregátu od MPO BOSS engineering začal spolupracovat se společností DSK v Teplicích. První kontakt byl koncem roku 2004. Firma DSK pro jeden z výrobních podniků sídlících v jejich areálu zajišťovala likvidaci dřevotřískových laminovaných desek vznikajících při výrobě nábytku pro obchodní síť IKEA. Vzhledem k tomu, že to nebylo zanedbatelné množství (10.000 tun ročně), firma hledala technologii pro energetické využití tohoto materiálu. V roce 2005 se tedy intenzivně začala zajímat o výrobek E-blok, prezentovaný firmou BOSS engineering. V tom období se ovšem komerční zařízení v Rakousku i demonstrační instalace v Louce začaly dostávat do potíží, a nezbývalo než zájemce udržovat v očekávání a informovat, že se na vývoji pracuje.

DSK se ovšem zajímala, o jaké problémy se jedná, jak jsou řešitelné a ochotně nabídla svoji pomocnou ruku při jejich řešení. Jedním z motivů bylo to, že jejich zásoba dřevotřísky utěšeně rostla, ale i to, že v nové technologii spatřovali perspektivní možnost, jak celoročně vytížit své výrobní kapacity. DSK mělo dlouhodobé zkušenosti s konstrukcí, výrobou a renovováním rozličných specializovaných, většinou jednoúčelových technických zařízení pracujících v různých průmyslových odvětvích, zejména v papírenství, dřevozpracujícím a těžebním průmyslu. Postupem času tedy začalo vzájemné „otrkávání“ a obeznamování se s problematikou energetického zplyňování, které začalo řešením dílčích celků a pomocí při udržování v provozu instalací v Louce a v Rakousku.

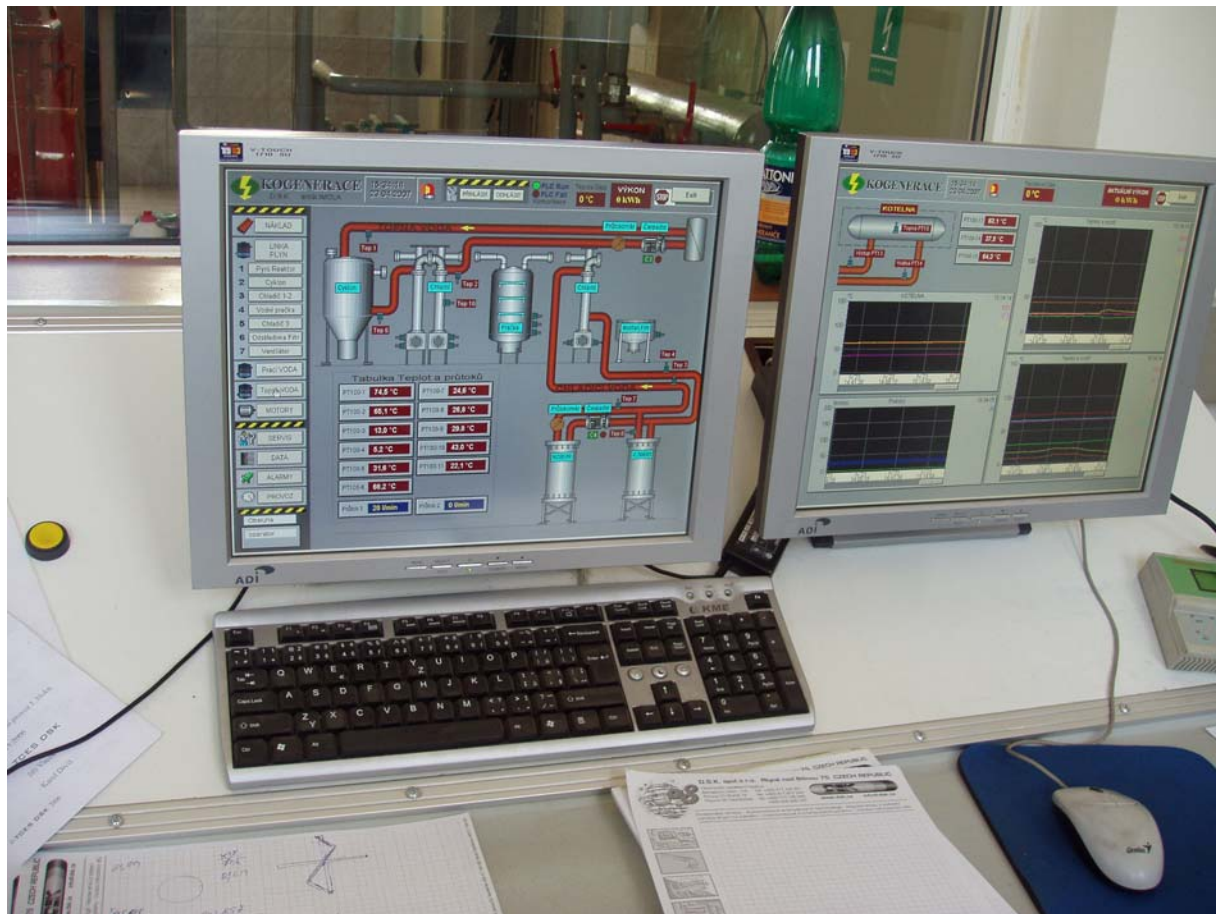
Provozní zkušenosti ukázaly na nutnost řešení materiálového a konstrukčního provedení samotného vyvíječe dřevního plynu, kde teploty žárového pásma převyšují 1400 °C. Celý systém vyvíječe dřevního plynu pracuje v podtlakovém režimu, proto je náchylný na přísávání falešného vzduchu při přikládání paliva i vynášení popele. Seběmenší netěsnost zde zafunguje jako „kovářská výheň“, což se ihned projeví na kvalitě, teplotě i složení plynu.

Nový vyvíječ dřevního plynu

Výstavbu tak náročného zařízení, kterým se vyvíječ dřevního plynu postupně stal, již nebylo možné realizovat v podmínkách malé zámečnické dílny nebo experimentovat u konečných zákazníků, což bylo hlavním důvodem vzniku Technologického centra energetického strojírenství. Uvedená společnost do vývoje agregátu investovala již několik milionů korun a ve svém areálu v Teplicích v první polovině roku 2007 do zkušebního provozu uvedla testovací agregát o výkonu cca 100 kW elektrických. Technologické centrum energetického strojírenství tak navazuje na konstrukční zkušenosti společnosti MWG-ENERGY i výrobní a provozní zkušenosti společnosti BOSS engineering, s.r.o. Co se týká materiálového a dílenského provedení, zařízení je na nesrovnatelně vyšší úrovni, i když původní koncepce je téměř identická. Celková koncepce zařízení nese stále stejný rukopis pana Surého, pod jehož vedením konstrukční práce probíhají. Průběžně však modernizují a stále upravují některé části celého zařízení. Většina částí přicházejících do styku s tepelným namáháním je vyrobena ze žáruvzdorných materiálů. Téměř celá plynová trasa je provedena z nerez. Zcela nová konstrukce se objevila u násypky paliva, odměřování paliva a ve vyvíječi dřevního plynu i protiklenbovacího zařízení. (Uvedený snímek stojí za porovnání s obrázkem na str. 83, který zachycuje instalaci firmy BOSS engineering v sousedním Rakousku).



Celé zařízení je řízené a monitorované z odhlučněného velínu, ve kterém je rovněž nainstalován systém pro trvalé monitorování složení dřevního plynu. Díky velkému množství tlakových, teplotních a průtokových čidel obsluha agregátu získala dokonalý přehled o probíhajících reakcích, teplotách i tlacích, které se neustále snímají a vyhodnocují. Instalovaný analyzátor plynu se stane nenahraditelným pomocníkem při testování různých vzorků paliv, eventuelně odpadů.



Filtrační a chladicí část dřevního plynu – plynová cesta

Důležitým technickým celkem je filtrační a chladicí část dřevního plynu. Na uvedené instalaci je použita mokrá vypírka prachových částic s pískovou filtrací prací vody a nově řešená soustava molitanových filtrů. Posledním stupněm chlazení dřevního plynu před spalovacím motorem je plynem vytápěný absorbér. Ten poskytuje chladnou vodu o teplotě 6/12°C, která dřevní plyn chladí na cca 20°C. V dalších instalacích se pro pohon absorpčního chladiče připravuje využití horkých spalin z motoru. Koncem roku 2007 má být v Teplicích do zkušebního provozu uveden nový modifikovaný agregát, který je z velké části financovaný společností BOSS engineering právě z programu MPO – TANDEM. Do konstrukce se postupně promítají všechny zkušenosti z předchozího vývoje. Připravuje se instalace multicyklonu pro odprášení dřevního plynu, předehřev nasávacího vzduchu a úvahy se vedou o instalaci molekulového síta pro snížení obsahu dusíku ve spalovacím vzduchu i o obohacování spalovacího vzduchu vodní parou.

Něco jako shrnutí dosavadního snažení jednotlivých subjektů

Existuje zde celá řada různých subjektů, které pracují nekoordinovaně a izolovaně, neboť si vzájemně konkurují. Mnohdy se v potu tváře lopotí na svých vývojových projektech, které jsou financovány z grantů a soukromých prostředků. Bohužel mnozí z nich nevědí, nebo ve své zaslepenosti a ziskuchtivosti ani vědět nechtějí, na čem pracují a nebo v minulosti pracovali v sousední „ohrádce“. Některé z uvedených firem se již odhodlaly ke komerčním realizacím, jiné se k tomu teprve chystají. Jak se ale bohužel postupem času ukázalo, jejich zařízení nebylo dlouhodobě provozuschopné. Proto můžeme zaznamenat velké množství poruch, často vedoucích k osobním nebo firemním tragédiím a soudním sporům. Z pozice odborného poradce, který vidí v energetickém využití dřevního plynu velkou budoucnost, všem potencionálním zájemcům mohu vzkázat jediné: Než se rozhodnete investovat své vlastní finanční prostředky do energetického využití dřevního plynu, nepodléhejte reklamním trikům firemních zlatokopů, kteří se i v tomto oboru objevují, ale zjistěte si co možná nejvíc provozních zkušeností od stávajících provozovatelů. Zajímejte se o energetickou účinnost, provozní a servisní náročnost a garantovanou životnost nabízeného zařízení. Z vlastní zkušenosti vím, že řada výrobců na tyto otázky zatím neumí odpovědět, přesto se potenciální zákazníci stále hrnou. Ze své pozice obchodního pracovníka vzkazuji potenciálním investorům: Nenuťte výrobce a dodavatele svým tlakem k tomu, aby používali náhradní a nevyzkoušená řešení a na základě Vaší stále rostoucí poptávky Vám prodali zařízení, o kterém sami nevědí, jak se bude chovat po několika tisících hodinách provozu. Věřte, že pokud do vývoje investovali velké množství finančních prostředků, mohou snadno podlehnout „pokušení“ získat od Vás část svých investic zpět. Mohlo by ale stát, že svého ukvapeného rozhodnutí budete litovat, tak jako mnozí provozovatelé, které jsem měl možnost navštívit. Vězte, že z pozice pracovníka, který komunikuje s velkým množstvím potenciálních zákazníků, není jednoduché všem opakovat slova: Nemáme, nevíme, pracujeme na tom.

Nastupující energetická krize i globální změny klimatu akcelerují tlak na vývoj nových technologií pro decentralizovanou ekologickou výrobu elektrické energie a tepla. Proto je zcela pochopitelné, že je dřevní plyn v rámci EU zařazen do vývojových priorit.

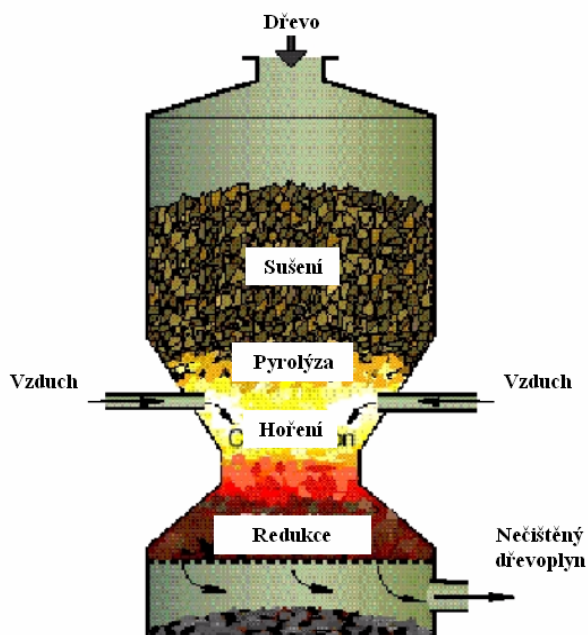
V uplynulých letech se v naší zemi pro vývoj agregátu na energetické zplyňování udělalo mnohé, usilovně se pracuje i v zahraničí. Kolem nové technologie se pochopitelně pohybuje mnoho zlatokopů a dobrodruhů. Někteří si již postupně začínají uvědomovat hloubku a složitost celého problému a postupně začínají hledat cestu ke vzájemné komunikaci. Mnozí si uvědomují nutnost komunikace s vědeckovýzkumnou základnou i nutnost naplnění hesla pověstných „Svatoplukových prutů“. **To je také důvod, proč podporuji snahu o spojení sil všech, kteří o to mají zájem.** Cesta ke spojení sil může vést třeba i přes národní technologickou platformu.

Dle mého názoru u nás ani jinde ve světě zatím neexistuje žádný dodavatel, který by mohl nabídnout hotový, dlouhodobě ověřený a spolehlivý výrobek, i když se tak mnozí tváří. Někteří jsou přesvědčeni, že sami to „dále dotáhnou“ a lépe zvládnou. Konkurence je kořením vývoje, říkají. Nahradíme-li výraz *konkurence* výrazem *spolupráce*, kterou můžeme označit za „sůl“ vývoje, „jídlo“ bude k radosti všech spolupracujících mnohem „chutnější“, protože, jak ukazuje pohádka *Sůl nad zlato*, bez soli vařit nelze. **Sám člověk může pískat sebelépe, ale nikdy nezapíská symfonii²⁷. Partitura dřevního plynu je ale natolik složitá, že vyžaduje poměrně velký orchestr složený z mnoha odborníků. Teprve na základě spolupráce může vzniknout fungující celek schopný konkurovat silným nadnárodním korporacím.**

²⁷ DVD KLIPERANG Lucie Vondráčková Tomü Records 2006

Trocha teorie nikoho nezabije

Všechny historické aplikace používané doposud k pohonu motorových vozidel, jakož i většina pokusů o energetické využití dřevního plynu vycházejí z původního souproutého zplynovače typu IMBERT a jeho dalších modifikací. Natřásání celého generátoru při provozu ve vozidlech pravděpodobně zabezpečovalo sesuv paliva do žárového pásma. Při použití tohoto typu generátoru ve stacionárních aplikacích však ve zúženém prostoru mnohdy vzniká klenba, kterou je nutno rozrušovat pomocí různých mechanismů. I to je mnohdy problematické, proto konstruktéři hledají stále další a další technická řešení.



Při snaze o hlubší pochopení technického principu energetického zplyňování vycházíme ze základního rozdělení jednotlivých druhů a typů zplyňovacích generátorů.

Základní druhy a jednotlivé typy zplyňovacích generátorů

Zplyňovací generátor s pevným ložem, typ:

- souproutý
- protiproudý
- s křížovým proudem

Zplyňovací generátor s fluidním ložem, typ:

- zplyňování při atmosférickém tlaku
- zplyňování v tlakových generátorech při tlaku 1,5 až 2,5 MPa

Zplyňovací generátor s unášivým ložem.

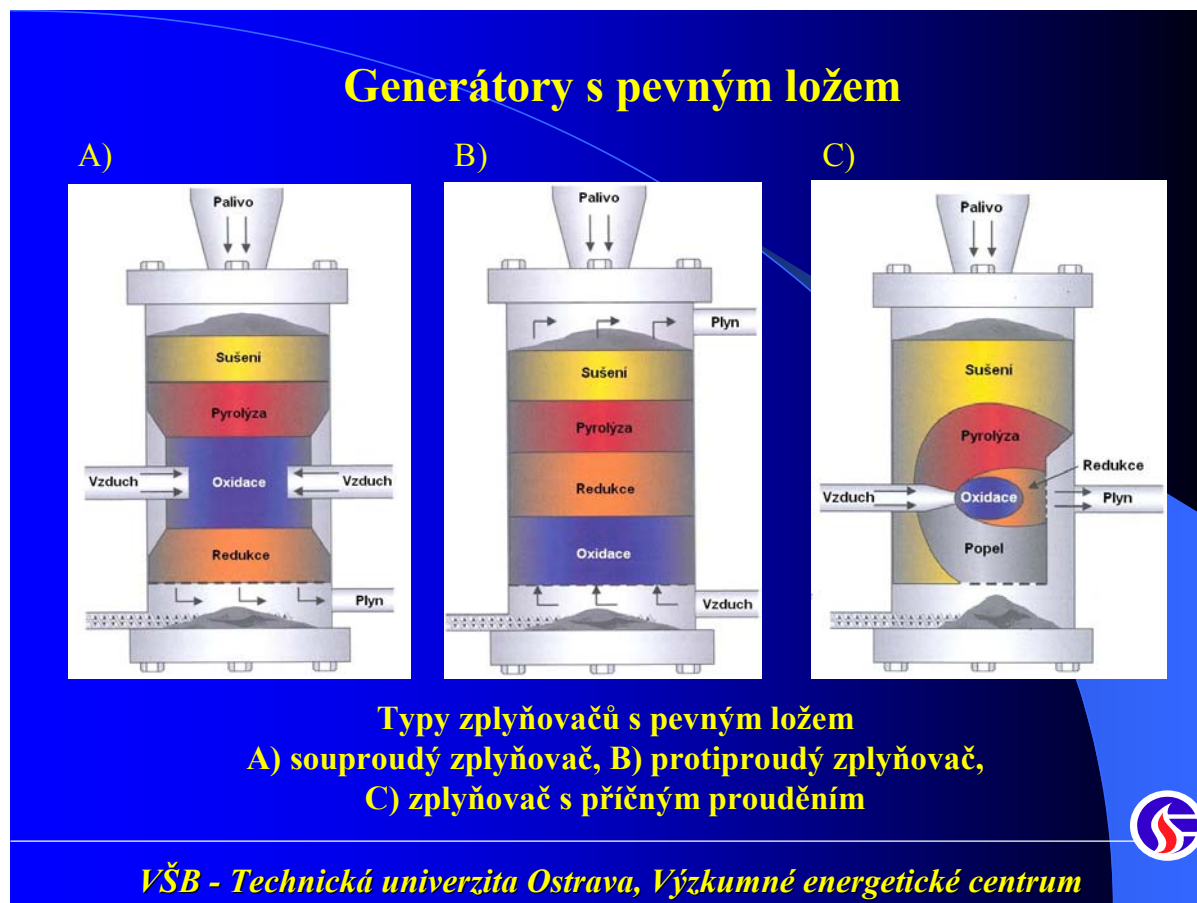
Všechny doposud uvedené instalace reprezentovaly zplyňovací generátory s pevným (sesuvným) ložem, po objasnění jejich technického principu se v rámci následujících kapitol obeznámíme se zplyňovacím generátorem s fluidním ložem.

Souproudý zplyňovací generátor má oproti protiproudému složitější konstrukci. Vzduch se přivádí (zhruba) do spodní čtvrtiny paliva, kde vzniká oxidací CO_2 , který postupuje stejným směrem jako palivo – dolů (proto souproudý) a prochází vrstvou žhavého uhlí, kde dochází nejen k jeho redukci na CO ($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2 \text{CO}$), ale také se zde štěpí podstatná většina vzniklých organických látek (včetně dehtu) na spalitelné plyny, což je jeho velkou výhodou.

Protiproudý zplyňovací generátor – jeho výhodou je jednoduchá konstrukce. Je to v podstatě nádoba s palivem, kde je vzduch nasáván dole roštem a prochází palivem, nejprve zónou oxidace (hořením vzniká CO_2) poté zónou redukce (CO_2 se redukuje na využitelný CO), zónou pyrolýzy, kde se uvolňuje methanol, kyselina octová a dehet, a nakonec přes zónu vysoušení (uvolňování vodní páry) je vzniklý plyn odsáván vrchem generátoru. Hlavní nevýhodou je velké znečištění plynu dehtem.

Zplyňovací generátor s příčným prouděním v sobě sdružuje výhody i nevýhody doposud uvedených typů a reprezentuje vzájemnou kombinaci uvedených systémů. Setkat se však můžeme s celou řadou modifikací. Jednu z nich popisují např. Gorvinovy internetové stránky²⁸:

www.dřevoplyn-gorvinovystranky.cz, odkud pochází uvedená definice souproudého a protiproudého zplyňovače.



²⁸ www.dřevoplyn-gorvinovystranky.cz

Domácí kutil a dřevoplyn

Gorvinovy internetové stránky považují sice za svérázné, ale upřímné. Jejich autor upozorňuje na četná úskalí i nebezpečí, která číhají na všechny, kteří se chtějí pokusit o amatérskou výstavbu zplyňovacího generátoru. Autor popisuje svoji vlastní upravenou konstrukci včetně několika nákresů. Zmiňuje pokusy s niklovým katalyzátorem: „*Nikl způsobuje za velké teploty katalytický rozklad dehtu, zejména za přítomnosti vodních par a vodíku obsažených v dřevoplynu za vzniku dalšího oxidu uhelnatého a vodíku. Je možné, že myšlenka čištění plynu od dehtu katalytickým krakováním není nová, osobně jsem se s ní v literatuře však dosud nesetkal.*“ Niklový katalyzátor testují na VUT v Brně, o čemž informuji o několik stánek dál.

Gorvinovy stránky rovněž doporučují publikaci **Jana Navrátila Domácí kutil a ... dřevoplyn**, kterou autor vydal vlastním nákladem v roce 1989. Knihu jsem si koupil také, ještě pořád je k dostání za necelých 100 Kč. Z uvedeného pramene jsem čerpal hlavně pasáže týkající se použití dřevoplynu k pohonu historických vozidel. Pan Navrátil však uvádí podstatně větší soubor praktických zkušeností a informací o historických vozidlech. Hluboko do paměti jsem si uložil jeho větu: **Při výrobě dřevního plynu probíhají natolik složité chemické reakce, které se ani nesnažíme pochopit.** Autor dále uvádí, že pro vysvětlení alespoň základního principu **vystačíme s popisem několika reakcí**, které přebírá z knihy *Energie skoro zadarmo*. Pana Navrátila jsem měl možnost osobně potkat na jedné regionální topenářské výstavě, kde prodával svoji knihu *Domácí kutil a ... tepelné čerpadlo*. Osobně se domnívám, že právě tento „kutilský princip“ bez znalosti hlubších souvislostí je klíčem k pochopení mnoha osobních i firemních neúspěchů i tragédií lidí, kteří neunesli svůj neúspěch a dostali vlivem neúspěšné pokusu o využití dřevního plynu do psychiatrické léčebny nebo se pokusili o sebevraždu. Jeden spolupracovník z vědecko-výzkumné základny, která se zabývá dřevním plynem, mi pro doplnění textu uvedl: „*Celý kutilský přístup, jakkoli nezatrácují zručnost a nadšení jednotlivců, mi přijde jako zásadní nepochopení celého principu procesu zplyňování a jeho praktické aplikace. V současnosti tyto instalace využívají poznatků 20. a 30. let minulého století, bez jakékoliv reflexe současného stavu poznání. Co mě osobně na těchto instalacích dráždí, je skutečnost, s jakou přistupují k životnímu prostředí. Položil si např. někdo otázku, jak se podaří splnit emisní limity nebo limity znečištění odpadních vod, jejichž splnění je pro legální provoz nezbytné?!*“

Pan Navrátil ve své knize na str. 54 uvádí, že se setkal se spoustou případů, kdy mají podnikatelé pro provoz dřevoplynové jednotky ideální podmínky, s čímž se naprosto ztotožňují. Za jedinou nevýhodu, která zabránila rozšíření tohoto systému, považuje fakt, že tyto agregáty u nás v republice nikdo nevyrábí, a proto, jak uvádí tučným písmem, **si potenciální zájemce musí tento agregát na dřevoplyn zhotovit sám**. Někdo může tento názor považovat za svérázný, jiný přímo za diletantský. Mně osobně na naskakuje asociace z filmu o Járovi Cimrmanovi: Cimrman byl pionýrem slepých uliček, někdo přece musel lidstvu oznámit: „Ne, tudy ne, přátelé.“ Dle mého osobního názoru **již bylo slepých uliček dost**. Je sice pravda, že se stále mnozí pokoušejí o výstavbu dřevoplynové aplikace, mnohé aplikace dokonce „nějak“ po nějakou dobu i pracují. Někdy dříve, jindy později, což mnohdy záleží na kvalitě použitých materiálů a dílenském provedení, se ale objeví problém. Provozovatel se z počátku raduje, jak mu ten chladič plynu „pěkně“ chladí, ovšem jen do té doby, než náhodně zjistí, že chladičí kapalina je o několik stupňů teplejší než „chlazený“ plyn. Což většinou evokuje spoustu otázek. Jen víme, že teplo se ztrácí i bez chladiče. Vzpomínáte na „zákon zachování“? Z ničeho se nic neudělá a nic se ani nemůže nikam ztratit.

Dřevní plyn v rukou vědeckovýzkumných institucí



Výzkumné energetické centrum – v.v.i.

VEC je vysokoškolským ústavem ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Náplní jeho činnosti je výzkum a vývoj zejména v oblasti spalování tuhých paliv, včetně biomasy, obecně pak v oblasti efektivní energetiky a jejích environmentálních vlivů. Další významnou činností je zkoušení kotlů a spalovacích zařízení, a to jak ve vlastní zkušebně, tak u provozovatele. Součástí VEC je akreditovaná zkušební laboratoř č. 1166.3 pro měření tepelně-technických veličin, pracoviště má také autorizaci MŽP ČR pro měření emisí škodlivin a vzdělávání pracovníků měření emisí ve všech kvalifikačních úrovních.

Vzdělávací činnost je zaměřena na výchovu doktorandů. VEC má statut školícího pracoviště doktorského studijního programu „Energetické stroje a zařízení“. Jako pracoviště se také podílí na výuce v bakalářském a magisterském studiu na Fakultě strojní a Fakultě metalurgie a materiálového inženýrství, pro které v plném rozsahu zajišťuje výuku vybraných předmětů. Pro potřeby výuky slouží kvalitně vybavená pracoviště centra.

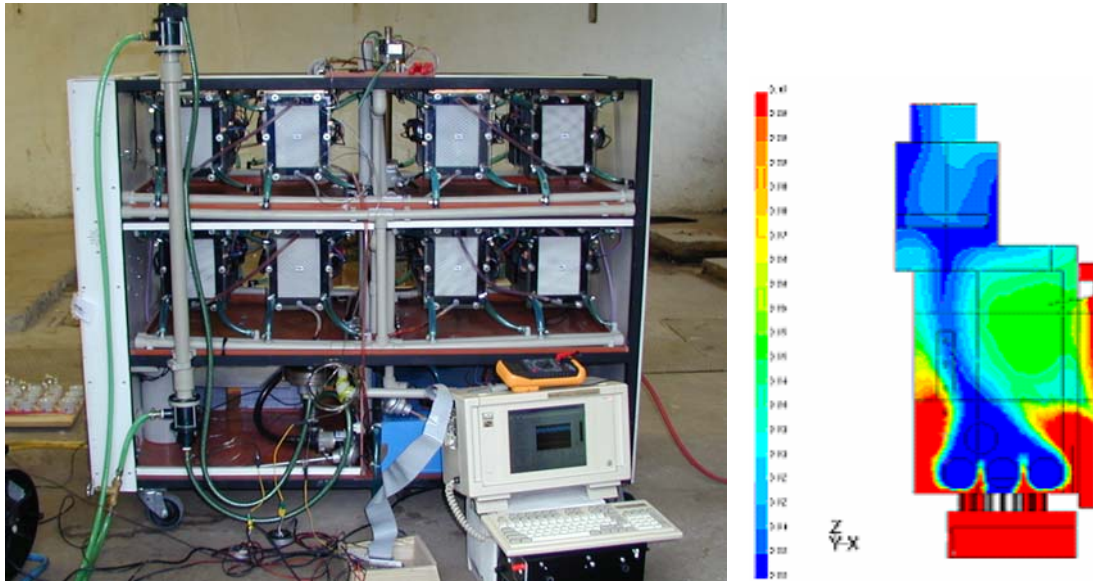
Výzkumná a vývojová činnost se uskutečňuje zejména řešením grantových projektů.



Svou VaV činnost zaměřuje především na problematiku zvyšování efektivnosti transformace energie v tradičních energetických zdrojích spalujících fosilní paliva v souladu s omezením jejich nepříznivého vlivu na životní prostředí, na využívání netradičních a obnovitelných zdrojů a na snižování spotřeby energie.

V současné době se mj. soustřeďuje na:

- spalování tuhých paliv (především uhlí a biomasy) v zařízeních malých výkonů, kde nás především zajímá problematika emisí některých specifických škodlivin (jako polyaromatické uhlovodíky, dioxiny a další),
- kogeneraci se zplyňováním biomasy (v současné provozují dva zplyňovače),
- výzkum tvorby N_2O při nekatalytických denitrifikačních procesech u energetického využití odpadu,
- výzkum zařízení k ekologickému spalování směsných paliv,
- určení kinetických charakteristik pro spalování různých typů paliv za pomoci tzv. pádové trubky,
- výzkum vysokoteplotní filtrace energoplynu,
- možnosti snižování emisí CO_2 z energetických zdrojů,
- výzkum energetických parametrů biomasy,
- výzkum komponent bezemisního parního cyklu,
- výzkum krbových kamen pro nízkoenergetické domy,
- matematické modelování spalovacího procesu, aj.



Kogenerační jednotka s palivovými články

Výsledkem projektu je funkční kogenerační jednotka s alkalickými palivovými články, spalující vodík. Nízkopotenciální teplo z chlazení elektrolytu lze využít díky instalaci spolehlivého výměníku. Všechny části jednotky jsou domácí produkce. Byly ověřeny a popsány čtyři možné způsoby konverze zemního plynu na palivo, použitelné v palivových článcích. Cenných výsledků bylo dosaženo zejména při výzkumu úpravy paliva pro palivové články a při vývoji plastového výměníku pro využití odpadního tepla z provozu baterií palivových článků. Zkoušky prokázaly dosažení projektových parametrů a poskytly cenné provozní zkušenosti řešitelům. Při ověřování provozních vlastností kogenerační jednotky byl jako palivo používán vodík. Pro ověřování použitelnosti paliva získaného konverzí zemního plynu byla zásadně používána baterie palivových článků o jmenovitém výkonu 250 W.



Pro potřeby výzkumu, vývoje a typových zkoušek v oblasti tepelných zařízení určených především pro vytápění vnitřních prostor vybuďovalo Výzkumné energetické centrum moderní zkušební laboratoř (zkušebna). Zkušebna sídlí ve dvou budovách (VEC1 a VEC2). Do prostoru starší budovy VEC1 jsou směřovány převážně výzkumné činnosti v oblasti spalování biomasy v krbových kamnech, krbových vložkách a v obdobných zařizováních.

Velkou předností a všestranným přínosem je přímá spolupráce s průmyslovými podniky. K nejvýznamnějším partnerům patří Biocel Paskov, Dalkia ČR, Romotop Suchdol nad Odrou, Teplárna Liberec. Svou dosavadní činností VEC prokazuje, že i v současných podmínkách může existovat životaschopné a kvalitní univerzitní výzkumné pracoviště, které se orientuje zejména do oblasti energetického využívání biomasy.

Z dlouhého soupisu všech řešených projektů, který je uveden v příloze, uvádím několik projektů, které se tematicky dotýkají koncepce celé práce.

Projekt: Nový jaderný zdroj pro energetiku

číslo projektu: FT-TA/067, doba řešení: 2004-2008,

Projekt: Kogenerace se zplyňováním biomasy

číslo projektu: FT-TA2/061, doba řešení: 2005-2009,

Projekt: Krbová kamna pro nízkoenergetické domy

číslo projektu: FI-IM3/185, doba řešení: 2006-2009.

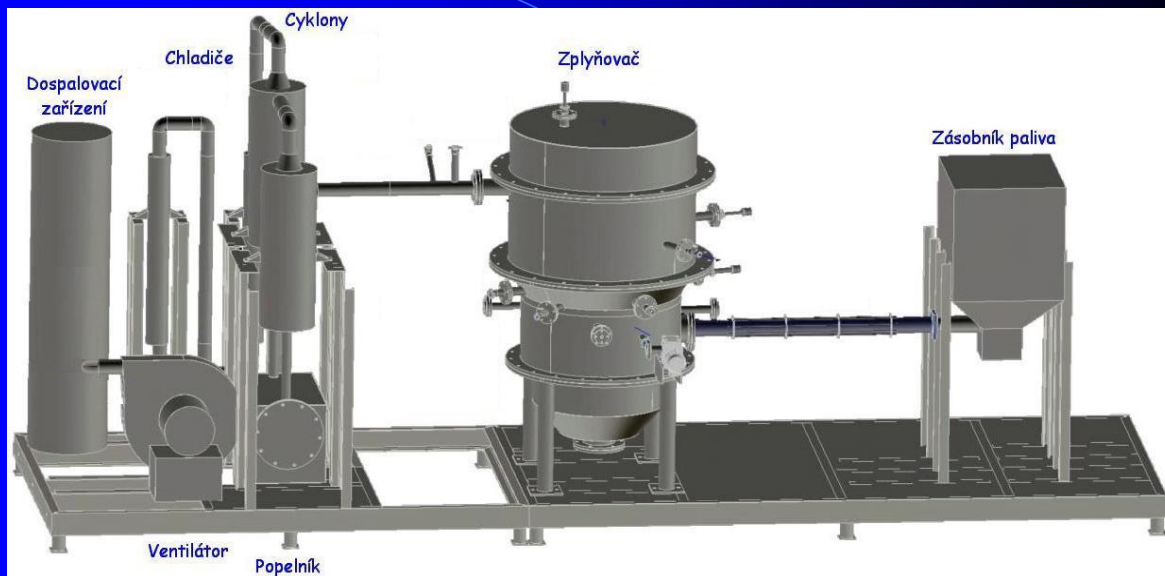
Snížení spotřeby energie na vytápění je jednoznačný trend, který se již dnes silně uplatňuje ve vyspělých zemích. Přitom roste zájem o možnost dodatkového vytápění lokálními topeništi na spalování dřeva. Vyvolává to potřebu přehodnotit výkonovou strukturu vyráběných kamen, ve které dnes jednoznačně převládají výkony blízké se 10 kW, a posílit výrobu kamen menších výkonů na úrovni regulovatelného tepelného výkonu 3-5 kW, odpovídajících technickými i environmentálními parametry současným požadavkům na trhu ve vyspělých evropských zemích a předvídajících svou koncepcí budoucí vývojový trend. Vývoj takových kamen je cílem projektu

Projekt: Kogenerovaná výroba elektrické energie a tepla zplyňováním biomasy

číslo projektu: FT-TA3/122, doba řešení: 2006-2010.

Konečným cílem je vybudovaná a ve zkušebním provozu ověřená demonstrační jednotka technologie kombinované výroby elektrické energie a tepla z biomasy s elektrickým výkonem 200-300 kW_e, schopná používat jako palivo poměrně široký sortiment dřeva případně biomasy ze zemědělství, resp. další energetické plodiny.

Popis experimentálního zařízení



Technologické schéma zplyňovací jednotky



VŠB - Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum

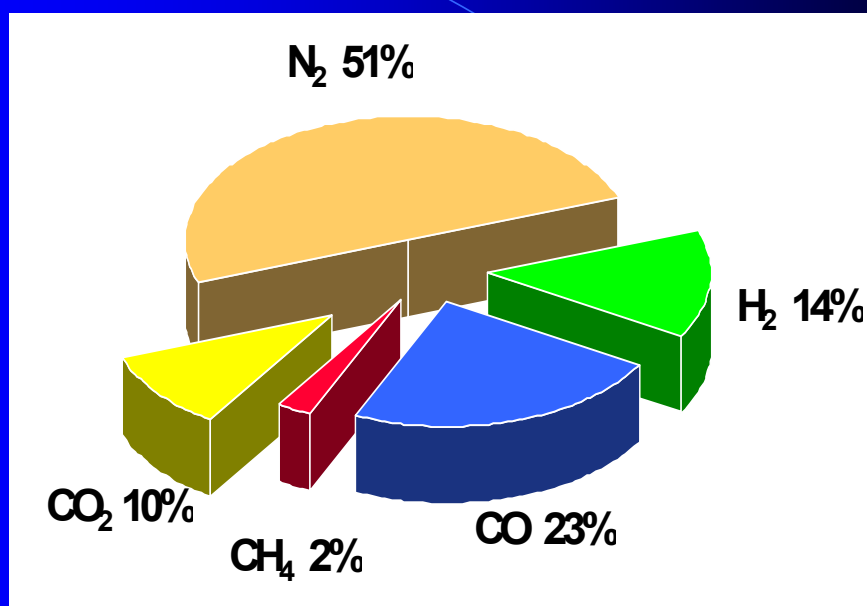


Zplyňovací reaktor



VŠB - Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum

Průměrné složení plynu



VŠB - Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum

Uvedený koláčový graf zobrazuje průměrné hodnoty složení dřevního plynu. Při zevrubném pohledu na uvedenou tabulku, která porovnává složení plynu z jednotlivých typů, na první pohled není patrný zásadní rozdíl, protože veškeré sledované parametry mírně kolísají. Oko zkušeného pozorovatele však u fluidních zplyňovačů zaznamená podstatný nárůst prachových částic a dehtů, což je dáno naprosto odlišnou konstrukcí zplyňovače. To pochopitelně vyžaduje zcela odlišnou filtrační cestu. Na následujících stránkách dalších vědecko-výzkumných institucí tedy budeme mít co dočínění s fluidním zplyňováním. Autorem uvedené tabulky je Ing. Sergej Skoblja z Ústavu plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší Vysoké školy chemicko-technologické v Praze.

Složení plynu / reaktor	Protiproudý	Souproudý	Fluidní
H ₂ [% vol]	10 – 15	15 – 20	10 – 15
CO ₂ [% vol]	15 – 20	8 – 15	15 – 20
CO [% vol]	15 – 20	25 – 30	15 – 20
CH ₄ [% vol]	2 – 5	1 – 1,5	1 – 3
C ₂ ⁺ [% vol]	5	< 1	2 – 3
N ₂ [% vol]	43 – 47	45 – 50	45 – 55
Prach [g.m ⁻³]	1 – 20	1 – 20	5 – 50
Dehet [g.m ⁻³]	> 100	0,1 – 1	1 – 20
Výhřevnost [MJ.m ⁻³]	5,5 – 7	5 – 6,5	4,5 – 5
Výstupní teplota [°C]	150 – 300	750 – 850	600 – 750



Věda a výzkum na fakultě strojního inženýrství VUT Brno je financována z dostupných tuzemských i zahraničních dotačních programů.

Jedná se o projekty aplikovaného a základního výzkumu v oblasti strojního inženýrství, strojírenských technologií a aplikovaných věd, do jejichž řešení je zapojena většina akademických pracovníků a také studentů-doktorandů FSI.

Před několika lety tomuto ústavu firma ATEKO dodala fluidní zplyňovač, kde probíhá ověřování energetického využití celé řady plodin. O tomto projektu podrobně informuje článek doc. Ing. Ladislava Ochraný, CSc. a Ing. Petra Dvořáka – Technicko-ekonomická problematika centrál se zplyňováním alternativních paliv²⁹. Celý článek najdete v elektronické příloze. Agregát byl v roce 2007 doplněn malou kogenerační jednotkou TEDOM o výkonu 22 kW s motorem Škoda Favorit, který ale při provozování na dřevní plyn poskytuje výkon necelých 15 kW_e. Technologie fluidního zplyňování je použitelná pro výkony v řádech stovek kW až MW. Agregát na VUT Brno má charakter školního demonstračního zařízení, na kterém probíhá další výzkum a vývoj. V současné době probíhají zkoušky filtrů s dolomitickým vápencem a katalyzátoru s niklovou náplní. Za zmínku spojí, že 1 kg niklového katalyzátoru si můžete koupit za 1.000 Eur. Kdo však již nějaké zkušenosti s dřevním plynem má, ví, že v tomto oboru nic není levnou záležitostí.



Fluidní zplyňovač, rovněž částečně z dílen firmy ATEKO, avšak přibližně 10x menší, pracuje v Ústavu chemických procesů Akademie věd ČR v Praze, kde se rovněž intenzivně zabývají studiem procesů probíhajícími při energetickém zplyňování různých materiálů a následným čištěním dřevního plynu.

²⁹ Technicko-ekonomická problematika centrál se zplyňováním alternativních paliv. Časopis 3T Tepló, Technika, Teplárenství číslo 4/2003.



Ústav chemických procesů AVČR, v.v.i.

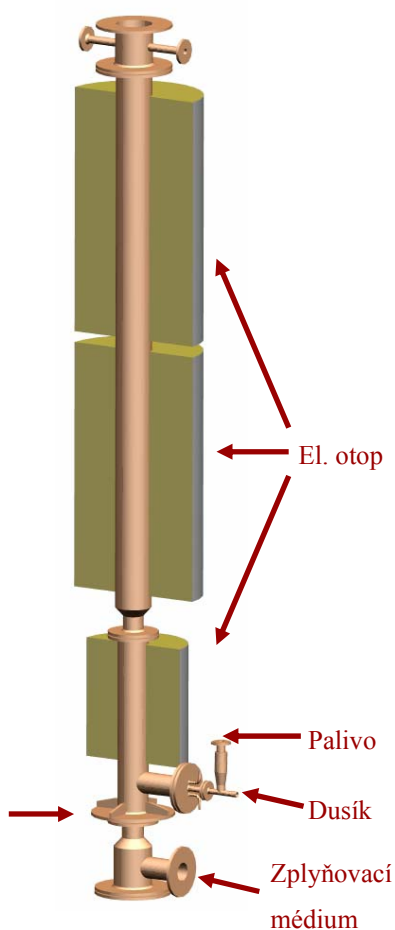
Ústav chemických procesů (ÚCHP) patří mezi šest ústavů Sekce chemických věd Akademie věd České republiky. Ústav je významným centrem výzkumu v oblasti chemie, biochemie, katalýzy a životního prostředí a působí jako školicí pracoviště doktorandského studia v oboru chemického inženýrství, fyzikální chemie, chemické technologie a biotechnologie.

Experimentální zařízení

V Ústavu chemických procesů AV ČR jsou k dispozici dva fluidní zplyňovací generátory. Menší reaktor je tvořen svislým válcem ze žáruvzdorné nerezavějící oceli o průměru 94 mm a výšce 1.008 mm. Zplyňovací médium je vedeno přes elektrický přehřev pod rošt, který je umístěn ve spodní části reakčního prostoru. Reakční zóna je ohřívána elektrickým topením rozděleným na dva nezávislé segmenty, což umožňuje nastavení teploty zvlášť ve fluidní vrstvě a zvlášť v prostoru nad vrstvou. Palivo je dávkováno ze dvou zásobníků posuvným komůrkovým dávkovačem a do vlastního reakčního prostoru je přiváděno pneumotransportem inertním plynem. Surový generátorový plyn vystupující z reaktoru je od tuhých látek čištěn v cyklonovém odlučovači, za kterým je plyn odebírán pro on-line i off-line analýzy složení.



Větší reaktor má celkovou výšku 2200 mm a vnitřní průměr 51,1 mm do výšky 500 mm nad roštem, v horní části pak 99 mm. Zplyňovací generátor je k vyrovnání tepelných ztrát otápen elektrickým topením rozděleným na tři nezávislé segmenty, což umožňuje nastavení teploty zvlášť ve fluidní vrstvě a zvlášť ve dvou sekcích v prostoru nad vrstvou. Palivo je ze zásobníku dávkováno šnekovým podavačem s následným pneumotransportem inertním plynem. Surový generátorový plyn vystupující z reaktoru je od tuhých látek čištěn v cyklonovém odlučovači, za kterým je plyn odebírán pro on-line i off-line analýzy složení. Zplyňovací médium požadovaného složení je připravováno pomocí směšovací jednotky s výparníkem na výrobu vodní páry a před vstupem do reaktoru je předeříváno na 800 °C. Na výstupu z reaktoru je možné vést část surového generátorového plynu na aparaturu pro vysokoteplotní čištění. Aparaturu mohou tvořit až tři reaktory, které slouží jako filtr nebo katalytický reaktor. Každý reaktor je vybaven vlastní elektrickou pecí, maximální provozní teplota prvního reaktoru je 600 °C, ostatních dvou reaktorů 1.000 °C.



Svoji výzkumnou činností ústav výrazně přispívá k získávání a ověřování nových poznatků týkajících se energetického zplyňování, které je zahrnuté mezi výzkumné a vývojové priority EU. Ústav se v uplynulých letech podílel na těchto projektech:

Zplyňování směsi uhlí a plastu

Cílem tohoto projektu bylo posoudit možnosti využití odpadního plastu pro spoluzplyňování s uhlím a vyhodnotit rozdíly ve složení plynu ze zplyňování čistého uhlí a směsného paliva.

Zplyňování směsi biomasy a plastu

Cílem tohoto projektu bylo posoudit možnosti využití odpadního plastu pro spoluzplyňování s biomasou a vyhodnotit rozdíly ve složení plynu ze zplyňování biomasy a paliva s přídavkem plastů.

Zplyňování biomasy vodní parou a směsí vodní páry a CO₂

Tento projekt byl zaměřen na sledování vlivu použitého zplyňovacího média za různých experimentálních podmínek.

Úprava složení generátorového plynu použitím aktivních materiálů fluidního lože

Při těchto experimentech byly testovány katalyticky aktivní materiály fluidního lože (dolomit, olivín) a sledována jejich účinnost štěpení dehtovitých látek v porovnání s inertním materiálem lože (písek).

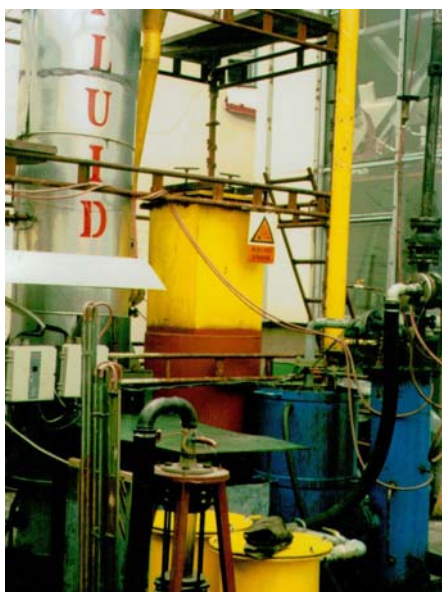
Vysokoteplotní čištění generátorového plynu na katalyzátorech

Generátorový plyn byl při těchto experimentech čištěn až za vlastním zplyňovacím generátorem v soustavě vyhřívaných vysokoteplotních reaktorů. Zkoumaným materiálem byl dolomit, jehož účinnost pro odstraňování dehtu byla porovnána s účinností dolomitu v loži. Vedle toho bylo zkoumáno i odstraňování dehtu na komerčním katalyzátoru.



ATEKO, a.s. je inženýrská, výrobní a dodavatelská firma nabízející komplexní dodávky investičních celků formou "na klíč" v oborech chemický, strojírenský a potravinářský průmysl, chlazení, energetika a ochrana životního prostředí.

Společnost existuje od roku 1949, přičemž pod názvem ATEKO, a.s. (Aparáty technologie konstrukce) působí od 1. 1. 1994. Firma vznikla privatizací Výzkumného ústavu potravinářské a chladicí techniky Hradec Králové. V letech 1994 – 1995 ve svých prostorách postavili prototypové zařízení BIOFLUID. Zkoušky probíhaly **ve spojení s kogenerační jednotkou TEDOM – MT 22.** Zkouška prokázala funkčnost navržené technologie včetně spojení s kogenerační jednotkou i schopnost dlouhodobě zpracovávat odpadní dřevo.



Na svých internetových stránkách společnost ATEKO, a.s. uvádí:

BIOFLUID - technologie energetického zpracování odpadů a biomasy

Technologie BIOFLUID je založena na procesu zplyňování ve fluidní vrstvě. Upravená surovina vstupuje do zplyňovacího reaktoru, kde při teplotách 750 °C probíhají ve vznosu vzduchu a vyrobeného plynu zplyňovací reakce.

Zplyňování suroviny se provádí vzduchem ve fluidním zplyňovacím generátoru. Dehty, které při pyrolyze suroviny vznikají, se odstraňují termickým štěpením v reaktoru a dočišťují praním v ledové vodě (teplota cca +5 °C). Teplo získané při chlazení plynu v tepelných výměnících se dá využít pro sušárnu řeziva, pro otop budov, ohřev vody či pro předsušení vstupní suroviny. Ochlazený energoplyn je spalován v kogenerační jednotce. Vzhledem k neustálému stoupajícímu trendu cen fosilních paliv je další možností využití vyrobeného energoplynu přímá náhrada klasických paliv (zemní plyn, propan-butan, topné oleje, mazut aj.) při provozu vápenek, cihelen, keramiček, žíhacích pecí a všude tam, kde jsou tato paliva spalována. Při těchto aplikacích není nutné energoplyn ochlazovat a jeho čištění od tuhých částic je zajištěno cyklonovým odlučovačem. Případné zbytkové dehtovité látky jdou spolu s plynem k přímému spálení.

Na sklonku minulého století firma ATEKO a.s. fluidní zplyňovač dodala pro podnik Povodí Odry ve Skotnici na Příborsku. Tento demonstrační projekt byl prostřednictvím České energetické agentury ze státního rozpočtu dotován částkou několika milionů.

Vlivem nedostatku financí a značných technických problémů se nikdy nepodařilo agregát natolik dokončit. Jak nám řekl pamětník tehdejší instalace Ing. Najser, který se na tomto projektu podílel, *další důvod, proč technologie ve Skotnici nebyla uvedena do trvalého procesu, byl, že zemřel vedoucí provozu ve Skotnici a nové vedení zjednodušeně řečeno bylo proti technologii zplyňování – preferovali spalování. Dále je potřeba říci, že technologie zplyňování ve fluidní vrstvě se obecně využívají v řádů MW tepelných – a proto čím nižší výkon, tím jsou vyšší měrné investiční náklady! Demonstrační jednotka ve Skotnici poskytla provozní zkušenosti pro stavbu větších jednotek (v řádu MW tepelných) s možností použití daleko náročnějších surovin, jako jsou tříděné odpady a komunální odpad (zplyňování takových surovin bylo ve Skotnici úspěšně vyzkoušeno).*



Na základě těchto zkušeností postavila firma ATEKO, a.s. někdy okolo roku 2000 technologii na zplyňování biomasy a odpadů o tepelném výkonu 2,6 MW. Tato technologie byla úspěšně provozována k otopu vápenkářských pecí ve vápence Prachovice až do doby, kdy vápenku koupil a zavřel (aby se zbavil konkurence) zahraniční vlastník.

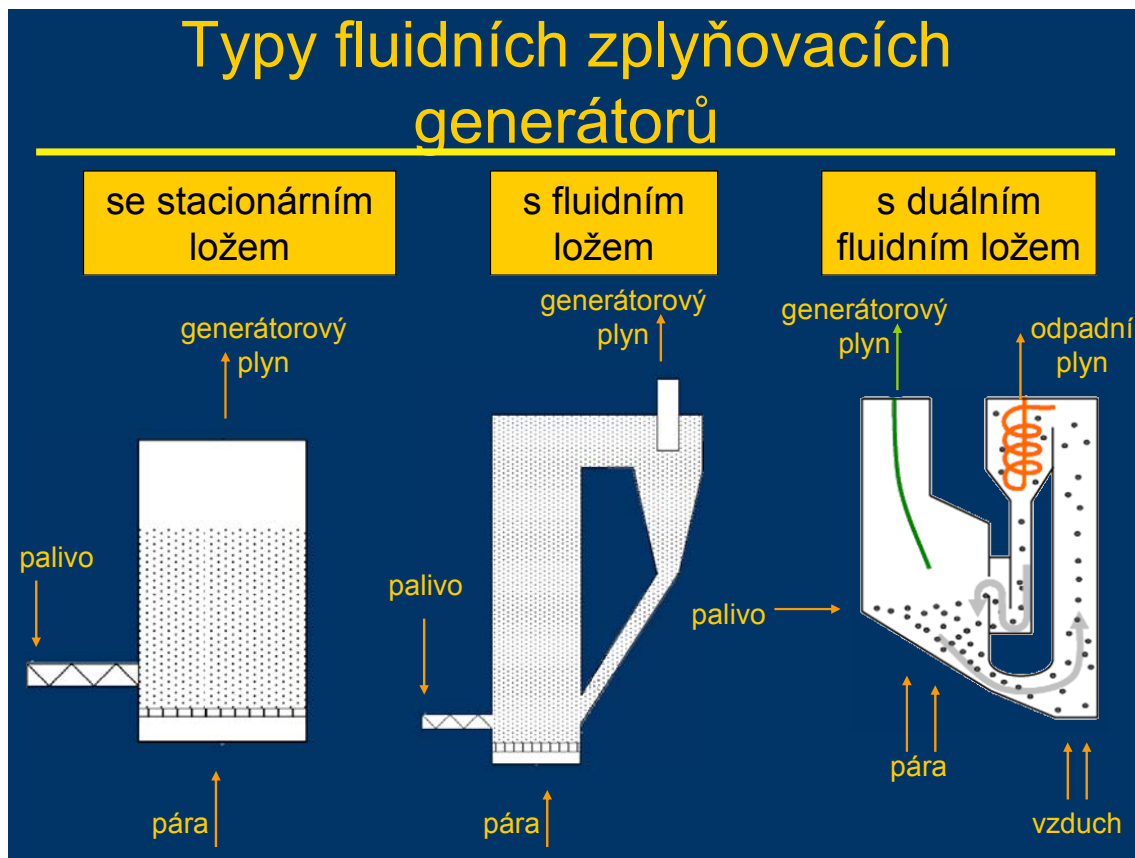
Ať se již jedná o UCHP AV ČR Praha, nebo VUT FSI Brno, něco mají výše uvedené vědecko-výzkumné základny společného i s firmou ATEKO – všechny subjekty se zabývají principem fluidního zplyňování a všechny jejich školní demonstrační aparáty dodala právě firma ATEKO, která se také vývojem zabývá, i když na dodávce zařízení pro UCHP-AVČR se podílelo více subjektů. Posledním vědecko-výzkumným pracovištěm, kam firma ATEKO dodala svůj aparát, je Ústav fyziky plazmatu AV ČR.

V prostorách Ústavu fyziky plazmatu AV ČR je instalováno třetí experimentální a vývojové pracoviště, kam firma ATEKO dodala svůj agregát. Technologie je postavena na zplyňování nebezpečných odpadů (včetně radioaktivních) plazmou, která dosahuje teploty až 20.000 °C. Kromě zplyňování odpadu byla vyzkoušena také biomasa, ale to již přesahuje rámec naší práce.

Na základě této úspěšné instalace ATEKO připravuje projekt zplyňování odpadů plazmou s několikanásobně větším výkonem v zahraničí. Další zkoušky a ověřování principů budou probíhat a částečně již probíhají na jejich instalaci na VUT v Brně.

Plazmový reaktor v Ústavu fyziky plazmatu v Praze

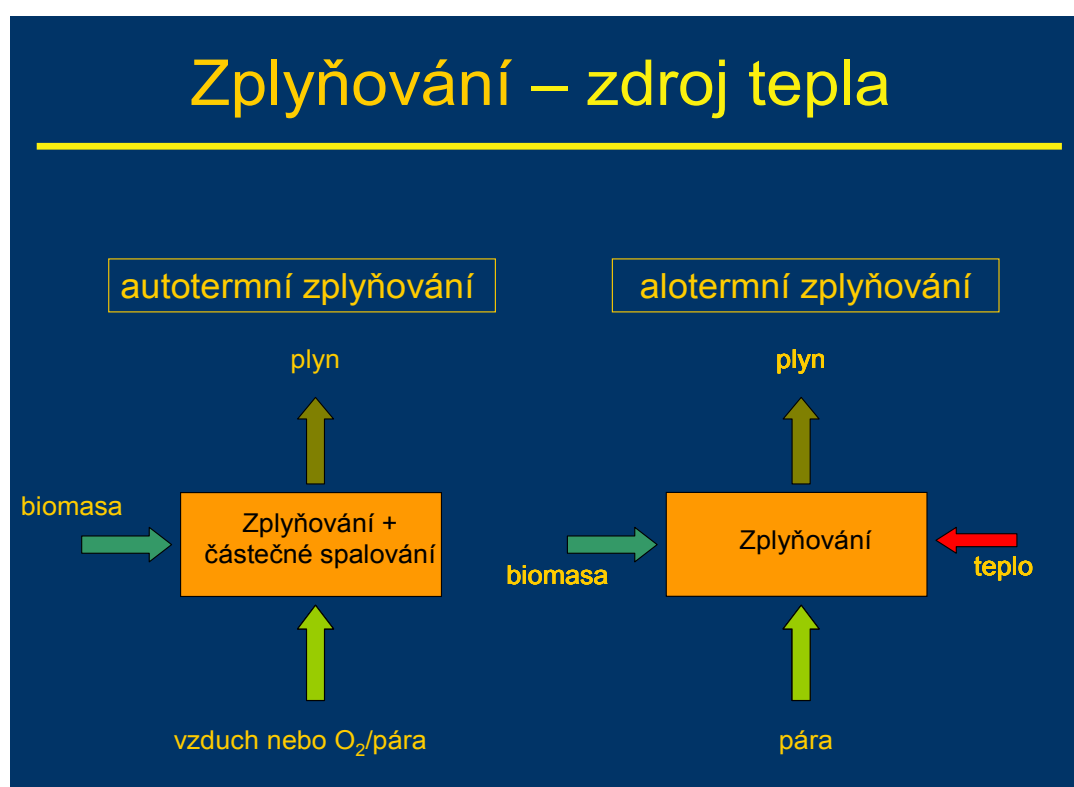




V závěru kapitoly popisující aktivity Výzkumného energetického centra –VEC Ostrava na str. 99 je uvedena tabulka, která porovnává složení plynu z jednotlivých typů zplyňovačů: protiproudého, souprroudého a fluidního. Na první pohled jsou jednotlivé rozdíly zanedbatelné až na zvýšený obsah prachových částic a dehtů. Ovšem při pohledu na složení dřevního plynu při zplyňování parou jeho kvalita všem zasvěceným bere dech. Snad za jediný handicap je možné považovat vyšší obsah nehořlavého CO_2 , což bohatě vyvažuje obsah methanu i vyšší podíl ostatních spalitelných složek. Téměř zanedbatelný je obsah dusíku, který u předchozích principů představuje cca 50%! Právě dusík je z energetického hlediska nevyužitelným plynem, který pouze zabírá prostor ve válcích spalovacího motoru, proto je energetický obsah (výhřevnost) tak nízký.

		Zplyňování vzduchem (autotermní)	Zplyňování parou (alotermní)
Výhřevnost	MJ/m^3	4 - 6	12 - 14
H_2	%	11- 16	35 - 40
CO	%	13 - 18	25 - 30
CO_2	%	12 - 16	20 - 25
CH_4	%	3 - 6	9 - 11
N_2	%	45 - 60	<1

Částečně pro zlepšení kvality dřevního plynu při zplyňování v sesuvném loži pomůže molekulové síto, které ze spalovacího vzduchu odfiltruje část přebytečného dusíku. Abychom však dosáhli nulového podílu dusíku jako u zplyňování parou, bylo by nutné zplyňovat čistým kyslíkem, jak v našem rozhovoru prohlásil Ing. Pohořený z Ústavu chemických procesů AV ČR: „Zplyňování v sesuvném loži čeká na levný zdroj kyslíku.“ Díky podstatně vyšší kvalitě a výhřevnosti dřevního plynu získaného při aloterním zplyňování však odpadá řada problémů s kvalitou a čištěním dřevního plynu. Pochopitelně čištění plynu se rozhodně nevyhneme ani v tomto případě. Plyn je nutné čistit nejen od prachových částic, ale i od dehtů a podle cílové aplikace i dalších látek. Pro energetické využití plynu v kogenerační jednotce je nutný funkční systém čištění plynu, který je zdrojem obtíží snad u všech známých aplikací. Zplyňování s duálním fluidním ložem je proto použitelné pouze pro vyšší výkony v řádech několika MW, i přes tento handicap se vzhledem k vysoké kvalitě a výhřevnosti plynu ale stává závěrečným a navíc zlatým hřebíčkem celé kapitoly.



Za technickým principem aloterního zplyňování musíme překročit technické možnosti zplyňování v sesuvném loži i skutečné hranice naší republiky. Musíme navštívit zemi našich jižních sousedů a posunout se o několik set km na jihovýchod, protože se jedná o výzkum technické univerzity ve Vídni, jejíž demonstrační jednotka od roku 2002 spolehlivě pracuje v Güessingu. Uvedená tabulka a schémata pocházejí ze společné prezentace³⁰ našich vědecko-výzkumných institucí (VŠCHT a UCHP – AVČR), které na řešení problematiky energetického zplyňování s Technickou univerzitou ve Vídni spolupracují. Nezbyvá tedy nic jiného, než krátkou upoutávkou upozornit na z energetického hlediska zajímavou lokalitu, která se stává cílem mnoha odborných exkurzí, i zajímavý projekt bioelektrárny s duálním fluidním ložem, který v Güessingu provozují.

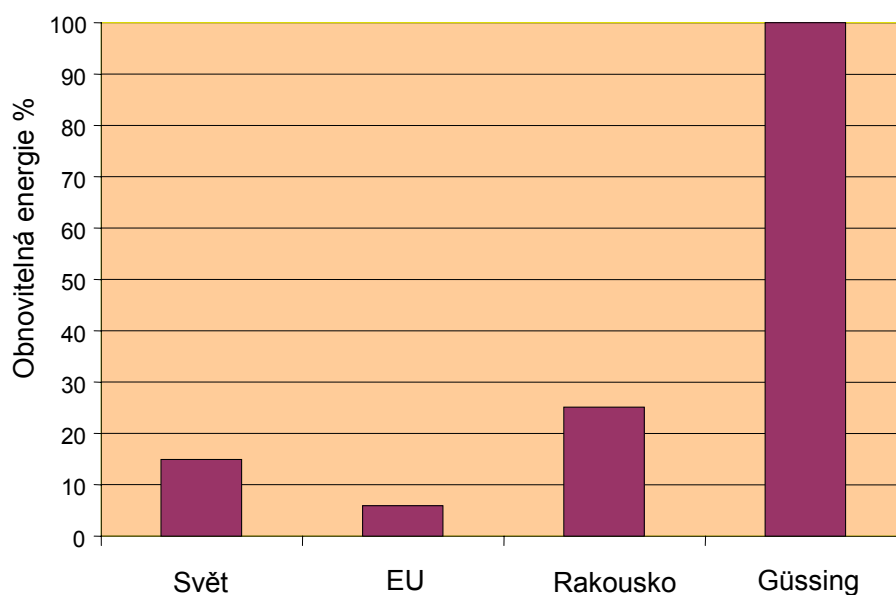
³⁰ Konference: **Energie z Biomasy VII 2007**, kterou ve dnech 21-22.11. 2007 uspořádal energetický ústav FSI na VUT v Brně.

Alotermní zplyňování s duálním fluidním ložem v praxi

Lokalita Güssing je z energetického hlediska velice zajímavým místem, neboť díky mnoha zajímavým environmentálním aktivitám, jako jsou lisování bionafty pro celý okres a provozování několika dalších centrálních výtopen na biomasu, celá oblast vykazuje stoprocentní podíl obnovitelných zdrojů energie na celkové spotřebě energie a stojí za podrobnější seznámení. Svým obsahem a rozsahem však již překračuje rámec této práce i současné možnosti autora, tak alespoň celkový pohled na bioelektrárnu a sloupcový graf využití OZE v lokalitě Güssing.



Podíl obnovitelné energie na celkově vyrobené energii



Uhlí je také biomasa

Co že ? Uhlí je také obnovitelný zdroj. Slunce svým zářením pohání fotosyntézu a právě ta z prvohorních plavin a přesliček umožnila vznik ropy, uhlí i zemního plynu. Jenom je o nějaký ten „milínek“ roků starší a „obnovuje“ se trochu pomaleji. Z geologického hlediska čas ale nehraje hlavní roli.

Uhelná energetika má budoucnost

Zplyňování uhlí je samostatnou kapitolou, která svým obsahem i rozsahem překračuje rámeček této práce. Kapitolou natolik zajímavou, že si v samém závěru práce dovoluji malinkou upoutávku na technické možnosti a environmentální souvislosti spojené se zplyňováním uhlí. V elektronické příloze proto najdete článek **Vývoj a využívání zplyňování ve světě**. Jeho autorem je Ing. Pavel Slouka, CSc., který se více než 20 let věnoval výzkumu zplyňování uhlí a později i biomasy. Od roku 2000 pracuje v divizi Energoprojektu ÚJV Řež. Z energetického hlediska technologii zplyňování uhlí dominuje podstatně vyšší účinnost. Z environmentálního hlediska je podstatně jednodušší a účinnější škodlivé látky odstranit v průběhu zplyňování uhlí nebo z plynu a ne až ze spalin, které jsou rozředěny spalovacím vzduchem.

Z článku paní Marcely Šafářové **Uhelná energetika má budoucnost³¹ proto vybírám:**

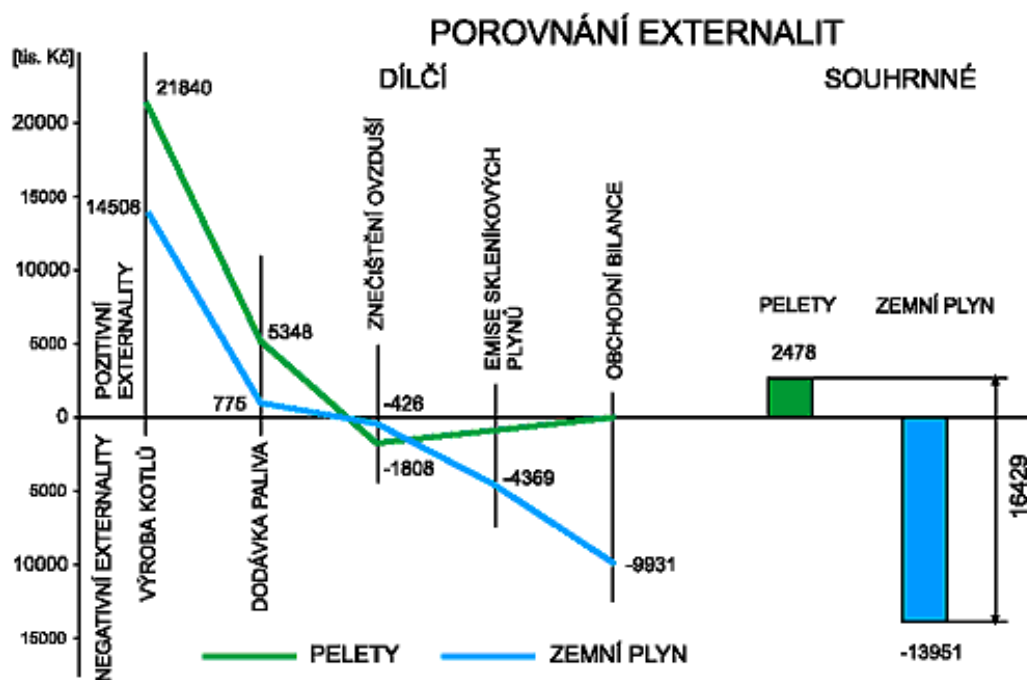
*Zásoby uhlí jsou celosvětově mnohem větší než zásoby ropy nebo zemního plynu, i když se o této skutečnosti příliš nemluví. Role klíčové energetické suroviny se proto přesune na uhlí. Proto bychom dnes uhlí neměli zatracovat a vzdávat se možnosti na jeho využívání. Při bližším pohledu totiž zjistíme, že také uhlí lze využívat k výrobě energie „ekologicky přátelským“ způsobem. Nikdo nechce, aby výroba elektrické energie poškozovala životní prostředí. Proto byly vyvinuty moderní čisté uhelné technologie (CCT). Mezi ně patří práškové technologie spalování s výrobou páry s nadkritickými a ultrakritickými parametry, cirkulační fluidní technologie a integrovaný paroplynový cyklus (IGCC technologie). Vývoj směřuje k dosažení vyšších účinností přeměny uhlí na energii při maximálním omezení škodlivých dopadů na životní prostředí. V současné době je ve světě provozováno více než 200 bloků s cirkulující fluidní vrstvou o celkovém výkonu 26 000 MW_e a **15 bloků s tlakovým fluidním spalováním o celkovém výkonu okolo 5 000 MW_e**. Vyšší účinnost a nízké hodnoty emisí pak nabízí spojení tlakového zplyňování uhlí a paroplynového cyklu (IGCC). Emise jsou o řád nižší než u klasických elektráren. Příkladem úspěšně provozované technologie IGCC je v Holandsku s výkonem 253 MW, z roku 1993, která pracuje s účinností 43 %. Největším evropským projektem IGCC je elektrárna ELCOGAS ve španělském Puertollano s výkonem 300 MW a účinností 45 %, z roku 1997. V Německu byla v roce 2001 uvedena do provozu demonstrační jednotka s celkovým výkonem 376 MW_e. Také naše elektrárna ve Vřesové (Sokolovská uhelná a. s.) s výkonem 400 MW se zplyňovacími reaktory se sesuvným ložem je příkladem této technologie. „Uhelnou rafinerii“ na bázi zplyňování uhlí provozuje společnost SASOL v Jihoafrické republice. Ta jako jediný světový výrobce vyrábí z uhlí motorová paliva a další produkty pro chemický průmysl. Také v USA úspěšně pracuje řada zplyňovacích elektráren. **V posledních letech nabývá na významu také společné zplyňování uhlí, biomasy a odpadních plastů.***

³¹ Czech Industri 20.9.2006, Marcela Šafářová. Článek je v plném znění uvedený na informačním serveru Mostecké uhelné společnosti.

Vztah mezi životním způsobem a spotřebou energie

V časopise Alternativní energie AE 5/2007 jsem si pozorně přečetl článek pana Karla Murtingera **Vztah mezi úsporami energie a využitím OZE**, který mne inspiroval k několika otázkám. Celý článek, který mimo jiné dal název i téhle kapitole, je pro zájemce uvedený v přílohové části. Tato kapitola je tedy malým zamyšlením nad příčinou a důsledkem stále rostoucí spotřeby energie. Pan Murtinger ve svém článku uvádí: „Kdyby totiž elektřina, kterou odebírám, stála opravdu těch 13 Kč/kWh, tak by spotřeba v mém domě nebyla 3 MWh za rok jako vloni. Při tak vysoké ceně bych měl celou řadu možností, jak investovat do úsporných zařízení a tuto spotřebu snížit minimálně na čtvrtinu. Navíc je pravděpodobné, že by se objevila ohromná řada inovací, které by snížily spotřebu elektřiny a zlevnily její výrobu. Ona ta oslavovaná i proklínaná *neviditelná ruka trhu* má totiž jednu výhodu – je nesmírně vynalézavá a umí soustředit ohromné množství invence tam, kde se vyskytne vysoký zisk“.

Cenu ve výši 13 Kč pan Murtinger ve svém článku odvozuje od výkupní ceny elektřiny z fotovoltaických systémů. K podobné částce ovšem přicházejí různí badatelé po celém světě, kteří do výpočtu skutečných nákladů na výrobu energie zahrnují veškeré náklady, tzv. externality – tedy souhrn všech vedlejších nákladů na výrobu kotlů, na dodávku paliva, tedy i na výstavbu hlubinných nebo povrchových dolů, jejich strojního vybavení, dopravu po řekách nebo železnici, náklady na výstavbu a pozdější demolice elektráren, rekultivaci pozemků včetně mezd a povinných odvodů všech pracovníků podílejících se na cestě energie ke konečnému spotřebiteli. Do výpočtu nákladů také v neposlední řadě patří poškození životního prostředí, emise skleníkových plynů, včetně zvyšování pasivní obchodní bilance naší země. Aby to nebyl jen přesný součet nepřesných čísel, renomovaná poradenská organizace City Plan, s.r.o., vypracovala metodiku³², která jako prvá svého druhu uvádí podklady pro reálné srovnání různých zdrojů tepla, jak podrobněji uvádí Petr Kramoliš ve svém článku CO JE EKONOMICKÉ – (jak posuzovat zdroje energie), který je rovněž v plném znění uveden v přílohové části.



³² Dvuměsíčník Alternativní energie 3/2001 (Str. 23-23) CO JE EKONOMICKÉ? (jak posuzovat zdroje energie) Petr Kramoliš – Projektant obnovitelných zdrojů energie, Ostrava, zdroj: www.tzb-info.cz.

Něco jako malé filosofické zamyšlení nad rostoucí spotřebou energie

Pan Murtinger ve svém citovaném článku píše, že by v případě tak vysoké ceny dokázal spotřebu svého domku snížit na čtvrtinu. Sebekriticky musím přiznat, že každý rok spotřebuji 3.500-4.500 kWh, často nechám bez užitku běžet PC, hrát rádio nebo svítit nějakou tu žárovku. **Souhlasím s názorem, že elektrická energie je příliš levná, než aby člověk její spotřebu dokázal výrazněji omezit.** Ve stejném duchu je odstaveček publikovaný elektrárenskou společností ČEZ.

Rub a líc levné energie

Za první republiky byla elektřina poměrně drahou záležitostí. Všeuzitečné společnosti měly kromě jiného zajistit, aby se v Čechách a na Moravě dodržovaly určité cenové tarify a elektrická energie byla přístupná většině lidí a podniků. Politika levné energie, která nastala po převratu v roce 1948, pak způsobila, že se elektroenergetika sice rychle rozvíjela, vkládaly se do ní obrovské prostředky, zároveň však na straně spotřebitele, především v průmyslu, nebylo třeba šetřit. Dnešní několikanásobně vyšší energetická náročnost důležitých hospodářských odvětví je toho nemilou památkou.³³

Občas také na různých konferencích, ale hlavně v denním tisku se setkávám s názorem, že výpočet tzv. externalit je naprostý nesmysl. Z úvodu generálního ředitele Českých energetických závodů Ing. Petra Karase, CSc., k informačnímu programu Public Relations ČEZ otištěného na zadní straně obálky prvního brožovaného sešitu Encyklopedie energie, vybírám:

Elektřina je nesmírně drahá energie

To, co jsme dříve ušetřili zdánlivě levnou výrobou elektřiny spalováním zdánlivě levného uhlí, jsme zaplatili jinak – nepřiměřeným zhoršením životního prostředí s vážným dopadem na zdraví lidí! Politický a hospodářský systém, který vedl k velikému pokřivení všech hodnot – duchovních i materiálních – už naštěstí patří minulosti.

Na různých konferencích také slýchám, jak bude spotřeba energie stoupat, protože roste naše životní úroveň, čímž doháníme vyspělé země. Dle tohoto scénáře si tedy koupíme ještě více toustovačů, mikrovlnného potrubí, počítačů, mobilních telefonů, satelitních vyhledávačů, telefonních ústředí, hifi přehrávačů a dalších spotřebičů, které nám zajistí vyšší životní úroveň. „Lidstvo bude podle předpovědi odborníků potřebovat stále více elektrické energie, i když půjde cestou její úspory. Nelze totiž předpokládat, že by se zřeklo civilizačních vymožeností, naopak bude zesilovat tlak na ekonomické vyrovnání všech zemí světa směrem k těm nejvyspělejším, které ovšem svůj civilizační vývoj nezastaví.“³⁴

Podle těchto prognóz mají jejich autoři naprostou pravdu – spotřeba energie roste a poroste. Je třeba prolomit ekologické limity těžby uhlí a modernizovat elektrárny, nebo urychleně rozhodnout o výstavbě dalšího bloku jaderné elektrárny. Z tohoto pohledu se okamžitě ochotně podepisuji pod petici za prolomení těžebních limitů hnědého uhlí i za dostavbu dalšího bloku jaderné elektrárny Temelín, s vědomím, že všichni ekologičtí „fanatici“ svým nezodpovědným jednáním odsuzují naši zemi k budoucímu nedostatku elektřiny. Doba si žádá své a „neviditelná ruka trhu“ nám předepíše, kolik elektřiny je třeba vyrobit. Uhlí je relativně dostatek, prý asi tak na 200 let, a že se při jeho těžbě přebagruje „nějaký ten kopec“ a „nějaká ta vesnice“, na to jsou už přece lidé v severních Čechách zvyklí...

³³ ČEZ – 1994 ENCYKLOPEDIJE ENERGETIKY - Sešit 1 Energie a člověk 4 strana obálky

³⁴ ČEZ – 2004 Encyklopedie energetiky – Sešit Energie a člověk str. 37.

Tak tenhle „drobeček“ přebagruje za hodinu až 10.000 m³ zeminy. Tedy pokud mu zrovna nestojí v cestě nějaký kostel, řeka, nebo vesnice. To je pak jeho postup pomalejší.



Z pohledu energetiků je to skutečně nastupující problém, který bude stále ožehavější, protože 45 % našich zdrojů – z hlediska instalovaného výkonu se jedná o 40 % – je starších než 40 let. Proto je nutné postupně začít modernizovat³⁵. K tomu jsou nutné investice. V energetice se uvažuje s ekonomickou návratností na desítky let, protože takový Temelín si můžete postavit zhruba za 100 miliard korun, což zase nejsou tak úplně malé peníze. Z pohledu investorů jde tedy o zásadní rozhodnutí, zda investovat do uhelné továrny na výrobu elektřiny, když mi dojde palivo během 5–10 let a továrnu na elektřinu stavíme na několik desítek let.

³⁵ Vladimír Řezník, ČEZ – na konferenci Českého svazu zaměstnavatelů v energetice v Brně dne 4. října 2007.

Jaderná alternativa?

Při leteckém pohledu na jadernou elektrárnu Temelín se nemohu zbavit pocitu, že je vzhledem k starší a menší dukovanské sestřičce jaksi „nesymetrická“, i když vychází ze stejné koncepce teplovodních reaktorů VVER. Všichni z branže vědí, i když postupně dorůstá generace těch, kteří nevědí, že Temelín je vyprojektovaný na 4 x 1.000 MW.



Ty obrysy nalevo vedle budov hlavních výrobních bloků (fotografie vpravo) nejsou žádné grafity ufonů, ale jen provedené terénní úpravy, nebo vybetonované základy dalších dvou výrobních bloků a chladicích věží. Měl jsem tu možnost navštívit obě naše jaderné elektrárny, Temelín ještě v době dostavby. Využil jsem příležitost rozhlédnout se do dále z vrcholu právě dokončované ochranné obálky (kontejnementu) druhého výrobního bloku i stát uvnitř 150 m vysokého hyperboloidu chladicí věže ještě před spuštěním prvního bloku a na vlastní kůži pocítit ten „tah v komíně“.

Byl to nádherný povznášející pocit. Z pohledu energetika nebyl název budovatelského filmu *Atomová katedrála* nikterak nadsazený. Z technického hlediska patří Temelín na světovou špičku jaderných elektráren, i když jej provázejí drobné technické problémy a mnozí protijaderní aktivisté se snaží jej vidět jinak. Z technického hlediska je nesmysl uvažovat o další jaderné elektrárně, když je Temelín vyprojektovaný celý a pro další bloky jsou postavené základy a dimenzované dráty i přívod chladicí vody.

Pro dostavbu dalších bloků jde o naprosto ideálně připravenou lokalitu, proto se nemůžeme divit provozovateli Temelína, že si postupně, ale cílevědomě pro toto rozhodnutí buduje politickou podporu a připravuje veřejné mínění. Je to patrné z článku **EKOSYSTÉM ZEMĚ JIŽ ZVLÁDÁ POUZE POLOVINU EMISÍ**, ve kterém se uvádí, že je nutné zastavit spalování fosilních paliv a využít možnosti jaderné energetiky³⁶. Celý článek rovněž najdete v přílohouvé části práce.

³⁶ EKOSYSTÉM ZEMĚ JIŽ ZVLÁDÁ POUZE POLOVINU EMISÍ, Václav Brom - TEMELÍNKY - Časopis Jaderné elektrárny Temelín ze skupiny ČEZ, č. 6/2006, str. 10.

Jaderná energetika jako ekologická nutnost?

Hurá, máme vyhráno, jádro nás zachrání! Navíc oproti spalování uhlí se při jeho štěpení uvolní jen asi 0,000 001 % vázané energie. Pro ty z vás, kteří nechtějí ty nuly počítat, je to jedna miliontina vázané energie. A těch emisí... Při štěpení jader uranu se uvolní celá jedna desetina procenta, tedy 0,1 %, při termojaderné fúzi, která efektivně funguje ve Slunci, je to již celé 1 %, tedy zase o řád víc. Panečku, to je jiné „kafe“ než ta řádka nul u spalování. Při anihilaci hmoty, kdy hmota reaguje s antihmotou, se uvolí celých 100 % energie! Hmota zcela zanikne, tedy přesněji řečeno celá se změní se v energetické záření, protože zákon zachování ještě nebyl novelizován. Není to úžasné? Je. Ale anihilace se z nepochopitelných důvodů na Zemi vůbec nevyužívá. I termojadernou fúzi, o kterou se již mnoho let snaží expertní týmy na celém světě, vlastně pořádně umí jen sluníčko.

Tak v tomto duchu jsem před více 10 lety napsal svoji diplomovou práci, která nesla název **Ekologické aspekty energetiky**, (celou ji počátkem roku 2008 najdete a www.energis24.cz) a jedna z kapitol se jmenovala úplně stejně jako tahle. Pokud jsem srovnával uhlí a jádro, jádro dopadlo mnohem lépe, proto jsem je označoval za ekologickou nutnost. Fuj, ty emise ze spalování fosilních paliv a těch skleníkových plynů! Tehdy ještě naše elektrárny nebyly odsířené a na severu Čech, kde navíc své pestrobarevné „čmoudíky“ vypouštěla řada chemických provozů, se takřka nedalo dýchat. Za tuhého socialismu se plnil plán ve výrobě oceli a betonu a na životní prostředí se tak nějak zapomnělo. Jaderné elektrárny přece z chladicích věží vypouštějí neškodnou vodní páru. A trocha toho radioaktivního odpadu se bezpečně uloží. To jsem ale ještě nevěděl, že právě vodní pára je tím nejvýraznějším skleníkovým plynem. Uvedený snímek pochází z prezentace přednesené na semináři energetiků na Jelenovské chatě 17. 1. 2007 ředitelem VEC, VŠB – TU Ostrava.

Skleníkový efekt je přirozenou a pro život nezbytnou součástí Země

Na skleníkovém efektu se podílí:

vodní pára	cca dvěma třetinami
oxid uhličitý	30 %
ostatní plyny	zbytek

VŠB - Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum



Ta naprosto neškodná vodní pára po čase někde spadne - no co, na nějaké ty záplavy jsme přece i u nás už skoro zvyklí, je to jen jednou za pár let. To takové přímořské státy jako Francie nebo Španělsko, ty se pořádně „sprchují“ skoro každý rok - však také mají podstatně víc jaderných elektráren - ale prosím Vás, kdo by to dával do souvislostí, to přece nejde dokázat.

Ale ta Čína...

Na jiné konferenci jsem si poznamenal: **Čína je odpovědná za 40 % nárůstu emisí...** Hned se mi ulevilo – máme viníka. 40 %, to je hodně. To je skoro polovina, ale oni jsou šikovní, oni to rychle vytáhnou na 50%, protože každý týden uvádějí do provozu 1.000 MW_e instalovaného výkonu většinou v tepelných, ale i v jaderných zdrojích³⁷. Pane jo, těch zdrojů, materiálu, paliva a budoucích emisí! Byl jsem tím číslem tak konsternován, že jsem se nestačil zeptat, jak dlouho již tento trend trvá, protože Čína je velká země. Zní to skoro jako o zemi, kde zítra již znamená včera. Svůj průmysl intenzivně buduje také Indie.

V úvodníku článku z února 2007 jsem ohledně budování energetické základny Číny našel údaj, že týdně dokončují 2.000 MW instalovaného výkonu z uhlí.³⁸ Takže citelné zpomalení intenzity výstavby? Nebo jen sezónní výkyv? To nevím. Něco je však instalovaný výkon. Něco jiného je skutečná výroba. To ale záleží jenom na nás a na tom, kolik výrobků budeme spotřebovávat. Nedávno mne manželka poslala koupit česnek - česnek? podivil jsem se, ten přeci vozíme od babičky z venkova, oponoval jsem - ano, ale teď ho zrovna nemáme. Vezmi dvě paličky. Bude to stát tak 2 – 3 koruny - no dobrá, ženy jsou reprezentantky moudřejší poloviny lidstva, pomyslel jsem si a přinesl jsem 2 paličky česneku za 13 Kč. Byl z Číny. Hlavně že máme viníka.

Právě na tomto místě se již potřetí vracím k již citovanému a v plném znění přiloženému článku pana Murtingera o potenciálu úspor, protože právě ten považuji za klíčový nástroj ke zvýšení podílu OZE. Pokud se podaří naši spotřebu energie výrazně snížit, naprosto automaticky bez jakýchkoliv dalších politických zásahů a investic se přímo úměrně zvýší podíl OZE na celkové spotřebě energetických zdrojů. Stačí jen chtít. To nic nestojí, naopak to přináší úspory.

Pokud způsob našeho myšlení a chování zůstane stejný a budeme stále zvětšovat počty rozličných „pomocníků“ v našich domácnostech, spotřeba bude stále stoupat. Tu a tam pronikne v tisku zpráva, že studenti nějaké fakulty spočítali příkon spotřebičů, které jsou v pohotovostním režimu a jen čekají, až si k nim připojíme „další drát“. Všechna ta světýlka na obrazovkách PC, myškách, televizorech, radiopřijímačích představují neuvěřitelný výkon. Jen v naší zemi součet spotřebičů v pohotovostním režimu představuje cca 400 MW³⁹. Ano, jedná se o instalovaný výkon v megawatttech, nejde o omyl ani o tiskovou chybu v jednotkách. Téměř celý blok dukovanské jaderné elektrárny (celkový výkon je 4 x 440 MW a celá tato elektrárna zajišťuje téměř 20 % spotřeby elektřiny našeho státu) zajišťuje provoz všech těch elektrospotřebičů, které jen čekají v pohotovostním režimu na to, až je někdo zapne. V Rakousku je to celých 800 MW. To nezapočítáváme různé hodiny na mikrovlnných troubách, zobrazovače teploty v mrazničkách, radiobudíky, nebo provoz digitálních telefonních ústředen v době, když nikdo netelefonuje.

Spící spotřebiče, to vůbec nic není, ale co teprve když je někdo zapne?

Již naposled úvaha pana Murtingera o tom, že by dokázal spotřebu svého domku snížit na třetinu, což asociuje otázku, kolik je všude zbytečných spotřebičů, výrobků, kolik světél a reklamních poutačů. Kolik zbytečných přesunů hmot a lidí za prací, za kulturou, za sportem? Některé vlaky jezdí tam, jiné zase zpátky. V noci se svítí také proto, že výkon velkých elektráren je obtížně regulovatelný, ale je to v pořádku? Spočítal někdo, jaký je výkon zbytečně svítících žárovek? Jistě, osvětlení je čím dál tím úspornější.

³⁷ Vladimír Řezník, ČEZ – přednáška Energetika v EU na konferenci svazu zaměstnavatelů v energetice, dne 4. 10. 2007 v Brně.

³⁸ Aktuální téma, Odborného časopisu a informačního zpravodaje Českého sdružení pro biomasu: CZ-BIOM, str.2.

³⁹ Vladimír Řezník, ČEZ - přednáška Energetika v EU na konferenci svazu zaměstnavatelů v energetice, dne 4. 10. 2007 v Brně.

Nedávno jsem v TV viděl v přímém přenosu zmizení Eiffelovy věže v Paříži.

Bylo to v den konání summitu o globálním oteplování a snažili se tím upozornit, že spotřeba energie je příliš vysoká. Eiffelovu věž zhasínali po částech, po jednotlivých sekcích. Byl to impozantní zážitek. Víte, jaký je příkon osvětlovacích těles Eiffelovy věže? 8 MW. Ale nebojte se, už zase svítí.

V devadesátých letech minulého století elektrárenská společnost ČEZ vydávala obrázkovou *Encyklopedii energetiky*, která kromě dalších distribučních kanálů vycházela jako příloha časopisu T 92 a VTM (Věda a technika mládeži). Celkem vyšlo 10 sešitů. Nyní je tato encyklopedie aktualizovaná a rozšířená, vyšla v šesti samostatných sešitech. Tak jako celá řada dalších prací je k dispozici v elektronické podobě na serveru

www.cez.cz /sekce vzdělávání /publikace /[Encyklopedie energetiky](#).

Encyklopedie přináší názorný a úplný přehled o energii v jejích nejrozmanitějších formách a je určena všem, kdo se zajímají o historii ovládnutí přírodních zdrojů energie lidstvem, vědecké a technické principy moderních energetických technologií, tajemství hmoty a tisíce dalších otázek, které nám klade moderní civilizace.

V prvním díle původního brožovaného vydání je uvedeno, že každý obyvatel ČR spotřebuje denně asi 100 kWh, v domácnosti pak asi 22.000 kWh. Autor encyklopedie si dal tu práci, že přepočtl spotřebu energie na **práci lidských svalů. Víte, kolik na každého z nás v roce 1994 pracovalo otroků? Kolik jich na každého z nás pracuje dnes? Kolik jich pracuje v Německu, v Belgii nebo v Americe?** Nebudu zvětšovat množství potištěného papíru a zahlcovat Vás další haldou čísel. Uvedu jen, že spotřeba elektrické energie na jednoho obyvatele je v různých zemích velice různá, což do jisté míry odráží stupeň elektrifikace jednotlivých zemí. Věrohodnější údaj tedy představuje spotřeba tzv. primárních energetických zdrojů, kde jsou zahrnuty veškeré energie na vytápění, dopravu apod. Velice dobrým pramenem pro studium potřebných podkladů je *Mezinárodní energetická ročenka*, kterou každoročně v tištěné i elektronické podobě vydává České sdružení pro technická zařízení ve spolupráci s agenturou ČEA a ČSZE. Velice dobré podklady také najdete v publikaci Jaroslava Kadroňky *ENERGIE a globální oteplování – Země v proměnách při opatrování energie*, kterou vydalo Vysoké učení technické v Brně v roce 2006.

Tak na kolik na každého z nás pracuje otroků?

Hodně.

Kde se ale berou ti otroci, co na nás pracují?

Ta odpověď je velice jednoduchá, protože „za jediný rok ze zemských hlubin vytěžíme tolik uhlí, ropy a zemního plynu, kolik se jich tam vytvořilo během předchozích dvou milionů let.“⁴⁰ Pokud dnes za jediný rok uvolníme tak obrovské množství energie, nemůžeme se divit, že se to někde projeví. Zákon zachování, ač se o to spousta politiků snaží, doposud nebyl novelizován. „Ex nihilo nihil fiti“, prohlásil před více než sto sedmdesáti lety lodní lékař John R. Mayer, kterému se připisuje **objev zákona o zachování energie**. Česky to znamená: „z ničeho se nic neudělá“ a naše lidová moudrost to vtělila do rčení „nula od nuly pojde“ Konečná fyzikálně upravená podoba tohoto zákona zazněla z úst vědce Hermana Helmholtze 23. července 1847 na půdě berlínské fyzikální společnosti: „Součet kinetické a potenciální energie v izolovaném systému zůstává za všech okolností stálý.“⁴¹

⁴⁰ Jan Tůma, ČEZ - Encyklopedie energie, sešit 2 - Energie pro zítřek, str.3.

⁴¹ ČEZ - Encyklopedie energie, sešit 1 - Energie pro zítřek, str.5.

Můžeme snížit počet neviditelných otroků, kteří na nás pracují ?

Nedávno při návštěvě našeho hlavního města jsem jako každý slušný venkovan zaparkoval na Chodově a jel do centra metrem. Když jsem se vracel, přivolal jsem u hlavního vchodu do obchodního centra zdviž a měl uložené někde v paměti, že musím zvolit -4 suterén. Přijelo několik tabulí skla, několik set kilogramů ocelových nosníků a na podlaze výtahu byla kamenná dlažba, která architektonicky splývala s dlažbou ve vstupní hale. Výtah jsem přivolal naprosto automaticky. Tu mi v podvědomí naskočil uvedený obrázek z dětské encyklopedie⁴² s krásným protizávažím a když přijela ta obrovská klec tak pro 15 – 20 lidí, z podvědomí vyplynula otázka: Kolikpak otroků točí klikou rumpálu? A šel jsem raději pěšky.



Začněme se dívat na svět jinými očima a uvědomme si míru naší závislosti na elektrické energii!

V úvodu této práce, na stránce s legendárním plyšovým medvídkem, uvádím:

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. Cvak a zpátky na stromy. Pro mnohé by to byl šok a smrtelný kolaps naší novodobé civilizace. Lidé v městech a ve výškových budovách, tunelech metra na tom budou mnohem hůř než lidé z vesnice, žijící v sepětí s přírodou. Neumíme náhle přestat. Za první krok ale považuji nutnost uvědomit si podstatu věci. Proto vždycky, když vidím motor, kolotoče, lanovky, jeřábu nebo lokomotivy, položím si otázku: Tak kolikpak lidí točí klikou rumpálu? Je to opravdu nezbytně nutné?

⁴² Obrázek pochází z dětské encyklopedie: Proč a jak, kterou ilustroval Jaroslav Malák, Vydal ALBATROS PRAHA v roce 1981, str.70

Obnovitelné zdroje to nevytrhnou...

Obnovitelné zdroje samy o sobě jen stěží pokrývají stále se zvyšující spotřebu elektrické energie. Proto naše energetická koncepce počítá s dominantním podílem hnědého uhlí i jaderné energetiky a také s ekonomicky opodstatněným „energetickým mixem OZE“.

Obnovitelné v tuto chvíli pokrývají cca 5 % naší spotřeby elektrické energie.

Náš indikativní cíl do roku	2010	.....	8 %
EU vyhlásila cíl do roku	2020	.....	20 %
Do roku	.....2030	.....	30 %
Do roku	.....2050	.....	50 %

V sále to zašumělo.⁴³ „Jak toho chtějí dosáhnout?“ někdo se za mnou potichu zeptal.

Odpověď byla jednoznačná: EU očekává dramatické snížení spotřeby z důvodu vývoje nových pohonů a technologií osvětlení a přesunutí energeticky náročné výroby daleko na východ. Obávám se, že je to jako s tím česnekem a zákonem zachování, protože česnek projede několik tisíc kilometrů a musíme mu v jeho ceně zaplatit jízdenku. Podle jiného scénáře bude spotřeba energie celosvětově stoupat, protože se elektřina stále více využívá v dopravě a klimatizaci v jižních zemích. Pochopitelně také v „nové“ průmyslové výrobě v Indii a Číně. Z hlediska výroby energie a emisí je to jen takové malé „lhaní si do kapsy“, protože dokud je Země kulatá, atmosféře je docela jedno, za kterým rohem ty emise vypustíme. Pokud výrobky nepřestaneme spotřebovávat, spotřeba energie bude stále růst a emise nás budou stále provázet.

V EU však přijala podobně optimistická čísla pro snižování emisí CO₂ – 2020 – 20 %
2030 – 30 %
2050 – 50 %

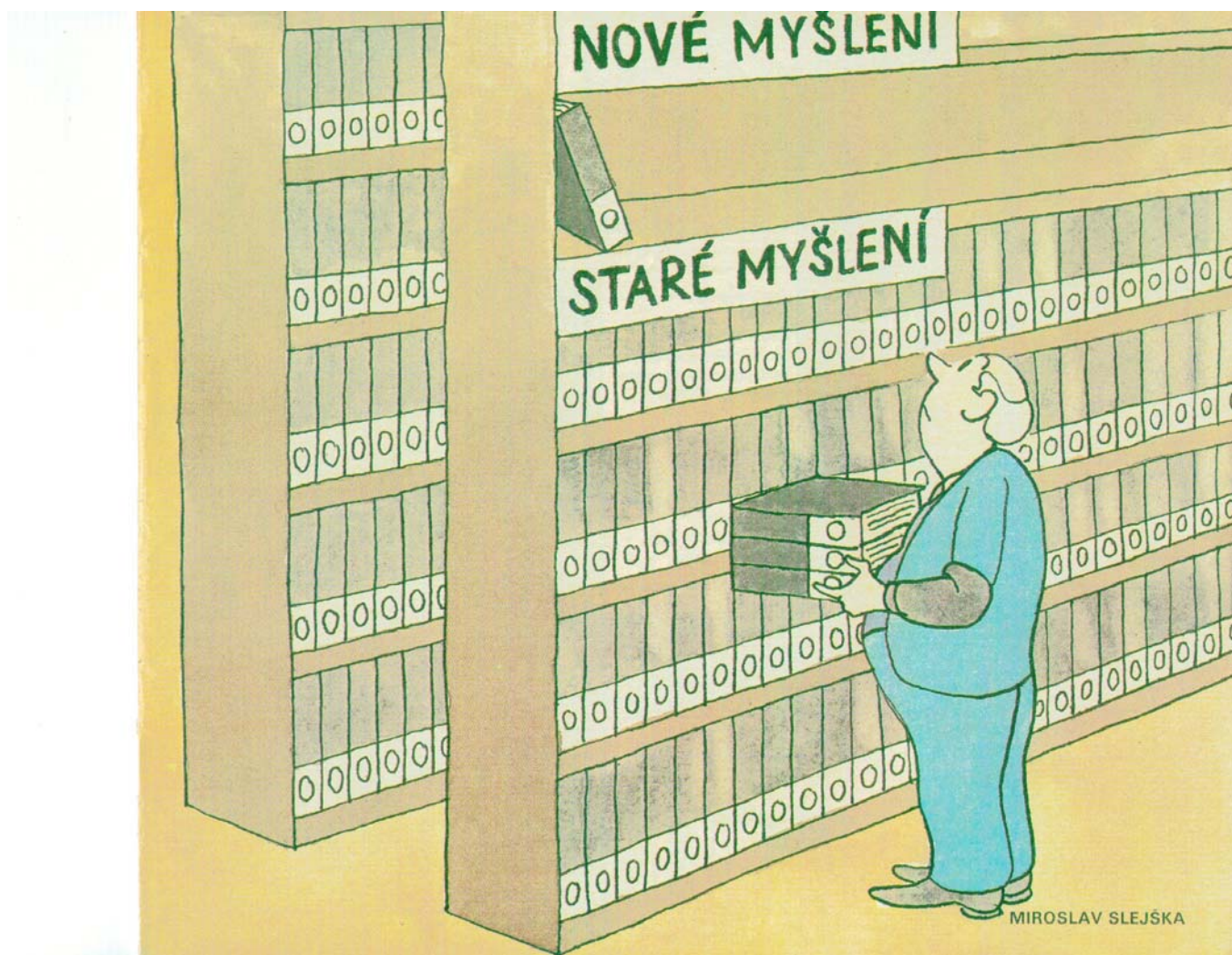
Jak toho chtějí dosáhnout? - Osobně se domnívám, že jedinou cestou je objevení nového ekologicky čistého energetického zdroje. O termojaderné fúzi, palivovém článku i vodíkovém hospodářství se mluví již hodně dlouho. Nový zdroj neřeší podstatu celého problému – naši závislost, ale pouze zmírňuje následky spojené se získáváním energie.

Koncem roku 2007 jsem začal slýchat zprávy, že pěstování energetických plodin a rychle rostoucích dřevin na zemědělské půdě akceleruje tlak na zvyšování ceny potravin. Tomuto názoru jsem se notně podivil, protože energetická produkce probíhá na polnostech, které nejsou určeny pro potravinářskou produkci. Naopak [pěstování rostlin pro energetické účely](#) by mělo pomoci stabilizovat zemědělský sektor. Na mezinárodní konferenci OZ v energetice sídel, kterou jsem již citoval, dokonce padlo slovní spojení: „**konkurence a kanibalismus mezi potravinářskou a energetickou produkcí**“. Ovšem z úst Ing. Petra Jeviče, CSc, předsedy Sdružení výrobců pro bionaftu, zazněl názor, který považuji za daleko věrohodnější a fundovanější: „**Nikoli energetická produkce na nepotravinářské půdě, ale rostoucí cena ropy žene ceny potravin vzhůru.**“ Zopakujme otázku, z konference Aplikace OZE, uspořádané OHK – Brno Venkov v roce 2006: „**Víte kdo je vlastníkem 50-ti % světové rozlohy lesů? - Je to firma SHELL**“. Předpokládejme, že si firma plně uvědomuje klesající zásoby ropy a se svou „investicí“ sleduje jistý marketingový plán. Nemá smysl protestovat. Zájem akcionářů je jasný. Jen na nás záleží kolik stromů v honbě za energií pomeleme do briket, a ze kterých uděláme benzín. Jen na nás záleží, jestli budeme dýchat zkažený vzduch nebo se procházet ve voňavém lese společnosti SHELL - Zatím proti sobě vedeme na mnoha místech vedeme chemickou válku a jen pozvolna hledáme cestu k přírodě, ale vždy máme možnost volby.

⁴³ Seminář pořádal Český svaz zaměstnavatelů v energetice ve spolupráci s ENVIROS, s.r.o., dne 4. října 2007 v rámci doprovodného programu 49. ročníku Mezinárodního strojírenského veletrhu v Brně. Příspěvek: Bezpečnost české energetiky v kontextu energetické strategie Evropské unie.

Změnou myšlení a životního způsobu, jedinou cestou ke zvýšení podílu OZE

Za jedinou cestu vedoucí ke snížení spotřeby energie vůbec, tedy považují úspory. Je to ten nejjednodušší, nejlevnější, ale také nejúčinnější způsob vedoucí k zásadnímu snížení spotřeby energie. Protože nejlevnější a k životnímu prostředí nejšetrnější energií zůstává energie nevyrobená. Naplnění tohoto „energeticky úsporného projektu“ je naprosto jednoduché: Změnou myšlení vedoucí k úsporám energie. Někdy to může sice způsobit nějaký zádrhel nebo drobnou nesrovnalost, zlé jazyky dokonce tvrdí, že myšlení je ta nejtěžší práce na světě. To je také důvod, proč tak málo lidí myslí. Nevěřte tomu: „Cogito ergo sum“ Myslím tedy jsem. A když už Člověk jednou je tak má hledět, aby byl. A nesnažit se být, čím není, jak tomu v mnoha případech je, řečeno klasikem.



Myšlení je úžasná věc, je jen otázkou času, než se ty šanony v regálech přeskládají⁴⁴ a neurony v našich hlavách pospojují trochu jinak, abychom lépe pochopili, že ke zvýšení podílu OZE na celkové spotřebě je možné dojít pouze přes výrazné snížení celkové spotřeby. Nezbyvá tedy než se zaradovat, že **právě potenciál energetických úspor je prioritou číslo jedna** Operačního programu OPPI – MPO, který je zahrnutý do přehledu použitelných zdrojů dotačního i komerčního financování, který najdete v přílohové části práce.

⁴⁴ Miroslav Slejška - titulní strana zaniklého časopisu: Dikobraz, číslo 2253, ze dne 12. října 1988.

Na závěr nerudovská otázka „kam s tím“

V případě, že jste udrželi pozornost a dočetli jste se až sem, dostali jste se na samý závěr mojí práce, což evokuje nerudovskou otázku týkající se jejího dalšího využití: „Kam s tím.“ Na tuto otázku snad ani neexistuje jednoznačná odpověď, proto ani nemůže existovat jednoznačně definovatelná cílová skupina potenciálních adresátů. Přesto bezprostředně po dokončení vidím několik okruhů potencionálních uživatelů:

- Střední odborné školy a posluchači všech typů škol. Mnohé z nich začínají vyučovat obor OZE a shánějí použitelné podklady. Po zapracování nezbytných úprav by se práce mohla stát kostrou nebo základem středoškolské učebnice nebo podobného odborného textu.
- Výrobní a výzkumné organizace, které mnohdy na stejném, nebo podobném problému pracují izolovaně, protože si vzájemně konkurují, by mohly začít uvažovat o spolupráci, protože třeba i prostřednictvím této práce se dozvědí, na čem pracují „u sousedů.“
- Odpovědní pracovníci, kteří pracují na tvorbě energetických koncepcí, bilancí energetického zásobování územních celků, prostřednictvím mojí práce dostávají informaci, že vznikají nebo již existují technologie, jejichž prostřednictvím je možné instalovat impozantní elektrický výkon, byť bude roztroušený do velkého množství menších instalací.
- Potenciální investoři, kteří uvažují o výstavbě malých nebo větších výroben elektrické energie z biomasy, prostřednictvím této práce dostávají jasný signál: „Ano Vaše úvaha je správná, na dokončení vývoje se intenzivně pracuje. Vyrábět elektřinu v místě své spotřeby je logické, správné, energeticky účinné i ekonomické.“

Práce je napsaná pro všechny, kteří se chtějí zamyslet nad stavem naší společnosti a její závislosti na využívání v drtivé míře neobnovitelných energetických zdrojů. Pojmenování problému, pochopení všech souvislostí považuji za první předpoklad k řešení uvedené problematiky.

Práce si kladla za cíl objektivně zmapovat a porovnat veškeré současné i již zaniklé výroby elektrické energie z biomasy. Osobně se domnívám, že takto vytčený cíl je v samé podstatě nesplnitelný, protože žádný statický snímek nemůže zcela zachytit natolik dynamicky se rozvíjející obor, kterým OZE bezesporu jsou. Za zmínku jistě stojí výroba elektrické energie společnosti Dalkia ve Zlatých horách, potenciál mikroturbín, bližší seznámení s lokalitou Gussing i vývojové práce v oblasti energetického využití dřevního plynu probíhající u našich nejbližších sousedů. Už dnes je z tohoto pohledu možné říct, že je moje práce zastaralá, i když jsem se snažil objektivně zmapovat vše podstatné, co se v naší zemi odehrálo. Přehled není a ani nemůže být vyčerpávající, proto uvítám informace o dalších instalacích nebo záměrech investorů, které ušly mojí pozornosti.

Aby práce mohla držet krok se stavem současného poznání, považuji za nebytné, aby mohla vzniknout její elektronická verze, která bude v pravidelných intervalech aktualizovaná a doplňovaná. Tištěný text je již psaný způsobem, aby byl použitelný pro elektronické připojení řady odkazů, které jsou zatím k dispozici pouze na elektronickém nosiči.

Studie 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 znovuobjevený dřevoplyn. Celým materiálem se prolíná časová linie od historie k současnosti se směřováním k budoucnosti, což je patrné zejména u dřevoplynu. Většina materiálu v oddíle věnovanému dřevnímu plynu pochází z „místního šetření“ u jednotlivých subjektů, které se touto problematikou zabývají, proto má práce místy reportážní až dobrodružný charakter. Někteří mohou mít pocit, že se jejich snažení nedostalo patřičné pozornosti, jiní naopak nestojí o ventilování svých neúspěchů. Na prvním místě však při mém snažení stála objektivita, i když to pro některé zúčastněné subjekty může být příliš trpké sousto. Někteří si již začínají uvědomovat hloubku a složitost celého problému a postupně začínají hledat cestu ke vzájemné komunikaci. Uvědomují si nutnost komunikace s vědeckovýzkumnou základnou i nutnost naplnění hesla pověstných „Svatoplukových prutů“. To je také důvod, proč podporuji snahu o spojení sil všech, kteří o to mají zájem. Proto se věnuji problematice dřevního plynu u vědeckovýzkumných organizací a nutnosti vzájemné spolupráce. Práce částečně „nadzvedává pokličku“ nad vědeckovýzkumným „kotlíkem“ prototypových dílen soukromých subjektů i laboratoří vědeckovýzkumných institucí, a pokouší se tím svým čtenářům dát odpověď na položenou otázku: *Kam kráčíš, česká energetiko?*

Práce se snaží každému čtenáři přinést něco nového. Může se jednat pouze o nový úhel pohledu na danou problematiku, některá fakta a vzájemné souvislosti. 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. Pokud po přečtení práce zůstane v myšlenkách čtenáře nějaký otisk, otázka nebo zamyšlení, můžu s čistým svědomím konstatovat, že práce splnila svůj účel. 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. Lokalita Gusiing, se svým stoprocentním podílem OZE na celkové spotřebě energie je toho nezvratným důkazem. Zatím je Guessing vyhledávaným cílem mnoha exkurzí. Pro některé se stává se významným centrem cestovního ruchu, pro jiné vzorem k vyššímu využití OZE. Práce se snaží ukázat, že jenom na nás samotných záleží, kolik česneku budeme dovážet z Číny a kolik energie budeme spotřebovávat. Za jediný nástroj vedoucí k dosažení snížení celkové spotřeby, který povede ke zvýšení podílu OZE na celkové spotřebě, proto považuji potenciál energetických úspor, který je realizovatelný bez jakýchkoli investic – docela jednoduchým organizačním, bez nákladovým opatřením – změnou myšlení. Myšlení může být i úžasným dobrodružstvím. Někdy to sice trochu bolí, pokud se rozhodnete prosadit vlastní názor, ale věřte, že to stojí za to.

V Bučovicích dne 15. 11. 2007

Mgr. Radovan Šejvl

E-mail: radsej@iol.cz

www.energis24.cz

Mobil: 773 13 24 24

OBSAH

Něco jako úvodník - Civilizace zrozená z ohně	2
1 - Přehled použitelných technických systémů	4
2 - Spalovací a parní systémy	6
Porovnání účinnosti a ekonomické výtěžnosti paliva společné výroby se spalováním	6
Biomasa jako palivo	7
Centrální kotelny fungující na biomasu	8
Parní stroj	10
Parní motor s rotačním pístem – Motor pro obnovitelné zdroje energie	14
Parní turbína (Rankinův cyklus) - princip klasických tepelných elektráren	15
Kotle na spalování biomasy z PBS o výkonu 20 až 50 MW tepelných	19
Organický Rankinův cyklus (ORC)	23
Jak se biomasa z lesa do kotelny dostává - skládka paliva, jeho příprava a manipulace	33
3 - Malé velké, větší, menší nebo ještě menší energetické systémy	34
4 - Kogenerace – obecný princip	36
MIKRO-KOGENERACE - změni systém zásobování domácností elektřinou?	38
DOMÁCÍ MIKRO-KOGENERACE - zhodnocení a rozdělení současných technologií	39
Stirlingův motor - obecný princip a historie	50
Novodobé Aplikace Stirlingova motoru	53
Perspektiva Stirlingova motoru	57
5 - Horkovzdušná, vysoce expanzivní turbína z První brněnské strojírny	59
6 - Bioplyn – pohonným médiem pro motorovou kogeneraci	61
Energetický potenciál bioplynových stanic	61
Zajímavosti – Bioplyn v Rakousku, dynamický růst a vysoký potenciál	62
Bioplynová stanice Třeboň – pozitivní příklad	64
Využití skládkového plynu pro kombinovanou výrobu na BPS Chroboly – stávající koncepce	68
7 - Dřevoplyn a jeho budoucí energetické využití	70
Od historie k současnosti aneb znovuobjevený dřevoplyn	71
Přehled novodobých instalací a vývojových projektů pro jeho energetické využití	73
Něco jako shrnutí dosavadního snažení jednotlivých subjektů	91
Trocha teorie nikoho nezabije	92
Domácí kutil a dřevoplyn	94
8 - Dřevní plyn v rukou vědeckovýzkumných institucí	95
Výzkumné energetické centrum – v.v.i. – přehled činnosti	95
Fakulta strojního inženýrství, VUT Brno a jejich fluidní zplyňovač	100
Ústav chemických procesů (ÚCHP) a jejich experimentální zařízení	101
ATEKO a.s. (Aparáty technologie konstrukce) a jejich BIOFLUID	104
Ústavu fyziky plazmatu AV ČR experimentální a vývojové pracoviště	106
Fluidní zplyňování v teorii i praxi	107
Alotermní zplyňování s duálním fluidní ložem v praxi	109
Uhlí je také biomasa, Uhlí energetika má budoucnost	110
9 - Malé filosofické zamyšlení nad rostoucí spotřebou energie	111
Vztah mezi životním způsobem a spotřebou energie – EXTERNALITY	111
Prolomení těžebních limitů – Hrozba, nebo nutnost?	113
Jaderná energetika jako ekologická nutnost?	114
Ale ta Čína	116
Novodobé otroctví?	117
Obnovitelné zdroje to nevytrhnou	119
Změnou myšlení a životního způsobu, jedinou cestou ke zvýšení podílu OZE	120
Na závěr nerudovská otázka „kam s tím“	121
10 - Soupis příloh a seznam pramenů	124

Přehled použitelných dotačních titulů a komerčních zdrojů financování

Financování tak velkých investičních celků, jaké představuje technologie ORC, se pohybuje v desítkách milionů korun, a je natolik specifickou záležitostí, že nemá smysl o této problematice na těchto stránkách informovat. Malé kogenerační jednotky jsou financovatelné z národních programů SFŽP a ČEA, která má být zrušena. V každém případě vyhlášení dotačních programů pro rok 2008 proběhne počátkem roku 2008. Kogenerační jednotky na dřevní plyn zatím na trhu nejsou a v příštím roce ani v masovějším měřítku nebudou. Jedinou dostupnou technologií, o které naše práce pojednává, jsou bioplynové stanice. Proto v následující kapitole přinášíme přehled použitelných dotačních titulů pro financování bioplynových stanic.

Soupis elektronických příloh je členěn na několik tematických oddílů jejichž názvy začínají daným oddílem. V uvedeném přehledu jsou oddíly seřazeny tematicky, ve smyslu členění celé práce, v elektronickém adresáři abecedně. Názvy jednotlivých souborů se shodují s uvedeným přehledem.

Financování_Analýza možností financování bioplynových stanic

Financování_EKO-ENERGIE – 1 výzva MPO

Financování_Energy leták ČSSP

Biomasa_Palivová základna RRD

Parní systémy_Ocenění parního motoru_1

Parní systémy_Ocenění parního motoru_2

Parní systémy_Nový parní motor s rotačním pístem

Parní systémy_Kotle na spalování biomasy PBS

Stirlingův motor_v obležení

Teplovzdušná turbína_TALBOTTS

Bioplyn_Tisková zpráva CZ BIOM

Bioplyn_Tisková zpráva CZBA

Bioplyn_Desatero bioplynových stanic

Dřevoplyn_Technicko ekonomická problematika

Dřevoplyn_Zplyňování ve světě

Palivový článek_Svoboda

Zamyšlení_Ekosystém Země již zvládá pouze polovinu emisí

Zamyšlení_EXTERNALITY

Zamyšlení_Vztah mezi spotřebou energie a OZE

Seznam použité literatury včetně původu všech pasáží přebraných z uvedených zdrojů:

- (1) ENERGIE pro zítřek - první sešit brožovaná Encyklopedie energie, kterou v roce 1994 vydala elektrárenská společnost ČEZ s redakcí magazínu T 92.
- (2) Sborník přednášek Semináře energetiků Jelenovská, leden 2007. Ing. Noskiewič – ředitel Výzkumného energetického centra VŠB – TU Ostrava.
- (3) Kapitola včetně názvu pochází ze *stejnomeného článku ze dne 11. 4. 2005 autorů: Ing. Jan Kunc, Ing. Libor Novák*. Celý článek je umístěn na informačním serveru www.tzb-info.cz, recenzentem byl *doc. Ing. Karel Brož, CSc.*
- (4) Časopis 3T – Teplo Technika Teplárenství č. 5/2007. str. 4. V PELHŘIMOVĚ ZAČÍNALI NA KOMERČNÍ BÁZI se spalováním biomasy už před 15 lety. Pavel Kaufman.
- (5) Velká kniha o energii, str. 155. Vydal L.A Consulting Agency, s.r.o., v roce 2001. Kolektiv autorů.
- (6) Velká kniha o energii, str. 142. Vydal L.A Consulting Agency, s.r.o. v roce 2001. Ze stejného zdroje pochází i použitý obrázek historické turbíny. ISBN: 80-238-6578-1
- (7) Pavel Kaufman, časopis 3T – Teplo Technika Teplárenství č. 5/2007, str.3-4 V PELHŘIMOVĚ ZAČÍNALI NA KOMERČNÍ BÁZI se spalováním biomasy před 15 lety.
- (8) Energetické kotle na spalování biomasy české konstrukce – Ing. Jiří Kroča, 3T – Teplo Technika Teplárenství číslo 1/2007 s využitím dalších firemních podkladů.
- (9) Biomasa – efektivní paliv pro ORC Technologii ze dne 11. 4. 2005 autoři: Ing. Jan Kunc a Ing. Libor Novák. Recenzentem materiálu byl Ing. Karel Brož.
- (10) ORC technologie (II) v realizaci – Trhové Sviny ze dne 7. 11. 2005, zpracovaný Ing. Janem Kuncem. Zdroj: www.tzb-info.cz.
- (11) Konference OZ v energetice sídel dne 6. 11. 2007. Ing. Miroslav Šafařík – Předseda sdružení CZ-BIOM
- (12) Dvuměsíčník Alternativní energie AE 5/2007, str. 10 -11. Vztah mezi úsporami energie a využitím OZE - Karel Murtinger
- (13) Domácí mikrokogenerace změni systém energetického zásobení našich domácností. Emil Dvorský, Pavla Hejtmánková – ZČU v Plzni, fakulta elektrotechnická.
- (14) Seminář energetiků, Jelenovská 2007, elektronický sborník přednášek. Pavel Kaufman.
- (15) Tisková zpráva Českého sdružení pro biomasu: Bioplyn se může významně podílet na energetické bilanci ČR.
- (16) Tisková zpráva České bioplynové asociace CzBA, ze dne 2. 11. 2007 - Bioplyn se v ČR rozvíjí.
- (17) Stanovy občanského sdružení České bioplynová asociace, o.s., zdroj: www.czba.cz.
- (18) Tisková zpráva České bioplynové asociace CzBA, 2. 11. 2007 - Bioplyn se v ČR rozvíjí.
- (19) Diplomová práce Jiří Cveček.
- (20) Internetové stránky: www.autodoterenu.cz.
- (21) Internetové stránky: www.autodoterenu.cz.
- (22) Domácí kůtil a dřevoplyn, Jan Navrátil, vydané vlastním nákladem ISBN 80-902244-2-3.
- (23) Historické fotografie vozidel a popis technologie Ing. Petr Cankař. ATMOS.
- (24) Internetové stránky www.drevoplyn.wz.cz.

- (25) Znovuobjevený dřevoplyn, Zemědělský týdeník, únor 2006. Mgr. Radovan Šejvl a Břetislav Koč.
- (26) Elektřina s vůní dřeva a znovuobjevený dřevoplyn - od historie k současnosti, 3T-Teplota, Technika, Teplárenství č.5/2007, Mgr. Radovan Šejvl.
- (27) DVD KLIPERANG - Tomü Records 2006, Lucie Vondráčková.
- (28) www.dřevoplyn-gorvinovystřanky.cz
- (29) Technicko-ekonomická problematika centrál se zplyňováním alternativních paliv. Časopis 3T-Teplota, Technika, Teplárenství číslo 4/2003. Doc. Ing. Ladislav Ochrana, CSc., Ing. Petr Dvořák.
- (30) Konference: Energie z Biomasy VII 2007, kterou uspořádal energetický ústav FSI na VUT v Brně.
- (31) Uhelná energetika má budoucnost – Marcela Šafářová, Czech Industri 20.9.2006. Článek pochází z informačního serveru Mostecké uhelné společnosti, kde je uvedený v plném znění.
- (32) Dvuměsíčník Alternativní energie 3/2001 (str. 23-23). CO JE EKONOMICKÉ? (jak posuzovat zdroj energie) Petr Kramoliš – Projektant obnovitelných zdrojů energie, Ostrava.
- (33) ENERGIE pro zítřek - první sešit brožované Encyklopedie energie, kterou v roce 1994 vydala elektrárenská společnost ČEZ s redakcí magazínu T 92.
- (34) Encyklopedie energetiky – Sešit Energie a člověk. ČEZ – 2004 str. 37.
- (35) Vladimír Řezník, ČEZ – na konferenci Českého svazu zaměstnavatelů v energetice v Brně dne 4. října 2007.
- (36) Václav Brom, TEMELÍNKY - Časopis Jaderné elektrárny Temelín ze skupiny ČEZ č. 6/2006, str. 10.
- (37) Vladimír Řezník, ČEZ – přednáška Energetika v EU na konferenci svazu zaměst. dne 4. 10. 2007 v Brně.
- (38) Na Aktuální téma - Odborný časopis a informační zpravodaj Českého sdružení CZ-BIOM, str. 2.
- (39) Vladimír Řezník, ČEZ - přednáška Energetika v EU na konferenci svazu zaměstnavatelů dne 4. 10. 2007 v Brně.
- (40) Jan Tůma, Encyklopedie energie ČEZ – 1994, sešit 2 - Energie pro zítřek, str.3.
- (41) Encyklopedie energie ČEZ - 1994, sešit 1 – Energie pro zítřek, str.5.
- (42) Proč a jak - dětská encyklopedie, ilustroval Jaroslav Malák, Vydal ALBATROS PRAHA v roce 1981, str.70.
- (43) Seminář pořádal Český svaz zaměstnavatelů v energetice ve spolupráci s ENVIROS, s.r.o., dne 4. října 2007 v rámci doprovodného programu 49. ročníku Mezinárodního strojírenského veletrhu v Brně. Název příspěvku: Bezpečnost české energetiky v kontextu energetické strategie Evropské unie.
- (44) Miroslav Slejška - titulní strana zaniklého časopisu: Dikobraz - Satiristický a humoristický týdeník, číslo 2253, ze dne 12.října 1988.

Dále s použitím mnoha firemních podkladů a rozhovorů s v textu uvedenými zástupci firem

