

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 spalením uhlí nebo rozštěpením jader uranu. Teplo, které vzniká, vytváří páru, která pak přes lopatky turbín roztáčí elektrický generátor.

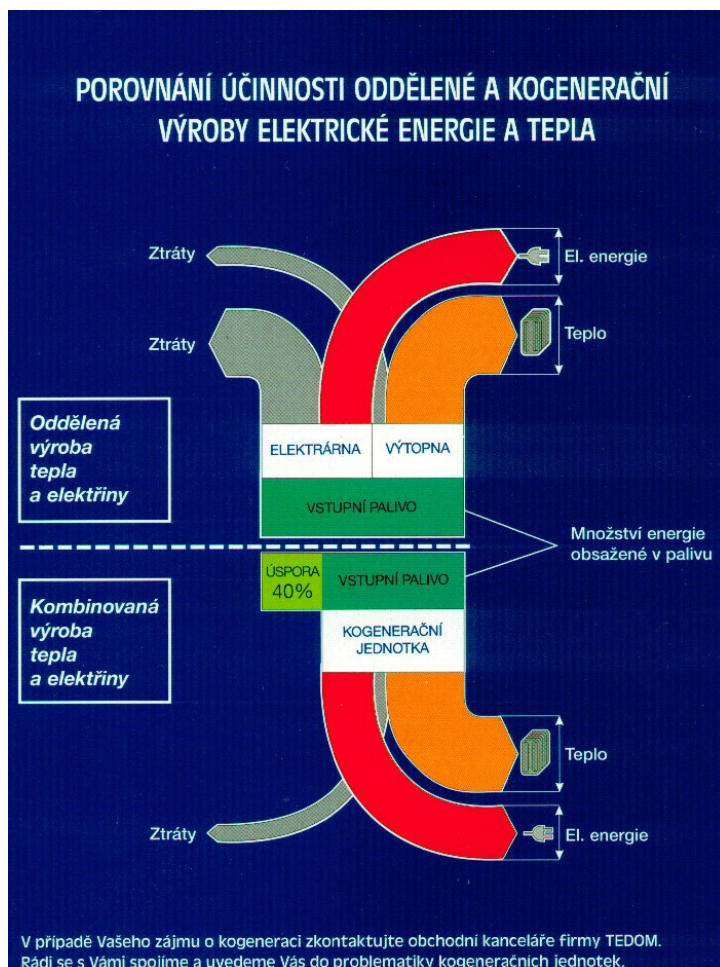
Účinnost výroby elektrické energie se pohybuje kolem 35 %.

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 Europe¹⁾, 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 plastových 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 Solaričková



COGEN
europe

¹⁾ 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 podporována 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 topití 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.

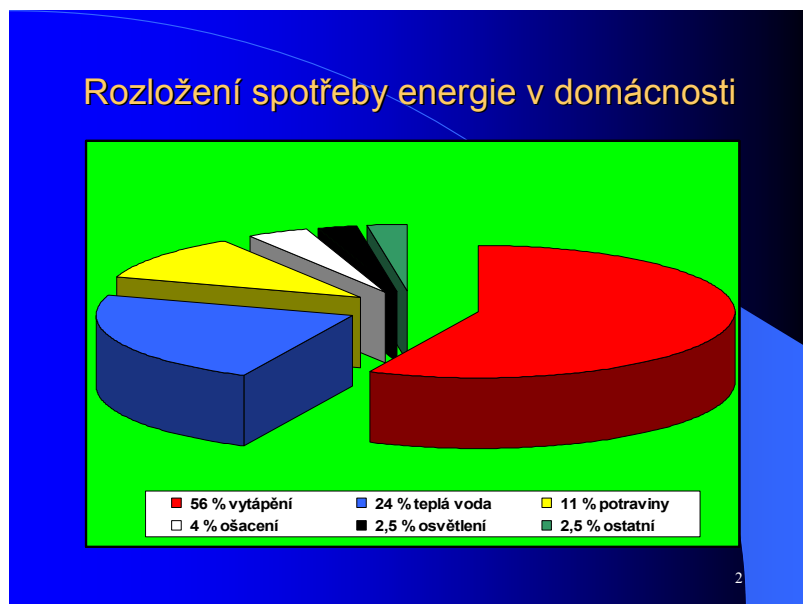
Virtuální elektrárna tvořená miniteplárnami

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 tepláreníků“, který na sebe každoročně bere podobu konference: *Teplárenské dny 2007*, kterou v Hradci Králové pořádá Teplárenské 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 teplárenské sdružení vydává, protože v jeho čísle 5/2007 je publikovaný rozsáhlý článek¹³ v duchu přednesené prezentace. Materiál zapadá do charakteru mé 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

Příspěvek 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 Domácí mikrokogenerace změní 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:

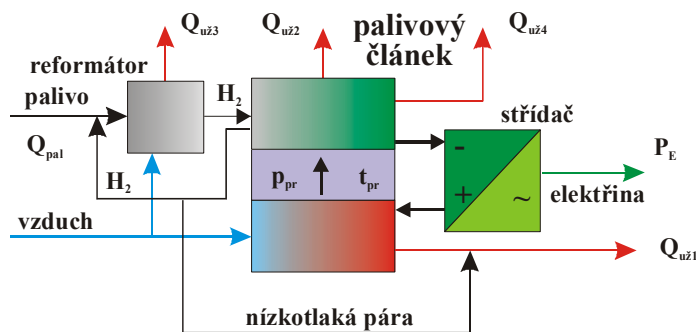
přímou přeměnou - palivové články,

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	-

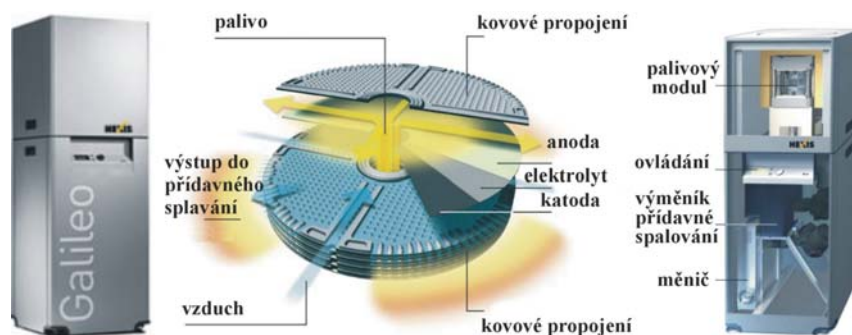
Obr. 3: Parametry KJ Vaillant Euro 2.

Nejvýznamnějšími 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 spalínový 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 spaliny 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.

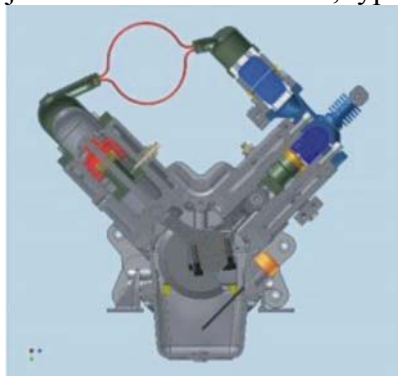
Pro *KJ* lze využít následující technologie s vnějším přívodem tepla do *TM*:

- Stirlingův motor
- Parní článek (Rankinův motor)

V ČR je pouze jeden výrobce motorů s vnějším spalováním, kterým je firma TEDOM. Výkonová hladina jejích 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 .

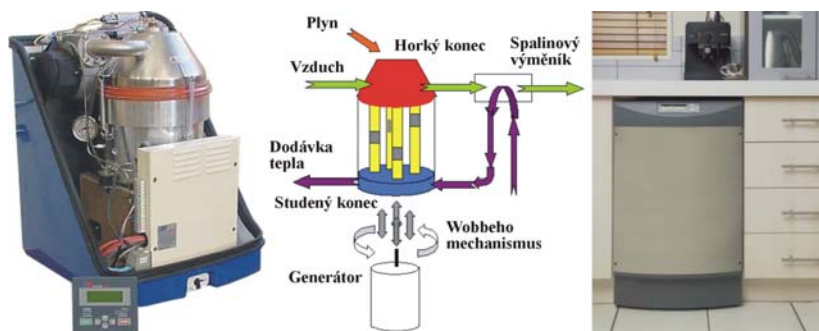


P_e	P_q	prac. látka	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
9	26	hélium	23	67	-	8 000		110	-

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).

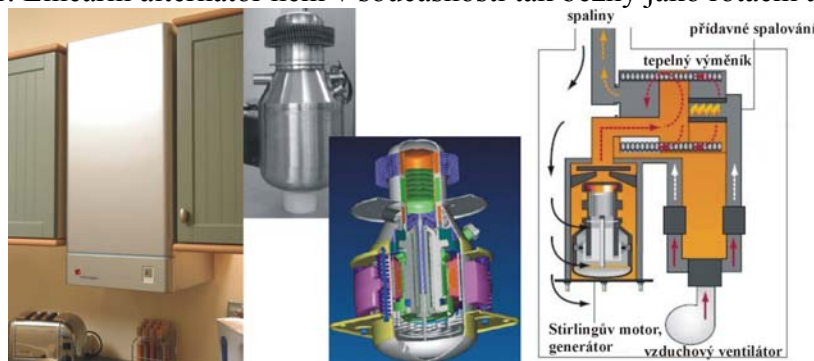


P_e	P_q	prac.látk a	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	7	dušík	12	80	63	7500	50x85x60	140	2 500

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.

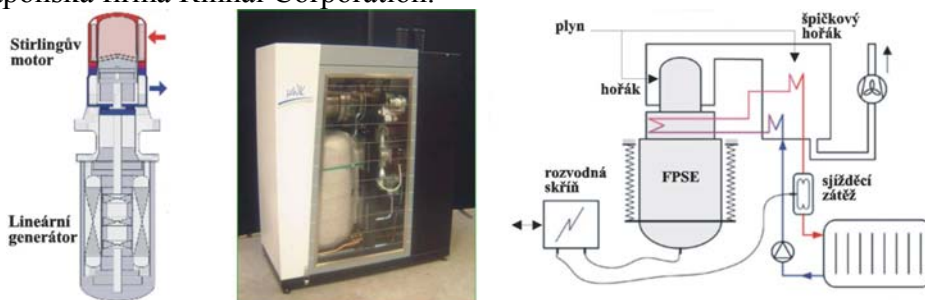


P_e	P_q	prac. látka	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	15	-	16	77	43	10 000	50x25x80	50	-

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 přídavné spalování pro pokrytí požadavků na teplo. Motory Infinia využívá pro KJ také již zmíněná japonská firma Rinnai Corporation.

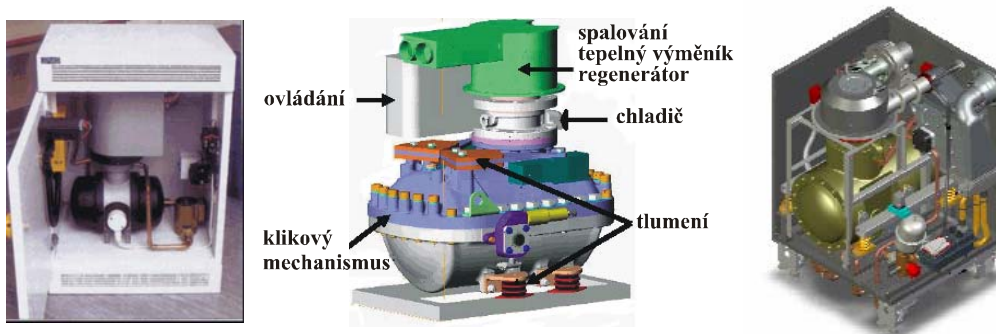


P_e	P_q	prac. látka	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	-	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
1	6-24	dušík	11	70	54	60 000	50x85x60	140	-

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-Clausiiův 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.

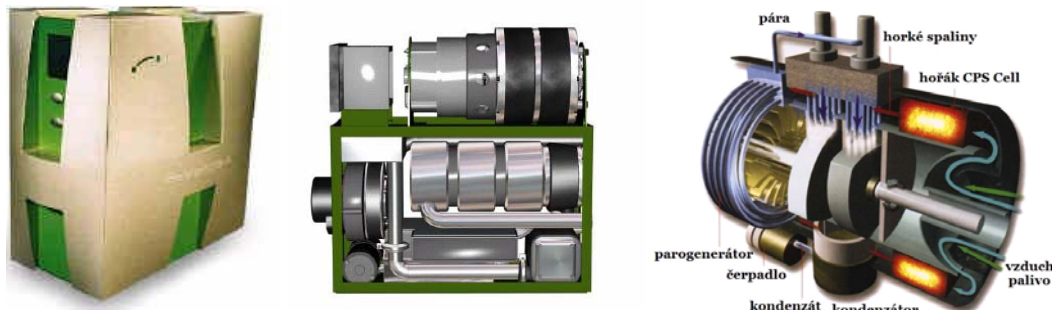


P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
0,2-2,2	2,5-16	20	80	42	-	125x62x83	190	-

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.

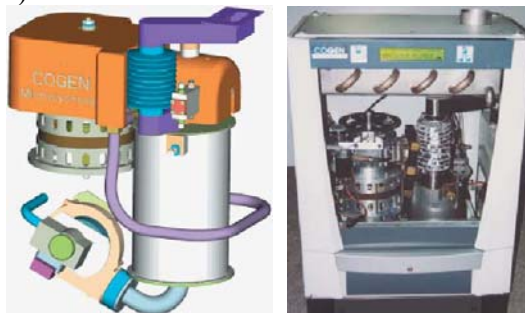


P_e	P_q	η_e	η_q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
3-22	2,5-15	20	72	44	30 000	85x80x40	170	-

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).



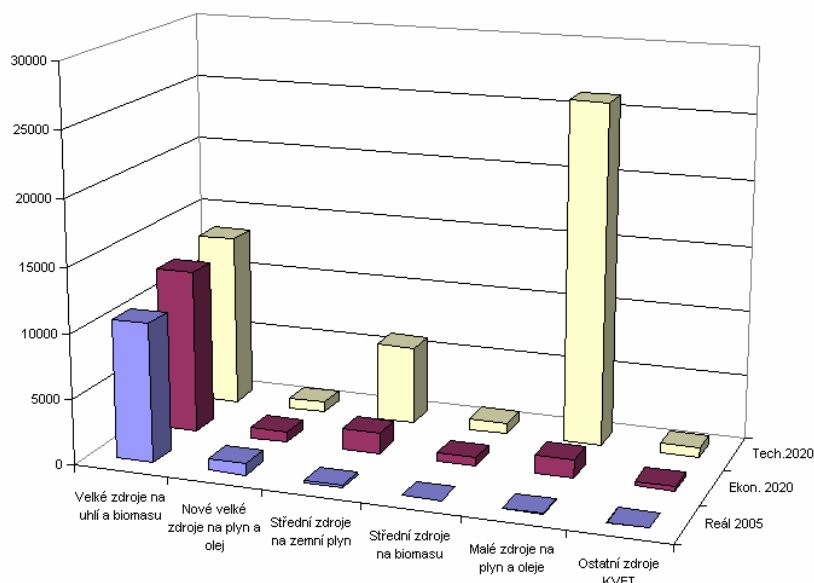
P _e	P _q	η _e	η _q	hluk	servis	rozměry	váha	cena
[kW _e]	[kW _t]	[%]	[%]	[db]	[hod]	[cm]	[kg]	[€]
4	13	25	65	55	3 300	125x110x75	270	-

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

technologií *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 přepokládá 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*.

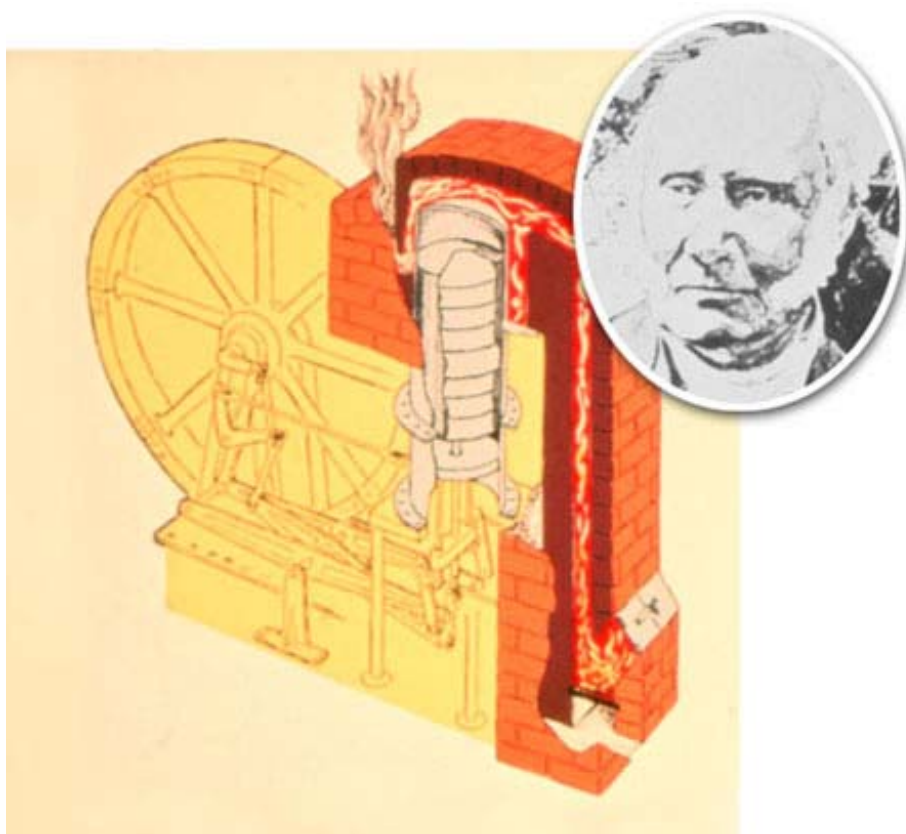
Problematika je řešena v rámci projektu GAČR 102/06/0132.

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

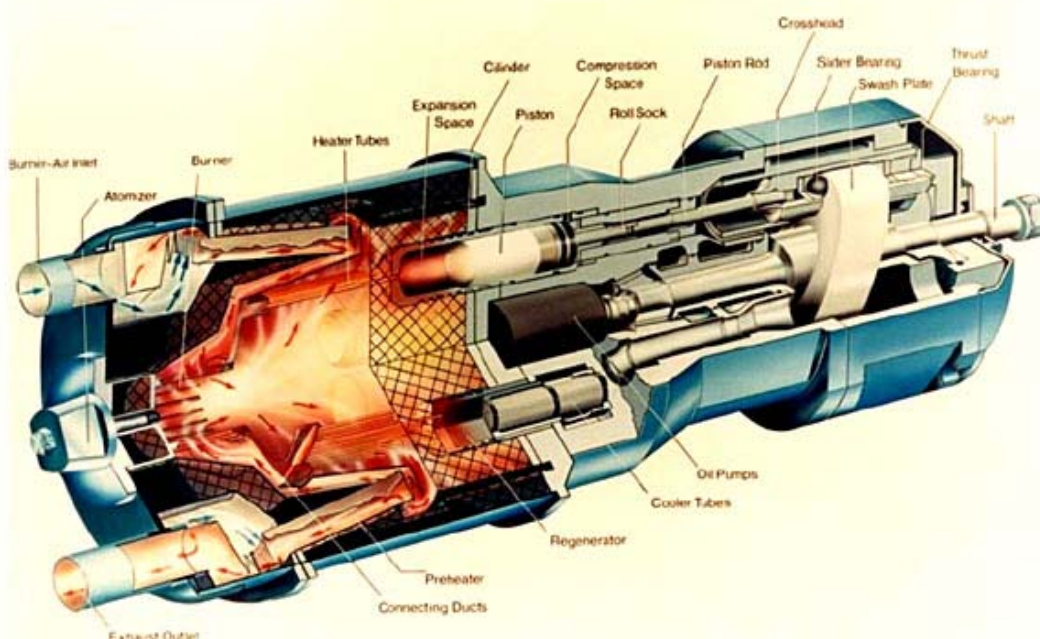
Stirlingův motor se zrodil 27. 9. 1816, kdy si tento typ motoru nechal patentovat tehdy šestadvacetiletý skotský pastor Robert Stirling (1790-1878). Stalo se tak osm let před vydáním odborné práce Sadi Carnota „Úvahy o hnací síle ohně a strojích tuto sílu rozvíjet“. Jinak řečeno bylo to v době, kdy ještě 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**.

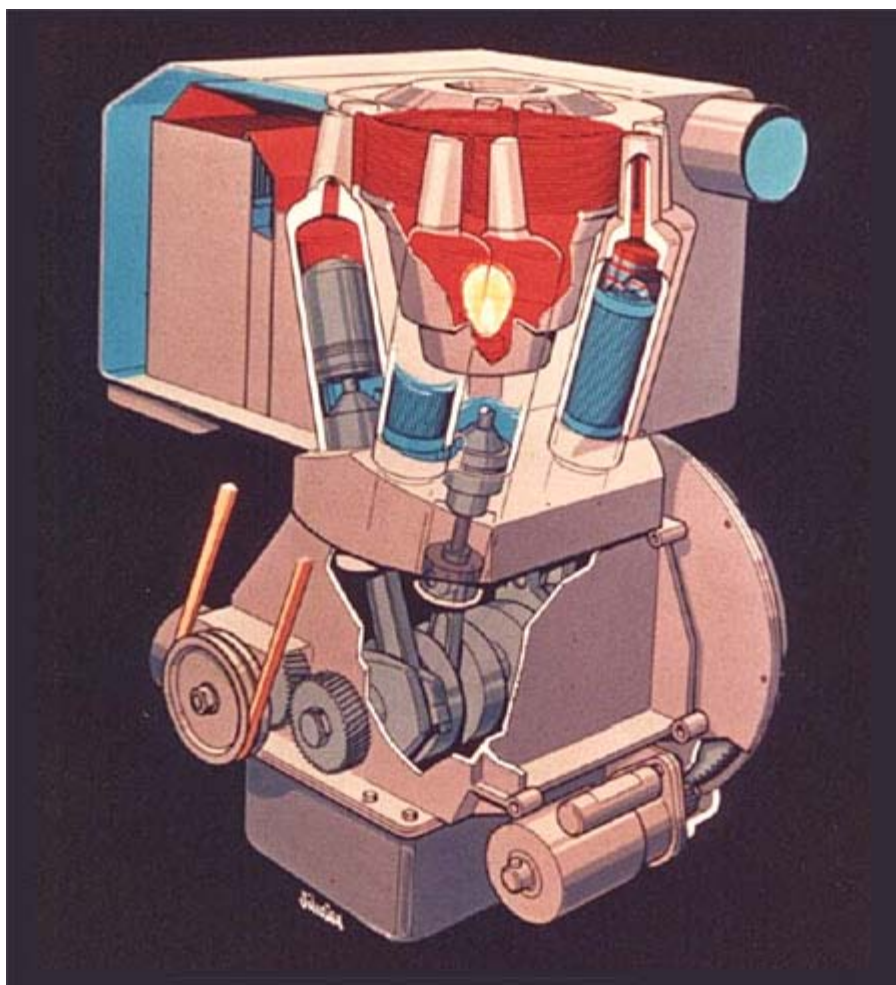


Stirlingův motor Philips V4-65

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 výhoda 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 elektrovoltaičnými panely vyšší účinnosti. Komerční aplikace Stirlingova motoru nabízí jen několik následujících firem.



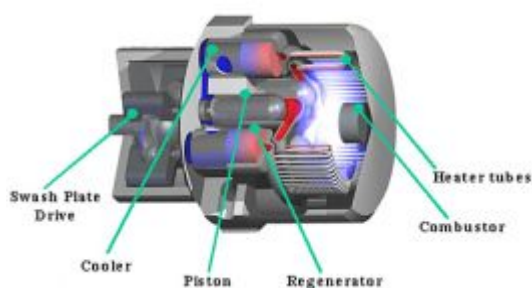
Solární jednotka SES, 25 kW

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 podrobeno 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.



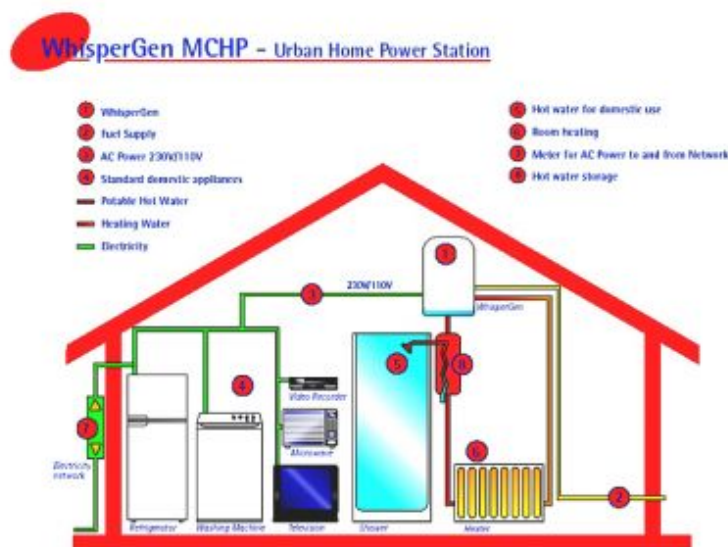
Stirlingův motor z KJ STM-Power, Inc.

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 domu

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 elektrolýzou rozkládána dříve zkondenzovaná voda opět na kyslík a vodík. Tento systém umožní ponorce zůstat pod hladinou několikanásobně 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 hluknost 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.

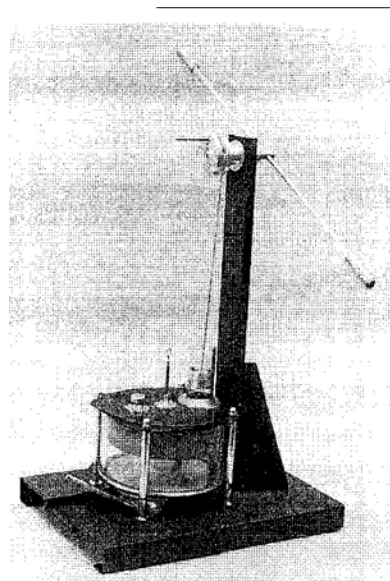
Podrobnější informace o principu provozu Stirlingova motoru i technické podklady vlastního vývoje Stirlingova motoru najdete na WWW.TEDOM.CZ v sekci kogenerace/naše produkty/motor STIRLING. Kapitola týkající se Stirlingova motoru je zpracována s výrazným použitím firemních materiálů TEDOM.



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?

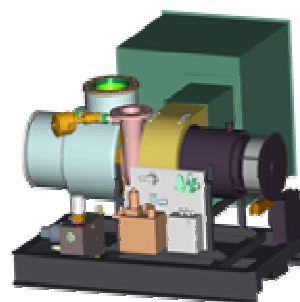


S pozdravem
Josef Brož
vedoucí vývoje Stirlingova motoru
TEDOM-VKS s.r.o.
www.tedom-vks.cz



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

Přiznám se, že jsem tuhle kapitolu několikrát přemísťoval, 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 nejbližše 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 „muši“ 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 spalín, 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 spalín 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.