

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Mikrokogenerační jednotka v aplikaci pro rodinný dům
nebo menší objekt komerčního typu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin MLYNÁŘÍK**
Osobní číslo: **E12N0104P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Mikrokogenerační jednotka v aplikaci pro rodinný dům nebo
menší objekt komerčního typu**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte princip kogenerační jednotky (KJ) a možnosti využití KJ v podmínkách provozu uvedených objektů.
2. Analyzujte typy KJ podle technologického provedení a druhu paliva.
3. Navrhněte kogenerační jednotku pro danou aplikaci (technická data, schéma funkce s napojením na topnou a elektrickou soustavu).
4. Zpracujte ekonomické, energetické a ekologické hodnocení návrhu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Dvorský, E., Hejtmánková, P. : Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, BEN, 2005

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá mikrokogeneračními jednotkami pro aplikaci v rodinném domě nebo menším objektu komerčního typu. Tyto jednotky jsou v dnešní domě velice populární, jelikož mimo běžného vytápění a ohřevu vody vyrábějí také elektřinu. Elektřinu je možno hned spotřebovat, nebo ji odprodat do distribuční sítě za cenu, která je dána dle velikosti jednotky a doby v roce po kterou je využívána.

V první část práce je zaměřena na typy mikrokogeneračních jednotek. Na trhu je celé spektrum různých typů, které jsou odlišné především ve výkonu a typu paliva, ale také v principu získávání elektrické energie. Proto jsem se rozhodl typy jednotek popsat a uvést jaké má zákazník možnosti.

Další částí mé práce se zabývám návrhem jednotky pro konkrétní objekt. Pro výběr vhodné jednotky je důležité znát jaká je v domě spotřeba energie pro vytápění a ohřev vody a jaká je spotřeba elektrické energie.

Klíčová slova

Mikrokogenerace, kogenerace, technologické procesy, motor, mikrokogenerační jednotka

Abstract

This diploma thesis deals with the micro-cogeneration units for application in a family house or a small object of commercial type. These units are nowadays very popular since besides of regular heating the buildings and warming water, furthermore, produce the electricity. The electricity can be consumed directly or is it sold into the distributional grid for the price that is determined by the size of the unit and the time of the year for which it is used.

The first part is focused on the types of micro-cogeneration units. On the market is a wide spectrum of different types which are dissimilar primarily in the performance and fuel type, moreover, also in the principle of electrical power. Therefore, the types of units are described and it is said what options the customer has.

Another part of my work is dealt with the design of the unit for a particular object. For selecting an appropriate unit it is important to know what the energy consumption of heating and warming water is in the house and what the power consumption is.

Key words

Microcogeneration, cogeneration, technological processes, engine, micro-CHP unit

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 11.5.2015

Marin Mlynářík

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. A také panu Ing. Zdeňkovi Schejbalovi za jeho rady při návrhu mikrokogenerační jednotky.

Také bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu v mém studiu a jejich psychickou podporu.

Obsah

OBSAH	9	
ÚVOD	10	
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11	
1 PRINCIP A VYUŽITÍ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK	12	
1.1 KOGENERACE.....	12	
1.2 VYUŽITÍ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK.....	13	
1.3 VÝHODY A NEVÝHODY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK.....	14	
2 ANALÝZA TYPŮ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK	16	
KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SE MOHOU ROZLIŠOVAT PODLE RŮZNÝCH KRITÉRIÍ, KTERÁ SE NAVZÁJEM PROLÍNÁJÍ. NEJZÁKLADNĚJŠÍ ROZDĚLENÍ JEDNOTEK MŮŽE BÝT PODLE JEJICH VÝKONU, A TO OD JEDNOTEK S NEJNIŽŠÍMI VÝKONY VYUŽÍVANÝMI V RODINNÝCH DOMECH AŽ PO JEDNOTKY S VELKÝMI VÝKONY VYUŽÍVANÝMI V MĚSTSKÝCH TEPLÁRNÁCH. DALŠÍ ROZDĚLENÍ MŮŽE BÝT PODLE VYUŽITÉ TECHNOLOGIE PRO ZÍSKÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE, SE KTEROU SOUVISÍ I RŮZNÉ DRUHY PALIVA.		16
2.1 TECHNOLOGIE KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK.....	16	
2.2 PARNÍ STROJ.....	16	
2.2.1 Pístový parní stroj.....	17	
2.2.2 Parní turbína.....	19	
2.3 SPALOVACÍ MOTORY.....	20	
2.3.1 Vznětové motory.....	20	
2.3.2 Zážehové motory.....	21	
2.3.3 Zapojení kogeneračních jednotek se spalovacím motorem.....	22	
2.3.4 Emise škodlivých látek.....	24	
2.4 STIRLINGŮV MOTOR.....	24	
2.4.1 Hlavní části Stirlingova motoru.....	24	
2.4.2 Princip Stirlingova motoru a jeho využití.....	26	
2.4.3 Výhody a nevýhody Stirlingova motoru.....	28	
2.5 MIKROTURBÍNY.....	28	
2.5.1 Princip spalovací turbíny.....	29	
2.5.2 Výhody a nevýhody mikroturbíny.....	30	
2.6 PALÍVOVÉ ČLÁNKY.....	30	
3 NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	32	
3.1 POPIS OBJEKTU.....	32	
3.2 SPOTŘEBA TEPELNÉHO VÝKONU V OBJEKTU.....	33	
3.3 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V OBJEKTU.....	34	
3.4 VÝBĚR KOGENERAČNÍ JEDNOTKY.....	35	
3.5 POPIS NAVRŽENÉ MIKROKOGENERAČNÍ JEDNOTKY.....	37	
3.6 EKONOMICKÁ BILANCE PROJEKTU.....	38	
4 EKONOMICKÉ, ENERGETICKÉ A EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ	41	
5 ZÁVĚR	42	
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.	

Úvod

Předkládaná diplomová práce se zabývá mikrokogeneračními jednotkami v aplikaci pro rodinný dům nebo menší objekt komerčního typu. Mnoho lidí hledá vhodné způsoby pro vytápění rodinných domů, různých kanceláří či jiných provozoven, ve kterých si díky mikrokogeneračním jednotkám mají možnost navíc vyrábět i vlastní elektrickou energii.

V úvodu práce se zabývám vysvětlením pojmu kogenerace a s tím spojené mikrokogenerace, jejími výhodami oproti jiným zdrojům získávání energie a různými způsoby jejího využití v provozu.

V další části této práce se věnuji analýze různých typů kogeneračních jednotek. V současné době je různé množství technologií, které jsou v jednotkách pro získávání energie využity. Je také možné využít mnoha druhů paliv, ale ne každé palivo se hodí pro určitý typ jednotky.

Druhou polovinu práce věnuji konkrétnímu návrhu kogenerační jednotky. Kogenerační jednotka je navrhována pro bytový dům, kde se využívá teplo z KJ pro vytápění jednotlivých bytů. Návrh jednotky je podložen energetickou spotřebou objektu a to jak tepelnou tak elektrickou.

V závěru práce hodnotím návrh kogenerační jednotky z hlediska jeho ekonomické návratnosti, energetického využití a ekologického zatížení na životní prostředí.

Seznam symbolů a zkratek

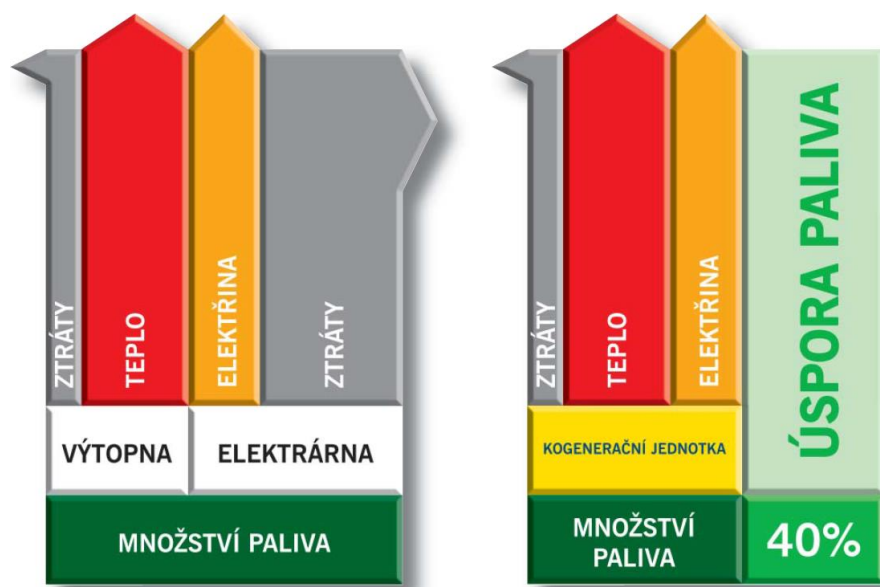
H_S	Objemové spalné teplo
KJ	Kogenerační jednotka
Q	Množství dodané energie
TUV	Teplá užitková voda
V_p	Spotřeba zemního plynu

1 Princip a využití kogeneračních jednotek

1.1 Kogenerace

Kogenerace je název, který je hojně využíván pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla (KVET) v jednom zařízení. Tento název pochází z anglického „co-generation“ a zkratka pro něj je CHP „Combined Heat and Power“.

Při kogeneraci je energie paliva využita efektivněji, na rozdíl od samostatné výroby tepla v teplárně a elektřiny v elektrárně. V teplárně jsou sice ztráty přibližně stejné jako při kogeneraci, ale nezískává se elektřina. Tu je tedy nutno vyrábět samostatně v elektrárně, kde jsou ztráty poměrně vysoké.



Obrázek 1: Rozdíl mezi oddělenou výrobou a kogenerací [3]

Principem kogenerační jednotky je vyrobit elektrickou energii a následně využít odpadní teplo, které se v běžné elektrárně vypouští z větší části do okolního prostředí pomocí chladících věží. Teplo z kogenerace je využíváno pro vytápění objektů nebo pro ohřev teplé užitkové vody (TUV).

Společně s kogenerací se dá mluvit i o trigeneraci, kdy je vyráběn mimo elektřinu a tepla i chlad. Trigenerace spočívá v doplnění kogenerační jednotky o absorpční chladicí jednotku. Tímto doplněním je možno využívat kogenerační jednotku i v letních měsících a tím zvýšit roční využití a snížit dobu návratnosti za pořízení jednotky. [2]

Ve velkých kogeneračních jednotkách s výkonem v řádech desítek MW nastávají znatelné ztráty tepelné energie při vedení na dlouhé vzdálenosti. Při využití jednotky v místě spotřeby energie jsou ztráty vedením nižší a účinnost celého systému se zvyšuje.

Základem každé kogenerační jednotky je tepelný stroj (plynový motor, mikroturbína), který pohání střídavý generátor. Dále jsou přítomny tepelné výměníky, které odvádějí teplo od bloku motoru a z výfukových spalin. Tyto výměníky předávají teplo do topného systému.

1.2 Využití kogeneračních jednotek

Důležité hledisko pro využití kogenerační jednotky je dostatečně velký odběr tepla. Pokud nebude zajištěn odběr tepla, bude účinnost jednotky mnohem nižší a neefektivní.

Velké jednotky jsou využívány v teplárnách ve velkých městech. Zde jsou využívány jednotky s výkonem řádově stovek kW až desítek MW, kdy vyprodukovanou elektřinu primárně prodávají do sítě a teplem zásobují velkou část města.

Mikrokogenerační jednotky mají výkon řádově desítky kW a jsou instalovány v místech spotřeby tepelné energie.

Jednotky najdou své využití především ve výtopnách na sídlištích, v hotelích či penzionech. Zde jsou využívány převážně v zimním období, kdy jsou objekty vytápěny. Při instalaci jednotky s menším výkonem, může být využita celoročně pro ohřev teplé užitkové vody.[3]

Další charakteristickou oblastí, kde se mohou tyto jednotky využívat, jsou bazény a wellness centra. V těchto zařízeních je spotřeba tepla obrovská, především pro ohřev vody v bazénech či vířivkách a samozřejmě i na ohřev TUV.

Dalším typem objektů, kde je dostatečný odběr tepla mohou být například nemocnice. Nemocnice mají dostatečný odběr tepla po velkou část roku pro vytápění, ale i pro ohřev teplé užitkové vody, které bývá velká spotřeba. Kogenerační jednotky se dají částečně využít v nemocnicích i jako náhradní zdroj elektrické energie.

Dalšími objekty, kde se mohou kogenerační jednotky využívat, mohou být různé kancelářské budovy, nebo malé výrobní haly. V těchto budovách bývá většinou teplo využíváno jen pro vytápění objektu a jednotka tak pracuje pouze po určitou část roku, pokud není doplněna o absorpční chladicí jednotku.

Typickým příkladem pro instalaci jednotky jsou také čistírny odpadních vod. Zde je teplo využíváno pro čistírenské procesy a výroba elektřiny je schopna pokrýt nároky ČOV. Palivem pro kogenerační jednotku je zde bioplyn, který vzniká při čištění odpadních vod. [5]

1.3 Výhody a nevýhody kogeneračních jednotek

Výhody kogeneračních jednotek:

- jednotky jsou umístěny přímo u spotřebitele elektrické energie a tepla a tím odpadají přenosové ztráty energie;
- efektivní využití paliva, ve srovnání s oddělenou výrobou elektřiny a tepla se ušetří až 40% paliva pro výrobu stejného množství energie;
- je možno vyrobenou elektřinu odprodat do distribuční sítě v případě, že není plně využita v objektu;
- kogenerační jednotky většinou jako palivo využívají plyn, tudíž produkují menší množství škodlivých emisí než uhelné kotle;
- kogenerace může sloužit jako záložní zdroj pro získávání energie při tzv. Black-out, díky tomu nedojde k přerušení energie;
- doplněním kogenerace o absorpční jednotku vzniká trigenerace a je možno vyrábět v letních měsících chlad;
- při realizaci kogenerační jednotky místo starého kotle jsou nutné jen minimální úpravy stávajícího vedení topné vody nebo přívodu paliva.

Nevýhody

- kogenerační jednotky mají především vyšší pořizovací cena, jejíž návratnost je závislá na ročním provozu jednotky;
- v případě velkého množství kogeneračních jednotek se může stát nevýhodou i dodávání energie do sítě. Regulace elektřiny v rozvodných sítích bude z tohoto důvodu složitější, protože nebude zcela jasné, jakou energii jednotka bude do sítě dodávat. Obdobná situace nastává s připojováním solárních elektráren.[1][6]

2 Analýza typů kogeneračních jednotek

Na trhu je velké množství odlišných technologií využívaných v kogeneračních jednotkách. Některé technologie jsou používány již řadu let, jiné se stále vyvíjejí a jejich nasazení v komerčním využití teprve pomalu vzrůstá. Najdou se také takové, které jsou takřka na počátku svého vývoje.

Kogenerační jednotky se mohou rozlišovat podle různých kritérií, která se navzájem prolínají. Nejzákladnější rozdělení jednotek může být podle jejich výkonu, a to od jednotek s nejnižšími výkony využívanými v rodinných domech až po jednotky s velkými výkony využívanými v městských teplárnách. Další rozdělení může být podle využití technologie pro získání elektrické energie, se kterou souvisí i různé druhy paliva.

2.1 Technologie kogeneračních jednotek

Technologií rozumíme způsob získávání elektrické energie z přivedeného paliva. Teplo je většinou odváděno stejně pro různé způsoby získání elektřiny pomocí výměníků. Některé technologie jsou známy již mnoho let a jejich využití je stále časté. Jiné technologie se začaly více vyvíjet s příchodem mikrokogenerace, kde je jejich uplatnění díky některým vlastnostem vhodné.

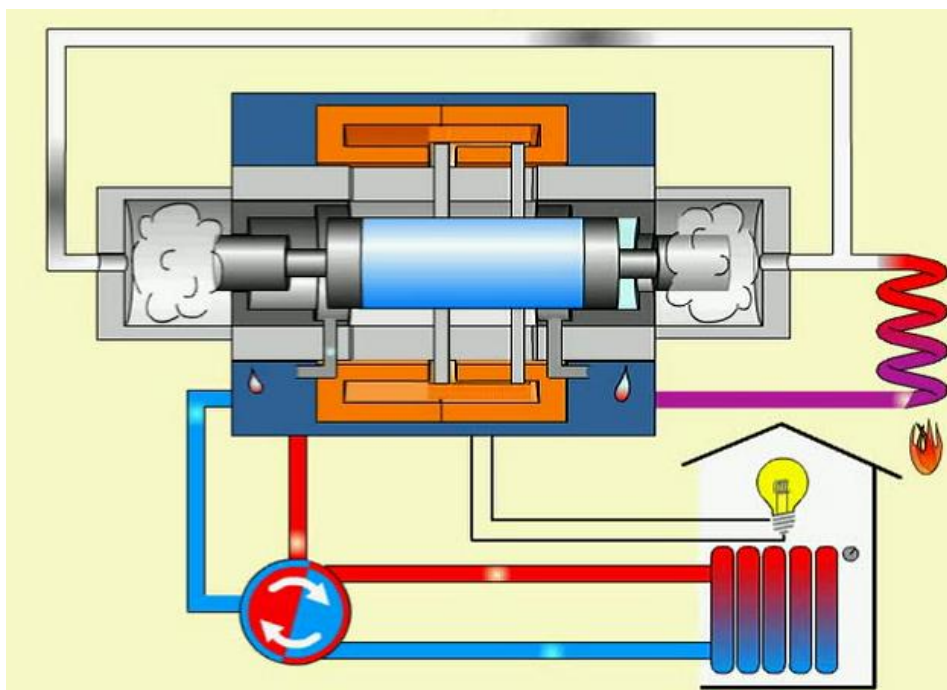
2.2 Parní stroj

Historicky nejstarší technologie pro výrobu elektrické energie je parní stroj. Tento systém získávání elektrické energie je využíván v současnosti především v elektrárnách nebo v městských výtopnách. Najdou se ovšem i mikrokogenerační jednotky, kde se využívá parního stroje.

Tato technologie je výhodná především díky vnějšímu spalování mimo pracovní cyklus, tudíž lze jako palivo použít jakýkoliv zdroj tepla, například zemní plyn, uhlí nebo dřevní štěpku.

2.2.1 Pístový parní stroj

Výroba elektřiny je u tohoto lineárního parního stroje založen na principu pohybu magnetu v cívce. Pára vznikající ve výparníku střídavě přesouvá dvoukomorový volný píst z jedné strany na druhou. Vždy když je píst na jedné straně se uzavře přísun páry na straně druhé a naopak, tím působí pára střídavě na obě strany pístu. Kmitající píst představuje magnet, který do cívky, obklopující dutinu motoru, indukuje elektrický proud. Tomuto celku se říká lineární generátor nebo také LINATOR. Rychlost kmitání pístů dosahuje hodnot 2400 – 4000 kmitů za minutu.



Obrázek 2: Princip pístového parního stroje

Pára v tomto motoru dosahuje teplot 350°C a je stačena na tlak 25 až 30 barů. Pára je vytvářena ve výparníku pomocí vnějšího hořáku. Díky tomu, že je hořák umístěn vně motoru a teplo předává pracovní látce přes výparník, lze využít různé druhy paliva. Nejčastěji tato jednotka využívá jako palivo zemní plyn, ale je schopna pracovat i na bioplyn nebo na pelety.

Tento typ parního stroje najdeme v mikrokogenerační jednotce německé firmy OTAG. Jednotka Lion Powerblock má elektrický výkon 0,2 až 1,6kW a tepelný výkon 4 až 16 kW. Jedná se o velmi nízké výkony a jednotku je možno díky tomu využít i v menších rodinných domech.



Obrázek 3: Mikrokogenerační jednotka Lion Powerblock na pelety [7]

Výhodou této jednotky jsou především její malé rozměry vhodné pro rodinné domy. Další výhodou je možnost výběru z několika druhů paliva podle přání zákazníka. Pokud jsou jako palivo využity pelety, je nutno počítat s dostatečně velkými prostory pro jejich uskladnění. Díky malému množství mechanických částí, které jsou náchylné na opotřebení, jsou nízké náklady na údržbu jednotky. LINATOR je možné odpojit od přívodu páry a používat tak zařízení pouze jako kotel. Tato možnost je využita při ostrovním provozu, kdy není zaručený dostatečný odběr elektrické energie a je třeba vytápění objektu.

Nevýhodou této jednotky je její pomalý rozběh, neboť je zapotřebí dostatek času pro výrobu páry o potřebných parametrech. [1][7]

2.2.2 Parní turbína

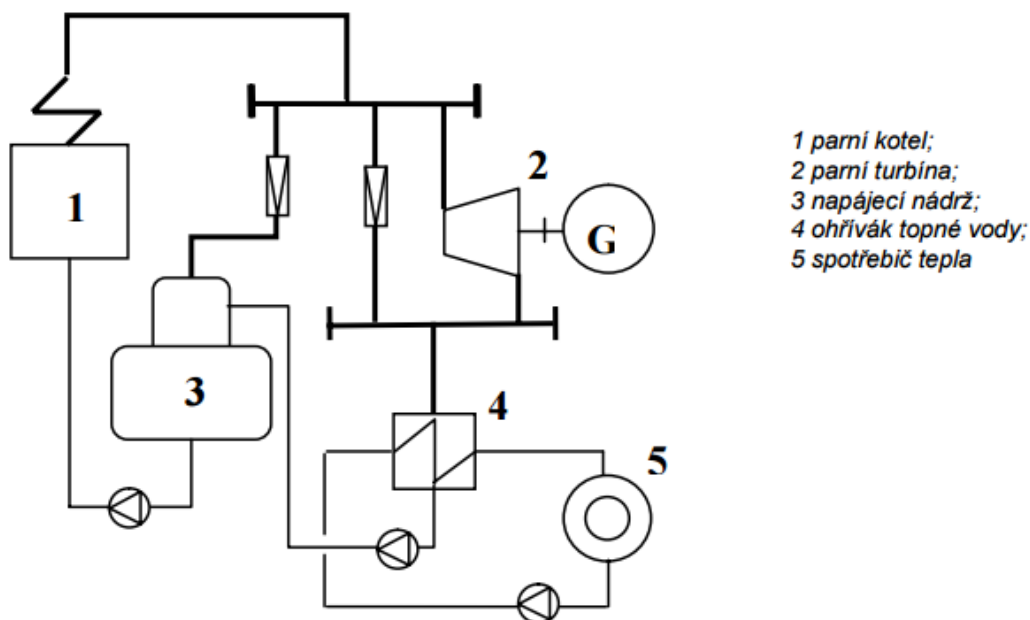
Parní turbíny se pro výrobu energie kogenerací využívají již od přelomu 19. a 20. století. Zapojení parní turbíny jako motor v kogeneračním systému lze dvěma způsoby:

- parní turbína protitlaková;
- parní turbína kondenzační s odběrem páry pro dodávky tepla.

Efektivnější využití je u protitlakového zapojení, kdy je pára po průchodu turbínou využívána jako zdroj tepla. U kondenzačního zapojení je pára po průchodu turbínou chlazena v kondenzátoru, který tepelnou energii páry odvádí pomocí chladících věží do ovzduší popřípadě do vody.

Princip je založen na průchodu vysokotlaké páry turbínou, kde je konaná mechanická práce. Turbína je na společné ose s elektrickým alternátorem.

Nejmenší protitlakové turbíny mají výkon nejméně od 100kWe a výše, a proto jsou vhodnější do tepláren. Parametry páry v těchto turbínách jsou kolem 500 °C a tlak do 65 Bar. [1] [8]



Obrázek 4: schéma zapojení protitlakové parní turbíny

2.3 Spalovací motory

V současnosti jsou spalovací motory nejvíce používány v různých aplikacích. Jejich využití najdeme téměř všude, pohánějí jak osobní či nákladní automobily, tak i lokomotivy či dokonce velké lodě. Tyto motory našly také využití v kogeneraci, kde jsou dokonce využívány v největším zastoupení a to díky jejich dobře známé technologii, která je vyvíjena již mnoho desetiletí, a jejich nízké pořizovací ceně.

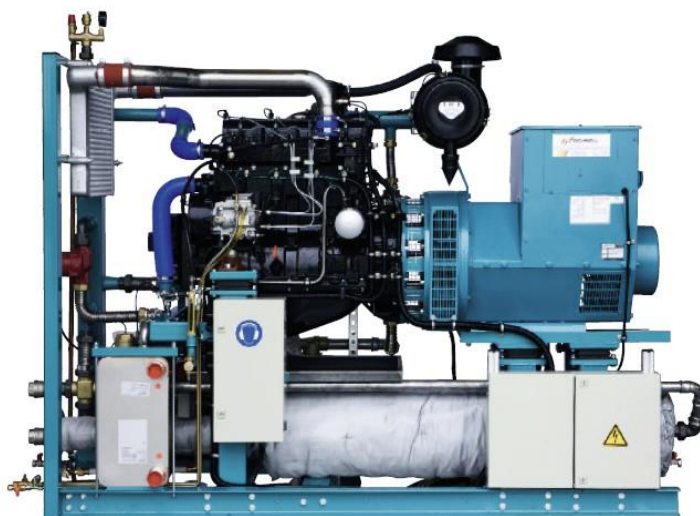
Tyto motory se dle principu spalování paliva rozdělují na dva základní typy:

- vznětové motory;
- zážehové motory.

2.3.1 Vznětové motory

Palivo přivedené do vznětového motoru se samo vznítí při dosažení zvýšeného tlaku a teploty. Tyto motory jsou často označovány jako dieselové nebo naftové, to napovídá tomu, že jako palivo je zde nejčastěji využívána nafta. Jednotky s tímto motorem se vyskytují ve velké výkonnosti škále a jejich jednotkový výkon může dosáhnout až 25 MW. Generální opravy jsou u vznětových motorů vyžadovány přibližně po 40 000 hodinách provozu.

V současnosti jsou v kogeneraci využívány vznětové motory se zápalným paprskem. Využití tohoto principu vede k nízké emisi odpadních plynů, vysoké a spolehlivé účinnosti a dlouhé životnosti.



Obrázek 5: Bioplynové vznětové agregáty se zápalným paprskem 40 kW / 60 kW / 75 kW od společnosti SCHNELL [9]

Moderní jednotky se vznětovým motorem se zápalným paprskem mají elektrickou účinnost až 47% a tepelnou účinnost až 41%. Dosažení tak vysoké účinnosti je pomocí turbogenerátoru, který je využíván především v kogeneračních jednotkách německé společnosti SCHNELL Zündstrahlmotoren AG & Co. KG. Tato společnost vynalezla na vývoj turbogenerátorů do svých kogeneračních jednotek nemalé finanční prostředky a podařilo se jí tak vytvořit jednotky s nejvyšší elektrickou účinností.

Pro dosažení dlouhé životnosti stroje a spolehlivého nepřetržitého chodu jsou všechny parametry (např.: teplota, vibrace, tlak, ...) sledovány elektronicky pomocí počítače online. [1],[9]

2.3.2 Zážehové motory

U zážehových motorů je směs paliva a vzduchu přivedena do spalovací komory a následně zapálena elektrickou jiskrou. Celková účinnost těchto motorů je o něco nižší než u vznětových motorů. Investiční náklady na zážehové motory jsou o něco vyšší než u vznětových motorů, ale nároky na údržbu jsou nižší. Moderní plynové motory mají dlouhou dobu životnosti a generální opravy motorů jsou prováděny přibližně po 60 000 hodinách, což je zhruba jednou za 7 let provozu. Životnost těchto kogeneračních jednotek je přibližně kolem 20 let.

Častým palivem v těchto jednotkách bývá zemní plyn, který je využíván i v běžných kotlích v domácnostech, nebo bioplyn, který je získáván v ČOV či bioplynových stanicích. Výkony kogeneračních jednotek se zážehovými motory jsou již od jednotek kW elektrického výkonu až přibližně do 30 MW. [10]

Jako příklad jednotky spalující zemní plyn jsem si vybral nejmenší jednotku od Firmy TEDOM. Jednotka „Micro T7“ jak už název napovídá má elektrický výkon 7 kWe a tepelný výkon 17,2 kWt. Jednotka dosahuje účinnosti výroby elektrické energie 27% a tepelné energie 66,3%. Tato jednotka má hloubku 1315 mm, šířku včetně elektrických rozvodů 1350 mm a výšku 1480 mm. [2]



Obrázek 6: Mikrokogenerační jednotka na zemní plyn od Firmy TEDOM [2]

2.3.3 Zapojení kogeneračních jednotek se spalovacím motorem

Z pohledu na princip spalovacího motoru je jasné, že je vhodný ke kogeneračním jednotkám. Motor, který pohání generátor, je třeba chladit, neboť při spalování paliva se uvolňuje velké množství tepla. Chlazením motoru odvádíme odpadní teplo, které následně využíváme k ohřevu topné nebo užitkové vody. Teplo je do topného systému odváděno dvěma tepelnými výměníky na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z chladicí vody motoru (bloku válců a hlavy motoru) a z chladiče mazacího oleje nejvýše na úroveň 80 °C. Další velké teplo se dá odebrat z výfukových plynů, jejichž teplota

dosahuje hodnot 400 – 500 °C. Druhý výměník je tedy umístěn v cestě výfukových plynů a je jím možno ohřát tlakovou vodu na více než 110 °C nebo za určitých podmínek vyvíjet páru. Tepelné výměníky jsou zapojeny sériově za sebou a napojeny na topný systém o parametrech většinou 90/70 °C.



1 – spalovací motor; 2 – elektrický generátor; 3 – výměník spalin/topná voda;
4 – výměník chladící voda/topná voda

Obrázek 7: Toky energií v KJ se spalovacím motorem [1]

Kogenerační jednotky se spalovacími motory mají nevýhodu v tom, že potřebují speciální uložení s absorpcí vibrací, jelikož provozem motoru vznikají nevyvážené síly vyvolávající kmitání. Dalším problémem je i hluk motoru, proto jsou jednotky uzavřeny v pouzdře z materiálu dobře pohlcujícího hluk. Nevýhodou jsou také vyšší požadavky na údržbu, jelikož je tu větší počet součástí s posuvným pohybem v oblasti vysokých teplot.

Naopak k jejich přednostem patří především velký výkonový rozsah od 7 kW do 30 MW, takže je lze využít v jakýchkoliv objektech. Další jejich výhodou je možnost pracovat na ostrovní provoz, podmínkou však je odvod tepla od motoru. S připojením absorpčních systémů jsou tyto motory vhodné i pro chlazení. [1]

2.3.4 Emise škodlivých látek

V důsledku vysokých teplot dochází při spalování ke vzniku oxidu dusíku. Nedostatečnou oxidací při hoření dále vzniká oxid uhelnatý a v mrtvých koutech mezi válcem a pístem díky tomu, že neprojde fronta plynu plamenem, dochází k emisím nespálených uhlovodíků.

Tyto emise lze primárně snížit konstrukčními úpravami motoru (odstranění mrtvých koutů a optimalizace pracovního prostoru válce, ...) a provozními opatřeními (vhodná doba zážehu paliva, zvýšení přebytku vzduchu při spalování, snížení zatížení motoru, ...). Tyto možnosti úprav je třeba vhodně kombinovat, protože úpravou na zlepšení výsledku jednoho druhu emise můžeme docílit zvýšení emise jiných složek.

Jako sekundární opatření pro snížení emisí je možné zařazení katalyzátoru do spalinové cesty. Menší zařízení používají jednocestní oxidační katalyzátor, u větších je pak použit trojcestný regulovaný oxidační katalyzátor pro snížení obsahu Nox, CO i CH. [1]

2.4 Stirlingův motor

Stirlingův motor patří mezi tepelné motory s vnějším spalováním, který zaujal nezastupitelné místo v oblasti mikrokogenerace. Koncept toho motoru je starší než spalovací motory, byl patentován skotským inženýrem Robertem Stirlingem již v roce 1816. Ve své době byl hojně využíván a zastínil ho až příchod spalovacích motorů. Na konci 20. století zažil znovuzrození díky rozvoji mikrokogeneračních jednotek. Pro mikrokogenerace je výhodný díky jeho malým výkonům, které nelze využít v automobilovém průmyslu. [1]

2.4.1 Hlavní části Stirlingova motoru

Motor se skládá z několika hlavních částí. Mimo písty, které jsou samotným jádrem motoru a převádějí tepelnou energii na pohybovou, jsou to dále ještě tyto části:

Ohříváč plynu

Jedná se o povrchový tepelný výměník, kterým je zajištěno předání tepla ze spalin do motoru. U malých výkonů představuje ohřívák samostatné stěny teplého prostoru. U větších výkonů je třeba větší plochy a používají se tak vnější a vnitřní žebra na stranách ohříváku. Teplota v ohříváku není přiváděna do pracovního plynu kontinuálně ale střídavě. Teplota pracovního plynu v motoru se mění ve větším rozsahu než teplota vnitřního povrchu ohříváku, tudíž se teplota předává i z pracovního plynu směrem do ohříváku.

Regenerátor

V regenerátoru dochází k regeneraci tepla při ochlazování a ohřívání plynu. Při průchodu plynu z teplé strany na studenou se plyn ochlazuje o matici regenerátoru (nabíjení matrice). Tato matrice se postupně ohřívá a plyn se ochlazuje. Když je teplota na nejnižší úrovni, plyn se opět pomocí matrice regenerátoru ohřívá (vybíjení matrice). Přínosem regenerátoru je, že teplo získané vybíjením regenerátoru nemusí být dodáno na teplé straně a naopak, že teplo odvedené při nabíjení nemusí být chladičem odvedeno. Tím dochází ke zvýšení tepelné účinnosti oběhu. Matrice regenerátoru představuje spousty malých spečených drátů s průměrem menší než 1 mm, které jsou uspořádány do mřížky nebo chaoticky. Někdy se v matici místo drátků vyskytují slabé plechy.

Chladič

Stejně jako ohřívák je i chladič povrchovým tepelným výměníkem. Chladič je ale umístěn na studené straně, kde odvádí teplo z motoru, aby mohlo dojít ke stlačení plynu. Chladič může být pro malé výkony chlazen pouze vzduchem, ale je efektivnější ho pro malé i větší výkony chladit chladicí vodou, která teplo dále převádí.

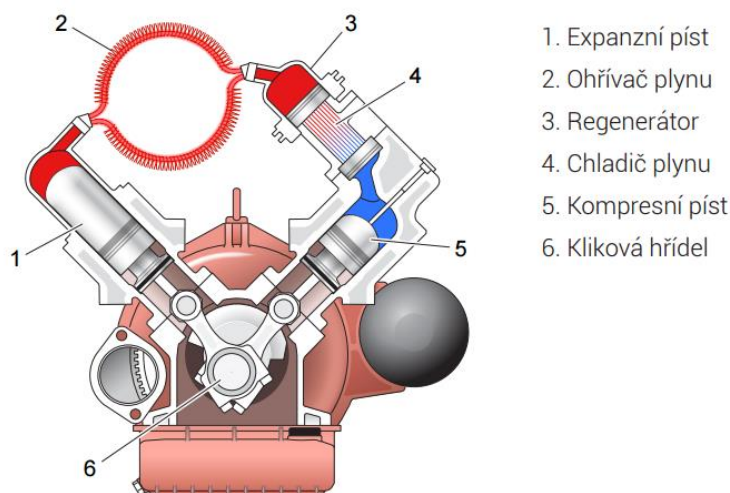
Přehaněč

Jedná se o speciální píst, který je použit u beta a gama modifikace Stirlingova motoru a jeho účelem je převádět pracovní plyn ze studeného do teplého prostoru a naopak. Tento píst může být umístěn ve stejném válci jako je pracovní píst, nebo může být umístěn ve vlastním válci.[1][11][12]

2.4.2 Princip Stirlingova motoru a jeho využití

Princip činnosti Stirlingova motoru spočívá na cyklickém stlačování a expanzi vzduchu nebo jiného pracovního plynu (helium, dusík) v uzavřeném systému, tudíž zůstává stále pod vysokým tlakem a zvyšuje tak výkon motoru.

Základní konstrukci motoru tvoří 2 písty, které svírají navzájem úhel 90° a jsou společně spojeny na jednu klikovou hřídel. Tomuto uspořádání se říká „alfa typ“. Jedna strana je zahřívána, pracovní látka v motoru se rozpíná a tlačí na píst, který vyvolává pomocí klikové hřídele točivý pohyb. Expandující plyn prochází také přes regenerátor a chladič plynu až ke komoře s druhým pístem. Druhý píst (kompresní) pomocí klikové hřídele vrací ochlazený pracovní plyn zpět do ohříváče a horké oblasti, kde opět dochází k expanzi plynu. Celý cyklus se opakuje. Výsledkem celého cyklu je převod tepelné energie na energii mechanickou.[1][12]



Obrázek 8: Stirlingův motor [12]

Z obrázku je patrné, že se pracovní látka ve Stirlingově motoru neobměňuje, jako tomu je u spalovacích motorů. Uvnitř motoru tak zůstává stále stejné množství plynu, které je přemísťováno pouze z teplého do chladného válce a naopak. Díky tomu může být v motoru použit plyn, který bude mít ideální parametry pro daný účel. U moderních motorů je nejčastěji používán jako pracovní plyn helium nebo vodík. Tlak pracovního plynu se pohybuje v rozmezí 15 – 20 MPa a jeho teplota dosahuje v ohříváči maximálních teplot od 630 °C do 730°C. Elektrická účinnost těchto motorů dosahuje 30 – 33%, což je pro jednotky o jednotkovém výkonu v rozmezí 7 – 30kW vynikající.

Vzhledem k vnějšímu spalování mimo pracovní motor, lze použít jako palivo téměř cokoliv. Nejčastěji je využíván zemní plyn, dále méně kvalitní bioplyn, který není vhodný pro spalovací motory, pelety nebo dřevní štěpka. V zahraničí, především v teplejších státech, se objevuje i Stirlingův motor, který jako zdroj tepelné energie využívá slunce pomocí velkého parabolického zrcadla.

Teplo je ze Stirlingova motoru odváděno na dvou různých úrovních. Nižší tepelná úroveň je při odvodu tepla ze studené části motoru přes chladič a druhá úroveň je odváděna ze spalin popřípadě z výměníku tepla.

Druhou konfigurací Stirlingova motoru je „beta typ“. Tento typ se skládá z jednoho válce, ve kterém jsou umístěny 2 písty. Pro možnost stlačování a expanze pracovního plynu je jeden konec válce ohříván a druhý konec chlazen. První poháněcí píst (přehaněč) je delší a má vůli mezi stěnou válce a pístem. Druhý válec je pracovní a utěsněný ke stěně. Oba písty jsou spojeny klikovým mechanismem, díky kterému jsou navzájem opožděny o 1/4 otáčky. Tento typ pracuje také s uzavřeným plynem, proto je důležité, aby byl dokonale utěsněn. [1][11][12]



Obrázek 9: Beta typ Stirlingova motoru [12]

V současné době je na trhu velké množství mikrokogeneračních jednotek využívajících principu Stirlingova motoru. Firmy zabývající se těmito motory v kogeneračních jednotkách, jsou například StirlingEnergy, Viessmann, Sunmechine.

Většina jednotek je poháněna zemním plynem nebo bioplynem, ale jsou již i jednotky, kde jsou jako palivo použity pelety.

2.4.3 Výhody a nevýhody Stirlingova motoru

Výhody:

- moderní motory jsou tiché, spolehlivé a mají dobrou účinnost;
- dle použitého paliva mají nižší emise škodlivých plynů;
- hlavní výhodou je možnost pracovat na jakýkoliv druh paliva př. zemní plyn, bioplyn, biomasa, slunce;
- nulová spotřeba mazacího oleje;
- nízké servisní náklady, které jsou dány dlouhými servisními intervaly (až 10 000 hodin).

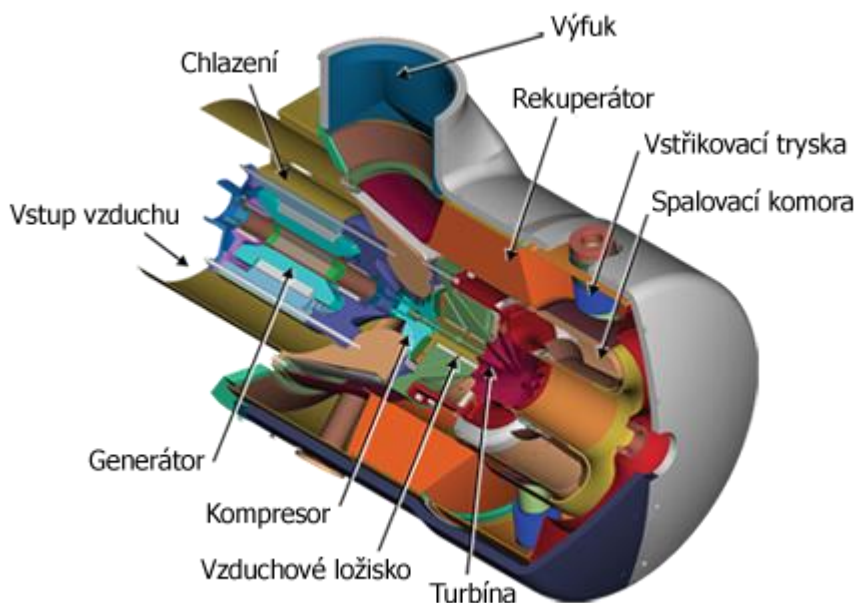
Nevýhody:

- složitost zařízení, technická náročnost těsnění tlakového prostoru válců;
- vyšší cena daná dosud malou sériovostí;
- vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu. [1]

2.5 Mikroturbíny

Ještě v nedávné době naznačovali průzkumy, že spalovací turbíny s výkonem menším než 1 MW jsou neekonomické. Nicméně doba pokročila a mikroturbíny představují zcela novou generaci spalovacích turbín a výrobcům se daří vyvíjet menší a menší stroje, které jsou již hluboko pod uvedeným výkonem. Současné mikroturbíny s výkonem od 25 kW jsou plně konkurenceschopné a ve výkonnostní řadě je lze uplatnit až do výkonu 1 000 kW.

Jedná se o malé vysokootáčkové stroje, které mají turbínu, procesor a vysokorychlostní generátor na jedné společné hřídeli. Díky jedné společné rotační části není potřeba převodovky a ani žádných mazacích olejů, díky čemuž odpadá řada procesů spojených s použitím oleje (výměna, doplňování). Jsou zde použita vzduchem chlazená ložiska, takže olej nenajdeme ani v ložiskách.



Obrázek 10: Popis mikroturbíny[14]

2.5.1 Princip spalovací turbíny

Celé soustrojí je nejprve roztočeno startérem. Kompresor, který je na stejné hřídeli s turbínou stlačuje vzduch do spalovací komory, kde společně s přivedeným palivem tvoří výbušnou směs. Směs je následně zapálena elektrickou jiskrou. Hořením směsi vzniká teplo a dochází tak k expanzi spalin přes oběžné kolo turbíny. Po velmi krátkém čase je hoření stabilizováno a do spalovací komory je plynule přivedena další výbušná směs, která zvyšuje otáčky turbíny. Generátor je následně přifázován k elektrické síti. Celý proces je zcela automatický.

V mikroturbíně je zavedena i rekuperace tepla, tudíž je výkon ještě vyšší, než kdyby zavedena nebyla. Teplo ze spalin je využíváno pro ohřev spalovacího vzduchu, který je přiváděn do spalovací komory společně s palivem. Ze spalin je také teplo odváděno výměníky pro další využití (ohřev vody, vytápění, ...)

Pro pohon mikroturbín je jako palivo využíván nejčastěji zemní plyn, bioplyn, ale dají se využít i kapalná paliva jako je diesel nebo petrolej.

V ČR funguje nejstarší mikroturbína již 11 let. Jedná se o jednotku Capstone 30 od stejnojmenné Americké společnosti a je instalována v Českém Brodě, kde slouží k vytápění sídliště. Jednotka je v samostatné budově, kde jsou také dva zásobníky teplé užitkové vody. Jednotka je dálkově řízena z Kolína, kde sídlí firma, která instalaci provedla. Dalšími výrobci mikroturbín na světě jsou Turbec, Elliottpowersystem nebo Ingersold-rand. [1][4][14]

2.5.2 Výhody a nevýhody mikroturbíny

Výhody:

- velmi malá hlučnost a nízké vibrace i při vysokých otáčkách;
- nízké emise škodlivých látek;
- jediná pohyblivá část a s tím spojená minimální údržba a vysoká spolehlivost;
- bez chladiva a oleje;
- možnost vzdálené správy a diagnózy;
- možnost využití v ostrovním provozu a jako záložní zdroj energie.

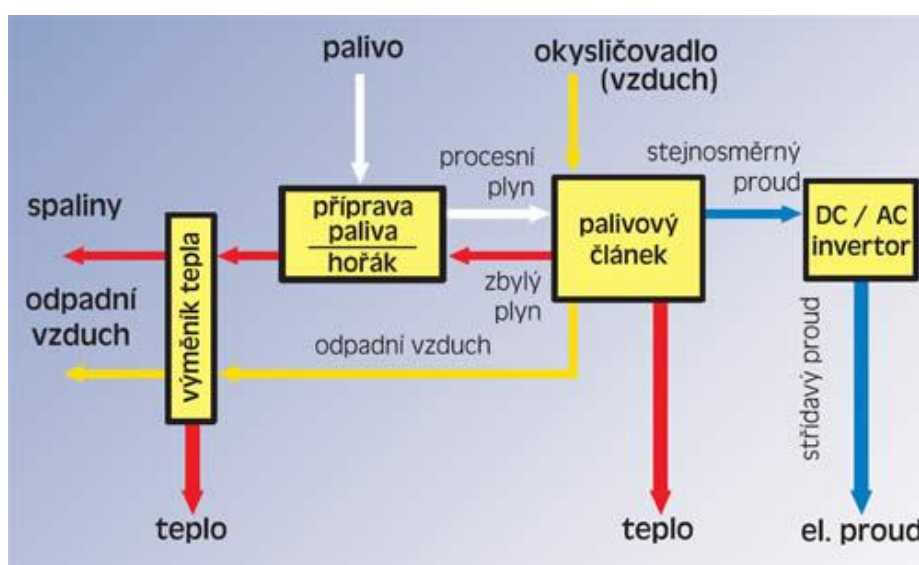
Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena;
- nižší účinnost než jednotky se spalovacím motorem.

2.6 Palivové články

Všechny dosud zmiňované systémy využívaly pro výrobu elektrické energie převod tepelné energie na mechanickou. Palivový článek přeměňuje chemickou energii obsaženou v palivu přímo na elektrickou energii. Různé druhy palivových článků pracují na stejném principu, jen je v nich použit různý materiál na anody a pracují s různými plyny. Nejčastější dvojice plynů používaných v těchto člancích jsou vodík a vzduch.

Palivový článek se skládá ze dvou elektrod, které jsou od sebe odděleny elektrolytem. K první elektrodě (anodě) je přiváděno palivo (vodík) a ke druhé elektrodě (katodě) je přiváděno okysličovadlo (vzduch). Na anodě dochází ke štěpení vodíku na kationty H^+ a elektrony e^- . Kationty se dostávají přes elektrolyt na katodu a reagují tam s kyslíkovými atomy na vodní páru. Uvolněné elektrony putují ke katodě vnějším elektrickým obvodem a vzniká tak stejnosměrný elektrický proud. Molekuly kyslíku na katodě elektrony přijímají a společně s kationty vytvářejí vodu. Obě elektrody musí být vytvořeny z porézního materiálu, aby umožnily průnik plynu do membrány (elektrolytu).



Obrázek 11: Schéma zapojení KJ s palivovým článkem[17]

Výhodou palivového článku v kogenerační jednotce jsou absence jakýchkoliv pohybových částí, díky čemuž je zapotřebí pouze minimálních nákladů na jeho údržbu. Zároveň vzniká téměř nulová hluchnost systému, což působí příznivě na životní prostředí. Ve srovnání se spalovacím motorem má palivový článek vyšší elektrickou účinnost (až 42%), ale tepelnou účinnost má o něco menší.

Nevýhodou palivových článků je především jejich pořizovací cena, ta je asi ze všech dostupných technologií pro využití v mikrokogeneračních jednotkách nejvyšší. Vysoká cena je zapříčiněna především cenou palivových článků a potřebou čistého paliva.[1] [17]

3 Návrh kogenerační jednotky

Tato část se zabývá návrhem kogenerační jednotky pro danou aplikaci. Aplikací pro využití je spousta a dalo by se vybrat jakýkoliv místo pro výběr vhodné jednotky. Pro návrh je třeba znát tepelnou a elektrickou spotřebu a dále je také důležité, jak bude v objektu využita tepelná energie.

3.1 Popis objektu

Pro návrh mikrokogenerační jednotky jsem si vybral bytový dům v Hrádku u Rokycan. Jedná se o zděný tří poschod'ový bytový dům se šesti stejnými byty, který je celý podsklepený. V polovině sklepení jsou malé sklepy k jednotlivým bytům, prádelna a kotelna, v druhé polovině jsou 4 samostatné garáže.

Všechny byty jsou vytápěny za pomoci dvou kotlů na zemní plyn od firmy Bosch. Dále má každý byt svůj vlastní přívod plynu pro vaření a samozřejmě je i vlastní elektroměr u bytu. Spotřebovaná energie za vytápění je rovnoměrně rozdělena mezi všechny byty bez rozdílu zda se jedná o přízemní či podkrovní byt.



Obrázek 12: Pohled na bytový dům, pro nějž se navrhuje KJ

3.2 Spotřeba tepelného výkonu v objektu

Spotřeba zemního plynu v kotlích pro vytápění objektu je sledována od roku 2009. Průměrná roční spotřeba je kolem 8 000 m³ zemního plynu. Spotřeba energie se však uvádí v energetických jednotkách [kWh nebo MWh], protože lépe znázorňují energii, kterou zákazník získal. Pro přepočítání lze použít vzorec

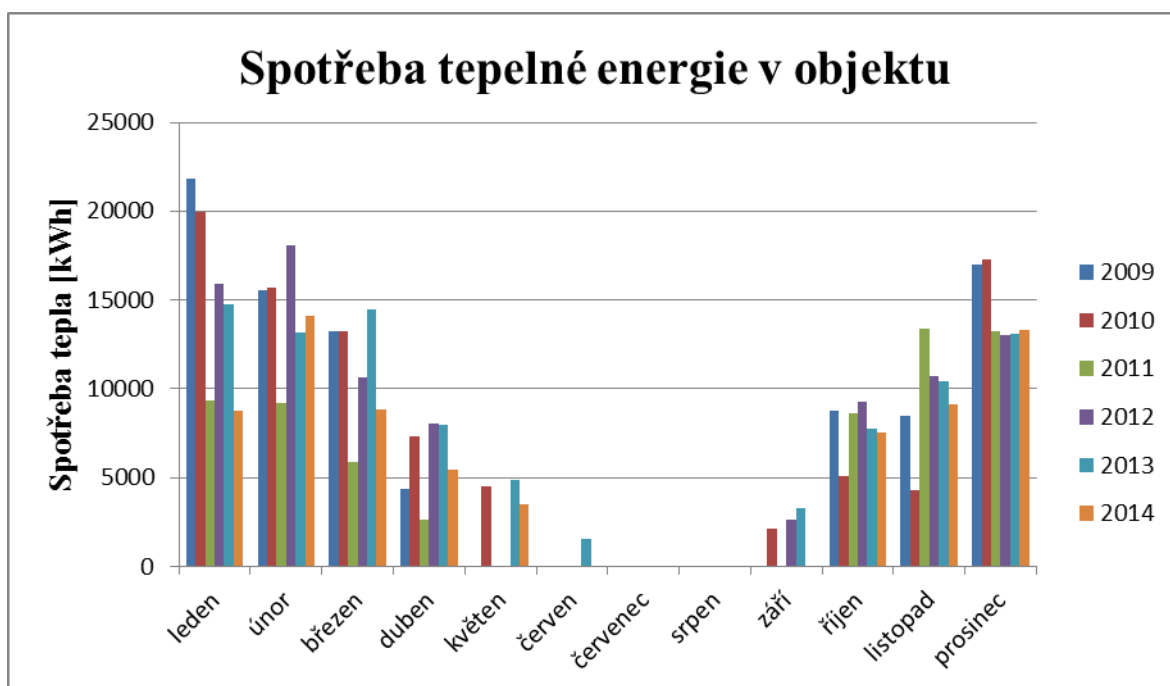
$$Q = V_p * k * H_s = 8000 * 1 * 10,55 = 84\,400 \text{ kWh},$$

kde Q je množství dodané energie, V_p ... Spotřeba zemního plynu změřena na plynoměru odběratele, k ... přepočítávací objemový koeficient, H_s ... objemové spalné teplo zemního plynu. Objemový koeficient se může měnit v závislosti na teplotě zemního plynu, na nadmořské výšce, kde je plynoměr umístěn a s tím související barometrický tlak.

Následující graf znázorňuje spotřebu paliva v objektu za jednotlivé měsíce, což je podstatné pro efektivní návrh kogenerační jednotky. Z grafu lze zjistit, jaká je tepelná náročnost objektu a kolik hodin v roce bude moci jednotka pracovat.

V roce 2014 byly náklady vynaložené na vytápění objektu 138 680,- Kč a celková spotřebovaná energie činila 70 627 kWh. Sazba za 1 kWh je tedy vypočítána z následujícího vzorečku takto:

$$\text{cena za kilowatthodinu} = \frac{138\,680}{70\,627} = 1,96 \text{ Kč/kWh}$$



Graf 1: Spotřeba tepelné energie v bytovém domě.

Abychom byli schopni jasněho posouzení vhodnosti kogenerační jednotky, je potřeba vědět spotřebu tepelné energie objektu za hodinu. Pro příklad jsem vybral dva měsíce, kdy jsou odlišné venkovní teploty a přesto je třeba objekt vytápět. V únoru roku 2014 byla průměrná spotřeba tepelné energie za hodinu 18,9 kW. V říjnu 2014 byla průměrně spotřeba za hodinu 10,1 kW tepelné energie.

Průměrná spotřeba objektu je 14 kW tepelné energie za hodinu, z čehož lze určit vhodnou kogenerační jednotku.



Obrázek 13: Plynové kotle vytápějící bytová dům

3.3 Spotřeba elektrické energie v objektu

Spotřeba elektrické energie se dá rovnoměrně rozdělit mezi všech 6 bytů. Spotřebiče ve všech bytech budou mít podobné příkony elektrických spotřebičů a tak postačí k předběžnému výsledku pouze spotřeba v jednom bytě. V jednom z bytů v bytovém domě je průměrná roční spotřeba 5,1 MWh. Vynásobením spotřeby v jednom bytě šesti, získáváme celkovou spotřebu bytového domu, která činí přibližně 30,6 MWh elektrické energie.

Ke spotřebě v jednotlivých bytech je třeba připočítat ještě spotřebu osvětlení společných prostor a spotřebu plynových kotlů, popřípadě další spotřebu ze společných prostor (elektrická sekačka zapojena ve sklepních prostorách).

Pro lepší přehled o spotřebě při porovnávání s výkonem mikrokogenerační jednotky převedu roční spotřebu na spotřebu za hodinu. Sice spotřeba elektrické energie není stejná v denních a večerních hodinách pro orientaci nám ale tento výsledek postačí.

Jestliže je roční spotřeba 30,6 MWh, potom po vydělení počtem dní v roce a počtem hodin za den dojdeme k hodnotě 3,5 kW spotřeby elektrické energie za hodinu v celém bytovém domě.

3.4 Výběr kogenerační jednotky

V předešlých dvou kapitolách jsme zjistili, jaká je spotřeba tepla v obytném domě a jaké je elektrická spotřeba. Především z hlediska tepelné spotřeby je nutné vybrat správnou kogenerační jednotku. Je nutné, aby KJ měla dostatečný tepelný odběr po celou dobu provozu. Odběr elektrické energie v případě jeho nevyužití není problém odprodávat do distribuční sítě na základě smlouvy uzavřené s dodavatelem.

Z předešlých výpočtů jsme došli k následující spotřebě energie v objektu:

Elektrická spotřeba objektu je: **3,5 kW**

Tepelná spotřeba objektu je: **14 kW**

Pro tyto parametry náročnosti objektu jsem našel několik vhodných kogeneračních jednotek, jejichž parametry jsou vhodné k využití v daném objektu.

První je od české společnosti TEDOM, která se specializuje na výrobu motorů pro různé průmyslové účely a také na výrobu kogeneračních jednotek. Pro náš objekt je vhodná jejich nejmenší jednotka MICRO T7 s parametry 7 kW elektrického výkonu a 17,2 kW tepelného výkonu.

Další jednotkou na trhu vhodnou pro náš případ je Dachs G5,5 německé firmy SENERTEC. Tato jednotka má elektrický výkon 5,5kW a tepelný výkon 12,5kW.

Hned dvě další vhodné jednotky jsou od dánské společnosti EC POWER, která je jedním z největších evropských výrobců kogeneračních jednotek. Nejnižší z řad jejich výrobků nese označení XRGI® 6 s elektrickým výkonem 2,5-6 kW a tepelným 8-13,5 kW, druhá jednotka nese označení XRGI® 9 a má výkon 9 kW_{el} a 20kW_{tep}.

Doposud zmiňované jednotky byly založeny na technologii spalovacích motorů, nicméně jsou na trhu i jednotky se Stirlingovo motorem. Jedna z nich je od švédské společnosti a jedná se o jednotku s názvem Cleanergy C9G s elektrickým výkonem 2-9 kW a tepelným výkonem 8-25 kW. Druhá jednotka je od německé společnosti Viessmann s názvem Vitotwin 300-W, její elektrický výkon je 1 kW a tepelný výkon je 6 kW.

Z výčtu vhodných kogeneračních jednotek pro námi zvolenou velikost objektu je vidět, že na trhu je velké množství různých typů jednotek pracujících i s minimálními výkony vhodnými pro menší objekty komerčního typu nebo pro rodinné či malé bytové domy.

Pro zvolený objekt jsem se rozhodl vybrat kogenerační jednotku typu Dachs G5,5 a to především kvůli tepelnému výkonu, který je velmi podobný průměrné spotřebě v objektu v zimních měsících, kdy bude jednotka v provozu.

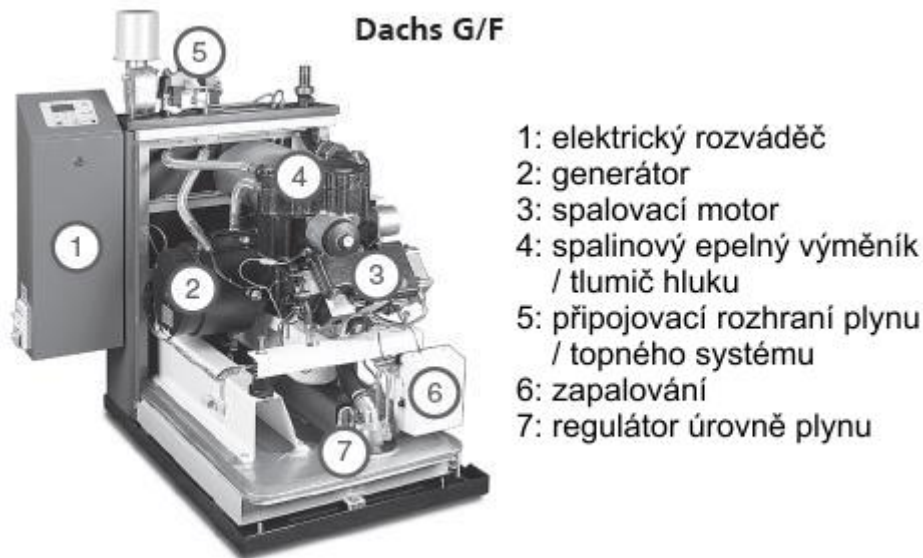


Obrázek 14: Mikrokogenerační jednotka Dachs G5,5[16]

3.5 Popis navržené mikrokogenerační jednotky

Dachs G5,5 je mikrokogenerační jednotka německé společnosti SenerTec, jejímž dovozcem a smluvním partnerem pro Českou Republiku je plzeňská firma Intersekce.

Na následujícím obrázku je popis jednotlivých součástí kogenerační jednotky.



Obrázek 15: Popis částí navržené MKJ[16]

Technická data mikrokogenerační jednotky Dachs G5,5 splňují naše požadavky jak po stránce výkonostní, tak i po stránce velikostní.

DACHS G5,5			
Elektrický výkon:	5,5 kW		
Tepelný výkon:	12,5 kW	Šířka:	720 mm
Elektrická účinnosť:	27%	Délka:	1 070 mm
Tepelná účinnosť:	61%	Weight:	1 000 mm
Celková účinnosť:	88%	Váha:	530 kg
Palivo:	Zemní plyn		
Příkon:	20,5 kW		

Tabulka 1: Parametry navržené MKJ [16]

V tabulce je uvedena celková účinnost kogenerační jednotky 88%, v případě zapojení kondenzačního výměníku tepla výfukových spalin udává výrobce účinnost až 99% a zvýší se tím tepelný výkon na 14,8 kW.

V zařízení je použit speciální jednoválcový čtyř-taktní motor s kapacitou 580 ccm. Tento motor může při správné údržbě vydržet až 80 000 provozních hodin. Na motor je připevněn speciálně vyvinutý vodou chlazený asynchronní generátor, který je poháněn přes jednostupňovou převodovku.

3.6 Ekonomická bilance projektu

Většinu lidí při pořizování nového zdroje tepelné energie pro jejich objekty sleduje především finanční náročnost pořízení a následného provozu tohoto zdroje.

Při výpočtu ekonomické bilance pro bytový dům, pro který jsem mikrokogenerační jednotku navrhoval, jsem došel k následujícím výsledkům.

Důležitým výsledkem výpočtů bylo zjištění, zda je vůbec pořízení kogenerační jednotky z hlediska návratnosti finančních prostředků za její vysokou pořizovací cenu výhodné. Výpočty jsem došel k závěru, že návratnost za pořízení jednotky je přibližně za 12 let jejího provozu. Vzhledem k faktu, že životnost kogeneračních jednotek je přibližně 20-25 let, je v našem případě ještě vhodné do jednotky investovat. Po dvanácti letech provozu začne tato mikrokogenerační jednotka vydělávat sama na sebe.

Návratnost je dána především díky vlastní spotřebě elektřiny, kterou nám jednotka vyrobí. Kdybychom vyrobenou elektřinu nevyužívali a pouze ji odprodávali do distribuční sítě, návratnost jednotky by se zvýšila o několik let až dokonce o desetiletí. Z tohoto hlediska je pro finanční hledisko důležitá i vlastní spotřeba.

Návratnost se odvíjí také od ceny za plyn a elektřinu. Sníží-li se sazba za pořizování zemního plynu, může návratnost klesnout o další rok či dva v závislosti na rozdílu současných a budoucích cen za zemní plyn.

Vyšší využití kogenerační jednotky a s tím spojená i rychlejší návratnost za její pořízení by spočívala ve využití KJ i pro ohřev teplé užitkové vody. Ohřev TUV je však v tomto bytovém domě řešen individuálně v jednotlivých bytech a náklady na rozvod teplé užitkové vody v bytovém domě by byly složité. Tyto náklady by možná byly efektivní v případě použití s kogenerační jednotkou. Díky tomu by mohly náklady na elektrickou energii klesnout, neboť v jednotlivých bytech je ohřívání TUV pomocí elektrických bojlerů.

TYP MKJ: Dachs G5,5		
Výkon Pe:	5,5	kW
Výkon Pt:	14,8	kW
Příkon Pc:	20.1	kW
Pořizovací náklady:	660 000	Kč s 21%DPH
TEPLO:		
Spotřeba tepla v objektu:	80 000	MWh/rok
výroba tepla provozem MKJ:	65 120	MWh/rok
Spotřeba energie MKJ:	25,08	MWh/rok
Cena spotřebovaného plynu:	1 300	Kč/MWh
ELEKTRINA:		
Výroba el. energie provozem MKJ:	24,2	MWh/rok
Spotřeba el. energie v objektu:	30,6	MWh/rok
Spotřeba el. energie využita:	24,2	MWh/rok
Přebytek:	0	MWh
Sazba el. energie:	3	Kč/kWh
Sazba za prodej přebytku:	1,3	Kč/kWh
Sazba za zelený bonus:	1,15	Kč/kWh
BILANCE:		
Úspora el. energie provozem:	72 600	Kč
Zisk ze zeleného bonusu:	27 830	Kč
Zisk z prodeje přebytku:	0	Kč
Náklady na provoz:	32 604	Kč
Údržba:	12 000	Kč
NÁVRATNOST:	11,82	let

Tabulka 2: Ekonomická bilance navržené mikrokogenerační jednotky

4 Ekonomické, energetické a ekologické zhodnocení

Z hlediska ekologického je výhoda instalace kogenerační jednotky ve výrobě elektrické energie. Výrobou elektřiny z kogenerační jednotky získáme minimálně 24,2 MWh ročně, při ročním provozu jednotky 4400 hodin, což odpovídá zimnímu provozu. Z výpočtů, které jsem prováděl, vyplývá, že jednotka bude v provozu při větších zimách i více než 4400 hodin a tím výroba elektrické energie vzroste.

Výroba elektřiny z kogenerační jednotky snižuje škodlivé emise do ovzduší díky výrobě ze zemního plynu. V tepelných elektrárnách je elektřina získávána spalováním uhlí v kotli, což vytváří velké množství škodlivých emisí na rozdíl od spalování plynu.

Při kogeneraci dochází i k úspoře vstupního paliva. V elektrárnách je velká část energie paliva odvedena při chlazení pracovní páry do okolního prostředí, čímž je účinnost elektráren neefektivní. V mikrokogenerační jednotce je naopak teplo vzniklé výrobou elektřiny využito pro vytápění budov a pro ohřev teplé užitkové vody. Celkové potřebné množství paliva je tudíž menší při výrobě v kogeneraci. Efektivní využití paliva je nesmírně důležité, neboť se stále více doslýcháme o snižování zásob fosilních paliv. Jeho další těžba navíc zabírá stále větší plochy, což v některých případech vede dokonce k zabírání obytných ploch.

Pořizovací ceny mikrokogeneračních jednotek jsou poměrně vysoké, a proto je nutné jejich pořízení pečlivě zvážit, naplánovat a spočítat. Pořízením naddimenzované jednotky dochází k jejímu neefektivnímu využití a vzhledem k vyšší ceně jednotky s vyšším výkonem se její návratnost posouvá o další roky, čímž po dobu životnosti této jednotky nemusí k návratnosti ani dojít.

Při finanční analýze je nutné myslet i na cenu energie. Vždy se vyplatí vyrobenou energii spotřebovat než ji dodávat do elektrické sítě a odtamtud ji opět nakupovat. Rozdíl v cenách prodeje a nákupu dosahuje několik korun za kWh ve prospěch distributora elektřiny, což je pro nás nevýhodné.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo v první řadě popsat princip kogenerační jednotky a její využití. Princip spočívající na společné výrobě elektrické energie a tepla v jednom zařízení byl popsán v první kapitole této diplomové práce. Zde byly uvedeny také vhodné oblasti této technologie, kterými jsou například hotely, nemocnice, výrobní procesy s dostatečným odběrem tepla.

Další část byla věnována analýze technologií používaných v kogeneračních jednotkách. Bylo zjištěno, že i v současnosti jsou využívány technologie známé řadu desetiletí, a dokonce dochází k jejich dalšímu výzkumu, protože se ukázalo, že tyto technologie jsou vhodné pro využití právě v kogeneračních jednotkách nízkých výkonů. Avšak největší množství mikrokogeneračních jednotek funguje na principu spalovacích motorů, které jsou v dnešní době nejvíce používaným typem motoru. V neposlední řadě se na trhu objevují i jednotky s technologií využívanou v kogeneraci jen krátce, ale přesto jim je věnováno velké úsilí a finanční prostředky pro další rozvoj vzhledem k jejich vysokým účinnostem a širokému spektru jejich využití.

Praktickou část diplomové práce jsem věnoval návrhu mikrokogenerační jednotky pro konkrétní využití ve vybraném objektu. Pro návrh jednotky je nutné znát především energetickou bilanci objektu, podle které je následně možné navrhnout vhodnou kogenerační jednotku pro daný objekt. Já jsem si pro návrh kogenerační jednotky zvolil bytový dům, kde je dostatečný odběr teplé vody pro vytápění a rovněž vysoký odběr elektrické energie, aby vyrobená elektrická energie byla spotřebovaná uživatelem kogenerační jednotky.

Mikrokogenerace je v současné době na svém počátku a dá se předpokládat další její velký nárůst jak v průmyslovém odvětví, tak i v domácnostech. Pro větší výkony v řádech desítek kW tepelné i elektrické energie je již na trhu velké množství prověřených jednotek. Je mnoho zákazníků, kteří o této technologii ještě neví nebo mají strach z jejího zavedení ve svých provozech. Důvodem strachu je především neznalost této technologie a také její minimální instalace, a tudíž nízké reference. Současný vývoj mikrokogeneračních jednotek se zaměřuje především na malé rodinné domy, kde je odběr tepla velice nízký a navíc pouze v zimních měsících.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KRBEK, Jaroslav a POLESNÝ, Bohumil. *Kogenerační jednotky zřizování a provoz*. 1. vyd. Praha 2007: GAS s.r.o., ISBN 978-80-7328-151-9
- [2] <http://kogenerace.tedom.com>
- [3] <http://www.tenergoteam.cz/princip-kogenerace>
- [4] <http://www.mikroturbina.cz/mikroturbina.htm>
- [5] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>
- [6] <http://www.karlaenergize.com/cz/o-kogeneraci/vyhody-kogenerace>
- [7] <http://www.strom-heizung-warmwasser.de/cms-einbaubeispiel/>
- [8] [http://www.pbsenergo.cz/vyrobn-program/turbiny/parni-turbiny/protitlakove-turbiny-stg-i-a-stg-ii-\(do-7-mw\)](http://www.pbsenergo.cz/vyrobn-program/turbiny/parni-turbiny/protitlakove-turbiny-stg-i-a-stg-ii-(do-7-mw))
- [9] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogeneracni-jednotka-s-elektrickou-ucinnosti-47-utopie>
- [10] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/volba-vhodne-kogeneracni-jednotky-na-bioplyn>
- [11] http://cs.wikipedia.org/wiki/Stirlingův_motor
- [12] <http://www.stirlingenergy.cz/obsah/mikrokogeneracni-jednotka-cleanergy-9-kwe>
- [13] <http://stirlingmotor.cz/princip.html>
- [14] <http://ggcenergy.cz/produkty#c30>
- [15] <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/kombinovana-vyroba-elektřiny-a-tepla>
- [16] <http://www.senertec.de/index.php?id=1&L=1>