

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Problematika kombinované výroby elektřiny a tepla

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. René Neděla

Autor práce: Filip Bláha

Praha 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Bláha

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Problematika kombinované výroby elektřiny a tepla

Název anglicky

Combined heat and power production

Cíle práce

Cílem práce je zmapovat problematiku kombinované výroby elektřiny a tepla a ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.

Metodika

Studium odborné literatury. Sběr statistických dat. Tvorba ekonomických a technických modelů.

Doporučený rozsah práce

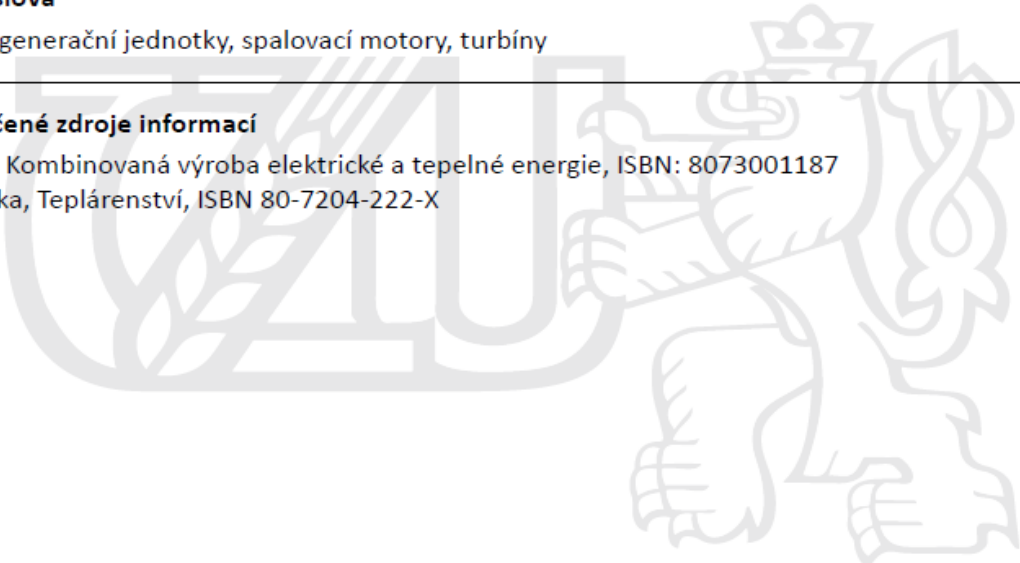
35 str.

Klíčová slova

KVET, kogenerační jednotky, spalovací motory, turbíny

Doporučené zdroje informací

Dvorský, Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, ISBN: 8073001187
Kadrnožka, Teplárenství, ISBN 80-7204-222-X



Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. René Neděla

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Problematika kombinované výroby elektřiny a tepla vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31. 3. 2017

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Renému Nedělovi za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Abstrakt: Předmětem předkládané práce je zmapovat problematiku kombinované výroby elektřiny a tepla. Práce obeznámuje s výhodami KVET a oblastmi, kde se využívají. Dále se práce zabývá rozborem jednotlivých technologií, jejich principem fungování a porovnání mezi sebou. Hlavním cílem práce, kterým se zabývá závěrečná kapitola je navrhnout konkrétní kogenerační jednotku pro určitý objekt a ekonomicky zhodnotit tento projekt.

Klíčová slova: KVET, kogenerační jednotky, spalovací motory, turbíny

Combined heat and power production

Summary: The aim of my bachelor work is to map the combined problem of electricity and heat. My work is about advantages of KVET and areas, where are used. Furthermore, the work deals with the analysis of technologies, their principle of operation and the comparison between them. The main aim of my work is to design a specific cogeneration unit for a specific object and evaluate this project economically.

Key words: KVET, cogeneration units, combustion engines, turbines

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Metodika práce	3
4	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla	4
4.1	Trigenerace.....	4
4.2	Výhody kogenerace.....	5
4.3	Využití kogeneračních jednotek.....	6
4.4	Legislativa KVET v ČR.....	7
4.5	Rozdělení KJ podle výkonnosti	7
5	Druhy kogeneračních technologií	8
5.1	Parní turbíny.....	8
5.1.1	Parní turbína protitlaková	8
5.1.2	Kondenzační parní turbína s odběrem páry pro dodávku tepla odběrateli	9
5.2	Spalovací turbíny	9
5.2.1	Spalovací turbíny průmyslového typu	10
5.2.2	Spalovací turbíny odvozené z leteckých proudových motorů	10
5.3	Mikroturbíny	11
5.4	Plynové spalovací motory	11
5.5	Paroplynová zařízení.....	13
5.6	Palivové články	14
5.7	Stirlingův motor	15
6	Porovnání kogeneračních technologií	17
7	Analýza spotřeby energie a tepla v konkrétním rodinném domě	21
7.1	Seznam spotřebičů	21
7.2	Půdorys místností a rozmístění přímotopů.....	22
7.3	Spotřeba elektrické energie	23
7.4	Cena elektrické energie	24
7.5	Vytápění rodinného domu křbovými kamny	26
8	Návrh praktického řešení	27
8.1	Elektrický výkon	27
8.2	Tepelný výkon.....	28
8.3	Návrh teplovodního topení.....	28
8.4	Návrh konkrétního typu KJ.....	29

8.4.1	Mikrokogenerační jednotka XRGI 15	30
8.5	Ekonomické zhodnocení	33
9	Závěr	35
10	Seznam použitých zdrojů	36
	Seznam obrázků	37
	Seznam tabulek	38
	Seznam grafů	39

1 Úvod

Předkládaná bakalářská práce se věnuje problematice kombinované výroby elektřiny a tepla a využití kogeneračních jednotek v současné době. Cena i spotřeba primárních zdrojů má stoupající tendenci a snahou je co nejvíce zvýšit účinnost technologických zařízení, aby těchto zdrojů bylo maximálně využíváno. Jedním ze směrů, jak tohoto cíle dosáhnout, je aplikování právě kogeneračních jednotek.

Práce je rozdělena do desíti základních kapitol včetně úvodu, závěru a seznamu použitých zdrojů. Po úvodu je nastíněn cíl práce a zvolená metodika. Následuje čtvrtá kapitola, která seznamuje s principem kogenerace, popisuje výhody, využití a rozdělení kogeneračních jednotek dle výkonnosti

Pátá kapitola pojednává o kogeneračních technologiích napříč celým spektrem od parních turbín až po nejmodernější Stirlingův motor. Je zde popsán princip funkce jednotlivých zařízení včetně schémat.

Následující šestá kapitola porovnává zmiňované technologie a seznamuje s jednotlivými výhodami a nevýhodami. Na závěr kapitoly je tabulka s užitečnými technickými parametry.

Sedmá kapitola se zabývá praktickou částí této bakalářské práce. Seznamuje s vybraným objektem pro návrh kogenerační jednotky. Analyzuje dlouholetou spotřebu elektrické energie a fosilních paliv včetně nákladů v daném objektu.

Následuje kapitola osmá, ve které jsou zjišťovány potřebné parametry pro výběr konkrétní kogenerační jednotky. Je zde také navržen jiný systém vytápění. Následně ze zjištěných údajů je navržena konkrétní kogenerační jednotka. Závěrem této kapitoly je ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.

2 Cíl práce

Cílem předkládané bakalářské práce je obeznámit čtenáře s principem kombinované výroby elektřiny a tepla, informovat o tom, z jakých pohledů je tento proces výhodný, ve kterých oblastech má uplatnění a jaké má přínosy. Dále si klade za úkol rozebrat a popsat funkce jednotlivých technologií používaných se v odvětví kogenerace a zároveň tyto technologie porovnat. Hlavním cílem je pak navržení kogenerační jednotky pro vybraný objekt s určitou spotřebou energie a následné zhodnocení a posouzení toho, zda se jedná o efektivní investici.

Hlavní cíle:

- navrhnout řešení s kogenerační jednotkou pro vybraný objekt
- ekonomicky zhodnotit navrhované řešení

Dílčí cíle:

- zmapovat problematiku kombinované výroby elektřiny a tepla
- rozbor technologií KVET
- porovnání technologií

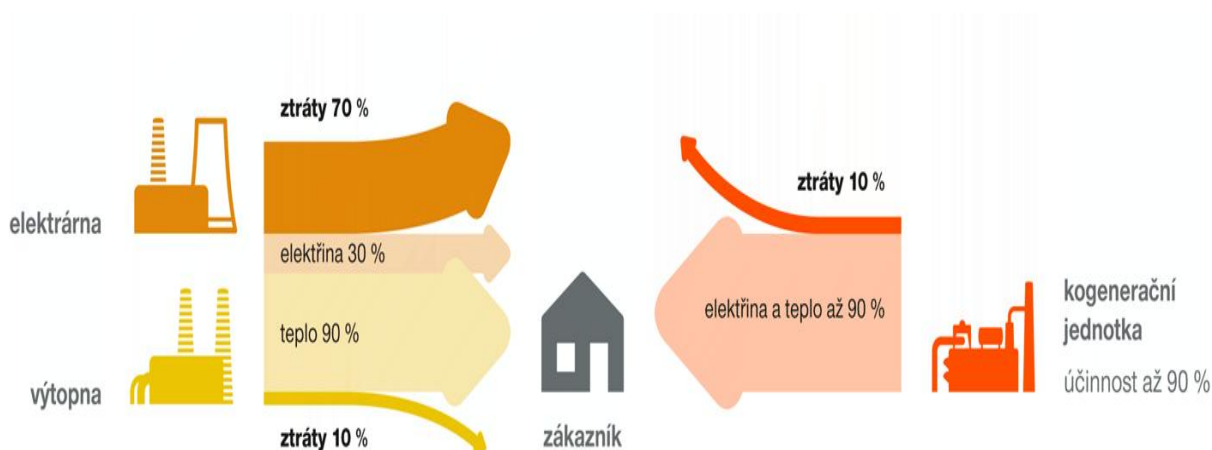
3 Metodika práce

V první části bakalářské práce, která se týká teoretického rozboru dané problematiky a seznámení s technologiemi, jsou informace čerpány převážně z odborné literatury a webových portálů, zabývajících se kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. Velice důležitým zdrojem byla odborná literatura: „*Kogenerační jednotky – zřízení a provoz, KRBEK, POLESNÝ*“. Z webových zdrojů bych zmínil portál společnosti TEDOM, kde je také velké množství užitečných informací.

V druhé praktické části je zkoumána dlouhodobá spotřeba energie konkrétního objektu, v tomto případě rodinného domu. Na základě spotřeby energie je navržena nejvhodnější kogenerační jednotka pro instalaci. Pro posouzení efektivity z finančního hlediska je zhotoven kalkulátor, který po zadání vstupních dat spočítá potřebné údaje.

4 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET), neboli kogenerace, označuje děj, při kterém je vyráběna elektrická energie. Současně je využíváno odpadní teplo vzniklé při tomto procesu. Vzniklé teplo slouží například pro vytápění určitého objektu, výrobu teplé vody, nebo jeho uplatnění lze najít i v technologickém využití. Jedná se o nejúčinnější způsob, jak zužít teplo z primárního zdroje, které vzniká při výrobě elektřiny. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla v jediném zařízení se vyznačuje velikou mírou využití vstupujícího primárního paliva. Porovnání dodávky tepla a elektřiny ze dvou oddělených míst (výtopna, elektrárna) a z jediného místa s kogenerační jednotkou (KJ) zobrazeno na obrázku č. 1 ukazuje snížení energetických ztrát při výrobě.



Obrázek 1 - Srovnání výroby s KJ a bez KJ [12]

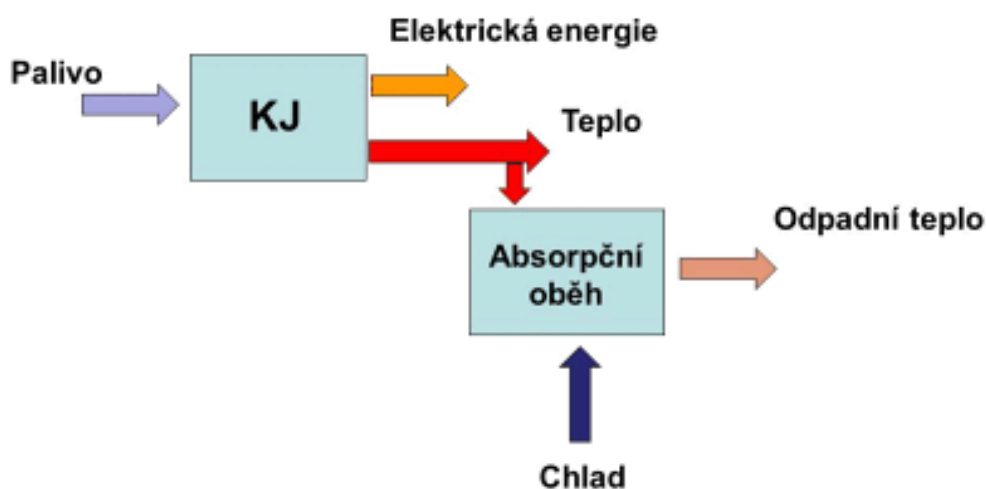
Množství tepla, které je při samostatné výrobě elektřiny v konvenčních zdrojích bez užitku vypouštěno pomocí chladících věží do ovzduší, je při kombinované výrobě využito. Představuje to velmi vysoké zvýšení celkové účinnosti energetického procesu. U moderních technologií kogenerace tato účinnost často přesahuje 90%. Pro srovnání, u klasických zdrojů se účinnost využití energie paliva pohybuje v rozmezí 30% – 40%. Kogenerační jednotky využívají různých druhů paliv, mimo jiné zemní plyn, uhlí, biomasu, topné oleje a další. [1,2,3,4]

4.1 Trigenerace

S kogenerací souvisí i pojem trigenerace. Trigenerace označuje kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu. Z technologického hlediska se jedná o spojení kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou. Výhodou tohoto systému je využití i v letních měsících mimo

topnou sezonu a s tím spojené prodloužení ročního chodu zařízení. Zobrazení energetických toků v trigenerační jednotce je znázorněno na obrázku č. 2.

Nevyužité teplo v letních měsících velmi často vede k pořízení kogenerační jednotky s menším výkonem, než jaký by byl adekvátní. Trigenerační jednotky ovšem dokážou teplo přeměnit na chlad a nic tedy nebrání tomu, aby zařízení pracovalo naplno i v létě. Vyrobený chlad najde uplatnění všude tam, kde je zapotřebí klimatizace. Charakteristickým rysem trigenerační jednotky je výroba tepla v zimních měsících a výroba chladu v letních měsících. Zároveň je možná výroba všech tří složek energie najednou: elektrické energie, tepla a chladu. [5,13]



Obrázek 2 - Zobrazení energetických toků v trigenerační jednotce [5]

4.2 Výhody kogenerace

Mezi hlavní a nejdůležitější výhody kombinované výroby elektřiny a tepla patří vysoká účinnost využití energie obsažené v palivu pro pohon kogenerační jednotky a s tím i spojená nemalá finanční úspora. Další podstatnou výhodou je fakt, že díky velkému výkonovému rozsahu kogeneračních jednotek je jejich uplatnění jak v menších objektech, například rodinných či bytových domech, tak i ve velkých objektech typu tepláren a podobně. V případě kombinované výroby taktéž dochází ke snížení nebo úplnému odstranění tepelných a elektrických ztrát, které jsou spojené s přenosem a distribucí elektřiny a tepla.

Kogenerace přináší spousty výhod, mezi které patří:

- velké využití primárního paliva
- účinnost

- snížení emisí skleníkových plynů
- šetrnost k životnímu prostředí
- snížení nákladů na výrobu elektřiny a tepla
- odstranění ztrát při distribuci elektřiny a tepla
- zvýšení zabezpečení dodávek energie v určité lokalitě
- regulace výroby tepla a elektřiny podle požadavků uživatele

Nevýhodou kogeneračních jednotek jsou velmi vysoké náklady spojené s jejich pořízením, dále pak návratnost finančních prostředků zejména v malých objektech s malou spotřebou energie. Návratnost finančních prostředků je závislá především na množství vyrobeného tepla a jeho využití. Další nevýhodou je hlučnost kogenerační jednotky při chodu. [1,2,3,4]

4.3 Využití kogeneračních jednotek

Kogenerace má uplatnění ve všech objektech, kde jsou kladeny větší nároky na odběr tepla, případně chladu. Nezbytným předpokladem pro instalaci tohoto zařízení je využití veškerého vyrobeného tepla. Oblasti uplatnění této technologie jsou například:

Městské tepelné zdroje napojené na centrální zásobování teplem – předpokladem je dostatečná poptávka po odběru tepla v dané oblasti a snadné napojení na zdroj paliva.

Hotely, internáty, ubytovny – které mají větší odběr elektřiny a tepla. Předpokladem pro zavedení KJ je také celoroční odběr teplé užitkové vody (TUV), případně provoz relaxačních zařízení jako jsou bazény, sauny a další, kde je teplo využíváno celoročně. Zde se uplatňují kogenerační jednotky se spalovacími motory.

Nemocnice – mají stabilní a rovnoměrnou poptávku po teple a elektrické energii. Zejména v letních měsících se zde uplatňují i trigenerační jednotky. V nemocnicích se instalují zejména jednotky s plynovými spalovacími motory, které zároveň mohou sloužit jako záložní zdroje elektřiny v případě výpadku proudu.

Školy, obchodní domy, administrativní budovy, sportovní zařízení – mají velký odběr tepla v době topné sezony, ale minimální v létě. Charakteristické pro zmíněné objekty je rovněž malá potřeba TUV. Postupně se zde čím dál více uplatňují trigenerační jednotky pro chod klimatizací.

Průmyslové podniky – obvykle pro podniky, které mají vícesměnný provoz. Teplo z KJ se používá pro technologické provozy. Vyrobená elektřina slouží pro částečné pokrytí elektrické energie spotřebované v podniku.

Rodinné domy – takovéto objekty mají poměrně malou a nestabilní spotřebu tepla a elektrické energie. Instalace KJ do rodinných domů je často ekonomicky nevýhodná.

Čistírny odpadních vod – elektřina zde vyrobená slouží pro samostatný chod čistírny. Teplo ohřívá čistírenský kal. Tyto zařízení používají spalovací motory nebo spalovací turbíny na spalování kalového plynu, který vzniká při čištění odpadních vod. [6]

4.4 Legislativa KVET v ČR

Kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (KVET) podporuje zákon o podporovaných zdrojích č. 165/2012 Sb. Zákon obsahuje přesnou definici KVET: „*Kombinovanou výrobou elektřiny a tepla se rozumí přeměna primární energie na energii elektrickou a užitečné teplo ve společném současně probíhajícím procesu v jednom výrobním zařízení.*“ [4]

Zařízení, na které se vztahuje potřebné osvědčení o původu vyrobené elektrické energie, musí dosahovat alespoň 10% úspory primárního vstupujícího paliva oproti konvenční výrobě elektřiny a tepla. [4]

4.5 Rozdělení KJ podle výkonnosti

Mikrokogenerační jednotky s výkonem do 50 kWe – takovéto jednotky nachází uplatnění v menších objektech, jako jsou například rodinné domy. Slouží k pokrytí vlastní spotřeby elektrické energie a současně pro vytápění objektu a ohřev vody.

Mini-kogenerační jednotky s výkonem 50 – 150 kWe – jedná se o výkonově střední třídu kogeneračních zařízení. Jednotky s takovými výkony se využívají u větších objektů, jako jsou například hotely nebo nemocnice. Pro efektivní využití jednotky je předpokladem trvalý odběr energií.

Kogenerační jednotky s výkonem nad 150 kWe – takto výkonné jednotky se instalují pouze do velmi velkých objektů, uplatnění nacházejí zejména v teplárnách či průmyslových podnicích. [1,2,3]

5 Druhy kogeneračních technologií

V posledních letech zaznamenaly kogenerační jednotky velký vývoj. Tento vývoj má za následek vznik různých druhů kogeneračních zařízení. Tyto jednotky umožňují instalaci přesně podle požadavků odběratelů energií. Navíc v dnešní době je snadnější investování a provoz kogeneračních jednotek, než tomu bylo dříve a to díky legislativním opatřením. Každé kogenerační zařízení se neobejde bez těchto částí: motoru, kotle, elektrického alternátoru, na kterém je zařízení pro připojení na veřejnou a spotřebitelskou síť, kontrolního a řídicího systému. [1,2]

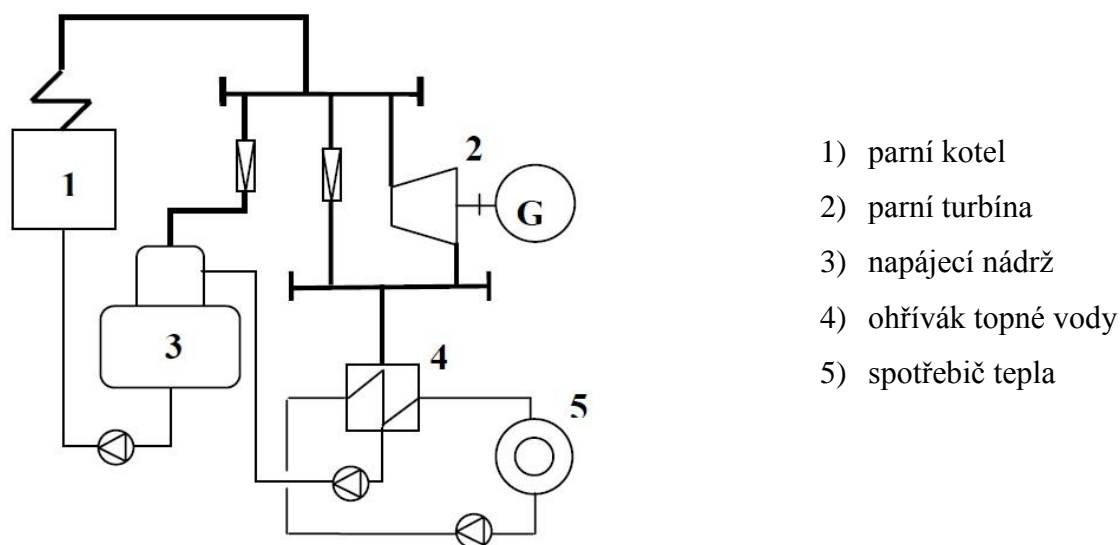
5.1 Parní turbíny

Jedná se o jeden z nejstarších typů motorů používajících se pro průmyslové kogenerační zařízení. Parní turbínu jako motor lze zapojit dvěma způsoby.

5.1.1 Parní turbína protitlaková

Jedná se o zapojení, které bylo v minulosti používáno nejčastěji. Kotel dodává do turbíny páru o vysokém tlaku, pára zde expanduje a vytvoří mechanickou energii, která pohání elektrický alternátor. Výkon turbíny je závislý na množství expandující páry a na kvalitě dodávaného tepla. Toto teplo se řídí tlakem páry vystupující z turbíny. Schéma zapojení protitlakové parní turbíny je znázorněno na obrázku č. 3.

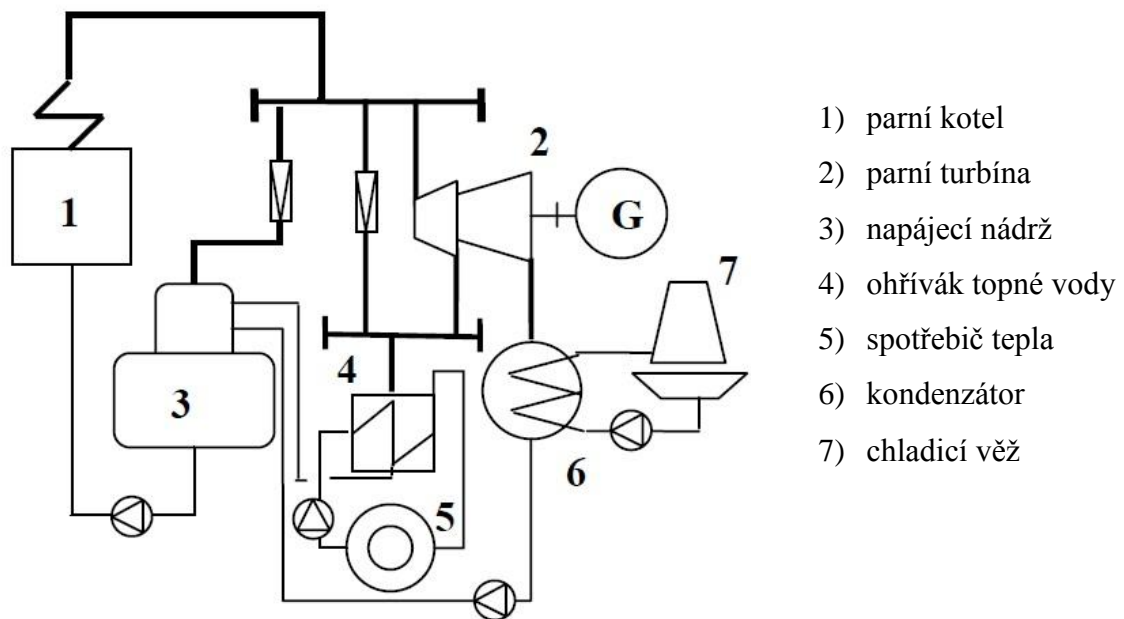
Zřízení takového zařízení je finančně náročné, jelikož jsou kladeny požadavky na vysokou teplotu a vysoký tlak používané páry a je zde komplikované uspořádání kotlů a celé tepelné centrály. [1,2]



Obrázek 3 - Schéma zapojení protitlakové parní turbíny [1]

5.1.2 Kondenzační parní turbína s odběrem páry pro dodávku tepla odběrateli

V těchto turbínách, jak už napovídá název, je kondenzátor, do kterého je vedena pára z výstupu turbíny. Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku č. 4. Tato pára bývá využita pro průmyslové a topné účely, nikoliv však pro kogenerační. Použití kondenzačních turbín dává smysl jen za určitých podmínek. [1,2]

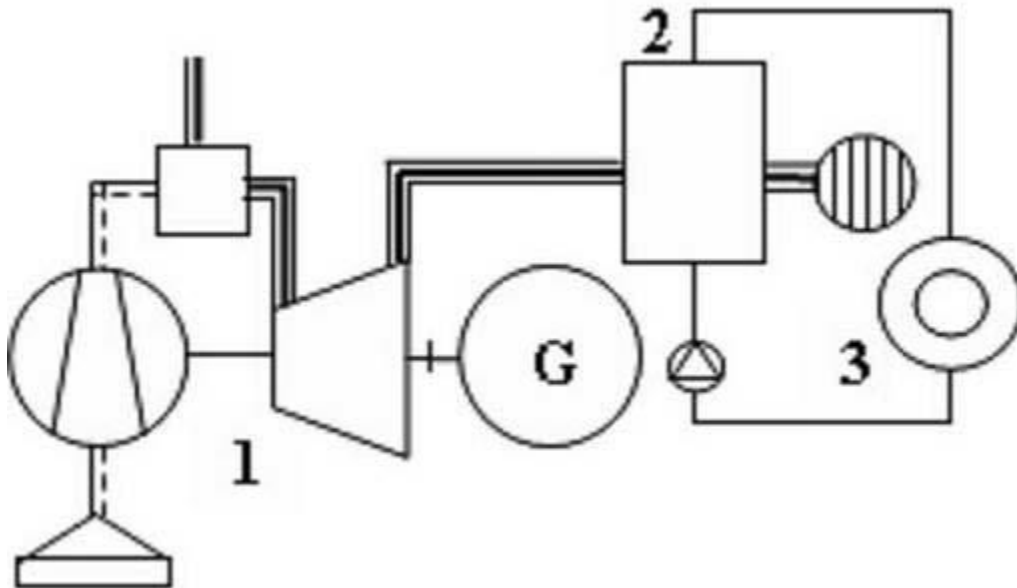


Obrázek 4 - Schéma zapojení kondenzační parní turbíny [1]

5.2 Spalovací turbíny

Systém se spalovací turbínou je vhodné použít v objektech, kde je požadován výkon nad 10 MW. Jelikož se jedná o velmi hlučná zařízení, je nutné používat protihlukové bariéry. Základem spalovacích turbín jsou plynové turbíny, kompresor, spalovací komora, elektrický generátor a další pomocná zařízení. Spalovací turbína pracuje tak, že kompresor, který je poháněn plynovou turbínou nasaje vzduch z atmosféry a stlačuje ho na požadovaný tlak. Tento stlačený vzduch proudí do spalovací komory, kde se v jeho proudu při zachování stejného tlaku spaluje palivo. Tím vznikají spaliny, které mají vysokou teplotu a vysoký tlak. Takto vzniklé spaliny poté expandují v plynové turbíně a následně jsou odváděny do atmosféry. Díky přebytku výkonu je poháněn elektrický generátor. Tepelná účinnost spalovací turbíny je závislá na teplotě spalin, které jsou na výstupu ze spalovací komory. Schéma zapojení spalovací turbíny je znázorněno na obrázku č. 5.

Nejvhodnějším a nejpoužívanějším palivem je zemní plyn. Výkon spalovacích turbín se pohybuje v rozsahu 250 kW až 300 MW. Tyto stroje jsou díky dlouhodobému vývoji velmi spolehlivé a kompaktní a zároveň se řadí mezi nejšetrnější energetické zařízení využívající přírodní paliva vzhledem k životnímu prostředí. [1,2]



Obrázek 5 - Princip kogeneračního zapojení spalovací turbíny [1]

- 1) spalovací turbína
- 2) kotel na odpadní teplo
- 3) spotřebič tepla

5.2.1 Spalovací turbíny průmyslového typu

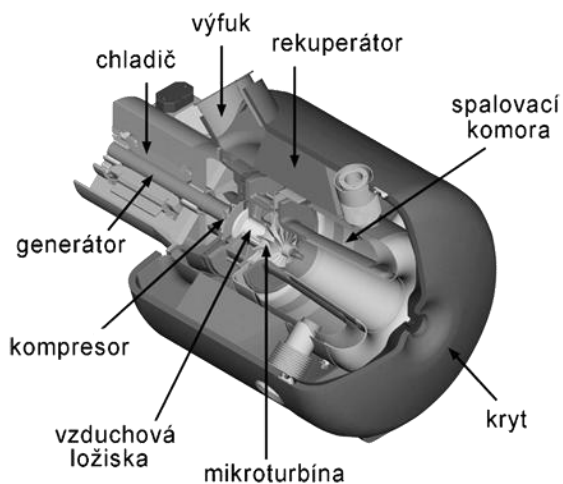
Konstrukce tohoto typu turbín je velmi mohutná. Obvykle se vyrábí jako jednohřídelové o různých výkonnostech, počínaje zařízením s výkonem v řádu jednotek megawatt až po velké turbíny s výkonem v řádu až stovek megawatt. Teploty spalin na výstupu ze spalovací komory se pohybují v rozmezí 950 – 1250 °C. Tlak za kompresorem obvykle bývá 0,6 – 1,2 MPa. [1,2]

5.2.2 Spalovací turbíny odvozené z leteckých proudových motorů

Spalovací turbíny vychází z leteckých proudových motorů. Jsou doplněny výkonovou plynovou turbínou, která je napojena na elektrický generátor. Teploty spalin na výstupu ze spalovací komory dosahují až 1380°C. Tlak za kompresorem dosahuje kolem 4 MPa. Vyrábí se zpravidla dvouhřídelové někdy i tříhřídelové. [1,2]

5.3 Mikroturbíny

Mikroturbíny se začaly vyrábět z toho důvodu, že spalovací turbíny s výkonem menším než 1MW jsou z ekonomického hlediska ztrátové. Mikroturbíny se vyrábí ve výkonovém rozsahu od 25 kW až po 250 kW. Jedná se o malé kompaktní stroje pracující na vysokých otáčkách, skládajících se z kompresoru, spalovací komory, regeneračního výměníku, turbíny a generátoru. Všechny mikroturbíny jsou konstruovány jednohřídelově a jejich výkon se převádí do sítě pomocí frekvenčního měniče. Palivem bývá nejčastěji zemní plyn, méně používaná paliva jsou například benzín, nafta nebo jiná vysoce výhřevná čistá paliva. V kogeneraci se mikroturbíny zapojují podobným způsobem, jako malé spalovací turbíny. Dodávku tepla je nejvhodnější provést pomocí horké nebo teplé vody. V porovnání se spalovacími motory jsou mikroturbíny menší a nižší jsou i jejich investiční náklady a náklady na údržbu. Na obrázku č. 6 je zobrazen řez mikroturbínou. [1,2,10]



Obrázek 6 - Řez mikroturbínou [10]

5.4 Plynové spalovací motory

Spalovací motor je tepelný stroj pohánějící elektrický generátor. Současně však produkuje odpadní teplo (z chladicí vody motoru, chlazení oleje a teplo výfukových plynů), které je nejvhodnější využít pro ohřev topné vody. Chlazení oleje se provádí pomocí vodního chladicího okruhu, ze kterého je teplo odváděno topnou vodou. Ohřev této topné vody může být udělán nanejvýš na teplotu, která nepřesáhne 80 °C. Jestliže je primární okruh proveden

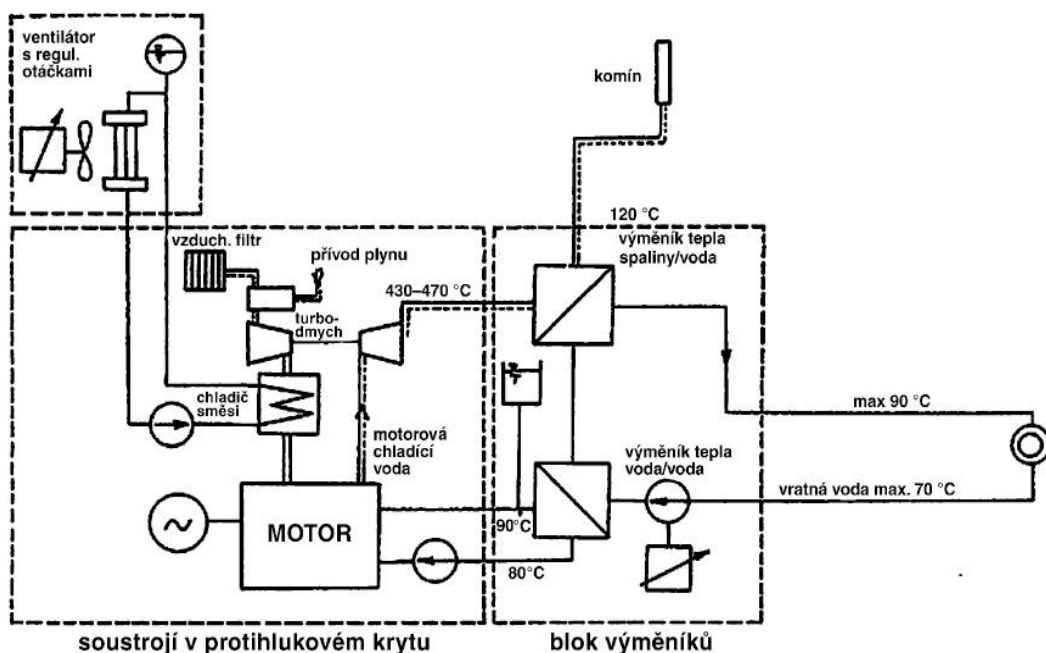
jako tlakový a současně se ve zvláštním výměníku využívá chladící teplo bloku motoru a hlav válců, výstupní teplota topné vody může dosahovat až 110 °C.

Tepelná energie se tvoří pomocí výměníků. Základní výměníky u kogeneračních jednotek, používajících spalovací motory, jsou výměník motorového okruhu a spalínový výměník. V případě spalínového výměníku se používá výměník trubkový, kde spaliny proudící uvnitř trubek předávají svou tepelnou energii otopené vodě. Schéma zapojení spalovacích motorů v kogeneraci je znázorněno na obrázku č. 7.

Velmi důležitou funkci mají plynové spalovací motory v bioplynových stanicích. Zde se využívá motorů výkonové řady 250 – 1000 kW spalující bioplyn. Instalace se dále provádí na místech, kde je potřeba menšího instalovaného výkonu (nemocnice, hotely, atd.). Palivem pro tyto jednotky bývá nejčastěji zemní plyn, bioplyn nebo důlní plyn. Spalovací motory pro kogenerační účely se vyrábí v rozmezí výkonů od 200 kW po 5 MW. Ve srovnání s plynovou spalovací turbínou má KJ se spalovacím motorem výrazně vyšší emise Nox (oxid dusíku). [1,2]

Dodávané teplo je formou:

- teplé vody
- horké vody
- páry

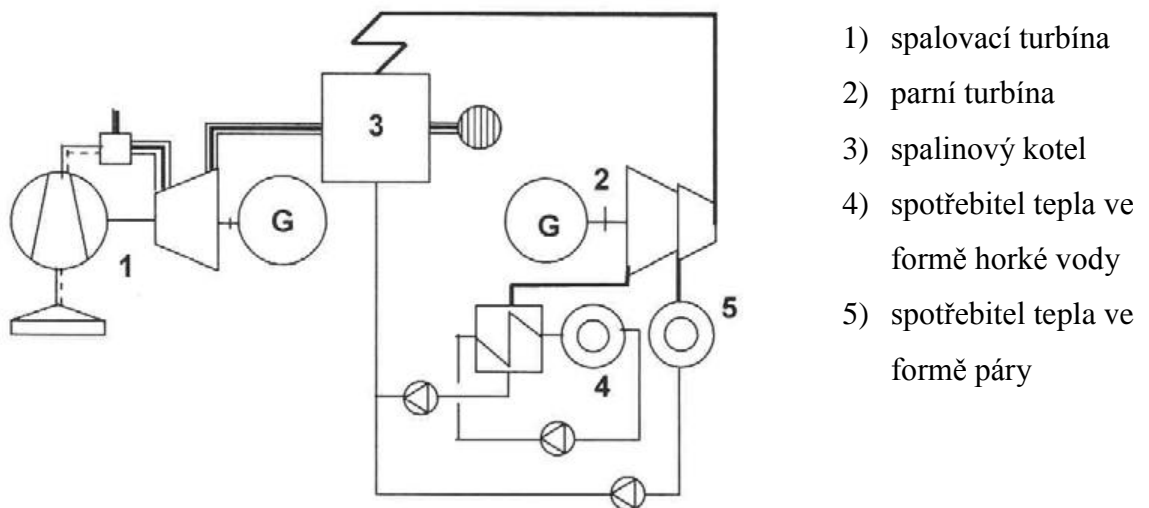


Obrázek 7 - Schéma zapojení spalovacích motorů pro kogenerační účely [14]

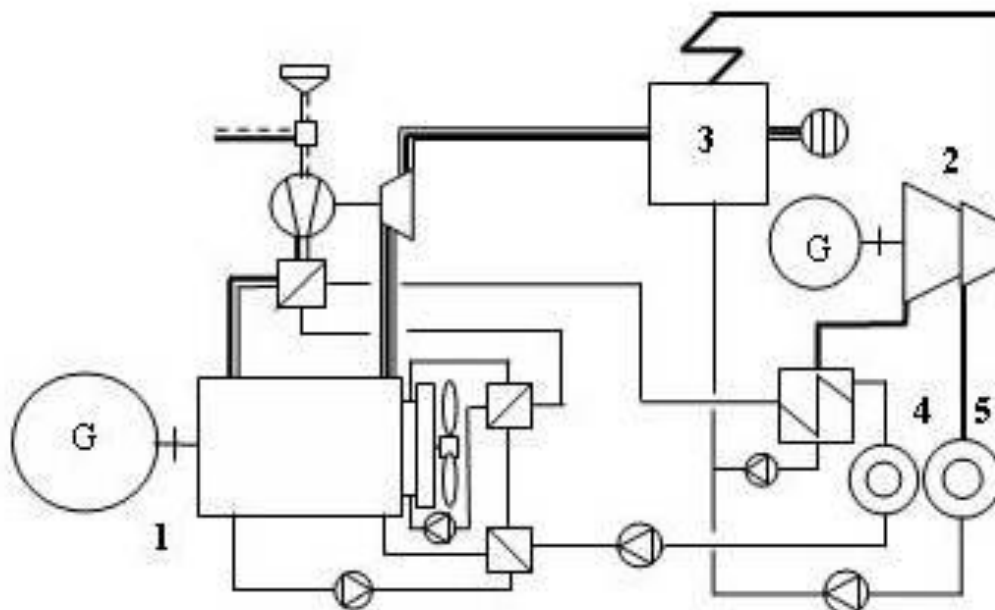
5.5 Paroplynová zařízení

Paroplynové zařízení je kombinace parní a spalovací turbíny nebo spalovacího motoru uspořádaných v jeden celek. Lze je použít jak pro samostatnou výrobu elektrické energie, tak i pro kogenerační účely. V elektrárnách se paroplynová zařízení vyznačují velmi vysokou provozní pružností a nejvyšší účinností, která přesáhla 60%. Podobné vlastnosti mají i kogenerační bloky fungující právě na tomto principu, což je hlavním důvodem rozšíření paroplynových zařízení po celém světě. Velmi často se tyto zařízení instalují do nově postavených plynových tepláren.

Kogenerační paroplynové zařízení se skládá ze soustrojí spalovací turbíny (schéma zapojení je na obrázku č. 8) nebo spalovacího pístového motoru (schéma zapojení je na obrázku č. 9), z parní turbíny včetně jejího příslušenství a z parního kotle. Palivo je nejprve spalováno ve spalovací komoře. Část energie se přemění na elektrickou a vzniklé teplo je použito v parním okruhu. Parní kotel využívá odpadní teplo ze spalovací turbíny k výrobě páry, která dále pohání turbínu parní. Teplo se získává ze spalin produkovaných spalovací turbínou a z protitlaku parní turbíny. Tepelná energie, která zůstane nevyužita v parním okruhu, slouží jako užitková pro ohřev TUV nebo vytápění. Poměr výkonu spalovací a parní turbíny je dán poměrem dodávky paliva do spalovací komory turbíny a spalinového kotle. [1,2]



Obrázek 8 - Zapojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovací turbínou [1]



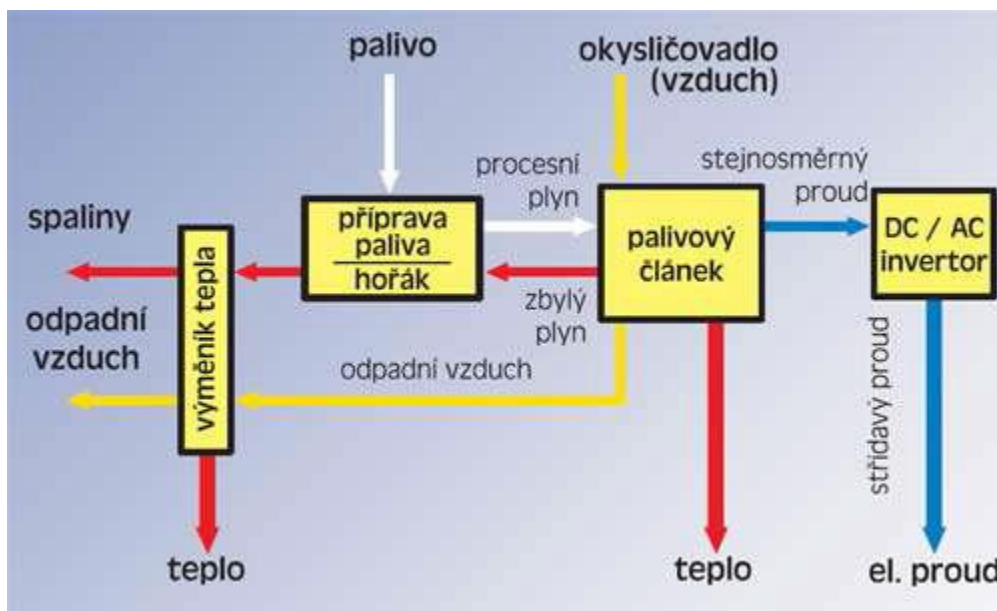
Obrázek 9 - Zapojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovacím motorem [1]

- 1) spalovací motor
- 2) parní turbína
- 3) spalínový kotel
- 4) spotřebitel tepla ve formě horké vody
- 5) spotřebitel tepla ve formě páry

5.6 Palivové články

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla prostřednictvím palivových článků využívá chemické reakce plynu a vzduchu uvnitř článku. Palivový článek je tvořen elektrodami a elektrolytem. Na katalytickém povrchu se plyn se vzduchem ionizuje, ionty procházejí elektrolytem k druhé elektrodě, uvolní se elektrony, které způsobí vznik elektrického proudu. Jedná se o přímou přeměnu energie obsažené v palivu na elektrickou energii. Tato přeměna není limitována termodynamickými principy jako v případě spalovacích motorů a dosahuje tak vyšší účinnosti. Ke kladným vlastnostem taktéž patří bezhlučný provoz a téměř nulová produkce škodlivých látek. Nejideálnějším palivem je vodík, který je ovšem velmi drahý a jeho získávání je obtížné. Proto vznikly palivové články, které jako palivo používají zemní plyn nebo jiný uhlovodíkový plyn. Palivové články pracují na opačném systému než elektrolýza a produktem procesu je tedy voda. Pro dodávku vyrobené elektřiny do sítě je

nutné ke článku připojit střídač, jelikož palivové články vyrábí stejnosměrný proud. Této technologie nebývá příliš využito, protože z finančního hlediska se jedná o velmi nákladnou záležitost. Princip kogenerační jednotky s palivovým článkem je znázorněn na obrázku č. 10. [1,2,4]

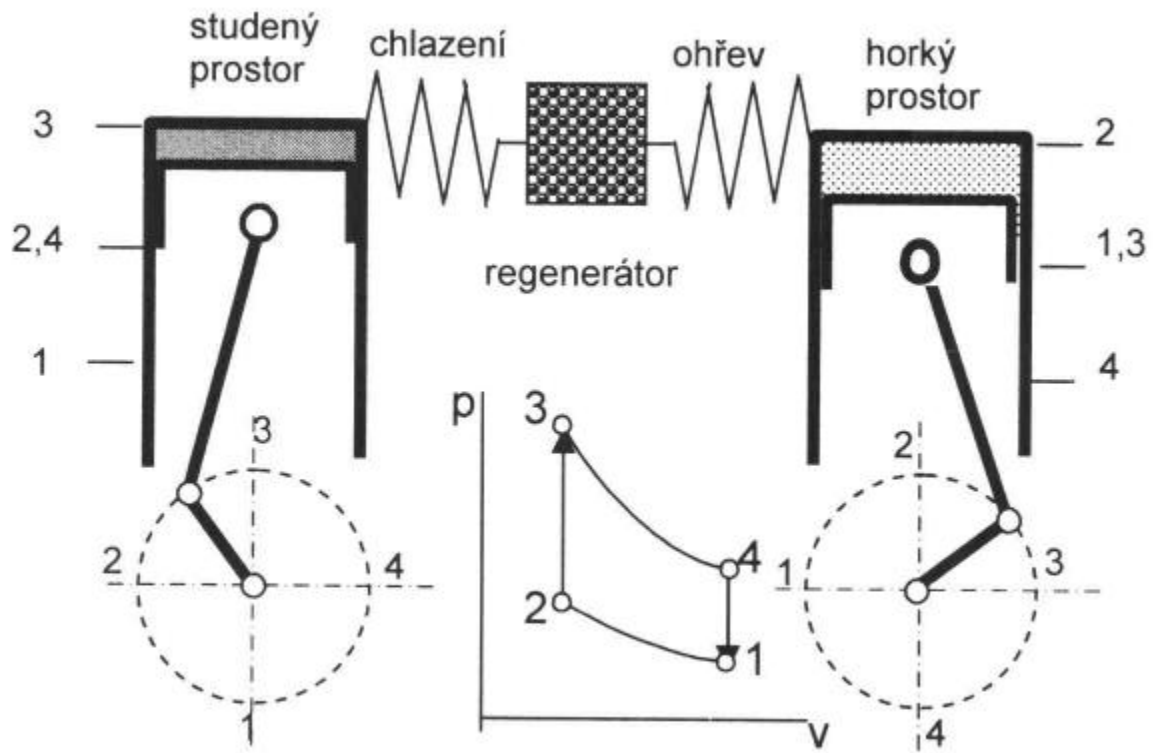


Obrázek 10 - Kogenerační jednotka s palivovým článkem [7]

5.7 Stirlingův motor

Stirlingův motor je tepelný stroj, který pracuje s cyklickým stlačováním a expanzí pracovního plynu. Jedná se o motor skládající se ze tří hlavních částí, kterými jsou horká komora, studená komora a regenerátor. Horkou a studenou komoru tvoří pracovní prostory levého a pravého válce. V komorách je plyn zahříván a ochlazován pomocí ohříváku a chladiče. Mezi nimi je regenerátor, ve kterém se hromadí tepelná energie jdoucí z ohříváku do chladiče nebo naopak. Princip Stirlingova motoru je založen na změně objemu, tlaku a teploty pracovního plynu, kterým v současné době bývá nejčastěji vodík nebo helium. Pracovní plyn přebírá energii získanou vnějším spalováním paliva, zahřátím se rozpíná a tlačí na píst. Tímto vyvolává přes klikovou hřídel otáčivý pohyb, který zapříčiní vznik elektrického proudu pomocí generátoru. Písty jsou ve vzájemné kinematické vazbě a jejich posuvem se mění pracovní objem, ve kterém je plyn uzavřen a současně dochází ke změně střední teploty a tlaku pracovního plynu zapříčiněné přesouváním plynu mezi horkou a studenou stranou motoru. Princip práce Stirlingova motoru je znázorněn na obrázku č. 11.

Stirlingův motor byl vynalezen jako konkurence parního stroje. V porovnání se zmíněným parním strojem má ovšem vyšší účinnost, která dosahuje až 40%, dále se vyznačuje tichým chodem a využívá téměř každý zdroj tepla. V současnosti se jejich význam zvyšuje a to především díky možnosti použití alternativních a obnovitelných zdrojů energie. [1,2,9]



Obrázek 11 - Princip práce Stirlingova motoru [1]

6 Porovnání kogeneračních technologií

Parní turbíny

Výhody:

- lze využívat libovolné palivo
- teplo lze dodávat v libovolné formě (horká voda, pára)
- velký rozsah jednotkových výkonů
- velká celková účinnost primárního zdroje
- dlouhá životnost

Nevýhody:

- malý poměr elektrického a tepelného výkonu
- velké investiční náklady
- obtížná realizace automatického provozu zdroje
- pomalé najíždění a změna výkonu
- složitost kogeneračního zařízení

Spalovací turbíny

Výhody:

- vysoká spolehlivost
- dlouhá životnost
- nízké investiční náklady
- rychlá instalace zařízení
- rychlé najíždění a změna výkonu
- nízká spotřeba vody
- možnost dodávky tepla ve všech požadovaných formách

Nevýhody:

- vysoké nároky na kvalitní a čisté palivo
- hlučnost
- v porovnání se spalovacími motory nižší účinnost
- při malých výkonech větší měrné investiční náklady

Mikroturbíny

Výhody:

- malé rozměry
- lépe využitelné v oblastech horké vody a chlazení
- velmi nízké emise
- malá hlučnost

Nevýhody:

- vysoké pořizovací náklady

Spalovací motory

Výhody:

- nízké investiční náklady
- velké rozmezí výkonů
- možnost využití více druhů paliv
- rychlé najetí na plné zatížení

Nevýhody:

- vysoké náklady na údržbu
- poměrně vysoká hlučnost
- musí se chladit

Paroplynová zařízení

Výhody:

- provozní pružnost
- vyšší výroba elektrické energie
- malé požadavky na prostor
- nižší investiční náklady ve srovnání s parními turbínami

Nevýhody:

- složitost zapojení

Palivové články

Výhody:

- minimální emise škodlivin
- bezhlučný provoz
- vysoká účinnost

Nevýhody:

- malá životnost
- vysoké pořizovací náklady

Stirlingův motor

Výhody:

- velká účinnost
- spolehlivost
- tichý chod
- šetrnost k životnímu prostředí
- životnost

Nevýhody:

- složitost
- vyšší měrná hmotnost
- technická náročnost
- vysoké finanční náklady na pořízení

[1,2]

Charakteristické vlastnosti základních druhů kogeneračních zařízení znázorňuje tabulka č. 1.

Pohonná jednotka	používané palivo	Rozsah výkonů (MWe)	Modul teplotěnské výroby elektřiny	elektrická účinnost	celková účinnost	forma tepla
Odběrová parní turbína	libovolné	5 - 300	0,2 - 0,4*)	10 - 30%	78 - 88%	NT pára, horká voda
Protitlaková parní turbína	libovolné	0,1 - 100	0,1 - 0,4	7 - 20%	75 - 88%	NT pára, horká voda
Spalovací turbína	zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování	1**) - 250	0,4 - 1,2	25 - 48%	75 - 90%	teplá voda, horká voda, NT i VT pára
Paroplynové zařízení	zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování	10 - 400	0,8 - 2	35 - 60%	85 - 90%	teplá voda, horká voda, NT i VT pára
Spalovací motor	zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování	0,01 - 10	0,5 - 1,1	25 - 45%	75 - 92%	teplá voda, horká voda, NT pára
Parní motor	biopaliva	0,02 - 1	0,1 - 0,3	10 - 25%	70 - 80%	teplá voda
Stirlingův motor	zemní plyn, biopalivo	0,001 - 0,03	0,3 - 0,7	20 - 40 %	70 - 85%	teplá voda

Tabulka 1- Porovnání kogeneračních zařízení [1]

*) Vztaženo jen na odběrovou páru

**) U mikroturbín 25 – 250 kW

7 Analýza spotřeby energie a tepla v konkrétním rodinném domě

Pro praktickou část mé bakalářské práce jsem si vybral rodinný dům svých příbuzných. Objekt se nachází na okraji obce Dublovice.

Jedná se o dvoupatrový rodinný domek, ve kterém bydlí čtyři lidé. Dům je postavený z cihel a zateplený polystyrénovými deskami. Součástí domu jsou samozřejmě nebytové prostory sloužící především ke skladování, jako je sklep, který slouží například ke skladování brambor a půda, kde se nachází nepotřebné věci. Vytápění je zde řešeno elektricky pomocí elektrických přímotopů a pomocí krbových kamen, nacházejících se v přízemí domu. Ohřívání vody je realizováno elektrickým bojlerem. Dům taktéž disponuje elektrickým sporákem. Plyn není do domu vůbec zaveden. Seznam všech spotřebičů je zaznamenán v následující kapitole.

7.1 Seznam spotřebičů

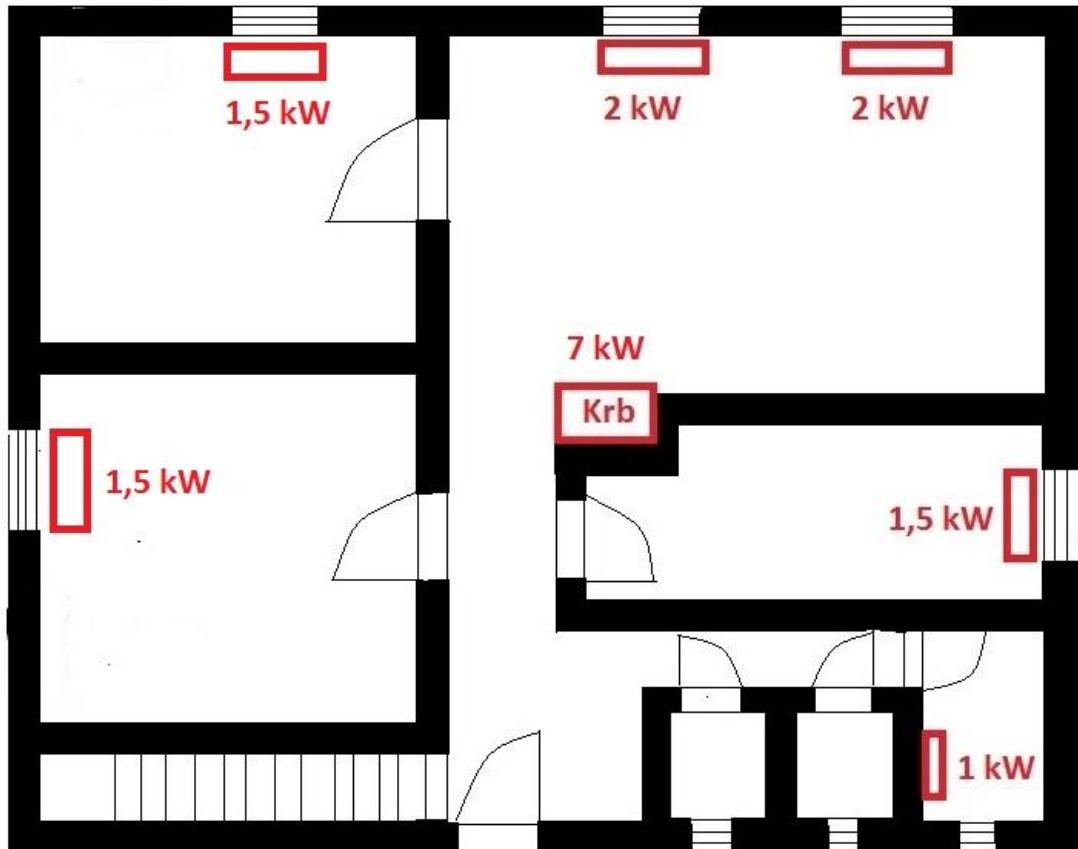
Jak již bylo zmíněno seznamem spotřebičů a jejich požadovaným příkonem se bude zabývat samostatná kapitola. Pro přehlednost je vytvořena následující tabulka č. 2, ve které jsou zaznamenány veškeré spotřebiče a jejich příkon. U položek osvětlení a vytápění je uváděna průměrná hodnota.

Spotřebič	Příkon [W]
Elektrické přímotopy	16500
Elektrický sporák	7800
2 x Notebook	100
Stolní PC	90
Lednička	140
Rychlovarná konvice	1700
Televize	100
Bojler	2200
Osvětlení	650
Pračka	2100
Myčka	2200
Mikrovlnná trouba	1200
Vysavač	750
Žehlička	900
Digestoř	150
Celkem:	36580

Tabulka 2 - Přehled spotřebičů

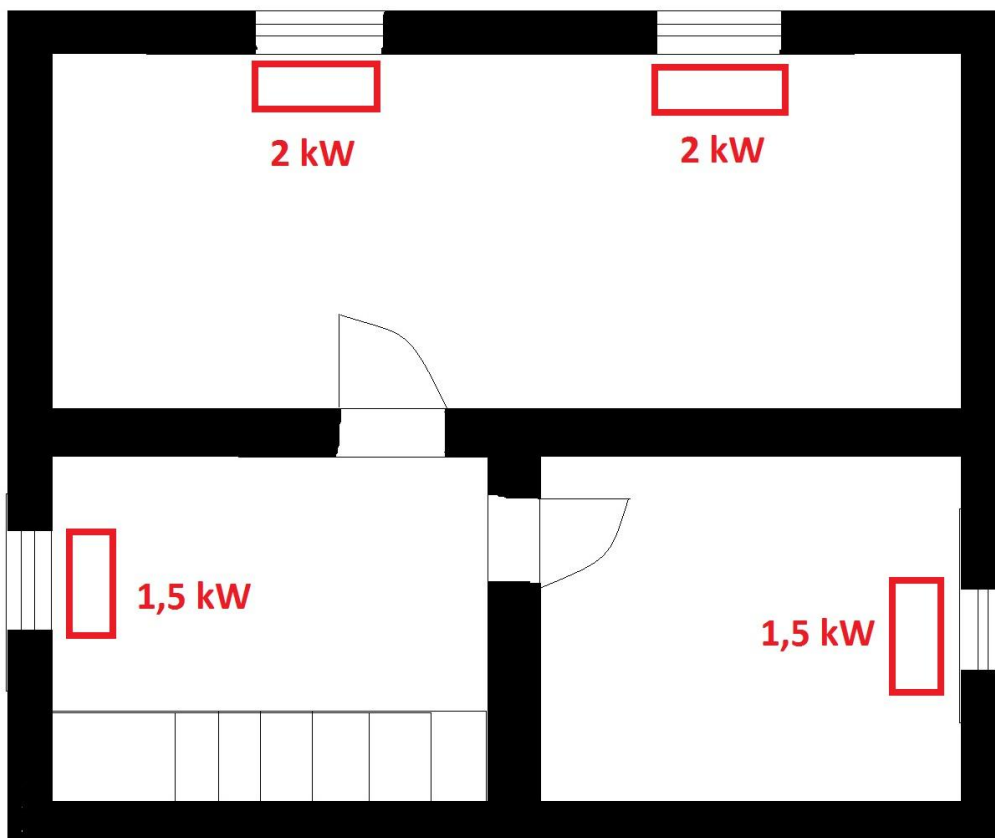
7.2 Půdorys místností a rozmístění přímotopů

Pro dobrou orientaci a přehlednost jsem zhotovil půdorys přízemí a prvního patra rodinného domku. V těchto návrzích jsem vyznačil všechny zdroje tepelné energie včetně jejich příkonu.



Obrázek 12 - Půdorys přízemí

V přízemí se ihned za hlavními dveřmi nachází schody, které vedou do prvního patra. Dále toto patro disponuje sociálním zařízením, spíží, která slouží ke skladování surovin, kuchyní, obývacím pokojem, dětským pokojem a ložnicí. Kromě elektrických přímotopů, jejichž příkon se pohybuje v rozmezí od 1 kW do 2 kW, jsou zde i krbová kamna, jejichž přibližný tepelný výkon je 7kW. Půdorys přízemí znázorňuje obrázek č. 12.

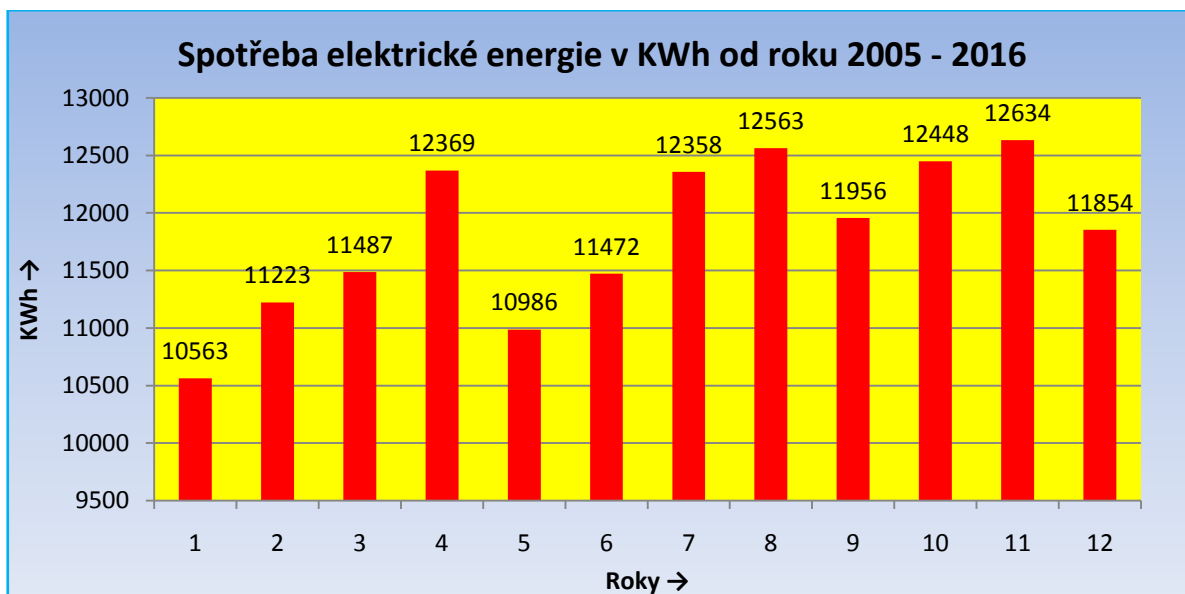


Obrázek 13 - Půdorys prvního patra

V prvním patře se nachází chodba, sociální zařízení, druhý dětský pokoj a velká místnost pro hosty, která je nejvíce využívána například při různých oslavách nebo rodinných sešlostech. Vytápění v tomto patře je řešeno pouze elektrickými přímotopy s příkonem od 1,5 kW po 2 kW. Půdorys prvního patra znázorňuje obrázek č. 13.

7.3 Spotřeba elektrické energie

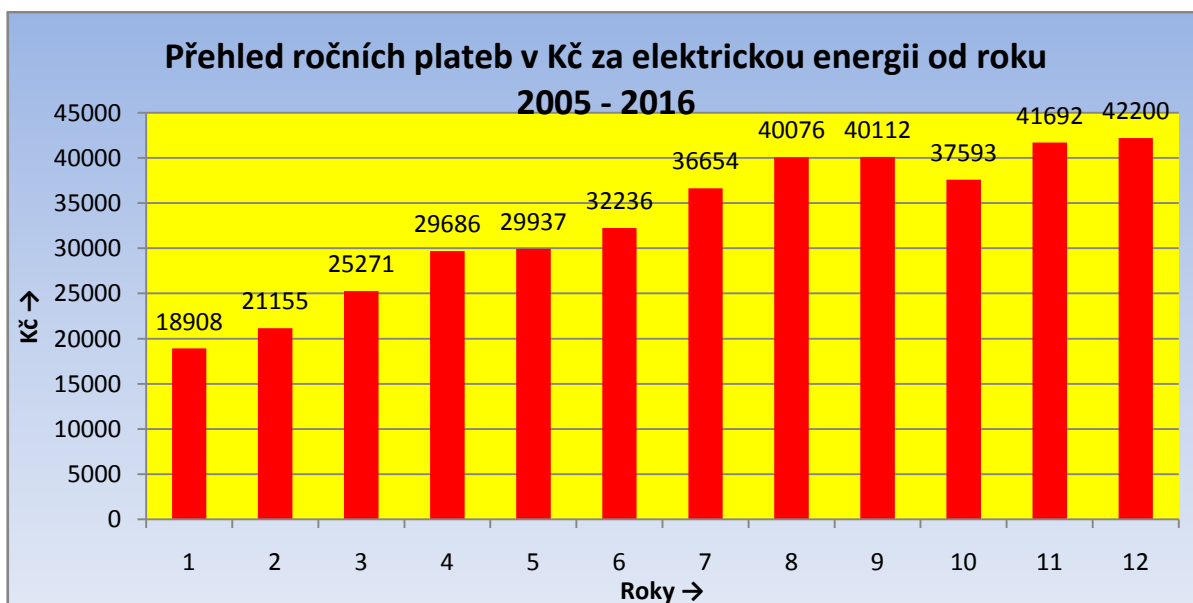
Nyní se zaměřím na celoroční spotřebu elektrické energie v daném objektu datovanou od roku 2005 do roku 2016. Údaje jsou zaznamenány v následujícím grafu č. 1, ze kterého lze vyčíst, že spotřeba elektrické energie je za poslední roky poměrně ustálená a pohybuje se v rozmezí 10,5 MWh po 12,7 MWh a tudíž lze říci, že roční spotřeba elektrické energie je celkem konstantní za poslední roky.



Graf 1 - Spotřeba elektrické energie

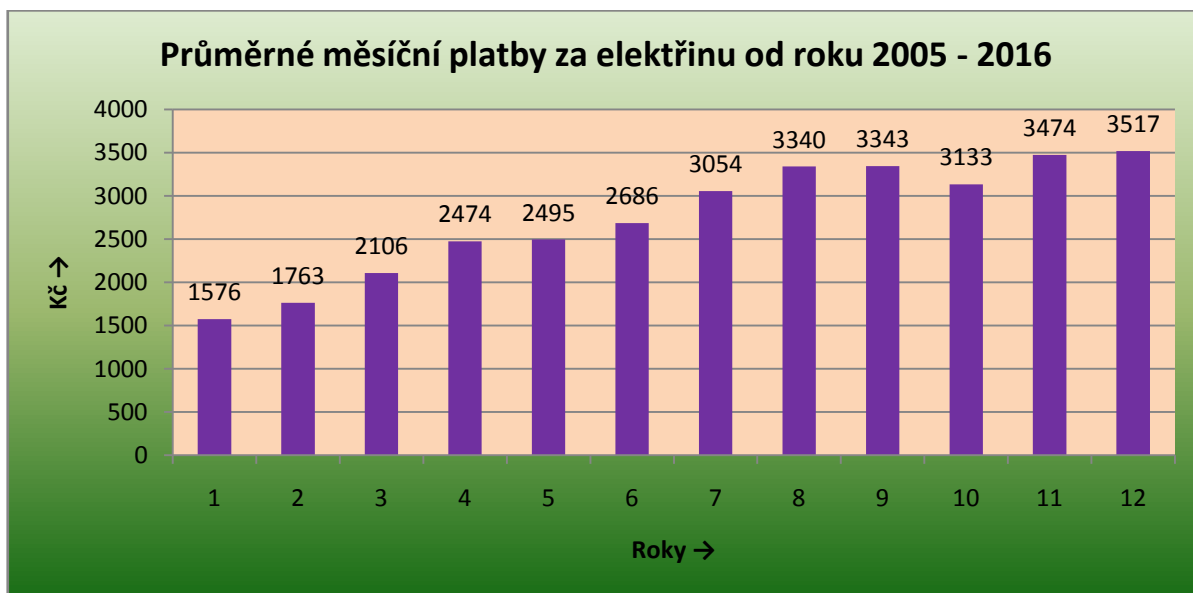
7.4 Cena elektrické energie

Po analýze spotřeby elektrické energie musím samozřejmě uvést i náklady s ní spojené. Jestliže jsem u předchozího grafu tvrdil, že spotřeba je konstantní tak rozhodně to samé nemohu tvrdit o její ceně. Následující graf č. 2 s vzesupnou tendencí jasně dokumentuje zdražování elektrické energie od roku 2005. Z grafu je taktéž patrné, že za posledních 12 let se cena za jednu KWh téměř zdvojnásobila.



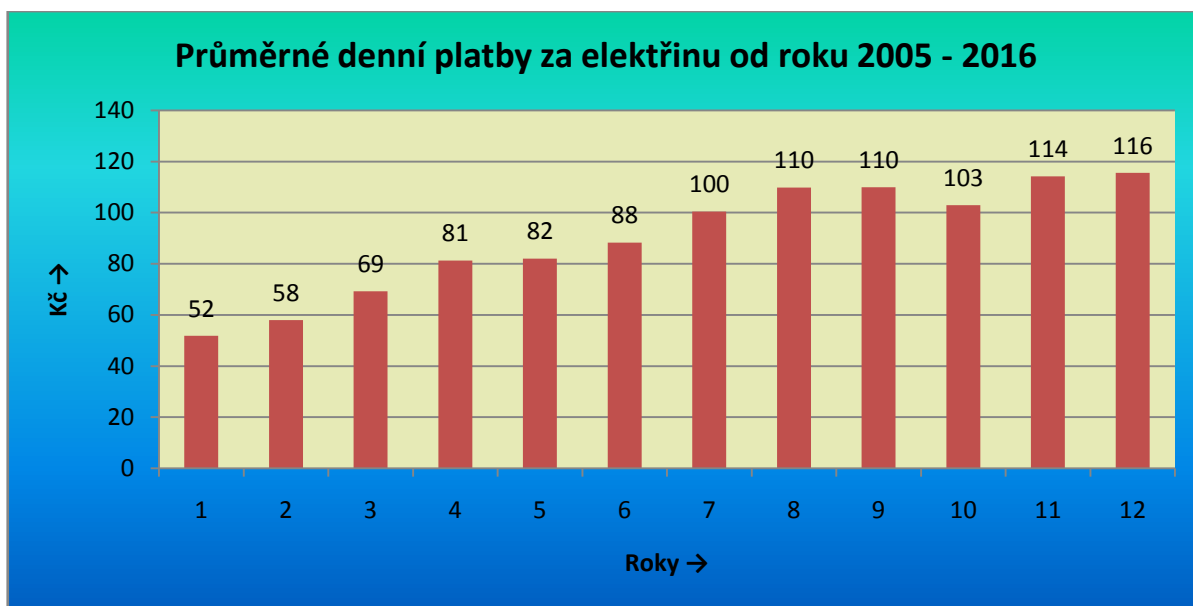
Graf 2 - Přehled plateb za elektrickou energii

Pro přehlednost v následujícím grafu č. 3 uvádím průměrnou měsíční cenu za elektrickou energii odvozenou z grafu předešlého. Graf má samozřejmě také stoupající tendenci.



Graf 3 - Průměrné měsíční platby

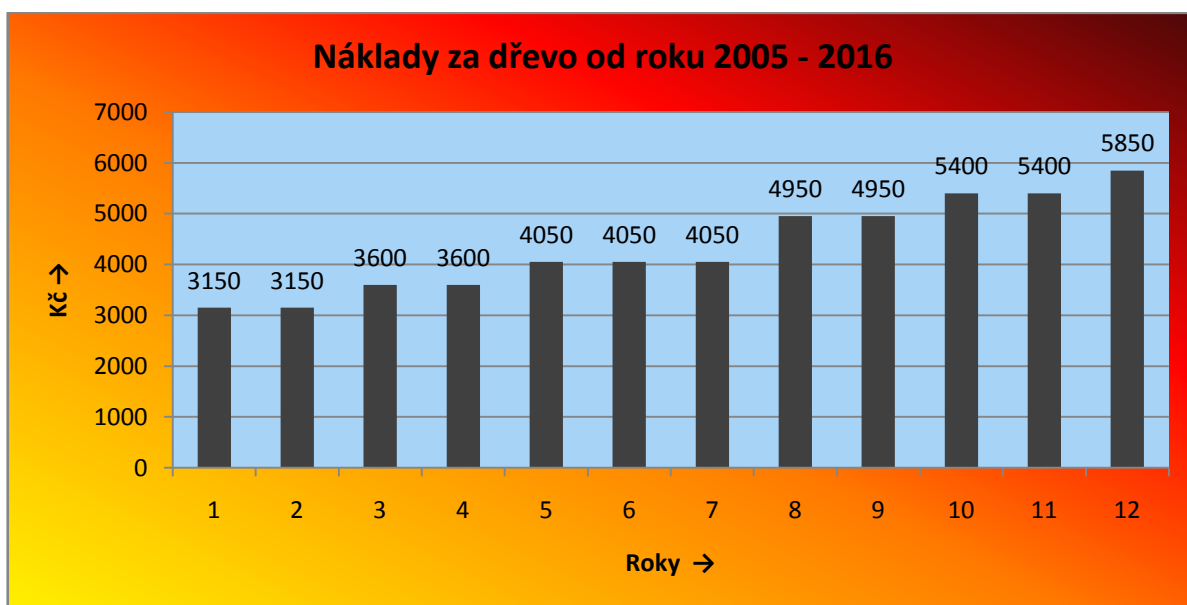
Dalším grafem č. 4 bych chtěl poukázat na průměrnou zaplacenou částku vztahenou k jednomu dni roku. Data jsou opět zaznamenávána od roku 2005 do roku 2016.



Graf 4 - Průměrné denní platby

7.5 Vytápění rodinného domu krbovými kamny

Jak už bylo v předchozích kapitolách zmiňováno, v přízemí našeho objektu se nachází krbová kamna. Tato kamna spalují výhradně dřevo a jejich přibližný tepelný výkon je 7 kW. Krbová kamna každoročně spálí zhruba stejné množství dřeva a to 9 m³. Do nákladů spojených s dřevem na výtop je započítána cena dřeva a doprava. Zpracování v podobě řezání a štípání už si rodina provádí sama. Pro přehlednost níže přikládám graf č. 5, který dokumentuje náklady za dřevo od roku 2005 až po rok 2016. Z grafu je patrné, že náklady spojené s pořízením dřeva na výtop se každoročně zvyšují a oproti roku 2005 se téměř zdvojnásobily.



Graf 5 - Náklady za dřevo

8 Návrh praktického řešení

V této kapitole se zaměřím na návrh vhodné kogenerační jednotky a s tím i spojený jiný druh vytápění pro náš objekt. Kogenerační jednotka, jak již bylo zmiňováno, je zařízení, které současně vyrábí elektrickou a tepelnou energii. Pro její navržení je nutné znát požadovaný elektrický a tepelný výkon. Budu tedy navrhovat takovou kogenerační jednotku, která nahradí potřebný elektrický a tepelný příkon v našem objektu.

8.1 Elektrický výkon

Nyní budu analyzovat potřebný teoretický elektrický příkon, který je nutno do objektu dodat pomocí kogenerační jednotky. Seznam spotřebičů a jejich celkový požadovaný příkon byl již zmíněn dříve. Nyní se tento příkon rapidně zmenší, neboť pro instalaci kogeneračního zařízení je chtěné zbavit se elektrických přímotopů, jelikož teplo bude dodávat právě kogenerační jednotka. Odstraněním přímotopů klesne odběr elektrické energie o 16,5 kW, což je téměř o polovinu. Při výpočtu vynechám taktéž elektrický bojler s příkonem 2,2 kW. Po odečtení těchto hodnot dostáváme potřebný elektrický příkon na hodnotu 17880 W. Pro přehlednost opět uvádím tabulku č. 3.

Spotřebič	Příkon [W]
Elektrický sporák	7800
2 x Notebook	100
Stolní PC	90
Lednička	140
Rychlovarná konvice	1700
Televize	100
Osvětlení	650
Pračka	2100
Myčka	2200
Mikrovlnná trouba	1200
Vysavač	750
Žehlička	900
Digestoř	150
Celkem:	17880

Tabulka 3 - Seznam spotřebičů

Takto jsem tedy dostal potřebný teoretický příkon. Dále toto číslo vynásobím činitelem soudobosti, který se značí řeckým symbolem β a jeho hodnota je 0,6. Po přepočtu zjistím reálnou hodnotu potřebného výkonu.

$$\mathbf{P_{real} = P_{teor} \times \beta = 17880 \times 0,6 = 10\,728\,W}$$

V tomto případě budu tedy navrhovat takovou kogenerační jednotku, která bude dodávat minimálně 10 728 W elektrického výkonu.

8.2 Tepelný výkon

Po kritériu elektrického výkonu budu nyní zjišťovat tepelný výkon, který je potřeba nahradit za již zmiňované elektrické přímotopy. Účinnost elektrického přímotopu se pohybuje okolo 94%. Při výpočtu zohledňuji pouze celkový příkon elektrických přímotopů, který je 16,5 kW.

$$\mathbf{P_{real} = P_{teor} \times \mu = 16500 \times 0,94 = 15\,510\,W}$$

Po přepočtu vyjde, že je potřeba, aby kogenerační jednotka dodávala minimálně 15 510 W v podobě tepelného výkonu. Zjistil jsem tedy druhé kritérium pro výběr KJ. Přímotopy budou nahrazeny teplovodními rozvody, čemuž je věnována následující kapitola.

8.3 Návrh teplovodního topení

Při zřízení kogenerační jednotky je potřeba nahradit již nežádoucí elektrické přímotopy jiným druhem vytápění. V tomto případě jsem zvolil nejrozšířenější vytápění v dnešní době a to vytápění pomocí teplovodního topení, které bude využívat odpadní teplo z KJ. Umístění kogenerační jednotky bude nejvhodnější ve sklepních prostorách, kde je dostatek nevyužitého místa. V domě není zřízené potrubí pro přenos topné vody, a proto je nutné ho zrealizovat. Rozmístění radiátorů bude stejné jako rozmístění elektrických přímotopů. Tato realizace se samozřejmě musí započítat do nákladů při ekonomickém zhodnocení. Dle předběžných odhadů by se náklady spojené se zřízením tohoto topného systému měly dostat na částku 76 000 Kč.

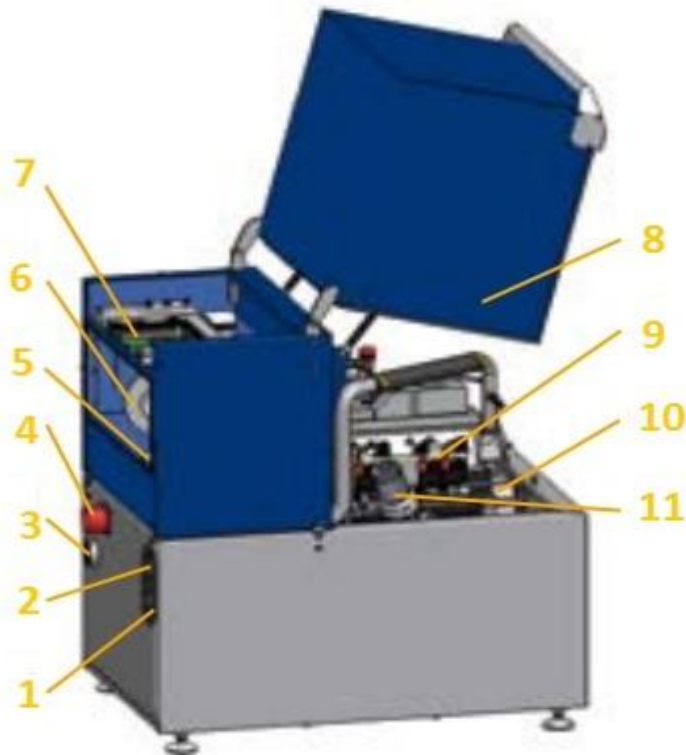
8.4 Návrh konkrétního typu KJ

Nyní se dostávám ke kapitole, v níž se pokusím vybrat nejvhodnější a nejefektivnější kogenerační jednotku pro dodávku elektrické a tepelné energie do našeho zkoumaného objektu. Jak již bylo nastíněno v předešlých řádcích, hlavními kritérii pro tento výběr je tepelný a elektrický výkon KJ. Budu tedy hledat takovou KJ, která svými parametry bude nejvíce odpovídat již zmiňovaným výkonům. Účinnost celé jednotky závisí především na množství spotřebovaného tepla. Případné naddimenzování v podobě navržení KJ se zbytečně velkými výkony by vedlo ke snížení této účinnosti, jelikož by se nespotebovala veškerá vyrobená tepelná energie. Samozřejmě od výkonnosti se odvíjí i cena a množství spotřebovaného paliva, tudíž by se při špatně zvoleném řešení prodlužovala i celková návratnost investice.

V tomto případě je nutné nainstalovat jednotku s přibližným elektrickým výkonem minimálně 10 728 W a minimálním tepelným výkonem 15 510 W.

Jako nejvhodnější řešení zvolím instalaci kogenerační jednotky od firmy EC POWER. Jedná se o firmu, která se specializuje výhradně na mikrokogenerační jednotky menších výkonů. Pro náš objekt jsem zvolil typ XRGI 15, který je znázorněn na obrázku č. 14.

8.4.1 Mikrokogenerační jednotka XRGI 15



Obrázek 14 - Kogenerační jednotka XRGI 15 [15]

- 1) připojení pro ohřátou vodu
- 2) připojení vody – napájení
- 3) přípojka výfukových plynů
- 4) hlavní napájecí konektor
- 5) plynová přípojka
- 6) vzduchový filtr
- 7) bezpečnostní plynový zásobník
- 8) víko s plynovými vzpěrami
- 9) zapalovací svíčky
- 10) víko olejového filtru
- 11) olejový filtr

Jedná se o KJ, jejíž chod zajišťuje odolný a spolehlivý motor, který jako palivo spotřebovává zemní plyn. Co se týká elektrického a tepelného výkonu, tak bezesporou výhodou tohoto zařízení je možnost modulování těchto parametrů. Elektrický výkon lze modulovat v rozsahu 7,5 – 15 kW a tepelný výkon v rozsahu 20 – 33 kW. Podrobný přehled technických údajů znázorňuje následující tabulka č. 4. [11,15]

Technické parametry XRG1 15

Maximální hladina hluku [dB]	49
Hmotnost [kg]	700
Rozměry (h × š × v) [cm]	125 × 75 × 111
Servisní interval [hod]	8.500
Palivo	Zemní plyn
Elektrický výkon [kW]	7,5 - 15
Tepelný výkon [kW]	20 - 33
Spotřeba paliva [kW]	49
Elektrická účinnost [%]	30
Tepelná účinnost [%]	62
Celková účinnost [%]	92
Výstupní teplota topné vody [°C]	80 - 85
Maximální teplota spalin [°C]	120
Emise CO [mg/Nm ³]	89
Emise Nox [mg/Nm ³]	314

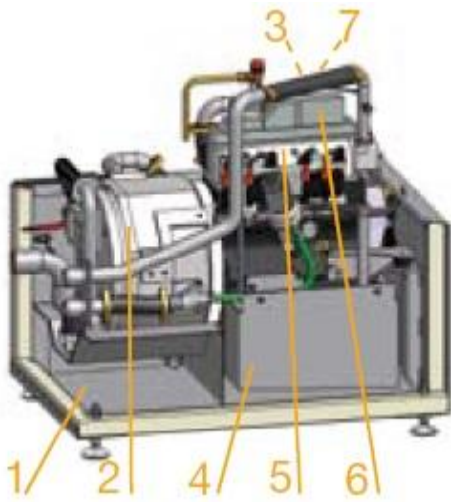
Tabulka 4- Technické údaje KJ [15]

Tato jednotka má tři stupně modulace. Lze modulovat na 50, 75 nebo 100% výkonu. Pro naše účely bohatě postačí modulace na 75%. Pro přehlednost přikládám tabulku č. 5, ve které jsou uvedeny potřebné parametry v podobě elektrického a tepelného výkonu a současně je zaznamenána i účinnost pro všechny tři typy modulace. [15]

	Bez kondenzační technologie			S kondenzační technologií		
Zatížení jednotky [%]	50	75	100	50	75	100
Elektrický výkon [kW]	7,5	11,3	15	7,5	11,3	15
Tepelný výkon [kW]	20,6	25,8	30,6	22,3	28	33,1
Elektrická účinnost [%]	25	28,1	30,5	25	28,1	30,5
Tepelná účinnost [%]	68,7	64,5	61,8	74,3	70	66,9
Celková účinnost [%]	93,7	92,6	92,3	99,3	98,1	97,4

Tabulka 5 - Přehled modulací [15]

MOTOR



MOTOR	
Palivo	Zemní plyn
Chlazení	Vodou
Počet válců	4
Zdvihový objem	2237 ccm

Tabulka 6 – Technické údaje motoru KJ [15]

Obrázek 15 - Motor KJ [15]

- 1) tlumič
- 2) vodou chlazený generátor
- 3) tepelný výměník
- 4) olejová vana
- 5) plynový motor
- 6) olejový separátor
- 7) oxidační katalyzátor

Kogenerační jednotka je poháněna plynovým spalovacím motorem od společnosti TOYOTA. Motor kogenerační jednotky je znázorněn na obrázku č. 15. Jednotlivé základní údaje o tomto motoru jsou zaneseny do tabulky č. 6.

GENERÁTOR

GENERÁTOR	
Napětí	400 V
Max. proud při plném zatížení	27 A
Jmenovitý proud generátoru	27 A
Chlazení	Vodou
Cos φ	0,8

Tabulka 7 - Technické parametry generátoru [15]

Zdrojem elektrické energie dodávané kogenerační jednotkou je asynchronní generátor. Technické parametry generátoru znázorňuje tabulka č. 7.

8.5 Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení navrhovaného projektu jsem zhotovil kalkulátor v programu MS Excel 2007. Kalkulátor obsahuje zelená pole, do kterých se zadávají známé vstupní parametry. Kalkulátor spočítá dobu návratnosti investice, dále pak denní a roční úsporu. Kalkulátor znázorňuje tabulka č. 8.

Vstupní zadávané parametry jsou: elektrický výkon KJ, tepelný výkon KJ, spotřeba plynu KJ za hodinu, cena plynu, počet hodin v provozu KJ denně, současná spotřeba elektrické energie v kWh, budoucí spotřeba elektrické energie v kWh, nákupní cena elektrické energie za 1 kWh, výkupní cena elektrické energie za 1 kWh (cena, za kterou se bude prodávat nadbytečně vyrobená elektřina), cena za množství spotřebovaného dřeva za účelem vytápění a na závěr také náklady spojené s realizací KJ, ve kterých je zahrnuta cena zařízení včetně rozvodů a práce.

Kalkulátor automaticky vygeneruje mezivýsledky (bílá pole) v podobě vyrobené elektrické energie za jeden den, vyrobené tepelné energie také za jeden den, spočítá denní náklady za plyn, který spotřebuje KJ, dále pak prodanou nadbytečnou elektrickou energii a za ní obdržené finanční prostředky a celkovou bilanci nákladů jako rozdíl nákladů za spotřebovaný plyn a výtěžku za prodanou elektřinu.

Výslednými zjišťovanými daty jsou tedy budoucí náklady, roční úspora finančních prostředků (je brán v potaz tepelný rok, který má 180 dní, po tuto dobu je plně využíváno teplo z KJ) a doba návratnosti investice.

Kalkulátor pro ekonomické zhodnocení projektu

Elektrický výkon [kW]	11,3
Tepelný výkon [kW]	25,8
Spotřeba plynu [m ³ /h]	4,6
Cena plynu za m ³ [Kč]	10,3
Počet hodin v provozu denně	8,5
Vyrobena elektrická energie [kWh]	96,05
Vyrobena tepelná energie [kWh]	219,3
Náklady za plyn [Kč]	403
Současná spotřeba elektrické energie [kWh]	36,58
Budoucí spotřeba elektrické energie [kWh]	17,88
Nákupní cena elektřiny [Kč]	3,7
Výkupní cena elektřiny [Kč]	0,25
Prodaná elektřina [kWh]	78,17
Peníze za prodanou elektřinu [Kč]	19,5425
Celková bilance (náklady za plyn - prodaná elektřina) [Kč]	383
Cena za denní spotřebu dřeva na topení [Kč]	18

Současné denní náklady za elektřinu [Kč]	153,346
Budoucí denní náklady za elektřinu [Kč]	383
Denní úspora [Kč]	-230

Náklady spojené s pořízením KJ [Kč]	880000
Úspora za rok provozu [Kč]	-41371,5
Doba návratnosti [roky]	Nikdy!

Tabulka 8 - Kalkulace modelového objektu

Z výsledku je zřetelné, že pro zkoumaný rodinný dům je velice neefektivní zřizovat kogenerační jednotku. Denní náklady za elektřinu by se v tomto případě více jak zdvojnásobily. Tento stav je zapříčiněn zejména tím, že se v daném objektu spotřebuje jen velmi malé množství vyrobené energie a prodej nadbytečné elektřiny pouze za 0,25 Kč není finančně výhodný.

9 Závěr

Cílem předkládané bakalářské práce bylo zmapovat problematiku kombinované výroby elektřiny a tepla, popsat druhy kogeneračních technologií včetně uvedení jejich využití v praxi a následně navrhnout konkrétní kogenerační jednotku pro konkrétní objekt včetně ekonomického zhodnocení této realizace.

Problematice kombinované výroby elektřiny a tepla se věnuji v první části práce, ve které popisuji základní princip kogenerace včetně používaných technologií. Také zde uvádím výhody a použití kogeneračních jednotek.

Druhá část bakalářské práce je již praktická, zabývám se zde analýzou objektu, kam budu navrhovat kogenerační jednotku. Analyzuji spotřebu elektrické a tepelné energie za posledních dvanáct let.

Na základě zjištěných údajů navrhuji konkrétní kogenerační jednotku, která je svými parametry v podobě elektrického a tepelného výkonu nejvhodnější pro daný objekt. Pro ekonomické zhodnocení investice jsem vytvořil kalkulátor, do kterého se zadají potřebné údaje související s provozováním jednotky. Kalkulátor po zadání zmíněných údajů spočítá roční úsporu a přibližnou dobu návratnosti investice.

Po zadání skutečných parametrů vybraného objektu se ukázalo, že instalace kogenerační jednotky není pro tento objekt ekonomicky vhodná. Neefektivnost investice je zapříčiněna malou spotřebou energie a lze tedy říci, že instalace kogeneračních zařízení je vhodná do objektů s vyšší spotřebou energie.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] KRBEK, J., POLESNÝ, B.: Kogenerační jednotky - Zařizování a provoz, GAS s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9
- [2] KRBEK, J., POLESNÝ, B.: Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích, GAS s.r.o., Praha 1997, ISBN 80-214-0889-8
- [3] Dvorský, E., Hejtmánková, P.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, BEN, Praha 2006, ISBN: 80-7300-118-7
- [4] <http://oenergetice.cz>
- [5] <http://www.tzb-info.cz>
- [6] <http://www.dotacni.info/typy-kogeneracnich-zarizeni-a-jejich-pouziti/>
- [7] <http://ekowatt.cz/>
- [8] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>
- [9] <http://www.transformacni-technologie.cz/33.html#menu>
- [10] <http://www.mikroturbina.cz/mikroturbina>
- [11] <http://www.mojekogenerace.cz>
- [12] <http://www.cezenergo.cz>
- [13] <http://kogenerace.tedom.com/>
- [14] <https://www.energetikainfo.cz/kogeneracni-jednotka-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EtFlrstunQspzJBaMZfeCXc/>
- [15] <http://www.ecpower.eu/en/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Srovnání výroby s KJ a bez KJ	4
Obrázek 2 - Zobrazení energetických toků v trigenerační jednotce	5
Obrázek 3 - Schéma zapojení protitlakové parní turbíny	8
Obrázek 4 - Schéma zapojení kondenzační parní turbíny	9
Obrázek 5 - Princip kogeneračního zapojení spalovací turbíny	10
Obrázek 6 - Řez mikroturbínou	11
Obrázek 7 - Schéma zapojení spalovacích motorů pro kogenerační účely	12
Obrázek 8 - Zapojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovací turbínou.....	13
Obrázek 9 - Zapojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovacím motorem.....	14
Obrázek 10 - Kogenerační jednotka s palivovým článkem	15
Obrázek 11 - Princip práce Stirlingova motoru	16
Obrázek 12 - Půdorys přízemí	22
Obrázek 13 - Půdorys prvního patra	23
Obrázek 14 - Kogenerační jednotka XRGI 15.....	30
Obrázek 15 - Motor KJ	32

Seznam tabulek

Tabulka 1- Porovnání kogeneračních zařízení.....	20
Tabulka 2 - Přehled spotřebičů	21
Tabulka 3 - Seznam spotřebičů.....	27
Tabulka 4- Technické údaje KJ	31
Tabulka 5 - Přehled modulací.....	31
Tabulka 6 – Technické údaje motoru KJ	32
Tabulka 7 - Technické parametry generátoru	33
Tabulka 8 - Kalkulace modelového objektu	34

Seznam grafů

Graf 1 - Spotřeba elektrické energie	24
Graf 2 - Přehled plateb za elektrickou energii	24
Graf 3 - Průměrné měsíční platby	25
Graf 4 - Průměrné denní platby	25
Graf 5 - Náklady za dřevo.....	26