



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Vyhodnocení ekonomické efektivity kogenerační jednotky
v průmyslovém podniku**

**Economical efficiency assessment of CHP unit in industrial
enterprise**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Kateřina Linhartová

Praha, 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Linhartová Kateřina**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Vyhodnocení ekonomické efektivity kogenerační jednotky v průmyslovém podniku

Pokyny pro vypracování:

1. Návrh dimenze kogenerační jednotky pro potřebu vytápění a přípravy teplé vody a pro pokrytí části spotřeby elektrické energie v průmyslovém podniku.
2. Volba vhodného typu KGJ a odhad investičních výdajů.
3. Výběr vhodného modelu spolupráce KGJ s distribuční soustavou.
4. Technická, ekologická a ekonomická proveditelnost výstavby a provozu zvolené KGJ.

Seznam odborné literatury:

1. Dvorský E., Hejtmánková P.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd., BEN - technická literatura, Praha, 2005.
2. Krbek J., Polesný B.: Kogenerační jednotky - zřízení a provoz. GAS, Praha, 2007, 1. vydání.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 22. května 2015

Kateřina Linhartová

Poděkování

Děkuji panu Ing. Vítu Kleinovi za vedení práce a poskytnutí vstupních údajů pro výpočet, bez kterých by tato práce nevznikla. Dále bych ráda poděkovala panu Radimu Stehlíkovi z ČEZ Distribuce, a. s. za konzultaci věnovanou struktuře a vývoji cen elektřiny. V neposlední řadě patří velké díky mojí rodině za podporu během studia.

Anotace

Cílem práce je navrhnout kogenerační jednotku pro průmyslový podnik a následně vyhodnotit její provoz z pohledu ekonomické efektivity. V první části práce se nachází teoretický rozbor problematiky kogenerace s důrazem kladeným na popis různých typů kogeneračních jednotek. V druhé části se pak věnuji konkrétnímu podniku, kterému na základě spotřeby a potřeby tepla během roku navrhnu vhodnou kogenerační jednotku a její spolupráci s distribuční soustavou. Provoz je ekonomicky vyhodnocen pomocí kritérií pro hodnocení investic, jako je čistá současná hodnota nebo vnitřní výnosové procento a je shrnuta technická a ekologická proveditelnost.

Klíčová slova

Kogenerace, spalovací motor, kondenzační kotel, zemní plyn, zelený bonus, potřeba tepla, čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento, emise

Annotation

The project deals with a design of combined heat and power (CHP) unit for an industrial enterprise and then its operations are evaluated from the perspective of economical efficiency. The theoretical cogeneration analysis focused on a description of different types of CHP units is located in the first part of the project. The second part is devoted to a concrete enterprise. A CHP unit design is based on a heat consumption and heat demand of the enterprise during a year, next task discusses an appropriate way of cooperation with a distribution system. I used the criteria for investments evaluating for the economical assessment, such as net present value or internal rate of return and then I summarized a technical and ecological feasibility.

Key words

Cogeneration, combustion engine, condensing boiler, natural gas, green bonus, heat demand, net present value, internal rate of return, emissions

Obsah

0. ÚVOD	9
1. NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	10
1.1 OBECNÉ ZÁSADY	10
1.1.1 Palivo.....	10
1.1.2 Poptávka	10
1.1.3 Ekonomika a legislativa	10
1.1.4 Konstrukce.....	10
1.2 PODKLADY.....	11
1.2.1 Potřeba tepla pro vytápění a ohřev TUV.....	11
1.2.2 Potřeba tepla pro technologické účely	11
1.2.3 Diagramy potřeby a spotřeby elektřiny	12
2. TYPY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK	13
2.1 ZAŘÍZENÍ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK	13
2.2 PRIMÁRNÍ JEDNOTKY	15
2.2.1 Parní turbíny.....	15
2.2.2 Spalovací turbíny.....	16
2.2.3 Mikroturbíny	17
2.2.4 ORC moduly.....	17
2.2.5 Spalovací motory	18
2.2.6 Paroplynová zařízení.....	20
3. PROVOZNÍ STAVY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK.....	21
3.1 SLEDOVÁNÍ TEPELNÉHO NEBO ELEKTRICKÉHO VÝKONU	21
3.2 OSTROVNÍ PROVOZ	21
3.3 NOUZOVÝ PROVOZ.....	21
4. ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A KOGENERACE	22
4.1 SLEDOVANÉ LÁTKY	22
4.2 HLUK	23
4.3 VIBRACE	23

5. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ KJ	24
5.1 ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA NPV (NET PRESENT VALUE)	24
5.2 VNITŘNÍ VÝNOSOVÉ PROCENTO IRR (INTERNAL RATE OF RETURN)	24
5.3 DOBA NÁVRATNOSTI PBP (PAY BACK PERIOD)	24
6. LEGISLATIVA.....	25
6.1. PODPORA ELEKTŘINY Z VYSOKOÚČINNÉ KVET	25
6.1.1 Osvědčení o původu elektřiny z KVET.....	26
6.1.2 Zelený bonus	26
7. PRŮMYSLOVÝ PODNIK.....	27
7.1 OBECNÉ INFORMACE.....	27
7.2 SPOTŘEBA TEPLA A ELEKTŘINY	27
7.2.1 Spotřeba elektrické energie.....	27
7.2.2 Spotřeba tepelné energie	28
7.3 NÁVRH DIMENZE KGJ	30
7.3.1 Varianta 1.....	30
7.3.2 Varianta 2.....	30
8. VOLBA TYPU KGJ	31
8.1 TEDOM CENTO T200	31
8.2 KOTEL VAILLANT VKK 2006/3-E	31
8.3 ODHAD INVESTIČNÍCH VÝDAJŮ	31
9. CENY ENERGIÍ.....	32
9.1 CENA ELEKTŘINY	32
9.2 CENA ZEMNÍHO PLYNU	33
10. SPOLUPRÁCE S DISTRIBUČNÍ SOUSTAVOU	34
10.1 VARIANTA A	34
10.2 VARIANTA B.....	34
10.3 POROVNÁNÍ	35

11. PROVOZNÍ ZISK.....	36
11.1 PROVOZNÍ NÁKLADY.....	36
11.1.1 Palivové náklady	36
11.1.2 Náklady na provoz a údržbu	36
11.1.3 Odběr elektřiny ze sítě	36
11.1.4 Osobní náklady	36
11.1.5 Odpisy	37
11.1.6 Ostatní náklady	37
11.2 VÝNOSY.....	37
11.2.1 Zelený bonus	37
11.2.2 Bonus z decentralizované výroby elektřiny	37
11.2.3 Prodej elektřiny	38
11.2.4 Úspora z nákupu elektřiny	38
11.2.5 Úspora z nákupu tepla.....	38
11.3 ZISK	39
12. TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ.....	40
12.1 ROČNÍ BILANCE VÝROBY ENERGIE Z KGJ	40
12.2 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ UKAZATELE KGJ	41
13. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ	42
14. EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ	44
15. ZÁVĚR.....	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	50
SEZNAM PŘÍLOH	51

0. ÚVOD

V posledních letech se stále častěji setkáváme s nepříznivými prognózami ohledně vyčerpávání zásob primárních zdrojů paliv a vlivů výroby životně důležitých energií na životní prostředí. Jednou z cest, kterými se začala česká i evropská energetika ubírat, je kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET), která představuje velice účinnou přeměnu paliva na dále využitelné energie. Díky použitým technologiím nezatěžuje životní prostředí tolik jako oddělená výroba elektřiny a tepla. Celkové emise škodlivých látek, jako jsou oxid siřičitý, oxid uhelnatý a uhlíčitý, oxidy dusíku a prachové částice, jsou výrazně nižší, nedochází k plýtvání důležitými palivy a díky vhodnému umístění blíže ke spotřebiteli jsou nižší i ztráty způsobené přenosem.

Pro KVET může být použito podle typu kogenerační jednotky široké spektrum paliv v pevném, kapalném i plynném skupenství – fosilní paliva, biomasa, komunální odpady a alternativní paliva, mezi které patří například vodík nebo jaderné palivo. Problematika alternativních paliv je předmětem výzkumu a kvůli vysokým výrobním nákladům zatím nepatří mezi běžně používaná paliva. Při výběru vhodného zdroje hraje důležitou roli podpora státu, který pomocí tzv. Zeleného bonusu finančně přispívá výrobcům elektřiny a tepla kogenerací. Výše bonusu se stanovuje na každý kalendářní rok zvlášť a kromě typu paliva záleží také na velikosti instalovaného výkonu výroby elektřiny a na provozním režimu výroby.

Protože společnou výrobu elektřiny a tepla lze provozovat jak „ve velkém“ v elektrárnách, tak „v malém“ například v bytových jednotkách, máme početné možnosti, i co se týče výběru technologie. Kogenerační jednotka bývá složena ze zařízení na úpravu paliva, primární jednotky, generátoru, případně elektrického měniče a zařízení na rekuperaci tepla. Pro nejvyšší elektrické výkony až do 200 MW můžeme jako primární jednotku zvolit parní nebo spalovací turbínu, pro výkony do 50 MW vznětové nebo zážehové motory, palivové články či ORC jednotky v případě spalování biomasy, pro výkony v řádech stovek kW a menší lze použít mikroturbíny nebo Stirlingův motor.

Až 2/3 dodávek tepla a teplé vody do českých domácností, veřejných budov, komplexů a průmyslových podniků tvoří teplo získané kogenerací a lze předpokládat, že toto číslo bude nadále stoupat. V České republice se k výrobě nejvíce využívá uhlí a stále více také zemní plyn. Klade se důraz na využití obnovitelných zdrojů energie. Ekonomiku provozu kogenerační jednotky ovlivňuje podle provozních režimů mnoho faktorů, například změna ceny paliva, provoz a opravy strojů, cena elektřiny, poměr vyrobeného elektrického a tepelného výkonu (teplárenský modul), legislativní změny a další.

1. NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

1.1 Obecné zásady

Nasazení kogenerační jednotky do provozu má smysl tehdy, pokud zde dochází ke spotřebě tepla. Při navrhování bychom však měli nejprve zvážit několik obecných předpokladů, abychom zjistili, zda se nám použití kogenerační technologie v daném místě vůbec vyplatí.

1.1.1 Palivo

- Máme dobrý přístup k palivu a k vodě?
- Jaká je cena paliva a je pravděpodobné, že se bude v příštích letech výrazně měnit?
- Co uděláme s odpadem, který vznikne spalováním?

1.1.2 Poptávka

- Vzniká v daném místě poptávka jak po teple, tak po elektřině?
- Jakým způsobem se během dne tato poptávka mění?
- Potřebujeme teplo pouze pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody (TUV), nebo také pro technologické účely podniku?
- Máme přístup k veřejné elektrické síti?

1.1.3 Ekonomika a legislativa

- Máme nárok na podporu od státu? Do jaké výše?
- Jaká bude doba návratnosti investice?
- Vyplatí se nám elektřinu prodávat do sítě, eventuálně vykupovat ze sítě?
- Dokážeme splnit požadavky na hluk a emise?

1.1.4 Konstrukce

- Jsme schopni zajistit dostatek prostoru pro zařízení a jeho pomocné instalace?
- Jak daleko je kogenerační jednotka od spotřebitele?
- Jedná se o nový zdroj nebo jednotka rozšiřuje již stávající zdroje?
- Kdo bude jednotku obsluhovat – jakou kvalifikaci by měla mít obsluha?

[2][4]

1.2 Podklady

Zde se zabýváme údaji, které nám poskytne investor. Jedná se zejména o roční spotřebu elektrické a tepelné energie rozepsanou po měsících včetně dat z minulých let, dále o denní diagramy průběhu spotřeby tepla a elektřiny v typických dnech jako je například pracovní den a víkend a informace o stávajících zdrojích tepla. ^[2]

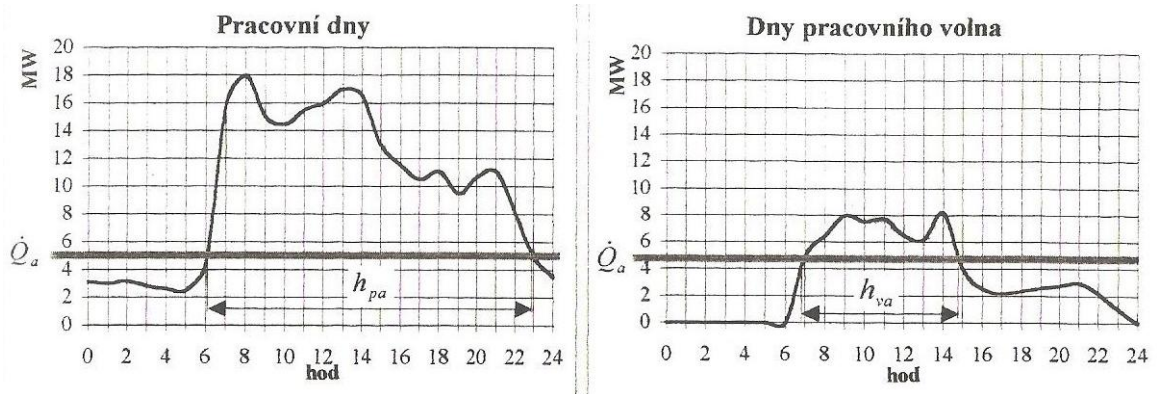
1.2.1 Potřeba tepla pro vytápění a ohřev TUV

Cílem vytápění je udržování stabilní teploty v místnostech. Teplo určené pro tento účel nahrazuje tepelné ztráty, které vznikají při větrání nebo při prostupu tepla skrz stěny a je tedy závislé na hodnotě venkovní teploty. Podle normy ČSN EN 13 790 lze podrobným výpočtem určit jmenovitou potřebu tepla, která tyto ztráty zastupuje; výpočet můžeme také zjednodušeně provést pomocí ukazatelů, jako jsou tepelná charakteristika budovy nebo spotřeba tepla na měrný byt. Výhodou je mít k dispozici fakturaci či výsledky měření za uplynulý rok, v případě návrhu kogenerační jednotky většinou potřebu tepla známe. ^[3]

Potřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody nezávisí na venkovních teplotách a během sledovaného období bývá velice variabilní. Norma, která se touto potřebou tepla zabývá, má označení ČSN 06 0320 a pro zjednodušení výpočtu můžeme opět vyjít z minulých fakturací a provedených měření. ^[3]

1.2.2 Potřeba tepla pro technologické účely

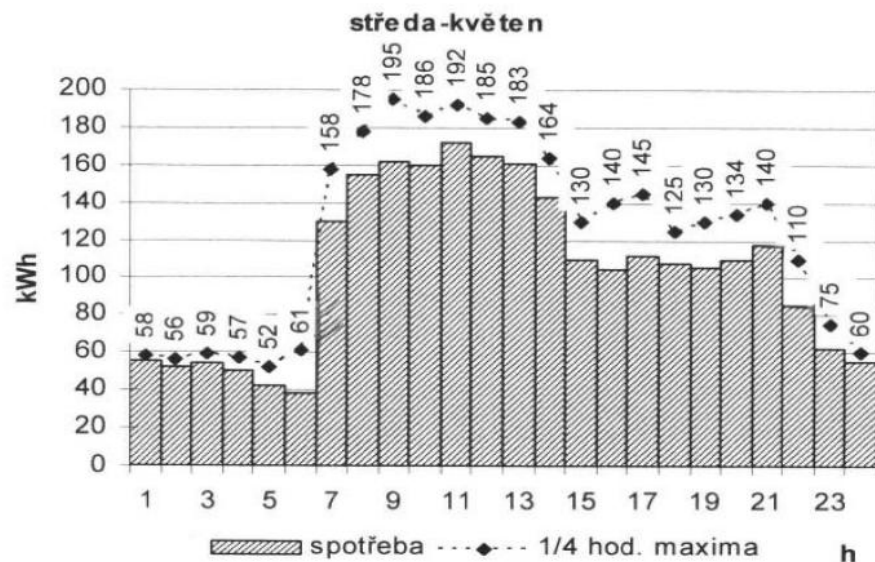
Mezi technologické účely řadíme sušení, vaření, ohřevy, spotřebu páry a další procesy důležité pro činnost podniku. Protože dodávka tepla zde probíhá po celý rok, je instalace kogenerační jednotky velmi výhodná. Kromě účelu vytápění také potřebujeme znát typ teplonosné látky a požadavky na ní, maximální potřebu pracovního média a denní diagramy potřeby pracovního média v typických dnech. ^[3]



Obr. 1 Příklad denních diagramů potřeby tepla v pracovních dnech a ve dnech pracovního volna [3]

1.2.3 Diagramy potřeby a spotřeby elektřiny

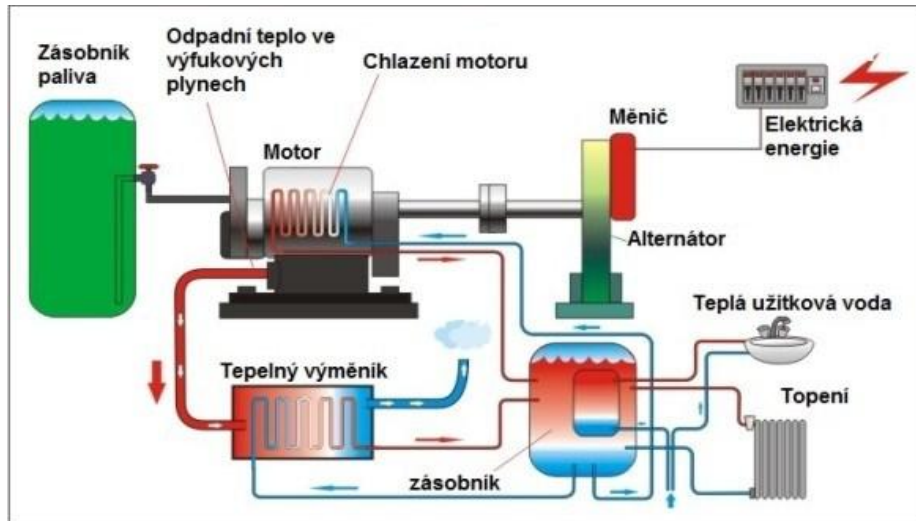
V případě, že podnik spotřebuje veškerou vyrobenou elektrickou energii, potřebujeme znát typické denní průběhy spotřeby elektřiny, případně průběh velikosti naměřených $\frac{1}{4}$ hodinových maxim během dne. Dále bychom měli vědět hodnotu vlastní spotřeby elektřiny za rok, abychom byly schopni odhadnout tržby z prodeje do veřejné sítě nebo náklady na nákup energie od distributora. [3]



Obr. 2 Příklad denního diagramu spotřeby elektřiny s velikostmi $\frac{1}{4}$ hodinových maxim [2]

2. TYPY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK

2.1 Zařízení kogenerační jednotky



Obr. 3 Zařízení KJ se spalovacím motorem jako primární jednotkou [34]

Kogenerační jednotka se většinou skládá ze čtyř hlavních částí: zařízení na zásobu a úpravu paliva, primární jednotky, elektrického generátoru s měničem a zařízení pro rekuperaci tepla.

V zařízení na úpravu paliva dochází k jeho zušlechtnění, úpravě prvkového složení a dalších podmínek pro jeho použití. Tyto procesy jsou důležité, protože zvyšují obsah energie v jednotce paliva a odstraněním nežádoucích příměsí (voda, CO_2 , síra) minimalizují ekologickou závadnost. Palivo je upraveno tak, aby ho bylo vhodné použít v dané primární jednotce a optimalizací parametrů, jako je tlak či teplota, docílíme co nejúčinnějšího spalování.

Primární jednotka je hlavní součástí kogenerační jednotky. Dochází v ní k přeměně energie z paliva na mechanickou a tepelnou energii. Podrobný popis zvolených primárních jednotek se nachází v kapitole 2.2.

Mechanickou energii dodanou primární jednotkou převádí na elektrickou energii generátor. Vzniklá energie má parametry (napětí, frekvence), které se dají v případě potřeby měnit pomocí polovodičového měniče. Elektřinu můžeme prodávat do veřejné elektrické sítě nebo jí spotřebovávat pro vlastní účely, případně lze tyto dvě možnosti navzájem kombinovat. ^[1]

Zařízení pro rekuperaci tepla není nutnou součástí kogenerační jednotky, ale umožňuje nám transformovat teplo odvedené z jednotky na vyhovující parametry, jako je teplota a forma teplotnosné látky. Teplotnosnou látkou se rozumí nízkopotenciální a vysokopotenciální voda, vodní pára nebo teplý vzduch. Dalšími důležitými součástmi kogenerační jednotky jsou tepelné výměníky a řídicí systémy. ^[1]

Na trhu sice máme možnost pořídit jednotlivá zařízení zvlášť, pro jednotku středního a malého výkonu je však výhodnější koupit celý modul, kde jsou všechny součásti poskládané u sebe. Podle požadovaného umístění jednotky můžeme dostat modul bez protihlukového krytu, který je vhodný do odhlučněných strojoven, nebo modul s protihlukovým krytem. Ten může být v kapotovaném provedení, které je vhodné do budov, nebo v kontejnerovém provedení, které je naopak vhodné díky své klimatické odolnosti mimo budovu. ^[7]



Obr. 4 Příklady uspořádání: jednotka bez protihlukového krytu Tedom Cento T160 a kontejnerové uspořádání jednotky Tedom Quanto [35]

2.2 Primární jednotky

- s vnějším spalováním paliva (parní a spalovací turbíny, mikroturbíny, ORC moduly)
- s vnitřním spalováním paliva (spalovací motory)
- s přímou transformací (palivové články, zatím ve fázi vývoje)

2.2.1 Parní turbíny

Kogenerační technologie s parními turbínami jako primárními jednotkami se aplikuje ve světě i u nás již dlouhou dobu. Turbíny o velkém a středním výkonu nad 25 MW_e se v České republice využívají u centralizovaného zásobování teplem (CZT) v některých kondenzačních elektrárnách (např. Mělník, Opatovice).^[2]

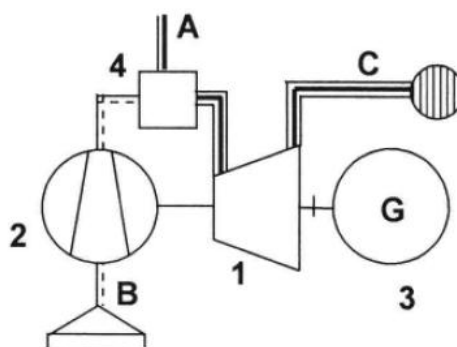
Tepelný cyklus, který probíhá v parních turbínách, se označuje jako Clausius – Rankinův cyklus. Do kotle se pomocí čerpadla načerpá voda, která se ohřeje a přemění na páru. Pomocí parního přehříváku jsou dosaženy admisní parametry páry (tlak přibližně 14,5 MPa, teplota 530 °C), které jsou nutné pro vstup páry do turbíny, kde dojde k expanzi a předání energie. Z přehřáté páry vznikne sytá pára a v kondenzátoru změní skupenství na kapalné. Tato voda může být odvedena zpět do kotle nebo přes chladicí věž do okolí.^[8]

U kogenerace odvádíme odpadní teplo ke spotřebitelům odběrem páry v protitlakové nebo kondenzační turbíně.

Mezi výhody parních turbín patří možnost spalování jakéhokoli typu paliva, velký výkonový rozsah, vysoká celková účinnost, schopnost krýt různé požadavky na parametry tepla, dlouhá životnost (až 50 let), zatímco mezi nevýhody patří vysoké investiční náklady, neschopnost rychlého startu a velké požadavky na prostor a pomocná zařízení.^{[1][2]}

2.2.2 Spalovací turbíny

Spalovací (nebo také plynové) turbíny jsou užitečné pro kogeneraci v průmyslových podnicích, kde potřebujeme vysokopotenciální teplo pro technologické účely, nebo kde technologický proces produkuje odpadní materiál, který se dá spálit spalovací turbínou a tím využít pro výrobu elektřiny a tepla. Turbíny mají tři hlavní části: kompresor, který stlačuje přiváděný vzduch, spalovací komoru, kde se spaluje palivo, které dodá stlačenému vzduchu tepelnou energii a samotnou turbínu, kde dojde k expanzi plynu a tím k získání mechanické energie. Ta je dále v elektrickém generátoru přeměňována na energii elektrickou a/nebo je využita pro pohon kompresoru. Vzniklé spaliny mohou být použity pro výrobu teplé nebo horké vody, výrobu páry o středním a nízkém tlaku pro účely vytápění nebo výrobu páry o vysokém tlaku určenou pro technologické účely. Jako palivo můžeme použít kapalnou nebo plynnou látku, nejčastěji se používá zemní plyn nebo lehký topný olej. Lze spalovat i odpadní plyny nebo bioplyn. ^{[2][4]}



1 turbína, 2 kompresor, 3 elektrický generátor; 4 spalovací komora;
A přívod paliva, B přívod vzduchu, C odvod spalin

Obr. 5 Schéma uspořádání spalovací turbíny [2]

Elektrický výkon turbíny se pohybuje v rozmezí mezi 100 kW_e a 100 MW_e, provoz turbíny (zejména kompresoru) ale velmi ovlivňují okolní podmínky, jako je teplota, tlak a s tím spojená nadmořská výška. Udává se, že se změnou nadmořské výšky o 300 m poklesne elektrický výkon o 2 – 4 %. ^[1]

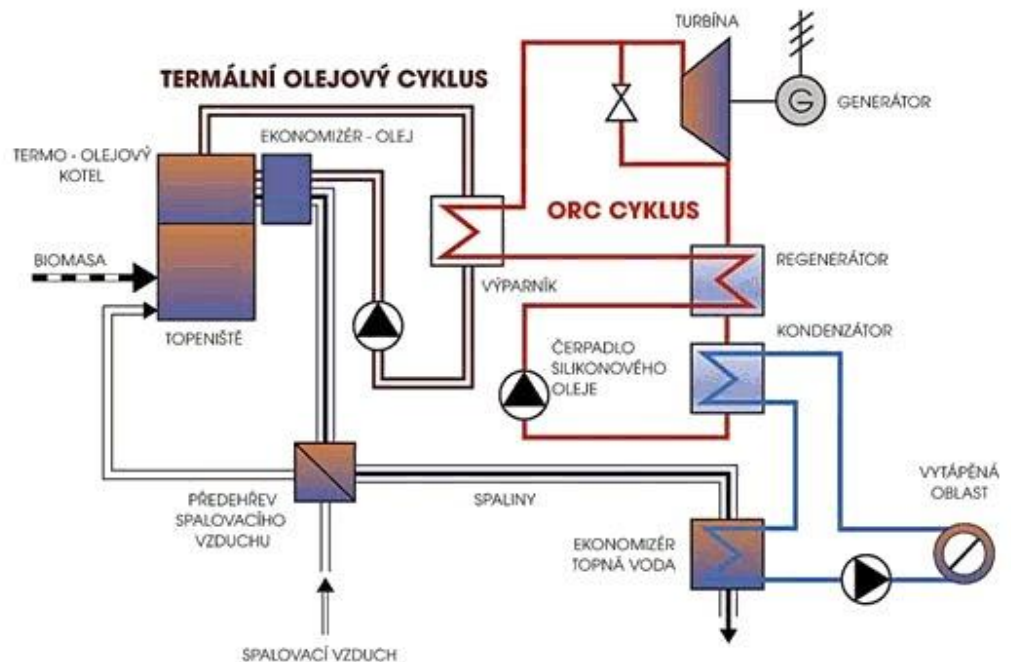
Výhody spalovacích turbín jsou zejména spolehlivost, dodávka vysokopotenciálního tepla, velký výběr paliv a možnost jejich kombinování, nízké emise a regulace výkonu pomocí spalovací teploty. Naopak mezi nevýhody patří vysoká hlučnost, nároky na čistotu paliva, vliv okolních podmínek, delší doba nájezdu (30 – 120 minut) nebo malá účinnost při nízkém zatížení.

2.2.3 Mikroturbíny

Mikroturbíny jsou v podstatě spalovací turbíny o malém výkonu a vysokých otáčkách. Kromě kompresoru, spalovací komory a turbíny obsahují spalínový výměník, který předeřívá vzduch použitý při spalování, což zvyšuje účinnost. Právě kvůli velké rychlosti otáček (až $100\,000\text{ ot.min}^{-1}$) musíme do systému zařadit vysokofrekvenční generátor s frekvenčním měničem, na rozdíl od obyčejných spalovacích turbín se zde nepoužívá převodovka. Ložiska mikroturbíny jsou chlazena vzduchem, nemáme tudíž starosti s kontrolováním a výměnou oleje. Použití paliva je podobné jako u běžných spalovacích turbín, nejčastěji se spaluje zemní plyn a lze použít i benzín nebo naftu. Elektrický výkon jednotek se pohybuje v rozmezí $30 - 350\text{ kW}_e$. Jsou vhodné zvláště pro decentralizovanou soustavu vedení tepla a umísťují se blízko ke spotřebiteli. ^{[1][5]}

Vysoká spolehlivost mikroturbíny je dána především malým počtem pohybujících se částí. Protože má celá jednotka mnohem menší rozměry a hmotnost, je snazší ji instalovat i udržovat. Tento typ turbín disponuje také nižší úrovní hluku. Hromadnému rozšíření této technologie zatím brání její velké pořizovací výdaje. ^[1]

2.2.4 ORC moduly



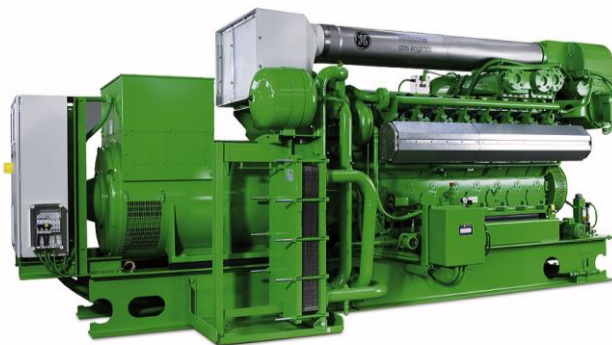
Obr. 6 Schematické uspořádání ORC cyklu při využití kogenerace z biomasy [8]

Organický Rankinův cyklus funguje na podobném principu jako Clausius – Rankinův cyklus u parních turbín, místo vody (vodní páry) se však používá organická látka, například silikonový olej. Ta má vysokou molovou hmotnost a při pracovní teplotě 300 °C zůstává v kapalném stavu za značně menšího tlaku než voda. Admisní tlak páry se pohybuje okolo 1 MPa. ^{[1][8]}

Nejvhodnější paliva jsou ta, která mají nízkou teplotu spalování. Nejčastěji se mluví o spalování biomasy, které je zvýhodňováno finančními bonusy. ORC moduly se vyrábí ve výkonovém rozmezí 200 – 1500 kW_e, náklady na provoz a údržbu jsou malé. Pracovní látka vyžaduje speciální zabezpečení proti úniku nebo vzniku požáru. ^[1]

2.2.5 Spalovací motory

Spalovací motory můžeme rozdělit podle skupenství paliva a způsobu jeho spalování na plynové nebo kapalinové a zážehové nebo vznětové. Jejich princip je odvozen od běžných čtyřtákných automobilových motorů, tedy u zážehových používáme k zapálení směsi paliva a vzduchu elektrickou jiskru, zatímco u vznětových se směs zapálí sama po dosažení zápalných parametrů. Spalovací motory se vyrábí ve výkonovém rozmezí asi 200 kW_e – 5 MW_e a nejčastěji se využívají v hotelech, nemocnicích, školách, obchodních domech a v dalších veřejných budovách. Tyto jednotky se také často objevují v průmyslových podnicích nebo čistírnách odpadních vod (příhodné spalování kalového plynu). Teplo pro topnou vodu nebo výrobu páry můžeme čerpat z výfukových spalin nebo z chladících okruhů motoru nebo kompresoru. Pro účely kogenerace se kapalinové motory spalující drahá paliva jako je benzin nebo nafta často upravují na plynové motory, které spalují levnější zemní plyn. ^{[3][6]}



Obr. 7 Spalovací motor Jenbacher [36]

V plynových motorech se kromě zemního plynu dá spalovat také bioplyn nebo důlní plyn. Tyto plyny se liší podílem metanu CH_4 v palivu. Zatímco podíl metanu v zemním plynu je asi 96 %, v bioplynu se tento podíl pohybuje v rozmezí 60 % - 70 % a v důlním plynu 30 % - 70 %. Tato čísla jsou důležitá při posuzování účinnosti a životnosti motoru, protože platí, že čím nižší je přítomnost metanu, tím je větší pravděpodobnost, že bude docházet ke zhášení motoru během provozu kvůli malé rychlosti laminárního plamene. Maximální teplota plynu při vstupu do jednotky je 40 °C a tlak plynu se pohybuje v rozmezí 9 kPa – 20 kPa. ^[6]

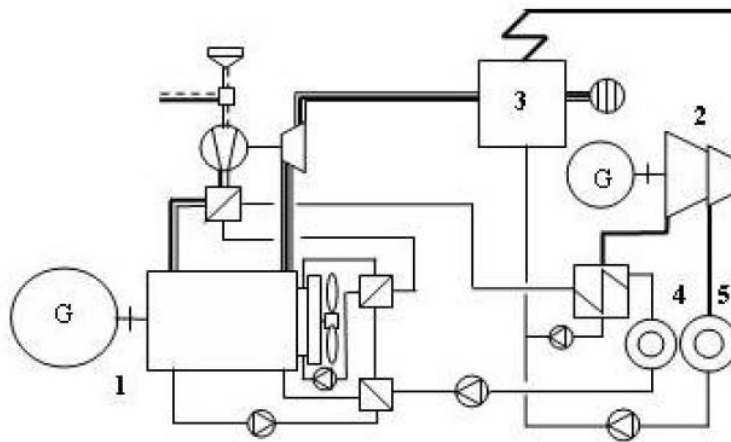
Zajímavým nápadem je využití spalin obsahujících oxid uhličitý CO_2 také v zemědělství pro zvýšení produkce zemědělských plodin. Po předání tepla ve výměníku se spaliny katalyticky vyčistí a vženu do skleníku, kde se zvýší koncentrace CO_2 až na dvojnásobek, což je pro růst rostlin velice prospěšné. Po překročení meze koncentrace oxidu uhličitého se odvedou do komína. Tento nápad využila v roce 2008 nizozemská firma na pěstování rajčat, kdy použila kogenerační jednotku Jenbacher o výkonu 4 MW, nebo ruská firma z města Dmitrov, která instalovala 3 kogenerační jednotky na zemní plyn o celkovém výkonu 5,4 MW. ^[6]

Spalovací motory mají plno výhod. Mezi ně patří vysoká účinnost, velké výkonové rozmezí, rychlý startovací čas na plný výkon (do 15 s), nízké investiční náklady nebo dobré sledování zátěže. Naopak jako nevýhody musím zmínit velké hodnoty hluku a vysoké náklady na údržbu. Kvůli požadavkům na emise oxidu uhelnatého, oxidů dusíku a nespálených uhlovodíků se do jednotek zařazují katalyzátory a přizpůsobuje se jim i provoz motoru. ^{[1][3]}

2.2.6 Paroplynová zařízení

Paroplynové zapojení lze použít nejen pro výrobu elektřiny, ale i pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Tento princip je znám již od roku 1922 a spočívá ve spojení oběhu parní turbíny a spalovací turbíny, případně spalovacího motoru. Tepelný oběh spalovací turbíny zahrnuje turbínu, kompresor, regenerační výměník a spalovací komoru. Spaliny odcházející ze spalovacího motoru (turbíny) ohřejí vodu v kotli pro odpadní teplo a vzniklá pára se využije pro pohon parní turbíny. Nejčastěji se používají protitlakové parní turbíny, použití kondenzačních turbín však není vyloučeno díky vysoké tepelné účinnosti soustavy. Pro zvýšení účinnosti, která závisí na teplotě výstupních spalin z kotle, se často aplikuje vícetlaký kotel na odpadní teplo nebo spalinový ohřívák topné vody. Teplo se spotřebiteli může dodávat jak ve formě páry, tak ve formě horké či teplé vody. ^{[2][10]}

Výhodou tohoto zapojení je zvýšená výroba elektřiny, snadnější optimalizace provozních režimů výroby tepla a elektřiny nebo nižší celkové měrné náklady. ^[2]



1 spalovací motor; 2 parní turbína; 3 spalinový kotel; 4 spotřebitel tepla ve formě horké vody; 5 spotřebitel tepla ve formě páry

Obr. 8 Zapojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovacím motorem [2]

3. PROVOZNÍ STAVY KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

- sledování tepelného nebo elektrického výkonu
- ostrovní provoz
- nouzový provoz

3.1 Sledování tepelného nebo elektrického výkonu

Při těchto provozech je hlavní prioritou výroba tepla nebo elektrické energie. V případě sledování tepla je výroba elektřiny závislá na výrobě tepla. Elektřinu můžeme spotřebovat pro vlastní chod podniku a její přebytky prodat do veřejné sítě. Akumulace elektrické energie je komplikovanější, lze ji však snadno přeměnit na jiný druh energie.

Pokud budeme sledovat elektrický výkon, je naopak výroba tepla závislá na vyrobené elektřině. Jestliže současně jednotka vyprodukuje méně tepelné energie než je potřeba, zařadíme do soustavy doplňkový zdroj tepla. Pokud je množství vyrobeného tepla vyšší, než je požadavek, lze ho akumulovat v paralelně připojeném akumulátoru. ^{[1][11]}

3.2 Ostrovní provoz

Ostrovní provoz je ten, kdy soustava nespolupracuje s veřejnou sítí a veškerá energie se spotřebuje v místě výroby. Zde je vhodné instalovat náhradní tepelný a elektrický zdroj, který nahradí některou z jednotek při údržbě či poruše. Provoz je většinou řízen okamžitou spotřebou elektřiny. ^{[1][11]}

3.3 Nouzový provoz

K nouzovému provozu dochází při fungování kogenerační jednotky jako záložního zdroje. Podmínky pro užívání jsou stejné jako v případě ostrovního provozu. Tento stav není pro kogenerační jednotku typický a dochází při něm k plýtvání teplem. ^[11]

4. ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A KOGENERACE

Kogenerační jednotky musí splňovat platné předpisy týkající se životního prostředí, které vydává Ministerstvo životního prostředí ČR. Posuzuje se množství škodlivých látek ve spalínách a tuhých látkách, hluk a vibrace. Stanovení vypouštěných emisí se provádí jednorázovým nebo průběžným měřením na komínovém průduchu do ovzduší, při nesplnění limitů hrozí provozovateli finanční postih. Zřízení KGJ se oznámí krajskému úřadu, který zahájí zjišťovací řízení o vlivu provozu na životní prostředí a podle typu KGJ a tepelného příkonu se případně provede rozptylová studie. Opatření proti vypouštění škodlivých látek do okolí lze realizovat úpravou paliva před vstupem do jednotky, vhodnou technologií spalování nebo úpravou látek na výstupu ze systému. ^{[1][13]}

Podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. rozdělujeme zdroje na mobilní a stacionární. *Mobilní zdroj* je zde charakterizován jako samohybná, pohyblivá či přenositelná jednotka vybavená spalovacím motorem, který slouží k vlastnímu pohonu nebo je částí technologické výbavy, zatímco *stacionární zdroj* je ucelená a nedělitelná jednotka nebo činnost, která znečišťuje nebo by mohla znečišťovat ovzduší. Kogenerační jednotky patří mezi spalovací stacionární zdroje, protože zde dochází k oxidaci paliva za účelem získání a dalšího využívání tepla.

4.1 Sledované látky

Látka	Název	Charakteristika	Vliv na životní prostředí
CO	oxid uhelnatý	plyn, bezbarvý, bez zápachu, hořlavý, vzniká nedokonalým spalováním	jedovatý, vznik přízemního ozonu, přeměna na CO ₂
CO ₂	oxid uhličitý	plyn, bezbarvý, bez zápachu, nehořlavý	skleníkový efekt
NO _x	oxidy dusíku	zejména plyny NO (bezbarvý, bez zápachu), NO ₂ (červenohnědý, štiplavý zápach)	poškození vegetace, kyselá dešť, ohrožení zdraví
SO ₂	oxid siřičitý	plyn, bezbarvý, štiplavý zápach, nehořlavý	kyselá dešť, ohrožení zdraví
VOC	těkavé organické sloučeniny	skupina některých látek obsahující uhlík, tlak par vyšší než 133,3 Pa při 20°C	vznik přízemního ozonu, karcinogeny, nebezpečí požáru
TZL	tuhé znečišťující látky	aerosol tuhých a kapalných částic, sulfáty, saze a popel	vliv na klima, zaprášení, dýchací problémy

Tabulka 1 Sledované látky znečišťující životní prostředí [12]

Specifické emisní limity pro spalovací zdroje o jmenovitém tepelném výkonu vyšším než 0,3 MW lze najít v [18], mezní hodnoty emisí pro menší zdroje v [13].

4.2 Hluk

Velikost hluku můžeme posuzovat v decibelech pomocí hladin akustického tlaku vzduchu nebo ekvivalentní hladinou hluku. Ekvivalentní hladina hluku je průměrná hodnota akustické energie, která působila po určitý čas, tento parametr je tedy objektivnější a více se používá pro určení limitů. [1]

$$- \text{ Hladina akustického tlaku: } L_p = 20 \log \frac{p}{p_r} \quad [\text{dB}] \quad (4.1)$$

$p = \text{akustický tlak vzduchu [Pa]}$

$p_r = \text{referenční hodnota akustického tlaku, } p_r = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

$$- \text{ Ekvivalentní hladina hluku: } L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L(t)} dt \quad [\text{dB}] \quad (4.2)$$

$L(t) = \text{okamžitá hladina akustického tlaku [dB]}$

Podle nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací (272/2011 Sb.) je maximální hodnota přípustného ustáleného hluku na pracovišti 85 dB (vyjádřeno ekvivalentní hladinou hluku pro osmihodinovou směnu), tato hodnota je dále omezována typem provozu, prostorem a denní dobou. Pokud je hluk vyšší, musí zaměstnavatel dohlédnout na používání ochranných pomůcek. Měření hluku se provádí také na fasádách okolních domů, aby se zjistil vliv provozu zařízení na okolní obyvatele. V kogenerační jednotce vzniká hluk zejména v primární jednotce a proudícími spaliny. Odhlučnění prostor stojí provozovatele dodatečné náklady.

4.3 Vibrace

Vibrace jsou charakterizovány zrychlením, udávají se v hladinách zrychlení L_a [1].

$$L_a = 20 \log \frac{a}{a_r} \quad [\text{dB}] \quad (4.3)$$

$a = \text{okamžité zrychlení vibrací [m/s}^2\text{]}$

$a_r = \text{referenční hladina zrychlení, } a_r = 1 \cdot 10^{-6} \text{ [m/s}^2\text{]}$

Rozdělují se na vertikální a horizontální. Obecnou nejvyšší přípustnou hladinou vibrací je podle nařízení 272/2011 Sb. hodnota 128 dB, jako u hluku se zde provádí další korekce podle typu prostor, denní doby, druhu a doby působení na zaměstnance, okolní obyvatele a další.

5. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ KJ

Mezi nejpoužívanější ukazatele ekonomické efektivnosti patří čistá současná hodnota NPV, vnitřní výnosové procento IRR a doba návratnosti PBP. Jejich výpočty vycházejí ze sledování toku hotovosti Cash flow (CF). Zahrnují se sem zejména výnosy, investiční výdaje¹ a provozní náklady². Důležitou položkou při počítání zisku jsou odpisy. Protože uvažujeme časovou hodnotu peněz, veličiny se přepočítávají pomocí diskontní sazby k jednomu datu. Tato sazba nám udává průměrnou míru výnosu kapitálu. Inflaci neuvažujeme, protože ovlivňuje všechny konkurenční projekty podobným způsobem. Běžně se také provádí citlivostní analýza, která vyšetří závislost zmíněných kritérií na různých vstupních podmínkách (změna ceny paliva, elektrické energie, úrokové míry atd.), tato analýza je však nad rámec této práce. ^{[1][2]}

5.1 Čistá současná hodnota NPV (Net present value)

Jedná se o součet diskontovaného toku hotovosti vytvořeného zařízením za sledovanou dobu. Hledáme variantu, kde bude mít NPV největší hodnotu a zároveň bude větší než nula.

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t \cdot (1 + r)^{-t} \quad [\text{Kč}] \quad (5.1)$$

$CF_t =$ Cash flow v roce t

$r =$ úroková míra

5.2 Vnitřní výnosové procento IRR (Internal rate of return)

Vnitřní výnosové procento je diskont, při kterém budoucí výnosy za dobu T zaplatí vynaložené náklady za tuto dobu. NPV při tomto diskontu je rovno nule. IRR musí být vyšší, než je požadovaná diskontní sazba r .

$$\sum_{t=0}^T CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} = 0 \quad (5.2)$$

5.3 Doba návratnosti PBP (Pay back period)

PBP určuje, jakou dobu musíme provozovat KJ, aby se nám stačily splatit vynaložené prostředky.

$$PBP = \frac{\text{celkové investiční náklady}}{\text{roční zisk}} \quad [\text{roky}] \quad (5.3)$$

¹ Např. nákup KJ, instalace, stavební úpravy, vypracování analýz a projektů, pojištění, bankovní poplatky

² Např. náklady na palivo, úprava a likvidace zplodin, mzdy, údržba a opravy zařízení, poplatky za znečišťování

6. LEGISLATIVA

6.1 Podpora elektřiny z vysokoúčinné KVET

- Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů 165/2012 Sb.
- Vyhláška o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů 453/2012 Sb.
- Energetický regulační věstník 4/2014

Elektřinou z vysokoúčinné KVET se rozumí množství elektřiny naměřené na svorkách generátoru, při jejíž výrobě se dosáhne minimální poměrné úspory 10 % než při oddělené výrobě elektřiny a tepla (pro zdroje o instalovaném elektrickém výkonu P_i vyšším než 1 MW) nebo množství elektřiny, které zajišťuje kladnou hodnotu poměrné úspory primární energie (pro zdroje s $P_i < 1$ MW). Vzorec 6.1 vyjadřuje stanovení výše poměrné úspory primárního paliva (UPE). Referenční hodnoty účinností pro oddělenou výrobu tepla a elektřiny najdeme v příloze 2 vyhlášky 453/2012 Sb.

$$UPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_r^V} + \frac{\eta_e^T}{\eta_r^E}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (6.1)$$

η_q^T = účinnost dodávky tepla z KVET stanovená jako poměr vyrobeného užitečného tepla a spotřeby energie z paliva

η_e^T = účinnost výroby elektřiny z KVET stanovená jako poměr vyrobeného množství elektřiny v kogenerační jednotce a spotřeby energie z paliva

η_r^V = referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla

η_r^E = referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny

Vztah pro výpočet celkové účinnosti kogenerační jednotky:

$$\eta_{celk} = \frac{(E_{sv} + E_M + Q_{už})}{Q_{PAL KJ}} \quad [-] \quad (6.2)$$

E_{sv} = celková vyrobená elektřina v KJ, měřeno na svorkách generátoru

E_M = mechanická energie získaná transformací energie v parní turbíně, není dále přeměňována na elektřinu

$Q_{už}$ = množství užitečného tepla

$Q_{PAL KJ}$ = spotřeba energie v palivu na základě jeho výhřevnosti

Celková účinnost musí dosahovat minimálně 75 % při použití parní protitlakové turbíny, plynové turbíny, spalovacího motoru, mikroturbíny, Stirlingova motoru, palivového článku, parního stroje nebo ORC modulu. U paroplynového zařízení s dodávkou tepla a kondenzační odběrové turbíny je minimální hodnota účinnosti stanovena na 80 %.

6.1.1 Osvědčení o původu elektřiny z KVET

Toto osvědčení vydává a eviduje Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Kromě identifikačních údajů žadatele se v něm uvádí umístění a typ kogenerační jednotky, instalovaný tepelný a elektrický výkon, úspora primární energie, použité palivo a jeho výhřevnost, místo připojení k distribuční nebo přenosové soustavě, hodnoty předpokládané vyrobené elektřiny a tepla za kalendářní rok a další. Osvědčení hraje významnou roli při určování příspěvku ve formě Zeleného bonusu. Vzor žádosti nalezneme v *Příloze 1*.

6.1.2 Zelený bonus

Podpora kogenerační výroby elektřiny probíhá pomocí Zelených bonusů, které na každý rok vypisuje Energetický regulační úřad v Energetickém regulačním věstníku. Bonus se skládá ze základní a doplňkové sazby, konečná výše bonusu se stanoví podle vzorce 6.3 (sazby pro rok 2015 jsou uvedeny v *Příloze 2*). Pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla z biomasy platí speciální doplňková sazba. Aby byl výrobci elektřiny tento bonus přiznán, musí se zaregistrovat u operátora trhu. Vyúčtování Zeleného bonusu probíhá na základě naměřených nebo vypočtených hodnot vyrobené elektřiny (podle vyhlášky 478/2012). Provozovatel přenosové nebo distribuční soustavy má povinnost přednostně připojit výrobu elektřiny z podporovaného zdroje do soustavy, pokud to její kapacita dovolí.

$$C_{zb} = E_{KVET} * (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl.sazba}) \quad [\text{Kč}] \quad (6.3)$$

C_{zb} = celková výše Zeleného bonusu

E_{KVET} = množství elektřiny z KVET

$ZB_{zakl.sazba}$ = základní sazba Zeleného bonusu

$ZB_{dopl.sazba}$ = doplňková sazba Zeleného bonusu

7. PRŮMYSLOVÝ PODNIK

7.1 Obecné informace

Jedná se o galvanovnu, tedy o podnik zabývající se galvanickým pokovováním. Tento proces je důležitý pro ochranu předmětů před korozí a okolními podmínkami, zlepšuje elektrotechnické vlastnosti a prodlužuje životnost výrobku. Je založen na elektrolytickém ději, kdy jsou působením stejnosměrného proudu emitovány kationty z anody ke katodě. Anodu tvoří kov, kterým pokovujeme (např. zinek, nikl, cín) a katodu tvoří výrobek, který má být pokoven. Reakci předchází důkladné odmaštění a omytí výrobku. ^[24]

Provoz je jednosměrný, osmihodinová pracovní doba od pondělí do pátku. Během víkendu je v plném provozu pouze akumulátorovna. Osvětlení, příprava teplé užitkové vody (TUV) a motory čerpadel jsou pak v utlumeném provozu. Teplo se spotřebovává na vytápění, ohřev TUV a technologické účely. Nejdůležitějšími spotřebiči z hlediska instalovaného výkonu je galvanizační linka a elektrické motory strojů. Kogenerační jednotka a kotel nahrazují stávající tepelný zdroj, kterým byla teplárna spalující zemní plyn (ZP), teplo bylo tedy nakupováno od dodavatele. Při návrhu vycházím z podkladů, které mi poskytl vedoucí práce (*Příloha 3*).

7.2 Spotřeba elektrické a tepelné energie

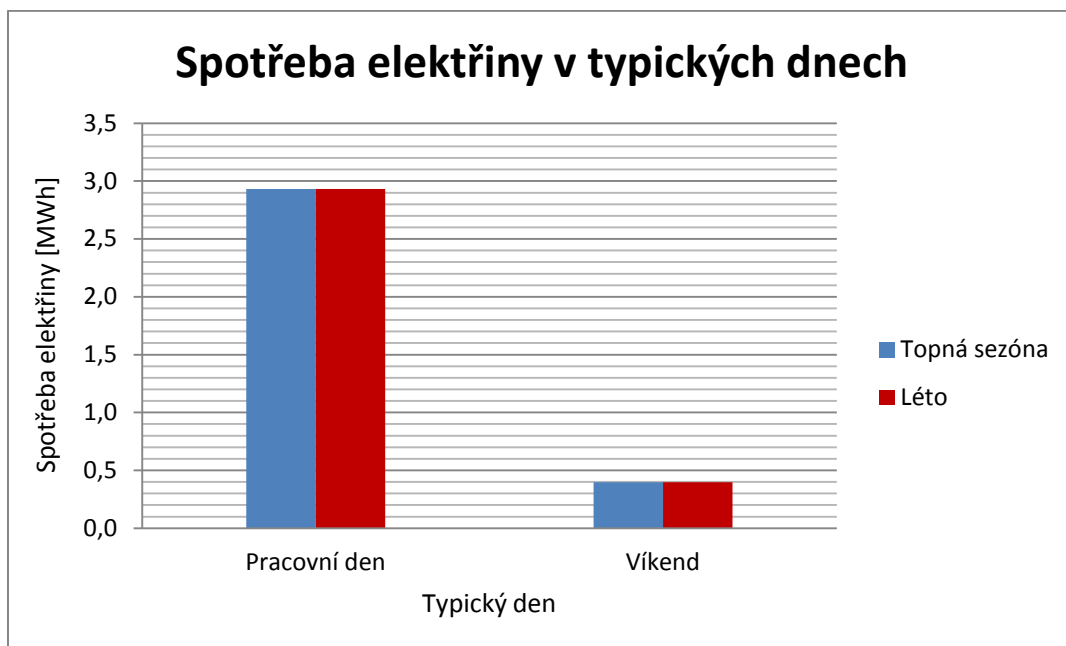
7.2.1 Spotřeba elektrické energie

Předpokládaná roční spotřeba elektřiny je 759 MWh.

		Plný provoz	Utlumený provoz	Celkem
		MWh.rok ⁻¹	MWh.rok ⁻¹	MWh.rok ⁻¹
1	Galvanizační linka -pokovení	176	0	176
2	Ohýbací linka - pohony	78	0	78
3	Pily	35	0	35
4	Větrání v halách	94	0	94
5	Osvětlení výrobních hal	92	35	127
6	Osvětlení venkovní a orientační	11	2	13
7	Osvětlení ostatní	4	1	5
8	Akumulátorovna	5	0	5
9	Kompresorovna	29	0	29
10	Čerpadla - motory	18	1	18
11	Elektrické motory strojů	176	0	176
Spotřebiče celkem		720	39	759

Tabulka 2 Spotřeba elektřiny za rok

V grafu 1 vidíme, jak se liší množství spotřebované elektřiny za běžný pracovní den (2,9 MWh) a víkend (0,4 MWh). Tato spotřeba je přibližně stejná během topné sezóny i během léta.



Graf 1 Spotřeba elektřiny v typických dnech

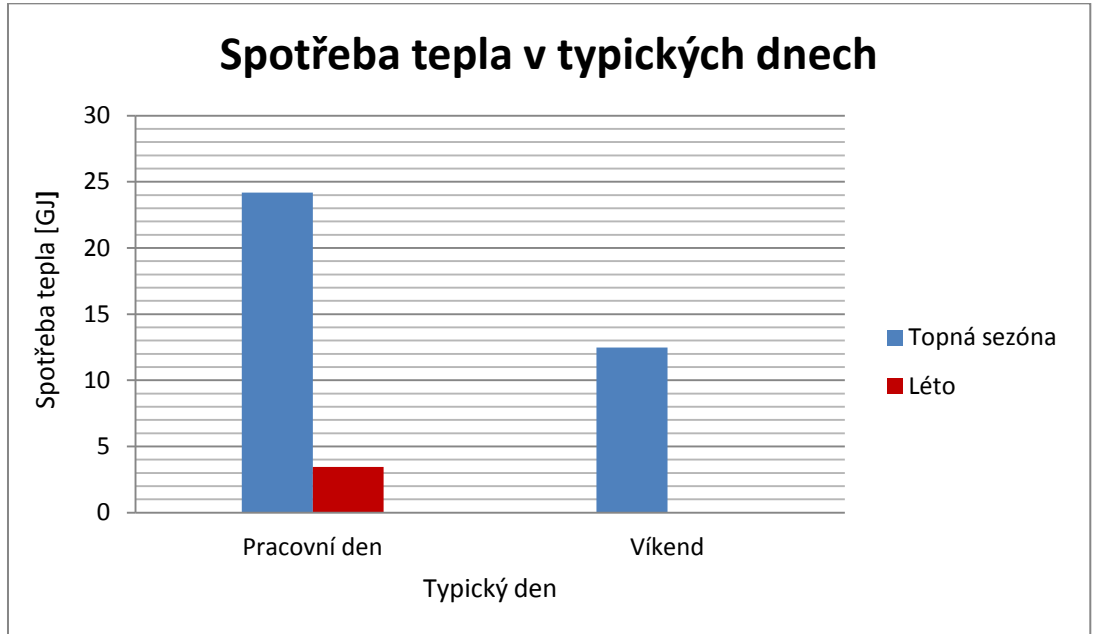
7.1.2 Spotřeba tepelné energie

Roční spotřeba tepla se odhaduje na 5 092 GJ.

		Plný provoz	Utlumený provoz	Celkem	Celkem
		MWh.rok ⁻¹	MWh.rok ⁻¹	MWh.rok ⁻¹	GJ.rok ⁻¹
1	Tepelná ztráta budov v areálu podniku	922	221	1 143	4 114
2	Příprava teplé vody - sociálky - potřeby příkonu	59	1	60	216
3	Galvanizační linka - ohřev	44	0	44	159
4	Teplá voda technologická jiná	44	0	44	159
5	Tepelné ztráty v rozvodech tepla	123	0	123	445
	Spotřebiče celkem	1 192	222	1 414	5 092

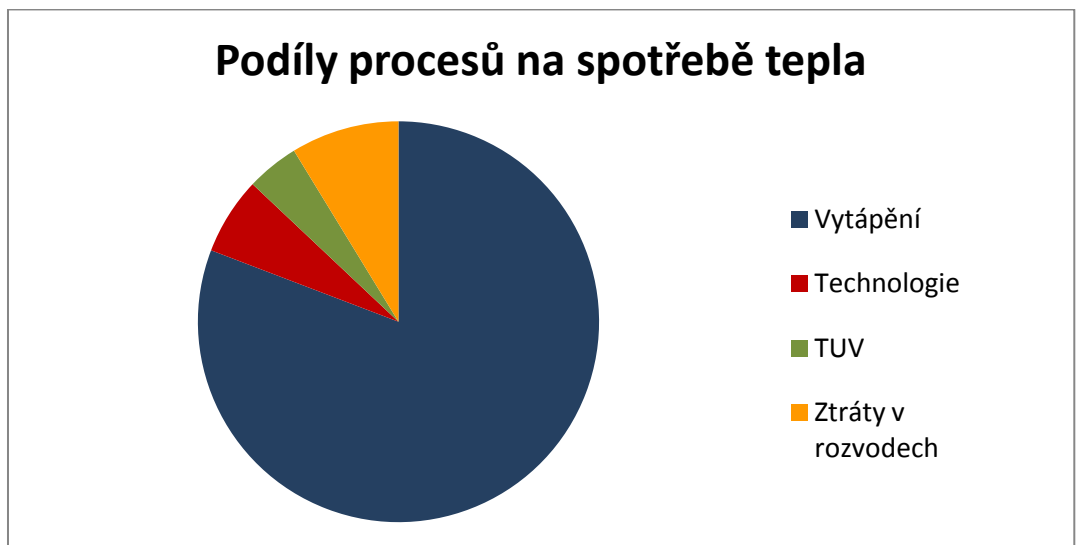
Tabulka 3 Spotřeba tepla za rok

V grafu 2 je zanesen podstatný rozdíl ve spotřebě tepla během topné sezóny a léta. Zatímco během pracovního dne v topné sezóně se v podniku spotřebuje okolo 24 GJ tepla, v létě to jsou necelé 4 GJ. Víkendový letní provoz je z hlediska spotřeby tepla zanedbatelný, činí přibližně 43 MJ.



Graf 2 Spotřeba tepla v typických dnech

Jak je vidět v grafu 3, největší podíl na spotřebě má vytápění (80,8 %), což je právě důvod zvýšené fakturace za teplo během topné sezóny. 8,7 % zaujmají ztráty v rozvodech, 6,2 % teplo pro technologii a zbylá 4,3 % jsou využita pro ohřev TUV.



Graf 3 Podíly procesů na spotřebě tepla

7.2 Návrh dimenze KGJ

Při návrhu budu vycházet z celkového instalovaného tepelného výkonu podniku. Pokud bych jednotku navrhovala podle instalovaného elektrického výkonu, vzniknul by velký přebytek tepla, které by nebylo možné v podniku spotřebovat. Během léta je v pracovní den maximální potřebný tepelný výkon 195 kW, zatímco během zimy je vlivem vytápění potřeba až 435 kW. V úvahu připadají dvě varianty, které porovnam a následně doporučím tu vhodnější z nich. Kogenerační jednotku v obou případech doplňuje kotel.

7.2.1 Varianta 1

Během léta je v provozu denně pouze kotel o velikosti 180 – 200 kW_t. Na začátku topné sezóny se jako zdroj pro vytápění uvede do 24 hodinového provozu kogenerační jednotka o velikosti 240 – 260 kW_t. Během víkendů může pracovat pouze kotel na 72 % P_t (požadováno 144 kW z možných 200 kW), další možností je celotýdenní provoz jednotky. Elektrickou energii budu dodávat do sítě vlastní spotřeby pouze v zimě, podrobná spolupráce s distribuční soustavou je rozepsaná v kapitole 9.

7.2.2 Varianta 2

Velikost jednotky je navržena tak, aby byl možný její celoroční chod a tedy celoroční dodávka elektřiny do sítě vlastní spotřeby. V létě bude v provozu během pracovních dní na přibližně poloviční zatížení, což povede ke zhoršení účinnosti. Během dne je pravděpodobné, že se potřebný výkon dostane pod maximální hodnotu 195 kW_t, velikost jednotky by tedy odpovídala rozmezí 210 – 230 kW_t. V zimě potom poběží nepřetržitě na plný výkon (o víkendu útlum na 60 % P_t) a do soustavy navíc zařadím kotel o výkonu 205 – 225 kW_t, který bude v provozu pouze během týdne.

Varianta 2 se jeví jako neekonomická kvůli vyšší spotřebě paliva nebo kvůli vyšším nákladům na provoz a údržbu v důsledku častějšího odstavování jednotky. Tato jednotka bude mít zároveň nárok na menší Zelený bonus díky vyšším provozním hodinám, výnosy by se tedy výrazně zmenšily a úspora za elektřinu dodanou do vlastní spotřeby by byla pak ve výsledku zanedbatelná.

Dále budu brát v úvahu pouze variantu 1.

8. VOLBA TYPU KGJ

Do galvanovny doporučuji instalovat jednotku se spalovacím motorem na zemní plyn. Spalovací turbínu jsem vyloučila z důvodu nízké účinnosti při částečném zatížení a dlouhého nájezdu, mikroturbínu pak kvůli vysokým investičním výdajům a malým zkušenostem z jejich komerčního využití. Z dostupných informací vím, že v podniku již funguje spotřebič na zemní plyn (ohřev ohýbací linky), je tedy zajištěn dobrý přístup k palivu.

8.1 TEDOM Cento T200

TEDOM Cento T200 je kogenerační jednotka s maximálním tepelným výkonem 253 kW_t, jmenovitým elektrickým výkonem 200 kW_e a celkovou účinností 88,7 %. Bližší technická specifikace a nákres zařízení jsou uvedeny v Příloze 4 a 5. Cena jednotky v provedení s protihlukovým krytem je 3 365 000 Kč bez DPH a její doprava, stavební úpravy a montáž vyjdou podnik až na 1 milion korun. ^[25]

8.2 Kotel Vaillant VKK 2006/3-E

Spolupráci s KGJ bude zajišťovat kondenzační plynový kotel značky Vaillant. Jeho výkon lze modulovat v rozmezí 44 – 200 kW a dosahuje normované účinnosti až 110 % (vztažené na výhřevnost ZP)³. Během léta je jediným zdrojem tepla v podniku, v zimě pak zajišťuje vytápění a výrobu TUV společně s jednotkou. Kotel stojí 270 500 Kč bez DPH, cenu za dopravu a montáž odhaduji na 1/3 z pořizovací hodnoty kotle. ^[26]

8.3 Odhad investičních výdajů

Za celou instalaci se odhadem zaplatí 5 160 667 Kč, ceny uvažuji bez DPH.

Výdaj	Cena [Kč]
Vypracování projektu	50 000
Kogenerační jednotka	3 365 000
Plynový kotel	270 500
Doprava, stavební úpravy, montáž KGJ	1 000 000
Doprava, stavební úpravy, montáž kotle	90 167
Vyvedení elektrického výkonu	100 000
Celkem	5 160 667

Tabulka 4 Odhad investičních výdajů

³ Ve výpočtech pracuji s účinností kotle 96 %. Tato účinnost je vztažena na spalné teplo a je určena odhadem kvůli nedostatku vstupních veličin pro výpočet. Přesný výpočet lze určit např. podle [33].

9. CENY ENERGIÍ

9.1 Cena elektřiny

Předpokládám, že podnik má vlastní trafostanici 0,4/22 kV, dodávka z a do distribuční soustavy tedy probíhá na úrovni VN. Pokud by podnik spadal do oblasti ČEZ distribuce, následující položky by měly tyto hodnoty (bez DPH):

Cena elektřiny nákup	Kč.MWh ⁻¹
Silová elektřina	1 050,00
Daň z elektřiny	28,30
Cena za použití sítí	50,20
Systémové služby	105,27
Cena na úhradu nákladů spojených s podporou elektřiny	495,00
Činnost OTE	6,94
Celkem	1 735,71

Tabulka 5 Struktura ceny elektřiny

Silová elektřina bývá rozdělena na spotřebu ve vysokém tarifu a v nízkém tarifu, hodnota 1 050 Kč.MWh⁻¹ je brána jako průměrná cena za MWh z obou tarifů. Vývoj ceny silové elektřiny lze sledovat na burze. Dnešní cena za komoditu je přibližně 31 EUR/MWh při kurzu 27,415 Kč (k 16.4.2015). Nyní můžeme odhadovat její hodnotu na tři roky dopředu, podle Power Exchange Central Europe (PXE) bude cena silové elektřiny v tomto období mírně klesat, maximálně o 1 EUR ročně. Otázkou však zůstává, jak se bude vyvíjet kurz eura vůči koruně.

Dále se do konečné ceny promítá hodnota sjednané roční a měsíční rezervované kapacity. U roční rezervované kapacity se platí 159 183 Kč.MW⁻¹ a u měsíční 175 908 Kč.MW⁻¹. V tomto konkrétním případě budu předpokládat, že podnik má sjednanou roční rezervovanou kapacitu ve výši celkového instalovaného výkonu 641,5 kW_e, bude tedy ročně platit navíc 102 116 Kč. Při překročení sjednané hodnoty se platí penále. Dalšími položkami ve faktuře jsou přírážky za nedodržení účinníku nebo nevyžádaná dodávka jalové energie do sítě, tyto položky považuji za nulové. ^{[22] [27] [28]}

9.2 Cena zemního plynu

S roční spotřebou vyšší než 630 MWh a nižší než 4200 MWh spadá galvanovna mezi střední odběratele. Je napojena na místní síť (tlaková úroveň připojení 2 – 300 kPa). Pro realizaci dodávky zemního plynu je nutné uzavřít Smlouvu o připojení k distribuční soustavě a Smlouvu o sdružených dodávkách plynu. Dále je třeba nechat schválit dokumentaci projektu a do odběrného místa instalovat měřicí zařízení.

Cena zemního plynu se podobně jako cena elektřiny skládá z několika regulovaných a neregulovaných částí. Výpočet regulovaných částí vychází z [23]. Celková částka za komoditu je brána jako součet ceny ZP na burze (nyní okolo 22 EUR.MWh⁻¹) a nákladů obchodníka na přepravu. Pokud budu podnik vztahovat k distribuční zóně RWE GasNet, poplatek za odebraný plyn bude mít hodnotu 41,94 Kč.MWh⁻¹. Rezervovanou kapacitu vypočítám jako celkový instalovaný výkon spotřebičů na zemní plyn, vynásobím 24 hodinami a poté vydělím objemovým spalným teplem. Za rezervovanou kapacitu se zaplatí 199, 879 Kč.m⁻³. Menšími položkami jsou daň ze zemního plynu a poplatek za činnost OTE. Mezi ostatní řadím služby obchodníka za dodávku plynu. Cena za 1 MWh zemního plynu pak vychází okolo 1 000 Kč. ^{[23] [29]}

Cena plynu	Cena/jednotka
Komodita vč. přepravy [Kč.MWh ⁻¹]	750,00
Daň ze ZP [Kč.MWh ⁻¹]	30,60
Distribuce - rez. kapacita [Kč.m ⁻³]	199, 879
Distribuce - za odebraný plyn [Kč.MWh ⁻¹]	41,94
Činnost OTE [Kč.MWh ⁻¹]	2,16
Ostatní služby za rez. kapacitu [Kč.m ⁻³]	200

Tabulka 6

Struktura ceny zemního plynu

10. SPOLUPRÁCE S DISTRIBUČNÍ SOUSTAVOU

Zde budu porovnávat dvě varianty spolupráce s distribuční soustavou, vždy je KGJ v provozu po dobu 32 týdnů během topné sezóny a vždy kryje pouze část vlastní spotřeby elektřiny. Vhodná varianta bude vybrána podle celkových výnosů za prodej elektřiny a Zelené bonusy. K osmihodinové směně je připočítána 2 x přestávka 15 minut na oddych a 1 x 30 minut na oběd. Příklad žádosti o připojení výrobní elektřiny k distribuční soustavě je v Příloze 6.

10.1 Varianta A

Ve variantě A je KGJ v chodu 5 dní v týdnu, o víkendu pracuje kotel na částečné zatížení. K prodeji vyrobené elektřiny dochází pouze od 17:00 do 8:00 následujícího dne. Jednotka je v provozu 3 840 hodin ročně, dosahuje ročních Zelených bonusů 1 180 Kč.MWh⁻¹ v základní sazbě a 455 Kč.MWh⁻¹ v doplňkové sazbě. Do vlastní spotřeby mi jde celkem 293 MWh elektřiny z KVET, do sítě pak 475 MWh ročně.

	Čas	Režim	Výroba [MWh]	Kupuji/prodávám	Kupuji/prodávám [MWh]
Pracovní den	8:00 - 17:00	K+KGJ	1,8	Kupuji	0,77
Noc	17:00 - 8:00	KGJ	3	Prodávám	2,97
Víkend - den	8:00 - 17:00	K	0	Kupuji	0,33
Víkend - noc	17:00 - 8:00	K	0	Kupuji	0,02

Tabulka 7

Spolupráce s distribuční soustavou – varianta A

10.2 Varianta B

Ve variantě B je KGJ v 24 hodinovém chodu po celý týden, o víkendu je utlumena na 60 % P_t. Elektřina je dodávána do sítě v pracovní den v noci a během víkendu po 24 hodin. Počet hodin provozu jednotky dosahuje hodnoty 5 376 hodin. Podnik má nárok na Zelený bonus 250 Kč.MWh⁻¹ v základní sazbě a 455 Kč.MWh⁻¹ v sazbě doplňkové. V této variantě využiji až 315 MWh elektřiny z kogenerace na vlastní spotřebu, do sítě dodám 637 MWh/rok.

	Čas	Režim	Výroba [MWh]	Kupuji/prodávám	Kupuji/prodávám [MWh]
Pracovní den	8:00 - 17:00	K+KGJ	1,8	Kupuji	0,77
Noc	17:00 - 8:00	KGJ	3	Prodávám	2,97
Víkend - den	8:00 - 17:00	KGJ	1,08	Prodávám	0,75
Víkend - noc	17:00 - 8:00	KGJ	1,8	Prodávám	1,79

Tabulka 8

Spolupráce s distribuční soustavou – varianta B

10.3 Porovnání

V následující tabulce jsou vypočteny rozdíly za první rok provozu ve výnosech a ve variabilních provozních nákladech souvisejících s množstvím vyrobené elektřiny. Je uvažována cena zemního plynu 1 004 Kč.MWh⁻¹ pro variantu A a 989 Kč.MWh⁻¹ pro variantu B. Dále nákupní cena elektřiny 2 005 Kč.MWh⁻¹ u varianty A a 2 022 Kč.MWh⁻¹ u varianty B. Výkupní cena elektřiny je volena podle aktuální ceny na burze, tedy 850 Kč.MWh⁻¹ a počítám s možností, že od nás vykupující vykoupi všechnu elektřinu dodanou do sítě. ^{[21] [27] [28] [22]}

		Varianta A		Varianta B	
		[MWh.rok ⁻¹]	[Kč]	[MWh.rok ⁻¹]	[Kč]
1	Výroba elektřiny	768	x	952	x
2	Úspora	293	509 005	315	547 709
3	Prodám do sítě	475	403 930	637	541 706
4	Zelený bonus výsledný	x	1 255 680	x	671 386
5	Bonus na decentrální výrobu elektřiny	475	6 102	637	8 183
6	Náklady na nákup elektřiny	379	658 396	357	619 805
7	Náklady na palivo	2 820	2 831 564	3 080	3 047 062
8	Náklady na provoz a údržbu	x	210 324	x	232 442
9	Suma nákladů (ř.6 + ř.7 + ř.8)	x	3 700 284	x	3 899 308
10	Výnosy celkem	x	2 174 716	x	1 768 984

Tabulka 9

Porovnání variant distribuce elektřiny

Z tabulky 8 vyplývá, že varianta A má vyšší výnosy a zároveň menší variabilní náklady, což je způsobeno hlavně velkým Zeleným bonusem. Varianta 2 má sice vyšší výnosy za prodej a úsporu elektřiny, tento rozdíl ale není tak znatelný. Doporučuji tedy provoz podle varianty A.

11. PROVOZNÍ ZISK

11.1 Provozní náklady

11.1.1 Palivové náklady

$$N_p = \frac{Q_v * C}{Q' * \eta} * Q_{ost} \quad [\text{Kč}] \quad (11.1)$$

Q_v vyrobené teplo [MJ]

C ... cena ZP [Kč.MWh⁻¹]

Q' ... výhřevnost ZP, $Q' = 33,48 \text{ MJ.m}^{-3}$

η ... účinnost [%]

Q_{ost} ... objemové spalné teplo, $Q_{ost} = 10,5 * 10^3 \text{ MWh.m}^{-3}$

Kotel a kogenerační jednotka ročně spotřebují celkem 2 820 MWh paliva. Při ceně ZP 1 004 Kč.MWh⁻¹ budou roční náklady na palivo pro jednotku a kotel 2 835 512 Kč, což znamená, že tato položka je nejvýznamnější částí celkových nákladů. ^[30]

11.1.2 Provoz a údržba

Měrné náklady na provoz a údržbu jednotky činí 0,22 Kč.kWh_e⁻¹ vyrobené elektřiny, v tomto případě to je tedy 168 960 Kč ročně. Běžnou údržbu, jako je kontrola a doplňování oleje, chladicí kapaliny, kontrola mazací soustavy, výfukového traktu a další jednodušší úkony provádí obsluha kogenerační jednotky. Servis a opravy provádí servisní organizace na základě provozních hodin. Generální oprava se doporučuje přibližně po 50 000 hodinách provozu jednotky, její životnost odhadují podle navrhnutého provozu na 14 let. Náklady na údržbu kotle odhadují na 0,08 Kč.kWh_t⁻¹, celkové náklady na provoz a údržbu činí 210 324 Kč. ^[25]

11.1.3 Odběr elektřiny ze sítě

Ročně podnik odebere ze sítě přibližně 379 MWh elektřiny, z toho 233 MWh v létě a 124 MWh v zimě. Při ceně 2 005 Kč.MWh⁻¹ to znamená, že bude zaplacená částka 759 490 Kč.

11.1.4 Osobní náklady

O provoz kotelný se bude starat jeden člověk s hrubou měsíční mzdou 11 000 Kč. Zaměstnavatel za něj zaplatí včetně odvodů na zdravotní a sociální pojištění 1,34 násobek této částky, celkem 14 740 Kč/měsíc, tedy 176 880 Kč ročně.

11.1.5 Odpisy

Podle Zákona o daních z příjmů 586/1992 lze zařadit kotel do 3. odpisové skupiny s dobou odepisování 10 let a kogenerační jednotku jako „generátorové soustrojí s pístovým vznětovým motorem s vnitřním spalováním do 2,5 MW_e“ do 2. odpisové skupiny s dobou odepisování 5 let. Celkem rovnoměrně odepisují částku 364 387 za kotel a 4 511 280 Kč za kogenerační jednotku. Předpokládám, že se daňové odpisy číselně rovnají účetním odpisům.

	Odpisová skupina	Doba odepisování [roky]	1. rok [Kč]	Další roky [Kč]
Kotel	3	10	20 041	38 261
KGJ	2	5	496 241	1 003 760
Celkové odpisy No [Kč/rok]			516 282	1 042 020

Tabulka 10

Odpisy

11.1.6 Ostatní náklady

Mezi ostatní náklady řadím poplatky (např. za pronájem plynoměru, elektroměru atd.) ve výši 50 000 Kč.

11.2 Výnosy

11.2.1 Zelené bonusy

Jako výrobní elektřiny s instalovaným výkonem 200 kW_e a provozními hodinami do 4 400 hod.rok⁻¹ má podnik nárok na Zelený bonus ve výši 1 180 Kč.MWh⁻¹ v základní sazbě a 455 Kč.MWh⁻¹ v doplňkové sazbě. Celková hodnota bonusu je 1 635 Kč.MWh⁻¹ a po vynásobení s roční výrobou elektřiny 768 MWh dostávám roční podporu ve výši 1 255 680 Kč.

11.2.2 Bonus z decentralizované výroby elektřiny

Tato forma podpory je charakterizována v zákoně 165/2012 Sb. a vztahuje se na výrobní elektřiny na území České republiky, které jsou připojeny k distribuční soustavě a na elektřinu předanou do soustavy. Výši bonusu vyhláší každoročně ERÚ a pro rok 2015 je to 12,84 Kč.MWh⁻¹. Pokud tedy KGJ dodá do soustavy 475 MWh ročně, má nárok na bonus ve výši 6 102 Kč.

11.2.3 Prodej elektřiny

Pokud se podaří najít vykupujícího, který vykoupí všechnu „nepotřebnou“ elektřinu minimálně za cenu na burze (850 Kč), vznikne výnos 403 930 Kč. Pokud by se tento výnos nepodařilo zrealizovat, značně by to ovlivnilo ekonomické hodnocení a projekt by se jevil jako nerentabilní. Vykupovat může každý, kdo vlastní licenci na obchod s elektřinou, kterou vydává Energetický regulační úřad.

11.2.4 Úspora z nákupu elektřiny

Vlastní spotřeba podniku činí 293 MWh ze 768 MWh vyrobených jednotkou. To znamená, že se při nákupní ceně 2 005 Kč.MWh⁻¹ uspoří 587 162 Kč ročně.

11.2.5 Úspora z nákupu tepla

Při předpokladu, že by podnik v opačném případě nakupoval teplo za 510 Kč.GJ⁻¹ od dodavatele, zaujímají úspory z nákupu tepla klíčovou roli při počítání výnosů. Při spotřebě 5092 GJ ročně se ušetří až 2 596 912 Kč, což podstatně sníží dobu návratnosti investice.

11.3 Zisk

Hrubý provozní zisk je dán rozdílem výnosů a provozních nákladů. V případě kladného výsledku je daněn sazbou 19 %. V šestém až desátém roce je generován zisk, od něhož je odečtena ztráta předchozích let, podnik tedy odvede za KGJ a kotel nulovou daň z příjmu. Ukázka bilance výnosů a nákladů pro prvních 5 let je v tabulce 8, kompletní bilanci pro dobu hodnocení 14 let s ročním růstem ceny zemního plynu, elektřiny a tepla o 3 % najdeme v Příloze 7.

[Kč]	1	2	3	4	5
Náklady celkem	3 931 112	4 106 920	4 184 312	4 296 725	4 412 510
Palivové náklady	2 835 512	2 920 578	3 008 195	3 098 441	3 191 394
Provoz a údržba	210 324	210 324	210 324	210 324	210 324
Odběr elektřiny ze sítě	658 396	749 138	738 912	761 080	783 912
Osobní náklady	176 880	176 880	176 880	176 880	176 880
Ostatní náklady	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Výnosy celkem	4 771 628	4 908 274	4 968 258	5 079 452	5 193 983
Zelený bonus	1 255 680	1 255 680	1 255 680	1 255 680	1 255 680
Prodej elektřiny	403 930	392 515	380 160	391 565	403 312
Úspora z nákupu elektřiny	509 005	579 158	571 253	588 390	606 042
Podpora decentralizované výroby elektřiny	6 102	6 102	6 102	6 102	6 102
Úspora z nákupu tepla	2 596 912	2 674 819	2 755 064	2 837 716	2 922 847
EBIT DA	840 516	801 354	783 947	782 728	781 472
Odpisy	547 647	1 105 465	1 105 465	1 105 465	1 105 465
Základ daně z příjmu	292 869	-304 110	-321 518	-322 737	-323 992
Daň z příjmu 19%	55 645	0	0	0	0
Čistý daňový zisk	237 224	-304 110	-321 518	-322 737	-323 992

Tabulka 11

Náklady, výnosy a zisk v prvních 5 letech provozu

12. TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ

Při technickém vyhodnocování by měly být diskutovány tyto aspekty:

- Prostorové uspořádání kotleny, vhodnost umístění KGJ
- Připojitelnost nové výroby elektřiny z hlediska kapacity přenosové a distribuční soustavy
- Vyvedení spalin – rekonstrukce komínů
- Řešení náhradních zdrojů energie při poruše stávajících

Následující bilance a ukazatele jsou zpracovány podle Vyhlášky 480/2012 Sb. o energetickém auditu a posudku.

12.1 Roční bilance výroby energie z KGJ

ř.	Ukazatele	Jednotka	Hodnota
1	Instalovaný elektrický výkon celkem	MW	0,2
2	Instalovaný tepelný výkon celkem	MW	0,253
3	Výroba elektřiny	MWh	768
4	Prodej elektřiny	MWh	475
5	Vlastní technologická spotřeba el. na výrobu elektřiny	MWh	0
6	Spotřeba energie v palivu na výrobu elektřiny	GJ.rok ⁻¹	3 525,5
7	Výroba tepla	GJ.rok ⁻¹	3497
8	Dodávka tepla	GJ.rok ⁻¹	3497
9	Prodej tepla	GJ.rok ⁻¹	0
10	Vlastní technologická spotřeba tepla na výrobu tepla	GJ.rok ⁻¹	0
11	Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla	GJ.rok ⁻¹	4 451,8
12	Spotřeba energie v palivu celkem	GJ.rok ⁻¹	7 977,3

Tabulka 12

Roční bilance výroby energie z KGJ

12.2 Základní technické ukazatele KGJ

ř.	Ukazatele	Jednotka	Hodnota
1	Roční celková účinnost zdroje	%	78,5
2	Roční účinnost výroby elektrické energie	%	78,4
3	Roční účinnost výroby tepla	%	78,6
4	Spotřeba energie v palivu na výrobu elektřiny	GJ.MWh ⁻¹	4,6
5	Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla	GJ	1,3
6	Roční využití instalovaného elektrického výkonu	hod	3840
7	Roční využití instalovaného tepelného výkonu	hod	3840

Tabulka 13

Základní technické ukazatele KGJ

Celková účinnost zdroje je 78,5 %, což vyhovuje požadavku na minimální účinnost KGJ se spalovacím motorem 75 %. Poměrná úspora primárního paliva má hodnotu 99 %, což splňuje požadavek na kladnou úsporu poměrného paliva.

13. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Předpoklady ekonomického vyhodnocení:

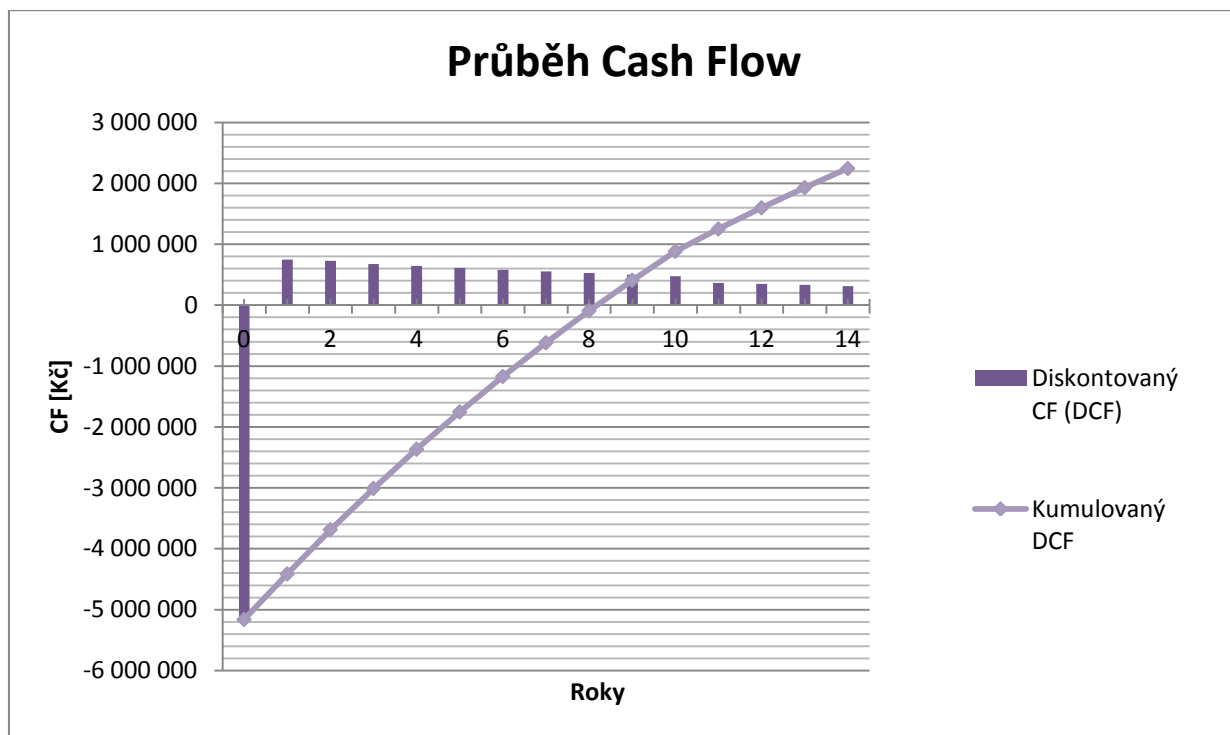
- Uskutečnění projektu do konce roku 2015
- Doba hodnocení po dobu životnosti 14 let, diskontní sazba 5 %
- Do roku 2018 ceny energií odhadovány podle [28], dále počítáno s ročním růstem cen o 3 %
- Financování z vlastního kapitálu
- Dodržení minimální požadované úspory paliva po celou dobu hodnocení, hodnota Zelených bonusů se během doby hodnocení nemění

Parametr	Jednotky	Hodnota
Investiční výdaje projektu	Kč	5 160 667
Doba hodnocení	roky	14
Roční růst cen energie	%	3
Diskont	%	5,00
Prostá doba návratnosti	roky	6,6
Diskontovaná doba návratnosti	roky	8,2
NPV	Kč	2 244 078
IRR	%	6,21

Tabulka 14

Ekonomické vyhodnocení

Při konstantní diskontní sazbě 5 % se bude IRR pohybovat okolo 6 % a NPV bude mít kladnou hodnotu převyšující 2 miliony Kč, z čehož vyplývá, že by se realizace projektu měla vyplatit. Diskontovaná doba návratnosti 8,2 let nepřevyšuje dobu životnosti jednotky. Hlavní výhodou projektu je dle mého názoru vlastní výroba tepla v objektu a tedy nezávislost na dodávce od dodavatele. Výpočet Cash flow je zaznamenán v *Příloze 8*, jeho průběh je znázorněn v grafu 4.



Graf 4

Průběh diskontovaného a kumulovaného Cash flow

14. EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ

Kogenerační jednotka TEDOM Cento T200 splňuje požadavek na emisní limity NO_x a CO ve spalinách. Při 5 % obsahu kyslíku ve spalinách jsou hodnoty NO_x podle technické specifikace 500 mg.Nm^{-3} a hodnoty CO 650 mg.Nm^{-3} . Při spálení paliva 2 820 MWh (t.j. $268\,952 \text{ m}^3$) lze odhadnout nárůst emisí NO_x o $0,13 \text{ t.rok}^{-1}$ a v případě CO nárůst emisí o $0,17 \text{ t.rok}^{-1}$.

Díky velikosti jmenovitého tepelného výkonu 253 kW_t nepatří jednotka mezi vyjmenované zdroje, na které se vztahuje poplatek za znečišťování a provedení rozptylové studie či kompenzačního opatření. ^[13]

15. ZÁVĚR

Průmyslovému podniku (galvanovně) s celkovým instalovaným tepelným výkonem 435 kW_t jsem navrhla kogenerační jednotku se spalovacím motorem o maximálním tepelném výkonu 253 kW_t a o jmenovitém elektrickém výkonu 200 kW_e. Tato jednotka bude v provozu během topného období (celkem 3840 hodin) a její činnost bude doplňovat kondenzační plynový kotel. Vyrobené teplo se využije k vytápění objektu, ohřevu TUV a pro technologické účely. Celkové investiční výdaje včetně vypracování projektu, stavebních úprav, montáže jednotky a kotle a vyvedení elektrického výkonu odhaduji na 5 160 667 Kč.

Vyrobená elektřina z KGJ je využita z části pro vlastní spotřebu a z části k dodávce do sítě. Do vlastní spotřeby jde celkem 293 MWh ročně a tím vzniká roční úspora vyšší než půl milionu. K dodávce elektřiny do sítě dochází během noci. Připojení výrobní elektřiny k distribuční soustavě pro oblast ČEZ distribuce není kvůli kapacitě sítě možné pouze v okresech Příbram, Rakovník, Chomutov, Louny, Karviná a v Karlovarském kraji. ^[31]

Největší položkou nákladů jsou palivové náklady, za které podnik zaplatí téměř 3 miliony korun ročně. Naopak nejvýznamnější položkou výnosů jsou úspory z nákupu tepla a Zelené bonusy, bez kterých by se zavedení kogenerace jevílo jako ztrátové řešení. Kladný čistý zisk bude generován po prvním roce provozu a dále po šestém roce provozu do konce doby hodnocení, které je stanoveno na 14 let podle provozních hodin jednotky.

Požadavky na minimální celkovou účinnost zdroje a poměrnou úsporu primárního paliva jsou splněny. Jednotka pracuje s celkovou účinností 78,5 % a ÚPE má hodnotu 99 %. Co se týče ekonomického hodnocení, při diskontní sazbě 5 % má vnitřní výnosové procento velikost 6,21 % a čistá současná hodnota 2 244 078 Kč. Diskontovaná doba návratnosti 8,2 let nepřevyšuje dobu životnosti KGJ, investice se jeví jako výhodná. Pokud by však podnik požadoval diskontní sazbu vyšší (v praxi se požaduje 8 – 10%), doporučovala bych zvážit a porovnat několik dalších variant provozu z důvodu malého IRR a nižšího NPV. Ekologické zhodnocení se jeví jako uspokojivé a je třeba přihlídnout k nárokům v konkrétní lokalitě, ve které má být zdroj provozován.

Alternativní možností dodávky energií do podniku je prodej (pronájem) kotelny např. společnosti ČEZ Energo, která se specializuje na KVET. Ta by do objektu instalovala kogenerační jednotku, zajišťovala by její fungování a po uzavření výhodné smlouvy by se společnost stala dodavatelem tepla a případně i elektrické energie do galvanovny. Podniku by tak odpadla starost s provozem jednotky, měla by výnos z prodeje (pronájmu) kotelny a zároveň by si sjednala výhodnější ceny elektřiny a tepla. Tato varianta by se musela samostatně vyhodnotit z ekonomického a technického pohledu.

Ceny elektřiny a plynu jako komodit lze do jisté míry odhadovat podle situace na burze. Pokud by však došlo k nějaké neočekávané události, jako bylo v minulosti např. uzavření německých jaderných elektráren v důsledku havárie v japonské jaderné elektrárně Fukušima nebo složitá politická situace na Ukrajině a s tím spojené problémy ohledně dodávky plynu, cena těchto komodit může během jediného dne prudce vzrůst. Doba jejich návratu na „původní“ hodnotu pak může být v řádu let, což negativně zkreslí ekonomické hodnocení investice, které je v tomto konkrétním případě počítáno od roku 2015 do doby technologické životnosti kogenerační jednotky, tedy do roku 2029. Dalším faktorem, který může zkreslit toto hodnocení je legislativní změna, která např. výrazně sníží nebo zvýší poplatky na podporu OZE nebo zruší Zelené bonusy (v tuto chvíli se nejeví jako reálné).

Seznam použité literatury

- [1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-730-0118-7.
- [2] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. 1. vyd. Praha: GAS, 2007. ISBN 978-807-3281-519.
- [3] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*. Brno: PC-DIR Real, 1999, 113 s. ISBN 80-858-9523-4.
- [4] FLIN, David. *Cogeneration: A user's guide*. London (United Kingdom): The Institution of Engineering and Technology, 2010, vii, 120 pages. IET renewable energy series, 11. ISBN 18-491-9104-2.
- [5] Mikroturbína. *Asociace mikroturbín, o.s.* [online]. [cit. 2014-11-08]. Dostupné z: <http://www.mikroturbina.cz/mikroturbina.htm>
- [6] TRÁVNÍČEK, Petr a Zbyšek KARAFIÁT. Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. *Biom.cz* [online]. 15.4.2009 [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>
- [7] Kogenerační jednotky TEDOM. *TEDOM* [online]. [cit. 2014-11-03]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-provedeni.html>
- [8] KUNC, Jan a Libor NOVÁK. Biomasa - efektivní palivo pro ORC technologii. STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. *Tzbinfo* [online]. 11.4.2005 [cit. 2014-11-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2455-biomasa-efektivni-palivo-pro-orc-technologie>
- [9] Kombinovaná výroba. TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla* [online]. [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=0100#>
- [10] MATĚNA, Štěpán, Jiří BRAUNER a Milan TŮMA. *Výroba a rozvod elektrické energie I*. Vydání druhé, upravené. Praha: SNTL/ALFA, 1978.
- [11] DLOUHÝ, Tomáš. *Kotelny a kogenerační jednotky*. Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>. Projekt II. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.
- [12] Látky v IRZ. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/20>
- [13] Česká republika. Zákon o ochraně ovzduší. In: *201/2012 Sb.* 2012. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/\\$file/Z%20201_2012.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/$file/Z%20201_2012.pdf)
- [14] Česká republika. Nařízení vlády: o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *272/2011 Sb.* 2011. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=74904&nr=272~2F2011~20Sb.&ft=pdf>
- [15] Česká republika. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *165/2012 Sb.* 2012. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=77573&nr=165~2F2012~20Sb.&ft=pdf>

- [16] Česká republika. Vyhláška o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů. In: 453/2012 Sb. 2012, Částka 169. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=25306>
- [17] Česká republika. Zákon, kterým se mění zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. In: 90/2014 Sb. 2014. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=82077&nr=90~2F2014~20Sb.&ft=pdf>
- [18] Česká republika. Vyhláška: o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: 415/2012 Sb. 21. listopadu 2012, Částka 151. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B5/\\$file/sb0151-2012-415-2012.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B5/$file/sb0151-2012-415-2012.pdf)
- [21] Česká republika. Zákon o daních z příjmů: ve znění pozdějších předpisů. In: 586/1992. 1992. Dostupné z: <http://business.center.cz/business/pravo/zakony/dprij/>
- [20] Česká republika. Vyhláška o energetickém auditu a posudku. In: 480/2012. 2012, 182.
- [21] Energetický regulační věstník. In: -. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2014, Ročník 14, Částka 4/2014. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683
- [22] Energetický regulační věstník. In: Jihlava: Energetický regulační úřad, 2014, roč. 14, 5/2014. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_5_2014.pdf/07e2f39a-c098-4752-946b-9eb793ec4d36
- [23] Energetický regulační věstník. In: Jihlava: Energetický regulační úřad, 2014, roč. 14, 7/2014. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_7_2014/f597fcdb-ab29-4f61-a8af-76b4a48169a1
- [24] Galvanické pokovení. GALVANOVNA OMEGA. *Galvanovna Omega* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>
- [25] TEDOM (informace poskytl pan Josef Zavadil, Marketing Manager)
- [26] *Vaillant* [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.vaillant.cz/stacionarni-plynovy-kotel-vkk-ecocraft-exclusiv-p240.html>
- [27] ČEZ distribuce (informace poskytl pan Radim Stehlík, Obchodní zástupce)
- [28] Oficiální kurzovní lístek. *Power Exchange Central Europe* [online]. 17.4.2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <https://www.pxe.cz/Kurzovni-Listek/Oficialni-KL/>
- [29] Střední odběratel a velkoodběratel. RWE. *RWE GasNet* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <https://www.rwe-distribuce.cz/cs/stredni-odberatel-a-velkoodberatel/>
- [30] *Příručka pro využití regionálních kogeneračních zdrojů*. Česká energetická agentura. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8070.pdf

- [31] Možnosti připojování nových výroben. ČEZ. *ČEZ distribuce* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/technicke-informace/moznosti-prip-novych-vyroben.html>
- [32] Formuláře: Výrobní elektřiny. ČEZ. *ČEZ distribuce* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/formulare/vyrobci/formd2014_09_24_zadostopripojenivyrobnyeletrinykds_web.pdf
- [33] DLOUHÝ, Tomáš a Vladimír VALENTA. 2008. Zjišťování tepelné účinnosti plynových kotlů a kotelen - I. díl: Část 1 - Zjišťování tepelné účinnosti plynových kotlů. *Tzb info* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4693-zjistovani-tepelne-ucinnosti-plynovych-kotlu-a-kotelen-i-dil>
- [34] Bioplynka. *Geocaching* [online]. 2011 [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://imgcdn.geocaching.com/cache/large/c1cfd3e9-6059-4142-aa4e-b1a851999532.jpg> (obrázek 3)
- [35] Kogenerační jednotky: Pro média. *TEDOM* [online]. [cit. 2014-11-03]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/galerie-kogeneracni%20jednotky-a-23.html> (obrázek 4)
- [36] Gas engines - Power generation: Gas Engines Jenbacher Type 3. *GE-energy* [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: http://www.ge-energy.com/content/multimedia/files/photos/J316_screen_GE_Jenbacher.jpg (obrázek 7)

Seznam obrázků

Obr. 1 : Příklady denních diagramů potřeby tepla v pracovních dnech a ve dnech pracovního volna	12
Obr. 2: Příklad denního diagramu spotřeby elektřiny s velikostmi $\frac{1}{4}$ hodinových maxim	12
Obr. 3 : Zařízení KJ se spalovacím motorem jako primární jednotkou	13
Obr. 4 : Příklady uspořádání: jednotka bez protihlukového krytu Tedom Cento T160 a kontejnerové uspořádání jednotky Tedom Quanto	14
Obr. 5 : Schéma uspořádání spalovací turbíny	16
Obr. 6 : Schematické uspořádání ORC cyklu při využití kogenerace z biomasy	17
Obr. 7 : Spalovací motor Jenbacher	18
Obr. 8: Zapojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovacím motorem	20

Seznam příloh

- Příloha 1:
Vzor žádosti o vydání osvědčení o původu elektřiny z vysokoúčinné KVET [16]
- Příloha 2:
a) Výše zelených bonusů pro KJ < 5MW – základní sazba [21]
b) Doplnková sazba I k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET [21]
- Příloha 3:
Přehled spotřebičů průmyslového podniku
- Příloha 4:
Technická specifikace KGJ TEDOM Cento T200 [25]
- Příloha 5:
Rozměrový výkres KGJ TEDOM Cento T200 [25]
- Příloha 6:
Vzor žádosti o připojení výroby elektřiny [32]
- Příloha 7:
Výnosy, náklady, zisk
- Příloha 8:
Výpočet Cash Flow