



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky**

**Technicko - ekonomické zhodnocení použití kogeneračních jednotek  
Technical and economical evaluation of application of cogenerations**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Straka Libor Ing.

**Pavel Špingl**

---

**Praha 2017**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Špingl Jméno: Pavel Osobní číslo: 434868  
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická  
Zadávající katedra/ústav: Katedra elektroenergetiky  
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Technicko - ekonomické zhodnocení použití kogeneračních jednotek

Název bakalářské práce anglicky:

Technical and economical evaluation of application of cogenerations

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s aktuální legislativou v oblasti energetických úspor
2. Stručně popište princip a použití kogeneračních jednotek
3. Popište možnosti použití kogeneračních jednotek v konkrétním průmyslovém provozu
4. Technicky a ekonomicky zhodnoťte navrhovanou variantu

Seznam doporučené literatury:

- [1] MILLS, Anthony F. Heat transfer. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, c1999. ISBN 0139476245.
- [2] www.eru.cz
- [3] <http://www.ote-cr.cz>
- [4] zákon č. 406/2000 Sb.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Libor Straka, katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 17.02.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 26.05.2017

Platnost zadání bakalářské práce: 30.09.2018

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



## Čestné prohlášení

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

V Praze 19. 5. 2017

.....

Podpis



## Poděkování

Tímto děkuji všem, kteří mi pomáhali svými znalostmi a zkušenostmi s touto bakalářskou prací.  
Jmenovitě pak děkuji vedoucímu mé práce Ing. Liboru Strakovi.





## Anotace

Cílem této práce je se zabírat technickým a ekonomickým zhodnocením využití kogeneračních jednotek v průmyslu se zaměřením na energetickou úsporu.

## Annotation

The purpose of this thesis is to concern with technical and economic evaluation of using cogenerative units in industry with focus on energy saving.



## Obsah

1. Úvod .....	13
1.1. Cíl práce.....	13
2. Legislativa v oblasti energetických úspor.....	14
2.1. Úvod .....	14
2.2. Základní pojmy .....	14
2.3. Podpora úspory energie .....	15
2.4. Životní prostředí a kogenerační jednotky .....	17
3. Princip a využití kogeneračních jednotek .....	18
3.1. Princip a využití .....	18
3.2. Druhy kogeneračních zařízení .....	20
4. Vlastní technické řešení .....	27
4.1. Princip návrhu a dimenzování kogeneračních zařízení.....	27
4.2. Popis řešeného objektu .....	28
4.3. Výpočet.....	28
4.2.1. Varianta 1 .....	31
4.2.2. Varianta 2 .....	32
4.2.3. Varianta 3 .....	33
5. Technicko - ekonomické zhodnocení .....	34
5.1 Úvod do problematiky ekonomického zhodnocení.....	34
5.2 Zhodnocení projektu .....	35
6. Závěr .....	39
7. Seznam příloh, grafů, obrázků a tabulek.....	41
8. Citovaná literatura.....	43



# 1. Úvod

## 1.1. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je potvrdit, nebo vyvrátit domněnku ekonomické a ekologické výhodnosti použití kogeneračních jednotek.

S ohledem na současné trendy v energetice se tato bakalářská práce zabývá možnou ekologizací průmyslového provozu s cílem snížit, nebo lépe využít spotřebu paliva určeného na výrobu tepla. Konkrétněji se zaměřuje na technologie spojené s úsporou energií, speciálně pak na použití kogeneračních jednotek.

První část se zabývá současnou legislativou v oblasti energetických úspor se zvláštním zaměřením na kogenerovanou výrobu tepla a elektrické energie.

V druhé části je stručně vysvětlen princip a funkce kogeneračních jednotek. Dále je druhá část zaměřena na jednotlivé druhy kogeneračních jednotek a jejich použití.

Ve třetí části je zvolen konkrétní průmyslový provoz, kde na základě jeho specifikace a parametrů bude vybráno vhodné řešení použití kogeneračních jednotek s ohledem na technické i ekonomické aspekty.

Ve čtvrté části budou ekonomicky vyhodnoceny navrhované varianty.

## 2. Legislativa v oblasti energetických úspor

### 2.1. Úvod

Energetické úspory jsou v České republice regulovány zákonem č. 406/2000 Sb. [1], o hospodaření energií. Z tohoto zákona vycházejí opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti při nakládání s energií, tvorba energetické koncepce státu včetně programu pro podporu obnovitelných zdrojů a úspory energie. Součástí této podpory mohou být dotace pro ekologizaci zdrojů energií v souladu s územním plánem rozvoje. Tento zákon se dále zabývá ekodesignem a požadavky na informování o spotřebě energie u hlavních zdrojů na energetických štítcích výrobku. Dále nařizuje osvětlu v oblasti úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů.

### 2.2. Základní pojmy

Pro lepší pochopení problematiky budou vysvětleny základní pojmy.

**Energetické hospodářství** je soubor několika technických zařízení, popřípadě i budov sloužící k nakládání s energií.

**Účinnost užití energie** je míra efektivnosti energetických procesů, vychází z poměru energetických výstupů ku energetickým vstupům.

**Energetická náročnost budovy** je vypočítané množství energie potřebné pro provoz budovy. Mezi tyto energie patří především energie na vytápění, chlazení, větrání, osvětlení, přípravu teplé vody a další procesy spjaté s užíváním budovy.

**Průkaz energetické náročnosti budovy** je normovaný dokument pojednávající o energetické náročnosti budovy.

**Energetický audit** je komplexní písemná zpráva s informacemi o stávající úrovni využívání energie v budovách včetně energetického hospodaření a výrobního procesu. Tato zpráva je hodnocena z ekonomického i ekologického hlediska a navrhuje vhodná řešení pro vyšší energetickou úsporu s ohledem na ekologii.

**Ekodesign** je celkové řešení uhlíkové stopy výrobku, kdy se řeší jak spotřeba energie na výrobu a recyklaci, tak i spotřeba energie během životního cyklu. Toto řešení je se zaměřením na snižování negativního vlivu na životní prostředí.

**Zelený bonus na elektřinu** je finanční částka určena dle zákona č. 165/2012 Sb. [2] pro výrobce energie z ekologických zdrojů. Tato částka je vyplácena výrobcí elektrické energie, který zajistí spotřebu ekologicky vyrobené elektrické energie. Výši zeleného bonusu stanovuje každý rok Energetický regulační úřad.

**Kombinovanou výrobou elektřiny a tepla (KVET)** se rozumí přeměna primární energie na energii elektrickou za vzniku užitečného tepla v jednom výrobním zařízení. V takovém případě je nutné, aby vzniklé teplo bylo dále využito.

## **2.3. Podpora úspory energie**

Program o podpoře úspory energie sjednává ministerstvo průmyslu a obchodu, které ho nechává odsouhlasit vládě. Program se zpracovává na období jednoho roku a obsahuje seznam dotovaných činností ze státního rozpočtu. Mezi tyto činnosti patří: energetická úsporná opatření ke zvyšování účinnosti energie a snižování energetické náročnosti budov, rozvoj využívání vysokoúčinné kombinované výroby a tepla, která bude podrobně popsána v dalších kapitolách. Dále se podpora týká modernizace výrobních a rozvodných zařízení, rozvoj využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie, rozvoj energetického využití komunálních odpadů. Státní program na podporu úspor energie nezapomíná ani na podporu vědy a osvěty v této problematice. Další výčet podporovaných aktivit by byl nad rámec tématu této bakalářské práce, je však k nalezení pod § 5 zákona č. 406/2000 Sb. [1]

### **Snižování energetické náročnosti budovy**

Dle aktuální české legislativy je stavebník povinen dodržet požadavky na energetickou náročnost budovy na optimální úrovni. Tato úroveň se každým rokem snižuje, což vede k nutnosti zvažovat při výstavbě využití moderních materiálů s dobrými izolačními vlastnostmi. Též je nutné u stavby řešit její dispozici a členitost s ohledem na splnění požadavků. Zároveň stavebník před výstavbou musí nechat provést posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti místního systému dodávky energie využívajícího energii z obnovitelných zdrojů, popřípadě kombinované výroby elektřiny a tepla. Dále je stavebník povinen si nechat spočítat průkaz o energetické náročnosti budovy, který dokládá teoretickou energetickou bilanci budovy.

### **Legislativa pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla**

Legislativu pro podporu elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla upravuje zákon č. 165/2012 Sb. [2] o podporovaných zdrojích. Dle tohoto zákona můžeme považovat za podporovanou elektřinu z kombinované výroby tu, kde dojde nejméně 10 % úspora primární energie oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla u zařízení o větším jmenovitém výkonu než je 1 MW. Pokud se jedná o výkonově slabší zařízení, je postačující, pokud je kladná hodnota úspory primární energie. Podpora elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla se poskytuje na množství elektřiny vykázané výrobcem a to v termínech, způsobu a v rozsahu podle prováděcího právního předpisu. Dále platí, že provozovatel distribuční nebo přenosové soustavy je povinen na svém území přednostně připojovat do soustavy výrobu elektřiny z dotovaného zdroje. Též je povinen poskytnout informace nezbytné pro připojení, mezi které patří odhad nákladů na připojení, lhůty pro připojení a odhad doby nutné pro provedení připojení. Provozovatel soustavy může připojení odmítnout, pokud je nedostatečná kapacita přenosové soustavy nebo distribuční sítě nebo při ohrožení bezpečného nebo spolehlivého provozu elektrizační soustavy.

## Formy podpory elektřiny

Podpora elektřiny se provádí formou výkupních cen, ta se však nevztahuje na kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Na tu se vztahuje roční zelený bonus, jehož výši stanovuje Energetický regulační úřad ve spolupráci s operátorem trhu a je udáván v Kč/MWh. Vyúčtování zeleného bonusu určuje operátor trhu na základě naměřených nebo vypočtených hodnot vyrobené elektrické energie. Dle věstníku energetického regulačního úřadu z 29. 3. 2017 [3] jsou sazby různé podle instalovaného výkonu a ročních provozních hodin kogenerační jednotky. Pro výroby do 5 MW platí dle posledních údajů hodnoty zeleného bonusu dle přílohy č. 1.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
a		b	c	d	e	j	m
715	Elektřina z KVET	1.1.2016	31.12.2017	0	200	3 000	1 970
716		1.1.2016	31.12.2017	0	200	4 400	1 505
717		1.1.2016	31.12.2017	200	1 000	3 000	1 560
718		1.1.2016	31.12.2017	200	1 000	4 400	1 160
719		1.1.2016	31.12.2017	1 000	5 000	3 000	1 225
720		1.1.2016	31.12.2017	1 000	5 000	4 400	895

Tabulka č.1 Sazby zeleného bonusu pro malé kogenerační zdroje [3]

Z tabulky je patrné, že největšího zeleného bonusu dosáhnou provozovatelé těch výkonově nejmenších zařízení. Pro výroby nad 5 MW platí tabulka v příloze č. 2., kde přibyl parametr účinnosti, na základě kterého vznikají různé nároky na hodnotu zeleného bonusu.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu*		Instalovaný výkon výroby [kW]		ÚPE kogenerační jednotky [%]		Celková účinnost kogenerační jednotky [%]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	
a		b	c	d	e	f	g	h	i	m
760	Elektřina z KVET	1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	10	15	-	-	45
761		1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	-	45	60
762		1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	45	75	140
763		1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	75	-	200
764	Elektřina z KVET v rekonstruované výrobně elektřiny	1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	45	-	200

Tabulka č.2 Sazby zeleného bonusu pro velké kogenerační zdroje [3]

Dle trendu posledních let se posiluje podpora výkonově menších zdrojů elektrické energie z kombinované výroby, podpora velkých výroben naopak klesá. Množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla se podle vyhlášky 453/2012 Sb. [4] určuje pro jednotlivé kogenerační jednotky, nebo jejich sériovou sestavu. Vychází se ze skutečných dosažených provozních hodnot spotřeby energie v palivu, z výroby elektřiny, z mechanické energie a z užitečného tepla. Měření elektřiny se



provádí na výstupu z generátorů elektřiny kogeneračních jednotek nebo sériové soustavy. Z těchto hodnot se dle přílohy č. 1 vyhlášky 453/2012 Sb. [4] vypočítá výsledná celková účinnost, která musí dosáhnout nejméně 75 – 80 % podle typu technologie kogenerační jednotky. Na základě této účinnosti se stanovuje nárok na podporu. Každá vysokoúčinná kogenerační jednotka musí mít osvědčení o původu elektřiny. Součástí tohoto osvědčení je posudek o předpokládané výrobě a způsobu provozu kogenerační jednotky.

## **2.4. Životní prostředí a kogenerační jednotky**

Při návrhu použití kogeneračních jednotek je nutné dbát na životní prostředí. Kogenerační jednotky bereme z celostátního hlediska jako ekologické zdroje elektrické energie, protože na rozdíl od oddělené výroby elektřiny a tepla je v kogeneračních jednotkách při stejném výkonu vytvářeno méně emisí  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , CO a  $\text{CO}_2$ . I přesto mohou být kogenerační jednotky výraznou zátěží pro životní prostředí z lokálního pohledu. Proto jsou zatíženy povinností dodržet emisní limity, které se společně s technologickým vývojem zpřísnují. Těchto limitů lze docílit konstrukčními úpravami, či vhodným chodem a provozováním zařízení. Například u spalovacích motorů se optimalizuje pracovní prostor válců tak, aby došlo k co nejdokonalejšímu spálení paliva odstraněním studených zón v motoru. Dále se spalují výhradně chudé směsi paliva a přizpůsobuje se bod zážehu. To vede k omezení množství emisí nespálených uhlovodíků u spalovacích motorů.

## **3. Princip a využití kogeneračních jednotek**

### **3.1. Princip a využití**

Kogenerace je společná výroba elektrické energie a tepla, čímž se zefektivňuje využití paliva. Kogenerace zahrnuje dva zcela odlišné procesy: Přeměňuje tepelnou energii na elektrickou v tepelném oběhu na turbíně. Pak také transformuje téměř bezztrátově teplo z jednoho média na druhé v tepelném výměníku. Protože se obě výstupní energie dají jen velmi obtížně skladovat, tak se výroba upravuje a řídí na základě preference elektrické, či tepelné energie. Je nutné zmínit, že elektrickou energii lze brát jako nejkvalitnější druh energie, kterou lze poměrně lehko přenášet na dlouhé vzdálenosti a transformovat do jiných druhů energie. Tepelnou energii lze přenášet na dlouhé vzdálenosti jen s vysokými ztrátami a její transformace na kvalitnější druhy energie je obtížnější. Proto obvykle bývá při návrhu upřednostňováno teplo. Navíc pokud není využito veškeré vyrobené teplo z kogeneračních jednotek, může provoz přijít o úměrnou část zeleného bonusu na elektřinu, nebo dokonce o veškerý zelený bonus na základě nesplnění podmínky úspory primární energie.

Kogeneraci lze považovat za ekologicky šetrný způsob výroby elektrické energie. Rozdíl oproti klasické výrobě elektrické energie v tepelných elektrárnách spočívá v tom, že odpadní teplo, které je obvykle vypouštěno do ovzduší jako ztrátové, se při použití kogeneračních jednotek dále využívá. Pak lze dosáhnout až hodnot okolo 90 % společné účinnosti oproti 30 – 40 % u klasických zdrojů. Navíc, oproti ostatním ekologicky šetrným způsobům výroby elektřiny, je výroba elektřiny více říditelná a regulovatelná, na rozdíl od větrných a fotovoltaických elektráren, které podléhají silnému vlivu počasí. Díky tomu lze při propojení s dispečinkem vytvořit rozptýlenou elektrárnu.

Kogeneraci můžeme rozdělit na takzvanou velkou a malou, kde hranici tvoří hladina jmenovitého výkonu 5 MW, od které se dále odvíjí míra zeleného bonusu na vykupovanou elektrickou energii. Do velké kogenerace zahrnujeme zařízení užívaná převážně v teplárenství. Malou kogeneraci si můžeme představit jako decentrální zdroje energie, což jsou zdroje, které jsou blízko místa spotřeby. Díky tomu odpadají ztráty způsobené přenosem elektrické energie. Obvykle se jedná o technologická zařízení tvořené spalovacím motorem nebo zařízením s mikroturbínou, generátorem, soustavou tepelných výměníků a řídicím systémem umožňující vzdálené řízení. Jako palivo pro kogenerační jednotky se obvykle používá zemní plyn, uhlí, či topné oleje. Avšak díky podpoře stanovené energetickým regulačním úřadem se často využívá jako paliva i bioplynu, skládkového a kalového plynu. Speciální míra zeleného bonusu pak platí pro využívání komunálního odpadu jako paliva ve spalovnách využívajících kogeneraci.

Mezi hlavní výhody kogenerace patří vyšší účinnost využití energie obsažené v palivu. Tento fakt vede k výrazné úspoře paliva, z čehož plynou snížené náklady na výrobu elektřiny a tepla. Další výhodou je snížení emisí skleníkových plynů. Neopomenutelnou výhodou je také již zmíněná decentralizace, kde mohou být výrobní jednotky navrženy přímo pro účely odběratele energií např. průmyslový objekt. Tím odpadají přenosové a distribuční ztráty. Navíc elektrizační soustava je odolnější z hlediska zabezpečení dodávek elektřiny, pokud je složena z více různých, malých a nahraditelných zdrojů elektrické energie.

Využití malé kogenerace však není zcela univerzální. Její použití není vhodné do míst, kde není využito veškeré teplo z kogenerační jednotky, neboť množství tohoto tepla není zpravidla dostatečně velké, proto aby bylo ekonomicky výhodné jím zásobovat vzdálenější objekty. Společnost Tedom uvádí, že použití jejich produktů je smysluplné u objektů se stávajícím odběrem zemního plynu vyšším než 6500 m<sup>3</sup>. Pro představu do množiny s menším odběrem než 6500 m<sup>3</sup> spadají obvykle byty a rodinné domy. Naopak dle výrobce je použití vhodné u průmyslových a zemědělských objektů, sportovních areálů, škol, hotelů a administrativních budov. Pro tyto zmíněné aplikace se obvykle používají zařízení s mikroturbínou, Strlingovým motorem, či palivovými články, jejichž specifikace a funkce bude popsána v další kapitole.

## 3.2. Druhy kogeneračních zařízení

V současnosti je dostupná velká spousta různých druhů kogeneračních zařízení. Obvykle každá kogenerační jednotka je sestavená z těchto částí: pohonné jednotky, elektrického alternátoru připojeného do elektrizační soustavy, kotle, nebo výměníku tepla připojeným ke spotřebě tepla a kontrolního a řídicího systému.

Mezi nejčastější aplikace kogenerace lze zařadit systémy využívající: parní turbíny, spalovací turbíny, spalovací motory, Stirlingovy motory, mikroturbíny a zařízení s organickým cyklem (ORC).

### Kogenerace s využitím parní turbíny

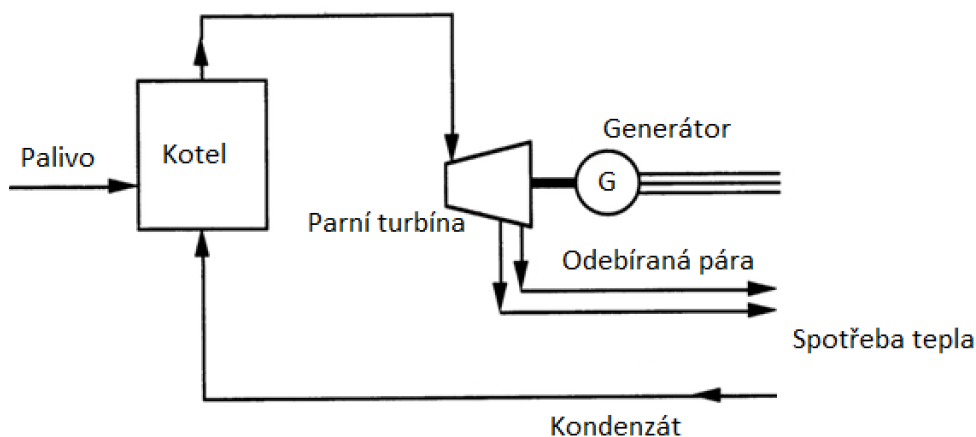
Obvyklé řešení u velkých zdrojů. Využívá Rankinova cyklu. Vysokotlaká pára je produkována v kotli, poté vykoná mechanickou práci na turbíně, která je mechanicky spojena s alternátorem generujícím elektrickou energii. Pára po průchodu turbínou je nízkopotenciální a může být dále využita jako zdroj tepla. Tato nízkopotenciální pára však musí splňovat parametry pro další využití odběratelem tepla.

Kogeneraci s využitím parní turbíny obvykle rozdělujeme na protitlakou a kondenzační.

Mezi výhody parních turbín lze zařadit fakt, že pro jejich provoz lze použít libovolné palivo. Dále pak mají dlouhou životnost, jsou schopné dodávat teplo o různých parametrech. Naopak nevýhodou je pomalé najíždění a změna výkonu a vysoké investiční náklady. [5] [6] [7] [8]

### Kogenerace s využitím parní protitlaké turbíny

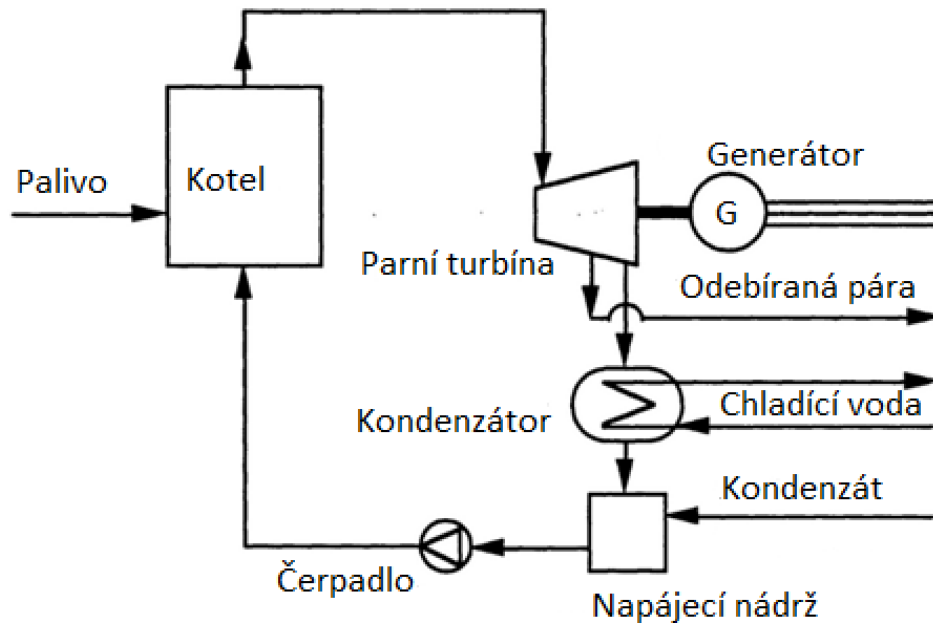
Při využití této turbíny pára opouští turbínu při vyšším tlaku než je tlak atmosférický. Páru můžeme z turbíny odebírat na různých tlakových úrovních, podle požadavků odběratele. Výhodou této konfigurace je, že je jednoduchá, není téměř potřeba chladicí voda. Dále je vysoká účinnost cyklu, neboť nedochází k tepelným ztrátám v kondenzátoru. Mezi nevýhody lze zařadit, že pro stejný elektrický výkon musí být turbína větší než u kondenzační turbíny. Pak je také výroba elektrické energie podřízena odběru tepla za turbínou, neboť toto soustrojí nelze provozovat bez dostatečného odběru tepla.



Obrázek č. 1 Kogenerace s protitlakou turbínou [7]

## Kogenerace využitím parní kondenzační turbíny

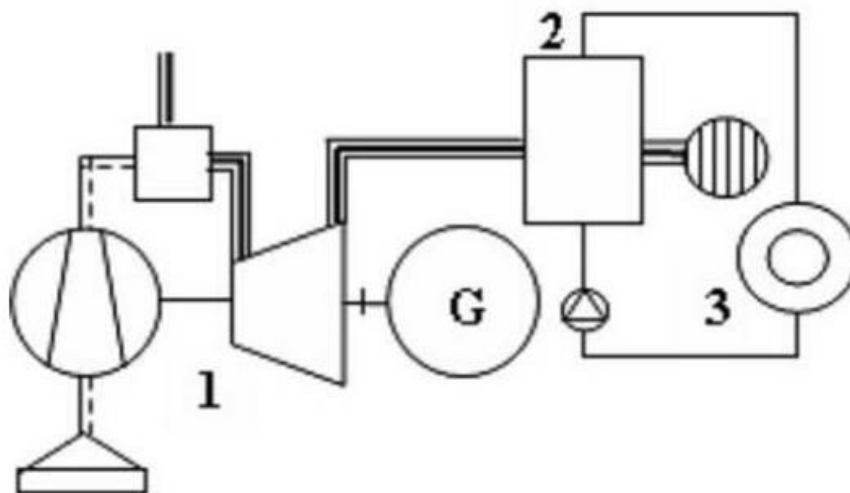
V tomto seskupení bývá pára odebírána na několika tlakových úrovních přímo z turbíny, ne však veškerá. Proto se této turbíně také říká odběrová. Část páry expanduje v turbíně při výrobě elektrické energie a následně proudí do kondenzátoru, kde kondenzuje. Takovéto zařízení je proti protitlaké turbíně složitější, avšak disponuje výhodou, že lze regulovat jak dodávku tepla, tak dodávku elektrické energie.



Obrázek č. 2 Kogenerace s kondenzační turbínou [7]

## Kogenerace se spalovací turbínou

Zařízení se spalovací turbínou se skládá z kompresoru, spalovací komory, plynové turbíny, elektrického generátoru a řízení a pomocných zařízení. Vzduch proudí z kompresoru, který ho stlačuje do spalovací komory. Tam je v proudu vzduchu spalováno palivo při stálém tlaku. Tak vznikají spaliny o vysokém tlaku a teplotě, které pak expandují v plynové turbíně. Po průchodu turbínou jsou odváděny do atmosféry. Turbína pohání elektrický generátor. Jako palivo se obvykle užívá zemní plyn, existují však i zařízení spalující lehké topné oleje. Mezi spalovacími turbínami jsou známy dva druhy s ohledem na princip konstrukce. Jsou to spalovací turbíny průmyslového typu a spalovací turbíny odvozené od leteckých proudových motorů. Účinnost turbíny je závislá na teplotě spalin, která u průmyslové turbíny dosahuje až 1250 °C, u turbín odvozených od leteckých motorů je tato teplota až 1380 °C. Odpadní teplo se dále využívá pro výrobu páry, teplé, či horké vody. [6] [8]

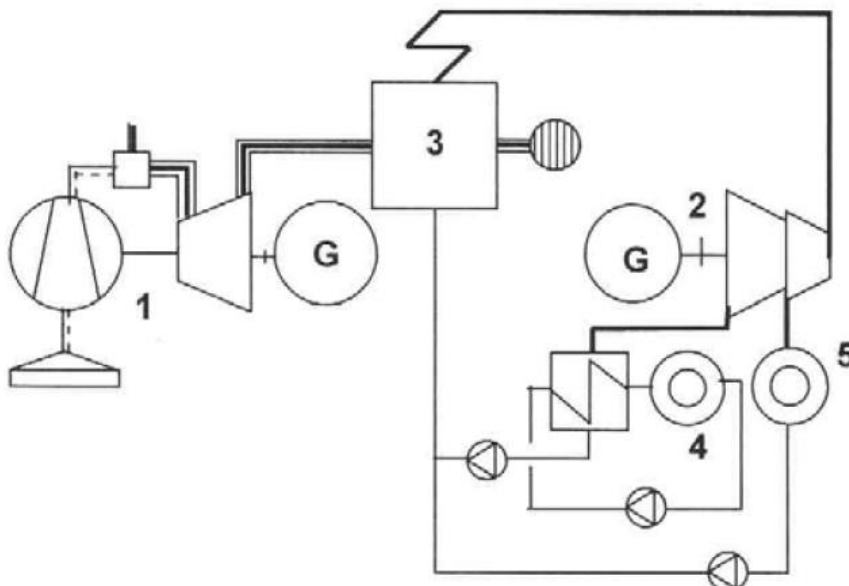


Obrázek č. 3 Schéma kogeneračního zapojení spalovací turbíny [6]

1 spalovací turbína, 2 kotel na odpadní teplo, 3 spotřebič tepla

### Paroplynová zařízení

Jedná se o spojení spalovací turbíny s pracovním okruhem páry. Čímž je docíleno vysoké elektrické účinnosti až 60 %. Navíc paroplynové zařízení disponuje dobrou regulací, kdy je možné toto zařízení použít jak pro kogeneraci, tak pouze pro výrobu elektrické energie. V současné době se kromě spalovacích turbín používají i výkonné spalovací motory. [6] [8]



Obrázek č. 4 Schéma paroplynového kogeneračního zdroje [6]

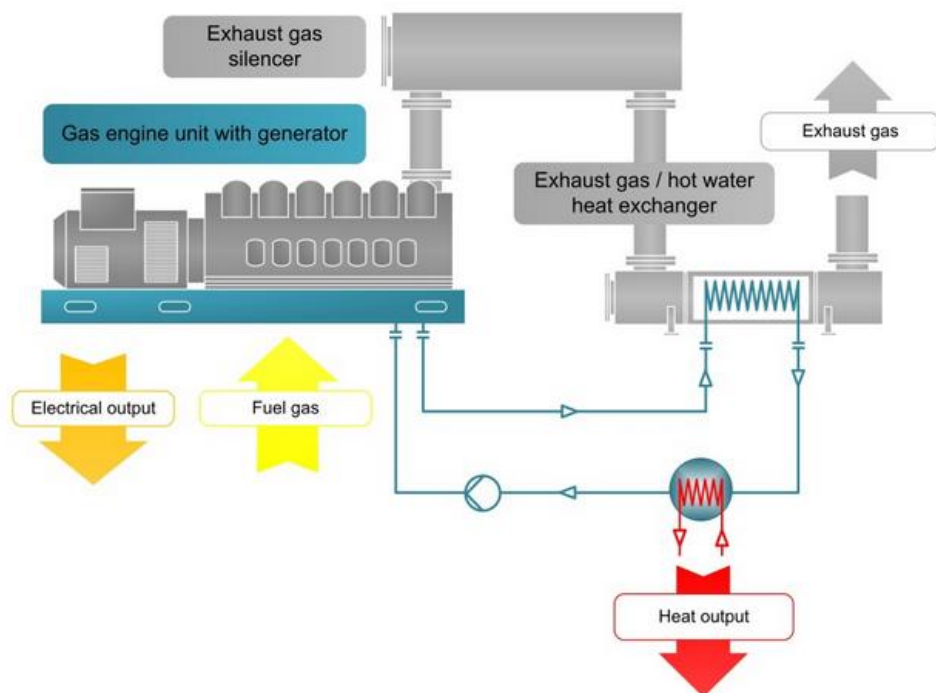
1 spalovací turbína, 2 parní turbína, 3 spalínový kotel, 4 spotřebitel tepla – horké vody, 5 spotřebitel tepla - páry

## **Kogenerace s mikroturbínou**

Kogenerace s mikroturbínou se díky technologickému vývoji čím dál více používají. Jejich použití pro malé elektrické výkony bylo dříve velmi neekonomické. Nyní však i díky státní podpoře jsou tyto zařízení na vzestupu. Obvyklé elektrické výkony mikroturbín jsou v rozsahu od 25 do 250 kW. Tato zařízení jsou kompaktní vysokootáčkové jednohřídelové stroje. Jsou složeny z kompresoru, spalovací komory, regeneračního výměníku, turbíny a generátoru. Jako palivo se užívá obvykle zemní plyn, možné je však i použití bioplynu, nafty a benzínu. Zapojení mikroturbíny je podobné jako u spalovací turbíny. Mezi výhody mikroturbíny jednoznačně patří její malé rozměry v porovnání například se spalovacími motory. Další výhodou je to, že tyto kogenerační jednotky se dodávají jako sériově vyráběné bloky se snadnou montáží, které mohou obsahovat i protihlukové opatření a tepelnou izolaci. Jsou to vysoce spolehlivá zařízení s rychlým najížděním a s možností každodenního odstavení. Těž je poměrně jednoduchá automatizace těchto zařízení. Mezi nevýhody patří vysoká hladina hluku, potřeba kvalitního paliva a vysokého tlaku pro spalování. Při porovnání se spalovacími motory mají kogenerační jednotky s mikroturbínou nižší účinnost. [6]

## **Kogenerace se spalovacími motory**

U těchto kogeneračních jednotek se jedná spíše o malé kogenerační jednotky s velmi vysokou účinností využití paliva. Jako palivo se používá především zemní plyn nebo bioplyn. Výkon může být v řádech jednotek kW<sub>e</sub> až desítek MW<sub>e</sub>. Například společnost Tedom na svých webových stránkách inzeruje kogenerační jednotky od 7 kW<sub>e</sub> do 10 MW<sub>e</sub>. [9] V těchto zařízeních je nejprve spálen plyn v motoru za účelem výroby elektrické energie. Teplo pro další využití se odebírá z chladicího systému motoru a ze spalin. Kde je neoptimálnějším řešením ohřívat vodu na 90 – 100 °C z primárního okruhu, tj. chlazení motorového prostoru a válců a poté ji přehřívat z výměníku odebírajícího teplo ze spalin na 110 – 130 °C. Kogenerační jednotky se spalovacími motory můžeme dělit podle typu motoru na vznětové a zážehové. Pro účely kogenerace je nutné na zážehovém i spalovacím motoru udělat úpravy pro spalování zemního plynu. Mezi nevýhody těchto strojů patří především hluk a potřeba mazat součásti s posuvným pohybem a od toho se odvíjející častější odstávky, než jsou například u kogeneračních zařízení s mikroturbínou. Naopak výhodou je vysoká účinnost. [6] [10] [5]



Obrázek č. 5 Schéma kogenerace se spalovacím motorem [7]

### Kogenerace se Stirlingovými motory

Stirlingovy motory patří mezi teplovzdušné motory s vnějším spalováním, kdy zdrojem tepla může být kromě spalování paliva i sluneční, či geotermální energie. Stirlingův motor je tvořen dvěma komorami, horkou a studenou, které jsou spojené a hermeticky izolované od vnějšího prostředí. Mezi nimi bývá zapojen regenerátor, který zamezuje plynutí teplem. Obvykle se používají Stirlingovy motory se dvěma válci. Princip fungování je, že dojde k zahřátí pracovního plynu v teplé části. Plyn se začne rozpínat a pohybovat válcem v horké části, ten je však spřažen s válcem ve studené části, který se také začne rozpínat. Vzduch v chladné části se setrvačností válců a nižší teplotou začne stlačovat a pracovní plyn dosáhne nejnižšího objemu. Následně objem začne opět narůstat v horké části. Výhodami Stirlingova motoru je dobrá spolehlivost, účinnost, nízké emise škodlivých plynů, nízká hlučnost a dlouhou životnost bez potřeby častých servisních kontrol. Nevýhodou pak je náročné těsnění motorového prostoru, technologicky náročná výroba a složitost zařízení. [6] [11]

### Kogenerace s palivovými články

Kogenerační jednotky s palivovými články využívají galvanické články, ve kterých se přeměňuje energie uložená v palivu na elektrickou energii. Nejčastějším palivem je vodík, který v reakci s kyslíkem může vyrábět elektrickou energii prostřednictvím elektrolytu za vzniku vody a uvolněním energie. Nejlepším palivem je vodík, ale lze využít i zemní plyn, který obsahuje metan. Zemní plyn je



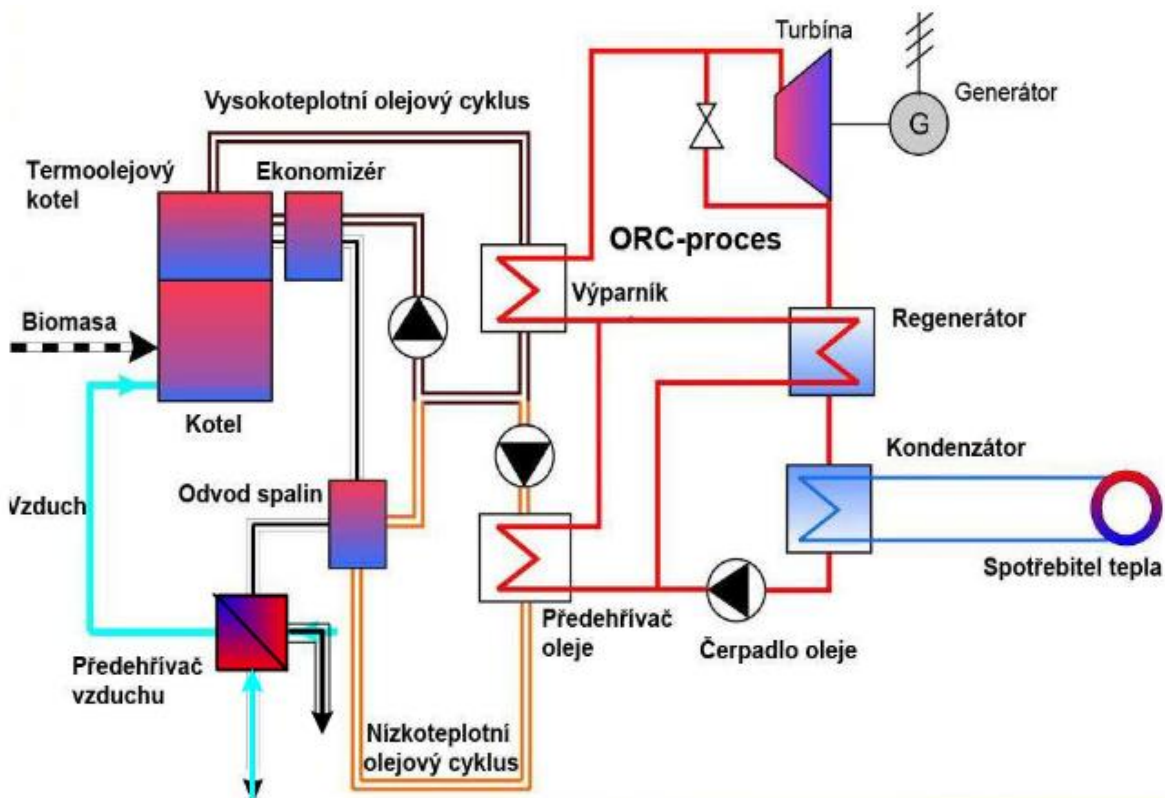
nutné nejprve rozložit na vodík a oxidy uhlíku v konvertoru. Následně plyn bohatý na vodík lze využít pro přeměnu energie v palivovém článku. [6] [5]

### **Kogenerace s využitím biomasy**

Jedná se o jedny z nejekologičtějších zařízení, neboť je spalován obnovitelný zdroj energie. Rozlišujeme přímé spalování biomasy a její zplynování a výrobu bioplynu. Přímě spalovat lze například odpadní dřevo, tj. piliny, hobliny, štěpka, či speciálně pro tyto účely pěstované dřeviny, jako jsou rychle rostoucí vrby, olše a topoly. Pro výrobu bioplynu lze využít odpadní vody, hnůj, kejdu z velkochovu vepřů, jateční odpady a odpady potravinářské výroby. Biomasa bývá spalována v kogeneračních jednotkách s parním motorem, popřípadě v zařízení s organickou pracovní látkou v takzvaném ORC cyklu. [6] [7]

### **Kogenerace s ORC cyklem**

Kogenerační jednotky s ORC cyklem pracují jako dvoulátkové oběhy. V primárním okruhu se ohřívá silikonový termoolej například spalováním biomasy, nebo geotermální, či solární energií. Tento olej pak dále předává energii ve výparníku organickému pracovnímu médiu. Takto získaná sytá pára proudí do turbíny, kde probíhá expanze do oblastí přehřáté páry. Na rozdíl od vody má většina organických látek kladnou směrnici křivky sytých párů a nižší teplotu varu. Proto expanze v turbíně probíhá do oblastí sytých párů a umožňuje použití rekuperátoru, který teplo využívá k ohřevu kapalné fáze a zvyšuje účinnost výroby elektrické energie. Takovýto systém je výhodný, protože je schopen transformovat tepelnou energii na elektrickou při výrazně nižší teplotě, než s použitím vody, jako média. [6] [5]



Obrázek č. 6 Schéma kogenerace s ORC cyklem [5]

### Kogenerace s využitím tlakové energie zemního plynu

Jedná se o ekologické kogenerační zařízení, které využívá energetických ztrát zemního plynu při jeho odběru z vysokotlakého plynovodu do středotlakého, či nízkotlakého. Místo redukčních armatur jsou použity expanzní turbíny. Protože teplota v plynovodu je podobná teplotě okolí, je nutné potrubí předehřívát, aby při expanzi na turbíně se teplota plynu nedostávala pod bod mrazu, což může způsobit namrzání potrubí a vytváření plynových kondenzátů. Ohřívání potrubí lze odpadním teplem, tepelným čerpadlem, či plynovým kotlem. [6]

### Trigenerace

Trigenerace je společná výroba elektrické energie, tepla a chladu. V třígeneračních jednotkách, lze vyrábět najednou všechny tři formy energie. V podstatě se jedná o spojení kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou. Trigenerační zařízení jsou ekonomicky velmi výhodná, protože je lze provozovat i v létě, kdy není potřeba tepla na vytápění, ale je naopak nutné chlazení, a to všude tam, kde je z technologických důvodů, či z důvodů pohodlí nutná klimatizace. Tím se výrazně prodlužuje doba účinného provozu jednotky. Chlazení je v těchto zařízeních kompresorové nebo absorpční. Kompresorové chlazení je hlučnější, ale z druhé strany má menší rozměry a nižší investiční náklady. [7] [6] [8]

## 4. Vlastní technické řešení

### 4.1. Princip návrhu a dimenzování kogeneračních zařízení

Při navrhování zdroje tepla je vhodné s ohledy na ekonomická a ekologická hlediska zvážit použití kogeneračních jednotek a to jak při rekonstrukci stávajícího zdroje, tak při budování nového energetického zdroje. Do postupu návrhu patří posouzení vhodnosti použití kogenerace, podrobnou analýzu požadavků na dodávku tepla a elektrické energie. Na základě této analýzy lze navrhnout typ, velikost a počet kogeneračních jednotek.

Při posuzování vhodnosti použití kogenerace spadají okolnosti, jestli je v místě možného budování kogeneračních jednotek k dispozici prostor a vhodné palivo, obvykle zemní plyn. Dále je nutné zvážit, zdali jsou přiměřené nároky na teplo a elektrickou energii v kontextu s denním zatížením a ročním využitím. Mezi další důležité faktory patří, jestli vybudování kogeneračního zařízení nebrání emisním a hlukovým limitům v dané lokalitě.

Následně je vhodné posoudit dodávky tepla a elektrické energie. K tomu je nutné analyzovat údaje o stávajícím zdroji tepla, roční spotřebě tepelné i elektrické energie, denní diagramy průběhu spotřeby tepla a elektrické energie v typických dnech v roce, jako je pracovní i volný den v topné sezóně, přechodném období a v létě. Pokud tato data nejsou k dispozici, je nutné je odborně odhadnout. K tomu slouží informace od investora, podle kterých je odborně sestaven denní diagram tepla. Dále se při návrhu používají roční diagramy trvání potřeby tepla a elektrické energie. Při jejich tvorbě lze vycházet z typových diagramů dodávek (TDD) plynu a elektrické energie s ohledem na zeměpisnou polohu místa odběru a jeho charakter. Při návrhu kogeneračního zařízení je nutné denní průběh dimenzovat podle denního diagramu potřeby tepla, neboť nelze vyrábět elektrickou energii v kogenerační jednotce bez potřeby odběru tepla, bez dalších investic do venkovních chladičů. Navíc kogenerační zařízení bez zužitkování odpadního tepla je ekonomicky nekonkurenceschopný.

Při návrhu kogeneračního zařízení je důležité mít k dispozici i jiný zdroj tepla. To patří mezi jednu z nevýhod kogeneračních jednotek, neboť obvykle pracují pouze na jedné výkonové hladině. Pokud je tato hladina v kontextu s aktuální potřebou tepla nízká, nebo naopak vysoká, je potřeba použít další jiný zdroj tepla. Tyto zařízení se dimenzují jen na část maximální potřeby tepla. Proto se počítá teplotní součinitel dle vzorce (4.1), ten se volí nižší než 1, aby byla dostatečná dlouhá doba provozu kogeneračních jednotek.

$$\alpha = \frac{Q_{kj}}{Q_{max}} \quad (4.1)$$

Kde  $\alpha [-]$  je teplotní součinitel

$Q_{kj}$  je součet jmenovitých tepelných výkonů kogeneračních jednotek

$Q_{max}$  je požadovaný maximální tepelný výkon zdroje

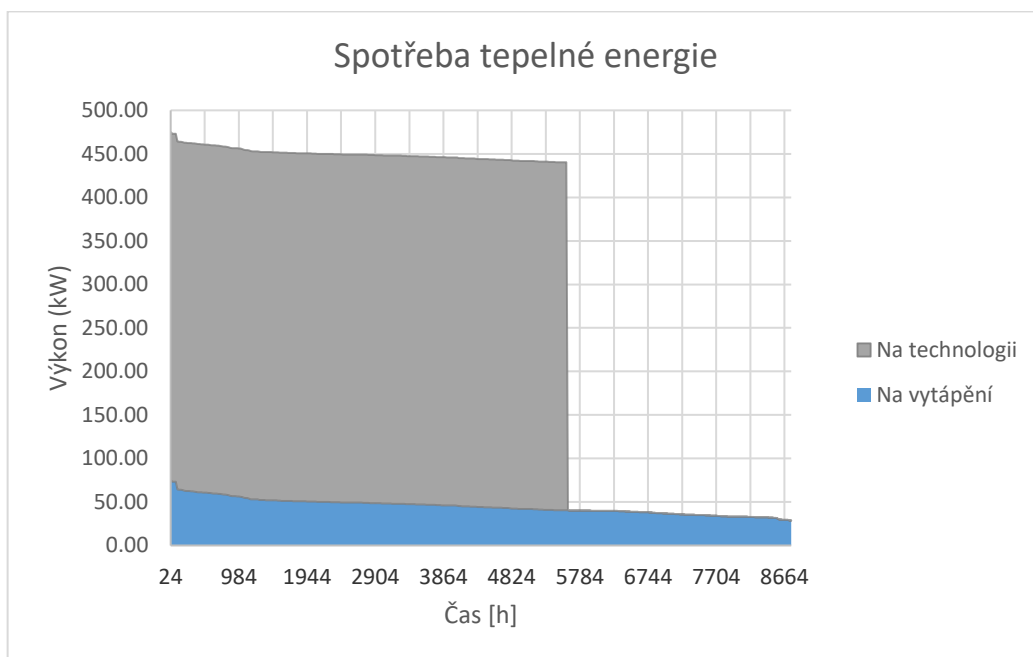
Snahou je, aby kogenerační jednotka vyrobila co nejvíce tepelné energie v průběhu roku, proto pokud je diagram potřeby tepla špičkového charakteru, pak se volí nízký teplotní součinitel neboli nízký jmenovitý výkon kogeneračních jednotek. Pokud je delší doba trvání vysoké potřeby tepla, lze kogenerační jednotky dimenzovat na vyšší jmenovité výkony.

## **4.2. Popis řešeného objektu**

Řešení ekologizace průmyslového objektu za pomoci kogeneračních jednotek je provedeno pro společnost AQUA S.P.P., s.r.o.. Jedná se o průmyslový areál obsahující 3 haly na katastrálním území obce Litoměřice. Spotřeba energie na vytápění byla převzata z průkazů o energetické náročnosti budov (PENB). Tato hodnota byla následně vynásobena koeficientem zohledňujícím zateplení provedené až po vypracování PENB. Celková energie pro vytápění za rok tak činí 391,7 MWh. S ohledem na činnost prováděnou v jednotlivých halách neleze opomenout ani spotřebu tepelné energie potřebné pro technologické procesy a to vytápění plynových pecí a hořáků práškových lakoven. Teplo bude též využito ve výměnících u technologie mokrého lakování a na vytápění hal povrchových úprav. Spotřeba tepelné energie pro technologické procesy je stanovena na 400 kW při dvousměnném provozu, neboli 2/3 roku. Spotřeba elektrické energie v průmyslovém objektu je stanovena na 200 kW. Na spotřebě se podílí napájení kompresorové stanice, filtrace a odsávání tryskacích boxů, filtrace a odsávání lakovny, osvětlení a provoz celého areálu.

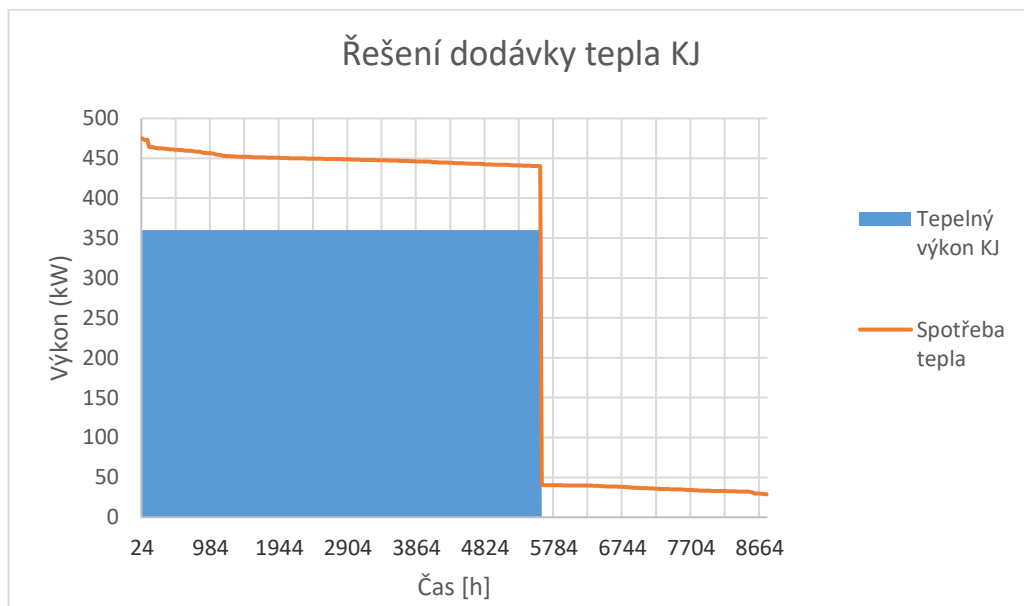
## **4.3. Výpočet**

Pro přesné stanovení spotřeby tepelné energie, nezbytné pro další výpočty, by byla zapotřebí data z dlouhodobého měření. Jelikož tato data nebyla změřena nebo poskytnuta, je výpočet založen na základě průkazů o energetické náročnosti budov s přepočtem pomocí normalizovaného typového diagramu dodávek plynu (TDD), který je dostupný na internetových stránkách Operátora trhu s elektřinou [12]. Typový diagram dodávek předpovídá spotřebu elektrické energie, či plynu v jednotlivých hodinách, či dnech v roce. Je vytvořen na základě měření u reprezentativního vzorku zákazníků. Pro daný průmyslový areál byl vybrán diagram TDD 1, který je určen pro právnické osoby a pro objekty bez tepelného využití elektrické energie. Tepelný výkon v jednotlivých dnech byl určen rozložením roční spotřeby tepla na základě TDD. Celková spotřeba tepelné energie je dána součtem energie potřebné pro technologie s ohledem na denní provoz a energie potřebné pro vytápění. Hodnoty tepelných výkonů v jednotlivých dnech byly seřazeny a zobrazeny v grafu č. 1 vhodném pro návrh kogeneračních jednotek. Špičky tepelného výkonu dle použité metodiky dosahují 475 kW. Po dobu 2/3 roku pak je potřeba tepelného výkonu v rozmezí od 440 do 465 kW.



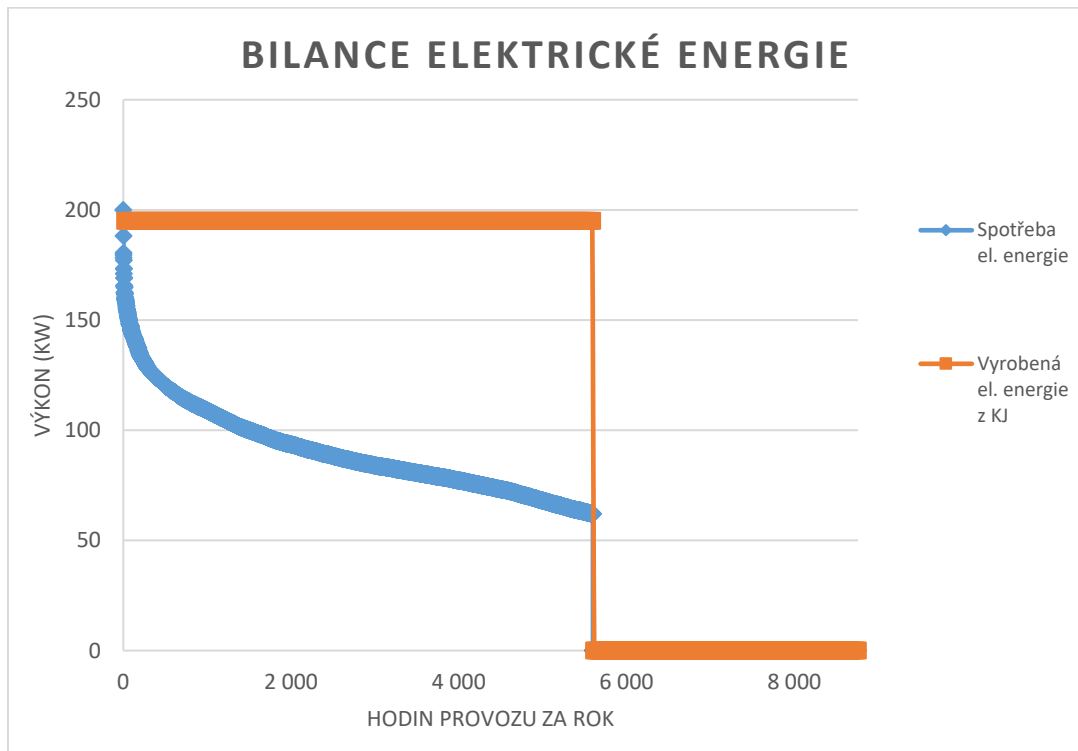
Graf č. 1 Spotřeba tepelné energie v průmyslovém areálu

V ideálním případě by byl tento tepelný výkon pokryt z odpadního tepla kogeneračních jednotek. Při použití tří kogeneračních jednotek s mikroturbínou Capstone C65 s elektrickým výkonem 65 kW a tepelným výkonem 120 kW by byl výsledek patrný z graf č. 2. Kde je patrné, že většina tepelné energie v průběhu roku je dodána z kogeneračních jednotek, jejichž proběh je stanoven na 5600 h za rok. Což jsou ony 2/3 roku s ohledem na nutné odstávky plynu a servisní dny.



Graf č. 2 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou

Pro tuto variantu by bylo vyrobeno největší množství elektrické energie a to 1092 MWh, pro vlastní spotřebu by pak bylo spotřebováno 506 MWh a do distribuční soustavy by bylo prodáno 586 MWh, jak je názorně zobrazeno v grafu č. 3.

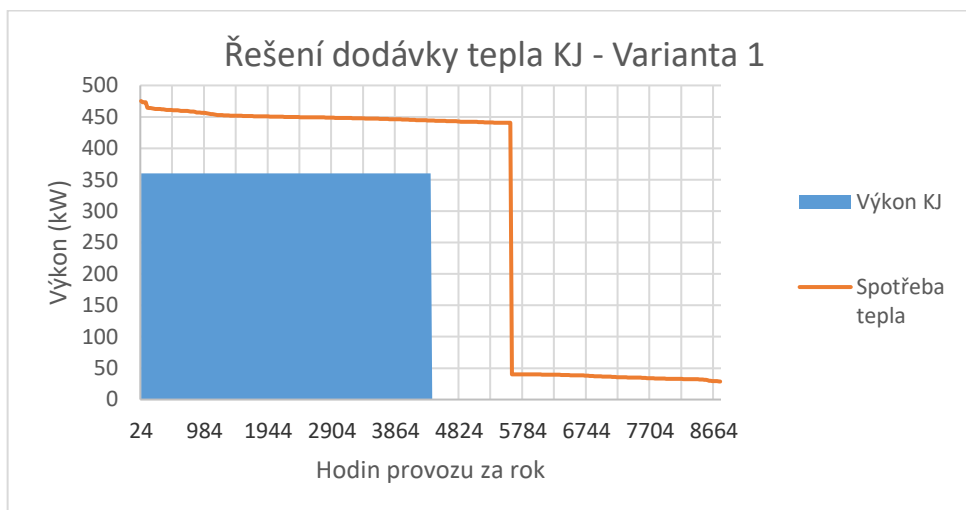


Graf č. 3 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie

Takovéto řešení by bylo z technického hlediska nejvhodnější, avšak ekonomicky velmi nevýhodné, neboť pro průběh kogeneračních jednotek po dobu 5600 hodin ročně se nevztahuje podpora v podobě zeleného bonusu. Proto tato varianta není na trhu konkurenceschopná a nebude dále uvažována.

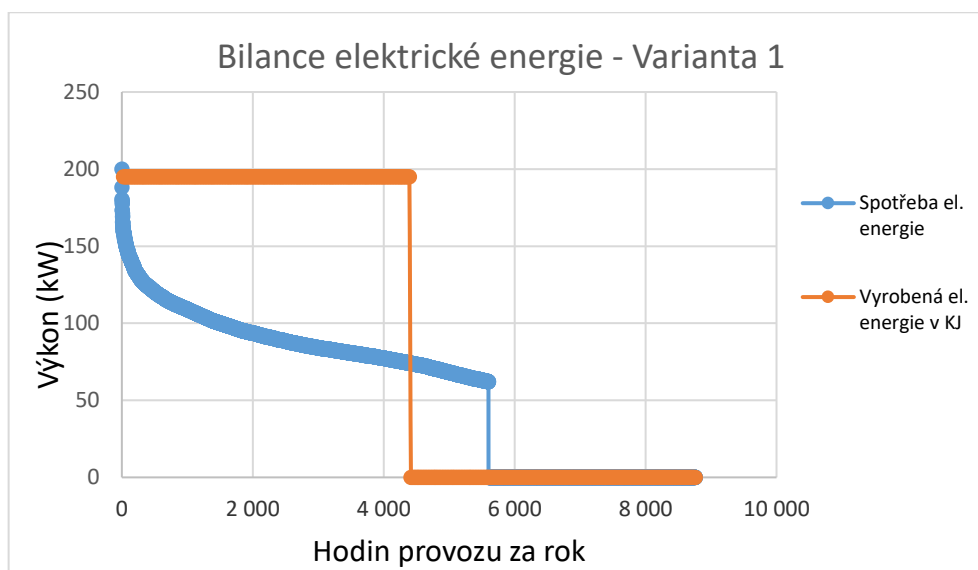
#### 4.2.1. Varianta 1

Pro řešení dodávky elektrické a tepelné energie byly zvoleny 3 kogenerační jednotky Capstone C65. Při variantě č. 1 byl zvolen průběh všech 3 kogeneračních jednotek po dobu 4400 hodin ročně, což je horní hranice průběhu pro čerpání zeleného bonusu v hodnotě 1505 Kč/MWh dle sazeb stanovených Energetickým regulačním úřadem [3]. Při takovém to zatížení by bylo do soustavy dodáno teplo patrné z grafu č. 4.



Graf č. 4 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou pro variantu 1

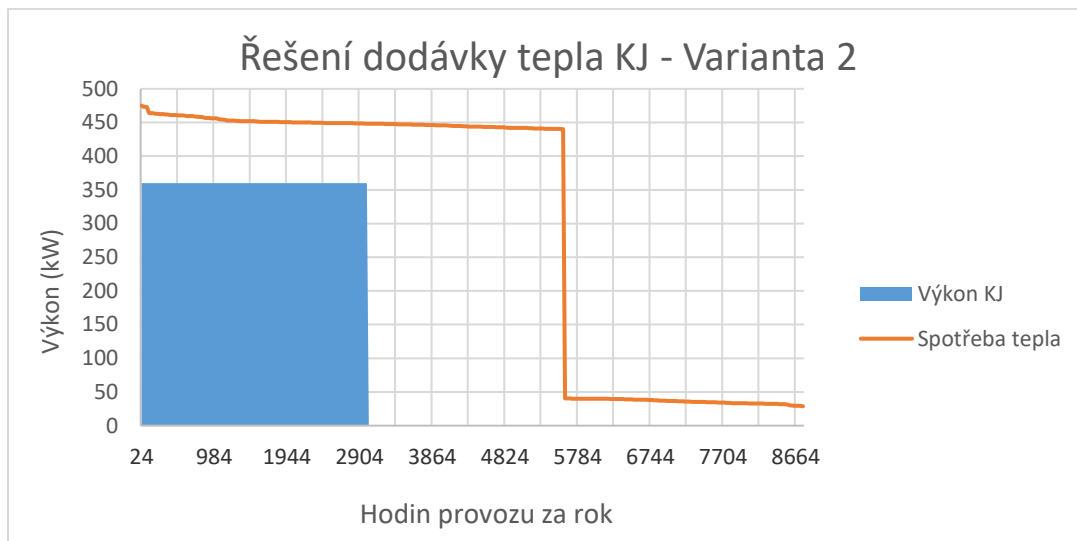
Rozdíl mezi spotřebou tepla a výrobou tepla v kogeneračních jednotkách by zajistil stávající zdroj tepla. V tomto případě by bylo ročně vyrobeno 858 MWh elektrické energie, z čehož by bylo spotřebováno 424,3 MWh, za které by investor čerpal zelený bonus. Další 433,7 MWh by bylo prodáno do sítě za cenu 750 Kč/MWh. Pak by investor ročně inkasoval 638 545 Kč za zelený bonus a 325 288 Kč za elektřinu prodávanou do distribuční sítě, kde platí povinnost distributora tuto elektřinu vykupovat. To je dohromady příjem 963 833 Kč ročně.



Graf č. 5 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie pro variantu 1

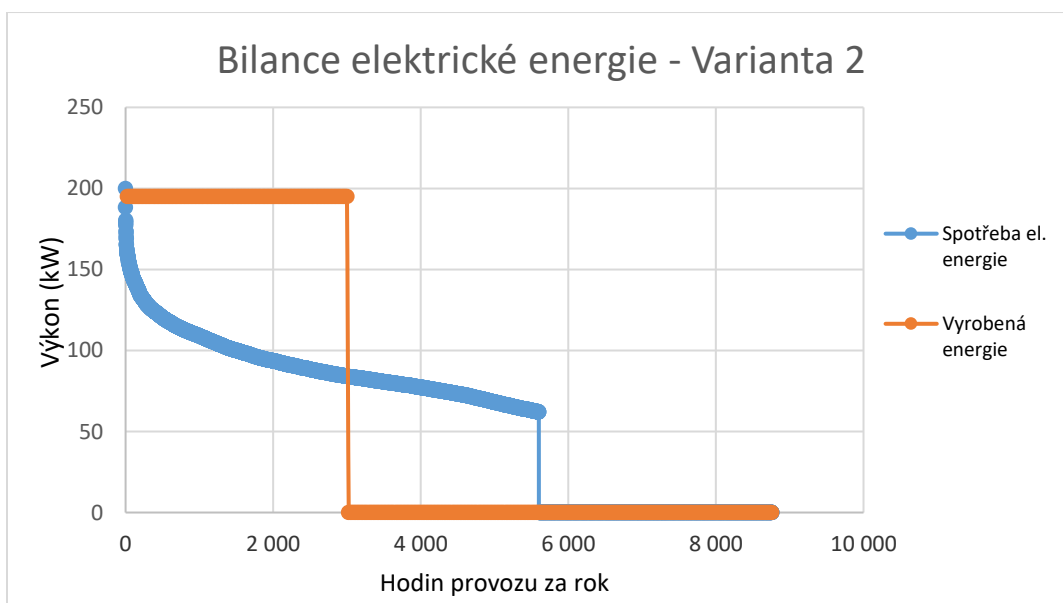
#### 4.2.2. Varianta 2

Pro druhou variantu bylo zvoleno shodné technologické uspořádání avšak s ročním průběhem pouze 3000 hodin. Pro tento průběh platí vyšší sazba zeleného bonusu a to konkrétně 1970 Kč/MWh [3]. Proto lze předpokládat obdobný zisk při kratším proběhu kogeneračních jednotek. Řešení dodávky tepelné energie je patrné z grafu.



Graf č. 6 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou pro variantu 2

Tato varianta má nepochybnou výhodu v nižším ročním opotřebení zařízení. Vyrobená elektrická energie pak je 585 MWh, z toho je s čerpáním zeleného bonusu spotřebováno 313,3 MWh a do distribuční sítě je dodáno 271,7 MWh. Bilance elektrické energie je pak patrná z grafu. V tomto případě může investor čerpat na zeleném bonusu 617 278 Kč a utržit za elektrickou energii prodanou do distribuční sítě 203 746 Kč. To je dohromady příjem 821 024 Kč.

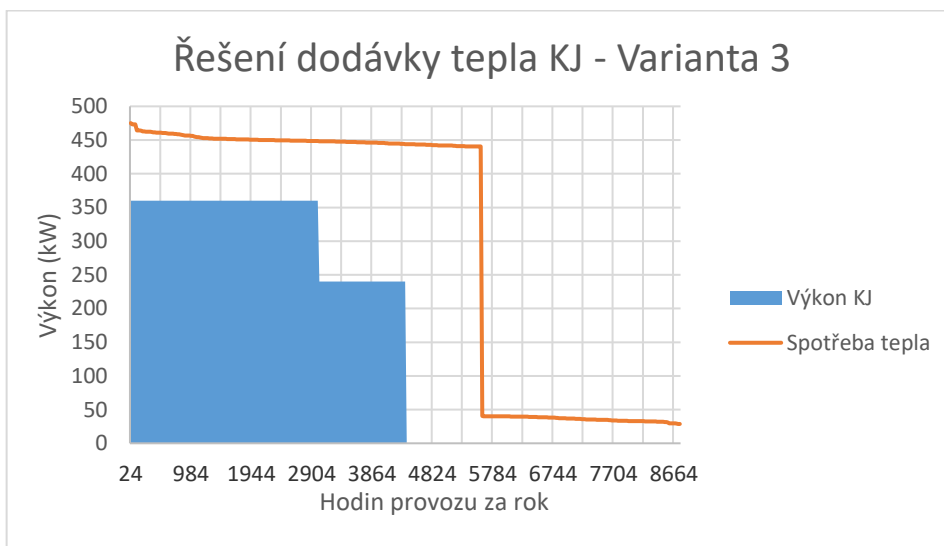


Graf č. 7 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie pro variantu 2



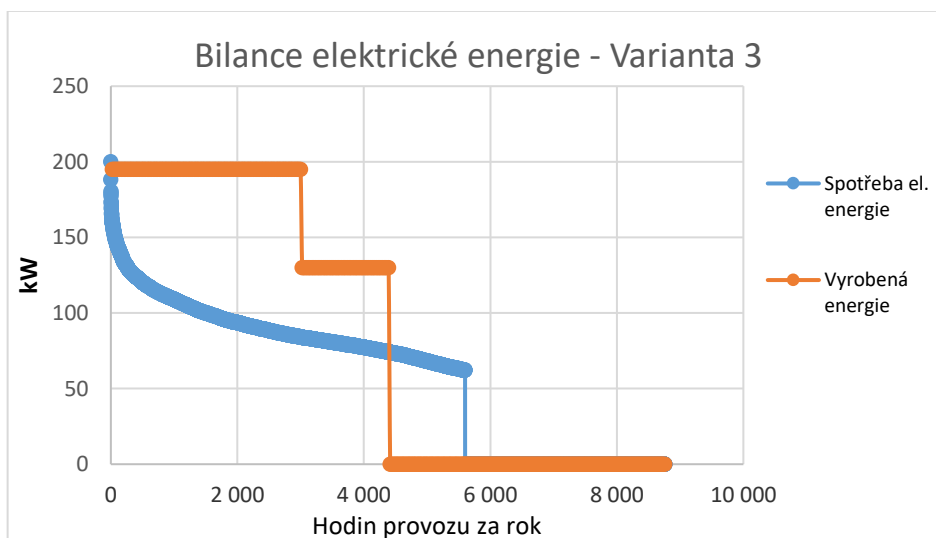
### 4.2.3. Varianta 3

Ve třetí variantě je počítáno s proběhem jedné kogenerační jednotky 3000 hodin ročně a u dalších dvou 4400 hodin ročně. Pro první kogenerační jednotku tak platí zelený bonus 1970 Kč/MWh, pro zbylé kogenerační jednotky počítáme s nižší sazbou 1505 Kč/MWh. Řešení dodávky tepla je pak opět kombinací dodávky odpadního tepla z kogeneračních jednotek a stávajících zdrojů tepla. Podíl kogeneračních jednotek na dodávce tepla je graficky znázorněn v grafu.



Graf č. 8 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou pro variantu 3

Dodávka elektrické energie z kogeneračních jednotek je pak úměrná dodanému teplu. V tomto případě pak lze využít toho, že kogenerační jednotka probíhající pouze 3000 hodin ročně bude dodávat elektrickou energii pouze do vlastní spotřeby průmyslového areálu a tak na ní bude čerpán vyšší zelený bonus. Zbylé dvě kogenerační jednotky budou dodávat dle potřeby jak do vlastní spotřeby při čerpání zeleného bonusu, tak do distribuční sítě. Za těchto předpokladů lze očekávat výtěžek ze zeleného bonusu 729 220 Kč ročně a za elektřinu dodanou do sítě 257 038 Kč. V součtu to je 986 258 Kč ročně.



Graf č. 9 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie pro variantu 3

## 5. Technicko - ekonomické zhodnocení

### 5.1 Úvod do problematiky ekonomického zhodnocení

Pro popis ekonomického zhodnocení je potřeba vysvětlit několik základních pojmů a rovnic, pomocí nichž lze tyto veličiny vypočítat.

**Prostá doba návratnosti** je nejjednodušší ekonomické kritérium k hodnocení investic, jeho nevýhodou je, že zanedbává možnost peníze vložit do jiných investic

**Čistá současná hodnota** představuje diskontovanou hodnotu peněžních toků. Zahrnuje jak faktor životnosti projektu, tak možnost peníze vložit do jiného projektu

**Diskontní míra** je hodnota udávaná v procentech, kterou se přepočítávají budoucí příjmy a náklady na současnou hodnotu

**Vnitřní výnosové procento** je hodnota, která nám říká, kolik procent na dané investici vyděláme. V podstatě nám říká při jakém diskontu je čistá současná hodnota nulová.

Pro ekonomické zhodnocení je nezbytné nejprve určit Cash flow neboli tok hotovostí. Vycházíme ze vztahu (5.1).

$$CF = U - N \quad (5.1)$$

Kde  $CF$  [Kč]      Cash flow;  
 $U$  [Kč]      Příjmy;  
 $N$  [Kč]      Náklady;

Ukazatel současné hodnoty čistého toku hotovostí vychází ze vzorce (5.2)

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_h} CF_t * (1 + r)^{-t} \quad (5.2)$$

Kde  $CF_t$  [Kč]      Cash flow v daném roce;  
 $T_h$  [rok]      Doba hodnocení (životnost projektu);  
 $r$  [-]      Diskontní míra;

K přepočtu příjmů a výdajů na stejný časový okamžik používáme diskontní míru, která u projektů malých kogeneračních jednotek bývá do 5 %.

Prostá doba návratnosti  $T_s$  se vypočte dle vztahu (5.3).

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (5.3)$$

Kde  $IN$ [Kč]      Investiční náklady;  
 $CF$ [Kč]      Roční peněžní toky;

Reálná doba návratnosti investice se vypočte z rovnice (5.4).

$$\sum_{t=0}^{T_{sd}} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (5.4)$$

Kde  $T_{sd}$  [rok]      Reálná doba návratnosti;

Vnitřní výnosové procento vychází z rovnice (5.5).

$$\sum_{t=0}^{T_h} CF_t * (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (5.5)$$

Kde  $T_h$  [rok] Doba hodnocení (životnost projektu);  
 $IRR$  [-] Vnitřní výnosové procento;

## 5.2 Zhodnocení projektu

Pro ekonomické zhodnocení bylo počítáno s vyšší investice 10 500 000 Kč. Tato částka je složená z ceny tří kogeneračních jednotek, kde cena jedné kogenerační jednotky se uvažovala 2 200 000 Kč. Dále bylo nutné počítat s cenou dalších technických zařízení: Kompresor, spalínový výměník, silový rozvaděč, vzduchový ventilátor a periferie řízení a ovládání.

Mezi příjmy počítáme příjmy ze zeleného bonusu a z prodeje elektrické energie do distribuční soustavy. Jedná se o podporované zdroje, kde jsou ceny za zelený bonus každoročně stanovovány Energetickým regulačním úřadem. Tyto ceny se nesmí z roku na rok snížit o více než 5 %, ale i přes to jen s obtížemi odhadnout vývoj těchto cen, proto lze považovat ekonomické zhodnocení pouze jako orientační. Pro tuto bakalářskou práci se počítalo se stálou sazbou za zelený bonus a cenou elektrické energie.

Výdaje u investice do kogeneračních jednotek jsou náklady na palivo, náklady na údržbu a servis. Dle společnosti Capstone jsou náklady na údržbu kogenerační jednotky s mikroturbínou 0,07 Kč/kWh. Náklady na údržbu u jiných druhů kogeneračních zařízení, například spalovacích motorů, bývají zpravidla násobně vyšší. Náklady na palivo nebyly ve výpočtu zohledněny, neboť ekvivalentní množství toto paliva by bylo spáleno ve stávajících zdrojích tepla.

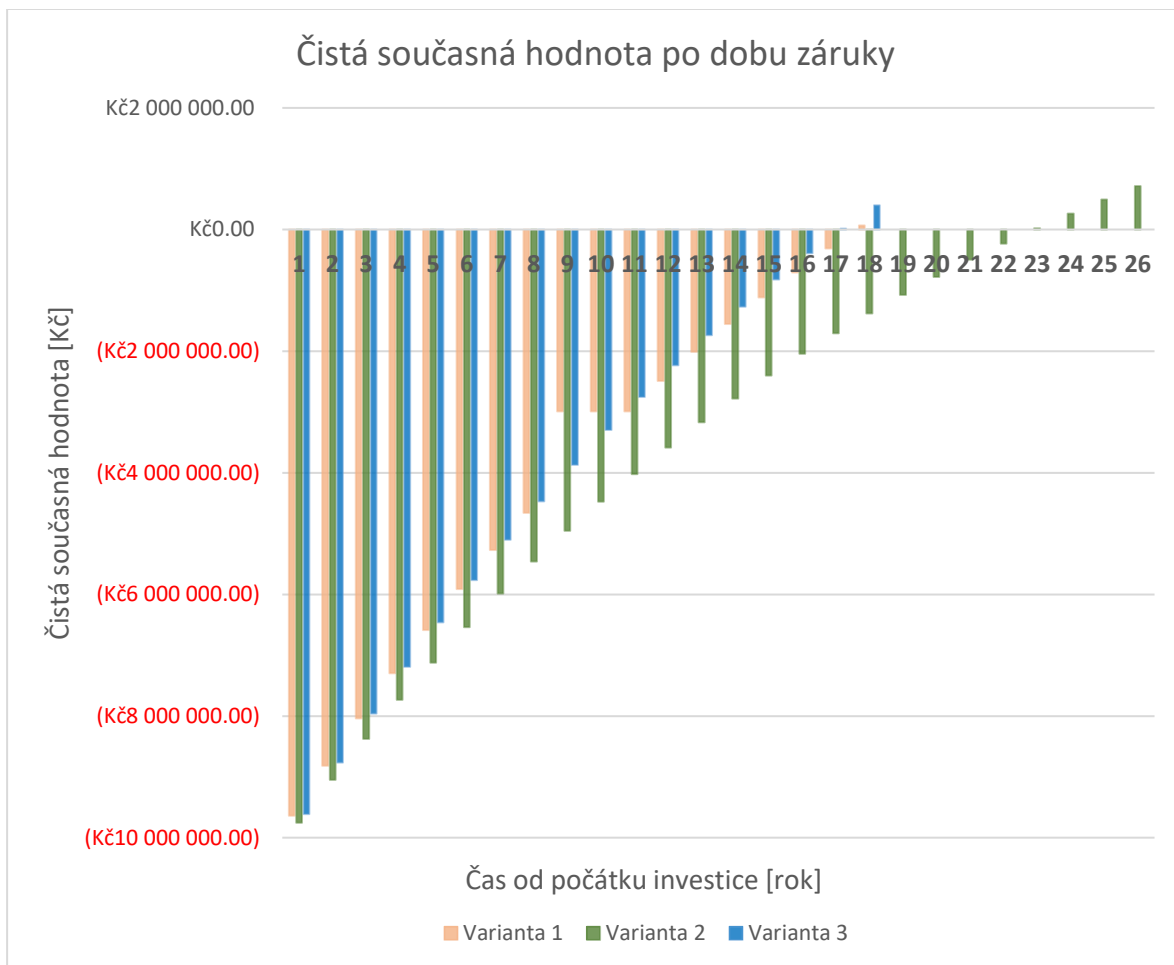
Pro ekonomické zhodnocení je také důležitá životnost. Jako životnost byla použita hodnota, po kterou výrobce poskytuje záruku, tj. 80 000 hodin provozu. To odpovídá 18 až 26 letům provozu zařízení, podle zvolené varianty druhu provozu.

Zvolené varianty se liší v počtu hodin provozu za rok, kterým odpovídá jiná sazba za zelený bonus. Od toho se odvíjí množství vyrobené elektrické energie, servisní náklady, příjem z vyrobené elektrické energie a životnost zařízení. Tyto hodnoty jsou patrné v tabulce níže.

	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3	
Prostá návratnost	11,6	let	13,5		11,3	
Záruka výrobce	18,2	let	26,7	let	18,2; 26,7	let
Vyrobena el. energie	858	MWh/rok	585	MWh/rok	767	MWh/rok
Příjem ze zeleného bonusu	638545	Kč/rok	617278	Kč/rok	729220	Kč/rok
Příjem za distribuci do el. sítě	325288	Kč/rok	203746	Kč/rok	257038	Kč/rok
Celkový příjem	963833	Kč/rok	821024	Kč/rok	986258	Kč/rok
Servisní náklady	60060	Kč/rok	40950	Kč/rok	53690	Kč/rok
Roční zisk	903773	Kč/rok	780074	Kč/rok	932568	Kč/rok

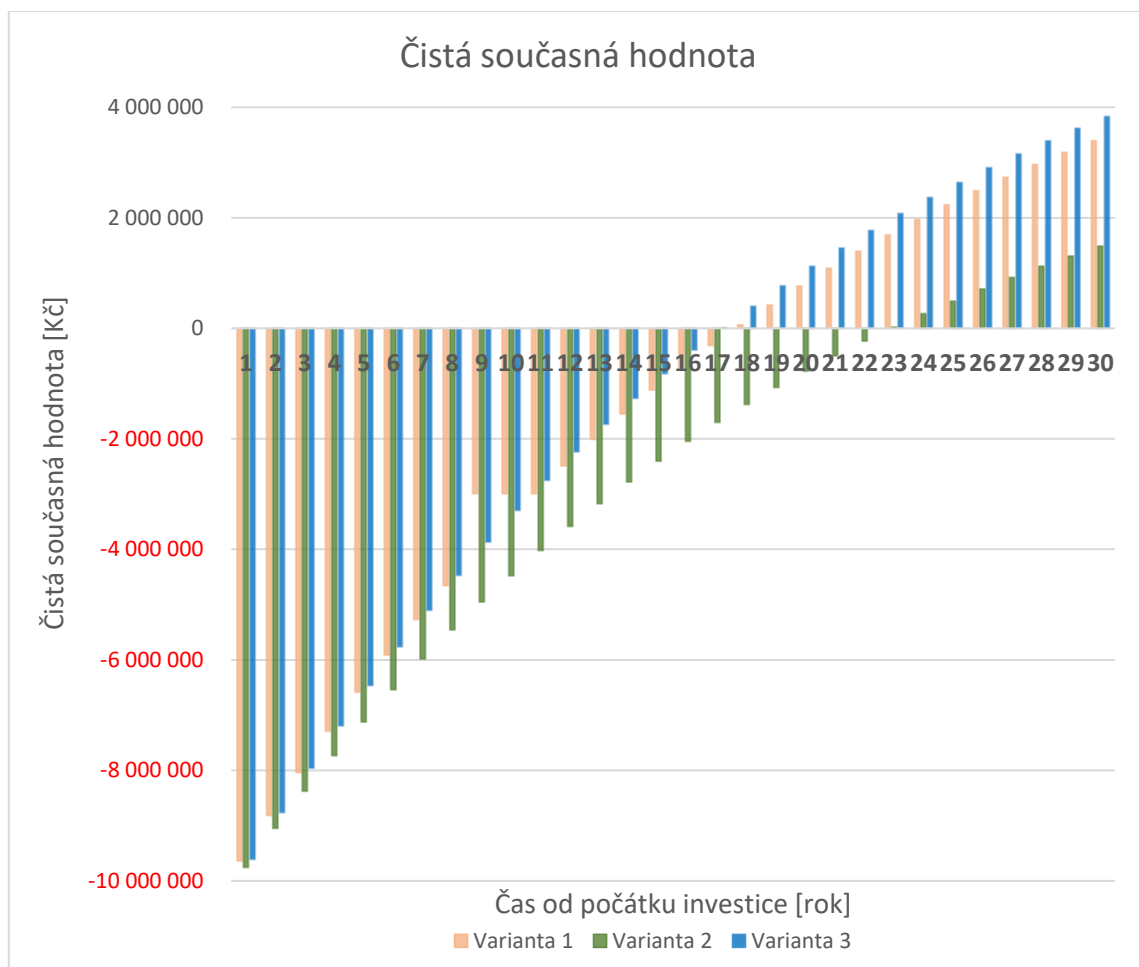
Tabulka č. 3 Výpis základních parametrů pro ekonomické zhodnocení

Z těchto zmíněných hodnot lze bez nesnází vypočítat prostou návratnost, ta však nemá valnou vypovídající hodnotu, neboť nepočítá s proměnlivou hodnotou peněz. Proto pro výpočet byla zvolena metoda čisté současné hodnoty, která počítá s určitou diskontní mírou, ta byla stanovena na 5 %, což je horní hranice diskontu u toho druhu investic. Její přesné stanovení by bylo nad rámec této bakalářské práce. Pokud budeme počítat s životností kogenerační jednotky pouze po dobu záruky výrobce, bude vnitřní výnosové procento srovnatelné s diskontní mírou, to znamená, že zisky z investice budou buď nulové, nebo nízké, jak je patrné z grafu níže. Pro 1. variantu je zisk po 18 letech provozu spočítán na 60 000 Kč. Pro 2. variantu, kdy záruka trvá 27 let je předpokládán zisk 920 000 Kč. Pro 3. variantu lze počítat se zárukou 18 let, kde je zisk 400 000 Kč. Pokud by byla diskontní míra nižší, předpokládaný zisk by se výrazně zvýšil.



Graf č. 10 Čistá současná hodnota po dobu záruky

Pokud však budeme počítat životnost kogeneračních zařízení 30 let, návratnost investice by se též výrazně zvýšila. Nejvyšší zisk generuje 3. varianta, kde zisk po 30 letech dosahuje 3 800 000 Kč.



Graf č. 11 Čistá současná hodnota po dobu životnosti

Vnitřní výnosové procento je až 8 %. Jak je patrné z tabulky č. 4, která rozebírá míru výnosnosti s ohledem na dobu trvání projektu.

Vnitřní výnosové procento (IRR)	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
IRR pro 10 let	-2,6%	-5,1%	-2,1%
IRR pro 15 let	3,4%	1,4%	3,8%
IRR pro 18 let	5,1%	3,3%	5,5%
IRR pro 20 let	5,8%	4,1%	6,2%
IRR pro 25 let	7,0%	5,5%	7,4%
IRR pro 26 let	7,2%	5,6%	7,5%
IRR pro 30 let	7,7%	6,2%	8,0%

Tabulka č. 4 Tabulka zobrazující míru vnitřního výnosového procenta (IRR) s ohledem na dobu trvání investice  
Z těchto poznatků lze konstatovat, že i díky státní podpoře je investice do kogeneračních jednotek velmi výhodná.



## 6. Závěr

Bakalářská práce se zabývá moderními zdroji elektrické energie a to s ohledem na životní prostředí a jejich ekonomickou rentabilitu. Konkrétně je tato práce o technicko - ekonomickém zhodnocení využití kogeneračních jednotek. V úvodní kapitole byla popsána legislativa ohledně zřizování a provozu kogeneračních jednotek. Se zvláštním ohledem na současnou podporu těchto zařízení v České republice. Následně byl popsán princip fungování jednotlivých druhů těchto zařízení, jejich použití a jejich výhody a nevýhody. V další kapitole došlo k řešení praktického problému a to konkrétně k návrhu kogeneračního zařízení pro průmyslovou zónu na základě spotřeby tepla a elektrické energie. Toto řešení bylo provedeno ve více variantách běhu kogeneračních jednotek z důvodu stanovení technicky a ekonomicky vhodného řešení. Na základě výpočtů bylo zjištěno, že technicky nejlepší řešení je ekonomicky velmi nevýhodné, neboť takovéto řešení nedosahuje na výhodné sazby zeleného bonusu, jehož kritéria pro získání byla popsána v úvodní kapitole. V poslední části této bakalářské práce bylo spočteno a graficky znázorněno ekonomické zhodnocení investic do kogeneračních jednotek. Na základě výpočtů lze konstatovat, že investici do kogeneračních jednotek lze považovat za rentabilní, neboť u všech zvolených variant došlo k zaplacení úvodní investice již před vypršením záruky poskytované výrobcem pro tato zařízení.





## **7. Seznam příloh, grafů, obrázků a tabulek**

### **Přílohy**

Soubor MS Excel:

Matematický a ekonomický model.xlsx

### **Grafy**

Graf č. 1 Spotřeba tepelné energie v průmyslovém areálu

Graf č. 2 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou

Graf č. 3 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie

Graf č. 4 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou pro variantu 1

Graf č. 5 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie pro variantu 1

Graf č. 6 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou pro variantu 2

Graf č. 7 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie pro variantu 2

Graf č. 8 Řešení dodávky tepla kogenerační jednotkou pro variantu 3

Graf č. 9 Bilance spotřeby elektrické energie a vyrobené elektrické energie pro variantu 3

Graf č. 10 Čistá současná hodnota po dobu záruky

Graf č. 11 Čistá současná hodnota po dobu životnosti

### **Obrázky**

Obrázek č. 1 Kogenerace s protitlakou turbínou [7]

Obrázek č. 2 Kogenerace s kondenzační turbínou [7]

Obrázek č. 3 Schéma kogeneračního zapojení spalovací turbíny [6]

Obrázek č. 4 Schéma paroplynového kogeneračního zdroje [6]

Obrázek č. 5 Schéma kogenerace se spalovacím motorem [7]

Obrázek č. 6 Schéma kogenerace s ORC cyklem [5]

### **Tabulky**

Tabulka č. 1 Sazby zeleného bonusu pro malé kogenerační zdroje [3]

Tabulka č. 2 Sazby zeleného bonusu pro velké kogenerační zdroje [3]

Tabulka č. 3 Výpis základních parametrů pro ekonomické zhodnocení

Tabulka č. 4 Tabulka zobrazující míru vnitřního výnosového procenta (IRR) s ohledem na dobu trvání investice



## 8. Citovaná literatura

- [1] Zákon č. 406/2000 Sb. O hospodaření energií, 2000.
- [2] Zákon č. 165/2012 Sb. Zákon o podporovaných zdrojích energie, 2012.
- [3] Energetický regulační úřad, „Energetický regulační věstník,“ V Jihlavě 29 3. 2017. [Online]. [https://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV3\\_2017.pdf/f4f960a4-a03c-43e7-b92b-73c8f645ac30](https://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV3_2017.pdf/f4f960a4-a03c-43e7-b92b-73c8f645ac30).
- [4] Vyhláška č. 453/2012 Sb., O elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů, 2012.
- [5] „Webové stránky ČVUT zabývající se technikou a mechanikou, Energetická strojní zařízení, Přednáškové slajdy: Kogenerace,“ [Online]. <http://watt.feld.cvut.cz/vyuka/ESZ/index.htm>.
- [6] KRBEK, Jaroslav a POLESNÝ Bohumil, Kogenerační jednotky - zřizování a provoz., Praha: GAS, 2007.
- [7] „Webová zpravodajská stránka Oenergetice.cz,“ [Online]. <http://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>.
- [8] „Webová stránka o dotacích v České republice,“ [Online]. <http://www.dotacni.info/typy-kogeneracnich-zarizeni-a-jejich-pouziti/>.
- [9] „Katalog kogeneračních jednotek společnosti Tedom,“ [Online]. <http://kogenerace.tedom.com/data/download/1308.pdf>.
- [10] „Webová stránka výrobce kogeneračních zařízení Tedom,“ [Online]. <http://kogenerace.tedom.com/>.
- [11] „Webová stránka zabývající se Strlingovými motory,“ [Online]. <http://stirlingmotor.cz/princip.html>.
- [12] „Webová stránka operátor trhu s elektřinou,“ [Online]. <http://www.ote-cr.cz/>.
- [13] A. MILLS, Heat transfer, Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- [14] „Webová stránka Energetického regulačního úřadu,“ [Online]. <http://www.eru.cz/cs/>.

