



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY**

Návrh kogenerační jednotky pro průmyslový areál

Design of a cogeneration unit for a industrial site

Diplomová práce

Diploma thesis

Jan Moravec

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Jan Moravec**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Návrh kogenerační jednotky pro průmyslový areál**

Pokyny pro vypracování:

1. Princip kogenerační výroby elektřiny a tepla
2. Kogenerační systémy
3. Návrh kogenerační jednotky pro průmyslový areál
4. Optimalizace dimenzování kogenerační jednotky

Seznam odborné literatury:

- [1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 287 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [2] IBLER, Zbyněk a kol.: Technický průvodce energetika 1. díl, 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, ISBN 80-7300-026-1.

Vedoucí: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

Anotace práce

Autor: Jan Moravec

Název diplomové práce: Návrh kogenerační jednotky pro průmyslový areál

Abstrakt: Diplomová práce se věnuje problematice kombinované výroby elektřiny a tepla tzv. kogenerací. V první části je představen princip kogenerace se svými výhodami a nevýhodami. Druhá část pojednává o používaných technologiích pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Poslední část diplomové práce se zabývá návrhem kogenerační jednotky pro průmyslový areál a následnou optimalizací celého provozu pro docílení nejlepších ekonomických a technických aspektů.

Klíčová slova: kogenerace, elektrická energie, teplo, kogenerační jednotka, kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)

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

Škola: České vysoké učení technické v Praze

Fakulta: Fakulta elektrotechnická

Katedra: Katedra elektroenergetiky K13115

Studijní program a obor: Elektrotechnika, energetika a management (EEM) -
Elektroenergetika

Thesis annotation

Author: Jan Moravec

Name of the disertation thesis: Design of a cogeneration unit for a industrial site

Abstract: This thesis deals with the issue of combined heat and power or shortly cogeneration. The first part introduces the principle of cogeneration with their advantages and disadvantages. The second part discusses about the used technologies for combined heat and power production. The last part of this thesis deals with the design of cogeneration units for a industry area and with an optimization of the entire installation to achieve the best economic and technical aspects.

Key words: cogeneration, electrical energy, heat, cogeneration unit, combined heat and power (CHP)

Leader of the thesis: Ing. Bc. Vít Klein, Ph.D.

University: Czech technical university in Prague

Faculty: Faculty of Electrical engineering

Department: Department of power engineering K13115

Studying program and line: Electrical Engineering, Power Engineering and Management – Electrical Power Engineering

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 dne

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce Ing. Vítu Kleinovu, Ph.D., za jeho příkladné vedení, připomínky a cenné rady.

Dále bych velice rád poděkoval celému kolektivu firmy Zeppelin CZ za rady a připomínky, jmenovitě Ing. Zdeňkovi Tížkovi, který mi velice pomohl při tvorbě praktické části a Ing. Jakobovi Dobešovi z firmy Viessmann za poskytnuté informace a cenné rady.

A nakonec bych chtěl poděkovat celé své rodině a své snoubence za protrpěné chvíle a za podporu při studiu na vysoké škole a při psaní této práce.

Obsah

Úvod	1
1 Princip kogenerační výroby elektřiny a tepla	2
1.1. Výhody a nevýhody kogenerace	2
1.1.1 Výhody kogenerace	2
1.1.2 Nevýhody kogenerace	3
1.2. Legislativa	3
1.2.1 Česká legislativa	3
1.2.1.1 Zákon o podporovaných zdrojích energie (165/2012 Sb.).....	3
1.2.1.2 Vyhláška č. 140/2009 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen	4
1.2.1.3 Vyhláška č. 453/2012 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů.....	4
1.2.1.4 Registrační vyhláška č. 346/2012 Sb.....	5
1.2.1.5 Vyhláška č. 478/2012 Sb. o vykazování a evidenci elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů a biometanu, množství a kvality skutečně nabytých a využitých zdrojů a k provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie.....	5
1.2.1.6 Zákon o hospodaření energií (406/2000 Sb.).....	5
1.2.1.7 Nařízení vlády č. 63/2002 Sb. o pravidlech pro poskytování dotací ze státního rozpočtu na podporu hospodárného nakládání s energií a využívání jejích obnovitelných a druhotných zdrojů	6
1.2.2 Evropská legislativa	6
1.2.2.1 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti (EED – Energy Efficiency Directive)	6
1.2.2.2 Směrnice EP a Rady 2010/31/ES o energetické náročnosti budov.....	8
1.2.2.3 Směrnice EP a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů	8
1.2.2.4 Rozhodnutí Komise 2008/952/ES stanovující podrobné pokyny pro provádění a uplatňování přílohy II směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/8/ES	8
1.3. Rozvoj kogenerace.....	8
1.3.1 Česká republika	8
1.3.2 Evropská unie	9
1.4. Účinnost kombinované výroby	10
1.4.1 Elektrická účinnost.....	10
1.4.2 Tepelná účinnost.....	10
1.4.3 Modul teplárenské výroby elektrické energie.....	11

1.4.4 Celková účinnost.....	11
1.5. Výroba elektrické energie	12
1.5.1 Synchronní generátor.....	12
1.5.2 Asynchronní generátor.....	13
1.6. Výroba tepla	13
1.6.1 Tepelný výměník.....	13
1.6.2 Akumulace tepla	13
1.7 Trigenerace	14
2 Kogenerační systémy	15
2.1. Základní rozdělení.....	15
2.1.1 Rozdělení dle použité technologie	15
2.1.2 Rozdělení dle výkonnosti	15
2.1.3 Rozdělení dle přeměny energie	15
2.1.4 Rozdělení dle účelu využití elektrické energie	16
2.2. Parní turbíny.....	16
2.2.1 Parní protitlakové turbíny	16
2.2.1.1 Princip	16
2.2.1.2 Výhody a nevýhody	16
2.2.2 Parní odběrové turbíny.....	17
2.2.2.1 Princip	17
2.2.2.2 Výhody a nevýhody	17
2.3. Plynová turbína	18
2.3.1 Princip.....	18
2.3.2 Výhody a nevýhody.....	18
2.4. Paroplynový cyklus (PPC)	19
2.4.1 Princip.....	19
2.4.2 Výhody a nevýhody.....	20
2.5. Spalovací pístový motor	20
2.5.1 Princip.....	20
2.5.2 Výhody a nevýhody.....	21
2.6. Mikroturbína	21
2.6.1 Princip.....	21
2.6.2 Výhody a nevýhody.....	22
2.7. Stirlingův motor	22
2.7.1 Princip.....	22
2.7.2 Výhody a nevýhody.....	23

2.8. Organický Rankinův cyklus (ORC)	24
2.8.1 Princip.....	24
2.8.2 Výhody a nevýhody.....	25
2.9. Palivový článek.....	25
2.9.1 Princip.....	25
2.9.2 Výhody a nevýhody.....	25
3 Návrh kogenerační jednotky pro průmyslový areál.....	27
3.1 Výchozí stav	27
3.2 Popis objektu.....	28
3.3 Energetické hospodářství areálu	28
3.3.1 Vytápění a teplá užitková voda	28
3.3.2 Elektrická energie	29
3.4 Spotřeby a energetické bilance	29
3.4.1 Elektrická energie	29
3.4.2 Teplo na vytápění	30
3.4.3 Teplo na ohřev TV	31
3.5 Ekonomické zhodnocení	32
3.5.1 Prostá doba splacení	32
3.5.2 Diskontovaná doba splacení.....	33
3.5.3 Čistá současná hodnota NPV (Net Present Value)	33
3.5.4 Vnitřní výnosové procento IRR (Internal Rate of Return).....	33
3.6 Zelený bonus.....	34
3.7 Návrh kogenerační jednotky	35
3.7.1 Hodnoty potřebné pro všechny varianty provozu kogenerace	35
3.7.1.1 Elektrická energie	35
3.7.1.2 Teplo pro vytápění.....	35
3.7.1.3 Teplo pro ohřev teplé vody	35
3.7.1.4 Souhrn vstupních informací	35
3.7.2 Regulační stanice plynu	36
3.7.3 Kogenerační jednotka pro topnou sezónu v přerušovaném provozu	36
3.7.3.1 Použitá kogenerační jednotka	37
3.7.3.2 Použitý plynový kotel.....	38
3.7.3.3 Souhrn.....	38
3.7.4 Energetická bilance.....	40
3.7.4.1 Elektrická energie	40
3.7.4.2 Teplo	40

3.7.4.3 Úspory.....	41
3.7.5 Ekonomika.....	42
3.7.5.1 Rozpis.....	42
3.7.5.2 Souhrn.....	42
3.7.5.3 Výsledný graf.....	43
4 Optimalizace dimenzování kogenerační jednotky.....	44
4.1 Ohřev teplé vody.....	44
4.1.1 Použitá kogenerační jednotka.....	45
4.1.2 Použitý plynový kotel.....	46
4.1.3 Souhrn.....	46
4.1.4 Energetická bilance.....	48
4.1.4.1 Elektrická energie.....	48
4.1.4.2 Teplo.....	48
4.1.4.3 Úspory.....	48
4.1.5 Ekonomika.....	49
4.1.5.1 Rozpis.....	49
4.1.5.2 Souhrn.....	49
4.1.5.3 Výsledný graf.....	50
4.2 Trvalý provoz v topné sezóně.....	51
4.2.1 Použitá kogenerační jednotka.....	52
4.2.1.1 Trvalý provoz.....	52
4.2.1.2 Přerušovaný provoz.....	53
4.2.2 Použitý plynový kotel.....	53
4.2.3 Souhrn.....	53
4.2.4 Energetická bilance.....	56
4.2.4.1 Elektrická energie.....	56
4.2.4.2 Teplo.....	56
4.2.4.3 Úspory.....	56
4.2.5 Ekonomika.....	57
4.2.5.1 Rozpis.....	57
4.2.5.2 Souhrn.....	57
4.2.5.3 Výsledný graf.....	58
4.3 Trvalý provoz na ohřev teplé vody.....	59
4.3.1 Použitá kogenerační jednotka.....	60
4.3.2 Použitý plynový kotel.....	61
4.3.3 Souhrn.....	61

4.3.4 Energetická bilance.....	63
4.3.4.1 Elektrická energie.....	63
4.3.4.2 Teplo.....	63
4.3.4.3 Úspory.....	63
4.3.5 Ekonomika.....	64
4.3.5.1 Rozpis.....	64
4.3.5.2 Souhrn.....	64
4.3.5.3 Výsledný graf.....	65
Závěr.....	66
Seznamy.....	68
Seznam použitých obrázků.....	68
Seznam použitých tabulek.....	68
Seznam použitých grafů.....	69
Seznam příloh.....	70
Zdroje.....	71

Úvod

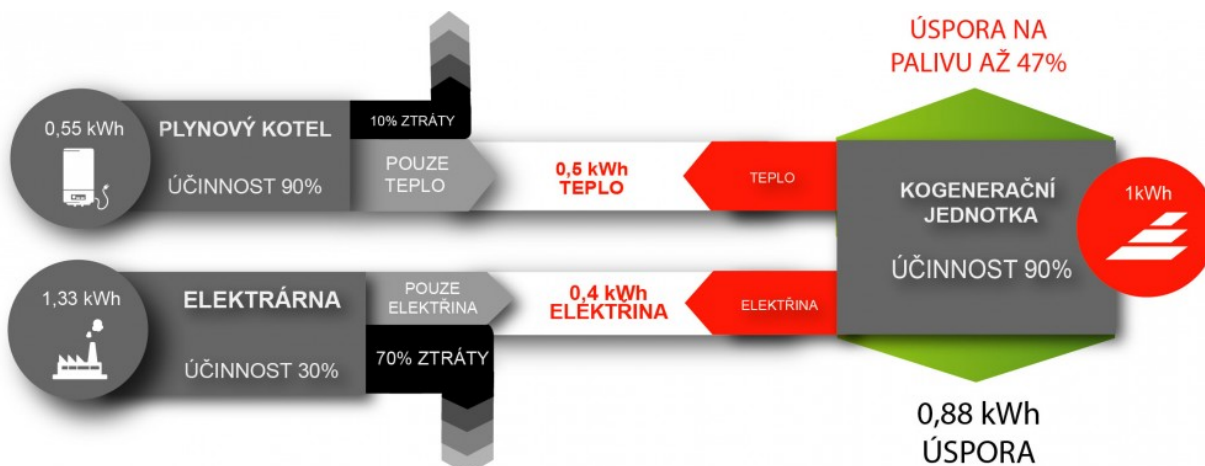
Elektrická energie se považuje za nejuniverzálnější druh energie, kterou jsme schopni vyrobit a následně nejsnáze dopravit na místo spotřeby. Nacházíme se ovšem v době, kdy zdroje elektrické energie a potažmo tepelné energie rychle stárnou a hledá se za ně adekvátní náhrada. Na nové zdroje se kladou velké ekologické a technologické nároky, které nové zdroje zdražují a dochází k časovým prodloužením ve spuštění. Dále dochází také k modernizacím starých zdrojů, které dokáží prodloužit technickou životnost, ale toto řešení není zcela ideální.

Blížíme se ovšem k bodu, kdy se budou muset i modernizované zdroje odstavit a může dojít k tomu, že nové zdroje nebudou schopné staré zdroje nahradit. K tomu přispívá současná legislativa, která se v mnoha případech teprve tvoří, a nejsou zcela jasně stanoveny cíle, které budeme ale muset zcela jasně definovat.

Budoucnost energetické bezpečnosti je spjata s obnovitelnými zdroji energie, které jsou již dnes k dispozici, ale v nedostatečném množství a technologicky ještě stále nedozrálé.

Pro překlepnutí potřebné doby, než se zcela dořeší problémy s obnovitelnými zdroji, je ale zapotřebí dosluhující zdroje nahradit novými, i když z hlediska ekologie nejsou zcela ideálními, ale alespoň přijatelné.

Nejlépe tyto představy splňuje kombinovaná výroba elektrické energie a tepla tzv. kogenerace, která s vysokou účinností vyrábí elektrickou energii a zároveň vyrábí tepelnou energii o požadovaných parametrech s menším množstvím emisí oproti oddělené výrobě obou energií.



Obr. 1 Jednoduchý příklad aplikace kogenerace ¹

¹ Kogenerační jednotky. KARLA ENERGIZE [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-04-15].

1 Princip kogenerační výroby elektřiny a tepla

1.1. Výhody a nevýhody kogenerace

1.1.1 Výhody kogenerace

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla je nejučinnější nástroj ke snížení energetické náročnosti systémů zásobování teplem a elektrickou energií vyplývající z úspory a hodnotnějšího využití primárních energetických zdrojů. Výhody kogenerace jsou jasně patrné pouze při porovnání s technologiemi, které odděleně vyrábějí elektrickou energii (kondenzační elektrárna) a teplo (výtopna).

Z termodynamického hlediska kogenerační jednotky snižují spotřebu primární energie ve formě fosilního paliva. Toho se docílí výrobou elektřiny při výrobě tepla. Jinak by se musela elektrická energie vyrábět v klasických uhelných nebo jaderných elektrárnách při nižší účinnosti. Úsporu tepla v primární energii při výrobě v kogenerační jednotce oproti oddělené výrobě tepla a elektřiny lze vyjádřit:

$$Q_U = Q_{výt} + Q_{ele} - Q_{kog} = Q_t \times \left[\left(\frac{1}{\eta_{výt}} - \frac{1}{\eta_C^{KVEET}} \right) + \sigma \times \left(\frac{1}{\eta_{ele}} - \frac{1}{\eta_C^{KVEET}} \right) \right]^2 \quad (1.1)$$

kde:

Q_U	úspora tepla v palivu [kJ]
$Q_{výt}, Q_{ele}, Q_{kog}$	teplo přivedené v palivu pro výrobu tepla ve výtopně, pro výrobu elektřiny v elektrárně a pro provoz kogenerační jednotky [kJ]
Q_t	dodávka tepla z kogenerační jednotky [kJ]
$\eta_{výt}$	účinnost výtopny nebo lokálního topidla, které je nahrazeno kogeneračním zařízením [-]
η_{ele}	účinnost výroby elektrické energie v elektrárně [-]
η_C^{KVEET}	celková účinnost kogenerační jednotky

Další velkou výhodou, která přímo souvisí s úsporou primární energie, je pozitivní vliv na životní prostředí. Je to hlavně dáno nižší spotřebou paliv, která by se jinak spotřebovala při oddělené výrobě tepla i elektřiny a tím i výrazně nižší negativní důsledky jejich těžby a spalování. V první řadě klesá množství vzniklých skleníkových plynů (oxid uhličitý). Dále klesá produkce škodlivých oxidů jako oxidy dusíku a síry. Kogenerační jednotky mají i velice pozitivní vliv na velikost národohospodářských nákladů. Mezi další výhody patří:

- Možnost umístit kogenerační jednotku do místa spotřeby a snížení celkových ztrát vzniklé přenosem a distribucí elektrické a tepelné energie
- Jednoduché připojení na existující technologie v průmyslovém, komerčním a bytovém sektoru
- Zvýšení konkurence mezi jednotlivými systémy energetického zásobování

² Dlouhý Tomáš. Kotelny a kogenerační jednotky. ČVUT Praha FSI Ústav mechaniky tekutin a energetiky Odbor tepelných a jaderných energetických zařízení [online]. Praha: ČVUT FSI, 2001 [cit. 2016-04-13]

1.1.2 Nevýhody kogenerace

Největší nevýhoda současných kogeneračních jednotek je jejich vyšší pořizovací hodnota, které musí investor uhradit jednorázově. Vložené prostředky investor získává zpět ve formě úspor během provozu zařízení. Aby byla doba návratnosti co nejkratší, musí být roční doba využití co největší. V opačném případě může kogenerační jednotka vykazovat finanční ztrátu.

Hodnocení návratnosti je možné provést porovnáním nákladů na oddělenou výrobu elektřiny a tepla s náklady na pořízení a provoz kogenerační jednotky za dobu její životnosti. Mezi další nevýhody patří:

- Návratnost vynaložených finančních prostředků je závislá na využití vyrobeného tepla a elektrické energie
- Vzájemná vazba při výrobě tepla a elektrické energie a z toho plynoucí komplikace při řízení provozu zařízení a jeho regulace
- Vyšší hladina hluku a nutná protiopatření

1.2. Legislativa

1.2.1 Česká legislativa

1.2.1.1 Zákon o podporovaných zdrojích energie (165/2012 Sb.)

Zákon o podporovaných zdrojích č. 165/2012 Sb. nahradil k 1.1.2013 zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.

Obsahuje podmínky podpory pro elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů (např. fotovoltaické elektrárny), druhotných zdrojů (např. skládkové plyny), kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET), tepla z obnovitelných zdrojů, biometanu a decentralní výroby elektřiny.

Zákon obsahuje přesnou definici KVET (§ 2 písmeno g) a zní: *„Kombinovanou výrobou elektřiny a tepla se rozumí přeměna primární energie na energii elektrickou a užitečné teplo ve společném současně probíhajícím procesu v jednom výrobním zařízení.“*

Předmětem podpory (§ 6) je elektřina z vysokoúčinné KVET, za kterou se považuje elektrická energie vyrobená ve společném procesu spojeném s dodávkou užitečného tepla. Zařízení, na které Ministerstvo průmyslu a obchodu vydalo potřebné osvědčení o původu vyrobené elektrické energie, musí dosahovat poměrné úspory vstupního primárního paliva potřebného na výrobu elektrické energie a tepla alespoň 10 % o proti oddělené výrobě elektrické energie a tepla.

Uvedená podpora se vztahuje na výroby elektrické energie umístěné v ČR, které jsou připojeny na elektrizační soustavu přímo nebo prostřednictvím odběrného místa nebo prostřednictvím jiné výroby elektrické energie. Podpora se poskytuje na množství vyrobené elektrické energie vykázané výrobcem a to v rozsahu, v termínech a způsobem podle vyhlášky č. 453/2012 Sb.

Rozsah a výši podpory každoročně stanovuje Energetický regulační úřad (ERU) v cenovém rozhodnutí.

Provozovatel přenosové (ČEPS a.s.) nebo distribuční (E.ON a.s., ČEZ a.s. a PRE a.s.) soustavy je povinen na svém území přednostně připojit zdroj KVET, pokud o to výrobce požádá a splňuje podmínky připojení. Provozovatel může odmítnout připojit zdroj KVET z těchto dvou důvodů:

- Nedostatečná kapacita přenosové nebo distribuční soustavy
- Při ohrožení bezpečného nebo spolehlivého provozu elektrizační soustavy

U výroben elektrické energie využívajících obnovitelné zdroje trvá právo na podporu elektřiny po dobu životnosti výroby elektrické energie stanovené vyhláškou č. 347/2012 Sb. Provozovatel elektrizační soustavy je povinen zaregistrovat předávací místo výroby elektrické energie, ke které vzniká nárok na podporu elektrické energie, připojené k jím provozované soustavě jako výrobní předávací místo v systému operátora trhu a dále registrovat všechny změny v těchto údajích.

Výrobce elektrické energie ze zdroje KVET může čerpat podporu pouze formou zelených bonusů (§ 8). Výrobce je povinen zaregistrovat prostřednictvím vykupujícího anebo přímo v systému operátora trhu zvolenou formu podpory elektřiny.

Zelený bonus (§ 9) na elektřinu z kombinované výroby je stanoven v Kč/MWh a poskytován v ročním režimu. Vyúčtování zeleného bonusu se uskutečňuje na základě naměřených nebo vypočtených hodnot vyrobené elektrické energie evidovaných operátorem trhu.

Výši podpory (§ 12) stanovuje ERU na následující rok. Výše ročního zeleného bonusu vychází z umístění zařízení, na velikosti instalovaného výkonu, na použitém primárním palivu a na provozním režimu. Zelený bonus se může meziročně průběžně měnit v závislosti na ceně elektřiny na trhu, na ceně tepelné energie, na ceně primárního energetického zdroje, na efektivitě výroby a na době využití výroby elektrické energie.

1.2.1.2 Vyhláška č. 140/2009 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen

ERU reguluje cenu (§ 9a) ve spolupráci s operátorem trhu v elektroenergetice, plynárenství a teplárenství způsobem uvedeným v příloze č. 5 této vyhlášky. Postup tvorby ceny ve spolupráci s operátorem trhu je stanoven na regulační období prostřednictvím regulačního vzorce.

ERU stanoví ceny do 30. listopadu kalendářního roku předcházejícího regulovaný rok, a to s účinností od 1. ledna regulovaného roku.

1.2.1.3 Vyhláška č. 453/2012 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů

Množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla (§ 2) se stanovuje pro každou kogenerační jednotku samostatně nebo jejich sériovou sestavu, v nichž se vyrábí elektřina nebo mechanická energie, na základě skutečně dosažených provozních hodnot spotřeby energie v palivu, výroby elektřiny, případně mechanické energie a užitečného tepla. Za elektřinu z kombinované výroby elektřiny a tepla se považuje celkové množství vyrobené elektřiny za vykazované období, naměřené na výstupu hlavních generátorů elektřiny kogenerační jednotky nebo jejich sériové sestavy. Výsledná celková účinnost, která je stanovená postupem uvedeným v příloze č. 1 k této vyhlášce, za vykazované období musí dosáhnout nejméně 75 % nebo 80 % podle typu kogenerační jednotky.

Pro kogenerační jednotky s nižší celkovou účinností se množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla stanoví postupem podle přílohy č. 1 k této vyhlášce. Za elektřinu z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla se považuje množství elektřiny, při jejíž výrobě se dosahuje poměrné úspory primární energie ve výši alespoň 10 % stanovené postupem, který je uveden v příloze č. 2 k této vyhlášce.

V případě kogenerační jednotky s instalovaným elektrickým výkonem nejvýše 1 MW se za elektřinu z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla považuje množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla, která zajišťuje kladnou hodnotu poměrné úspory primární energie.

Osvědčení o původu elektřiny z vysokoúčinné KVET (§ 3) se vydává pro každou kogenerační jednotku jednotlivě nebo jejich sériovou sestavu.

Pro účel vydání osvědčení o původu elektřiny z vysokoúčinné kombinované KVET určí žadatel množství elektřiny z vysokoúčinné kombinované KVET postupem podle § 2 pro první kalendářní rok provozu podle předpokládané výroby a způsobu provozu kogenerační jednotky nebo jejich sériové sestavy. Vzor žádosti o vydání osvědčení o původu elektřiny z vysokoúčinné KVET je uveden v příloze č. 3 k této vyhlášce.

1.2.1.4 Registrační vyhláška č. 346/2012 Sb.

Vyhláška stanovuje termíny a postupy výběru formy podpory a postupy registrace podpory elektřiny u operátora trhu, termíny a postupy výběru a změn režimů zeleného bonusu na elektřinu.

1.2.1.5 Vyhláška č. 478/2012 Sb. o vykazování a evidenci elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů a biometanu, množství a kvality skutečně nabytých a využitých zdrojů a k provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie

Vyhláška mimo jiné stanovuje způsob předávání a evidence naměřených nebo vypočtených hodnot elektřiny z podporovaných zdrojů a ověření vypočtených hodnot u podpory formou zeleného bonusu na elektřinu.

1.2.1.6 Zákon o hospodaření energií (406/2000 Sb.)

Zákon obsahuje opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií, pravidla pro Státní energetické koncepce (SEK), Územní energetické koncepce (ÚEK) a Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie.

Státní energetická koncepce (§ 3) je strategický dokument, který si stanovuje cíle na dalších 30 let v národním energetickém hospodářství. Důraz se klade na potřeby hospodářství a na společenský rozvoj včetně ochrany životního prostředí. Návrh zpracovává Ministerstvo průmyslu a obchodu a výsledný koncept se předkládá vládě ke schválení.

Každých 5 let se provádí vyhodnocení dosavadních výsledků Ministerstvem průmyslu a obchodu. Výsledky jsou prezentovány vládě a v případě nutnosti je koncept pozměněn a opět předložen vládě ke schválení.

Územní energetická koncepce (§ 4) vychází ze Státního energetického konceptu. Obsahuje cíle a principy řešení energetického hospodářství na nižších úrovních státu (kraje, města nebo obce). Vytváří podmínky pro aplikaci Státní energetické koncepce. ÚEK je důležitým podkladem pro územní rozvoj a pro územně plánovací dokumentaci.

ÚEK povinně přijímají kraj, hlavní město Praha a statutární město. Obec může pro svůj územní obvod nebo jeho část pořídit územní energetickou koncepci v souladu se státní energetickou koncepcí a krajskou ÚEK. Územní energetická koncepce se zpracovává na období 20 let a v případě potřeby se doplňuje a upravuje. Územní energetická koncepce obsahuje mimo jiné hodnocení využitelnosti obnovitelných a druhotných energetických zdrojů a kombinované výroby elektřiny a tepla.

Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie (§ 5) vyjadřuje cíle v oblasti zvyšování účinnosti užití energie, snižování energetické náročnosti a využití jejich obnovitelných a druhotných zdrojů v souladu se státní energetickou koncepcí a zásadami udržitelného rozvoje. Program zpracovává na období jednoho roku Ministerstvo průmyslu a obchodu v dohodě s Ministerstvem životního prostředí a předkládá jej ke schválení vládě. K uskutečnění programu mohou být poskytovány dotace ze státního rozpočtu.

1.2.1.7 Nařízení vlády č. 63/2002 Sb. o pravidlech pro poskytování dotací ze státního rozpočtu na podporu hospodárného nakládání s energií a využívání jejich obnovitelných a druhotných zdrojů

Nařízení vlády stanovuje pravidla pro poskytování dotací ze státního rozpočtu k uskutečňování Národního programu hospodárného nakládání s energií a využívání jejich obnovitelných a druhotných zdrojů na podporu zvyšování účinnosti užití energie, snižování energetické náročnosti a využití obnovitelných a druhotných zdrojů v souladu se schválenou státní energetickou koncepcí (SEK) a zásadami trvale udržitelného rozvoje.

1.2.2 Evropská legislativa

1.2.2.1 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti (EED – Energy Efficiency Directive)

Tato směrnice mimo jiné nahradila předchozí směrnici 2004/8/ES. Tvoří základ v oblasti podpory KVVET v evropské energetice.

Preambule směrnice v bodu 35 stanoví: „*Vysoce účinná kombinovaná výroba tepla a elektřiny a dálkové vytápění a chlazení mají značný potenciál z hlediska úspory primární energie, který je v Unii z velké části nevyužitý. Členské státy by měly provést komplexní posouzení potenciálu vysoce účinné kombinované výroby tepla a elektřiny a dálkového vytápění a chlazení. Tato posouzení by měla být na žádost Komise aktualizována, aby investorům poskytovala informace týkající se vnitrostátních plánů rozvoje a přispěla ke stabilnímu prostředí podporujícímu investice. Nová zařízení na výrobu elektřiny a stávající zařízení, která procházejí podstatnou rekonstrukcí nebo jim jsou obnovována povolení či licence, by měla být - za předpokladu provedení analýzy nákladů a přínosů, z níž vyplývá čistý přínos - vybavena vysoce účinnými kogeneračními jednotkami umožňujícími zpětné získávání odpadního tepla pocházejícího z výroby elektřiny. Toto odpadní teplo by pak mohlo být dopravováno do místa potřeby sítěmi dálkového vytápění.*“

Článek 2 směrnice o energetické účinnosti EED obsahuje v bodech 30 až 36 podstatné definice:

- Kombinovaná výroba tepla a elektřiny (30. bod) => současná výroba tepelné energie a elektrické nebo mechanické energie v jednom procesu
- Ekonomicky odůvodněná poptávka (31. bod) => poptávka, která nepřekračuje potřeby tepla nebo chlazení a která by byla za tržních podmínek jinak uspokojována jinými procesy výroby energie než kombinovanou výrobou tepla a elektřiny
- Užitečné teplo (32. bod) => teplo vyrobené v procesu kombinované výroby tepla a elektřiny k uspokojování ekonomicky odůvodněné poptávky po vytápění a chlazení
- Elektřina z kombinované výroby tepla a elektřiny (33. bod) => elektřina vyrobená v procesu spojeném s výrobou užitečného tepla a vypočtená podle metodiky stanovené v příloze I
- Vysoce účinná kombinovaná výroba tepla a elektřiny (34. bod) => kombinovaná výroba tepla a elektřiny splňující kritéria stanovená v příloze II
- Celková účinnost (35. bod) => roční objem výroby elektrické a mechanické energie a užitečného tepla dělený spotřebou paliva použitého k výrobě tepla v procesu kombinované výroby tepla a elektřiny a hrubé výroby elektrické a mechanické energie
- Poměr elektřiny a tepla (36. bod) => poměr mezi elektřinou z kombinované výroby tepla a elektřiny a užitečným teplem při plném kombinovaném režimu na základě provozních dat konkrétní jednotky

Členské státy do 31. prosince 2015 musí provést komplexní posouzení potenciálu vysoce účinné kombinované výroby tepla a elektřiny a účinného dálkového vytápění a chlazení. Posudek oznámí Komisi EU. Toto posouzení se na žádost Komise EU každých pět let aktualizuje a oznamuje Komisi EU.

Členské státy přijmou politická rozhodnutí, která podporují náležitá zohledňování, na místní a regionální úrovni, potenciálu využívání účinných systémů vytápění a chlazení, zejména systémů využívajících vysoce účinnou kombinovanou výrobu tepla a elektřiny. Analýzy nákladů a přínosů jsou založeny na místních klimatických podmínkách, ekonomické proveditelnosti a technické vhodnosti. Analýza nákladů a přínosů umožňuje usnadnění určení a provedení nejefektivnějších řešení z hlediska zdrojů a nákladů za účelem naplnění potřeb v oblasti dodávek tepla a chlazení.

Je-li na základě posouzení potenciálu a analýzy přínosu a nákladů zjištěn potenciál pro použití vysoce účinné kombinované výroby tepla a elektřiny nebo účinného dálkového vytápění a chlazení, jehož přínosy jsou vyšší než náklady, přijmou členské státy vhodná opatření pro rozvoj infrastruktury pro účinné dálkové vytápění a chlazení či pro přispění k rozvoji vysoce účinné kombinované výroby tepla, elektřiny a využívání vytápění a chlazení z odpadního tepla a obnovitelných zdrojů energie.

Není-li zjištěn dostatečný potenciál, jehož přínosy jsou vyšší než náklady, mohou státy osvobodit zařízení od plnění stanovených podmínek a požadavků.

Členské státy zajistí, aby podle objektivních, transparentních a nediskriminačních kritérií mohl být zaručen původ elektřiny z vysoce účinné kombinované výroby tepla a elektřiny. Členské státy vzájemně uznávají své záruky původu.

Členské státy zajistí, aby veškerá dostupná podpora pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny byla podmíněna tím, že vyrobená elektřina pochází z vysoce účinné kombinované výroby tepla a elektřiny a že odpadní teplo je účelně využíváno k dosažení úspor primární energie. Veřejná podpora kombinované výroby tepla a elektřiny a výroby

tepla pro dálkové vytápění a sítí dálkového vytápění podléhá pravidlům pro poskytování státní podpory, pokud se na ni vztahují.

1.2.2.2 Směrnice EP a Rady 2010/31/ES o energetické náročnosti budov

Při výstavbě nových budov musí být posouzena a vzata v úvahu technická, environmentální a ekonomická proveditelnost alternativních systémů o vysoké účinnosti. Do této kategorie patří i aplikace kombinované výroby elektřiny a tepla.

V příloze I Společný obecný rámec pro výpočet energetické náročnosti budov se bere do úvahy environmentálně příznivý vliv výroby elektřiny v zařízení kombinované výroby.

1.2.2.3 Směrnice EP a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů

Emise skleníkových plynů z výroby a použití paliv, biopaliv a biokapalin v dopravě se vypočítají ze vzorce, kde se úspora emisí v důsledku přebytečné elektřiny z kombinované výroby tepla a elektřiny e_{ee} odečte od celkových emisí skleníkových plynů E z výroby a použití paliv, biopaliv a biokapalin v dopravě.

Za předpokladu, že kapacita kogenerační jednotky je rovna minimální kapacitě potřebné k tomu, aby jednotka dodávala tepelnou energii nezbytnou pro výrobu paliva, úspory emisí skleníkových plynů související s touto přebytečnou elektřinou se pokládají za rovné množství skleníkových plynů, které by byly emitovány při výrobě stejného množství elektřiny v elektrárně s využitím stejného paliva, jaké se používá v kogenerační jednotce.

1.2.2.4 Rozhodnutí Komise 2008/952/ES stanovující podrobné pokyny pro provádění a uplatňování přílohy II směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/8/ES

Rozhodnutí stanovuje množství elektrické energie vyrobené v kombinované výrobě v pěti krocích, s významem zejména pro provozovatele odběrových turbín. Pro určení úspor primární energie je nezbytné vypočítat spotřebu paliva neurčeného pro kombinovanou výrobu jako podíl množství elektrické energie nepocházející z kombinované výroby („kondenzační elektřina“) a specifickou hodnotou účinnosti zařízení pro výrobu elektřiny, což je účinnost zařízení provozovaného v čistě kondenzačním režimu.

1.3. Rozvoj kogenerace

1.3.1 Česká republika

Česká republika v rámci EU zaujímá unikátní pozici v oblasti kombinované výroby elektřiny a tepla. V ČR má toto odvětví dlouholetou tradici a odborná i laická veřejnost má široké povědomí a informace o jeho výhodách. V rámci modernizací současných kogeneračních zdrojů se instalovaný výkon zvětšuje. Další nezanedbatelnou výhodou českého prostředí je správně nastavená legislativní podpora kogenerace a k dispozici jsou i podpůrné programy pro další rozvoj kogenerace. Nepříznivě ovšem vypadá dotační politika, která je z dlouhodobého hlediska nedoručená a nikdo není schopen predikovat výslednou výši finančních prostředků, které budou k tomuto účelu poskytnuty.

Kogenerace je velice vhodný prostředek pro dosažení hlavních cílů státního energetického plánu (SEK a ÚEK) zvyšování energetické účinnosti a snižování emisí skleníkových plynů. K dosažení těchto cílů je nezbytná modernizace a náhrada

stávajících starých kogeneračních jednotek v systému centrálního zásobování teplem (CZT).

Výroba elektrické energie v kogeneraci má potenciál pokrýt více než 25 % koncové spotřeby elektřiny do roku 2030 (to je zvýšení výroby o 30% oproti roku 2010). Pokud by se předpoklady potvrdily, mohla by se kogenerace stát důležitým pilířem v dodávkách elektrické energie v ČR.

Při správném plnění všech výše uvedených předpokladů by mohla finální úspora primární energie (UPE) v roce 2030 činit kolem 9 TWh/rok (hodnot vychází z výpočtu, který se udává ve směrnici o energetické účinnosti (EED) 2012/27/EU. Potenciál ovšem činí až téměř 12 TWh/rok a celkové snížení emisí skleníkových plynů se pohybuje kolem 6 milionů tun CO₂/rok.

Do roku 2020 by měly úspory energie činit 13 TWh/rok a z této hodnoty by měla kogenerace pokrýt až 5 TWh/rok, což činí přibližně třetinu z celkových úspor.

Nezbytným předpokladem pro dosažení těchto výsledků je vybudování stabilního, dlouhodobého programu rozvoje kogenerace a modernizace systémů CZT. Důsledné zavádění principů evropské směrnice o energetické účinnosti (EED) by mohlo zásadně přispět k významné budoucí úloze kogenerace v trvale udržitelných dodávkách energie.

1.3.2 Evropská unie

Evropská kogenerační politika vychází z projektu CODE2, která je následovníkem projektu CODE (Cogeneration Observatory and Dissemination Europe). Na tomto projektu se podílí týmy odborníků ze všech členských států EU. Hlavním cílem je najít v každé jednotlivé členské zemi správný směr, jak rozvíjet kogeneraci a jak velký je potenciál při správné aplikaci kogenerace. Výsledkem celého projektu je tzv. Evropský kogenerační plán (European Cogeneration Roadmap).

Podle dosažených výsledků by mohlo v roce 2030 až 20 % vyrobené elektrické energie pocházet z kogeneračních jednotek. V současné době pochází 15 % z celkově vyrobeného tepla z kogeneračních jednotek (850 TWh) a celkový potenciál hovoří až o 1264 TWh tepla v roce 2030. Vysokouúčinná výroba elektřiny a tepla v jednom procesu by mohla všem státům EU vytvořit energetickou úsporu až 870 TWh v primárních palivech a za celou dobu by se do ovzduší vypustilo o 350 milionů tun CO₂ méně.

Evropský plán jasně rozlišuje využívání konvenčních zdrojů pro kombinovanou výrobu a využívání biopaliv pro kombinovanou výrobu. Vývoj posledních let ukazuje posun ve prospěch biopaliv.

Pro další úspěšný rozvoj kombinované výroby elektřiny a tepla se musí překonat 4 následující bariéry:

- Trhy s elektřinou a teplem neodměňují provozovatele kogeneračních jednotek za energetické úspory, které vznikají spojenou výrobou elektřiny a tepla
- Vysoká míra nejistoty vyplývající z významných změn na energetických trzích v posledních letech, které přináší sebou spojená rizika, že se kogenerace stane nerentabilní (tj. malý zisk z provozu)
- Problémy týkající se síťového připojení, poplatků za připojení, povolování a pokračující byrokracie pro kogeneraci navzdory přijatých právních předpisů od roku 2004

- Absence vhodného posouzení tepelné energie v obecné energetické a klimatické energetice a dále slábnoucí důraz na primární energie ve srovnání s konečným použitím energie v oblasti energetické účinnosti

Veškeré kroky spojené s kogenerací a politikou spojenou s tímto odvětvím jsou v souladu s evropskou direktivou o energetické účinnosti (EED).

1.4. Účinnost kombinované výroby

1.4.1 Elektrická účinnost

Elektrická účinnost je účinnost přeměny primární energie přivedené ve formě paliva na elektrickou energii.

$$\eta_E^{KVET} = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{E}{m_{pal} \times Q_i} = \frac{P_E}{M_{pal} \times Q_i} \quad [-]^3 \quad (1.2)$$

kde:

η_E^{KVET}	elektrická účinnost
E	elektrická práce, energie [Ws]
P_E	elektrický výkon [W]
m_{pal}	hmotnost nebo objem paliva [kg ; m ³]
M_{pal}	hmotnostní nebo objemový průtok paliva [kg/s ; m ³ /s]
Q_i	energie v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva [J/kg ; J/m ³]

1.4.2 Tepelná účinnost

Tepelná účinnost je účinnost přeměny primární energie přivedené ve formě paliva na užitečně využitelnou tepelnou energii.

$$\eta_T^{KVET} = \frac{P_T}{M_{pal} \times Q_i} \quad [-]^4 \quad (1.3)$$

kde:

η_T^{KVET}	tepelná účinnost
P_T	tepelný výkon [W]
M_{pal}	hmotnostní nebo objemový průtok paliva [kg/s ; m ³ /s]
Q_i	energie v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva [J/kg ; J/m ³]

³ DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

⁴ DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

1.4.3 Modul teplotné výroby elektrické energie

Modul teplotné výroby elektrické energie je poměr elektrického a tepelného výkonu. Vzájemný poměr požadované spotřeby elektrické a tepelné energie je důležitý pro volbu velikosti kogenerační jednotky (= potřebný instalovaný elektrický a tepelný výkon).

$$\sigma = \frac{P_E}{P_T} = \frac{P_{E,\%}}{P_{T,\%}} \quad [-]^5 \quad (1.4)$$

kde:

σ	modul teplotné výroby elektrické energie
$P_{E,\%}$	procentní zastoupení elektrického výkonu na celkovém výkonu kogenerační jednotky [%]
$P_{T,\%}$	procentní zastoupení tepelného výkonu na celkovém výkonu kogenerační jednotky [%]

1.4.4 Celková účinnost

Tepelná účinnost je účinnost přeměny primární energie přivedené ve formě paliva na užitečně využitelnou tepelnou energii:

$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \eta_T^{KVET} = \frac{P_E + P_T}{M_{pal} \times Q_i} \quad [-]^6 \quad (1.5)$$

kde:

η_C^{KVET}	celková účinnost
-----------------	------------------

Z výše uvedených vztahů pro modul teplotné výroby elektrické energie a pro elektrickou účinnost lze napsat celkovou účinnost i následovně:

$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right) \quad [-]^7 \quad (1.6)$$

Modul teplotné výroby elektrické energie lze pak vyjádřit i takto:

$$\sigma = \frac{\eta_E^{KVET}}{\eta_T^{KVET}} = \frac{\eta_E^{KVET}}{\eta_C^{KVET} - \eta_E^{KVET}} \quad [-]^8 \quad (1.7)$$

⁵ DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

⁶ DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

⁷ DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

⁸ DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.

1.5. Výroba elektrické energie

Pro potřeby kogenerační výroby se používají asynchronní nebo synchronní generátory. Asynchronní generátory se používají až do výkonu 100 kW. Důvod pro jejich používání je příznivá cena oproti synchronním generátorům v této výkonové třídě. Asynchronní motory ovšem umožňují pouze paralelní provoz se sítí, vyžadují omezení připojovacích špiček a kompenzaci účinníku.

Synchronní generátory se vyrábějí v dvojím provedení – jednoložiskové a dvouložiskové. Jednoložiskové generátory nevyžadují použití elastické spojky. Tato výhoda ovšem způsobuje vyšší mechanické zatížení generátoru při provozu a tím snižuje jeho životnost. Tím toto řešení degraduje pouze pro použití na levnější aplikace.

1.5.1 Synchronní generátor

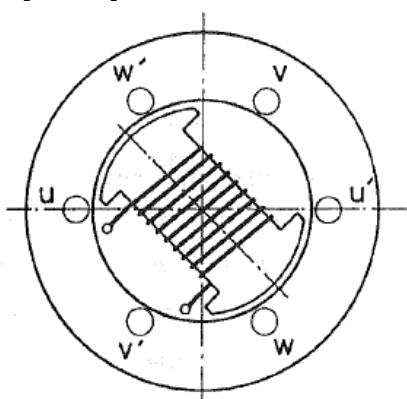
Princip trojfázového synchronního alternátoru plyne z obr. 2 Princip synchronního stroje. Statorové vinutí je tvořeno třemi cívkami, tj. fázemi s plným krokem, které jsou vzájemně prostorově natočeny o 120° elektrických. Vinutí je stejné jako statorové vinutí trojfázového asynchronního alternátoru.

Kotva je umístěna na statoru z toho důvodu, že synchronní alternátory mívají velké výkony a vysoká napětí. Proto je velice výhodné mít pevné vývody. Budící vinutí na rotoru je napájeno stejnosměrným proudem z vlastního budiče, který je dnes tvořen tyristorovým usměrňovačem. Dříve byla nejčastěji používána stejnosměrná dynamo.

Odběr stejnosměrného proudu je realizován pomocí sběracích kroužků. V cívkách statorového vinutí se při otáčení rotoru indukují střídavá napětí, která jsou při sinusovém průběhu magnetického pole sinusová. Všechna napětí jsou vůči sobě časově posunutá o 120°. Frekvence indukovaného napětí a proudů je úměrná rychlosti rotoru a počtu pólů (půlpárů) podle vztahu

$$f = \frac{p \times n}{60} \text{ [Hz]}^9 \quad (1.8)$$

kde p je počet pólů [-]
 n rychlost otáčení rotoru [ot/min]



Obr. 2 Princip synchronního stroje¹⁰

⁹ VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. *Elektromechanické měniče*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04875-7.

¹⁰ VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. *Elektromechanické měniče*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04875-7.

1.5.2 Asynchronní generátor

Stator asynchronního generátoru je složen z plechů s drážkami, ve kterých je uloženo trojfázové vinutí. Rotor asynchronního stroje nakrátko, který lze jako jediný použít pro potřeby generátoru, je složený z plechů a v drážkách má klecové vinutí, spojené nakrátko. Výhodou oproti synchronním generátorům je absence budícího vinutí a tím se celý generátor značně zjednoduší.

Jestliže kogenerační jednotka zvýší rychlost otáčení rotoru nad synchronní otáčky, rotor předbíhá točivé magnetické pole a alternátor dodává elektrickou energii do sítě. Množství dodávané energie tak závisí na rychlosti otáčení rotoru. Výhodou asynchronního generátoru je jednoduchá konstrukce, vysoká spolehlivost a stálé otáčky.

1.6. Výroba tepla

1.6.1 Tepelný výměník

Tepelné výměníky jsou nejdůležitější součástí všech kogeneračních jednotek. Ve výměníku dochází k přenosu z teplejšího média na chladnější médium. Jejich konstrukce velice často rozhoduje o tepelné účinnosti a ekonomické efektivnosti celého zařízení.

Podle způsobu přechodu tepla z jedné pracovní látky do druhé rozlišujeme celkem tři typy výměníků:

- Směšovací výměníky
- Povrchové výměníky
- Regenerační výměníky

Pro potřeby kogeneračních jednotek se používá pouze povrchový výměník. U této konstrukce jsou obě pracovní látky od sebe odděleny teplosměnnou plochou, která může být vytvořena trubkami (hladkými nebo žebrovanými pro lepší přenos tepla) nebo deskami. Při konstrukci povrchového výměníku se musí respektovat dilatace teplosměnné plochy, neboť tato plocha má jinou teplotu než je teplota pláště výměníku. Pro řešení tohoto problému se vyvinulo několik typů trubkových výměníků:

- S přímými trubkami a pevnými trubkovnicemi (plášť je opatřen dilatačním kompenzátorem)
- S U-trubkami
- S plovoucí hlavou
- S nepřímými trubkami (spirálové nebo zvlněné)

1.6.2 Akumulace tepla

Akumulátor tepla slouží zejména k vyrovnávání tepelného zatížení v soustavě. Ukládání tepla v akumulátorech pomáhá vyrovnávat špičkové zatížení v tepelné soustavě a zároveň umožňuje ukládat teplo v době, kdy je výroba v kogenerační jednotce vyšší než spotřeba tepla. Tak lze kogenerační jednotky využívat po delší dobu bez nutnosti regulace nebo vypnutí. Uložené teplo lze využívat během odstávek kogeneračních jednotek a nedochází tak k odstávkám celého tepelného systému.

Vhodnou akumulací dosáhneme mnohem vhodnějšího a pružnějšího systému zásobování teplem.

1.7 Trigenerace

Trigenerace je kogenerační jednotka vhodně rozšířena o chladicí zařízení. Toto rozšíření umožňuje dodávat chladicí výkon pro technologické nebo klimatizační účely. Tím získáme podstatnou výhodu v podobě vyššího využití kogenerační jednotky.

Chladicí zařízení je obvykle buď kompresorové, nebo absorpční. U kompresorového chlazení je elektromotor kompresoru chladicího zařízení napájen elektrickou energií, která je vyrobena generátorem kogenerační jednotky. Absorpční chlazení využívá teplo, které se získává z kogenerační jednotky. Větší trigenerační jednotky jsou většinou vybaveny kompresorovým i absorpčním chladicím zařízením.

Chladicí zařízení je ekonomicky výhodné pouze při dostatečném odběru chladu. Při optimálním návrhu lze docílit lepší ekonomiky celého systému a to ve dvou směrech:

- Při použití kompresního chlazení se spotřebovává elektrická energie, u které jsou náklady na výrobu nižší než při nákupu ze sítě
- Při použití absorpčního chlazení se z paliva potřebného k získání tepla vyrobí navíc elektrická energie a tím se sníží celkové náklady

2 Kogenerační systémy

2.1. Základní rozdělení

2.1.1 Rozdělení dle použité technologie

Evropská a česká kogenerace stojí na stejných technologiích. Mezi nejvíce používané kogenerační technologie v současné době jednoznačně patří následující:

- Parní s protitlakovou nebo odběrovou turbínou
- Plynová turbína
- Paroplynová zařízení s dodávkou tepla
- Spalovací pístový motor

Mezi méně používané nebo vyvíjené technologie patří následující čtyři technologické celky:

- Mikroturbína
- Stirlingův motor
- Organický Rankinův cyklus (ORC)
- Palivový článěk

Každá kogenerační technologie má svoje specifické vlastnosti, které určují její použití.

2.1.2 Rozdělení dle výkonosti

1. Mikrokogenerační jednotky s výkonem do 50 kW
2. Minikogenerační jednotky s výkonovým rozsahem od 50 kW do 500 kW
3. Kogenerační jednotky malého výkonu do 1 MW
4. Kogenerační jednotky středního výkonu nad 1 MW
5. Kogenerační jednotky velkého výkonu do 50 MW

2.1.3 Rozdělení dle přeměny energie

Kogenerační jednotky se dají rozdělit do dvou hlavních kategorií:

- Jednotky s nepřímou přeměnou energie
- Jednotky s přímou přeměnou energie

Jednotky s nepřímou přeměnou energie pracují na principu energetické transformace. Pro získání požadované výstupní energie (elektrická energie nebo teplo) musí palivo projít určitým počtem energetických transformací.

V prvním kroku se využije chemická energie, která je obsažena v palivu a je transformována dle použité technologie na mechanickou energii. Mechanická energie dále roztáčí elektrický generátor, kde se mechanická energie přeměňuje na energii elektrickou.

Při energetických transformacích vzniká teplo, které je odváděno výfukem spalin nebo chladicí vodou. Tímto způsobem lze pomocí výměníků ohřívat vodu, která může být dále použita k vytápění nebo jiným technologickým účelům.

Jednotky s přímou přeměnou energie mají v současné době pouze jediného zástupce a to jsou palivové články. Palivo je přeměňováno přímo na elektrickou energii.

Při této přeměně vzniká jako vedlejší produkt teplo, které je chladícím médiem odváděno pryč.

2.1.4 Rozdělení dle účelu využití elektrické energie

1. Základní
2. Pološpičkové
3. Špičkové
4. Záložní
5. Rezervní

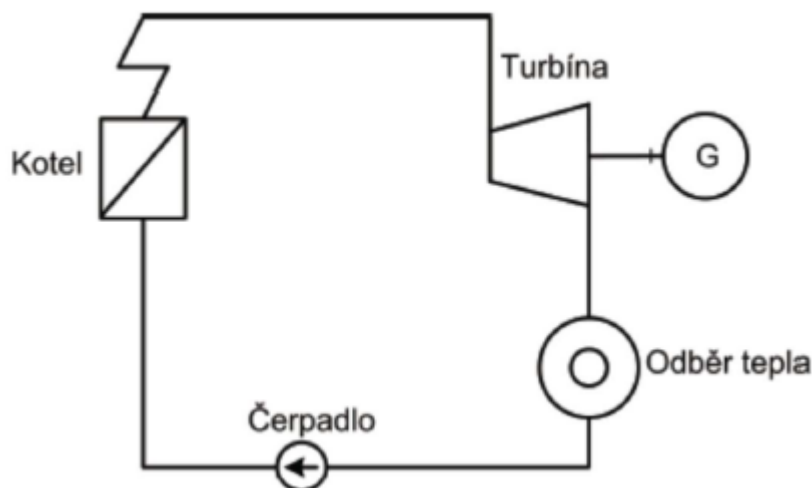
2.2. Parní turbíny

2.2.1 Parní protitlakové turbíny

2.2.1.1 Princip

Parní turbína je tepelný lopatkový rotační motor. Mechanická energie se získává expanzí vodní páry v jednom nebo v několika turbínových (tlakových) stupních, které jsou tvořeny rozváděcími a oběžnými koly s věncem lopatek. Při průchodu páry jednotlivými stupni (expanze) dochází ke snižování tlaku a teploty páry, zároveň se zvětšuje objem páry. Pokud po expanzi páry je výstupní tlak vyšší než tlak atmosférický, tak turbínu nazýváme protitlakovou. Výstupní teplota páry je vyšší než 100 °C. Pára o těchto parametrech je dále použitelná pro ohřev vody nebo pro výrobu páry pro technologické účely nebo lze dále využít páru samotnou.

U této turbíny platí při konstantních admisních parametrech páry úměra, že čím vyšší protitlak resp. tlak a teplota výstupní páry, tím je podíl na výrobě elektrické energie menší.



Obr. 3 Principiální schéma parní protitlakové turbíny ¹¹

2.2.1.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Vysoká celková účinnost
- Dlouhá životnost
- Dodávku tepla lze realizovat v horké vodě, ale i v páře

¹¹ Elektroenergetika 1. *Powerwiki* [online]. Praha: ČVUT, 2016 [cit. 2016-04-14].

Nevýhody

- Kontinuální výroba bez častých provozních odstávek
- Menší podíl na výrobě elektrické energie
- Výroba elektrické energie je závislá na výrobě tepla

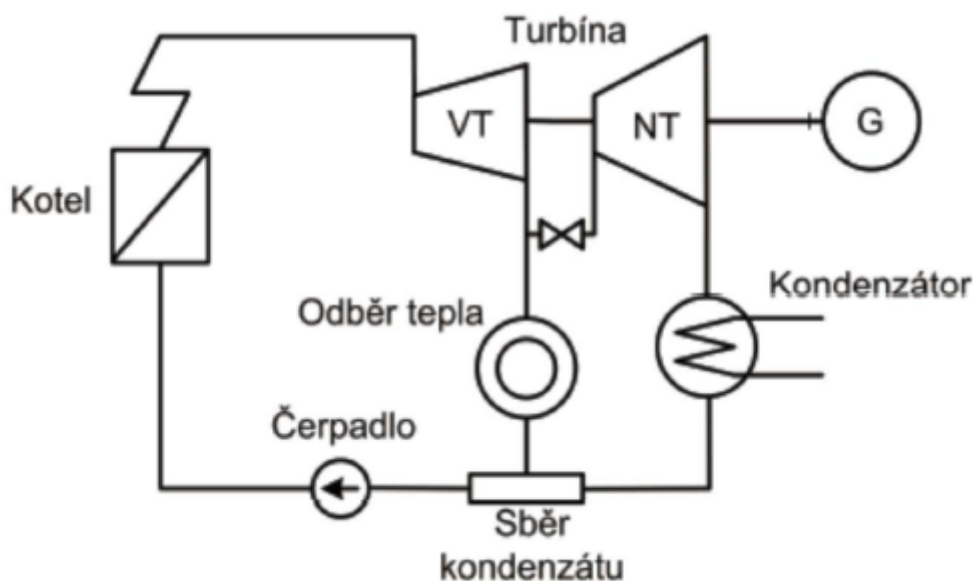
2.2.2 Parní odběrové turbíny

2.2.2.1 Princip

Princip funkce odběrové turbíny je totožný s protitlakovou turbínou. Veškerá vyrobená pára prochází prvním stupněm, kde částečně expanduje a tlaková energie se transformuje na energii mechanickou tj. na rotaci turbíny. Po této částečné expanzi se ve vhodných místech odebírá část páry o požadovaných teplotních a tlakových parametrech pro teplárenské účely, a proto se turbína nazývá odběrová. Zbytek páry v turbíně zůstává a pokračuje v expanzi.

Základní rozdíl mezi protitlakovou a odběrovou turbínou spočívá v přítomnosti kondenzační části u odběrové turbíny. V kondenzační části je využita zbytková pára a využije se její zbytková energie k výrobě elektrické energie.

U odběrových turbín je možnost široké regulace a to od nuly, tedy odběrová turbína přechází do čistě kondenzační turbíny a nedochází k výrobě tepla a veškerá pára se využívá pro výrobu elektrické energie, až po maximální odběr, na který je turbína konstruována. Nelze odebírat veškerou páru z důvodu minimálního průtočného množství páry kondenzační části pro zamezení kavitace.



Obr. 4 Principiální schéma parní odběrové turbíny ¹²

2.2.2.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Výroba elektrické energie je částečně závislá na dodávkách tepla
- Dlouhá životnost
- Dodávku tepla lze realizovat v horké vodě, ale i v páře

¹² Elektroenergetika 1. *Powerwiki* [online]. Praha: ČVUT, 2016 [cit. 2016-04-14].

Nevýhody

- Nižší celková účinnost
- Nutná instalace chladícího (kondenzačního) okruhu
- Kontinuální provoz bez častých provozních odstávek

2.3. Plynová turbína

2.3.1 Princip

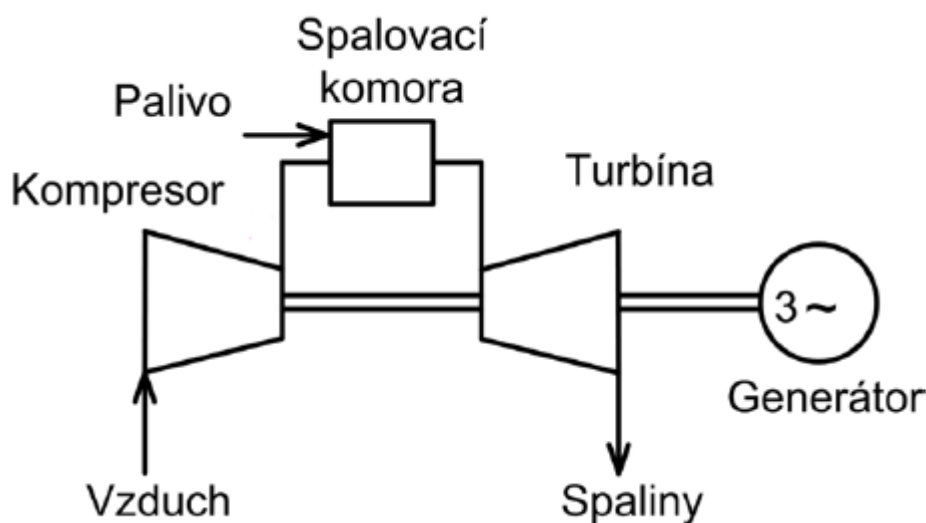
Plynová turbína je složena celkem ze tří částí na společné hřídeli – axiální kompresor, spalovací komora a expanzní část turbíny.

V axiálním kompresoru dochází ke stlačení nasátého vzduchu za pomoci velkého počtu lopatkových řad. Kompresní poměr se pohybuje mezi 10 až 20.

Takto stlačený vzduch pokračuje do spalovací komory, ve kterém se vlivem hoření paliva ohřívá na teploty kolem 900 °C až 1300 °C a má snahu značně zvětšovat svůj objem, ale to není v uzavřeném prostoru možné a tím se zvyšuje tlak vzduchu.

Ohřátý stlačený vzduch expanduje v expanzní části turbíny, jedná se opět o axiální rotační stroj. Ten je tvořen několika řadami lopatek, ve kterých se tlaková energie stlačeného ohřátého vzduchu přeměňuje energii mechanickou, která slouží k pohonu axiálního kompresoru a pro pohon generátoru.

Spaliny, které z turbíny vystupují, mají velmi vysokou teplotu okolo 450 °C až 570 °C, a proto jsou velice vhodné pro topné účely a to dvojnásobně. Jednak se dají využít přímo např. pro technologické účely nebo spaliny lze zavést do kotle, kde se teplo spalin využívá pro výrobu páry nebo výrobu horké vody.



Obr. 5 Principiální schéma plynové turbíny ¹³

2.3.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Dodávku tepla lze realizovat v horké vodě, ale i v páře
- Malá zastavěná plocha
- Rychlé njetí a rychlá odstávka
- Vysoká celková účinnost (82 % až 90 %)

¹³ Elektroenergetika 1. Powerwiki [online]. Praha: ČVUT, 2016 [cit. 2016-04-14].

Nevýhody

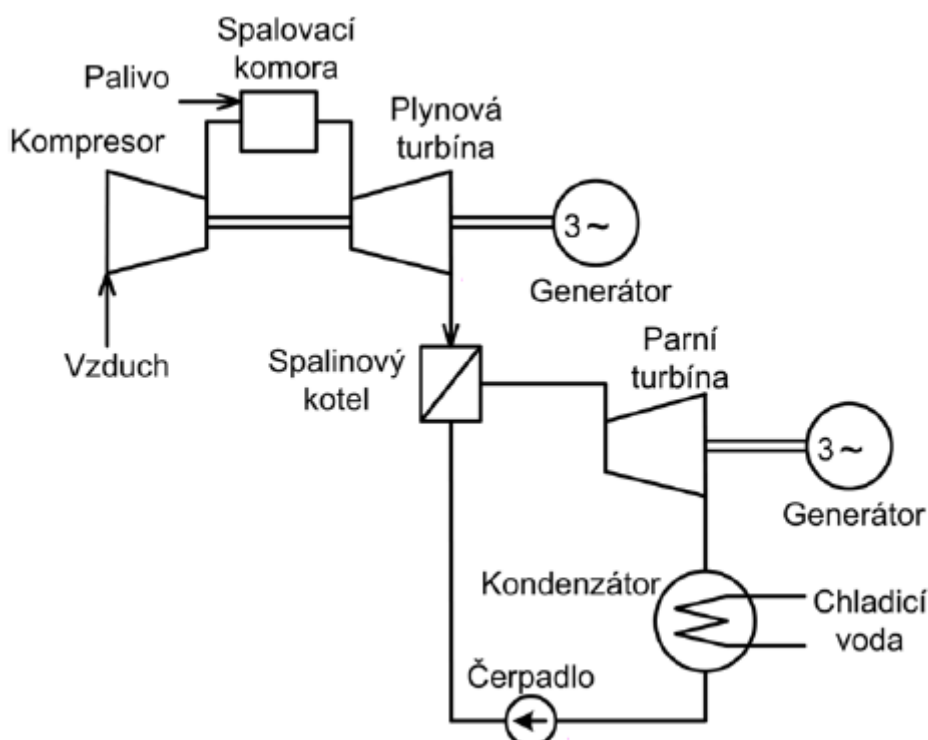
- Spalování pouze ušlechtilých paliv
- Malý regulační rozsah výkonu
- Vysoké nároky na obsluhu
- Údržba

2.4. Paroplynový cyklus (PPC)

2.4.1 Princip

Paroplynový cyklus je složen z několika technologických celků. První část tvoří plynová turbína, která pohání generátor vyrábějící elektrickou energii. Spaliny z turbíny vstupují do spalínového kotle, kde teplo ze spalin vyrábí vysokotlakou páru. Vzniklá pára je následně přivedena parní turbínu, která je protitlaková nebo odběrová. Parní turbína opět pohání generátor vyrábějící elektrickou energii. Emisní pára je následně využita pro výrobu nízkopotenciálního nebo vysokopotenciálního tepla.

Celý tento technologický komplex umožňuje několik vylepšení, která dokážou dle potřeby upřednostňovat nebo dokonce jeden nebo druhý celek odstavit. Plynovou turbínu lze vybavit by-pasovým komínem pro možnost regulace výkonu – od zcela nezávislého provozu plynové turbíny až částečně závislý provoz na parní turbíně. Spalínový kotel lze vybavit hořáky, na stejné nebo jiné palivo jako plynová turbína, které využívají přebytečného kyslíku ve spalinách plynové turbíny. Dochází ke zvýšení výkonu spalínového kotle a tím zlepšit parametry vyrobené páry nebo regulovat provoz parní turbíny na provozu plynové turbíny.



Obr. 6 Principiální schéma paroplynového cyklu ¹⁴

¹⁴ Elektroenergetika 1. Powerwiki [online]. Praha: ČVUT, 2016 [cit. 2016-04-14].

2.5.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Rychlé najetí a rychlé odstavení
- Vysoká účinnost
- Malé prostorové nároky
- Sériová výroba

Nevýhody

- Vysoká úroveň hluku
- Servisní nároky
- Spalování ušlechtilých paliv

2.6. Mikroturbína

2.6.1 Princip

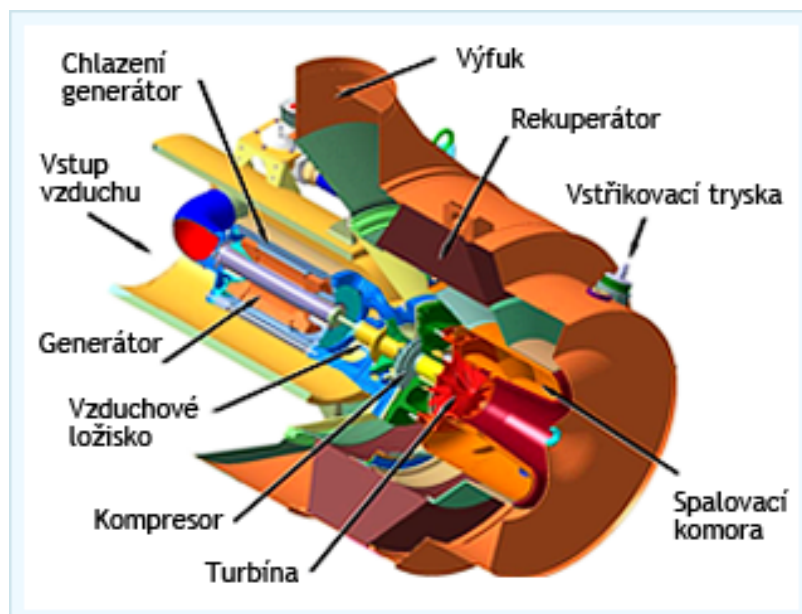
Mikroturbína je vysokootáčková turbína (70 tisíc otáček za minutu až 100 tisíc otáček za minutu) o jmenovitém elektrickém výkonu od 10 kW do 100 kW. V kombinaci s tepelným výměníkem se jedná o vysoce účinnou kogenerační jednotku.

Mikroturbína má pouze jediný pohyblivý díl a to je společný hřídel. Na hřídeli je umístěn jednostupňový radiální kompresor, jednostupňová radiální turbína a elektrický generátor.

Výfukové spaliny, které jsou odváděny spalínovodem, jsou nejdříve využity pro předehřev vstupního vzduchu do spalovací komory (rekuperátor). Zbytkové teplo je následně využito pro ohřev vody nebo pro výrobu páry.

Mikroturbíny obvykle spalují zemní plyn. Tlak plynu je nutné zvyšovat na potřebnou úroveň, z nízkotlaku (do 5 kPa) nebo středotlaku (od 5 kPa do 0,4 MPa na vysokotlak (0,4 MPa až 0,8 MPa) pomocí plynového kompresoru. Před spalovací komorou musí být zařazeny palivové filtry pro čištění plynu.

Vysokorychlostní generátor vyrábí elektrický proud indukcí ve vinutí statoru otáčením elektromagnetu (rotoru). U mikroturbín s vysokými otáčkami jsou rotory většinou tvořeny permanentními magnety. Vyráběná elektrická energie je pomocí tzv. elektronické převodovky usměrňována a střídačem měněna na standardní sinusový 50 Hz průběh běžný v elektrické síti.



Obr. 8 Principiální schéma mikroturbíny ¹⁶

2.6.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Kompaktnost
- Nízká hmotnost
- Vysoká provozní spolehlivost
- Vysoká spolehlivost
- Vysoká celková účinnost (70 % až 80 %)
- Možnost rychlých a četných startů do plného výkonu

Nevýhody

- Vysoká cena
- Nízká elektrická účinnost (25 % až 30 %)

2.7. Stirlingův motor

2.7.1 Princip

Mezi pístové motory patří i Stirlingův motor. Jedná se o motor s vnějším spalováním, který se od klasických pístových motorů odlišuje dvěma vzájemně propojenými zdvihovými prostory s rozdílnými teplotami. Pracuje s uzavřeným oběhem pracovní látky, ve většině případů inertní plyn, ale může to být i vzduch, který se střídavě ohřívá nebo ochlazuje.

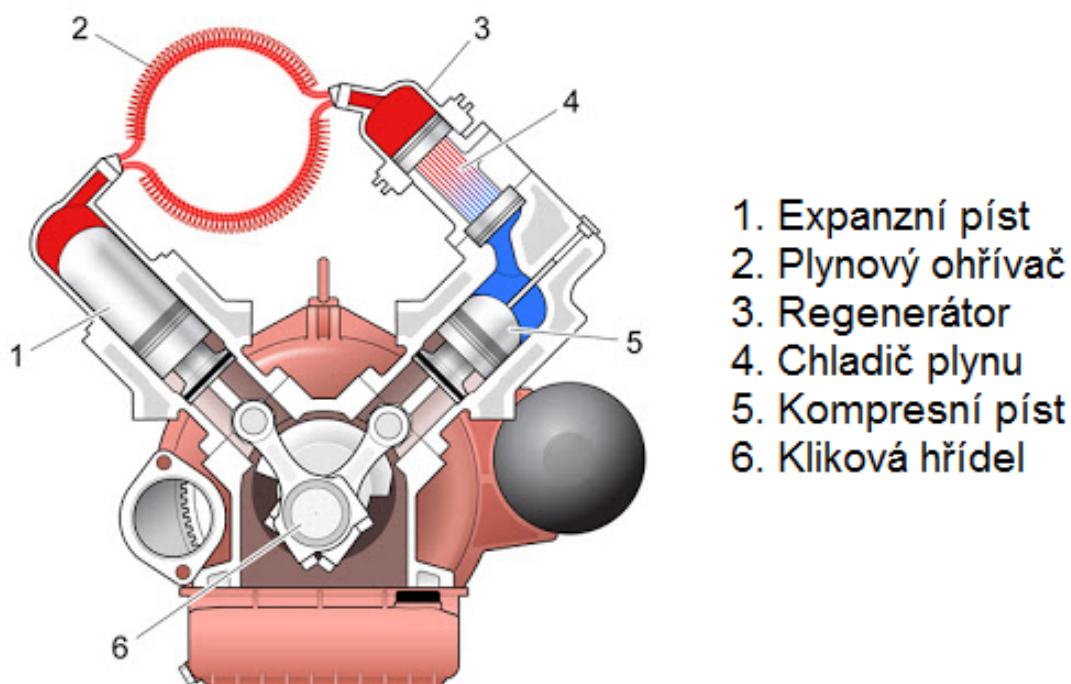
Stirlingův cyklus začíná izotermickou kompresí, při které dochází ke stlačení pracovní látky. Práce v tomto ději je ekvivalentní teple, které je odváděno do okolí.

Vnitřní energie pracovní látky se nemění. Cyklus pokračuje izochorickým dějem, při kterém dodané teplo zvýší pracovní látce teplotu a tlak. Teplo je dodáno z regenerátoru, který slouží jako termodynamický akumulátor, protože v každém cyklu teplo přijímá a odevzdává. Následuje izotermická expanze, při které se teplo od vnějšího zdroje předá pracovní látce a ta vykoná ekvivalentní práci. Celý cyklus se uzavírá

¹⁶ Mikroturbína Capstone C200. GASCONTROL [online]. Havířov, 2006 [cit. 2016-04-14].

izochorickým dějem, při kterém pracovní látka odevzdá teplo regenerátoru, a tím ke snížení teploty a tlaku pracovní látky.

Spuštění motoru je velmi snadné a spolehlivé, stačí zahřát hlavu válce na potřebnou teplotu. Stirlingovy motory druhé generace jsou schopny dosáhnout až 4000 otáček za minutu a regenerátor mění svojí teplotu o několik set stupňů Celsia za 0,02 sekund. Toto zdokonalení zvyšuje celkovou účinnost na 38 % až 42 %.



Obr. 9 Principiální schéma Stirlingova motoru ¹⁷

2.7.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Možnost použití jakéhokoliv paliva nebo odpadního tepla díky vnějšímu přívodu tepla
- Vyšší vnitřní tepelná účinnost oproti spalovacím motorům
- Malé servisní náklady
- Vysoká životnost
- Nulová spotřeba oleje, protože olej není přímo v kontaktu se spaliny
- Nízká hlučnost

Nevýhody

- Vyšší cena oproti spalovacím motorům zejména kvůli náročné montáži, speciálním materiálům v konstrukci a technologiím nevhodných pro sériovou výrobu

¹⁷ Kogenerace, mikrokogenerace - kombinovaná výroba tepla a elektrické energie. *Mikrokogenerace* [online]. 2013 [cit. 2016-04-14].

2.8. Organický Rankinův cyklus (ORC)

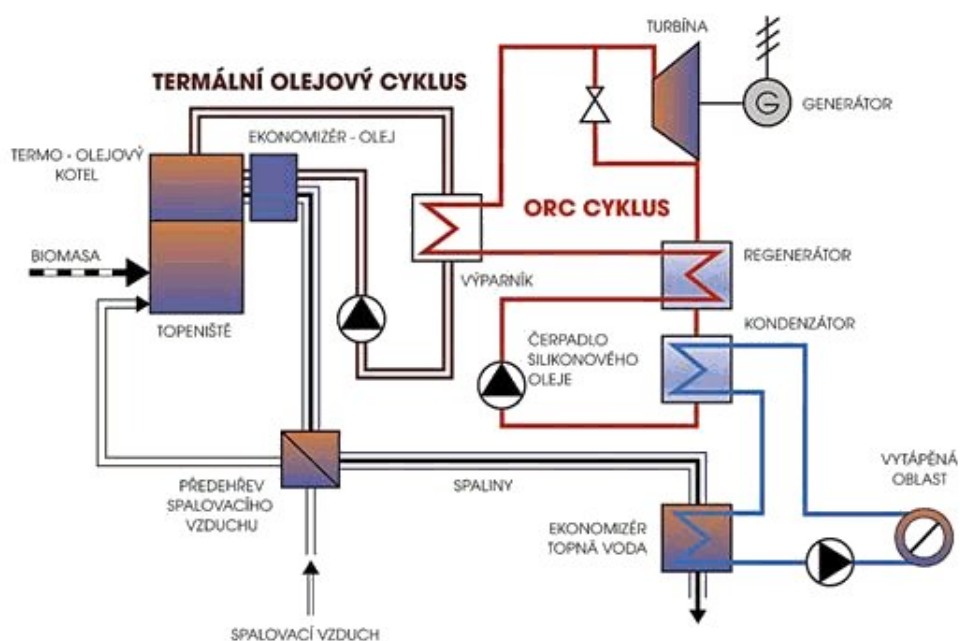
2.8.1 Princip

Organický Rankinův cyklus (ORC) je primárně konstruován pro práci při nižších teplotách a to zejména pro využití odpadního tepla, ale velice perspektivně se jeví pro využití tepla při spalování biomasy. Pro vyšší teploty se využívá voda resp. vodní páry, ale pro použití při nižších teplotách se využívají organické pracovní látky. Organické látky mají vyšší molární hmotnost, komplexnější molekulovou stavbu a při použití vyšší účinnost cyklu při aplikaci jednostupňové turbíny.

Pro teploty pod 200 °C se používají jako pracovní látky alkyany, freony nebo jiná média pro chladicí techniku, pro teploty mezi 200 °C až 400 °C se používají aromatické uhlovodíky.

V pracovním cyklu se nejdřív v kotli ohřívá např. termoolej na přibližně 300 °C. Olej ve výparníku předává teplo organickému pracovnímu médiu a to se přeměňuje v plyn. Plyn je následně veden do pomaluběžné axiální turbíny a po provedené práci plyn putuje do regenerátoru a kondenzátoru, kde je ochlazen a zpět zkapalněn. Teplo pro odběratele je získáváno z ekonomizéru za kotlem.

Většina organických látek má na rozdíl od vody kladnou směrnici křivky syté páry. Expanze v turbíně pak probíhá do oblasti přehřáté páry a tím otevírá možnost použití rekuperátoru, který využívá teplo přehřátí k předehřevu kapalné fáze organické pracovní látky a zvyšuje tak účinnost výroby elektrické energie. Systém je tím schopen transformovat energii při poměrně nízké pracovní teplotě.



Obr. 10 Principiální schéma ORC ¹⁸

¹⁸ Karafiát Josef a kolektiv. Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Praha: ORTEP, 2006 [cit. 2016-04-13].

2.8.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Absence vlhkosti resp. kondenzace par na lopatkách vlivem kladné směrnice syté páry
- Činnost i při nízkých teplotách, kolem 50 °C

Nevýhody

- Nízká celková účinnost
- Tepelné ztráty vlivem velkého počtu tepelných výměníků

2.9. Palivový článek

2.9.1 Princip

V palivovém článku dochází k elektrochemické reakci, která je založena na oxidačně redukčním principu, probíhající katalytickými reakcemi na elektrodách. Zmíněný princip připomíná obrácenou elektrolýzu vody.

Palivový článek je složen ze tří hlavních částí – elektrolyt, elektrody a vnější elektrický obvod pro vyvedení elektrického výkonu.

Elektrolyt musí být iontově vodivý, nikoli elektricky vodivý tj. nesmí přenášet elektrony. Vodík je přiváděn k anodě, kde dochází ke katalytické reakci, a štěpí se na protony a elektrony. Protony prochází elektrolytem ke katodě. Uvolněné elektrony z anody přechází vnějším elektrickým obvodem a vzniká elektrický proud. Protony a elektrony na katodě katalyticky reagují s přiváděným kyslíkem a vzniká voda.

Tepelný výkon palivových článků je přibližně stejný nebo o něco vyšší než výkon elektrický a tím lze docílit celkové účinnosti kolem 80 %.

Nejčastějším palivem pro palivové články je čistý vodík v plynném nebo kapalném stavu anebo vodík obsahující paliva. Z nich je vodík uvolňován tzv. reformovacím procesem. Mezi tyto paliva patří zemní plyn, metan, propan a metanol, případně etanol.

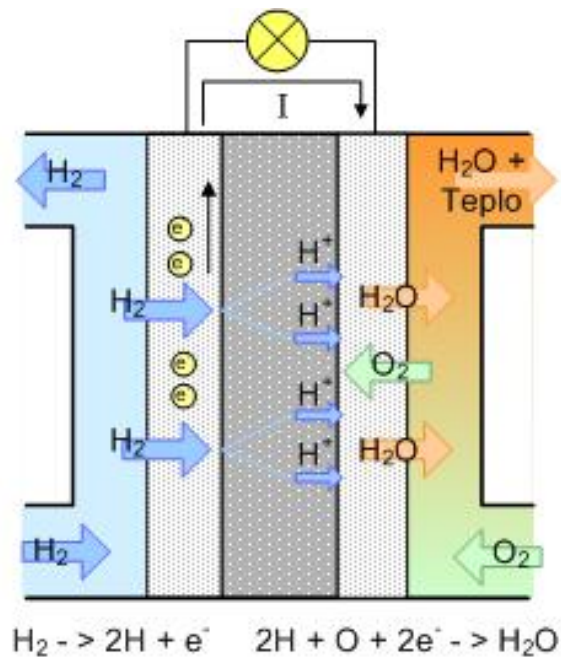
2.9.2 Výhody a nevýhody

Výhody

- Nízké emise
- Nízký hluk při provozu
- Možnost použití velkého množství paliv s následnou úpravou na čistý vodík
- Výroba nízkopotenciálního i vysokopotenciálního tepla

Nevýhody

- Vysoké náklady
- Doba životnosti
- Dlouhá doba náběhu



Obr. 11 Principiální schéma palivového článku¹⁹

¹⁹ Palivové články. *TriHyBus - Vodňkový autobus s palivovými články* [online]. Řež: TriHyBus.cz, 2008 [cit. 2016-04-14].

3 Návrh kogenerační jednotky pro průmyslový areál

Kogenerační jednotky se do průmyslových areálů instalují s cílem snížit množství nakupované elektrické energie z elektrizační sítě. V průmyslovém areálu je možné zajistit ekonomicky výhodný provoz pouze v případě úplného využití vyrobené elektrické energie a tepla. Tento požadavek klade vyšší nároky na návrh kogenerační jednotky a na charakter odběru elektrické energie a zejména na odběr tepla.

Základním dokumentem je energetický audit fiktivního průmyslového areálu, z kterého následně vzniká samotný návrh kogeneračních jednotek.

3.1 Výchozí stav

Pro vypracování předpokládaného návrhu kogenerační jednotky a jejich variant pro optimalizaci provozu je nutné předložit následující dokumenty:

- Přehled dodávek elektrické energie do průmyslového areálu
- Přehled dodávek tepla do průmyslového areálu
- Přehled výroby chladu v průmyslovém areálu

Pro vypracování technické dokumentace jsou nezbytné následující vyhlášky, nařízení a normy:

- Zákon č. 22/1997 Sb. Ve znění pozdějších předpisů, o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů
- Předpis č. 118/2016 Sb. Nařízení vlády o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh
- Předpis č. 117/2016 Sb. Nařízení vlády o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh
- Vyhláška ČÚBP č. 48/1982 Sb. ve znění pozdějších předpisů, kterou se stanoví základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a technických zařízení
- Vyhláška MPSV č. 73/2010 Sb. o stanovení vyhrazených elektrických technických zařízení, jejich zařazení do tříd a skupin a o bližších podmínkách jejich bezpečnosti
- ČSN 33 2000-1 ed.2 Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice
- ČSN 33 2000-4-41 ed.2 Ochrana před úrazem elektrickým proudem
- ČSN 33 2000-5-54 ed.3 Uzemnění a ochranné vodiče
- ČSN 33 2000-5-51 ed.3 Výběr a stavba elektrických zařízení
- ČSN 33 2000-5-52 ed.2 Výběr soustav a stavba vedení
- ČSN 33 2000-4-43 ed.2 Ochrana proti nadproudům
- ČSN 33 2000-4-473 Opatření k ochraně proti nadproudům
- ČSN 33 2000-5-523 ed.2 Dovolené proudy
- ČSN ISO 8528-1 až 9 Střídavá zdrojová soustrojí poháněná spalovacími motory
- ČSN EN 50272-2 Bezpečnostní požadavky – Staniční baterie
- ČSN EN 50110-1 ed.3 Obsluha a práce na elektrických zařízeních
- ČSN EN 62305 ed.2 Ochrana před bleskem

3.2 Popis objektu



Obr. 12 Dispozice průmyslového areálu²⁰

Společnost Fictional s.r.o. je výrobně-montážní společnost s příslušným administrativním zázemím pro celkový chod průmyslového areálu.

Průmyslový areál se nachází na území hlavního města Prahy. Závod pracuje na třisměnný provoz a je tudíž nepřetržitý. Průmyslový areál sestává z několika dílen, hal a skladů podobné konstrukce, ke které přiléhají administrativní budovy.

Elektrická energie je nakupována ze systému VN přes vlastní rozvodnu 22 kV a tepelná soustava je napojena přes vlastní výměňkovou stanici na centrální zásobování teplem. Zemní plyn není v současné době do areálu přiveden, ale vysokotlaké vedení se nachází v blízkosti areálu.

3.3 Energetické hospodářství areálu

3.3.1 Vytápění a teplá užitková voda

Průmyslový areál je napojen na centrální zásobování teplem (CZT) od Pražské teplárenské, a.s. Veškerá spotřeba je zabezpečována po celý rok.

V areálu se nachází výměňková stanice se čtyřmi výměníky pro vytápění průmyslového areálu a pro zásobování teplou vodou. Pro vytápění slouží tři výměníky o celkovém výkonu 2500 kW_t (dva výměníky o výkonu 900 kW_t a jeden o výkonu 700 kW_t). Pro zásobování teplou vodou slouží jeden výměník o výkonu 500 kW_t.

Dodávka (horkovod) je stanovena na zimní období o parametrech 130 °C/70 °C a dodávka (teplovod) pro letní období je stanovena o parametrech 80 °C/50 °C.

Topná voda je členěna na několik podružných okruhů. Podobné členění má i soustava teplé vody. V halách jsou namontovány vzduchotechnické jednotky, které jsou napojeny na rozvod topné vody.

²⁰ SIEC / MPH Architects. *ArchDaily - the world's most visited architecture website* [online]. USA: ArchDaily, 2014 [cit. 2016-05-17].

Pro vytápění hal a dílen jsou namontovány vzduchotechnické jednotky a radiátory. Pro vytápění kanceláří jsou namontovány radiátory.

3.3.2 Elektrická energie

Elektrická energie je do průmyslového areálu Fictional s.r.o. dodávána z vlastní vstupní rozvodny VN/VN v technické budově připojené na distribuční vedení 22 kV PRE a.s.

3.4 Spotřeby a energetické bilance

3.4.1 Elektrická energie

Dodávka elektrické energie je zajišťována od jednoho dodavatele PRE a.s. Je instalováno obchodní měření na vn straně.

Rok	Elektrická energie	Cena energie	Platba
	Celkem [kWh]	Kč/kWh	Kč
2009	30 449 760	3,090	94 089 758
2010	36 091 200	3,090	111 521 808
2011	35 951 040	3,090	111 088 713

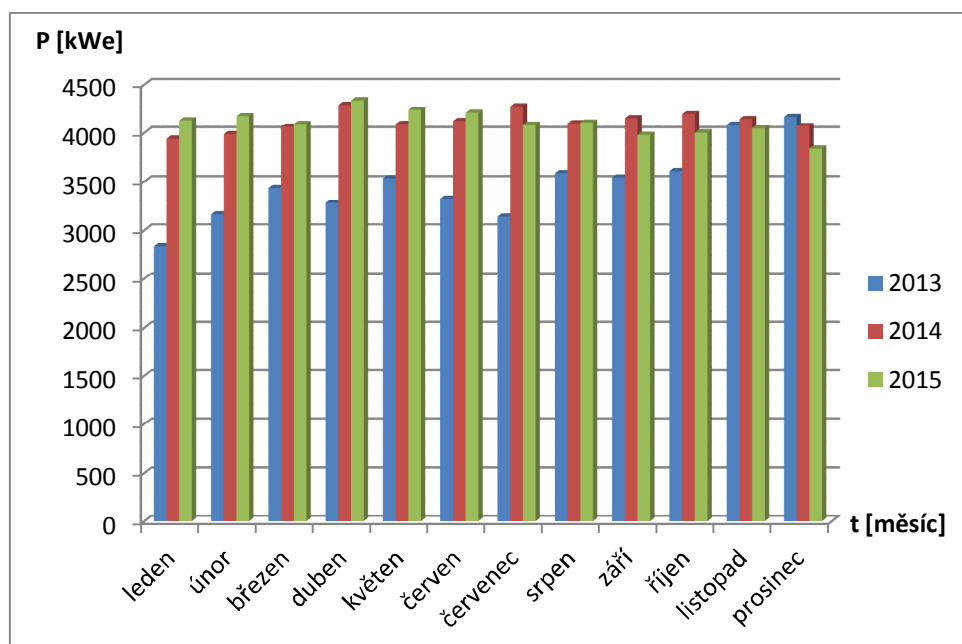
Tab. 1 Spotřeba elektrické energie a celkové náklady na nákup

Průměrné měsíční elektrické zatížení (tab. 2) průmyslového areálu za sledované období vzrostlo.

	2013	2014	2015
	kW	kW	kW
leden	2834	3944	4129
únor	3167	3989	4174
březen	3434	4063	4092
duben	3286	4292	4336
květen	3537	4092	4240
červen	3330	4122	4211
červenec	3145	4277	4085
srpen	3589	4100	4107
září	3545	4151	3981
říjen	3611	4196	4003
listopad	4085	4144	4048
prosinec	4166	4070	3841

Tab.2 Průměrné měsíční elektrické zatížení

V následujícím grafu (graf 1) je tento nárůst vidět, ale dále se již nezvětšuje a je konstantní.



Graf 1 Průměrní měsíční elektrické zatížení

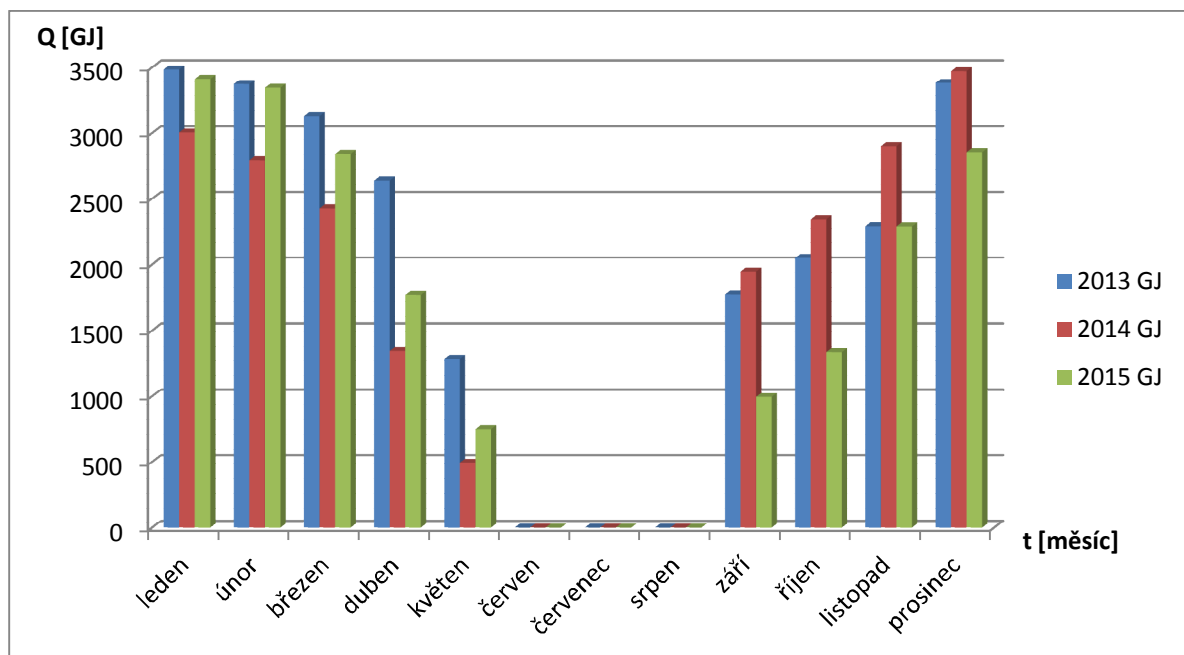
3.4.2 Teplo na vytápění

Do objektu je dodáváno teplo z rozvodu centrálního zásobování teplem (horkovod) společnosti Pražská teplárenská a.s. Instalováno je jedno obchodní měření spotřeby tepla.

	2013	2014	2015
	GJ	GJ	GJ
leden	3485	3006	3416
únor	3377	2793	3348
březen	3129	2428	2843
duben	2643	1346	1771
květen	1285	495	751
červen	0	0	0
červenec	0	0	0
srpen	0	0	0
září	1775	1951	997
říjen	2051	2344	1337
listopad	2296	2898	2294
prosinec	3386	3473	2855
Celkem	23427	20733	19612

Tab. 3 Dodané teplo na vytápění

Z výsledného grafu (graf 2) je vidět, že spotřeba tepla pro vytápění zcela závisí na probíhající topné sezóně.



Graf 2 Dodané teplo na vytápění

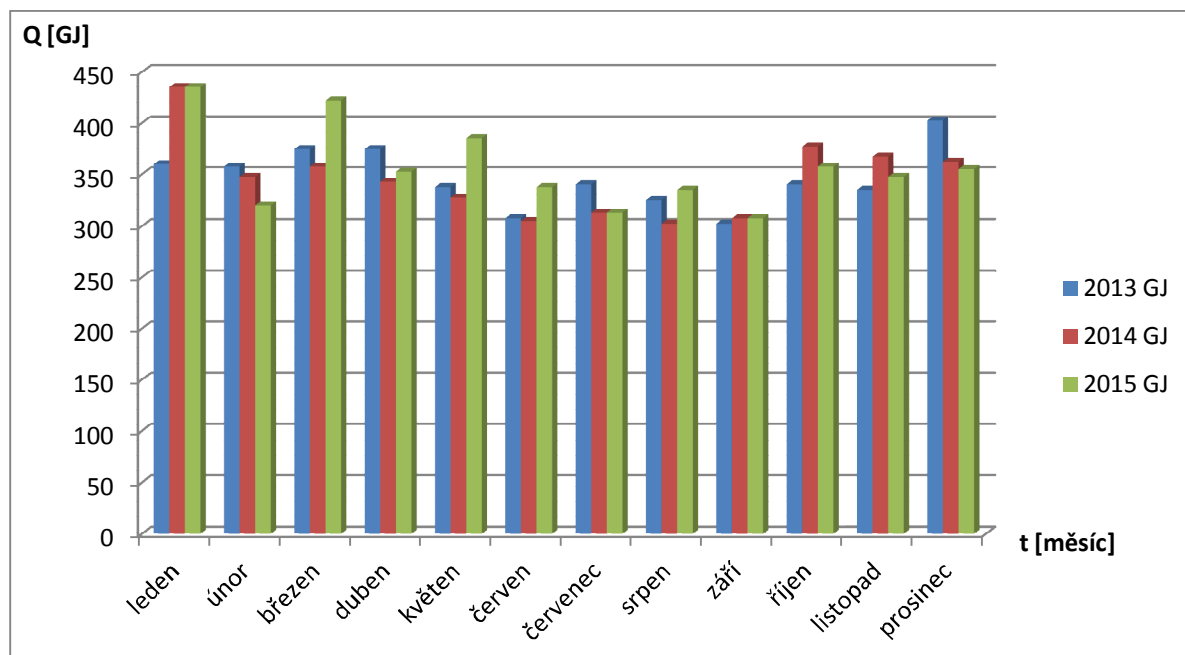
3.4.3 Teplo na ohřev TV

Do objektu je dodáváno teplo z rozvodu centrálního zásobování teplem (horkovod) společnosti Pražská teplárenská a.s. Instalováno je jedno obchodní měření spotřeby tepla.

	2013	2014	2015
	GJ	GJ	GJ
leden	360	435	435
únor	358	348	320
březen	375	358	423
duben	375	343	353
květen	338	328	385
červen	308	305	338
červenec	340	313	313
srpen	325	303	335
září	303	308	308
říjen	340	378	358
listopad	335	368	348
prosinec	403	363	355
Celkem	4158	4145	4268

Tab. 4 Dodané teplo pro ohřev teplé vody

Na výsledném grafu (graf 3) je vidět, že spotřeba tepla pro ohřev teplé vody se během posledních tří let udržuje na konstantní hladině.



Graf 3 Dodané teplo pro ohřev teplé vody

3.5 Ekonomické zhodnocení

Investice jednotlivých variant bude provedena z vlastních prostředků, bez použití cizího kapitálu.

Jsou uvedeny základní definiční vztahy ekonomických výpočtů.

3.5.1 Prostá doba splacení

Kritériem je co nejkratší doba navrácení vložené investice.

$$\sum_{t=1}^{T_S} CF_t - IN = 0 \quad (3.1)$$

kde CF_t je hotovostní tok v t-tém roce

IN jsou investiční výdaje

T_S je prostá doba návratnosti

Jedná se o čistě orientační výpočet, protože vzorec nezohledňuje peněžní toky po době návratnosti investice a časovou hodnotu peněz.

²¹ Ekonomika v elektroenergetice. ČVUT Praha FEL Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. Praha: ČVUT FEL, 2016 [cit. 2016-04-13].

3.5.2 Diskontovaná doba splacení

Kritériem je co nejkratší navrácení vložené investice s ohledem na časovou hodnotu peněz.

$$\sum_{t=1}^{T_{SD}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN = 0 \quad (3.2)$$

kde CF_t je hotovostní tok v t-tém roce
IN jsou investiční výdaje
r je diskont
 T_{SD} je diskontovaná doba návratnosti

Tento vzorec už reálněji vystihuje skutečnou dobu návratnosti investice, ale stále nezapočítává peněžní toky po době návratnosti.

3.5.3 Čistá současná hodnota NPV (Net Present Value)

Vyjadřuje rozdíl mezi současnou hodnotou očekávaných příjmů a výdaji na investici.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN \quad (3.3)$$

kde CF_t je hotovostní tok v t-tém roce
IN jsou investiční výdaje
r je diskont
 $T_{\dot{z}}$ je ekonomická doba životnosti

Tento vzorec respektuje veškeré ekonomické aspekty. Respektuje časovou hodnotu peněz a správně vyjadřuje ekonomickou efektivnost investice.

Vyhodnocení NPV:

- $NPV > 0$ investice přináší za dobu hodnocení větší výnos než je hodnota diskontu
- $NPV = 0$ dosáhneme míry výnosu vloženého vlastního kapitálu právě v očekávané výši r
- $NPV < 0$ investice sice může být zisková, ale jejich míra výnosu bude menší než zadaný diskont, taková investice by se neměla realizovat

3.5.4 Vnitřní výnosové procento IRR (Internal Rate of Return)

Vyjadřuje hodnotu diskontu r, který dává za dobu životnosti právě nulovou hodnotu diskontovaného toku hotovosti ($NPV = 0$).

²² Ekonomika v elektroenergetice. ČVUT Praha FEL Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. Praha: ČVUT FEL, 2016 [cit. 2016-04-13].

²³ Ekonomika v elektroenergetice. ČVUT Praha FEL Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. Praha: ČVUT FEL, 2016 [cit. 2016-04-13].

$$\sum_{t=1}^{T_Z} CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (3.4)$$

Investice je zisková a efektivní pouze tehdy, pokud je IRR větší zadaný diskont r . IRR nemusí vždy existovat nebo jich může být i více.

3.6 Zelený bonus

Roční zelený bonus za výrobu elektrické energie z kogenerační jednotky se skládá ze dvou sazeb – základní a doplňkové. Doplňková sazba se netýká kogeneračních jednotek spalujících zemní plyn a bude považována za nulovou. Celková podpora za vyrobenou elektrickou energii se spočítá podle následujícího vzorce:

$$C_{zb} = E_{KVET} \times (ZB_{zákl.sazba} + ZB_{dopl.sazba}) \quad (3.5)$$

kde C_{zb} je celková výše podpory na elektrickou energii z kogenerace

E_{KVET} je množství vyrobené elektrické energie z kogenerace

$ZB_{zákl.sazba}$ je základní sazba zeleného bonusu

$ZB_{dopl.sazba}$ je doplňková sazba zeleného bonusu

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	d	e	j	m
700		-	31.12.2015	0	200	3 000	1 580
701		-	31.12.2015	0	200	4 400	1 115
702		-	31.12.2015	0	200	8 400	215
703		-	31.12.2015	200	1 000	3 000	1 140
704		-	31.12.2015	200	1 000	4 400	740
705		-	31.12.2015	200	1 000	8 400	135
706		-	31.12.2015	1 000	5 000	3 000	800
707		-	31.12.2015	1 000	5 000	4 400	470
708		-	31.12.2015	1 000	5 000	8 400	45
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45

Obr. 13 Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KVET do 5MW_e ²⁶

²⁴ Ekonomika v elektroenergetice. ČVUT Praha FEL Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. Praha: ČVUT FEL, 2016 [cit. 2016-04-13].

²⁵ Cenové rozhodnutí pro podporované zdroje energie. Energetický regulační věstník ERÚ [online]. Jihlava: ERÚ, 2015 [cit. 2016-04-19].

²⁶ Cenové rozhodnutí pro podporované zdroje energie. Energetický regulační věstník ERÚ [online]. Jihlava: ERÚ, 2015 [cit. 2016-04-19].

3.7 Návrh kogenerační jednotky

V rámci této diplomové práce je veškerá pozornost soustředěna na energetické a finanční úspory, které přinese technologie kogenerace, ale v praxi lze uvažovat i jiné oblasti jako jsou stavební, technologické, procesní úpravy, jiné energetické zdroje tepla a elektrické energie, zdroje teplé užitkové vody i oblast energetického manažerství.

Do průmyslového areálu bude instalován spalovací pístový plynový motor s rekuperací tepla. Hlavním záměrem je úspora primární energie, zvýšení energetické soběstačnosti a také snížení globálních emisí CO₂ ze systémových zdrojů ČEZ, který je hlavním dodavatelem PRE a.s.

Pro sestavení energetických bilancí se dále zvažují základní technické charakteristiky kogeneračních soustrojí až na úrovni BAT (Best Available Technology = nejlepší dostupná technologie). Záměrem je dosáhnout podmínek, které jsou stanoveny pro vysokoúčinnou kogeneraci dle vyhlášky č.453/2012 Sb. Palivem bude zemní plyn s metanovým číslem 80.

3.7.1 Hodnoty potřebné pro všechny varianty provozu kogenerace

3.7.1.1 Elektrická energie

Výroba elektrické energie je při instalaci v průmyslovém areálu prioritní. Spotřeba elektrické energie v areálu Fictional s.r.o. je za rok asi 36 000 MWh.

3.7.1.2 Teplo pro vytápění

Vzhledem k tomu, že jsou k dispozici údaje o skutečné spotřebě tepla na vytápění dodané výměňikovou stanicí od Pražské teplárenské a.s. jsou pro sestavení energetické bilance upřednostněny tyto hodnoty před hodnotami výpočtovými.

Průměrná roční spotřeba tepla na vytápění areálu včetně ztrát v rozvodech je přibližně 23 000 GJ a to je asi 6400 MWh. Zvažovaná délka topné sezóny je od září do května a přibližná doba je asi 6000 hodin za rok.

3.7.1.3 Teplo pro ohřev teplé vody

Vzhledem k tomu, že jsou k dispozici údaje o skutečné spotřebě tepla na vytápění dodané výměňikovou stanicí od Pražské teplárenské a.s. jsou pro sestavení energetické bilance upřednostněny tyto hodnoty před hodnotami výpočtovými.

Průměrná roční spotřeba tepla na ohřev teplé vody v areálu včetně ztrát v rozvodech je přibližně 4200 GJ a to je asi 1200 MWh.

3.7.1.4 Souhrn vstupních informací

Pro další úvahy o možných variantách aplikace kogeneračních jednotek se tedy zvažují tyto spotřeby energií v průmyslovém areálu Fictional s.r.o.

Elektrická energie (měření)	36 000 MWh
Vytápění (měření)	6 400 MWh
Teplá užitková voda (měření)	1 200 MWh

Tab. 5 Souhrn vstupních energií

3.7.2 Regulační stanice plynu

Regulační stanice plynu je zařízení, které slouží k regulaci tlaku plynu a k zabezpečení proti nepřipustnému zvýšení provozního tlaku.

Při instalaci kogeneračních jednotek a plynových kotlů se musí do průmyslového areálu přivést zemní plyn. Nejdříve musí být do areálu přivedeno vysokotlaké potrubí ve formě přípojky. Z přípojky je plyn veden do regulační stanice, kde je jeho tlak snížen na požadovanou hodnotu z VTL na STL.

Zařízení	Cena
Výstavba regulační stanice	1 680 000,00 Kč
VTL přípojka plynu	
STL přípojka plynu	192 000,00 Kč
Ostatní práce	90 000,00 Kč
Celková investice	1 962 000,00 Kč

Tab. 6 Náklady na výstavbu regulační stanice plynu

3.7.3 Kogenerační jednotka pro topnou sezónu v přerušovaném provozu

Nejčastější aplikací kogenerační jednotky je provoz v topné sezóně. Vyrobené teplo se využívá pouze pro vytápění průmyslového areálu a vyrobená elektrická energie vylepšuje energetickou bilanci areálu.

Při tomto provozu se dá očekávat roční doba provozu maximálně 3000 hodin – 12 hodin po dobu 8 měsíců topné sezony (tento hodinový fond vychází z podmínek pro poskytování zeleného bonusu). Kogenerační jednotka ale nenahradí celou spotřebu tepla na vytápění. Tepelné špičky, začátek a konec topné sezóny musí nahrazovat plynový kotel. Tato kombinace bude schopna v kombinaci s akumulací dodávat teplo pro vytápění areálu včetně ztrát ve zdroji a rozvodech. Provoz v topné sezóně lze rozdělit na 5 částí:

1. Provoz bez kogeneračních jednotek – kogenerační jednotky jsou odstaveny a celou spotřebu přebírá plynový kotel (nevyplatí se kogenerační jednotku provozovat – ekonomicky a technicky nevýhodný provoz)
2. Provoz s jednou kogenerační jednotkou – jedna kogenerační jednotka (lze střídat obě) je v provozu ve svém regulačním rozsahu od 75 % do 100 % (měsíční dodávka tepla od 1070 GJ do 1340 GJ), druhá je odstavena

$$Q_{11} = 0,826 \times 12 \times 30 \times 3,6 = 1070 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ.MWh}^{-1}] \quad (3.6)$$

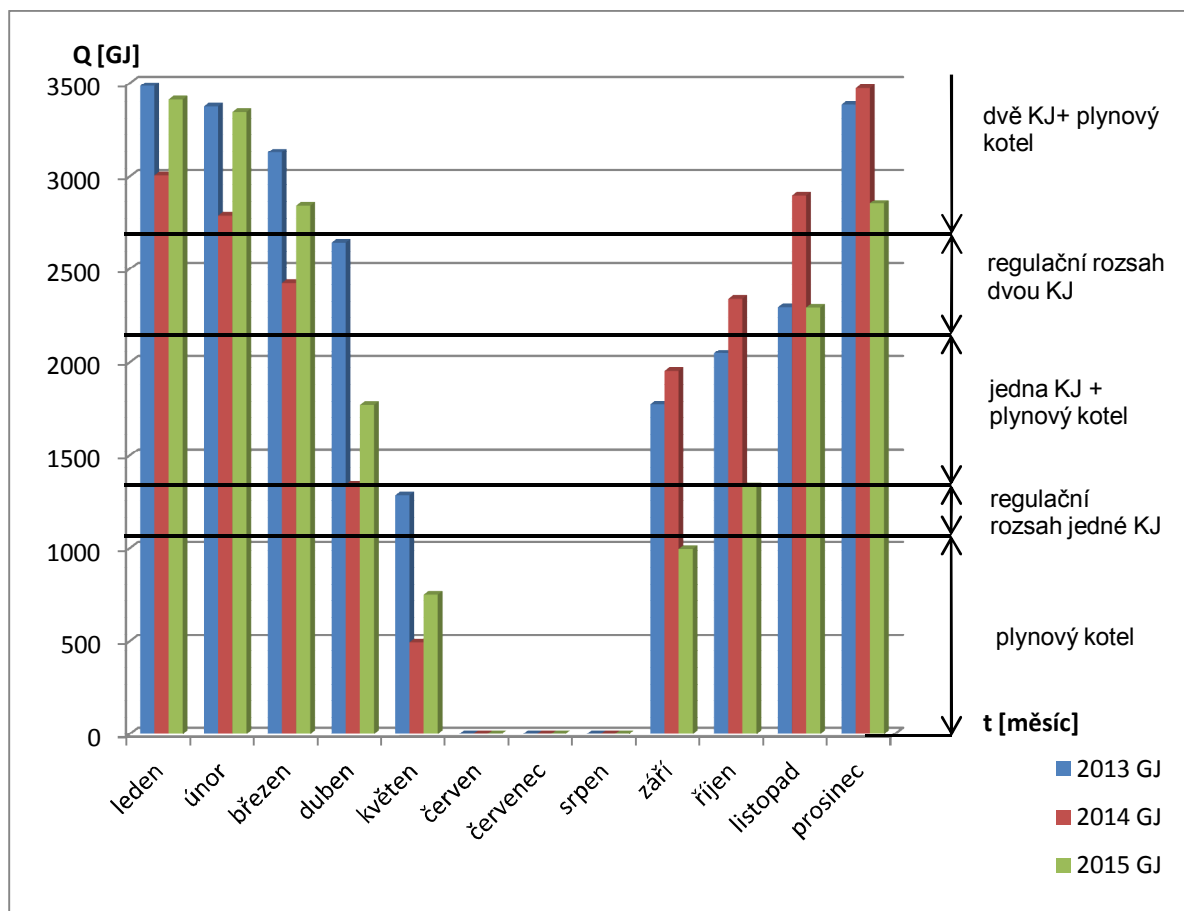
$$Q_{12} = 1,034 \times 12 \times 3 \times 3,6 = 1340 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ.MWh}^{-1}] \quad (3.7)$$

3. Provoz s jednou kogenerační jednotkou a plynovým kotlem – kogenerační jednotka pracuje na 100 % a tepelné špičky zásobuje plynový kotel
4. Provoz obou kogeneračních jednotek – obě kogenerační jednotky pracují ve svém regulačním rozsahu od 75 % do 100 % (měsíční dodávka tepla od 2140 GJ do 2680 GJ)

$$Q_{21} = (0,826 \times 12 \times 30 \times 3,6) \times 2 = 2140 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ.MWh}^{-1}] \quad (3.8)$$

$$Q_{22} = (1,034 \times 12 \times 30 \times 3,6) \times 2 = 2680 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ.MWh}^{-1}] \quad (3.9)$$

5. Provoz obou kogeneračních jednotek a plynový kotel – obě kogenerační jednotky pracují na 100 % a tepelné špičky zásobuje plynový kotel



Graf 4 Sled použití jednotlivých zařízení pro přerušovaný provoz v topné sezóně

3.7.3.1 Použitá kogenerační jednotka

Pro potřeby zimního provozu budou použity dvě kogenerační jednotky firmy Caterpillar CAT CG170-12 o následujících parametrech.

Zátěž [%]	100	75
Elektrický výkon [kW]	999	749
Tepelný výkon z chlazení motoru [kW]	520	403
Tepelný výkon z výfukových plynů [kW]	514	423
Celkový tepelný výkon [kW]	1034	826
Výkon paliva [kW]	2334	1808
Elektrická účinnost [%]	42,8	41,4
Tepelná účinnost [%]	44,3	45,7
Celková účinnost [%]	87,1	87,1
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	258	200

Tab. 7 Provozní hodnoty CAT CG170-12

3.7.3.2 Použitý plynový kotel

Pro tepelné špičky, začátek a konec topné sezóny bude použit plynový kotel Viessmann Vitomax 200-HW typ M236 o výkonu 850 kW s hořákem Weishaupt typ WM-G20/2-A,ZM-3LN.

Tepelný výkon kotle [kW]	850
Tepelný výkon hořáku [kW]	800
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	112

Tab. 8 Provozní hodnoty Viessmann Vitomax a hořák Weishaupt

3.7.3.3 Souhrn

Výroba elektrické energie dvou kogeneračních jednotek (přibližně 5 měsíců provozu)

$$W_{el1} = (12 \times 30 \times 5 \times 999) \times 2 \approx 3\,596 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (3.10)$$

Výroba elektrické energie jednou kogenerační jednotou (přibližně 3 měsíce provozu)

$$W_{el2} = 12 \times 30 \times 3 \times 999 \approx 1\,079 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (3.11)$$

Celková výroba elektrické energie kogeneračními jednotkami

$$W_{el} = 3\,596 + 1\,079 = 4\,675 \text{ MWh [MWh; MWh; MWh]} \quad (3.12)$$

Po převodu

$$W_{el} = 4\,675 \times 3,6 \approx 16\,830 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (3.13)$$

Výroba tepla dvou kogeneračních jednotek (přibližně 5 měsíců provozu)

$$Q_{t1} = (12 \times 30 \times 5 \times 1\,034) \times 2 \approx 3\,722 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (3.14)$$

Výroba tepla jednou kogenerační jednotou (přibližně 3 měsíce provozu)

$$Q_{t2} = 12 \times 30 \times 3 \times 1\,034 \approx 1\,117 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (3.15)$$

Celková výroba tepla kogeneračními jednotkami

$$Q_t = 3\,722 + 1\,117 = 4\,839 \text{ MWh [MWh; MWh; MWh]} \quad (3.16)$$

Po převodu

$$Q_t = 4\,839 \times 3,6 \approx 17\,420 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (3.17)$$

Spotřeba plynu pro dvě kogenerační jednotky (přibližně 5 měsíců provozu)

$$V_1 = (12 \times 30 \times 5 \times 258) \times 2 = 928\,800 \text{ m}^3 [\text{m}^3; \text{hod}; \text{den}; \text{měsíc}; \text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (3.18)$$

Spotřeba plynu pro jednu kogenerační jednotku (přibližně 3 měsíce provozu)

$$V_2 = 12 \times 30 \times 3 \times 258 = 278\,640 \text{ m}^3 [\text{m}^3; \text{hod}; \text{den}; \text{měsíc}; \text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (3.19)$$

Celková spotřeba plynu

$$V_{\text{celkem}} = 928\,800 + 278\,640 = 1\,207\,440 \text{ m}^3 [\text{m}^3; \text{m}^3; \text{m}^3] \quad (3.20)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{\text{KJ}} = 1\,207\,440 \times 9,5 \approx 11\,471 \text{ MWh} [\text{MWh}; \text{m}^3; \text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (3.21)$$

Po převodu

$$Q_{\text{KJ}} = 11\,471 \times 3,6 \approx 41\,296 \text{ GJ} [\text{GJ}; \text{MWh}; \text{GJ} \cdot \text{MWh}^{-1}] \quad (3.22)$$

V tabulce (tab. 9) jsou uvedeny roční hodnoty pro kogenerační jednotky.

Výroba elektrické energie	4 675 MWh	16 830 GJ
Výroba tepla	4 839 MWh	17 420 GJ
Spotřeba plynu	11 471 MWh	41 296 GJ

Tab. 9 Roční hodnoty CAT CG170-12 v přerušovaném režimu v topné sezóně

Roční energetická účinnost kogenerační jednotky bude dána podílem užité energie v teple a elektrické energii a energetického vstupu paliv (zde zemní plyn):

$$\eta = \frac{W_{\text{el}} + Q_{\text{t}}}{Q_{\text{KJ}}} = \frac{16830 + 17420}{41296} = 0,829 [-; \text{GJ}; \text{GJ}; \text{GJ}] \quad (3.23)$$

Za výše uvedených předpokladů bude celková dosažená efektivní účinnost kogenerace hodnocena podle vyhlášky č.453/2012 Sb. vyšší než požadovaných 75 %.

Pro výrobu zbylého tepla slouží plynový kotel. Potřebné teplo

$$Q_{\text{kotel}} = 6\,400 - 4\,839 = 1\,561 \text{ MWh} [\text{MWh}; \text{MWh}; \text{MWh}] \quad (3.24)$$

Po převodu

$$Q_{\text{kotel}} = 1\,561 \times 3,6 \approx 5\,620 \text{ GJ} [\text{GJ}; \text{MWh}; \text{GJ} \cdot \text{MWh}^{-1}] \quad (3.25)$$

Doba provozu plynového kotle

$$t_{\text{kotel}} = \frac{1\,561}{0,8} \approx 1\,951 \text{ hod} [\text{hod}; \text{MWh}; \text{MW}] \quad (3.26)$$

Spotřeba plynu pro plynový kotel za rok

$$V_{\text{kotel}} = 1\,951 \times 112 = 218\,512 \text{ m}^3 [\text{m}^3; \text{hod}; \text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (3.27)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{\text{kotel,spal}} = 218\,512 \times 9,5 \approx 2\,076 \text{ MWh} [\text{MWh}; \text{m}^3; \text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (3.28)$$

Po převodu

$$Q_{\text{kotel,spal}} = 2\,076 \times 3,6 \approx 7\,473 \text{ GJ} [\text{GJ}; \text{MWh}; \text{GJ} \cdot \text{MWh}^{-1}] \quad (3.29)$$

V tabulce (tab. 10) jsou uvedeny roční hodnoty pro plynový kotel.

Doba provozu	1951 hodin	
Tepelný výkon	800 kW	
Výroba tepla	1 561 MWh	5 620 GJ
Spotřeba plynu	2 076 MWh	7 473 GJ

Tab. 10 Roční hodnoty plynového kotle pro přerušovaný provoz v topné sezóně

3.7.4 Energetická bilance

3.7.4.1 Elektrická energie

Veškerá produkce elektrické energie z kogeneračních jednotek bude užita pro vlastní spotřebu průmyslového areálu.

Cena této spotřebované elektrické energie spotřebované v průmyslovém areálu bude hodnocena podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

Celkový výnos za vyrobenou elektrickou energii z kogenerační jednotky tj. 4 675 MWh za dobu provozu bude přibližně:

$$C_{\text{el}} = 4\,675 \times 3\,009 = 14\,067\,075 \text{ Kč} [\text{Kč}; \text{MWh}; \text{Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}] \quad (3.30)$$

3.7.4.2 Teplo

Teplo vyprodukované kogeneračními jednotkami bude využíváno pouze pro vytápění průmyslového areálu. Množství vyrobeného tepla a instalovaný výkon nejsou ovšem dostačující, tak musí být instalován plynový kotel pro pokrytí špiček a k případné nečinnosti kogeneračních jednotek. Stávající zdroj tepla bude ponechán jako studená záloha pro případ poruchy nebo dlouhodobé odstávky kogeneračních jednotek a plynového kotle.

Náklady na zemní plyn pro kogenerační jednotky a plynový kotel jsou také oceněny podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

$$C_t = (11\,471 + 2\,076) \times 575 = 7\,789\,525 \text{ Kč [Kč; MWh; MWh; Kč.MWh}^{-1}] \quad (3.31)$$

3.7.4.3 Úspory

Největším přínosem při instalaci kogenerační jednotky jsou úspory primární energie při výrobě elektrické energie v elektrárnách, ve kterých převažují zejména kondenzační elektrárny. Průměrná účinnost těchto elektráren se pohybuje mezi 30 % až 40 %. Dále dochází ke snížení elektrických ztrát při přenosu elektrické energie a při několikanásobných transformacích na různé napěťové hladiny. Výroba v kogeneračních jednotkách se svou účinností pohybuje mezi 80 % až 90 % (ve vztahu k využití energií v elektrické energii a teple).

Pro výpočet úspory primárních zdrojů v energetickém ekvivalentu GJ se zvažuje zavedený empirický koeficient na úrovni 2,9 až 3,2 (dle MPO²⁷), který se vynásobí vyprodukovanou elektrickou energií.

$$Q_U = 4\,675 \times 3,05 \approx 14\,259 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ.MWh}^{-1}] \quad (3.32)$$

²⁷ Faktory primární energie a jejich stanovení. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Praha: SEVEN, 2013 [cit. 2016-04-24].

3.7.5 Ekonomika

3.7.5.1 Rozpis

Investice	Počet	Cena za jednotku	Cena celkem
Kogenerační jednotka CAT CG170-12	2 ks	12 600 000 Kč/ks	25 200 000 Kč
Stavební úpravy	1 ks	11 800 000 Kč/ks	11 800 000 Kč
Elektro - Silnoproud			
Elektro - Slaboproud			
Elektro - MaR			
Akumulační nádrže			
Plynový kotel Vitomax 200-HW typ 236	1 ks	1 997 000 Kč/ks	1 997 000 Kč
Hořák Weishaupt typ WM-G20/2-A, ZM-3LN	1 ks	351 000 Kč/ks	351 000 Kč
Regulační stanice plynu	1 ks	1 962 000 Kč/ks	1 962 000 Kč
Náklady	Množství	Cena za jednotku	
Servisní náklady	4 680 hodin	1 000 Kč/hod	4 680 000 Kč
Nákup energií	Množství	Cena za jednotku	
Zemní plyn	13 547 MWh	575 Kč/MWh	7 789 525 Kč
Úspory	Množství	Cena za jednotku	
CZT- rezervovaný výkon	2 500 kW	1 168 Kč/kW	2 921 400 Kč
CZT - odebrané množství	23 000 GJ	299 Kč/GJ	6 883 900 Kč
Elektrická energie	4 675 MWh	3 090 Kč/MWh	14 445 750 Kč
Zisk	Množství	Cena za jednotku	
Zelený bonus	4 675 MWh	800 Kč/MWh	3 740 000 Kč

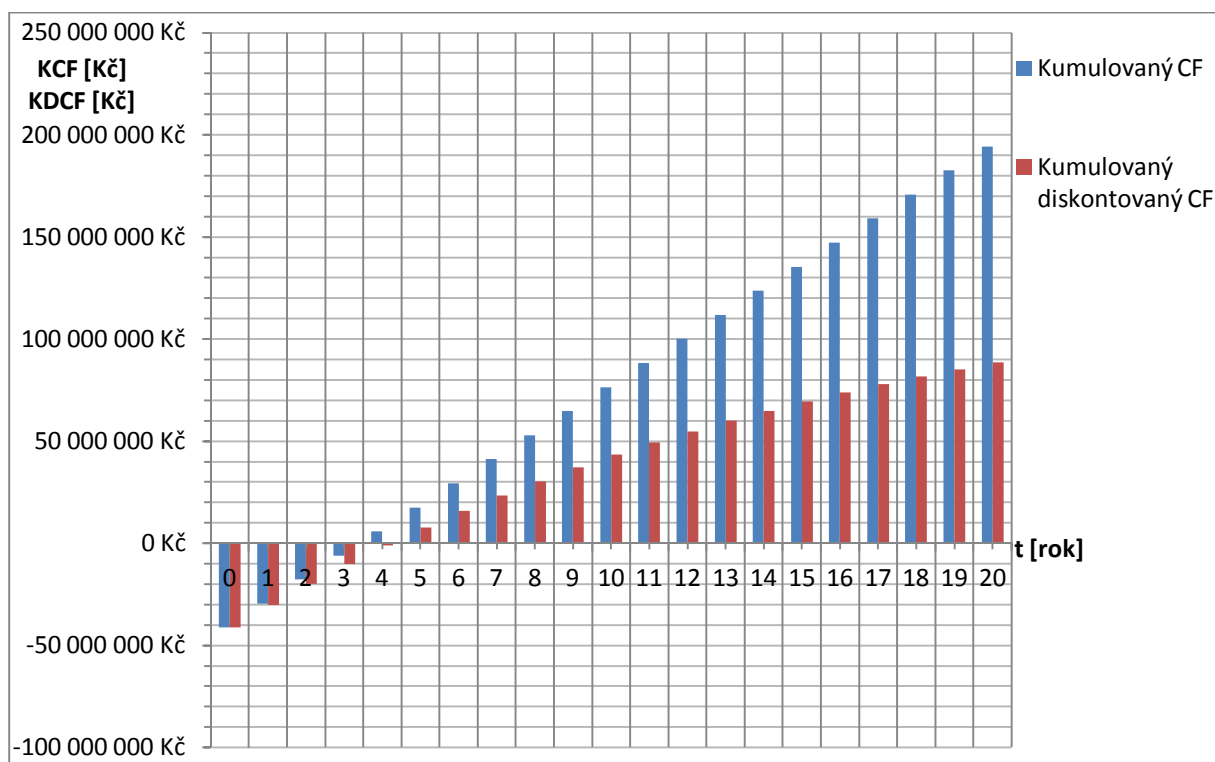
Tab. 11 Ekonomický rozpis pro přerušovaný provoz v topné sezóně

3.7.5.2 Souhrn

Souhrn	Cena bez DPH
Celkové investice	41 310 000 Kč
Celkové roční výnosy	27 991 050 Kč
Celkové roční náklady	12 469 525 Kč

Tab. 12 Celkový ekonomický souhrn pro přerušovaný provoz v topné sezóně

3.7.5.3 Výsledný graf



Graf 5 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro topnou sezónu pro přerušovaný provoz

4 Optimalizace dimenzování kogenerační jednotky

4.1 Ohřev teplé vody

Tato aplikace kogenerační jednotky bude složit k odstavení výměníku, který do areálu dodává teplo k ohřevu teplé vody.

Celkový maximální výkon kogenerační jednotky musí být zvolen podle minima (303 GJ), které nastalo ve sledovaném období. Pro špičky bude opět sloužit plynový kotel.

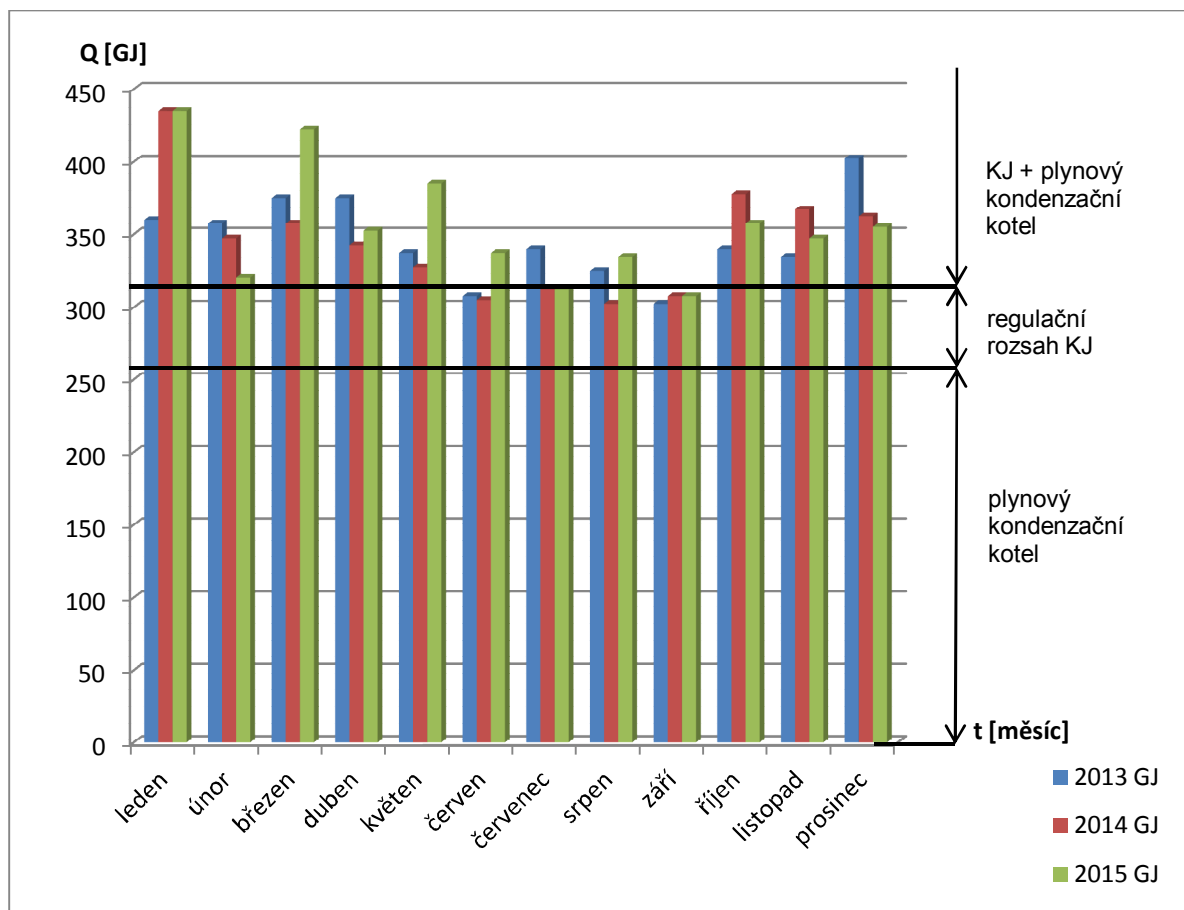
Při tomto provozu se dá očekávat roční doba provozu maximálně 3000 hodin – 8 hodin denně po celý rok (tento hodinový fond vychází z podmínek pro poskytování zeleného bonusu). Kogenerační jednotka ale nenahradí celou spotřebu tepla na ohřev teplé vody. Pro tepelné špičky a po dobu odstávky musíme instalovat plynový kondenzační kotel. Tato kombinace bude schopna v kombinaci s akumulací dodávat teplo pro ohřev teplé vody včetně ztrát ve zdroji a rozvodech. Provoz pro ohřev teplé vody:

1. Provoz bez kogeneračních jednotek – kogenerační jednotka je odstavena a celou spotřebu přebírá plynový kondenzační kotel (nevyplatí se kogenerační jednotku provozovat – ekonomicky a technicky nevýhodný provoz → ve sledovaném období tato situace nenastala ⇒ nastane pouze při odstávce kogenerační jednotky)
2. Provoz s kogenerační jednotkou – kogenerační jednotka je v provozu ve svém regulačním rozsahu od 75 % do 100 % (měsíční dodávka tepla od 257 GJ do 313 GJ)

$$Q_{11} = 0,298 \times 8 \times 30 \times 3,6 = 257 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.1)$$

$$Q_{12} = 0,363 \times 8 \times 30 \times 3,6 = 313 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.2)$$

3. Provoz kogenerační jednotky a plynového kondenzačního kotle – kogenerační jednotka pracuje na 100 % a tepelné špičky zásobuje plynový kondenzační kotel



Graf 6 Sled použití jednotlivých zařízení pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody

4.1.1 Použitá kogenerační jednotka

Pro potřeby ohřevu teplé vody bude použita kogenerační jednotka firmy Viessmann Vitobloc 200 EM-238/363.

Zátěž [%]	100	75
Elektrický výkon [kW]	238	179
Tepelný výkon [kW]	363	298
Výkon paliva [kW]	667	536
Elektrická účinnost [%]	35,7	33,4
Tepelná účinnost [%]	54,4	55,6
Celková účinnost [%]	90,1	89,0
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	70	56

Tab. 13 Provozní hodnoty Viessmann Vitobloc 200 EM-238/363

Tato kogenerační jednotka se ideálně hodí pro pokrytí základního tepelného zatížení pro ohřev teplé vody, kde minimum za sledované období bylo 303 GJ.

$$Q_{\text{základ}} = 0,363 \times 8 \times 30 \times 3,6 = 313 \text{ GJ} [\text{GJ}; \text{MW}; \text{hod}; \text{den}; \text{GJ} \cdot \text{MWh}^{-1}] \quad (4.3)$$

4.1.2 Použitý plynový kotel

Pro tepelné špičky a pro dobu odstávky kogenerační jednotky bude použit plynový kondenzační kotel Viessmann Vitocrossal 200 CM2B o výkonu 311 kW s hořákem Matrix VMA III-6.

Tepelný výkon kotle [kW]	311
Tepelný výkon hořáku [kW]	293
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	31

Tab. 14 Provozní hodnoty Viessmann Vitocrossal a hořák Matrix

4.1.3 Souhrn

Výroba elektrické energie kogenerační jednotkou

$$W_{el} = 8 \times 30 \times 12 \times 238 \approx 685 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.4)$$

Po převodu

$$W_{el} = 685 \times 3,6 \approx 2\,466 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ.MWh}^{-1}] \quad (4.5)$$

Výroba tepla kogenerační jednotkou

$$Q_t = 8 \times 30 \times 12 \times 363 \approx 1\,045 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.6)$$

Po převodu

$$Q_t = 1\,045 \times 3,6 \approx 3\,762 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ.MWh}^{-1}] \quad (4.7)$$

Spotřeba plynu kogenerační jednotkou

$$V = 8 \times 30 \times 12 \times 70 = 201\,600 \text{ m}^3 \text{ [m}^3 \text{; hod; den; měsíc; m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (4.8)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{KJ} = 201\,600 \times 9,5 \approx 1\,915 \text{ MWh [MWh; m}^3 \text{; kWh.m}^{-3}] \quad (4.9)$$

Po převodu

$$Q_{KJ} = 1\,915 \times 3,6 \approx 6\,894 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ.MWh}^{-1}] \quad (4.10)$$

V tabulce (tab. 15) jsou uvedeny předpokládané roční hodnoty pro kogenerační jednotku.

Výroba elektrické energie	685 MWh	2 466 GJ
Výroba tepla	1 045 MWh	3 762 GJ
Spotřeba plynu	1 915 MWh	6 894 GJ

Tab. 15 Roční hodnoty EM-238/363 v přerušovaném režimu pro ohřev teplé vody

Roční energetická účinnost kogenerační jednotky bude dána podílem užité energie v teple a elektrické energii a energetického vstupu paliv (zde zemní plyn):

$$\eta = \frac{W_{el} + Q_t}{Q_{KJ}} = \frac{2\,466 + 3\,762}{6\,894} = 0,903 \text{ [-; GJ; GJ; GJ]} \quad (4.11)$$

Za výše uvedených předpokladů bude celková dosažená efektivní účinnost kogenerace hodnocená podle vyhlášky č.453/2012 Sb. vyšší než požadovaných 75 %.

Pro výrobu zbylého tepla slouží plynový kondenzační kotel. Potřebné teplo

$$Q_{\text{kotel}} = 1\,200 - 1\,045 = 155 \text{ MWh [MWh; MWh; MWh]} \quad (4.12)$$

Po převodu

$$Q_{\text{kotel}} = 155 \times 3,6 \approx 558 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.13)$$

Doba provozu plynového kondenzačního kotle

$$t_{\text{kotel}} = \frac{155}{0,311} \approx 498 \text{ hod [hod; MWh; MW]} \quad (4.14)$$

Spotřeba plynu pro plynový kondenzační kotel za rok

$$V_{\text{kotel}} = 498 \times 31 = 15\,438 \text{ m}^3 \text{ [m}^3; \text{hod; m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (4.15)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{\text{kotel, spal}} = 15\,438 \times 9,5 \approx 147 \text{ MWh [MWh; m}^3; \text{kWh. m}^{-3}] \quad (4.16)$$

Po převodu

$$Q_{\text{kotel, spal}} = 147 \times 3,6 \approx 529 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.17)$$

V tabulce (tab. 16) jsou uvedeny roční hodnoty pro plynový kotel.

Doba provozu	498 hodin	
Tepelný výkon	311 kW	
Výroba tepla	155 MWh	558 GJ
Spotřeba plynu	147 MWh	529 GJ

Tab. 16 Roční hodnoty plynového kondenzačního kotle pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody

4.1.4 Energetická bilance

4.1.4.1 Elektrická energie

Veškerá produkce elektrické energie z kogenerační jednotky bude užita pro vlastní spotřebu průmyslového areálu. Výroba elektrické energie z kogenerační jednotky tvoří přibližně 2 % z celkové spotřeby. Cena spotřebované elektrické energie spotřebované v průmyslovém areálu bude hodnocena podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

Celkový výnos za vyrobenou elektrickou energii z kogenerační jednotky tj. 685 MWh za dobu provozu bude přibližně:

$$C_{el} = 685 \times 3\,009 = 2\,061\,165 \text{ Kč [Kč; MWh; Kč. MWh}^{-1}] \quad (4.18)$$

4.1.4.2 Teplo

Teplo vyrobené kogenerační jednotkou bude využíváno pouze pro ohřev teplé vody v průmyslovém areálu. Množství vyrobeného tepla a instalovaný výkon nejsou ovšem dostačující, tak musí být instalován plynový kondenzační kotel pro pokrytí špiček a k případné nečinnosti kogenerační jednotky. Stávající zdroj tepla bude ponechán jako studená záloha pro případ poruchy nebo dlouhodobé odstávky kogenerační jednotky a plynového kotle.

Náklady na zemní plyn pro kogenerační jednotku a plynový kondenzační kotel jsou také oceněny podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

$$C_t = (1\,915 + 147) \times 575 = 1\,185\,650 \text{ Kč [Kč; MWh; MWh; Kč. MWh}^{-1}] \quad (4.19)$$

4.1.4.3 Úspory

Pro výpočet úspory primárních zdrojů v energetickém ekvivalentu GJ se zvažuje zavedený empirický koeficient na úrovni 2,9 až 3,2 (dle MPO²⁸), který se vynásobí vyrobenou elektrickou energií.

$$Q_U = 685 \times 3,05 \approx 2\,089 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.20)$$

²⁸ Faktory primární energie a jejich stanovení. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Praha: SEVEN, 2013 [cit. 2016-04-24].

4.1.5 Ekonomika

4.1.5.1 Rozpis

Investice	Počet	Cena za kus	Cena celkem
Kogenerační jednotka Viessmann Vitobloc 200 EM-238/363	1 ks	6 292 000 Kč/ks	6 292 000 Kč
Stavební úpravy	1 ks	2 500 000 Kč/ks	2 500 000 Kč
Elektro - Silnoproud			
Elektro - Slaboproud			
Elektro - MaR			
Akumulační nádrže			
Plynový kotel Vitocrossal 200 CM2B	1 ks	563 000 Kč/ks	563 000 Kč
Regulační stanice plynu	1 ks	1 962 000 Kč/ks	1 962 000 Kč
Náklady	Hodin provozu	Cena za hod	
Servisní náklady	2 880 hodin	250 Kč/hod	720 000 Kč
Nákup energií	Množství	Cena za MWh	
Zemní plyn	2062 MWh	575 Kč/MWh	1 185 650 Kč
Úspory	Množství	Cena za jednotku	
CZT- rezervovaný výkon	500 kW	1 230 Kč/kW	615 330 Kč
CZT - odebrané množství	4 200 GJ	299 Kč/GJ	1 257 060 Kč
Elektrická energie	685 MWh	3 090 Kč/MWh	2 116 650 Kč
Zisk	Množství	Zelený bonus	
Zelený bonus	685 MWh	1 140 Kč/MWh	780 900 Kč

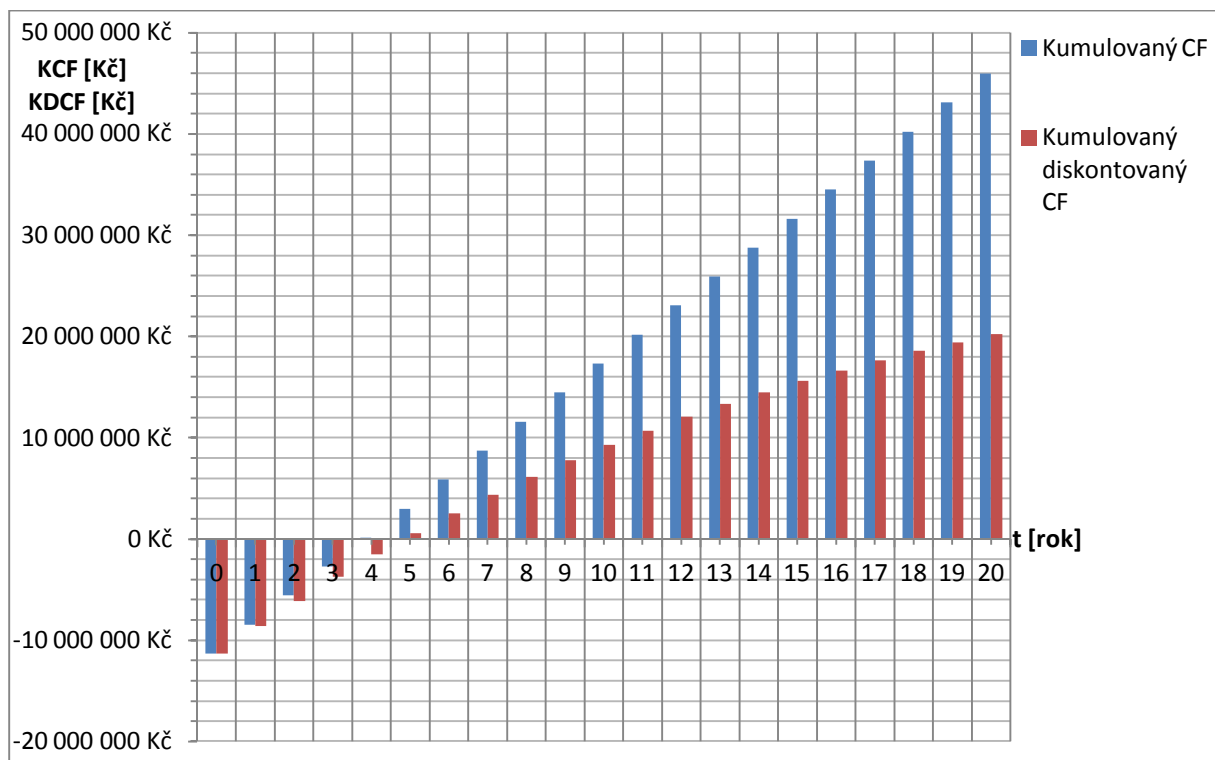
Tab. 17 Ekonomický rozpis pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody

4.1.5.2 Souhrn

Souhrn	Cena bez DPH
Celkové investice	11 317 000 Kč
Celkové roční výnosy	4 769 940 Kč
Celkové roční náklady	1 905 650 Kč

Tab. 18 Celkový ekonomický souhrn pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody

4.1.5.3 Výsledný graf



Graf 7 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro ohřev teplé vody pro přerušovaný provoz

4.2 Trvalý provoz v topné sezóně

Tato optimalizace provozu je zaměřena na trvalý provoz kogenerační jednotky po dobu celé topné sezony. Tento krok by vedl k trvalému snížení rezervovaného elektrického výkonu. Pro volbu kogenerační jednotky se musí vycházet z nejmenší hodnoty spotřeby tepla ve sledovaném období.

Při použití kogenerační jednotky v celodenním provozu dojde k snížení rezervovaného výkonu elektrické energie a tím k finančním úsporám. V předešlých aplikacích tento krok nebyl možný, protože provoz kogeneračních jednotek byl přerušovaný a snížení velikosti rezervovaného výkonu nelze realizovat.

Pro pokrytí zbylého odběru tepla pro vytápění objektu bude použita další kogenerační jednotka s plynovým kotlem. Kogenerační jednotka pro přerušovaný provoz bude pracovat přibližně 5 měsíců maximálně 3000 hodin – 12 hodin denně po celý rok (tento hodinový fond vychází z podmínek pro poskytování zeleného bonusu), ale provoz lze rozšířit až na 20 hodin denně nebo zbylé hodiny lze použít při delší topné sezóně. Provoz v topné sezóně lze rozdělit na 5 částí:

1. Provoz bez kogeneračních jednotek – kogenerační jednotky jsou odstaveny a celou spotřebu přebírá plynový kotel (nevyplatí se kogenerační jednotku provozovat – ekonomicky a technicky nevýhodný provoz)
2. Trvalý provoz kogenerační jednotky – kogenerační jednotka je v celodenním provozu ve svém regulačním rozsahu od 75 % do 100 % (měsíční dodávka tepla od 1096 GJ do 1423 GJ), druhá je odstavena

$$Q_{11} = 0,423 \times 24 \times 30 \times 3,6 = 1\,096 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.21)$$

$$Q_{12} = 0,549 \times 24 \times 30 \times 3,6 = 1\,423 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.22)$$

3. Provoz s kogenerační jednotkou a plynovým kotlem – kogenerační jednotka pracuje na 100 % v celodenním režimu a tepelné špičky zásobuje plynový kotel
4. Provoz obou kogeneračních jednotek – jedna kogenerační jednotka pracuje na 100 % v celodenním režimu a druhá pracuje ve svém regulačním rozsahu od 75 % do 100 % (měsíční dodávka tepla od 1070 GJ do 1787 GJ)

$$Q_{21} = 0,826 \times 12 \times 30 \times 3,6 = 1\,070 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.23)$$

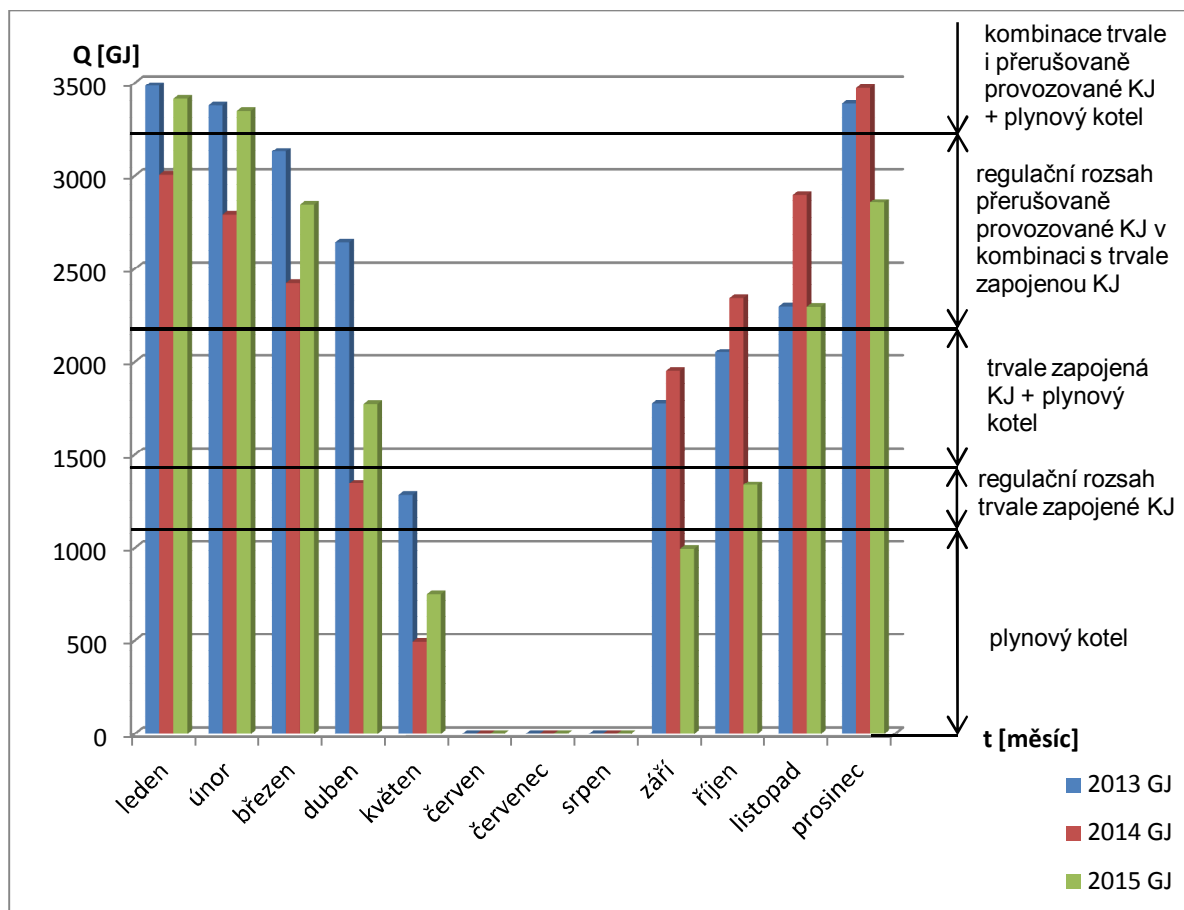
$$Q_{22} = 1,034 \times 16 \times 30 \times 3,6 = 1\,787 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.24)$$

Celková dodávka tepla

$$Q_{31} = 1096 + 1070 = 2166 \text{ GJ [GJ; GJ; GJ]} \quad (4.25)$$

$$Q_{32} = 1423 + 1787 = 3\,210 \text{ GJ [GJ; GJ; GJ]} \quad (4.26)$$

5. Provoz obou kogeneračních jednotek a plynový kotel – obě kogenerační jednotky pracují na 100 % a tepelné špičky zásobuje plynový kotel



Graf 8 Sled použití jednotlivých zařízení pro trvalý provoz v topné sezóně

4.2.1 Použité kogenerační jednotka

4.2.1.1 Trvalý provoz

Pro potřeby ohřevu topné vody bude použita kogenerační jednotka firmy Viessmann Vitobloc 200 EM-401/549.

Zátěž [%]	100	75
Elektrický výkon [kW]	401	300
Tepelný výkon [kW]	549	423
Výkon paliva [kW]	1053	831
Elektrická účinnost [%]	38,1	36,1
Tepelná účinnost [%]	52,1	50,9
Celková účinnost [%]	92,8	88,9
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	111	87

Tab. 19 Provozní hodnoty Viessmann Vitobloc 200 EM-401/549

4.2.1.2 Přerušovaný provoz

Pro potřeby topné sezóny bude použita kogenerační jednotka firmy Caterpillar CAT CG170-12 o následujících parametrech.

Zátěž [%]	100	75
Elektrický výkon [kW]	999	749
Tepelný výkon z chlazení motoru [kW]	520	403
Tepelný výkon z výfukových plynů [kW]	514	423
Celkový tepelný výkon [kW]	1034	826
Výkon paliva [kW]	2334	1808
Elektrická účinnost [%]	42,8	41,4
Tepelná účinnost [%]	44,3	45,7
Celková účinnost [%]	87,1	87,1
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	258	200

Tab. 20 Provozní hodnoty CAT CG170-12

4.2.2 Použitý plynový kotel

Pro tepelné špičky, začátek a konec topné sezóny bude použit plynový kotel Viessmann VITOMAX 200-HW typ M236 o výkonu 850 kW s hořákem Weishaupt typ WM-G20/2-A,ZM-3LN.

Tepelný výkon kotle [kW]	850
Tepelný výkon hořáku [kW]	800
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	112

Tab. 21 Provozní hodnoty Viessmann Vitomax a hořák Weishaupt

4.2.3 Souhrn

Výroba elektrické energie kogenerační jednotkou v trvalém provozu

$$W_{el1} = 24 \times 30 \times 8 \times 401 \approx 2\,310 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.27)$$

Výroba elektrické energie kogenerační jednotkou v přerušovaném provozu

$$W_{el2} = 16 \times 30 \times 5 \times 999 \approx 2\,398 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.28)$$

Celková výroba elektrické energie

$$W_{el} = 2\,310 + 2\,398 = 4\,708 \text{ MWh [MWh; MWh; MWh]} \quad (4.29)$$

Po převodu

$$W_{el} = 4\,108 \times 3,6 \approx 16\,949 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.30)$$

Výroba tepla kogenerační jednotkou v trvalém provozu

$$Q_{t1} = 24 \times 30 \times 8 \times 549 \approx 3\,162 \text{ MWh} \text{ [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.31)$$

Výroba tepla kogenerační jednotkou v přerušovaném provozu

$$Q_{t2} = 16 \times 30 \times 5 \times 1034 \approx 2\,482 \text{ MWh} \text{ [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.32)$$

Celková výroba tepla

$$Q_t = 3\,162 + 2\,482 = 5\,644 \text{ MWh} \text{ [MWh; MWh; MWh]} \quad (4.33)$$

Po převodu

$$Q_t = 5\,644 \times 3,6 \approx 20\,138 \text{ GJ} \text{ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.34)$$

Spotřeba plynu kogenerační jednotkou v trvalém provozu

$$V_1 = 24 \times 30 \times 8 \times 111 = 639\,360 \text{ m}^3 \text{ [m}^3; \text{hod; den; měsíc; m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (4.35)$$

Spotřeba plynu kogenerační jednotkou v přerušovaném provozu

$$V_2 = 16 \times 30 \times 5 \times 258 = 619\,200 \text{ m}^3 \text{ [m}^3; \text{hod; den; měsíc; m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (4.36)$$

Celková spotřeba plynu kogeneračními jednotkami

$$V_{\text{celkem}} = 639\,360 + 619\,200 = 1\,258\,560 \text{ m}^3 \text{ [m}^3; \text{m}^3; \text{m}^3] \quad (4.37)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{KJ} = 1\,258\,560 \times 9,5 \approx 11\,956 \text{ MWh} \text{ [MWh; m}^3; \text{kWh. m}^{-3}] \quad (4.38)$$

Po převodu

$$Q_{KJ} = 11\,956 \times 3,6 \approx 43\,042 \text{ GJ} \text{ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.39)$$

V tabulce (tab. 22) jsou uvedeny předpokládané roční hodnoty pro kogenerační jednotku.

Výroba elektrické energie	4 708 MWh	16 949 GJ
Výroba tepla	5 644 MWh	20 138 GJ
Spotřeba plynu	11 916 MWh	43 042 GJ

Tab. 22 Roční hodnoty CAT CG170-12 a Vitobloc 200 EM-401/549 v trvalém režimu v topné sezóně

Roční energetická účinnost kogenerační jednotky bude dána podílem užité energie v teple a elektrické energii a energetického vstupu paliv (zde zemní plyn):

$$\eta = \frac{W_{el} + Q_t}{Q_{KJ}} = \frac{16\,949 + 20\,138}{43\,042} = 0,862 \text{ [-; GJ; GJ; GJ]} \quad (4.40)$$

Za výše uvedených předpokladů bude celková dosažená efektivní účinnost kogenerace hodnocená podle vyhlášky č.453/2012 Sb. vyšší než požadovaných 75 %. Pro výrobu zbylého tepla slouží plynový kotel. Potřebné teplo

$$Q_{kotel} = 6\,400 - 5\,644 = 756 \text{ MWh [MWh; MWh; MWh]} \quad (4.41)$$

Po převodu

$$Q_{kotel} = 756 \times 3,6 \approx 2\,722 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.42)$$

Doba provozu plynového kotle

$$t_{kotel} = \frac{756}{0,8} \approx 945 \text{ hod [hod; MWh; MW]} \quad (4.43)$$

Spotřeba plynu pro plynový kotel za rok

$$V_{kotel} = 945 \times 112 = 105\,840 \text{ m}^3 \text{ [m}^3; \text{hod; m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (4.44)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{kotel,spal} = 105\,840 \times 9,5 \approx 1\,005 \text{ MWh [MWh; m}^3; \text{kWh. m}^{-3}] \quad (4.45)$$

Po převodu

$$Q_{kotel,spal} = 1\,005 \times 3,6 \approx 3\,618 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.46)$$

V tabulce (tab. 23) jsou uvedeny roční hodnoty pro plynový kotel.

Doba provozu	945 hodin	
Tepelný výkon	800 kW	
Výroba tepla	756 MWh	2 722 GJ
Spotřeba plynu	1 005 MWh	3 618 GJ

Tab. 23 Roční hodnoty plynového kotle pro trvalý provoz v topné sezóně

4.2.4 Energetická bilance

4.2.4.1 Elektrická energie

Veškerá produkce elektrické energie z kogenerační jednotky bude užitá pro vlastní spotřebu průmyslového areálu. Cena spotřebované elektrické energie spotřebované v průmyslovém areálu bude hodnocena podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

Celkový výnos za vyrobenou elektrickou energii z kogenerační jednotky tj. 4 708 MWh za dobu provozu bude přibližně:

$$C_{el} = 4\,708 \times 3\,009 = 14\,166\,372 \text{ Kč [Kč; MWh; Kč. MWh}^{-1}] \quad (4.47)$$

4.2.4.2 Teplo

Teplo vyprodukované kogenerační jednotkou bude využíváno pouze pro vytápění v průmyslovém areálu. Množství vyrobeného tepla a instalovaný výkon nejsou ovšem dostačující, tak musí být instalován plynový kotel pro pokrytí špiček a k případné nečinnosti kogenerační jednotky. Stávající zdroj tepla bude ponechán jako studená záloha pro případ poruchy nebo dlouhodobé odstávky kogenerační jednotky a plynového kotle.

Náklady na zemní plyn pro kogenerační jednotku a plynový kotel jsou také oceněny podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

$$C_t = (11\,956 + 1\,005) \times 575 = 7\,452\,575 \text{ Kč [Kč; MWh; MWh; Kč. MWh}^{-1}] \quad (4.48)$$

4.2.4.3 Úspory

Pro výpočet úspory primárních zdrojů v energetickém ekvivalentu GJ se zvažuje zavedený empirický koeficient na úrovni 2,9 až 3,2 (dle MPO²⁹), který se vynásobí vyprodukovanou elektrickou energií.

$$Q_U = 685 \times 3,05 \approx 2\,089 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.49)$$

²⁹ Faktory primární energie a jejich stanovení. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Praha: SEVEN, 2013 [cit. 2016-04-24].

4.2.5 Ekonomika

4.2.5.1 Rozpis

Investice	Počet	Cena za kus	Cena celkem
Kogenerační jednotka CAT CG170-12	1 ks	12 600 000 Kč/ks	12 600 000 Kč
Kogenerační jednotka Viessmann Vitobloc 200 EM-401/549	1 ks	8 200 000 Kč/ks	8 200 000 Kč
Stavební úpravy	1 ks	6 500 000 Kč/ks	6 500 000 Kč
Elektro - Silnoproud			
Elektro - Slaboproud			
Elektro - MaR			
Akumulační nádrže			
Plynový kotel Vitomax 200-HW typ 236	1 ks	351 000 Kč/ks	351 000 Kč
Hořák Weishaupt typ WM-G20/2-A, ZM-3LN	1 ks	1 997 000 Kč/ks	1 997 000 Kč
Regulační stanice plynu	1 ks	1 962 000 Kč/ks	1 962 000 Kč
Náklady	Hodin provozu	Cena za hod	
Servisní náklady	8 160 hodin	750 Kč/hod	6 120 000 Kč
Nákup energií	Množství	Cena za MWh	
Zemní plyn	12 961 MWh	575 Kč/MWh	7 452 575 Kč
Úspory	Množství	Cena za jednotku	
CZT- rezervovaný výkon	2 500 kW	1 168 Kč/kW	2 921 400 Kč
CZT - odebrané množství	23 000 GJ	299 Kč/GJ	6 883 900 Kč
Elektrická energie	4 708 MWh	3 090 Kč/MWh	14 547 720 Kč
Rezervovaný výkon	Výkon	Cena za rezervovaný výkon	
Snížení rezervovaného výkonu po dobu topné sezóny	400 kW	727 Kč/kW	290 976,00 Kč
Zisk	Množství	Zelený bonus	
Zelený bonus - CAT CG170-12	2 398 MWh	800 Kč/MWh	1 918 400 Kč
Zelený bonus - Viessmann Vitobloc 200 EM-401/549	2 310 MWh	135 Kč/MWh	311 850 Kč

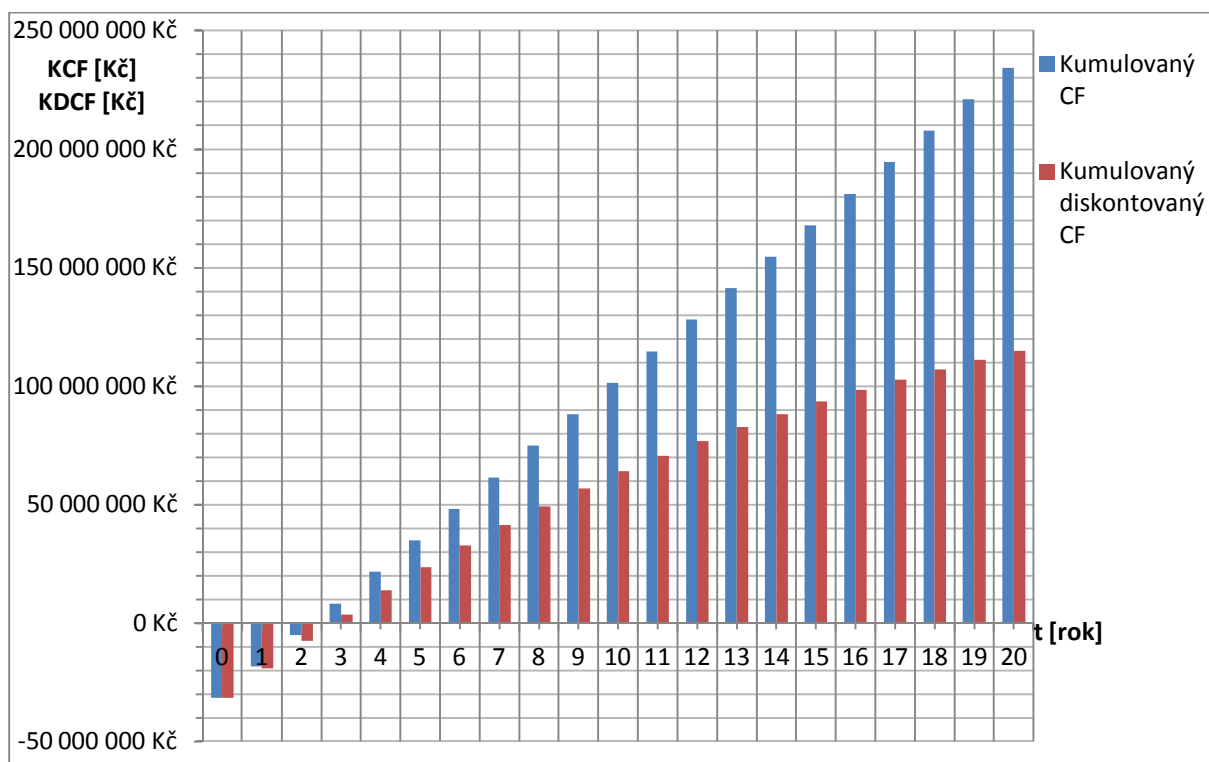
Tab. 24 Ekonomický rozpis pro trvalý provoz v topné sezóně

4.2.5.2 Souhrn

Souhrn	Cena bez DPH
Celkové investice	31 610 000 Kč
Celkové roční výnosy	26 874 246 Kč
Celkové roční náklady	13 572 575 Kč

Tab. 25 Celkový ekonomický souhrn pro trvalý provoz v topné sezóně

4.2.5.3 Výsledný graf



Graf 9 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro topnou sezónu pro trvalý provoz

4.3 Trvalý provoz na ohřev teplé vody

Tato aplikace kogenerační jednotky bude složít k odstavení výměníku, který do areálu dodává teplo k ohřevu teplé vody v celoročním provozu. Tento krok by dále vedl k trvalému snížení rezervovaného elektrického výkonu. Při použití kogenerační jednotky v celoročním provozu dojde k snížení rezervovaného výkonu elektrické energie a tím k finančním úsporám.

Celkový maximální výkon kogenerační jednotky musí být zvolen podle minima (303 GJ), které nastalo ve sledovaném období. Pro špičky bude opět sloužit plynový kotel.

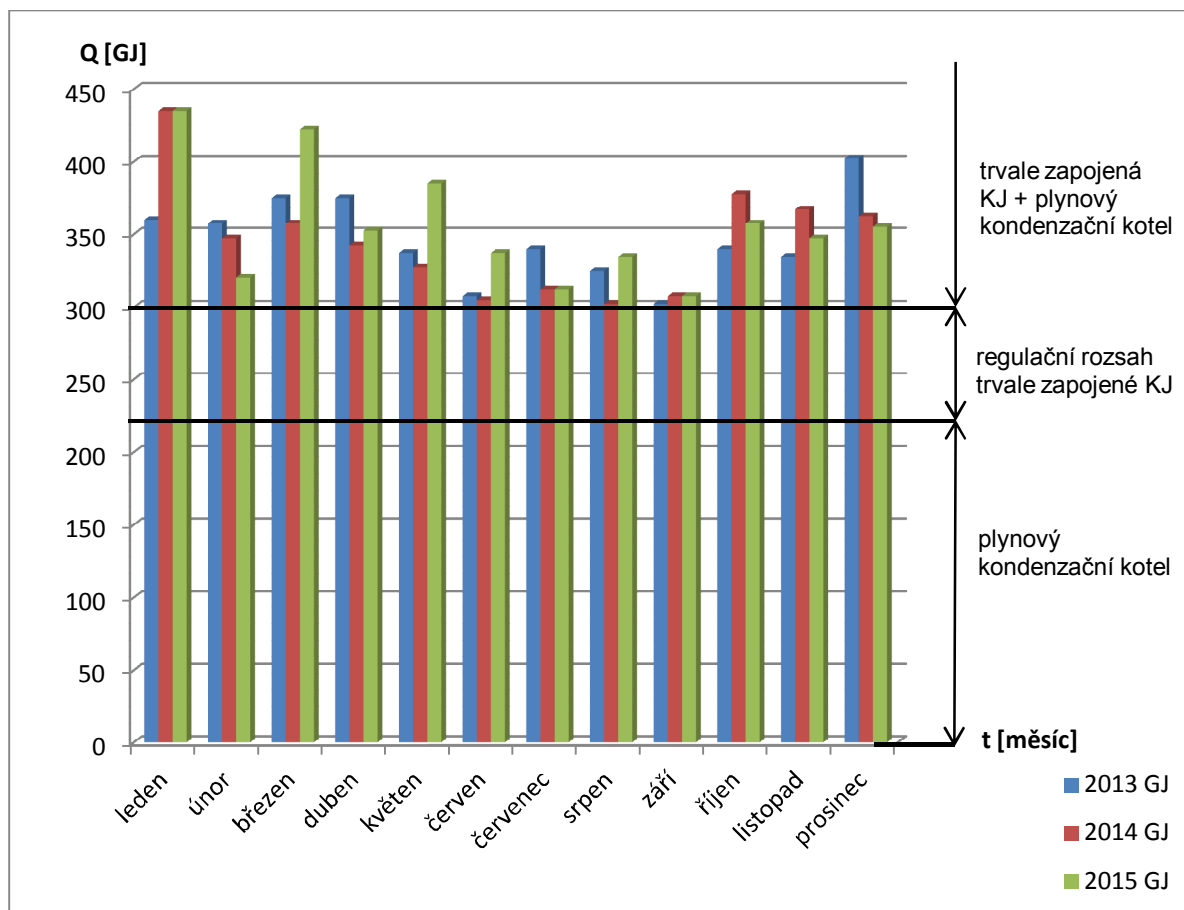
Kogenerační jednotka ale nenahradí celou spotřebu tepla na ohřev teplé vody. Pro tepelné špičky a po dobu odstávky musíme instalovat plynový kondenzační kotel. Tato kombinace bude schopna v kombinaci s akumulací dodávat teplo pro ohřev teplé vody včetně ztrát ve zdrojích a rozvodech. Provoz pro ohřev teplé vody:

1. Provoz bez kogeneračních jednotek – kogenerační jednotka je odstavena a celou spotřebu přebírá plynový kondenzační kotel (nevyplatí se kogenerační jednotku provozovat – ekonomicky a technicky nevýhodný provoz → ve sledovaném období tato situace nenastala ⇒ nastane pouze při odstávce kogenerační jednotky)
2. Trvalý provoz s kogenerační jednotkou – kogenerační jednotka je v celoročním provozu ve svém regulačním rozsahu od 75 do 100 % (měsíční dodávka tepla od 220 GJ do 298 GJ)

$$Q_{11} = 0,085 \times 24 \times 30 \times 3,6 = 220 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.50)$$

$$Q_{12} = 0,115 \times 24 \times 30 \times 3,6 = 298 \text{ GJ [GJ; MW; hod; den; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.51)$$

3. Provoz kogenerační jednotky a plynového kondenzačního kotle – kogenerační jednotka pracuje na 100 % celoročně a tepelné špičky zásobuje plynový kondenzační kotel



Graf 10 Sled použití jednotlivých zařízení pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody

4.3.1 Použitá kogenerační jednotka

Pro potřeby ohřevu teplé vody bude použita kogenerační jednotka firmy Viessmann Vitobloc 200 EM-70/115.

Zátěž [%]	100	75
Elektrický výkon [kW]	70	53
Tepelný výkon [kW]	115	85
Výkon paliva [kW]	204	159
Elektrická účinnost [%]	34,3	33,3
Tepelná účinnost [%]	56,4	53,5
Celková účinnost [%]	90,7	86,8
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	21	17

Tab. 26 Provozní hodnoty Vitobloc 200 EM-70/115

Tato kogenerační jednotka se ideálně hodí pro pokrytí základního tepelného zatížení pro ohřev teplé vody, kde minimum za sledované období bylo 303 GJ.

$$Q_{\text{základ}} = 0,115 \times 24 \times 30 \times 3,6 = 298 \text{ GJ} \text{ [GJ,MW,hod,den,GJ.MWh}^{-1}] \quad (4.52)$$

4.3.2 Použitý plynový kotel

Pro tepelné špičky a pro dobu odstávky kogenerační jednotky bude použit plynový kondenzační kotel Viessmann Vitocrossal 200 CM2B o výkonu 311 kW s hořákem Matrix VMA III-6.

Tepelný výkon kotle [kW]	311
Tepelný výkon hořáku [kW]	293
Spotřeba plynu [m ³ /hod]	31

Tab. 27 Provozní hodnoty Viessmann Vitocrossal

4.3.3 Souhrn

Výroba elektrické energie kogenerační jednotkou

$$W_{el} = 24 \times 30 \times 12 \times 70 \approx 605 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.53)$$

Po převodu

$$W_{el} = 605 \times 3,6 \approx 2\,178 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.54)$$

Výroba tepla kogenerační jednotkou

$$Q_t = 24 \times 30 \times 12 \times 115 \approx 993 \text{ MWh [MWh; hod; den; měsíc; kW]} \quad (4.55)$$

Po převodu

$$Q_t = 993 \times 3,6 \approx 3\,575 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.56)$$

Spotřeba plynu kogenerační jednotkou

$$V = 24 \times 30 \times 12 \times 21 = 181\,440 \text{ m}^3 \text{ [m}^3 \text{; hod; den; měsíc; m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (4.57)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{KJ} = 181\,440 \times 9,5 \approx 1\,724 \text{ MWh [MWh; m}^3 \text{; kWh. m}^{-3}] \quad (4.58)$$

Po převodu

$$Q_{KJ} = 1\,724 \times 3,6 \approx 6\,206 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.59)$$

V tabulce (tab. 28) jsou uvedeny předpokládané roční hodnoty pro kogenerační jednotku.

Výroba elektrické energie	605 MWh	2 178 GJ
Výroba tepla	993 MWh	3 575 GJ
Spotřeba plynu	1 724 MWh	6 206 GJ

Tab. 28 Roční hodnoty Vitobloc 200 EM-70/115 v trvalém režimu pro ohřev teplé vody

Roční energetická účinnost kogenerační jednotky bude dána podílem užité energie v teple a elektrické energii a energetického vstupu paliv (zde zemní plyn):

$$\eta = \frac{W_{el} + Q_t}{Q_{KJ}} = \frac{2\,178 + 3\,575}{6\,206} = 0,927 \text{ [-; GJ; GJ; GJ]} \quad (4.60)$$

Za výše uvedených předpokladů bude celková dosažená efektivní účinnost kogenerace hodnocená podle vyhlášky č.453/2012 Sb. vyšší než požadovaných 75 %.

Pro výrobu zbylého tepla slouží plynový kondenzační kotel. Potřebné teplo

$$Q_{\text{kotel}} = 1\,200 - 993 = 207 \text{ MWh [MWh; MWh; MWh]} \quad (4.61)$$

Po převodu

$$Q_{\text{kotel}} = 207 \times 3,6 \approx 745 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.62)$$

Doba provozu plynového kondenzačního kotle

$$t_{\text{kotel}} = \frac{207}{0,311} \approx 666 \text{ hod [hod; MWh; MW]} \quad (4.63)$$

Spotřeba plynu pro plynový kondenzační kotel za rok

$$V_{\text{kotel}} = 666 \times 31 = 20\,646 \text{ m}^3 \text{ [m}^3 \text{; hod; m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (4.64)$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{\text{kotel,spal}} = 20\,646 \times 9,5 \approx 196 \text{ MWh [MWh; m}^3 \text{; kWh. m}^{-3}] \quad (4.65)$$

Po převodu

$$Q_{\text{kotel,spal}} = 196 \times 3,6 \approx 706 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.66)$$

V tabulce (tab. 29) jsou uvedeny roční hodnoty pro plynový kondenzační kotel.

Doba provozu	666 hodin	
Tepelný výkon	311 kW	
Výroba tepla	207 MWh	745 GJ
Spotřeba plynu	196 MWh	706 GJ

Tab. 29 Roční hodnoty plynového kondenzačního kotle pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody

4.3.4 Energetická bilance

4.3.4.1 Elektrická energie

Veškerá produkce elektrické energie z kogenerační jednotky bude užita pro vlastní spotřebu průmyslového areálu. Cena spotřebované elektrické energie spotřebované v průmyslovém areálu bude hodnocena podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

Celkový výnos za vyrobenou elektrickou energii z kogenerační jednotky tj. 605 MWh za dobu provozu bude přibližně:

$$C_{el} = 605 \times 3\,009 = 1\,820\,445 \text{ Kč [Kč; MWh; Kč. MWh}^{-1}] \quad (4.67)$$

4.3.4.2 Teplo

Teplo vyprodukované kogeneračními jednotkami bude využíváno pouze pro ohřev teplé vody průmyslového areálu. Množství vyrobeného tepla a instalovaný výkon nejsou ovšem dostačující, tak musí být instalován plynový kotel pro pokrytí špiček a k případné nečinnosti kogeneračních jednotek. Stávající zdroj tepla bude ponechán jako studená záloha pro případ poruchy nebo dlouhodobé odstávky kogeneračních jednotek a plynového kotle.

Náklady na zemní plyn pro kogenerační jednotky a plynový kondenzační kotel jsou také oceněny podle současné (2015) průměrné kupní ceny.

$$C_t = (1\,724 + 196) \times 575 = 1\,104\,000 \text{ Kč [Kč; MWh; MWh; Kč. MWh}^{-1}] \quad (4.68)$$

4.3.4.3 Úspory

Pro výpočet úspory primárních zdrojů v energetickém ekvivalentu GJ se zvažuje zavedený empirický koeficient na úrovni 2,9 až 3,2 (dle MPO³⁰), který se vynásobí vyprodukovanou elektrickou energií.

$$Q_U = 605 \times 3,05 \approx 1\,845 \text{ GJ [GJ; MWh; GJ. MWh}^{-1}] \quad (4.69)$$

³⁰ Faktory primární energie a jejich stanovení. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Praha: SEVEN, 2013 [cit. 2016-04-24].

4.3.5 Ekonomika

4.3.5.1 Rozpis

Investice	Počet	Cena za kus	Cena celkem
Kogenerační jednotka Viessmann Vitobloc 200 EM-70/115	1 ks	2 865 000 Kč/ks	2 865 000 Kč
Stavební úpravy	1 ks	1 500 000 Kč/ks	1 500 000 Kč
Elektro - Silnoproud			
Elektro - Slaboproud			
Elektro - MaR			
Akumulační nádrže			
Plynový kotel Vitocrossal 200 CM2B	1 ks	563 000 Kč/ks	563 000 Kč
Regulační stanice plynu	1 ks	1 962 000 Kč/ks	1 962 000 Kč
Náklady	Hodin provozu	Cena za hod	
Servisní náklady	8 640 hodin	200 Kč/hod	1 728 000 Kč
Nákup energií	Množství	Cena za MWh	
Zemní plyn	1 920 MWh	575 Kč/MWh	1 104 000 Kč
Úspory	Množství	Cena za jednotku	
CZT - rezervovaný výkon	500 kW	1 230 Kč/kW	615 330 Kč
CZT - odebrané množství	4 200 GJ	299 Kč/GJ	1 257 060 Kč
Elektrická energie	605 MWh	3 090 Kč/MWh	1 869 450 Kč
Rezervovaný výkon	Výkon	Cena za rezervovaný výkon	
Snížení rezervovaného výkonu po dobu topné sezóny	70 kW	1 091 Kč/kW	76 435 Kč

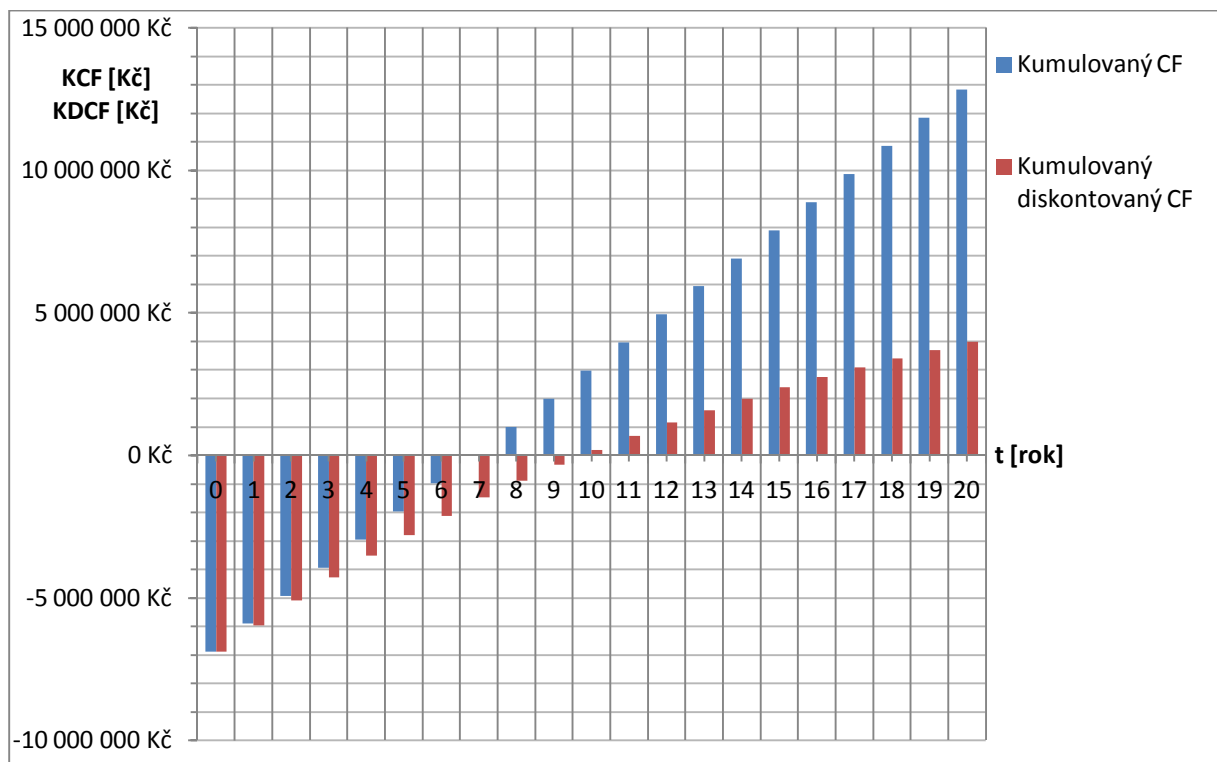
Tab. 30 Ekonomický rozpis pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody

4.3.5.2 Souhrn

Souhrn	Cena bez DPH
Celkové investice	6 890 000 Kč
Celkové roční výnosy	3 818 275 Kč
Celkové roční náklady	2 832 000 Kč

Tab. 31 Celkový ekonomický souhrn pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody

4.3.5.3 Výsledný graf



Graf 11 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro ohřev teplé vody pro trvalý provoz

Závěr

Záměrem diplomové práce bylo vytvořit návrh pro nasazování kogeneračních jednotek v průmyslovém areálu a zjistit jejich ekonomickou rentabilitu v průběhu jejich životnosti. Byly vytvořeny čtyři varianty, jak lze kogenerační jednotky nasadit. Základním kritériem při projektování kogeneračních jednotek byl primárně odběr vygenerovaného tepla a vyrobená elektřina sloužila pro spotřebu v průmyslovém areálu a k vylepšení energetické bilance.

Při návrhu celého systému se muselo primárně vycházet z nutnosti spotřebovávat vyrobené teplo z kogeneračních jednotek, ale zároveň by měly kogenerační jednotky pokrýt základní tepelnou zátěž. Toho se dá docílit dvěma způsoby, které se v praxi osvědčily a používají.

V prvním případě se kogenerační jednotky navrhnu s velkým tepelným výkonem a s patřičně dimenzovanou akumulací tepla. Tato metoda je finančně nákladnější. Výhodou ovšem je zelený bonus, protože kogenerační jednotky pracují pouze několik hodin denně a tím dosáhneme při velkém instalovaném výkonu vysokých finančních zisků. Další výhodou je menší instalovaný výkon dalšího tepelného zdroje.

V druhém případě se kogenerační jednotky navrhnu s menším tepelným výkonem. V tomto případě není nutná příliš velká tepelná akumulace, protože kogenerační jednotky pracují kontinuálně a teplo dodávají neustále. Nevýhodou je nutnost instalovat další větší tepelný zdroj nebo další kogenerační jednotku. V tomto provedení se také nabízí možnost snížit rezervovaný elektrický výkon o výkon kogenerační jednotky.

Vyrozená elektrická z obou provedení se spotřebovává přímo v průmyslovém areálu a nedochází k jejich prodeji do distribuční sítě. Celkové množství vyrobené elektrické energie není zanedbatelné a velkou měrou přispívá k návratnosti celé instalace.

V diplomové práci se pracovalo se čtyřmi variantami použití kogeneračních jednotek:

- Dvě kogenerační jednotky v topné sezóně v přerušovaném provozu
- Dvě kogenerační jednotky v topné sezóně, která kogenerační jednotka s menším výkonem pracovala trvale a druhá pracovala v přerušovaném provozu
- Jedna kogenerační jednotka pro celoroční ohřev teplé vody v přerušovaném provozu
- Jedna kogenerační jednotka pro celoroční ohřev teplé vody s menším výkonem pro trvalý provoz

Ve všech čtyřech provedeních kogenerační jednotky nebyly schopny pokrýt celou spotřebu tepla a bylo nutné instalovat další tepelné zdroje. Kogenerační jednotky se nenavrhují na celý rozsah tepelné zátěže. Při malé tepelné zátěži rapidně klesá účinnost kogenerační jednotky. Při nadměrném přetěžování by docházelo k rychlému poklesu životnosti jejich části kogenerační jednotky a k ekonomickým ztrátám vlivem větších servisních nákladů.

Cílem diplomové práce nebylo pouze ukázat správný postup při návrhu kogeneračních jednotek, ale poukázat i na ekonomickou stránku celé instalace. V následující tabulce (tab. 32) je zřetelně vidět, že všechny čtyři varianty jsou návratné. V případě použití kogeneračních jednotek pro vytápění průmyslového areálu je investice vysoce zisková. Na tomto výsledku se z velké části podílí úspory za nákup a distribuci elektrické energie, kterou si průmyslový areál vyrábí v kogeneračních jednotkách.

Aplikace	Investice [mil. Kč]	Roční výnosy [mil. Kč]	Roční náklady [mil. Kč]	Prostá doba splacení [rok]	Diskontovaná doba splacení [rok]	KCF po 20 letech [mil. Kč]	KDCF po 20 letech [mil. Kč]
Topná sezóna - přerušovaný provoz	41,310	27,991	12,470	3,5	4,1	194,321	88,505
Topná sezóna - trvalý provoz	31,610	26,874	13,572	2,4	2,6	234,433	114,965
Ohřev teplé vody - přerušovaný provoz	11,317	4,770	1,906	3,9	4,25	45,969	20,243
Ohřev teplé vody - trvalý provoz	6,890	3,818	2,832	7	9,5	12,835	3,977

Tab. 32 Celkový ekonomický přehled všech variant zapojení kogeneračních jednotek

Při instalaci kogenerační jednotky v průmyslovém areálu získáváme i velkou výhodu v případě výpadku elektrické sítě. Kogenerační jednotka se stává záložním zdrojem, který je schopen po neomezenou dobu dodávat elektrickou energii do sítě areálu. Pro případné použití v tomto provedení se musí ovšem provést nezbytné úpravy v rozváděčích a rozdělit zátěž, kterou chceme zálohovat. Dále je nutné nainstalovat nouzové chladiče, které by kogenerační jednotku chladily. Kogenerační jednotky spalující zemní plyn mají nevýhodu při použití v tomto provedení. Mají dlouhou regulační smyčku a z toho vyplývá dlouhá doba regulace výstupního elektrického výkonu.

Kogenerační jednotky jsou v současné době jediným nástrojem efektivní výroby elektrické energie a tepla. Instalaci v průmyslovém areálu se stávají účinným nástrojem snižování závislosti na dodávkách z velkých centrálních zdrojů. Dále působí pozitivně na ekonomické hospodaření v celém průmyslovém areálu. V neposlední řadě mají pozitivní vliv na životní prostředí.

Seznamy

Seznam použitých obrázků

- Obr. 1 Jednoduchý příklad aplikace kogenerace
- Obr. 2 Princip synchronního stroje
- Obr. 3 Principiální schéma parní protitlakové turbíny
- Obr. 4 Principiální schéma parní odběrové turbíny
- Obr. 5 Principiální schéma plynové turbíny
- Obr. 6 Principiální schéma paroplynového cyklu
- Obr. 7 Principiální schéma spalovacího pístového motoru
- Obr. 8 Principiální schéma mikroturbíny
- Obr. 9 Principiální schéma Stirlingova motoru
- Obr. 10 Principiální schéma ORC
- Obr. 11 Principiální schéma palivového článku
- Obr. 12 Dispozice průmyslového areálu
- Obr. 13 Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KVET do 5MW_e

Seznam použitých tabulek

- Tab. 1 Spotřeba elektrické energie a celkové náklady na nákup
- Tab. 2 Průměrné měsíční elektrické zatížení
- Tab. 3 Dodané teplo na vytápění
- Tab. 4 Dodané teplo pro ohřev teplé vody
- Tab. 5 Souhrn vstupních energií
- Tab. 6 Náklady na výstavbu regulační stanice plynu
- Tab. 7 Provozní hodnoty CAT CG170-12
- Tab. 8 Provozní hodnoty Viessmann Vitomax a hořák Weishaupt
- Tab. 9 Roční hodnoty CAT CG170-12 v přerušovaném režimu v topné sezóně
- Tab. 10 Roční hodnoty plynové kotle pro přerušovaný provoz v topné sezóně
- Tab. 11 Ekonomický rozpis pro přerušovaný provoz v topné sezóně
- Tab. 12 Celkový ekonomický souhrn pro přerušovaný provoz v topné sezóně
- Tab. 13 Provozní hodnoty Viessmann Vitobloc 200 EM-238/363
- Tab. 14 Provozní hodnoty Viessmann Vitocrossal a hořák MatriX
- Tab. 15 Roční hodnoty EM-238/363 v přerušovaném režimu pro ohřev teplé vody
- Tab. 16 Roční hodnoty plynové kondenzační kotle pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody
- Tab. 17 Ekonomický rozpis pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody
- Tab. 18 Celkový ekonomický souhrn pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody

- Tab. 19 Provozní hodnoty Viessmann Vitobloc 200 EM-401/549
- Tab. 20 Provozní hodnoty CAT CG170-12
- Tab. 21 Provozní hodnoty Viessmann Vitomax a hořák Weishaupt
- Tab. 22 Roční hodnoty CAT CG170-12 a Vitobloc 200 EM-401/549 v trvalém režimu v topné sezóně
- Tab. 23 Roční hodnoty plynového kotle pro trvalý provoz v topné sezóně
- Tab. 24 Ekonomický rozpis pro trvalý provoz v topné sezóně
- Tab. 25 Celkový ekonomický souhrn pro trvalý provoz v topné sezóně
- Tab. 26 Provozní hodnoty Vitobloc 200 EM-70/115
- Tab. 27 Provozní hodnoty Viessmann Vitocrossal
- Tab. 28 Roční hodnoty Vitobloc 200 EM-70/115 v trvalém režimu pro ohřev teplé vody
- Tab. 29 Roční hodnoty plynového kondenzačního kotle pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody
- Tab. 30 Ekonomický rozpis pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody
- Tab. 31 Celkový ekonomický souhrn pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody
- Tab. 32 Celkový ekonomický přehled všech variant zapojení kogeneračních jednotek

Seznam použitých grafů

- Graf 1 Průměrní měsíční elektrické zatížení
- Graf 2 Dodané teplo na vytápění
- Graf 3 Dodané teplo pro ohřev teplé vody
- Graf 4 Sled použití jednotlivých zařízení pro přerušovaný provoz v topné sezóně
- Graf 5 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro topnou sezónu pro přerušovaný provoz
- Graf 6 Sled použití jednotlivých zařízení pro přerušovaný provoz pro ohřev teplé vody
- Graf 7 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro ohřev teplé vody pro přerušovaný provoz
- Graf 8 Sled použití jednotlivých zařízení pro trvalý provoz v topné sezóně
- Graf 9 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro topnou sezónu pro trvalý provoz
- Graf 10 Sled použití jednotlivých zařízení pro trvalý provoz pro ohřev teplé vody
- Graf 11 Kumulovaný a kumulovaný diskontovaný CF pro ohřev teplé vody pro trvalý provoz

Seznam příloh

Příloha č. 1 CAT CG170-12

Příloha č. 2 Vitobloc 200 EM-70/115

Příloha č. 3 Vitobloc 200 EM-238/363

Příloha č. 4 Vitobloc 200 EM-401/549

Příloha č. 5 Vitocrossal 200 CM2B 311kW

Příloha č. 6 Vitomax 200 HW M236

Příloha č. 7 Weishaupt WM-G20/2-A ZM-3LN

Příloha č. 8 Elektrické schéma - topná sezona - přerušovaný provoz

Příloha č. 9 Elektrické schéma - ohřev teplé vody - přerušovaný provoz

Příloha č. 10 Elektrické schéma - topná sezona - trvalý provoz

Příloha č. 11 Elektrické schéma - ohřev teplé vody - trvalý provoz

Příloha č. 12 Technologické schéma - topná sezóna - přerušovaný provoz

Příloha č. 13 Technologické schéma - ohřev teplé vody - přerušovaný provoz

Příloha č. 14 Technologické schéma - topná sezóna - trvalý provoz

Příloha č. 15 Technologické schéma - ohřev teplé vody - trvalý provoz

Příloha č. 16 Tabulka - ekonomika - topná sezóna - přerušovaný provoz

Příloha č. 17 Graf - ekonomika - topná sezóna - přerušovaný provoz

Příloha č. 18 Tabulka - ekonomika - ohřev teplé vody - přerušovaný provoz

Příloha č. 19 Graf - ekonomika - ohřev teplé vody - přerušovaný provoz

Příloha č. 20 Tabulka - ekonomika - topná sezóna - trvalý provoz

Příloha č. 21 Graf - ekonomika - topná sezóna - trvalý provoz

Příloha č. 22 Tabulka - ekonomika - ohřev teplé vody - trvalý provoz

Příloha č. 23 Graf - ekonomika - ohřev teplé vody - přerušovaný provoz

Zdroje

- [1] Anaerobní technologie. *BIOPROFIT* [online]. Lišov, 2007 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [2] Cenové rozhodnutí pro podporované zdroje energie. *Energetický regulační věstník ERÚ* [online]. Jihlava: ERÚ, 2015 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462898/151229_CR_POZE_9_2015.pdf/e8c97a46-2870-47c6-9f11-8f4a97145ab1
- [3] Dlouhý Tomáš. Kotelny a kogenerační jednotky. *ČVUT Praha FSI Ústav mechaniky tekutin a energetiky Odbor tepelných a jaderných energetických zařízení* [online]. Praha: ČVUT FSI, 2001 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>
- [4] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [5] Ekonomika v elektroenergetice. *ČVUT Praha FEL Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd* [online]. Praha: ČVUT FEL, 2016 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://ekonom.feld.cvut.cz/cs/student/predmety/ekonomika-v-elektroenergetice>
- [6] Elektroenergetika 1. *Powerwiki* [online]. Praha: ČVUT, 2016 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/wiki/EN1>
- [7] European Cogeneration Roadmap. *CODE 2 Cogeneration Observatory and Dissemination Europe* [online]. EU, 2015 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.code2-project.eu/wp-content/uploads/CODE-2-European-Cogeneration-Roadmap.pdf>
- [8] Faktory primární energie a jejich stanovení. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Praha: SEVEN, 2013 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/ef13_3122_seven_fatory-primarni-energie.pdf
- [9] IBLER, Zbyněk. *Technický průvodce energetika*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.
- [10] Karafiát Josef a kolektiv. Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Praha: ORTEP, 2006 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>
- [11] Kogenerace, mikrokogenerace - kombinovaná výroba tepla a elektrické energie. *Mikrokogenerace* [online]. 2013 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://mikrokogenerace.blogspot.cz/>

- [12] Kogenerační jednotky. *KARLA ENERGIZE* [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.karlaenergize.com/ckfinder/userfiles/files/KARLA%20ENERGIZE%202015%20CZ.pdf>
- [13] Kombinovaná výroba. *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET, kogenerace)* [online]. Praha: Teplárenské sdružení České republiky, 2016 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/>
- [14] Mikroturbína Capstone C200. *GASCONTROL* [online]. Havířov, 2006 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.gascontrol.cz/produkty/spalovaci-mikroturbiny-c200.html>
- [15] Palivové články. *TriHyBus - Vodíkový autobus s palivovými články* [online]. Řež: TriHyBus.cz, 2008 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.h2bus.cz/palivove-clanky>
- [16] Plán rozvoje kogenerace pro Českou republiku. *CODE2 Cogeneration Observatory and Dissemination Europe* [online]. EU, 2014 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: http://www.code2-project.eu/wp-content/uploads/D2.2-Cogeneration-raodmap-NPMS-CZ-Summary-2014-11-28_CZ2.pdf
- [17] SIEC / MPH Architects. *ArchDaily - the world's most visited architecture website* [online]. USA: ArchDaily, 2014 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.archdaily.com/517253/siec-mph-architects>
- [18] Viessmann. *Viessmann - topné systémy, průmyslové systémy, chladicí systémy* [online]. Praha: Viessmann, 2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/>
- [19] VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. *Elektromechanické měniče*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04875-7.
- [20] Zeppelin. *Zeppelin - WE CREATE SOLUTIONS* [online]. Praha: Zeppelin CZ, 2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://zeppelin.cz/cs/site/uvodni-strana.htm>