



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KOGENERACE

COGENERATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETRA KRČÁLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KRACÍK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petra Krčálová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kogenerace

v anglickém jazyce:

Cogeneration

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je problematika kombinované výroby elektřiny a tepla.

Cíle bakalářské práce:

- popište hlavní principy a uplatnění kogenerace
- porovnejte různé druhy výroby elektřiny a tepla
- navrhnete kogenerační jednotku pro konkrétní objekt
- zhodnotíte provoz konkrétní kogenerační jednotky

Seznam odborné literatury:

VORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-7300-118-7.

KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. Zásobování teplem a kogenerace. Vyd. 1. Brno: PC-DIR Real, 1999, 143 s. ISBN 80-214-1347-6.

KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. 1. vyd. Brno: PC DIR, 1997, 100 s. ISBN 80-214-0889-8.

Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Kracík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 16.10.2013



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce na téma Kogenerace se zabývá návrhem kogenerační jednotky pro konkrétní objekt. V první části práce je teoretický úvod o významu kogenerace, čím je výhodná či nevýhodná, možnosti využití a popisu technologií kogeneračních zařízení. Druhá část práce obsahuje samotný návrh kogenerační jednotky pro několik různých variant pokrytí spotřeby energií. Pro následné zvolení nejvhodnější kogenerační jednotky a současně nejvýhodnější investice je vycházeno z ekonomického zhodnocení, kde ceny za jednotlivé placené položky energií jsou stanoveny podle hodnoty na burze a vyhlášky ERU pro roky 2013 a 2014.

ABSTRACT

The bachelor thesis describes the design of CHP (combined heat and power) co-generation unit for a particular object. The first part of the thesis is a theoretical introduction to the importance of co-generation its advantages and / or disadvantages, the possibilities of its use and description of the technology of co-generation plants. The second part of the thesis contains the entire design of cogeneration unit for several different types of the coverage of energy needed. The economic evaluation was used (with prices paid for individual energies are determined by the ERU for 2013 and 2014) to select the most suitable type of the co-generation unit and therefore the best investment.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kogenerace, kogenerační jednotka, návrh kogenerační jednotky, ekonomické zhodnocení

KEY WORDS

Cogeneration, CHP unit, the design of cogeneration units, economic evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRČÁLOVÁ, P. *Kogenerace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kracík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Kogenerace vypracovala samostatně na základě použité literatury uvedené v seznamu a odborných konzultací pod vedením Ing. Petra Kracíka.

V Brně, dne

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Kracíkovi za odborné vedení, cenné rady, připomínky a věnovaný čas při tvorbě této práce. Dále bych ráda poděkovala panu Richardu Švejdovi za poskytnuté materiály pro výpočtovou část práce a firmě TEDOM za detailní informace o jejich produktech.

Děkuji.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 PRINCIP A VYUŽITÍ KOMBINOVANÉ VÝROBY ENERGÍÍ.....	10
1.1 Pojem kogenerace.....	10
1.2 Snížení spotřeby primární energie při KVET.....	10
1.3 Zásobování teplem z KVET.....	11
1.4 Výhody a nevýhody.....	11
1.5 Možnosti použití kogenerace.....	12
1.5.1 Kogenerace využívající zemní plyn.....	12
1.5.2 Kogenerace pro obnovitelné a druhotné zdroje energie.....	13
2 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA.....	14
2.1 Charakteristické parametry kogeneračních jednotek.....	14
2.1.1 Teplárenský modul.....	14
2.1.2 Účinnost – elektrická, tepelná a celková.....	14
2.2 Technologie kogeneračních jednotek.....	15
2.2.1 Spalovací motory.....	15
2.2.2 Parní turbíny.....	15
2.2.3 Spalovací turbíny.....	16
2.2.4 Stirlingův motor.....	16
2.2.5 Palivové články.....	17
2.2.6 Organický Rankinův cyklus.....	17
2.3 Porovnání technologií kogeneračních jednotek.....	17
2.4 Konstrukční uspořádání.....	18
3 POSTUP PŘI NÁVRHU KOGENERAČNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	20
4 NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY PRO PRŮMYSLOVÝ PODNIK.....	20
4.1 Popis objektu.....	20
4.2 Spotřeba elektrické energie a tepla.....	21
4.3 Varianty pokrytí energií.....	24
4.3.1 Pokrytí spotřeby TUV.....	24
4.3.2 Pokrytí spotřeby elektřiny.....	26
4.3.3 Pokrytí spotřeby tepla.....	28
4.4 Ekonomické zhodnocení.....	31
4.4.1 Náklady za energie bez KJ.....	31
4.4.2 Náklady za energie s KJ.....	34
4.4.3 Návratnost.....	38
ZÁVĚR.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Porovnání oddělené a kombinované výroby elektrické energie a tepla.....	11
Obr. 2	Použití kogenerační jednotky v hotelu.....	13
Obr. 3	Použití kogenerační jednotky v bioplynové stanici a na skládce odpadu.....	13
Obr. 4	Konstrukční uspořádání kogenerační jednotky.....	18
Obr. 5	Typ provedení KJ a) uložení v rámu; b) uložení v kontejneru.....	19
Obr. 6	Současná kotelna objektu.....	21
Obr. 7	Průběh spotřeby tepla.....	22
Obr. 8	Průběh spotřeby elektrické energie.....	23
Obr. 9	Zatížení kogenerační jednotky během roku.....	27
Obr. 10	Rozložení provozu kogeneračních jednotek pro pokrytí spotřeby tepla.....	29
Obr. 11	Vývoj cen energií pro rok 2014.....	32
Obr. 12	Náklady za elektřinu.....	33
Obr. 13	Náklady za plyn.....	33
Obr. 14	Celkové náklady na energie a přínosy pro navržené varianty s KJ.....	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Vlastnosti a použití spalovacích motorů.....	15
Tab. 2	Vlastnosti a použití parních turbín.....	15
Tab. 3	Vlastnosti a použití spalovacích turbín.....	16
Tab. 4	Vlastnosti a použití Stirlingova motoru.....	16
Tab. 5	Vlastnosti a použití palivových článků.....	17
Tab. 6	Vlastnosti a použití ORC.....	17
Tab. 7	Parametry pohonných jednotek využívaných pro kogeneraci.....	18
Tab. 8	Roční spotřeba elektřiny, zemního plynu a tepla.....	21
Tab. 9	Přehled hodnot zjištěných interpolací.....	23
Tab. 10	Základní technické údaje KJ TEDOM Cento T160.....	25
Tab. 11	Základní technické údaje KJ TEDOM Cento T120.....	26
Tab. 12	Základní technické údaje KJ TEDOM Quanto D1200 a D400.....	28
Tab. 13	Souhrn hodnot pro zvolené varianty pokrytí.....	31
Tab. 14	Celkové náklady za energie bez KJ pro rok 2013.....	32
Tab. 15	Celkové náklady za energie bez KJ pro rok 2014.....	33
Tab. 16	Náklady na energie s KJ při pokrytí TUV.....	35
Tab. 17	Náklady na energie s KJ při pokrytí spotřeby elektřiny.....	36
Tab. 18	Náklady na energie s KJ při pokrytí tepla.....	37
Tab. 19	Ceny kogeneračních jednotek TEDOM.....	38
Tab. 20	Zhodnocení návratnosti pro navržené varianty.....	38

ÚVOD

V současné době již víme, že s budoucím nárůstem populace bude i větší poptávka po energiích. To je způsobeno potřebou komfortního stylu života každého z nás, kdy své domovy vybavujeme stále větším počtem elektrických spotřebičů, klimatizací a podobně. Problémem ovšem je, že většina výroby energií pochází z neobnovitelných zdrojů energie, jejichž dostupnost je omezená. I přes značný nárůst výroby energií z obnovitelných zdrojů, je stále potřeba s fosilním palivem šetřit. Proto je vhodná kogenerace, která díky nízkým ztrátám dokáže maximálně využít vstupní palivo. Dříve byla kogenerace využívána kvůli vysoké ceně hlavně ve velkých teplárnách pro centralizovanou zásobu tepla. Nyní se díky novějším technologiím stala cenově dostupnější i pro decentralizované zásobování teplem a s možností čerpání dotace umožní i běžným spotřebitelům jako jsou rodinné domy šetřit finanční úspory na výdaje za nákup energií.

Proto jsem si vybrala průmyslový objekt, který se v současné době zabývá úvahou o rekonstrukci kotelny. Ta má velké výdaje za výrobu tepla a proto by kogenerace mohla být vhodnou variantou jak celkově ušetřit na energiích. Protože díky možnosti vlastní výroby elektřiny tak vznikne finanční úspora na její nákup. Proto cílem mé práce bude zvolení nejvhodnější kogenerační jednotky, aby bylo docíleno budoucích nižších nákladů na nákup energií a co nejrychlejší návratnosti investice do kogeneračního zařízení.

V teoretické části práce se zaměřím na princip kombinované výroby energií, její výhody a nevýhody a možnostmi nasazení v různých oblastech využívajících teplo či chlad. Dále bude rozebrána technologie kogeneračních zařízení včetně základních charakteristických parametrů, podle kterých se dále bude postupovat pro návrh kogenerační jednotky. Na to bude navazovat výpočtová část s návrhem několik možných variant pokrytí spotřeby energií objektu. Cílem práce je pak z následujícího ekonomické zhodnocení navrhnout nejvhodnější možnou variantu.

1 PRINCIP A VYUŽITÍ KOMBINOVANÉ VÝROBY ENERGIÍ

1.1 Pojem kogenerace

Kogenerace neboli kombinovaná výroba energií transformuje jednu formu energie na dva různé druhy energií. Nejčastěji jde o transformaci vstupního (primárního) paliva na energii elektrickou a tepelnou – kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET). Jde tak o vysoce účinný a zároveň ekologický způsob výroby elektřiny, který efektivně dokáže využít odpadní teplo pro další účely. Je tak využita maximálně energie vstupního paliva a snižují se ztráty oproti transformaci energií oddělenou formou. Princip kogenerace bude dále podrobněji rozebrán.

1.2 Snižování spotřeby primární energie při KVET

Pro názorné porovnání účinnosti výroby energií oddělenou formou byly vybrány konkrétní energetické provozy. Zástupcem pro výrobu elektrické energie je kondenzační elektrárna Tušimice II spalující hnědé uhlí. Tato elektrárna prošla v letech 2007 až 2010 modernizací, před kterou byla její elektrická účinnost 33 – 34 %. Nyní po celkové modernizaci všech 4 bloků elektrárny je uváděna maximální účinnost bloku 38,64 %. [17]

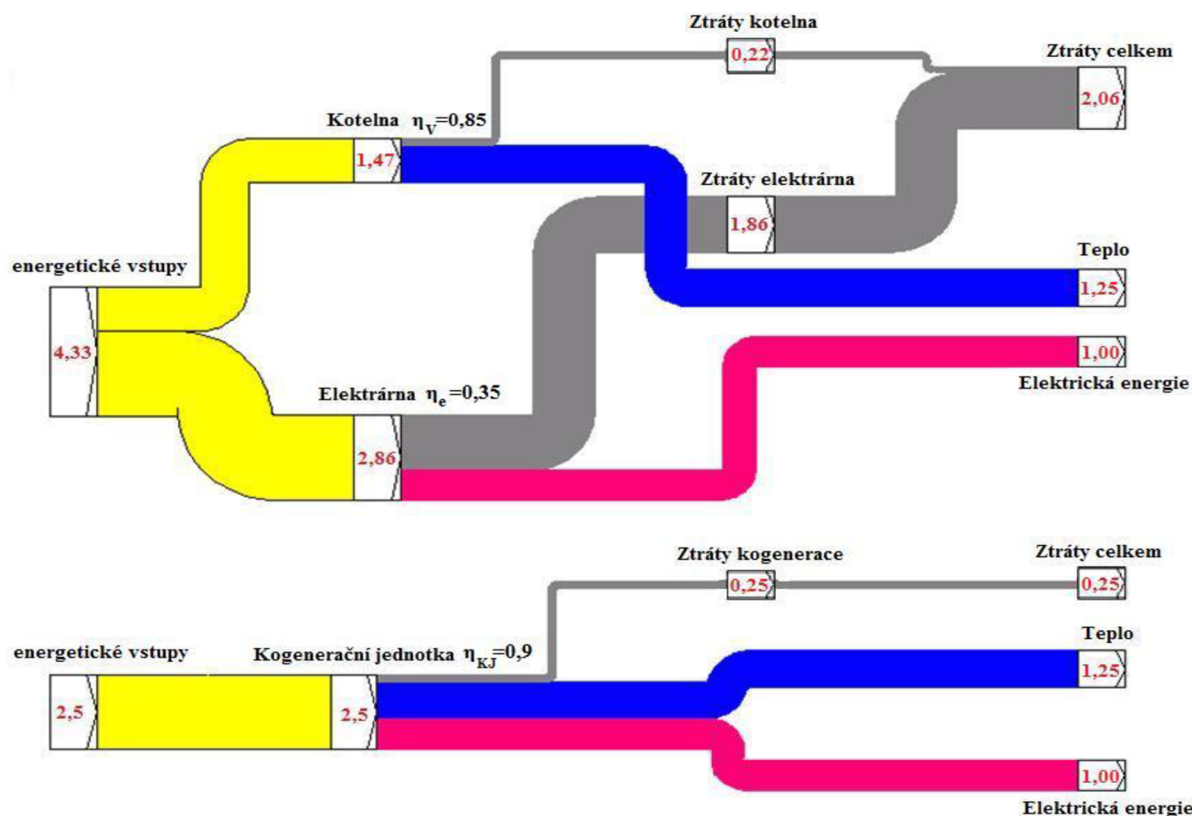
Oproti tomu při výrobě tepla v Pražské výtopně Krč, kde je jako vstupní palivo využito zemní plyn, je účinnost instalovaných kotlů 87 %. [18] Tyto účinnosti jsou dány druhem použité technologie a palivem. Při výrobě elektrické energie v kogenerační jednotce je dosaženo elektrické účinnosti opět okolo 33 %, ale odpadní teplo je dále využito například na vytápění. Díky tomu je dosaženo celkové účinnosti kogenerační jednotky okolo 85 %, kde výrobce TEDOM u jednotky Micro T30 dokonce udává celkovou účinnost 95 %. [2]

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla v jednom zařízení se vyznačuje vysokou mírou využití vstupního paliva. Při porovnání dodávky tepla a elektrické energie do budovy ze dvou oddělených výroben – kotelny a elektrárny – a z jediného zdroje s kombinovanou výrobou je zřejmé snížení energetických ztrát při výrobě. [11]

Na obrázku 1 je znázorněno porovnání dodávky tepla a elektřiny do objektu z kogenerační jednotky a ze dvou oddělených výroben. V obou případech je konečná spotřeba energií číselně stejná, ale liší se spotřeba paliva. Procentuální úsporu vstupního paliva v kogeneraci je možné vypočítat z rovnice (1). Úspora vstupního paliva pro tento příklad je 42 %, ale nejsou zde uvažovány energetické ztráty v rozvodech, ani rozdílné teplotní úrovně při výrobě tepla. [11]

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{H_{\eta}}{\text{Ref } H_{\eta}} + \frac{E_{\eta}}{\text{Ref } E_{\eta}}} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1}{\frac{0,5}{0,85} + \frac{0,4}{0,35}} \right) \cdot 100 = 42 \% \quad (1)$$

kde:	PES	[%]	úspora primární energie,
	H_{η}	[%]	tepelná účinnost při kombinované výrobě,
	E_{η}	[%]	elektrická účinnost při kombinované výrobě,
	Ref H_{η}	[%]	účinnost oddělené výroby tepla,
	Ref E_{η}	[%]	účinnost oddělené výroby elektřiny. [12]



Obr. 1 Porovnání oddělené a kombinované výroby elektrické energie a tepla [11]

1.3 Zásobování teplem z KVET

System zásobování teplem je možné členit na centralizované a decentralizované. Při centralizovaném zásobování teplem (CZT) se teplo odběratelům (jednotlivým objektům) přivádí ze společného zdroje tepelnou sítí. Pokud CZT využívá kogeneraci je častěji používán název teplárenství, kde součet teplených výkonů zdrojů v jedné lokalitě dosahuje jednotek až stovek MW_t.

Decentralizované (lokální) zásobování teplem (DZT) obvykle není napojeno na rozsáhlou teplárenskou soustavu, ale je zajišťováno buď objektovými kotelny, nebo pomocí individuálních topidel. Kogeneraci při DZT je možné dále dělit na decentralizovanou kogeneraci o elektrickém výkonu v řádu desítek až stovek kW a na mikrokogeneraci s elektrickým výkonem od 1 kW maximálně do 50 kW využívanou pro rodinné domy. [13]

Dále v této práci bude rozebírána pouze decentralizovaná kogenerace a mikrokogenerace, včetně popisu a porovnání využívaných technologií, které jsou v kapitole 2.

1.4 Výhody a nevýhody

Vzhledem k pokroku technologií už kogenerační jednotky nejsou využívány pouze pro CZT v teplárnách o velkých výkonech, ale jsou dostupné i pro menší objekty jako jsou rodinné domy. To má velké výhody, například možnost umístění blízko spotřebitele se tak sníží energetické ztráty v rozvodech vzniklé při dopravě. Při výpadku proudu může kogenerační jednotka sloužit jako záložní zdroj elektrické energie. Pokud je vyrobeno více elektřiny, než spotřebitel využije, je možné přebytečnou elektřinu prodávat do veřejné sítě.

V letních obdobích je velkou výhodou využívání tzv. trigenerace, při které je mimo elektrické energie a tepla vyráběn také chlad. Ke kogenerační jednotce je napojen chladicí agregát, tzv. absorpční jednotka, která pro výrobu chladu využívá z velké části teplo, které by jinak bylo nutně mařit. [4]

I když má kogenerace mnoho výhod, stále je to velká investice, obzvláště pro malé objekty, protože ceny kogeneračních jednotek se pohybují od 500 000 Kč (cena je závislá na velikosti a výkonu kogenerační jednotky). Návratnost takové investice je závislá na využití vyrobené elektrické a tepelné energie. Při pořizování kogenerační jednotky je nutné také uvažovat o vhodném prostoru, ve kterém budou jednotky umístěny, protože jsou dost hlučné a je nutná i ochrana proti hluku, popřípadě proti vibracím.

1.5 Možnosti použití kogenerace

Instalace kogenerační jednotky je vhodná pro objekty, které využívají odběr tepelné energie po celý rok, například odběr teplé vody nebo chladu přes letní období. Dále vzhledem k výkonu nejmenší nabízené kogenerační jednotky je nutné splnit minimální odběr paliva určeného pro vytápění, například zemního plynu, kde odběr musí být vyšší než 6000 m³. Pro lepší využití vyrobeného tepla je možné kogenerační jednotku spojit s vhodnou akumulací nádrží, která umožňuje využívat vyrobené teplo i v době, kdy jednotka není v provozu. [2]

Kogenerační jednotky jako palivo mohou využívat různé zdroje energií. Nejčastěji jsou využívány plynná paliva a to zemní plyn nebo bioplyn, ale v malém množství i kapalná paliva například topné oleje nebo motorová nafta. [3]

1.5.1 Kogenerace využívající zemní plyn

Využití zemního plynu je vhodné díky dobré dostupnosti zdroje a relativně jednoduchému napojení kogenerační jednotky. Proto je možné je využít od malých domácností až po velké průmyslové komplexy.

Místa použití [2]:

- rodinné domy
- hotely a penziony, internáty a vysokoškolské koleje
- nemocnice
- zahradnické centra
- administrativní budovy a školy
- sportovní centra
- obchodní domy
- průmyslové podniky
- vytápny a systém centrálního zásobování teplem



Obr. 2 Použití kogenerační jednotky v hotelu [2]

1.5.2 Kogenerace pro obnovitelné a druhotné zdroje energie

Mezi obnovitelné a druhotné zdroje energie patří bioplyn, který nejčastěji využívají objekty, které k nim mají nejbližší, jako například doly, které využívají důlní plyn. Využíván je hlavně plyn skládkový, důlní, z komunálních čistíren odpadních vod a ze zemědělské výroby.

Místa použití [2]:

- zemědělské podniky
- čistírny odpadních vod
- skládky komunálního odpadu
- spalovny komunálního odpadu
- doly



Obr. 3 Použití kogenerační jednotky v bioplynové stanici a na skládce odpadu [26]

2 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA

2.1 Charakteristické parametry kogeneračních jednotek

2.1.1 Teplárenský modul

Teplárenský modul KVET nám určuje poměr mezi elektrickým výkonem tepelného stroje a dodávaným tepelným výkonem za určité časové období. Jeho hodnota se liší podle použité technologie. Jejich porovnání je uvedeno v tabulce 1.

$$e = \frac{E}{Q_d} \quad (2)$$

kde: e [-] teplárenský modul,
 E [GJ, MWh] elektrický výkon tepelného stroje,
 Q_d [GJ, MWh] dodaný tepelný výkon. [14]

2.1.2 Účinnost – elektrická, tepelná a celková

Účinnost výroby elektrické energie představuje podíl elektřiny vyrobené v kogenerační jednotce (KJ) k celkové spotřebě paliva v KJ a vypočítá se podle následujícího vztahu:

$$\eta_E = \frac{E}{Q_{pal}} \cdot 100 \quad (3)$$

kde: η_E [%] elektrická účinnost,
 Q_{pal} [GJ, MWh] tepelný příkon přivedený v palivu. [7]

Účinnost výroby tepla představuje podíl užitečného tepla vyrobeného v KJ k celkové spotřebě paliva v KJ.

$$\eta_T = \frac{Q_d}{Q_{pal}} \cdot 100 \quad (4)$$

kde: η_T [%] tepelná účinnost. [7]

Celková účinnost kogenerační jednotky představuje podíl celkové elektřiny a užitečného tepla vyrobeného v KJ k celkové spotřebě paliva v KJ.

$$\eta_C = \frac{E + Q_d}{Q_{pal}} \cdot 100 \quad (5)$$

kde: η_C [%] celková účinnost. [14]

2.2 Technologie kogeneračních jednotek

Pro decentralizovanou kogeneraci a mikrokogeneraci jsou převážně používány jako tepelný stroj spalovací motory. Parní a spalovací turbíny jsou hlavně využívány pro velké kogenerace (teplárny), a použití turbín s menším výkonem se využívá například pro průmyslové objekty, kde je k technologickým účelům využívána pára. Další technologie jako jsou palivové články, Stirlingův motor, organický Rankinův cyklus a podobně ještě nejsou běžně využívány, ale na jejich vývoji se pracuje.

2.2.1 Spalovací motory

Spalovací pístové motory vychází z klasických motorů používaných u automobilů. Dělí se na zážehové, které využívají jako palivo benzín, zemní plyn nebo bioplyn a vznětové, kde motor pracuje s vyššími tlaky a teplotou a proto využívá jako palivo naftu nebo zemní plyn. Výkon je dán velikostí motoru zhruba od 15kW až po 50 MW, kde malé jednotky mají 2 až 4 válce a velké mohou mít 12 až 18 válců.

Hlavním principem je, že motor pohání generátor a současně při chlazení motoru je produkováno odpadní teplo, které je získáváno chlazením mazacího oleje a výfukových plynů. [7]

Tab. 1 Vlastnosti a použití spalovacích motorů [7] [6]

Výhody	Nevýhody	Možnosti použití
<ul style="list-style-type: none"> - možnost rychlého najetí a odstávky - jednoduchá instalace a malé prostorové nároky - vysoká účinnost v širokém výkonovém rozmezí 	<ul style="list-style-type: none"> - hlučnost a vibrace - častý servis - emise NO_x a CO - spotřeba mazacích olejů 	<ul style="list-style-type: none"> - od rodinných domů až po větší průmyslové objekty - čistírny odpadních vod - skládky - bioplynové stanice

2.2.2 Parní turbíny

U parní turbíny je možné použít jakýkoliv zdroj tepla, který generuje páru. Vyrobená vysokotlaká pára je vedena do turbíny, kde expanduje a pohání rotor generátoru. Na konci expanze má pára sytost až cca 80 - 90% a poté je využívána jako zdroj tepla. [1]

Jsou využívány 2 typy koncepcí parních turbín – protitlaké a kondenzační. U protitlaké turbíny je odebírána pára pro zdroj tepla i na výstupu z turbíny. U kondenzačních turbín je energie primárně využívána na výrobu elektrické energie a pára expanduje až do nízkých tlaků, při kterých je tepelný potenciál velmi nízký (pára má teplotu jen cca 50 – 70 °C). [6]

Tab. 2 Vlastnosti a použití parních turbín [6]

Výhody	Nevýhody	Možnosti použití
<ul style="list-style-type: none"> - použití libovolného paliva - teplo v libovolné formě (horká voda, pára VT i NT) - velký rozsah jednotkových výkonů - vysoká celková účinnost - velká životnost 	<ul style="list-style-type: none"> - malý teplotní modul - pomalé najíždění ze studeného stavu - složitá konstrukce - vysoká cena - obtížná realizace úplné automatizace provozu 	<ul style="list-style-type: none"> - elektrárny a teplárny - místa využívající páru o vysokých parametrech pro technologické účely

2.2.3 Spalovací turbíny

Spalovací, neboli plynová turbína se skládá z kompresoru, spalovací komory, plynové turbíny, generátoru a pomocných zařízení. Pro plynové turbíny je možné použít jakékoli palivo, ale spaliny jdoucí do turbíny musí být čisté. [6]

Kompresor nasává vzduch, který stlačuje na požadovaný tlak a pokračuje do spalovací komory, kde je zvyšována jeho energie hořením (oxidací) paliva. Vzniklé spaliny následně expandují a přemění svůj energetický potenciál na mechanickou práci, která se transformuje v generátoru na elektrickou energii. Spaliny, vystupující z expanzní části turbíny, mají ještě relativně dostatečnou teplotu (450 až 570 °C), která se využívá pro rekuperaci, tj. předežívají vzduch před spalovací komorou, anebo jsou vedeny do kotle na odpadní teplo, kde je vyráběna pára a ohřívána voda. [7]

Tab. 3 Vlastnosti a použití spalovacích turbín [6]

Výhody	Nevýhody	Možnosti použití
<ul style="list-style-type: none"> - vysoká spolehlivost - rychlý náběh a odstavení - dodávka tepla v páře i v horké vodě - nízká cena - rychlost výstavby - snadná možnost automatizace provozu 	<ul style="list-style-type: none"> - potřeba kvalitního a čistého paliva - vysoké nároky na kvalitu obsluhy a údržby - hlučnost 	<ul style="list-style-type: none"> - velké průmyslové objekty s nepřetržitým odběrem tepla a elektřiny - podniky s potřebou technologické páry nebo horkého vzduchu o vysokých teplotách

2.2.4 Stirlingův motor

Stirlingův motor pracuje na principu roztažnosti plynu a skládá se ze dvou pístů a jednoho nebo dvou válců (podle typu provedení). V uzavřeném oběhu je pracovní látka obvykle vzduch nebo inertní plyn například helium. Teplo je přiváděno do okruhu z vnějšího zdroje přes tepelný výměník a ohřívá pracovní látku v horkém válci, která následně expanduje. Mezi válci se nachází regenerátor, který umožňuje přesun plynu z horkého do studeného válce. Odtud je pomocí chladiče odváděno teplo, které se nepřeměnilo na práci.

Výhodou vnějšího přívodu tepla je, že může využívat jakýkoli zdroj tepla například odpadní teplo z technologických procesů, spalování biomasy a podobně. [7]

Tab. 4 Vlastnosti a použití Stirlingova motoru [6]

Výhody	Nevýhody	Možnosti použití
<ul style="list-style-type: none"> - nízká hlučnost - různé druhy paliv - životnost - jednoduchá konstrukce - nízké emise 	<ul style="list-style-type: none"> - cena - obtížná regulace výkonu 	<ul style="list-style-type: none"> - místa s levným zdrojem tepelné energie (spalování biomasy) - místa s nároky na nehučnost chodu

2.2.5 Palivové články

Palivové články jsou používány zejména u mikrokogenerace. Výroba elektřiny je založena na principu chemické reakce plynu s okysličovadlem v palivovém článku tvořeném vhodnými elektrodami a elektrolytem. Nejvhodnějším palivem je vodík, který se však obtížně získává, transportuje, skladuje a je drahý. Proto palivové články pro kogenerační jednotky, využívají zemní plyn, který se musí úpravou přeměnit na vodíkové palivo. [5]

Tab. 5 Vlastnosti a použití palivových článků

Výhody	Nevýhody	Možnosti použití
<ul style="list-style-type: none"> - vysoká účinnost - bezhlučný provoz - minimální či nulové emise 	<ul style="list-style-type: none"> - úprava paliva na čistý vodík - vysoká cena - dlouhá startovací doba - životnost 	<ul style="list-style-type: none"> - rodinné domy i velké objekty

2.2.6 Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC) využívá organické látky místo běžně využívané vody, respektive vodní páry. Jejich výhodou je odpaření při nižších teplotách resp. tlaku než je tomu u vody a poskytují vyšší účinnost cyklu. Pracovními látkami jsou například silikonový olej, alkany, freony, propan, toluen, čpavek. [8]

V kotli je ohřívána pracovní látka např. na 300 °C, která jde do výparníku, kde se vyvíjí plyn z organického pracovního media. Plyn je veden do turbíny, dále je odváděn do regenerátoru a kondenzátoru, kde je ochlazen a zkapalněn. Tím se uzavře cyklus a teplo pro odběratele je získáváno za kotlem z ekonomizéru.

Vhodnost použití ORC je pro výrobu elektrické energie v menších a středních zdrojích spalujících biomasu, kde s ohledem na velikost kotle a kvalitu biomasy není možno vyrábět vysokotlakou přehřátou vodní páru. [7]

Tab. 6 Vlastnosti a použití ORC [7]

Výhody	Nevýhody	Možnosti použití
<ul style="list-style-type: none"> - využití biomasy a obnovitelných zdrojů - dlouhá doba životnosti 	<ul style="list-style-type: none"> - vysoká cena - dlouhá startovací doba 	<ul style="list-style-type: none"> - pro výrobu elektrické energie v místech spalujících biomasu

2.3 Porovnání technologií kogeneračních jednotek

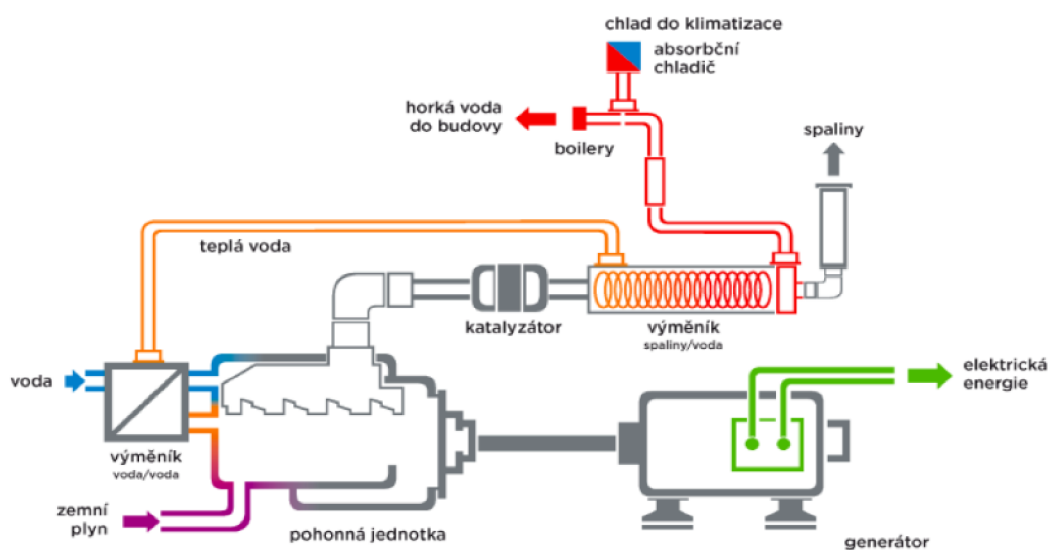
Porovnávat kogenerační jednotky lze pomocí různých technicko-ekonomických hledisek pro různé případy jejich použití mohou být výsledky různé. Základními technickými parametry, podle kterých lze kogenerační jednotky porovnávat jsou elektrický výkon P_E , tepelný výkon P_T a jejich účinnosti η_E a η_T a dále poměr elektrického a tepelného výkonu e (teplárenský modul definovaný v rovnici 2). Porovnání parametru jednotek využívaných pro kogeneraci je uvedeno v tabulce 7.

Tab. 7 Parametry pohonných jednotek využívaných pro kogeneraci [6]

Typ pohonné jednotky	Používané palivo	Elektrický výkon P_E	Modul teplotní výroby e	Elektrická účinnost η_E	Celková účinnost η_C
		[MW _E]	[-]	[%]	[%]
Parní turbína	libovolné	0,1 – 300	0,1 – 0,4	10 – 30	78 – 88
Spalovací turbína	Zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn produkty zplyňování	1 – 250	0,4 – 1,2	25 – 48	75 – 90
Spalovací motor	Zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn produkty zplyňování	0,01 – 10	0,5 – 1,1	25 – 45	75 – 92
Stirlingův motor	Zemní plyn, biopalivo	0,001 – 0,03	0,3 – 0,7	20 – 40	70 – 85

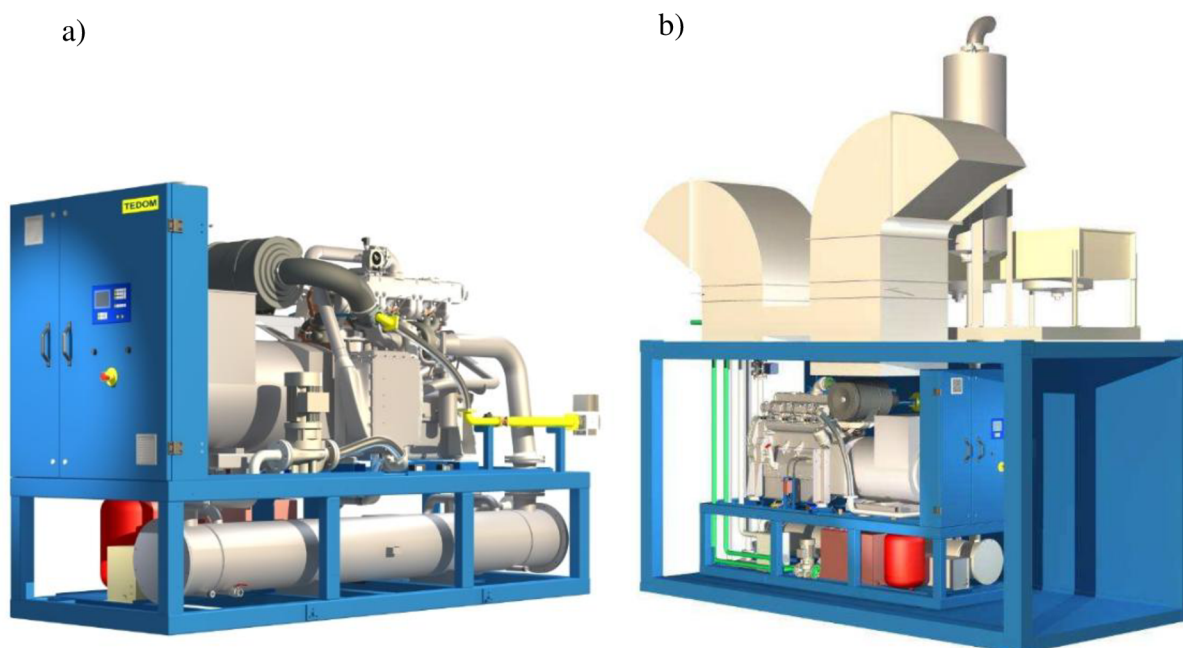
2.4 Konstrukční uspořádání

Kogenerační jednotka je složena z různých prvků, která jsou potřebná pro realizaci přeměny vstupního paliva na jinou formu energií. Základními částmi jsou pohonná jednotka (spalovací motor, turbína, palivové články a další), elektrický generátor se zařízením pro připojení na spotřebitelskou a veřejnou síť, tepelné výměníky, řídicí a kontrolní systém. [2] Příklad konstrukčního uspořádání jednotky se spalovacím motorem je na obr. 4.



Obr. 4 Konstrukční uspořádání kogenerační jednotky [19]

Typy provedení a uspořádání jednotek jsou závislé na umístění. Pro vnitřní instalaci jsou určeny typy uložení sestavy motoru a generátoru v rámu bez protihlukového krytu, který je určen pro vnitřní instalaci do odhlučněné strojovny nebo s protihlukovým krytem, kde jednotka nepotřebují další odhlučnění. Nevýhodou sestavy pouze v rámu je samostatná instalace zbytku technologií – odvod tepla, elektrický rozvaděč a další. Pokud jde o velké a často i výkonné jednotky umístěné mimo obytné či průmyslové budovy jde o kontejnerové provedení. Výhodou je rychlá instalace, kde je zapotřebí připojení pouze technické přípojky (přívod paliva, vedení tepla a elektrické energie). [2]



Obr. 5 Typ provedení KJ a) uložení v rámu; b) uložení v kontejneru [2]

3 POSTUP PŘI NÁVRHU KOGENERAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

U každého objektu je nutné určit nejprve vhodnost kogenerační jednotky podle individuálních potřeb zákazníka a místních možností. Nejdůležitějším předpokladem je, že bude zaručen odběr tepla z KJ i v letních měsících a to buď formou odběru teplé užitkové vody (TUV), nebo chladu. A další důležitými podmínkami, které je potřeba splnit jsou [6]:

- dostupnost v dané lokalitě vhodného paliva a vody
- vlastní spotřeba vyrobené elektrické energie nebo její dodávka do veřejné elektrické sítě
- dispozice dostatečného prostoru pro výstavbu zařízení
- blízkost místa instalace KJ k předpokládanému spotřebiteli
- dodržení legislativních požadavků (hluk, emise, veřejný zájem) při výstavbě tepelného zdroje

Pokud objekt, pro který je navrhována KJ, splňuje předchozí podmínky, je dalším krokem podrobný rozbor požadavků na dodávku tepla a elektřiny. Z toho vyplívá návrh typu, velikosti a počtu kogeneračních jednotek. U tepla i elektřiny je potřeba znát roční spotřebu a její rozpis po měsících, nejlépe za několik předchozích let a předpokládaný vývoj spotřeb v budoucnosti. Vhodné jsou i denní diagramy průběhu potřeby tepla a elektřiny v typických dnech (pracovní, soboty, neděle a svátky) pro různá období (topná sezóna, přechodné období, letní sezóna). Takové údaje je velmi těžké získat a tak je potřeba průběhy odhadovat. [6]

Z těchto průběhů bude navržena velikost kogenerační jednotky a to nejlépe pro několik různých variant pokrytí spotřeby, ze kterých se vyhodnotí nejlepší investice. Jako různé varianty pokrytí spotřeb je možné uvažovat například pokrytí tepla a TUV po celý rok nebo pouze pokrytí TUV po celý rok a v topném období využít další zařízení na vytápění například kotel.

4 NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY PRO PRŮMYSLOVÝ PODNIK

4.1 Popis objektu

Kogenerační jednotka je navrhována pro strojní firmu zabývající se výrobou, rekonstrukcí, opravami a montáží energetických zařízení. V současné době zajišťuje kompletní služby v oboru vodních turbín, elektromotorů, generátorů a parních turbín. Ve firmě je celkem 90 pracovníků, z toho 35 zaměstnanců je v kancelářích a 55 ve výrobě. Pracovní provoz je jednosměnný a probíhá v pracovních dnech od 6:00 do 14:30.

Od roku 2001 má firma k dispozici vlastní výrobní areál, kde momentálně uvažuje o rekonstrukci kotelny a možnosti použití kogenerace. Zázemí firmy se nachází v Brně v části Horní Heršpice. V areálu firmy o rozloze pozemku zhruba 46 000 m² se nachází 14 budov, které je třeba zásobovat teplem. Jedná se o administrativní budovu, sklady a výrobní haly.

Kotelna umístěná v tomto areálu musí zajistit celoročně TUV a v topném období i vytápění budov. Pro vytápění areálu je využívána teplovodní soustava a roční spotřeba tepelné energie se pohybuje okolo 14 200 GJ. V současné době jsou nainstalovány dva kotle na zemní plyn o výkonu 2,65 MW a 1 MW, s účinností 89,7 % a s rokem výroby 1980. Instalované kotle jsou na následujícím obrázku 6, kde jsou vidět 3 kotle, přičemž prostřední kotel je mimo provoz a bude odstraněn. [25]



Obr. 6 Současná kotelna objektu [25]

4.2 Spotřeba elektrické energie a tepla

Průmyslový objekt splňuje jak hlavní předpoklad odběru tepla po celý rok, tak i ostatní podmínky uvedené ve 3 kapitole. Proto pro návrh kogenerační jednotky je možné přejít k rozboru spotřeby tepelné energie a pro následný výpočet úspor k rozboru spotřeby zemního plynu a elektrické energie.

Tab. 8 Roční spotřeba elektřiny, zemního plynu a tepla [25]

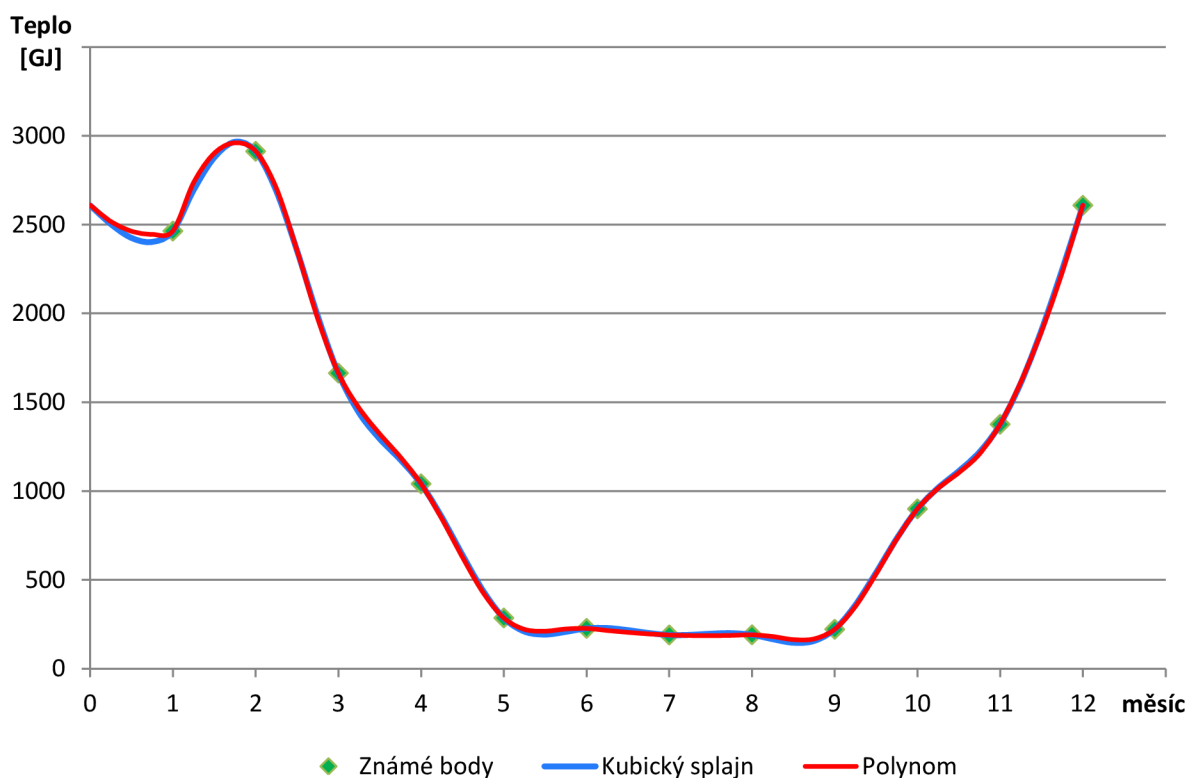
Měsíc	Elektřina [kWh]	Zemní plyn [MWh]	Teplo [GJ]
1	30 908	763	2 464
2	31 885	902	2 913
3	28 758	515	1 664
4	22 881	322	1 041
5	26 382	88	286
6	22 321	70	227
7	20 816	59	190
8	17 062	59	191
9	19 153	69	222
10	25 169	279	900
11	25 780	426	1 376
12	27 066	808	2 609
Celkem	298 181	4 360	14 083

K dispozici jsou naměřené měsíční hodnoty spotřeby energií za rok 2013. Tyto měsíční souhrny ale nevystihují možná minima a maxima spotřeby v průběhu měsíce. Proto je těchto 12 bodů proloženo vhodně zvolenou hladkou křivkou. Protože je požadováno, aby hledaná funkce procházela známými body, bude volena aproximace interpolací a to dvěma způsoby metod za interpolace polynomem a kubickým splajnem. Tyto metody budou vzájemně porovnány a pro další výpočet budou použity hodnoty z metody, která se celkovým součtem interpolovaných hodnot bude více blížit součtu hodnot naměřených.

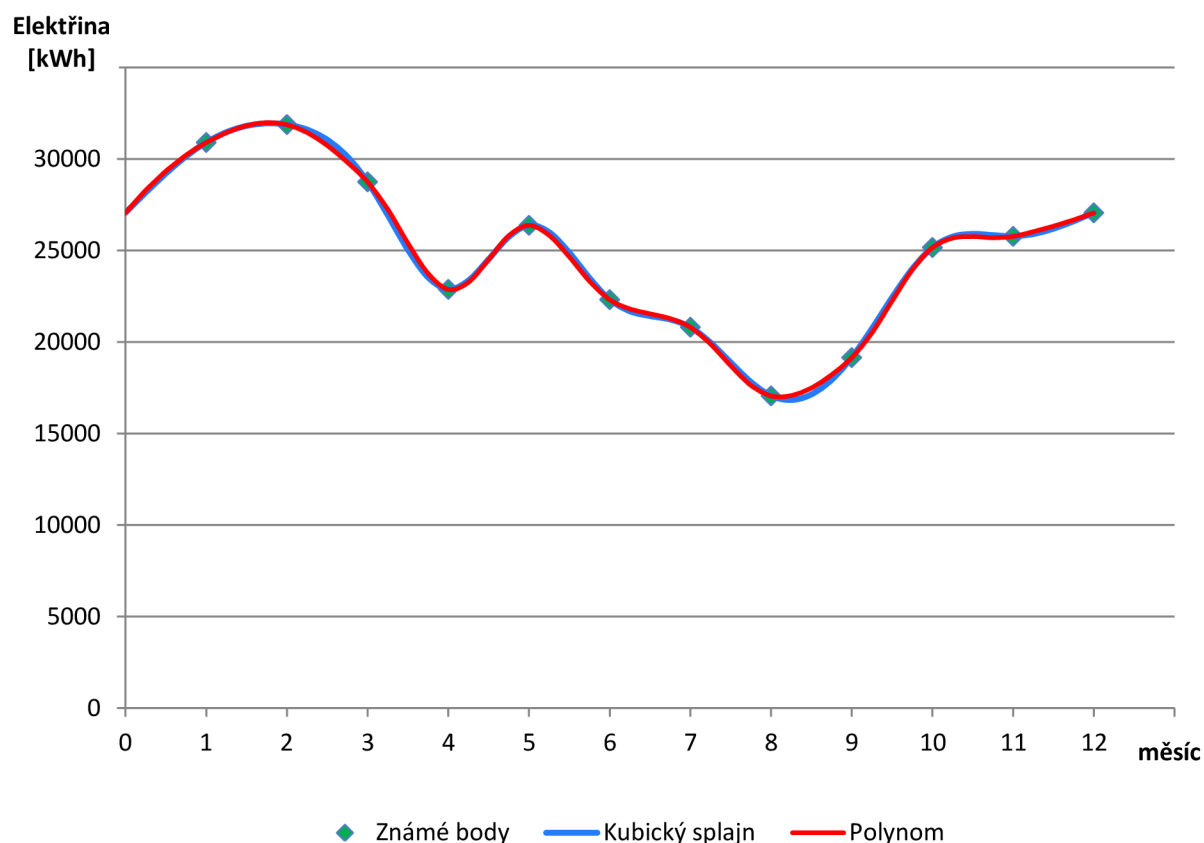
Interpolací kubickým splajnem se rozumí funkce, která splňuje tyto tři podmínky [15]:

- graf funkce musí procházet všemi známými body
- spojení uzlových bodů je vždy pomocí polynomu 3. stupně, který nemusí být na jednotlivých intervalech stejný
- pro zaručení hladkého přechodu polynomů na jednotlivých uzlech musí být funkce spojitá se svou 1. a 2. derivací na celém intervalu

Interpolací polynomem je získán polynom řádu n , kde $n+1$ je počet známých bodů. Pro určení tohoto polynomu existuje několik postupů (Lagrangeův, Newtonův a Hermitův). Pro zadané body určí všechny postupy vždy stejný polynom, protože mezi všemi polynomy n -tého stupně existuje právě jeden, který je interpolačním polynomem pro zadané body. [16]



Obr. 7 Průběh spotřeby tepla



Obr. 8 Průběh spotřeby elektrické energie

Celkový součet hodnot tepla, spotřeby zemního plynu a elektřiny zjištěných pomocí interpolace polynomem se při porovnání s kubickým splajnem více blíží známým hodnotám, jak je patrné z tabulky 9. Proto při návrhu kogenerační jednotky se bude vycházet z hodnot zjištěných interpolací polynomem. Viz následující tabulka.

Tab. 9 Přehled hodnot zjištěných interpolací

a)		Znamé hodnoty		
		Min	Max	Součet
Teplo	[GJ]	190	2 913	14 083
Zemní plyn	[MWh]	59	902	4 360
Elektřina	[kWh]	17 062	31 885	298 181
b)		Kubický splajn		
		Min	Max	Součet
Teplo	[GJ]	146,5	2 966,8	13 974,3
Zemní plyn	[MWh]	45,4	918,7	4 326,3
Elektřina	[kWh]	16 833,1	31 949,1	268 774,3
c)		Polynom		
		Min	Max	Součet
Teplo	[GJ]	164,2	2 959,9	14 012,1
Zemní plyn	[MWh]	50,9	916,6	4 338
Elektřina	[kWh]	17 062	31 996,5	298 466,2

4.3 Varianty pokrytí energií

Pro návrh kogenerační jednotky budou uvažovány tři varianty pokrytí energií, které budou podrobně rozepsány a vypočteny v následujících kapitolách. Vhodnými variantami pro návrh KJ pro daný objekt jsou celoroční pokrytí spotřeby TUV, elektřiny a tepla.

Pro jednotlivé varianty je třeba stanovit maximální požadovanou hodnotu energie, kterou je potřeba během provozu pokrýt a určit počet provozních hodin KJ. Ten je vhodné volit podle doby spotřeby daných energií. Z těchto údajů se zvolí potřebný výkon KJ, který se vypočte podle následujících vztahů (6) a (7).

Vztah pro výpočet tepelného výkonu:

$$P_T = \frac{1}{0,0036} \cdot \frac{Q_C}{t} \quad (6)$$

kde: P_T [kW] tepelný výkon,
 Q_C [GJ] teplo vyrobené v KJ,
 t [h] počet provozních hodin KJ.

Vztah pro výpočet elektrického výkonu:

$$P_E = \frac{E_C}{t} \quad (7)$$

kde: E_C [kWh] elektřina vyrobená v KJ,
 P_E [kW] elektrický výkon.

Výkon kogenerační jednotky musí být volen vždy vyšší, než je vypočtený výkon z potřebných energií. Pro volbu nejvhodnější jednotky bylo vycházeno z technických údajů od různých výrobců kogeneračních jednotek - TEDOM, BOSCH, MOTORGAS, VIESSMANN a CATERPILLAR. Pro výběr byla uvažována jednotka se spalovacím motorem na zemní plyn a nejlépe v provedení s protihlukovým krytem.

Při volbě vhodné kogenerační jednotky je potřeba brát v úvahu i spotřebu plynu za hodinu. Je dobré uvažovat o možnosti nasazení většího počtu jednotek menšího výkonu, kde celkový součet spotřeby plynu může být mnohem menší než při nasazení jedné KJ výkonu většího. Při takovém rozložení celkového výkonu do 2 a více jednotek se ovšem zvedají investiční náklady. O nejlepší konečné variantě rozhoduje ekonomické zhodnocení, které ukáže, zda finanční úspora v palivu dokáže být vyšší, než pořizovací cena další jednotky.

4.3.1 Pokrytí spotřeby TUV

Pro stanovení potřebného tepla pro TUV je vycházeno z letního období, kde teplo není využito k jiným potřebám než ohřevu vody. Protože v letním období nejsou hodnoty tepla zcela konstantní, je zvolen aritmetický průměr hodnot za toto období. Tyto hodnoty jsou voleny na základě grafu na obr. 7 z období 5. až 9. měsíce. Měsíční spotřeba tepla je tedy 210,4 GJ za měsíc (2 524,2 GJ za rok).

Provozní hodiny KJ jsou stanoveny podle jednosměnného provozu firmy. Je třeba zajistit, aby dodávka teplé vody v objektu byla po celou dobu osmi hodinové pracovní směny. Z tohoto důvodu bude KJ navržena na provoz 9 hodin za den, aby TUV byla zajištěna již před začátkem směny i po jejím ukončení. Počet provozních hodin KJ je tedy stanoven na 3 285 hodin za rok.

Výpočet potřebného výkonu KJ:

$$P_T = \frac{1}{0,0036} \cdot \frac{Q_{C,TUV}}{t} = \frac{1}{0,0036} \cdot \frac{2\,524,2}{3\,285} = 213,4 \text{ kW} \quad (8)$$

kde: $Q_{C,TUV}$ [GJ] teplo pro pokrytí TUV.

Podle technických údajů kogeneračních jednotek výrobce TEDOM je vhodnou variantou jednotka řady Cento T160 v provedení s protihlukovým krytem, kde maximální tepelný výkon je roven 221 kW. Z teplotního modulu kogenerační jednotky se podle vztahu (2) stanoví množství vyrobené elektřiny při pokrytí TUV.

Tab. 10 Základní technické údaje KJ TEDOM Cento T160 [2]

TEDOM Cento T160		
Jmenovitý elektrický výkon		164 kW
Maximální tepelný výkon		221 kW
Účinnost elektrická		37,8 %
Účinnost tepelná		50,9 %
Účinnost celková		88,7 %
Teplárenský modul		0,784
Spotřeba plynu při	100 % výkonu	45,9 m ³ /h
	75 % výkonu	36,3 m ³ /h
	50 % výkonu	21,6 m ³ /h

$$E_{TUV} = \frac{1}{0,0036} \cdot e \cdot Q_{C,TUV} = \frac{1}{0,0036} \cdot 0,784 \cdot 2\,524,2 = 549\,715 \text{ kWh} \quad (9)$$

kde: E_{TUV} [kWh] elektřina z ohřevu TUV,
 e [-] teplotní modul KJ.

Chod kogenerační jednotky je navržen na 100 % zatížení, při kterém je podle technické specifikace spotřeba plynu rovna 45,9 m³/h. Pro ohřev TUV v kogenerační jednotce po celý rok vychází spotřeba zemního plynu na 150 781,5 m³ (1 590,7 MWh). Stanovení spotřeby se určí z následujícího vzorce.

$$S_{KJ} = t \cdot S_{100} = 3\,285 \cdot 45,9 = 150\,781,5 \text{ m}^3 = 1\,590,7 \text{ MWh} \quad (10)$$

kde: S_{KJ} [m³, MWh] celková spotřeba zemního plynu za v KJ rok,
 S_{100} [m³/h] spotřeba zemního plynu při 100% výkonu,
 t [h] počet provozních hodin KJ.

Pro následující ekonomické zhodnocení je i důležitá spotřeba zemního plynu pro stávající kotel, který bude v topném období v provozu současně s kogenerační jednotkou. Kotel musí pokrýt rozdíl celkové spotřeby tepla s teplem z kogenerační jednotky. Tento rozdíl je roven 11 487,9 GJ (3 191,1 MWh) a z následující rovnice vyplývá roční spotřeba zemního plynu 3 556,6 MWh.

$$S_{KOT} = \frac{Q_{C,KOT}}{\eta_K} = \frac{3\,191,1}{0,897} = 3\,556,6 \text{ MWh} \quad (11)$$

kde: S_{KOT} [MWh] celková spotřeba zemního plynu v kotli za rok,
 $Q_{C,KOT}$ [MWh] teplo pro pokrytí TUV,
 η_K [-] účinnost kotle.

4.3.2 Pokrytí spotřeby elektřiny

Pro pokrytí celkové spotřeby elektřiny v objektu je nutné zvolit tak velkou kogenerační jednotku, aby dokázala pokrýt maximální hodnotu potřebné elektřiny v roce. Podle grafu na obr. 8 toto maximum nastává v 2. měsíci, kde hodnota elektrické energie je 31 996,5 kWh za měsíc. Provozní hodiny KJ jsou zvoleny stejně jako v kapitole 4.3.1 při pokrytí TUV, protože denní potřeba elektrické energie je totožná s potřebou tepla. Provoz KJ je tedy 9 hodin denně (273,75 hodin za měsíc).

$$P_E = \frac{E_{\max}}{t} = \frac{31\,996,5}{273,75} = 116,9 \text{ kW} \quad (12)$$

kde: E_{\max} [kWh] maximální hodnota elektrické energie za rok.

Pro pokrytí potřebného elektrického výkonu 116,9 kW je vhodná kogenerační jednotka TEDOM Cento T120 v provedení s protihlukovým krytem, kde je elektrický výkon KJ 125 kW. Další důležité technické údaje jsou uvedeny v tab. 11. Množství vyrobeného tepla se získá pomocí teplotního modulu jednotky a celkové výroby elektřiny za rok.

$$Q_C = 0,003\,6 \cdot \frac{E_C}{e} = 0,003\,6 \cdot \frac{298\,466,2}{0,748} = 1\,436,5 \text{ GJ} \quad (13)$$

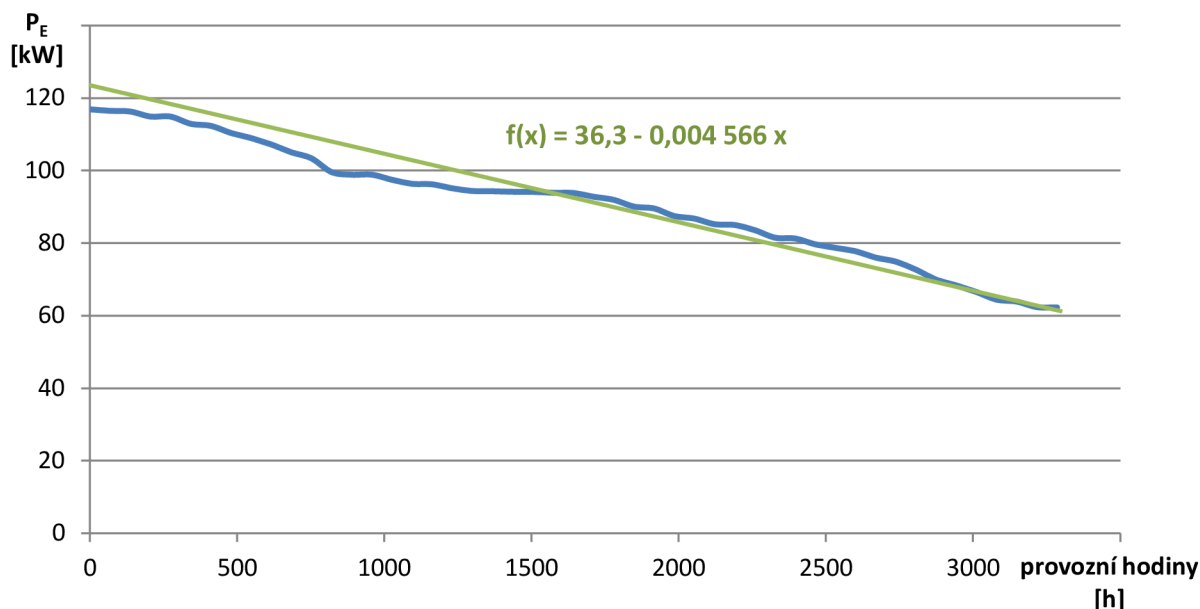
kde: E_C [kWh] elektřina vyrobená v KJ za rok,
 Q_C [GJ] teplo vyrobené v KJ za rok.

Tab. 11 Základní technické údaje KJ TEDOM Cento T120 [2]

TEDOM Cento T120		
Jmenovitý elektrický výkon		125 kW
Maximální tepelný výkon		177 kW
Účinnost elektrická		36,4 %
Účinnost tepelná		51,7 %
Účinnost celková		88,1 %
Teplotní modul		0,748
Spotřeba plynu při	100 % výkonu	36,3 m ³ /h
	75 % výkonu	28,8 m ³ /h
	50 % výkonu	21,3 m ³ /h

Navržená jednotka pracuje během roku na různě velké výkony, kde je požadováno dodržení minimálního zatížení 50 %. Z technické specifikace (viz tab. 11) je známa spotřeba plynu za 1 hodinu pro různé výkony, podle kterých se určí roční spotřeba plynu při pokrytí celé spotřeby elektřiny.

Jelikož zatížení kogenerační jednotky není konstantní, jako v předchozí kapitole, je třeba ze známých hodnot pro jednotlivé spotřeby zjistit funkci. Ta se určí podle spotřeby vycházejícího z grafu na obrázku 9, kde jsou sestupně seřazeny hodnoty potřebného elektrického výkonu během ročního provozu jednotky. Z grafu je patrná přibližně lineární závislost výkonu na provozních hodinách. Propojením bodů pro 100 % a 50 % výkon KJ je získána přímka, která téměř odpovídá potřebnému zatížení KJ během roku. Pro koncové body získané přímky jsou známy spotřeby, ze kterých se stanoví dále potřebná funkce. Nejjednodušší stanovení spotřeby se vypočítá pomocí určitého integrálu, kterým se zjistí obsah plochy pod křivkou, která je známa díky zjištěné funkci ze spotřeb zemního plynu. Meze integrálu jsou stanoveny provozními hodinami kogenerační jednotky.



Obr. 9 Zatížení kogenerační jednotky během roku

Výpočet spotřeby zemního plynu:

$$S_{KJ} = \int_0^t f(x) dx$$

$$S_{KJ} = \int_0^{3\,285} 36,3 - 0,004\,566 \cdot x \, dx = \left[36,3 \cdot x - 0,004\,566 \cdot \frac{x^2}{2} \right]_0^{3\,285} \quad (14)$$

$$S_{KJ} = 94\,608 \, m^3 = 998,1 \, MWh$$

kde: S_{KJ} [m³, MWh] celková spotřeba zemního plynu v KJ za rok,
 $f(x)$ [-] funkce spotřeby zemního plynu závislá na zatížení KJ,
 t [h] počet provozních hodin KJ.

Pokrytí zbytku tepla je zajištěno stávajícím kotlem, který musí pokrýt opět rozdíl celkové spotřeby tepla s teplem vyrobeným v kogenerační jednotce, to je rovno 12 575,6 GJ (3 493,2 MWh). V tomto případě je spotřeba zemního plynu rovna 3 893,3 MWh.

$$S_{KOT} = \frac{Q_{C,KOT}}{\eta_K} = \frac{3\,493,2}{0,897} = 3\,893,3 \text{ MWh} \quad (15)$$

kde: S_{KOT} [MWh] celková spotřeba zemního plynu v kotli za rok,
 $Q_{C,KOT}$ [MWh] teplo pro pokrytí TUV,
 η_K [-] účinnost kotle.

4.3.3 Pokrytí spotřeby tepla

Pro pokrytí roční spotřeby tepla se vychází stejně jako v předchozí kapitole z maximální hodnoty tepla v roce. Z obr. 7 je tato maximální hodnota v 2. měsíci a rovná se 2 959,9 GJ za měsíc. Provozní doba jednotky je uvažována stejně jako v předchozích variantách (273,75 hodin za měsíc).

$$P_T = \frac{1}{0,003\,6} \cdot \frac{Q_{C,max}}{t} = \frac{1}{0,003\,6} \cdot \frac{2\,959,9}{273,75} = 3\,003,5 \text{ kW} \quad (16)$$

kde: $Q_{C,max}$ [GJ] maximální hodnota tepla za rok.

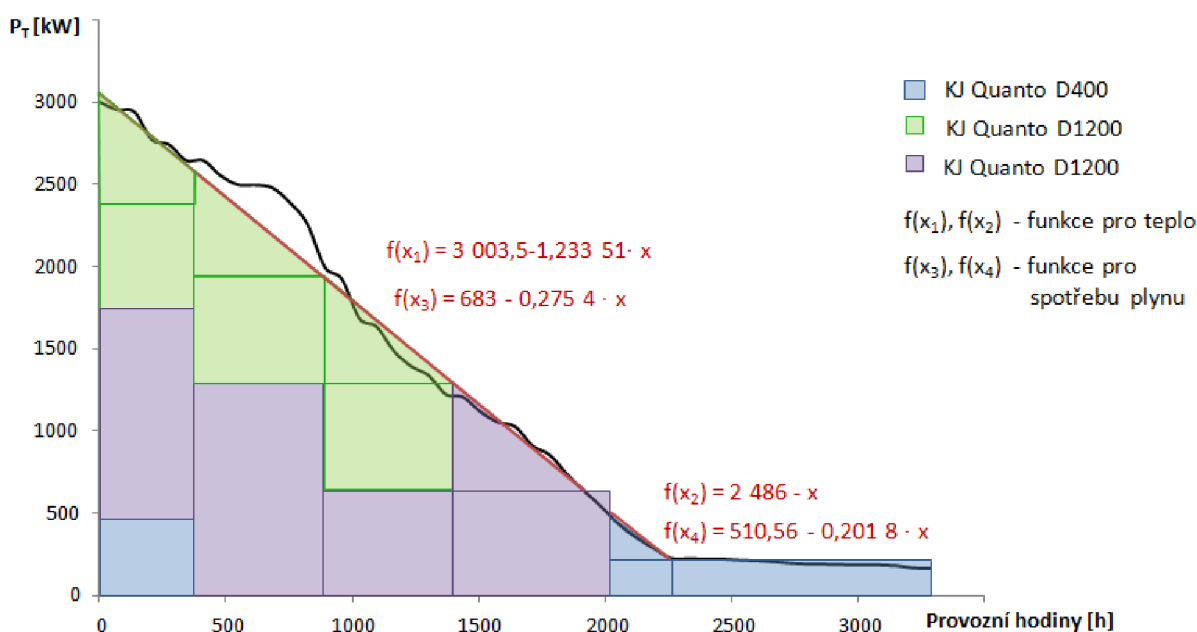
Vhodnou jednotkou pro tento výkon by byla kogenerační jednotka od výrobce TEDOM typ Quanto D3000, kde tepelný výkon je roven 3 646 kW. Ovšem tato zvolená jednotka je značně předimenzovaná (o 642,5 kW), má velkou hodinovou spotřebu zemního plynu a z důvodu nutnosti provozu minimálně na 50 % výkonu je pro celoroční využití nevhodná, protože přes letní období, kdy je využíváno pouze teplo pro TUV, by byl vyráběn velký přebytek tepla. Proto je vhodné potřebný výkon rozdělit do několika menších jednotek, kde nebude tolik přebytečného výkonu a dojde tak i k úspoře vstupního paliva.

Pro pokrytí výkonu budou zvoleny 3 kogenerační jednotky od výrobce TEDOM a to dvě jednotky typu Quanto D1200 a jedna Quanto D400. Celkový tepelný výkon je součet jednotlivých tepelných výkonů zvolených jednotek 2x 1 295 kW a 456 kW (celkem 3 046 kW).

Tab. 12 Základní technické údaje KJ TEDOM Quanto D1200 a D400 [2]

TEDOM Quanto		D1200	D400
Jmenovitý elektrický výkon		1 200 kW	400 kW
Maximální tepelný výkon		1 295 kW	456 kW
Účinnost elektrická		43,7 %	42,1 %
Účinnost tepelná		47,1 %	48,0 %
Účinnost celková		90,8 %	90,1 %
Teplárenský modul		0,951	0,908
Spotřeba plynu při	100 % výkonu	291 m ³ /h	101 m ³ /h
	75 % výkonu	224 m ³ /h	78 m ³ /h
	50 % výkonu	157 m ³ /h	55 m ³ /h

Pro úsporu paliva je důležitý návrh chodu a zatížení jednotlivých jednotek. Ten je graficky zobrazen na obrázku 10, podle kterého se stanoví jak množství vyrobeného tepla, tak i spotřeba zemního plynu. Stejně jako u pokrytí spotřeby elektřiny se zjistí funkce, ale pro každý druh kogenerační jednotky zvlášť. Protože závislost výkonu na provozních hodinách je lineární, tak tyto funkce vychází z propojených bodů 100 % a 50 % výkonu jednotek. Množství vyrobeného tepla se pak pro jednotlivé druhy jednotek stanoví pomocí určitého integrálu, pokud se jedná o nekonstantní zatížení jednotky, nebo pokud jde o konstantní zatížení jednotky, tak spotřeba vychází z velikosti zatížení násobených dobou provozu jednotky. V následujících výpočtech bude pro provozní hodiny platit značení t'_x stanovuje dobu provozu kogenerační jednotky a t_x určuje provoz jednotky v konkrétním čase.



Obr. 10 Rozložení provozu kogeneračních jednotek pro pokrytí spotřeby tepla

Přes letní období pro ohřev TUV bude v provozu menší KJ s 50 % výkonem a ve zbytku roku bude nasazena na 100 % výkon pouze v topném období, kdy je nejvyšší spotřeba tepla. Celkově tak pokryje spotřebu 1 741,8 GJ. Obě velké kogenerační jednotky budou v provozu v období topné sezóny a to vždy podle potřeby buď odděleně, společně, nebo v kombinaci s menší jednotkou. Jednotky Quanto D1200 tak dohromady vyrobí 12 271,8 GJ tepla.

$$Q_{C,D400} = P_{T100,D400} \cdot t'_5 + \int_{t_2}^{t_3} f(x_2) dx + P_{T50,D400} \cdot t'_4$$

$$Q_{C,D400} = 456 \cdot 373 + \int_{2\,030}^{2\,258} 2\,486 - x dx + 228 \cdot 1\,027 \quad (17)$$

$$Q_{C,D400} = 483\,833,3 \text{ kWh} = 1\,741,8 \text{ GJ}$$

kde:	$f(x_2)$	[-]	funkce tepla vyrobeného v KJ D400 při nekonstantním výkonu,
	$P_{T100,D400}$	[kW]	výkon KJ Quanto D400 při 100% zatížení,
	$P_{T50,D400}$	[kW]	výkon KJ Quanto D400 při 50% zatížení,
	$Q_{C,D400}$	[GJ]	teplo vyrobené v KJ Quanto D400,
	t	[h]	provozní hodiny KJ.

$$Q_{C,D1200} = \int_0^{t_1} f(x_1) dx + P_{T50,D1200} \cdot t'_2 - P_{T100,D400} \cdot t'_5$$

$$Q_{C,D1200} = \int_0^{1910} 3003,5 - 1,23351 \cdot x dx + 647,5 \cdot 120 - 456 \cdot 373 \quad (18)$$

$$Q_{C,D1200} = 3408555,6 \text{ kWh} = 12271,8 \text{ GJ}$$

kde: $f(x_1)$ [-] funkce tepla vyrobeného v KJ D1200 při nekonst. výkonu,
 $P_{T50,D1200}$ [kW] výkon KJ Quanto D1200 při 50% zatížení,
 $Q_{C,D1200}$ [GJ] teplo vyrobené v KJ Quanto D1200.

Každý typ jednotky má svůj teplotní modul a množství vyrobeného tepla, proto množství vyrobené elektrické energie musí být počítáno odděleně.

$$E_{C,D400} = \frac{1}{0,0036} \cdot e \cdot Q_{C,D400} = \frac{1}{0,0036} \cdot 0,908 \cdot 1741,8 = 439320,7 \text{ kWh} \quad (19)$$

kde: $E_{C,D400}$ [kWh] elektřina vyrobená v KJ Quanto D400.

$$E_{C,D1200} = \frac{1}{0,0036} \cdot e \cdot Q_{C,D1200} = \frac{1}{0,0036} \cdot 0,951 \cdot 12271,8$$

$$E_{C,D1200} = 3241800,5 \text{ kWh} \quad (20)$$

kde: $E_{C,D1200}$ [kWh] elektřina vyrobená ve dvou KJ Quanto D1200.

$$E_C = E_{C,D1200} + E_{C,D400} = 3241800,5 + 439320,7 = 3681121,2 \text{ kWh} \quad (21)$$

kde: E_C [kWh] celkové množství vyrobené elektřiny.

Spotřeba zemního plynu se určí stejně jako při výpočtu množství vyrobeného tepla v kogeneračních jednotkách. Kde pro koncové body přímky vytvořené ze 100 % a 50 % zatížení jsou známy hodnoty spotřeby zemního plynu při těchto výkonech. Z těch se určí funkce spotřeby zemního plynu při nekonstantním provozu jednotek a pomocí určitého integrálu se vypočítá množství spotřeby. Pokud je zatížení jednotky konstantní, stanoví se spotřeba podle počtu provozních hodin vynásobených množstvím spotřeby zemního plynu pro určitý výkon. Celková spotřeba plynu je stanovena podle následujícího vztahu a je rovna 9445,5 MWh.

$$S_{KJ} = \int_0^{t_1} f(x_3) dx + S_{50,D1200} \cdot t'_2 + \int_{t_2}^{t_3} f(x_3) dx + S_{50,D400} \cdot t'_4$$

$$S_{KJ} = \int_0^{1910} 683 - 0,275 \cdot x dx + 157 \cdot 120 +$$

$$+ \int_{2030}^{2258} 510,6 - 0,2 \cdot x dx + 55 \cdot 1027$$

$$S_{KJ} = 895309 \text{ m}^3 = 9445,5 \text{ MWh} \quad (22)$$

kde: $f(x_3)$	[-]	funkce spotřeby plynu v KJ D1200 při nekonstantním výkonu,
$f(x_4)$	[-]	funkce spotřeby plynu v KJ D400 při nekonstantním výkonu,
$S_{50,D1200}$	[kW]	spotřeba plynu v KJ Quanto D1200 při 50 % zatížení,
$S_{50,D400}$	[kW]	spotřeba plynu v KJ Quanto D400 při 50% zatížení,
S_{KJ}	[GJ]	celková spotřeba zemního plynu.

4.4 Ekonomické zhodnocení

Pro výpočet návratnosti se vychází z hodnot stanovených pro jednotlivé varianty, které jsou shrnuty v následující tabulce 13. Pro zhodnocení je nutné stanovit celkové dosavadní náklady za energie, předpokládané budoucí náklady po instalaci KJ pro navržené varianty pokrytí a z těchto údajů se vzhledem k výši dané investici stanoví návratnost. Stanovení nákladů bude popsáno v následujících kapitolách.

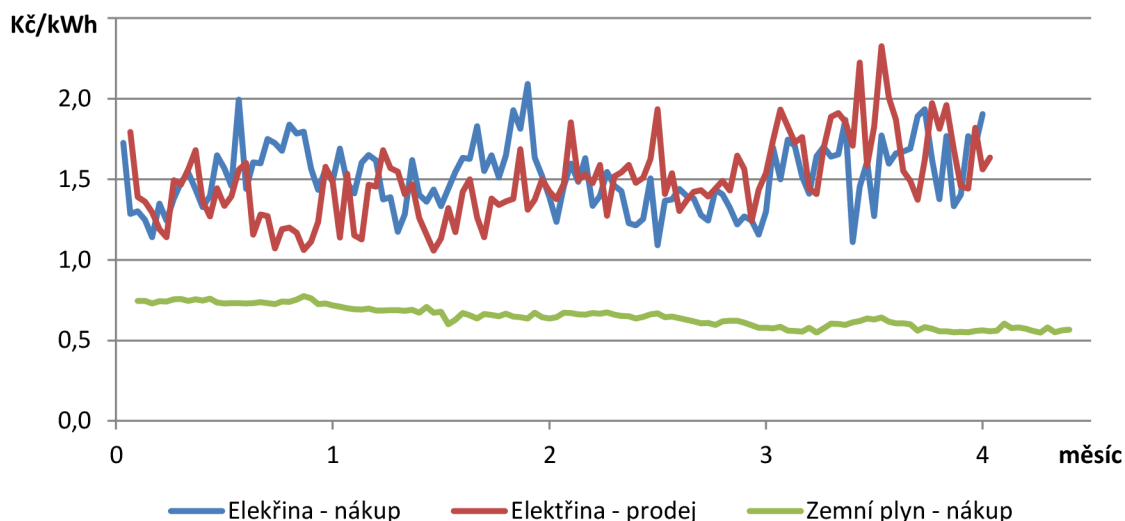
Tab. 13 Souhrn hodnot pro zvolené varianty pokrytí

Varianta pokrytí	Typ KJ [-]	Počet KJ [-]	Vyrobena elektřina [kWh/rok]	Přebytek vyrobené elektřiny [kWh/rok]	Teplo [GJ/rok]	Zemní plyn [MWh/rok]
TUV	CENTO T160	1	549 715	251 248,8	2 524,2	1 590,7
Elektřina	CENTO T120	1	298 466,2	0	1 436,5	998,1
Teplo	QUANTO D400	1	439 320,7	3 382 655	1 741,8	9 445,5
	QUANTO D1200	2	3 241 800,5		12 271,8	

4.4.1 Náklady za energie bez KJ

Celkové náklady za elektřinu a zemní plyn pro výrobu tepla budou stanoveny pro uplynulý rok 2013, kde jsou známy konkrétní hodnoty spotřeby. Pro možnost porovnání se stanoví i náklady pro rok 2014, které jsou pouze informačního charakteru, jelikož se jedná o předpokládanou nikoli skutečnou spotřebu energií v tomto roce. Z těchto hodnot se bude dále vycházet při výpočtu množství úspory na provozních nákladech po nasazení KJ.

Ceny energií jsou stanoveny na základě roční zprávy OTE (operátor trhu s elektřinou a zemním plynem), kde je použita průměrná hodnota za celý rok 2013 a pro rok 2014 je to průměrná hodnota za období leden až duben (zemní plyn za období leden až polovina května). Vývoj cen elektřiny a zemního plynu pro rok 2014 je znárodněn na obrázku 11. [23]



Obr. 11 Vývoj cen energií pro rok 2014 [23]

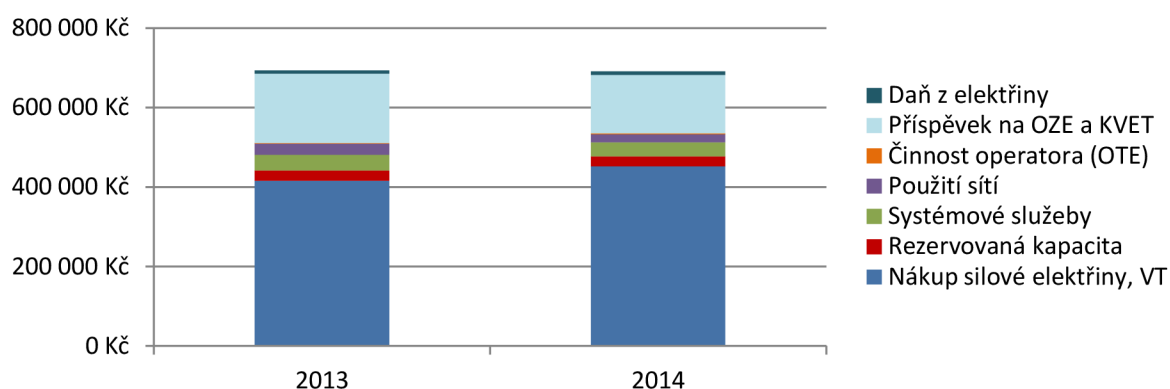
Náklady spojené s nákupem energií stanovuje energetický regulační úřad (ERU). Jednotlivé placené položky jsou určeny podle energetického regulačního věstníku za požadovaný rok pro elektřinu [21] a zemní plyn [22]. Podrobná číselná kalkulace celkových nákladů za energie pro rok 2013 a 2014 jsou uvedeny v tabulkách 14 a 15. Pro porovnání jsou velikosti jednotlivých položek za energie graficky znázorněny na obrázcích 12 a 13.

Tab. 14 Celkové náklady za energie bez KJ pro rok 2013

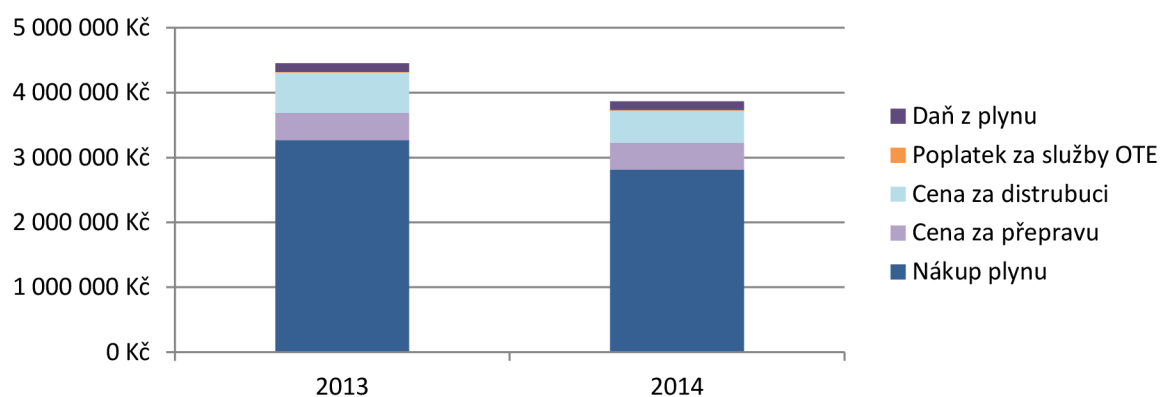
Energie za rok 2013				
	Jednotka	Množství	Cena za jednotku	Náklad
NÁKLADY ZA ELEKTŘINU				
Nákup silové elektřiny, VT	MWh	298,466	1 392,13	415 503 Kč
Rezervovaná kapacita	MW	0,22	116 982	25 736 Kč
Systémové služby	MWh	298,466	132,19	39 454 Kč
Použití sítí	MWh	298,466	94,69	28 262 Kč
Činnost operátora (OTE)	MWh	298,466	7,56	2 256 Kč
Příspěvek na OZE a KVET	MWh	298,466	583	174 006 Kč
Daň z elektřiny	MWh	298,466	28,3	8 447 Kč
Celkem				685 218 Kč
NÁKLADY ZA PLYN				
Nákup plynu	MWh	4 338	753,04	3 266 688 Kč
Cena za přepravu	MWh	4 338	96,51	418 660 Kč
Cena za distribuci	MWh	4 338	143,39	622 026 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	4 338	2,46	10 671 Kč
Daň z plynu	MWh	4 338	30,6	132 743 Kč
Celkem				4 450 788 Kč
Celkové provozní náklady				5 136 006 Kč

Tab. 15 Celkové náklady za energie bez KJ pro rok 2014

Energie za rok 2014				
	Jednotka	Množství	Cena za jednotku	Náklad
NÁKLADY ZA ELEKTŘINU				
Nákup silové elektřiny, VT	MWh	298,466	1 514,52	452 033 Kč
Rezervovaná kapacita	MW	0,22	114 384	25 164 Kč
Systémové služby	MWh	298,466	119,25	35 592 Kč
Použití sítí	MWh	298,466	66,37	19 809 Kč
Činnost operátora (OTE)	MWh	298,466	7,55	2 253 Kč
Příspěvek na OZE a KVET	MWh	298,466	495	147 741 Kč
Daň z elektřiny	MWh	298,466	28,3	8 447 Kč
Celkem				682 593 Kč
NÁKLADY ZA PLYN				
Nákup plynu	MWh	4 338	648,68	2 813 974 Kč
Cena za přepravu	MWh	4 338	95,85	415 797 Kč
Cena za distribuci	MWh	4 338	113,28	491 409 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	4 338	2,43	10 541 Kč
Daň z plynu	MWh	4 338	30,6	132 743 Kč
Celkem				3 864 464 Kč
Celkové provozní náklady				4 547 056 Kč



Obr. 12 Náklady za elektřinu



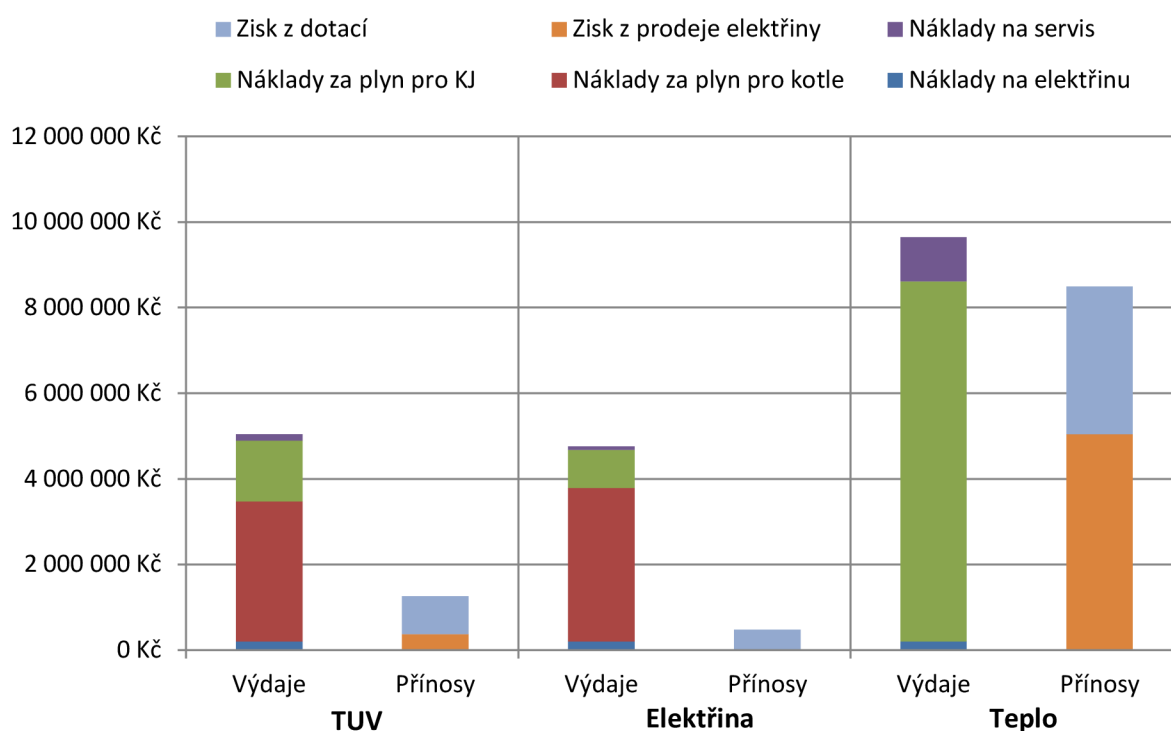
Obr. 13 Náklady za plyn

4.4.2 Náklady za energie s KJ

Výpočet pro stanovení celkových provozních nákladů po instalaci kogenerační jednotky se dělí na dvě části a to na náklady na výrobu energií a na přínos z vyrobených energií. Náklady na výrobu se stanovují podobně jako bez nainstalované kogenerační jednotky. Cena elektřiny a zemního plynu zůstává stejná, rozdíly jsou v některých regulovaných položkách stanovených ERU. U elektřiny se jedná o nižší náklady za poskytování systémových služeb provozovatelem přenosové soustavy a poplatek za použití sítí. [21] U zemního plynu se na základě výroby elektřiny v KVET osvobozuje od ekologické daně pro zemní plyn spotřebovaný KJ. [24] Dále se musí započítat i náklady na servis jednotky, které jsou uváděny výrobcem.

Přínosy z vyrobených energií jsou myšleny výdělkem za prodanou elektřinu (výkupní cena je stanovena v kapitole 4.1.1 pod pojmem elektřina - prodej) a státní podpora pro podporované zdroje energie, kde jejich výše je opět stanovena ERU [20].

Výpočty stanovující náklady na energie pro zvolené varianty pokrytí jsou v tabulkách 16, 17 a 18. Na obrázku 14 jsou následně pro porovnání graficky znázorněny vypočtené výdaje a příjmy pro jednotlivé varianty navržených kogeneračních jednotek.



Obr. 14 Celkové náklady na energie a přínosy pro navržené varianty s KJ

Tab. 16 Náklady na energie s KJ při pokrytí TUV

Pokrytí TUV				
	Jednotka	Množství	Cena za jednotku	Náklad
NÁKLADY ZA ELEKTŘINU				
Nákup silové elektřiny, VT	MWh	0	1 514,52	0 Kč
Rezervovaná kapacita	MW	0,22	114 384	25 164 Kč
Systémové služby	MWh	298,466	119,25	35 592 Kč
Za lokální spotřebu výrobce	MWh	298,466	-74,46	-22 224 Kč
Činnost operátora (OTE)	MWh	298,466	7,55	2 253 Kč
Příspěvek na OZE a KVET	MWh	298,466	495	147 741 Kč
Daň z elektřiny	MWh	298,466	28,3	8 447 Kč
Celkem				196 973 Kč
NÁKLADY ZA PLYN PRO KOTLE				
Plyn	MWh	3 556,6	648,68	2 307 095 Kč
Daň z plynu	MWh	3 556,6	30,6	108 832 Kč
Cena za přepravu	MWh	3 556,6	96,51	343 247 Kč
Cena za distribuci	MWh	3 556,6	143,39	509 981 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	3 556,6	2,46	8 749 Kč
Celkem				3 277 905 Kč
NÁKLADY ZA PLYN PRO KJ				
Plyn	MWh	1 590,7	648,68	1 031 855 Kč
Cena za přepravu	MWh	1 590,7	96,51	153 518 Kč
Cena za distribuci	MWh	1 590,7	143,39	228 090 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	1 590,7	2,46	3 913 Kč
Celkem				1 417 377 Kč
NÁKLADY ZA SERVIS KJ				
	MWh	549,715	280	153 920 Kč
PŘÍNOSY				
Prodej elektřiny	MWh	251,249	1 490,87	374 580 Kč
Zelený bonus KVET	MWh	549,715	1 605	882 293 Kč
Podpora decentrální výroby elektřiny	MWh	251,249	13	3 266 Kč
Celkem				1 260 138 Kč
Celkové provozní náklady s KJ				
				3 786 037 Kč

Tab. 17 Náklady na energie s KJ při pokrytí spotřeby elektřiny

Pokrytí elektřiny				
	Jednotka	Množství	Cena za jednotku	Náklad
NÁKLADY ZA ELEKTŘINU				
Nákup silové elektřiny, VT	MWh	0	1 514,52	0 Kč
Rezervovaná kapacita	MW	0,22	114384	25 164 Kč
Systémové služby	MWh	298,466	119,25	35 592 Kč
Za lokální spotřebu výrobce	MWh	298,466	-74,46	-22 224 Kč
Činnost operátora (OTE)	MWh	298,466	7,55	2 253 Kč
Příspěvek na OZE a KVET	MWh	298,466	495	147 741 Kč
Daň z elektřiny	MWh	298,466	28,3	8 447 Kč
Celkem				196 973 Kč
NÁKLADY ZA PLYN PRO KOTLE				
Plyn	MWh	3 893,3	648,68	2 525 506 Kč
Daň z plynu	MWh	3 893,3	30,6	119 135 Kč
Cena za přepravu	MWh	3 893,3	96,51	375 742 Kč
Cena za distribuci	MWh	3 893,3	143,39	558 260 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	3 893,3	2,46	9 578 Kč
Celkem				3 588 221 Kč
NÁKLADY ZA PLYN PRO KJ				
Plyn	MWh	998,1	648,68	647 448 Kč
Cena za přepravu	MWh	998,1	96,51	96 327 Kč
Cena za distribuci	MWh	998,1	143,39	143 118 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	998,1	2,46	2 455 Kč
Celkem				889 347 Kč
NÁKLADY ZA SERVIS KJ	MWh	298,466	280	83 570 Kč
PŘÍNOSY				
Prodej elektřiny	MWh	0	1 490,87	0 Kč
Zelený bonus KVET	MWh	298,466	1 605	479 038 Kč
Podpora decentralní výroby elektřiny	MWh	0	13	0 Kč
Celkem				479 038 Kč
Celkové provozní náklady s KJ				4 279 074 Kč

Tab. 18 Náklady na energie s KJ při pokrytí tepla

Pokrytí tepla				
	Jednotka	Množství	Cena za jednotku	Náklad
NÁKLADY ZA ELEKTŘINU				
Nákup silové elektřiny, VT	MWh	0	1 514,52	0 Kč
Rezervovaná kapacita	MW	0,22	114 384	25 164 Kč
Systémové služby	MWh	298,466	119,25	35 592 Kč
Za lokální spotřebu výrobce	MWh	298,466	-74,46	-22 224 Kč
Činnost operátora (OTE)	MWh	298,466	7,55	2 253 Kč
Příspěvek na OZE a KVET	MWh	298,466	495	147 741 Kč
Daň z elektřiny	MWh	298,466	28,3	8 447 Kč
Celkem				196 973 Kč
NÁKLADY ZA PLYN PRO KOTLE				
Plyn	MWh	0	648,68	0 Kč
Daň z plynu	MWh	0	30,6	0 Kč
Cena za přepravu	MWh	0	96,51	0 Kč
Cena za distribuci	MWh	0	143,39	0 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	0	2,46	0 Kč
Celkem				0 Kč
NÁKLADY ZA PLYN PRO KJ				
Plyn	MWh	9 445,5	648,68	6 127 107 Kč
Cena za přepravu	MWh	9 445,5	96,51	911 585 Kč
Cena za distribuci	MWh	9 445,5	143,39	1 354 390 Kč
Poplatek za služby OTE	MWh	9 445,5	2,46	23 236 Kč
Celkem				8 416 318 Kč
NÁKLADY ZA SERVIS KJ	MWh	3 681,12	280	1 030 714 Kč
PŘÍNOSY				
Prodej elektřiny	MWh	3 382,7	1 490,87	8 720 202 Kč
Zelený bonus KVET	MWh	3 681,12	925	5 686 470 Kč
Podpora decentralní výroby elektřiny	MWh	3 382,7	13	76 038 Kč
Celkem				8 492 177 Kč
Celkové provozní náklady s KJ				1 151 828 Kč

4.4.3 Návratnost

Pro stanovení prosté návratnosti bude vycházeno z předpokládaných výdajů za rok 2014. Ta bude vypočtena podle následujícího vztahu:

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{Investice}}{\text{Náklady bez KJ} - \text{Náklady s KJ}} \quad [\text{rok}] \quad (23)$$

Celková výše investice zahrnuje více než samotnou cenu kogenerační jednotky. Je nutné započítat i ostatní finanční výdaje spojené s nákupem jednotky. To jsou například určité stavební úpravy, instalace zařízení, poplatky za registrace či osvědčení. V tabulce 19 je uvedena cena kogeneračních jednotek a hrubý odhad ostatních investičních nákladů a následně v tabulce 20 je stanovena návratnost pro zvolené varianty.

Tab. 19 Ceny kogeneračních jednotek TEDOM [2]

Typ KJ	CENTO T120	CENTO T160	QUANTO D400	QUANTO D120
Cena KJ	2 540 000 Kč	3 033 000 Kč	8 149 000 Kč	13 646 000 Kč
Ostatní náklady	1 500 000 Kč	1 500 000 Kč	1 500 000 Kč	2 000 000 Kč

Tab. 20 Zhodnocení návratnosti pro navržené varianty

	TUV	Elektřina	Teplo
Investiční náklady	4 533 000 Kč	4 040 000 Kč	40 941 000 Kč
Provozní náklady bez KJ	4 547 056 Kč	4 547 056 Kč	4 547 056 Kč
Provozní náklady s KJ	3 786 037 Kč	4 279 074 Kč	1 151 828 Kč
Roční úspora	761 019 Kč	267 982 Kč	3 395 228 Kč
Návratnost	5,96	15,08	12,06

ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo představení pojmu kogenerace a ukázka toho, jak nám její výhody mohou šetřit finance i životní prostředí. Protože navazující část se zabývá návrhem konkrétního zařízení pro průmyslový podnik, zabývala jsem se převážně popisem kogenerace pro takovéto objekty. Ve zkratce jsem se snažila představit hlavní technologie kogeneračních jednotek, jejich výhody, nevýhody, možnosti použití a důležitých charakteristických parametrů. Při samotném návrhu jsem se dále věnovala pouze kogeneračním technologiím se spalovacími motory, protože pro daný objekt je nejlepší možnost vstupního paliva použití zemního plynu a také jsou tyto kogenerační jednotky dostupné s přijatelnou cenou, velkým rozsahem výkonů a i množstvím výrobců.

Při samotném návrhu jsem vycházela z konkrétních dat o spotřebě energií objektu, které mi poskytla firma již rozhodnutá o pořízení kogenerační jednotky. Jelikož v průběhu psaní bakalářské práce se firma rozhodla nákup kogenerační jednotky oddálit, než bylo původně plánováno, nemohu tak splnit jeden z bodů zadání této práce a to zhodnocení provozu konkrétního kogeneračního zařízení. Firma původně chtěla zakoupit pouze kogenerační jednotku, ale momentálně uvažuje navíc i o celkové rekonstrukci kotelny, proto se realizace tohoto projektu časově protáhla.

Pro návrh jsem vycházela z tří hlavních možností, jak pokrýt spotřeby energií v tomto objektu. Varianty byly navrženy pro celoroční pokrytí elektřiny, tepla nebo teplé užitkové vody. Potřebný výkon jednotek pro tyto varianty vždy nejlépe splňovali kogenerační jednotky od výrobce TEDOM. Aby bylo možné vybrat nejvýhodnější řešení z těchto variant, bylo potřeba provést ekonomické zhodnocení. A to jak před nasazením, tak i po nasazení kogenerační jednotky, kde se zjistila výše možné finanční úspory na energiích za rok a rychlost návratu investice vložené do kogenerační jednotky.

S hodnocením výsledků začnu od nejméně výhodné varianty a tou je pokrytí spotřeby elektřiny. Jelikož objekt má stěžejní výdaje za teplo, není možné výrazně ušetřit pouze na výdajích za elektřinu. Obzvláště, když s nasazením kogenerační jednotky vzroste spotřeba množství plynu a z toho vyplývající i vyšší výdaje. Přestože výše dotací pokryje poplatky spojené s elektřinou a servis jednotky, tak celková roční úspora je minimální. Ze zvolených variant jde o jednotku s nejnižším výkonem a i s nejnižší investicí. Ovšem ani nízká investice nijak příznivě neovlivňuje patnáctiletou návratnost. Protože životnost jednotky se podle počtu provozních hodin pohybuje v rozmezí 12 až 15 let, je tato investice nevratná.

Velmi podobně je na tom i varianta s pokrytím celé spotřeby tepla. Vzhledem k velikosti jednotek, které musí pokrýt požadovanou spotřebu tepla, dochází i k velkému nadbytku vyrobené elektřiny. Zisk z prodeje nepotřebné elektřiny společně s dotací dokáže pokrýt veškeré výdaje za plyn. Takže výsledné náklady za energie se skládají pouze z poplatků spojených s elektřinou a za servis jednotek, který vzhledem k množství vyrobené elektřiny vzrůstá až k miliónové částce. I tak jsou roční náklady na provoz výsledně velmi malé, ale jedná se o tak velkou investici, že návratnost je až za 12 let, kdy se opět vzhledem k životnosti jednotek investice nemůže nijak vyplatit.

Velmi příznivé výsledky jsou ovšem u varianty pokrytí TUV. Vybraná kogenerační jednotka nejenže dokáže pokrýt spotřebu TUV, ale dokáže vyrobit takové množství elektřiny, že z vyrobené poloviny pokryje spotřebu elektřiny v objektu a z prodeje druhé poloviny je zisk, který dokáže pokrýt poplatky za elektřinu a servis jednotky. Celkové roční úspory nejsou tak velké, ale investice do nákupu jednotky se vzhledem k její dostupné ceně vrátí za necelých 6 let a po zbytek funkčnosti jednotky to pro firmu představuje velkou úsporu

oproti současnému stavu. Jelikož tato jednotka dokáže pokrýt i špičky spotřeb elektřiny v tomto objektu, tak objekt dokáže být nezávislý na odběru ze sítě. S tím přichází i velká výhoda v době plánovaných odstávek distributora elektřiny nebo i těch neplánovaných, když dojde k nečekané poruše a výpadku v elektrizační soustavě. Firma se tak nemusí bát přerušení samotného provozu firmy a výroby. Pokud pominu potřebu více jak 4 miliónu korun potřebných pro investici, má kogenerace pro tento objekt samá pozitiva a přistoupení k nákupu tak nebude promarněnou investicí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KRBEK, J. – OCHRANA, L. – POLESNÝ, B. *Zásobování teplem a kogenerace*. 1. vydání. Brno: PC-DIR Real, 1999. 143 s. ISBN 80-214-1347-6.
- [2] TEDOM. [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <<http://kogenerace.tedom.com/>>.
- [3] KOUDELKA, Ctirad. *Kogenerační jednotky*. Ostrava, 2004. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/kogeneracni_jednotky.pdf>.
- [4] ČEZ ENERGO. *Princip kogenerace a trigenerace*. [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <<http://www.cez.cz/kogenerace/cs/caste-otazky/princip-kogenerace-trigenerace-a-moznosti-instalace.html>>.
- [5] EkoWATT. *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla*. [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/kombinovana-vyroba-elekriny-a-tepla>>.
- [6] KRBEK, J. – POLESNÝ, B. *Kogenerační jednotky - Zřizování a provoz*. 1. vydání. Praha: GAS s.r.o., 2007. 73 s. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [7] KARAFIÁT, J. a kolektiv. *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla*. [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>>.
- [8] MATUŠKA, T. *Malé teplotenské zdroje mikrokogenerace*. [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <<http://users.fs.cvut.cz/~matustom/ZZT-P7-mikrokogenerace.pdf>>.
- [9] KODYTEK, Z. – MALÝ, M. a kolektiv. *Typové projekty kogenerace*. [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/008164_1.pdf>.
- [10] KRBEK, J. – POLESNÝ, B. *Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích*. 1. vydání. Brno: PC-DIR, 1997. 100 s. ISBN 80-214-0889-0.
- [11] Tintěra, L. *Kogenerace – kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (I)*. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/2912-kogenerace-kombinovana-vyroba-elektricke-energie-a-tepla-i>>.
- [12] Směrnice č. 2004/8/ES ze dne 11. února 2004 o podpoře kombinované výroby tepla a elektřiny založené na poptávce po užitečném teple na vnitřním trhu s energií a o změně směrnice 92/42/EHS. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02004L0008-20090420&qid=1-400422003639&from=CS>>.
- [13] POSPÍŠIL, J. – FIEDLER, J. *Systémy společné výroby elektrické energie, tepla a chladu*. [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <<http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/6519-systemy-spolecne-vyroby-elektricke-energie-tepla-a-chladu>>.
- [14] FIEDLER, J. *Výhody a omezení malých kogeneračních jednotek*. [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/7866-vyhody-a-omezeni-malych-kogeneracnich-jednotek>>.

- [15] MAROŠ, B. – MAROŠOVÁ, M. *Numerické metody I*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 144 s. ISBN 80-214-2388-9.
- [16] DANĚK, J. *Aproximace funkcí*. [online]. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.cam.zcu.cz/~danek/Students/2003_ZS/Materialy/aproximace_funkci.pdf>.
- [17] SKUPINA ČEZ. *Uhelné elektrárny skupiny ČEZ*. [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_group_and_coal_power_plants.pdf>.
- [18] Oznámení o hodnocení vlivu na životní prostředí dle přílohy 3 zákona 100/01 Sb. *Záložní zdroj Krč horkovodní soustavy Mělník – Praha*. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX09WMTAxM19vem5hbW-VuaURPQ18xLmRvYw/OV1012_oznameni.doc>.
- [19] STANĚK – STŘECHY. *Schéma kogenerační jednotky*. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <<http://stanek-strechy.cz/Kogenerace>>.
- [20] ERU. *Energetický regulační věstník – stanovení podpory pro podporované zdroje energie*. [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <<http://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti>>.
- [21] ERU. *Energetický regulační věstník – stanovení regulované ceny související s dodávkou elektřiny*. [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <<http://www.eru.cz/cs/elektrina/cenova-rozhodnuti>>.
- [22] ERU. *Energetický regulační věstník – stanovení regulované ceny související s dodávkou plynu*. [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <<http://www.eru.cz/cs/plyn/cenova-rozhodnuti>>.
- [23] OTE. *Roční zpráva o trhu s elektřinou a plynem*. [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <<http://www.ote-cr.cz/statistika/rocní-zprava>>.
- [24] CELNÍ SPRÁVA ČR. *Ekologické daně – vybraná ustanovení zákona*. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <<http://www.celnisprava.cz/cz/dane/ekologicke-dane/Obecn%20EKO%20informace/VP-073-2007.pdf>>.
- [25] Podklady od firmy.
- [26] MOTOR GAS. *Použití kogeneračních jednotek*. [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <<http://www.motorgas.cz/cz/referencni-list-bioplyn/61/vysoka-bps/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Veličina
E	[GJ, MWh]	elektrický výkon tepelného stroje
e	[-]	teplárenský modul
E_C	[kWh]	elektřina vyrobená v KJ
$E_{C,D1200}$	[kWh]	elektřina vyrobená v KJ Quanto D1200
$E_{C,D400}$	[kWh]	elektřina vyrobená v KJ Quanto D400
E_{max}	[kWh]	maximální hodnota elektrické energie za rok
E_{TUV}	[kWh]	elektřina z ohřevu TUV
E_η	[%]	elektrická účinnost při kombinované výrobě
$f(x)$	[-]	funkce spotřeby zemního plynu závislá na zatížení KJ
$f(x_1)$	[-]	funkce tepla vyrobeného v KJ D1200 při nekonst. výkonu
$f(x_2)$	[-]	funkce tepla vyrobeného v KJ D400 při nekonst. výkonu
$f(x_3)$	[-]	funkce spotřeby plynu v KJ D1200 při nekonst. výkonu
$f(x_4)$	[-]	funkce spotřeby plynu v KJ D400 při nekonst. výkonu
H_η	[%]	tepelná účinnost při kombinované výrobě
P_E	[kW]	elektrický výkon
PES	[%]	úspora primární energie
P_T	[kW]	tepelný výkon
$P_{T100,D400}$	[kW]	výkon KJ Quanto D400 při 100% zatížení
$P_{T50,D1200}$	[kW]	výkon KJ Quanto D1200 při 50% zatížení
$P_{T50,D400}$	[kW]	výkon KJ Quanto D400 při 50% zatížení
Q_C	[GJ]	teplo vyrobené v KJ
$Q_{C,D1200}$	[GJ]	teplo vyrobené v KJ Quanto D1200
$Q_{C,D1200}$	[GJ]	teplo vyrobené v KJ Quanto D1200
$Q_{C,D400}$	[GJ]	teplo vyrobené v KJ Quanto D400
$Q_{C,D400}$	[GJ]	teplo vyrobené v KJ Quanto D400
$Q_{C,KOT}$	[MWh]	teplo pro pokrytí TUV
$Q_{C,max}$	[GJ]	maximální hodnota tepla za rok
$Q_{C,TUV}$	[GJ]	teplo pro pokrytí TUV
Q_d	[GJ, MWh]	dodaný tepelný výkon
Q_{pal}	[GJ, MWh]	tepelný příkon přivedený v palivu
$Ref E_\eta$	[%]	účinnost oddělené výroby elektřiny
$Ref H_\eta$	[%]	účinnost oddělené výroby tepla
S_{100}	[m ³ /h]	spotřeba zemního plynu při 100% výkonu
$S_{50,D1200}$	[kW]	spotřeba plynu v KJ Quanto D1200 při 50 % zatížení
$S_{50,D400}$	[kW]	spotřeba plynu v KJ Quanto D400 při 50% zatížení
S_{KJ}	[m ³]	celková spotřeba zemního plynu v KJ za rok
S_{KOT}	[MWh]	celková spotřeba zemního plynu v kotli za rok
t	[h]	počet provozních hodin KJ
η_C	[%]	celková účinnost
η_E	[%]	elektrická účinnost
η_K	[-]	účinnost kotle
η_T	[%]	tepelná účinnost

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Index	Název
CZT	Centrální zásobování teplem
DZT	Decentralizované zásobování teplem
ERU	Energetický regulační úřad
KJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
ORC	Organický Rankinův cyklus
OTE	Operátor trhu s elektřinou a zemním plynem
TUV	Teplá užitková voda