

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY PRO
MULTIFUNKČNÍ OBJEKT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval:

Kateřina Čermáková

Vedoucí práce:

Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.

2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Čermáková Jméno: Kateřina Osobní číslo: 484557

Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh kogenerační jednotky pro multifunkční objekt

Název bakalářské práce anglicky: Design of cogeneration unit for multifunctional building

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii na téma: Kombinovaná výroba elektřiny a tepla.

Pro zadaný multifunkční objekt navrhnete kogenerační jednotku, zpracujete koncept TZB a projekt vytápění. Projektová dokumentace části vytápění bude na úrovni projektu pro vydání stavebního povolení, bude obsahovat příslušné půdorysy, schémata, výpočty a technickou zprávu.

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

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2022

Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.5.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu.

V Praze 2.5.2022

podpis

Zde bych chtěla poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Pavle Dvořákové, Ph.D. za odpovědné vedení, cenné rady a poskytnutou literaturu. Rovněž děkuji svým rodičům za finanční a psychickou podporu během studia.

Obsah

1	Úvod	1
2	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla	2
2.1	Princip kogenerace.....	2
2.2	Snížení spotřeby primárních energetických zdrojů vlivem kogenerace	3
2.3	Zásobování teplem	4
2.4	Oblasti použití kogenerace.....	5
2.4.1	Budovy a objekty občanské vybavenosti.....	5
2.4.2	Průmyslové podniky	6
2.4.3	Kondenzační elektrárny	6
2.4.4	Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem	6
2.4.5	Čistírny odpadních vod.....	7
2.5	Ekologický přínos kogenerace.....	7
2.6	Výhody kogenerace	8
2.7	Nevýhody kogenerace.....	8
3	Rozdělené kogeneračních zařízení	8
3.1	KJ s vnějším spalováním	9
3.1.1	Parní turbína.....	9
3.1.2	Organický rankinův cyklus.....	11
3.1.3	Plynové (spalovací) turbíny	12
3.1.4	Mikroturbíny	14
3.1.5	Stirlingův motor.....	16
3.2	KJ s vnitřním spalováním	17
3.2.1	Spalovací motor	17
4	Postup pro návrh kogenerační jednotky	19
5	Návrh kogenerační jednotky.....	20
5.1	Popis objektu.....	20
5.2	Výpočet tepelné ztráty	20
5.3	Roční potřeba tepla na vytápění.....	21
5.3.1	Ztráta tepla	21
5.3.2	Tepelné zisky	21
5.4	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	24
5.5	Potřeba elektrické energie.....	25
5.6	Pokrytí spotřeby teplé vody	26
5.7	Pokrytí spotřeby elektřiny.....	26
5.8	Pokrytí spotřeby tepla pro vytápění	27
5.9	Navržení kogenerační jednotky	27

5.10	Návrh akumulací nádrže	28
5.11	Ekonomické zhodnocení	28
5.11.1	Souhrn výroby elektrické energie a tepla a spotřeby plynu	29
5.11.2	Energetická bilance	30
5.11.3	Rozpis investice, nákladů a úspor	31
5.11.4	Náklady na provoz bez kogenerační jednotky	32
5.11.5	Návratnost	33
6	Závěr	34
	Použité zdroje	36
	Seznam obrázků	38
	Seznam tabulek	38
	Seznam příloh a výkresů	39

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zpracována na téma „Návrh kogenerační jednotky pro multifunkční objekt“. Obsahem práce je zpracování studie o kombinované výrobě elektřiny a tepla. V úvodní části studie je vysvětlen pojem kogenerace, popsány oblasti použití kogenerace, její výhody a nevýhody.

V druhé části je zpracováno tepelně technické posouzení, ze kterého vychází bilance tepla a elektřiny, jež jsou použity pro následný návrh kogenerační jednotky.

Třetí část této práce je projekt vytápění v podrobnosti pro vydání stavebního povolení. Tento projekt obsahuje návrh řešení kogenerační jednotky, která byla navržena ve druhé části.

Abstract

This bachelor thesis is elaborates on the topic of „Design of a cogeneration unit for a multifunctional building“. This work contains the elaboration of a study on the combined heat and power production. In the introductory part of the study, the concept of cogeneration is explained and the areas of the use of the cogeneration together with its advantages and disadvantages are described.

The second part deals with the thermal technical assessment which is based on the balance of heat and electricity, and which is then use for the subsequent design of the cogeneration unit.

The third section of this thesis is heating project at the level for issuing a building permit. This project includes a design of the cogeneration unit solution which was designed in the second part.

Klíčová slova

Kogenerace, kogenerační jednotka, návrh kogenerační jednotky, vytápění, multifunkční objekt

Key words

Cogeneration, cogeneration unit, cogeneration unit design, heating, multifunctional building

1 Úvod

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla se odborně označuje jako kogenerace. Je většinou založena na spalování fosilních paliv a jedná se o velmi efektivní způsob výroby energií. Jedná se o proces, při kterém vzniká elektrická energie a odpadní teplo z produkce elektřiny je dále využíváno. Kombinovaná výroba je velmi flexibilní, jelikož z tepla lze snadno vytvořit chlad pomocí absorpční jednotky. Celková účinnost kogenerace se pohybuje mezi 70-90 % a úspora primárních zdrojů energie se pohybuje v rozmezí 40-50 %. Tedy oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla je u kogenerace potřeba až o polovinu méně paliva pro výrobu stejného množství energie. [1] Další výhodou v porovnání s oddělenou výrobou elektřiny a tepla je výrazné snížení celkové velikosti emisí.

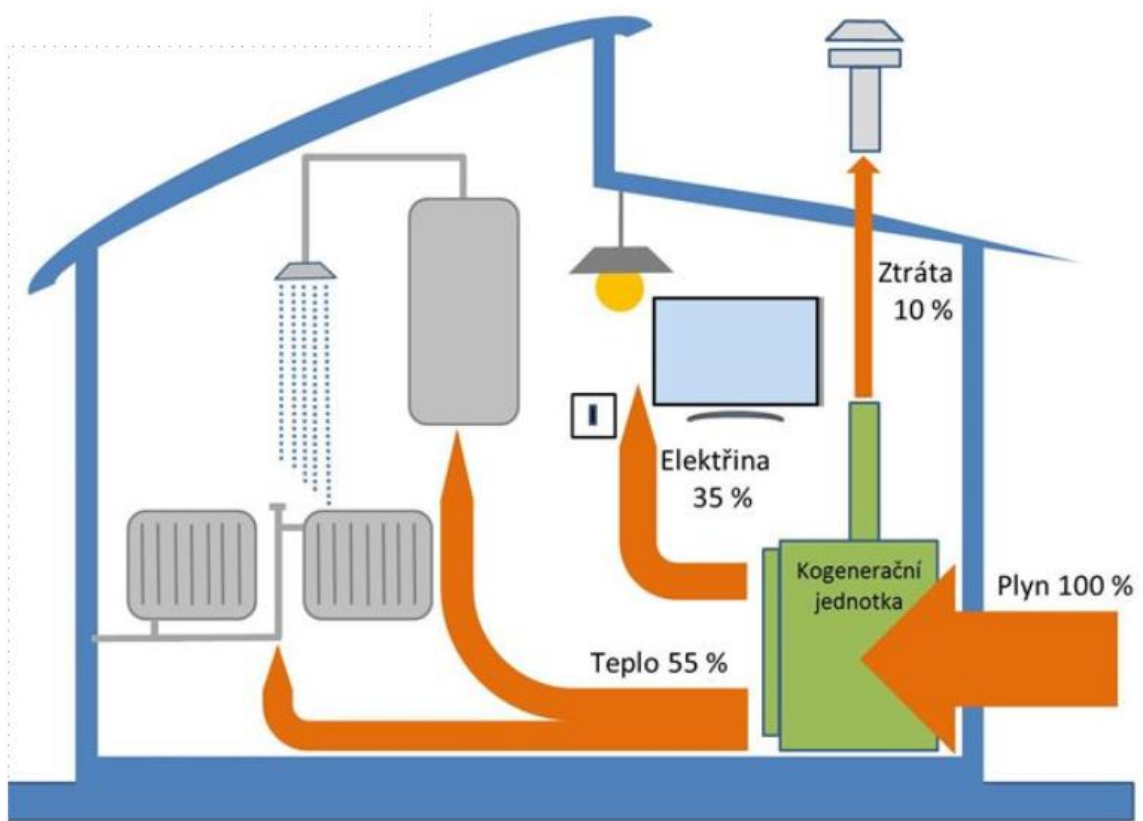
Kogenerační jednotky bylo zvykem využívat spíše pro větší objekty jako jsou například průmyslové budovy, a to z důvodu potřeby velkého množství tepla. Avšak nyní se čím dál častěji začínají využívat mikrokogenerační jednotky s nižším výkonem, které jsou vhodné právě pro menší objekty s nižší spotřebou tepla a elektrické energie. Vysoká počáteční investice je poměrně rychle navracena díky vysoké účinnosti jednotek a nízkým servisním nákladům.

Hlavním obsahem bakalářské práce je zpracování návrhu kogenerační jednotky pro multifunkční objekt. U objektu je předpokládán celoroční provoz a téměř nepřetržitá potřeba tepla a elektřiny. Cílem práce je navrhnout vhodnou kogenerační jednotku pro vybraný provoz a zpracovat projekt ve stupni pro vydání stavebního povolení se všemi náležitostmi a řešit technické problémy při zapojení zdroje tepla do otopné soustavy.

2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

2.1 Princip kogenerace

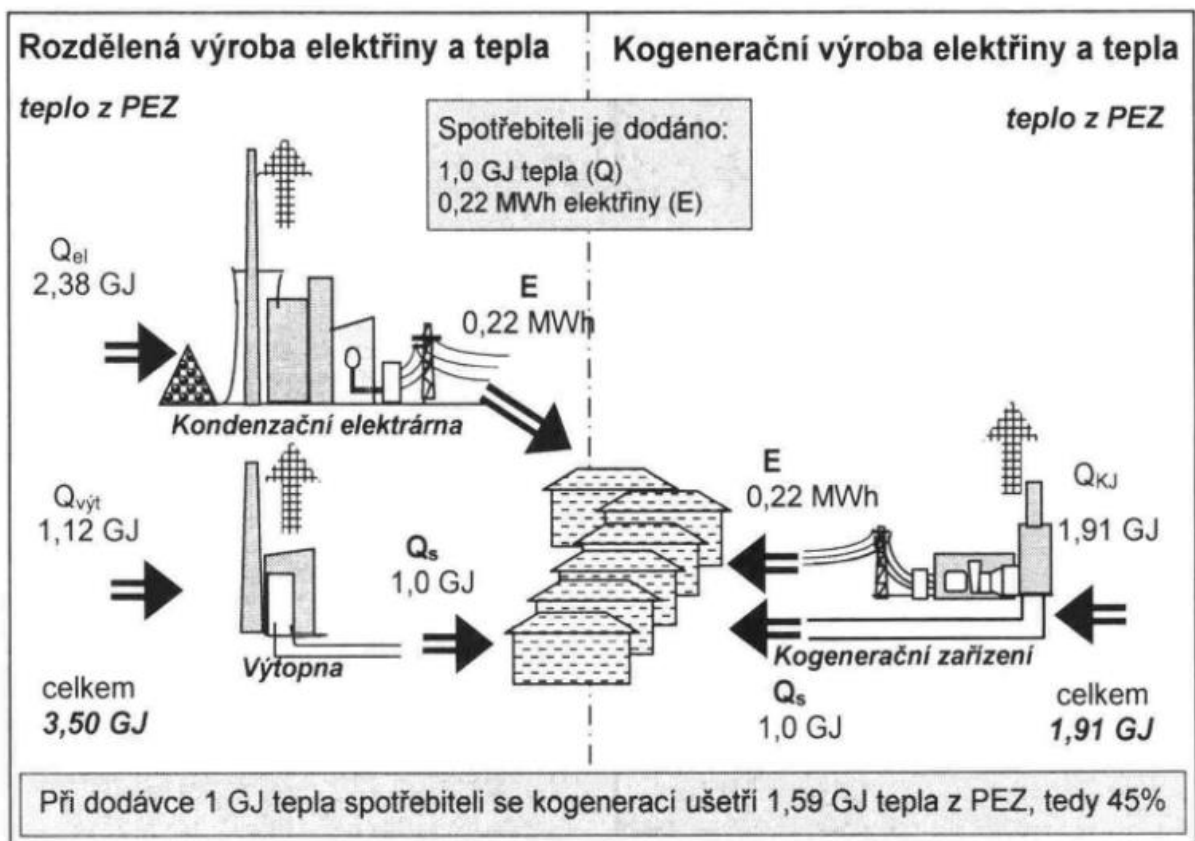
Kogenerace neboli kombinovaná výroba elektřiny a tepla představuje sdruženou výrobu elektrické energie a tepla v jednom zařízení. Při kogeneraci je elektřina vyráběna spalováním nebo fyzickými reakcemi. Odpadní teplo generované tímto procesem je přenášeno pomocí výměníku do akumulčního zásobníku a topné vody. Teplo, které se zde získá, se používá k zásobování topného systému a v samostatné smyčce teplé vody. Všechna vodní pára, která se nachází ve výfukových plynech, kondenzuje, a toto teplo se využívá k ohřevu teplé vody. Elektřina je spotřebovávána přímo v objektu a přebytky se přivádějí do veřejné energetické sítě. Kogeneraci tepla a elektřiny je také možné kombinovat s absorpční jednotkou a tím ji využívat ke chlazení. Tato kombinace výroby tepla, elektřiny a chladu se nazývá trigenerace. [2,3]



Obr. 1 Využití energie při instalaci kogenerační jednotky [4]

2.2 Snížení spotřeby primárních energetických zdrojů vlivem kogenerace

Vzhledem k úspoře primárních energetických zdrojů (PEZ), je kombinovaná výroba jedním z neúčinnějších nástrojů ke snižování energetické náročnosti systémů zásobování teplem a elektřinou. Výhody kogenerace lze vysvětlit pouze při porovnání s oddělenou výrobou elektřiny a tepla. [3]



Obr. 2 Význam kogenerace pro snížení spotřeby tepla z PEZ [2]

Jak je patrné z obrázku, v případě použití kogenerační jednotky se při dodávce 1 GJ tepla spotřebiteli ušetří 45% tepla z PEZ. [5]

Tuto úsporu tepla v palivu při kogenerační výrobě oproti oddělené výrobě stejného množství elektřiny a tepla je možné vyjádřit vztahem:

$$E_u = E_{výt} + E_{ele} - E_{kog} = E_t \left[\left(\frac{1}{\mu_{výt}} - \frac{1}{\mu_{kog}} \right) + e \left(\frac{1}{\mu_{ele}} - \frac{1}{\mu_{kog}} \right) \right]$$

kde $e = \frac{E_e}{E_t}$

V tomto vztahu jsou:

$E_{výt}, E_{ele}, E_{kog}$	teplo přivedené v palivu pro výrobu tepla ve výtopně, pro výrobu elektřiny v elektrárně a pro provoz kogeneračního zařízení
E_t, E_e	dodávka tepla a elektrické energie z kogeneračního zařízení
$\mu_{výt}$	účinnost výtopny nebo lokálního topidla, které je nahrazeno kogeneračním zařízením
μ_{ele}	účinnost výroby elektrické energie v kondenzační elektrárně s uvážením ztrát v rozvodech mezi vzdálenou elektrárnou a místem spotřeby (v naší elektrárenské soustavě lze vzít $\mu_{ele}=0,34$)
μ_{kog}	celková tepelná účinnost kogeneračního zařízení, definovaná jako poměr veškeré vyprodukované užitečné energie (elektrické a tepelné) k energii přivedené v palivu

Parametr e [-] se nazývá modul teplárenské (kogenerační) výroby elektřiny. Je dán podílem množství vyrobené elektrické energie a tepla dodaného spotřebiteli, nebo poměrem elektrického a tepelného výkonu daného zařízení. Tento parametr má zásadní vliv na všechny parametry kogenerace. [3]

2.3 Zásobování teplem

Teplo může být dodáváno centralizovaně nebo decentralizovaně. Při centralizovaném zásobování teplem je teplo přiváděno do objektu pomocí tepelných sítí, které spojují jeden nebo více zdrojů tepla.

Při decentralizovaném, neboli lokálním způsobu dodání tepla, není teplo dodáváno pomocí tepelných sítí, ale pomocí individuálních topidel nebo skrz ústřední vytápění. Individuální topidla, elektrické radiátory nebo kamna na pevná či kapalná paliva, teplo dodávají pouze do jedné místnosti. U ústředního vytápění je teplo dodáváno do více místností daného objektu. Při použití kogeneračního zdroje u ústředního vytápění je potřeba doplnit zařízení o záložní kotel, který bude pracovat v měsících největšího výkonu a při případných výpadcích kogenerační jednotky. V této práci se budeme dále zabývat decentralizovanou dodávkou tepla pomocí kogenerační jednotky. [2]

2.4 Oblasti použití kogenerace

2.4.1 Budovy a objekty občanské vybavenosti

- **Rodinné domky a menší komplexy obytných budov**

Rodinné domy a menší objekty potřebují teplo pro vytápění a přípravu teplé vody. Využití tepla na vytápění je zde poměrně nízké a potřebné množství elektřiny je vůči potřebě tepla malé. Proto je možné kogenerační jednotku navrhnout v takových objektech jen tehdy, kdy je dlouhodobě zajištěn prodej vyrobené elektřiny do veřejné sítě za příznivou cenu. Nejčastějšími kogeneračními zařízeními jsou zde spalovací motory, ale v budoucnu lze počítat, že se začnou využívat nové druhy kogeneračních zařízení jako jsou Stirlingovy motory, palivové články nebo mikroturbíny. Z důvodu vysoké pořizovací ceny jsou zatím kogenerační jednotky u menších objektů používány jen zřídka, avšak vzhledem ke stoupání ceny elektřiny by se počet jejich instalací mohl začít zvětšovat. [5]

- **Hotely a penziony**

Hotely a penziony jsou vhodnými objekty pro instalaci kogeneračních jednotek. U těchto budov, které mají alespoň 50 lůžek, je dostatečně velká spotřeba tepla pro vytápění a celoroční potřeba tepla pro ohřev vody. Velice často mají potřebu tepla a elektřiny pro různé nadstandardní služby jako je vířivka, bazén, sauna, prádelna apod. Pro tento účel jsou nejvhodnější kogenerační jednotky se spalovacími motory. [5]

- **Internáty a vysokoškolské koleje**

Tyto objekty jsou vhodné pro instalaci kogeneračních jednotek, a to z hlediska vysoké potřeby tepla i elektřiny během školního roku. Jsou zde vhodné kogenerační jednotky se spalovacími motory. Komplikací je zde velké omezení provozu v období prázdnin. [5]

- **Administrativní budovy a školy**

Nevýhodou instalace kogeneračních jednotek v těchto zařízeních je velmi vysoká potřeba tepla v otopné sezóně a velmi malá v letním období, jelikož potřeba tepla pro ohřev TV je malá. V budoucnu lze očekávat, že teplo, které se nevyužije v letních měsících na vytápění, bude využíváno pro chlazení. A to instalací kogenerační jednotky se spalovacím motorem ve spojení s absorpčním chlazením. Podobně jako u internátů a vysokoškolských kolejí mají školy přes prázdniny omezený provoz. Většina těchto budov také není v provozu v období svátků nebo o víkendových dnech. Proto je pro návrh jednotky v těchto objektech nutno vyhotovit podrobnou ekonomickou analýzu. [5]

2.4.2 Průmyslové podniky

Pro průmyslové podniky jsou podmínky instalace velice různorodé. V minulosti byly zdrojem tepla převážně závodní výtopny nebo teplárny s palivem ve formě uhlí. Nyní dochází k rozšiřování závodních tepláren, které využívají jako palivo zemní plyn. Závodní teplárny jsou převážně vybaveny protitlakovými nebo kondenzačními turbínami, ale narůstá počet tepláren se spalovacími motory a spalovacími turbínami. Pro kogeneraci jsou vhodné podniky s vícesměnnými provozu a s velkou potřebou tepla. [5]

2.4.3 Kondenzační elektrárny

Kogenerační princip výroby elektřiny je možno použít i u kondenzačních elektráren. V ČR byly v posledních letech rekonstruovány na teplárenskou výrobu výměnou kondenzačních turbín za kogenerační parní turbíny ty nejstraší z nich. [5]

2.4.4 Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem

V současnosti dochází k úpadku navrhování kogeneračních jednotek jako tepelných zdrojů centralizovaného zásobování teplem, a to kvůli omezení stavby velkých sídlišť a přechodu spíše na decentralizované zásobování teplem. [5]

2.4.5 Čistírny odpadních vod

V čistírnách odpadních vod jsou už dlouhodobě používány kogenerační jednotky se spalovacími motory a spalovacími turbínami. Použití kogeneračních jednotek je zde velice výhodné, a tyto jednotky jsou součástí celého procesu čištění odpadních vod. V dnešní době jsou téměř všechny velkokapacitní čistírny odpadních vod vybaveny právě kogenerační jednotkou. [5]

2.5 Ekologický přínos kogenerace

Kogenerační jednotky splňují z hlediska emisí příslušné normy. Oproti oddělenému způsobu výroby tepla a elektřiny výrazně snižují celkovou velikost emisí SO₂, NO_x, CO a prachu. A v důsledku snížení spotřeby primárních energetických zdrojů i snížení emise CO₂. [2,5]

Stejně jako u výpočtu úspory tepla v palivu u PEZ zde můžeme odvodit vztah pro snížení emisí při kogenerační výrobě:

$$\frac{M_x}{Q_s} = \left(\frac{m_x^{výt}}{\mu_{výt}} - \frac{m_x^{kj}}{\mu_{kj}} \right) + e \left(\frac{m_x^{el}}{\mu_{el}} - \frac{m_x^{kj}}{\mu_{kj}} \right) [2]$$

V tomto vztahu jsou:

M zmenšení emise příslušné látky [kg]

m velikost emise látky vzniklé při spálení paliva, vztažená na 1 GJ uvolněného tepla. [kg/GJ]

Indexy:

$výt$ vyjadřuje vztah k výtopně

kj vyjadřuje vztah ke kogenerační jednotce

el vyjadřuje vztah ke kondenzační elektrárně

x vyjadřuje druh emitující látky

Z výše uvedeného vzoce je patrné, že zmenšení emisí libovolné škodlivé látky je přímo uměrné teplotárenskému modulu výroby elektřiny e . [2]

2.6 Výhody kogenerace

Velkou výhodou kogenerace je umístění jednotky blízko spotřebitele, takže se sníží energetické ztráty vzniklé při dopravě. Pokud je vyrobeno více elektřiny, než je v objektu potřeba, je možnost přebytečnou energii prodat do veřejné sítě. V teplých měsících je také možné připojit jednotku k absorpční jednotce, která zajišťuje chlazení objektu. Absorpční jednotka z velké části využívá pro výrobu chladu teplo, které by se v těchto měsících nevyužilo. [3]

2.7 Nevýhody kogenerace

Velkou nevýhodou je vysoká pořizovací cena kogenerační jednotky. Vložené prostředky investor získává zpět až během provozu zařízení. V dnešní době už jsou zařízení navrhována i pro menší objekty tj. rodinné a bytové domy, v tomto případě je ale nutné provést porovnání nákladů na oddělenou dodávku elektřiny a tepla a již zmíněnou kogeneraci. Protože aby byla návratnost investice v co nejkratším čase, je nutné, aby bylo roční využití zařízení vysoké. Při malém ročním využití, což je nejvíce pravděpodobné právě u rodinných domů, může být kogenerační zařízení z ekonomického pohledu ztrátové.

Za další nevýhodu může být považována vzájemná vazba výroby elektřiny a tepla. V kogenerační jednotce není možné měnit poměr výroby elektřiny a tepla, velikost tohoto poměru závisí na typu a parametrech kogeneračního zařízení.

Dále je nutné zvážit vhodné umístění jednotky. Jelikož jsou dost hlučné, je potřeba zajistit ochranu proti hluku a vibracím. [3]

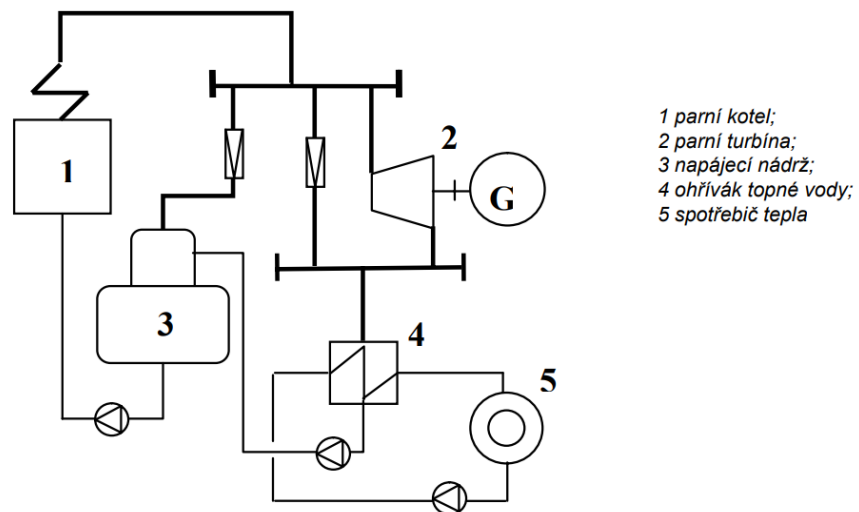
3 Rozdělené kogeneračních zařízení

Kombinovanou výrobu elektřiny a tepla lze realizovat v různých zařízeních, které dělíme podle způsobu získání energie pro pohon elektrického generátoru. [3]

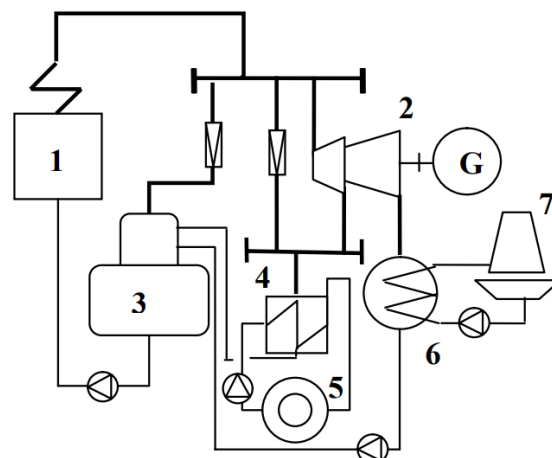
3.1 KJ s vnějším spalováním

3.1.1 Parní turbína

Parní turbíny jsou využívány jako primární jednotky především v průmyslu. S ohledem na místo odběru tepelné energie a množství páry podílející se na výrobě elektrické energie a tepla, můžeme systémy s parními turbínami rozdělit na protitlaké a kondenzační. U protitlaké turbíny je pára pro zdroj tepla odebírána i na výstupu z turbíny. U kondenzačních turbín se pára z výstupu turbíny vede do kondenzátoru. Tuto páru nelze pro kogenerační účely použít, avšak pára může být ve vhodném místě odebírána pro průmyslové nebo topné účely. [6]



Obr. 3 Schéma zapojení protitlakové parní turbíny [5]



Obr. 4 Schéma zapojení kondenzační parní turbíny s odběrem páry [5]

3.1.1.1 Elektrický a tepelný výkon

Rozmezí používaných výkonů se pohybuje v oblasti od 1000 kW do 250 MW. Hodnota tepelného výkonu je vyšší pro protitlaké turbíny, kde se dosahuje u velkých teplárenských jednotek vysokých hodnot. Poměr tepelné a elektrické energie se pohybuje pro turbíny využívané pro KJ v rozmezí 0,05-0,2. Parní turbína je tedy vhodná pro prostory s velkým odběrem energie. [6]

3.1.1.2 Účinnost

Elektrická účinnost se pohybuje od 8-35 % a je závislá na použitých parametrech páry. Jelikož parní turbíny jsou využívány primárně pro dodávku tepla a výroba elektrické energie je až sekundární, nízké hodnoty elektrické účinnosti nejsou podstatné.

Termodynamická účinnost se pohybuje v rozmezí od 65-90 %.

Celková účinnost, a tedy větší vhodnost pro využití pro kogenerační jednotky, je u protitlaké turbíny, kde dosahuje hodnoty až 85 %. [6]

3.1.1.3 Možnosti použití

- Místa, jež využívají páru o vysokých parametrech pro technologické účely
- Když modul teplárenské výroby je menší než 0,25
- V místech, kde je nutné nahradit stávající parní kotelnu
- Teplárny a elektrárny

3.1.1.4 Výhody

- Vysoká účinnost
- Použití libovolného paliva
- Dlouhá životnost
- Velký rozsah výkonů
- Pokrytí tepelných požadavků při různých teplotách

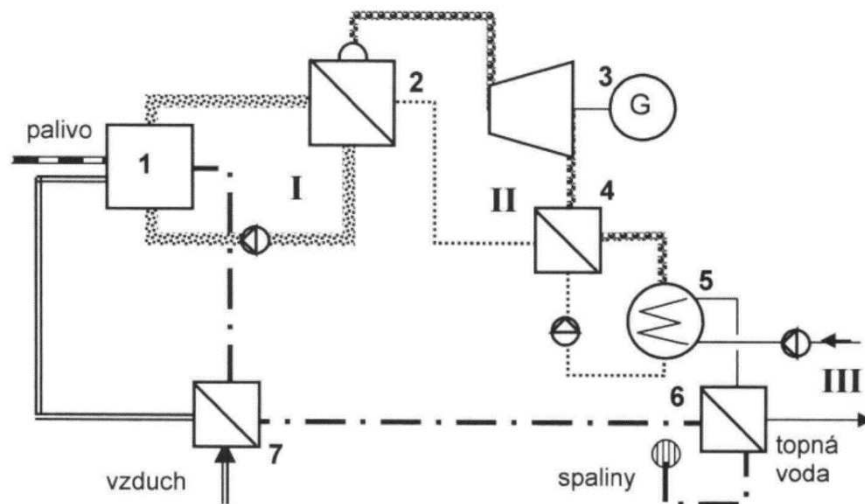
3.1.1.5 Nevýhody

- Malý teplotní modul
- Vysoká cena
- Pomalý start

3.1.2 Organický rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus využívá oproti klasickému Rankinově cyklu místo vody, respektive vodní páry jiné organické sloučeniny. Je to výhodnější pro zařízení pracující při nižší teplotě ve výparníku. Tyto organické-pracovní látky při použití poskytují vyšší účinnost cyklu. Nejčastěji používané látky jsou fluid uhlovodíky, silikonové látky nebo toulén. Dříve se hodně používal čpavek nebo freony.

Cyklus funguje tak, že nejdříve je v kotli ohříván termoolej např. na 300 °C. Olej putuje do výparníku, kde se vyvíjí plyn, a ten je veden do turbíny. Z turbíny je plyn odváděn do regenerátoru a kondenzátoru, kde dojde k jeho ochlazení a zkapalnění. Teplo je získáváno z ekonomizéru, jenž je umístěn za kotlem. [6,7]



1 olejový parní kotel; 2 tepelný výměník olej/glykol; 3 parní turbína s generátorem; 4 regenerační výměník;
5 kondenzátor glykolových par; 6 ohřívák topné vody
I okruh termooleje; II okruh organického teplotní nositele; III okruh topné vody

Obr. 5 Schéma kogeneračního zařízení s organickým teplotní nositelem (ORC)[5]

3.1.2.1 Elektrický a tepelný výkon

Jednotky jsou dodávány v modulárním provedení. Výkonový rozsah dodávaných jednotek se pohybuje v rozmezí 200-1500 kW. V případě potřeby většího výkonu lze paralelně propojit více modulů. Poměr tepelné a elektrické energie je přibližně stejný jako u protitlakých turbín, z čehož vyplývá, že jednotky jsou určeny především pro dodávku tepla. [6]

3.1.2.2 Účinnost

Elektrická účinnost primárních jednotek organického Rankinova cyklu je v rozmezí 15-20 %. Celková účinnost kogenerační jednotky pak dosahuje hodnot okolo 85 %. [6]

3.1.2.3 Možnosti použití

- Pro výrobu elektrické energie, kde je dostupnost paliva z obnovitelných zdrojů

3.1.2.4 Výhody

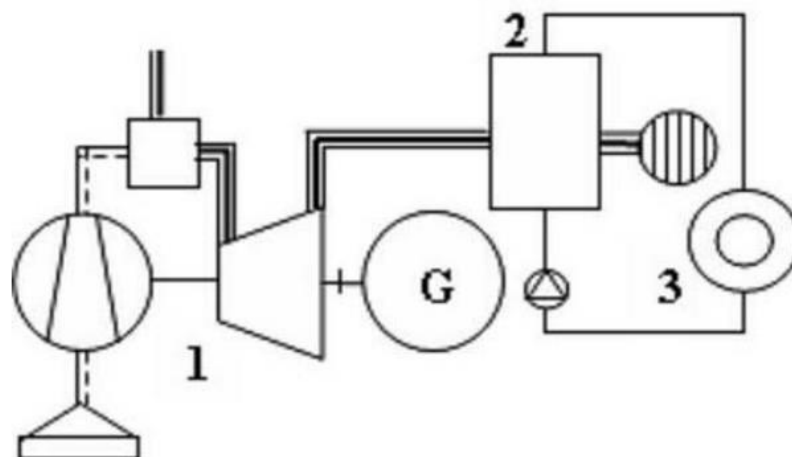
- Dlouhá životnost
- Využití obnovitelných zdrojů a biomasy
- Nízká citlivost na změnu zatížení

3.1.2.5 Nevýhody

- Pomalý start
- Velké investiční náklady

3.1.3 Plynové (spalovací) turbíny

Plynové neboli spalovací turbíny jsou nejrozšířenějším typem primárních jednotek kogeneračních systémů. Pracovní látkou je zde vzduch, který je stlačován kompresorem. Stlačený vzduch putuje do spalovací komory, kde je mu při spalování paliva dodávána tepelná energie. V expanzní části turbíny poté dochází k tlakové expanzi. Vyrobena mechanická práce se zčásti využívá na pohon kompresoru a zbytek je použit na výrobu elektrické energie nebo na pohon kompresu, čerpadel apod. [6]



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

Obr. 6 Princip kogeneračního zapojení spalovací turbíny [5]

3.1.3.1 Elektrický a tepelný výkon

U plynových turbín se jednotkový elektrický výkon pohybuje v rozmezí 500kW-250MW. Modul teplárenské výroby je vyšší než u parních turbín, to je důvod proč se plynové turbíny umísťují blíže k místu spotřeby tepelné energie. [6]

3.1.3.2 Účinnost

Elektrická účinnost se pro malé a střední turbíny pohybuje v rozmezí od 25-30 % a pro turbíny velkých výkonů až do 40 %. Celková účinnost může být 60-80 %. [6]

3.1.3.3 Možnosti použití

- Průmyslové objekty s velkým odběrem tepla a elektřiny
- V místech, kde je dostupný plyn

3.1.3.4 Výhody

- Vysoká spolehlivost
- Řízení elektrického výkonu
- Konstatní vysoká rychlost otáčení
- Nízké pořizovací náklady

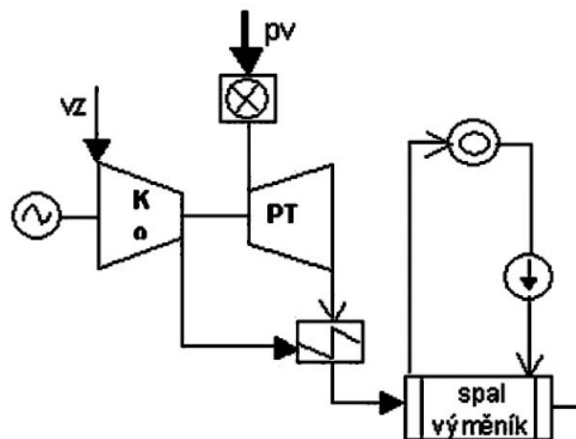
- Malé emise
- Široký rozsah použitých paliv (nafta, zemní plyn atd.)

3.1.3.5 Nevýhody

- Delší doba nájezdu
- Nízká mechanická účinnost
- Vysoká hlučnost
- Palivo musí být suché a čisté

3.1.4 Mikroturbíny

Mikroturbíny jsou vysokootáčkové plynové turbíny nízkého výkonu. Skládají se z kompresoru, spalovací komory, regeračního výměníku, turbíny a generátoru. Pro předehřev vzduchu vstupujícího do spalovací komory a pro ohřev vody jsou využívány výfukové spaliny. Mikroturbíny mohou mít olejová nebo vzduchová ložiska což znamená, že nepotřebují mazací olej. Oproti velkým plynovým turbínám pracují mikroturbíny s radiálním prouděním pracovní látky. Díky tomu se při malých výkonech dosahuje menších ztrát sáláním, větší účinnosti a také to zajišťuje úsporu místa. [5,6]



Obr. 7 Schéma kogenerace s mikroturbínou [9]

3.1.4.1 Elektrický a tepelný výkon

Mikroturbíny mají elektrický výkon v rozmezí 30-350 kW. Umisťují se blízko zdroje a jsou také vhodné pro mobilní kogenerační jednotky. Teplota spalin je v rozsahu

220-320°C. Jestliže chceme tuto teplotu zvýšit, je možné odebrat spalinový výměník, tím ale dojde k poklesu elektrické účinnosti o 10-15 %. [6]

3.1.4.2 Účinnost

Elektrická účinnost se pohybuje mezi 20-30 %. Celková účinnost mikroturbín je poté 65-80 %. [6]

3.1.4.3 Možnosti použití

- Menší objekty se stálým odběrem tepla a elektřiny

3.1.4.4 Výhody

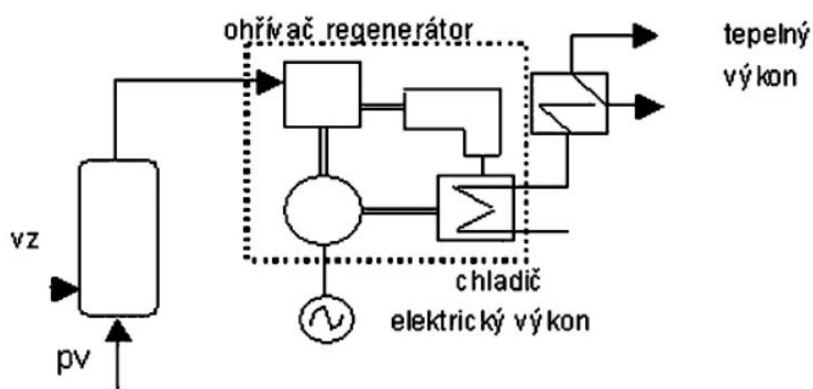
- Vysoká spolehlivost
- Rychlé najíždění a změna výkonu
- Jednoduchá instalace
- Malé rozměry a hmotnost
- Možnost každodenního odstavování

3.1.4.5 Nevýhody

- Vysoké investiční náklady
- Vysoká hlučnost
- Kvalitní a čisté palivo

3.1.5 Stirlingův motor

Stirlingův motor je pístový motor, který má dva trvale propojené zdvihové prostory s rozdílnou teplotou. Dochází zde k uvolnění tepelné energie, která je předávána pracovní látce oběhu. Pracovní látkou může být helium, vzduch, dusík nebo CO₂. Daná látka je střídavě stlačována ve studeném válci a poté expanduje v horkém válci. Teplo je přiváděno z vnějšího zdroje přes tepelný výměník. Teplo, jenž není přeměněno se odvádí chladicí vodou v chladiči. Pomocí regulátoru je plyn přenášet z horké zóny do chladiče a zpět. [5]



Obr. 8 Zjednodušené schéma kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem [9]

3.1.5.1 Elektrický a tepelný výkon

Malé jednotky mají elektrický výkon v rozmezí 10-600 kW. Vzhledem k častějšímu využívání biomasy se začínají vyrábět jednotky vyšších výkonů 1-1,5 MW. Pro jednotky malého výkonu je modul teplárenské výroby mezi 0,12-0,18. [6]

3.1.5.2 Účinnost

Tepelná účinnost závisí na kompresním poměru, na poměru teplot v expanzním a kompresním prostoru a na použité pracovní látce. Jmenovitá elektrická účinnost se pohybuje kolem 30 %. [6]

3.1.5.3 Možnosti použití

- Místa s požadavkem na nízkou hlučnost
- Místa s možností využití odpadového paliva

3.1.5.4 Výhody

- Nízké emise
- Jednoduché řízení
- Není nutný dodatečný zdroj tepla

3.1.5.5 Nevýhody

- Vysoké pořizovací náklady
- Menší zkušenost s provozem v oblasti nízkých výkonů

3.2 KJ s vnitřním spalováním

3.2.1 Spalovací motor

Spalovací motory jsou využívány nejen v kogeneraci, ale primárně především v dopravě a pro pohon strojních zařízení. Tyto motory se podle způsobu zapalování směsi vzduchu a paliva rozdělují na zážehové a vznětové.

U zážehových motorů je zapalována směs pomocí elektrické jiskry. Zážehové motory mají spojkovou účinnost nižší, než jaká je účinnost u motorů vznětových. Zapálení směsi může probíhat v otevřené spalovací komoře nebo s předzápalnou komorou.

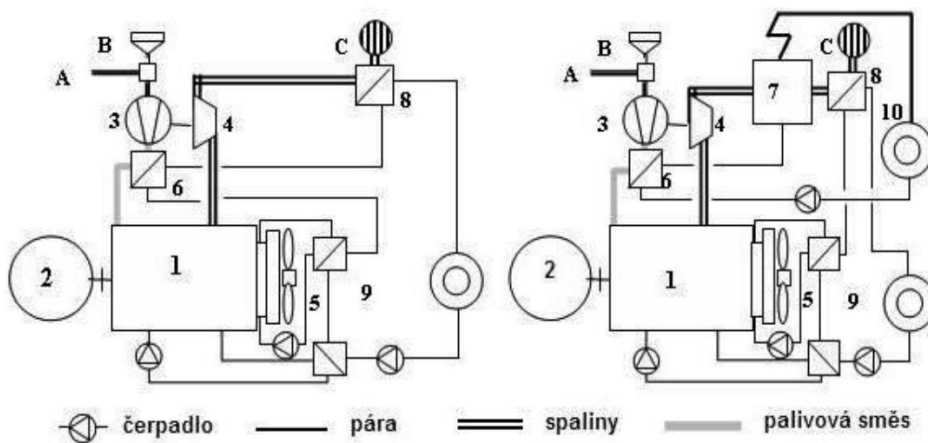
U vznětových motorů dochází k zapálení po vstřiku paliva do horkého stlačeného vzduchu. Účinnost těchto motorů dosahuje 35-45 %.

Aby bylo možné použití těchto motorů pro kogenerační zařízení, je třeba provést rekonstrukci pro spalování zemního plynu. Rekonstrukce se týká palivového systému a spalovacího prostoru. Kvůli vysokému hluku vzniklému při provozu jednotky je nutné vybavit motory kvalitní hlukovou izolací. [5]



1 spalovací motor; 2 elektrický generátor; 3 výměník tepla spaliny/topná voda; 4 výměník tepla chladicí voda/topná voda

Obr. 9 Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem [5]



a) dodávka tepla ve formě teplé nebo horké vody

b) dodávka tepla ve formě páry a horké vody

1 spalovací motor; 2 elektrický generátor; 3 kompresor přeplňovacího turbodmychadla; 4 turbína turbodmychadla; 5 okruh chlazení oleje a bloku válců motoru s ohříváký topné vody; 6 chladič stlačeného vzduchu; 7 parní kotel; 8 spalínový ohřívák topné vody; 9 okruh topné vody; 10 spotřebiče páry

Obr. 10 Základní zapojení spalovacích motorů pro kogenerační účely [5]

3.2.1.1 Elektrický a tepelný výkon

Kogenerační jednotky se spalovacími motory mají výkon v rozmezí 10 kW-50 MW. Je možné použít i jednotky o větších výkonech, ty se ale většinou nevyužívají. Kvalita teplárenské výroby je zhruba 1. [6]

3.2.1.2 Účinnost

Účinnost je závislá na kompresním poměru a je menší u malých motorů. Elektrická účinnost se v závislosti na výkonu pohybuje v rozmezí 28-42 %. [6]

3.2.1.3 Možnosti použití

- Rodinné domy
- Průmyslové areály
- Čistírny odpadních vod

3.2.1.4 Výhody

- Vysoká účinnost v širokém výkonovém rozmezí
- Rychlý start
- Pro malé jednotky nízké investiční náklady
- Opravy proveditelné na místě

3.2.1.5 Nevýhody

- Emise CO
- Hlučnost
- Vysoký modul teplárenské výroby
- Vysoké náklady na údržbu

4 Postup pro návrh kogenerační jednotky

Pro návrh kogenerační jednotky je nejdříve nutné předběžně posoudit vhodnost a možnost použití kogenerace. Což znamená zjistit, jestli jsou v objektu dostatečně velké požadavky na roční využití tepla a elektřiny. Dále je nutné dohledat, zda je v lokalitě k dispozici vhodné palivo, voda a připojení na veřejnou elektrickou síť, kvůli případnému přeprodávání přebytečné energie. Dalším krokem je posoudit dostupný prostor pro výstavku zařízení a seznámit se s legislativními požadavky (hluk, emise), které by mohly bránit výstavbě tepelného zdroje v tomto místě. [5]

Po prvním průzkumu přecházíme do části, kdy je nutné udělat podrobný rozbor požadavků na dodávku tepla a elektřiny, a na základě tohoto navrhnout správný typ, velikost a počet kogeneračních jednotek. Abychom mohli zpracovat již zmíněný druhý krok návrhu, musíme získat dané podklady mezi které patří: roční spotřeba tepelné a elektrické energie a její rozpis po měsících. [5]

5 Návrh kogenerační jednotky

5.1 Popis objektu

Jedná se o multifunkční objekt se třemi bytovými jednotkami, kanceláři, dílnou a klempírnou. Objekt se nachází v Polici nad Metují. Kogenerační jednotka zde bude navržena uvnitř objektu. Objekt má dvě patra, která se plně využívají a půdu, která je využita k umístění vzduchotechnických jednotek. Ve výpočtech je uvažováno s 12 lidmi pro bytové jednotky, 6 lidí pracuje v kancelářích a v dílně s klempírnou se pohybují střídavě 3 pracovníci.

5.2 Výpočet tepelné ztráty

Výpočet tepelné ztráty pro uvedený objekt byl proveden podle ČSN EN 12 831. [13] Pro návrh otopných těles v jednotlivých místnostech byl proveden výpočet tepelných ztrát jednotlivých místností. Při výpočtu tepelných ztrát pro návrh záložního kotle byla použita zjednodušená obálková metoda. Ta se zaměřuje na celkovou tepelnou ztrátu prostupem obvodových stěn a větráním celé budovy jako celku. U tepelných ztrát větráním zohledňujeme využití rekuperace v objektu, která má účinnost 85 %. Teplota ohřátého venkovního vzduchu je při této účinnosti 14,75°C. Tyto výpočty tepelných ztrát jsou uvedeny v Příloze B. Výsledkem výpočtu je hodnota tepelné ztráty pro objekt jako celek.

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_V$$

Φ	Celková návrhová ztráta [W]
Φ_T	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prstoru [W]
Φ_V	Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prstoru [W]

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_V$$

$$\Phi = 11,271 + 5,94 = 17,212 \text{ kW}$$

5.3 Roční potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla pro vytápění byla stanovena výpočtem z bilance tepelných ztrát a tepelných zisků v jednotlivých měsících. Vycházelo se zde z průměrných venkovních teplot a z jednotlivých solárních zisků.

$$Q_H = Q_{ZT} - \mu * Q_{ZI}$$

Q_H	Potřeba tepla pro vytápění [kWh]
Q_{ZT}	Tepelná ztráta v daném měsíci [kWh]
Q_{ZI}	Celkové zisky v daném měsíci [kWh]
μ	Součinitel využití zisků [-]

5.3.1 Ztráta tepla

Tepelné ztráty můžeme převzít z výpočtu v kapitole 5.2., kdy tepelné ztráty jsou 17,212 kW.

5.3.2 Tepelné zisky

Tepelné zisky dělíme na vnitřní a solární tepelné zisky.

5.3.2.1 Vnitřní tepelné zisky

Do vnitřních zisků započítáváme lidi a přístroje uvnitř místností. Podle normy ČSN 73 0331-1[14] jsme určili tepelné zisky od osob a spotřebičů pro různé typy prostorů. V našem případě pro byty, kanceláře a dílnu.

Tab. 1 Tepelné vnitřní zisky objektu za jednotlivé měsíce

Měsíc	Počet dní	Qi [kWh]
Leden	31	800,8427
Únor	28	723,3418
Březen	31	800,8427
Duben	30	775,009
Květen	31	800,8427
Červen	30	775,009
Červenec	31	800,8427
Srpen	31	800,8427
Září	30	775,009
Říjen	31	800,8427
Listopad	30	775,009
Prosinec	31	800,8427

5.3.2.2 Solární zisky

Solární tepelné zisky vznikají v důsledku slunečního záření. Jsou závislé na orientaci budovy, stínění a lokalitě. Objekt není nijak stále stíněn a v návrhu se nepočítá se s pohyblivým stíněním. Solární zisky jsou vypočítány měsíční metodou podle normy ČSN EN ISO 52016-1 [15].

$$Q_S = \sum_j I_{s,j} * \sum_n A_{s,nj}$$

$\sum_j I_{s,j}$ měsíční dávka slunečního záření v dané orientaci j [kWh/m²]

$\sum_n A_{s,nj}$ účinná plocha zasklení n, v dané orientaci j [m²]

Účinná plocha zasklení A_S se spočítá ze vztahu:

$$A_S = A * F_S * F_C * (1 - F_F) * g$$

A celková plocha otvoru [m²]

F_S stínící faktor, uvažován 0,6 [-]

F_C stínící faktor aktivních objektů, uvažován 1 jelikož okna nejsou permanentně stíněna [-]

- F_F poměr plochy rámu ku celkové ploše okna, uvažován průměr 0,09
[-]
- g činitel prostupu sluneční energie, uvažováno 0,675, což je hodnota daná výrobcem pro dvojitá okna

V následující tabulce jsou vidět celkové tepelné toky od solárních zisků, které by se daly snížit použitím stínících prvků jako jsou například žaluzie.

Tab. 2 Celkové tepelné toky solárních zisků

Měsíc	Qs [kWh]
Leden	420
Únor	648
Březen	1011
Duben	1272
Květen	1419
Červen	1347
Červenec	1346
Srpen	1431
Září	1095
Říjen	944
Listopad	827
Prosinec	349

Celkové tepelné zisky budovy pro jednotlivé měsíce jsem spočítala jako součet vnitřních zisků a solárních zisků a jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab. 3 Celkové tepelné zisky

Měsíc	Celkové tepelné zisky [kWh]
Leden	1221
Únor	1371
Březen	1812
Duben	2047
Květen	2220
Červen	2122
Červenec	2147
Srpen	2232
Září	1870
Říjen	1744
Listopad	1602
Prosinec	1150

Výpočet potřeby tepla na vytápění jsem počítala zjednodušenou měsíční metodou podle normy ČSN EN ISO 52016-1.[15] U výpočtu bylo třeba zohlednit součinitel využití tepelných zisků μ , který jsem vypočítala podle postupu v normě. Pro měsíce mimo otopné období je uvažován $\mu=0$, ale v ostatních měsících je nutné ho spočítat. Podrobný výpočet pro jednotlivé měsíce je uveden v Příloze B.

Výsledkem výpočtu jsou hodnoty měsíčních potřeb pro vytápění, pro získání roční potřeby tepla tyto hodnoty sečteme.

Tab. 4 Celková potřeba tepla v jednotlivých měsících

Měsíc	Potřeba
-	[MWh]
Leden	12
Únor	10
Březen	11
Duben	10
Květen	11
Červen	0
Červenec	0
Srpen	0
Září	11
Říjen	11
Listopad	11
Prosinec	12
Celkem	98

Roční potřeba tepla pro vytápění je 98 MWh/rok.

5.4 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Výpočet denní potřeby tepla na přípravu teplé vody se vypočítá podle vzorce:

$$Q_{TV,d} = \frac{\rho * c * V_{2p} * (t_{TV} - t_{SV})}{3600}$$

ρ	měrná hustota vody (1000kg/m ³)
c	měrná tepelná kapacita vody (4182J/kgK)
V_{2p}	celková potřeba teplé pro všechny osoby [m ³ /den]
t_{TV}	teplota teplé vody (55°C)
t_{SV}	teplota studené vody (10°C)

Pro bytový dům: $V_{2p}=60 \text{ l/os*den}$

Pro kancelář: $V_{2p}=10 \text{ l/os*den}$

Pro dílnu: $V_{2p}=20 \text{ l/os*den}$

$V_{2p} = 0,06*12+0,01*6+0,02*5=0,88 \text{ m}^3/\text{den}$

$$Q_{TV,d} = \frac{1000 * 4182 * 0,88 * (55 - 10)}{3600} = 46002 \text{ Wh}$$

Výpočet roční potřeby tepla na přípravu teplé vody spočítáme podle vzorce:

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} * d + 0,8 * Q_{TV,d} * \frac{55 - t_{SVl}}{55 - t_{SVz}} * (N - d)$$

d	počet dnů otopného období, uvažují 250
0,8	součinitel zohledňující snížení potřeby TV v létě
t_{SVl}	teplota studené vody v létě (15°C)
t_{SVz}	teplota studené vody v zimě (5-10°C)
N	počet pracovních dní soustavy v roce (350-365)

$$Q_{TV,r} = 46002 * 250 + 0,8 * 46002 * \frac{55 - 15}{55 - 5} * (365 - 250)$$

$$Q_{TV,r} = 14886247 \text{ Wh} = 14,89 \text{ MWh/rok}$$

5.5 Potřeba elektrické energie

Pro stanovení spotřeby elektrické energie je nutné znát celý instalovaný výkon objektu. Jelikož nemáme přesné údaje o spotřebičích v objektu určíme je pro každý typ místnosti odhadem. Osvětlení počítáme taktéž odhadem, proto výsledek potřeby elektrické energie nemusí být úplně přesný.

Tab. 5 Potřeba elektrické energie v jednotlivých měsících

Měsíc	Dny	Potřeba elektrické energie [MWh]
Leden	31	10,5
Únor	28	9,5
Březen	31	10,5
Duben	30	10,2
Květen	31	10,5
Červen	30	10,2
Červenec	31	10,5
Srpen	31	10,5
Září	30	10,2
Říjen	31	10,5
Listopad	30	10,2
Prosinec	31	10,5

Tab. 6 Souhrnná tabulka potřeb

	[MWh/rok]
Potřeba tepla na vytápění	98
Potřeba tepla na TV	14,89
Potřeba elektrické energie	123,87

5.6 Pokrytí spotřeby teplé vody

Pro stanovení potřebného tepla pro TV vycházíme z roční potřeby tepla.

Roční spotřeba tepla: 14,89MWh/rok

Provozní hodiny KJ jsou stanoveny v období říjen-březen na 8 hodin denně a v období duben-září 5 hodin denně. Počet provozních hodin je tedy stanoven 2372,5 hodin za rok.

Výpočet potřebného výkonu KJ:

$$P_t = \frac{Q_{c,TUV}}{t} = \frac{14890}{2372,5} = 6,3 \text{ kW}$$

P_t [kW] tepelný výkon

Q_c [MWh] teplo vyrobené v KJ

t [h] počet provozních hodin KJ

5.7 Pokrytí spotřeby elektřiny

Pro pokrytí celkové spotřeby elektřiny v objektu je nutné zvolit takovou kogenerační jednotku, která dokáže pokrýt maximální hodnotu potřebné elektřiny v roce. Podle tabulky je to hodnota 10,5 MWh.

Provozní hodiny KJ jsou stanoveny v období říjen-březen na 8 hodin denně a v období duben-září 5 hodiny denně. Počet provozních hodin je tedy stanoven na 201,5 hodin za měsíc.

$$P_E = \frac{E_{\max}}{t} = \frac{10500}{201,5} = 52,1 \text{ kW}$$

5.8 Pokrytí spotřeby tepla pro vytápění

Pro pokrytí roční spotřeby tepla v objektu se vychází z maximální hodnoty tepla. Podle výše uvedené tabulky je to v měsíci lednu 12 MWh.

Provozní hodiny KJ jsou stanoveny v období říjen-březen na 8 hodin denně a v období duben-září 5 hodiny denně. Počet provozních hodin je tedy stanoven na 201,5 hodin za měsíc.

$$P_t = \frac{Q_{c,\max}}{t} = \frac{12000}{201,5} = 52,55 \text{ kW}$$

5.9 Navržení kogenerační jednotky

Jelikož navrhujeme jednotku pro poměrně malý objekt, je zde vycházeno z jiné filosofie než u objektů s větším odběrem tepla a elektrické energie. Provoz kogenerační jednotky bude časově omezen podle trvání špiček. V otopném období říjen-březen bude provoz 8 hodin denně a v období duben-září bude provoz 5 hodin denně. V době, kdy jednotka nebude v provozu, bude dodávka elektrické energie do domu zajištěna z distribuční sítě. Využitím veškeré vyrobené elektrické energie v objektu a nákladům na zemní plyn potřebný pro výrobu elektrické energie, se uhradí rozdíl mezi investicí do kogenerační jednotky oproti plynovému kotli.

Tab. 7 Parametry kogenerační jednotky TEDOM Mikro T30

TEDOM Mikro T30	
Elektrický výkon	30 kW
Tepelný výkon	59,4 kW
Elektrická účinnost	31,2 %
Tepelná účinnost	63,3 %
Celková účinnost	95,3 %
Příkon v palivu	92,3 kW

5.10 Návrh akumulční nádrže

Pro návrh akumulční nádrže je uvažováno, aby kogenerační jednotka byla provozována co nejvíce hodin. Kogenerační jednotka je navrhována, aby pro zimní provoz pracovala 8 hodin a zbytek dne bylo teplo pokryto nabitou akumulací.

Nabíjecí výkon

$$P_{AKU} = P_{TE, kgj} - \text{spotřeba (vytápění+TV)}$$

$$P_{AKU} = 59,4 - 12,89 = 46,51 \text{ kWh}$$

Doba vybíjení akumulace v období říjen-březen

$$P_{vyb} = \frac{\text{provoz}_{KJ} + \text{provoz}_{AJ}}{\frac{\text{spotřeba}}{P_{AKU}} + 1}$$

$$P_{vyb} = \frac{8}{\frac{14,92}{43,18} + 1} = 6,26 \text{ hod}$$

Výkon akumulace:

$$\text{Kapacita} = P_{vyb} * \text{spotřeba}$$

$$\text{Kapacita} = 6,26 * 12,89 = 80,69 \text{ kWh}$$

Doba nabíjení akumulace:

$$P_{nab} = \text{kapacita} / P_{AKU}$$

$$P_{nab} = 88,625 / 43,18 = 2,05 \text{ hod}$$

Objem akumulace:

$$AKU = \frac{\text{kapacita}}{\rho * c * (t_2 - t_1)}$$

$$AKU = \frac{290,484}{4180 * (90 - 70) * 1000} = 3,48 \text{ m}^3$$

Navrhuji akumulční nádrž **LM 4000 OV** o objemu 4000 l.

5.11 Ekonomické zhodnocení

Tato část se zabývá ekonomickým zhodnocením navrženého systému s kogenerační jednotkou. Je zde vypočítána výroba elektrické energie a tepla kogenerační jednotkou a spotřeba paliva, v našem případě zemního plynu. Kdyby zde nebyla navržena kogenerační jednotka, byl by objekt napojen na CZT, proto spočítáme náklady i pro tuto možnost. Tento výpočet je nutný pro výpočet návratnosti investice.

5.11.1 Souhrn výroby elektrické energie a tepla a spotřeby plynu

Výroba elektrické energie kogenerační jednotkou

$$V_{el} = (\text{hod} \cdot \text{den} \cdot \text{měsíc} \cdot \text{el. výkon}) = (5 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 30) + (8 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 30)$$

$$V_{el} = 70\,200 \text{ kWh} = 252,72 \text{ GJ}$$

Výroba tepla kogenerační jednotkou

$$V_t = (\text{hod} \cdot \text{den} \cdot \text{měsíc} \cdot \text{tep. výkon}) = (5 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 59,4) + (8 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 59,4)$$

$$V_t = 106\,920 \text{ kWh} = 384,912 \text{ GJ}$$

Spotřeba plynu pro kogenerační jednotku

$$S_p = (\text{hod} \cdot \text{den} \cdot \text{měsíc} \cdot \text{příkon}) = (5 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 92,3) + (8 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 96,2)$$

$$S_p = 215\,982 \text{ kWh} = 20\,472 \text{ m}^3$$

Vygenerované teplo spalováním zemního plynu

$$Q_{KJ} = 20\,472 \cdot 10,5 = 214\,956 \text{ kWh} = 773,8 \text{ GJ}$$

Tab. 8 Roční hodnoty pro kogenerační jednotku

Výroba tepla	106 920 kWh	384,912 GJ
Výroba elektrické energie	70 200 kWh	252,72 GJ
Spotřeba plynu	214 956 kWh	773,8 GJ

Roční energetická účinnost kogenerační jednotky bude dána podle vzorce:

$$\mu = \frac{V_{el} + V_t}{Q_{KJ}} = \frac{252,72 + 384,912}{773,8} = 0,824 [-]$$

Roční účinnost bude vyšší než požadových 75 %, tedy bude akceptovatelná.

5.11.2 Energetická bilance

Elektrická energie

Jednotka bude v provozu 5 hodin v letních měsících a 8 hodin v otopném období. Proto budeme uvažovat, že spotřeba energie v těchto v hodinách bude pokryta z vyrobené elektrické energie a zbytek dokoupen z distribuční sítě. V hodiny, kdy jednotka nebude v provozu, bude veškerá elektrická energie odkoupena z distribuční sítě. Náklady na elektrickou energii jsou uvažovány ze současné průměrné kupní ceny.

Cena ušetřená za využití elektrické energie vyrobené kogenerační jednotkou tj. 70 200 kWh se spočítá podle vztahu:

$$C_{el,u}=70\,200*4,309=302\,492\text{ Kč}$$

Cena elektřiny, kterou je nutno dokoupit ze sítě pro hodiny, kdy kogenerační jednotka není v provozu a pro dobu, kdy elektrický výkon jednotky není dostačující pro potřebu, se spočítá podle vztahu:

$$C_{el,koup}=(\text{Celk. spotřeba el.} - 100\% \text{ elektřiny vyrobené v KJ}) * \text{cena elektřiny}$$

$$C_{el,koup}=(123\,870-70\,200)*4,309=231\,264\text{ Kč}$$

Teplo

Teplo vyprodukované kogenerační jednotkou bude využito pro vytápění a ohřev teplé vody v objektu. Provoz je nastaven na 5 hodin v letních měsících a 8 hodin v zimních měsících, což je dostačující pro pokrytí potřeb tepla v objektu. V objektu je navržen záložní kotel pro případ výpadku kogenerační jednotky, ten ale ve výpočtech nebudeme zohledňovat.

Náklady na zemní plyn pro kogenerační jednotku jsou oceněny podle průměrné současné kupní ceny.

$$C_{tep}=214\,956*1,5= 322\,434\text{ Kč}$$

5.11.3 Rozpis investice, nákladů a úspor

Investice

Investiční položky obsahují nejen nákup jednotlivých položek, ale i projekční činnost, úpravu stávajících prostor, technický dozor a rozpočtovou rezervu. Některé položky jsou stanoveny odhadem, z tohoto důvodu nemusí být rozpočet zcela přesný.

Tab. 9 Soupis investičních položek

Investiční náklady	Cena
Kogenerační jednotka TEDOM Mikro T30	1 200 000 Kč
Kotel BAXI PRIME 24-ERP 4,8-24 kW	29 663 Kč
Elektroinstalace	50 000 Kč
Stavební úpravy	70 000 Kč
Odkouření+komín	150 000 Kč
Čerpadla+armatury	140 000 Kč
Akumulační nádoba	100 000 Kč
Zasobník TV	50 420 Kč
Projekční činnost, technický dozor	145 000 Kč
Rezerva	110 000 Kč
Celkem	2 045 083 Kč

Náklady

Servisní náklady u kogenerační jednotky na zemní plyn jsou v rozmezí 0,4-0,6 Kč/kWh. Tedy budeme počítat s průměrem a to 0,5 Kč/kWh. Dle výpočtu ze spotřeby plynu pro kogenerační jednotku vychází cena za náklady na **107 478 Kč**.

Nákup energií

Nákup energií počítáme ze spotřeby plynu kogenerační jednotkou tj.214 956 kWh za průměrnou cenu 1,5 Kč/kWh a pro nákup elektrické energie ze sítě což je 231 264 Kč. Celkové náklady na nákup energií jsou tedy **533 698 Kč**.

Úspory

Úspory počítáme z ušetřené elektrické energie vyrobené kogenerační jednotkou. Tedy vycházíme z výpočtů výše a to 302 492 Kč za použitou elektrickou energii z kogenerační jednotky. Celkem jsou tedy úspory **302 492 Kč**.

Zisk

V této části lze započítat zelený bonus na elektřinu z KVET a na teplo z KVET. Pro výpočet výše dotace za elektřinu vyrobenou v kogenerační jednotce do 5 MWh je dána základní sazba 1022 Kč/MWh a doplňková sazba 455 Kč/MWh. Celkovou výši dotace za výrobu elektřiny tedy spočítáme ze vztahu:

$$C_{zb} = E_{kvet} * (ZB_{zakl,sazba} + ZB_{dopl_1}) = 70,2 * (1022 + 455) = 103\,685 \text{ Kč}$$

Pro výpočet dotace za teplo vyrobené kogenerační jednotkou je dána sazba 55 Kč/GJ. Teplo vyrobené kogenerační jednotkou je 384,912 GJ. Tedy výsledná dotace je 21 170 Kč.

Celková získaná dotace ze zeleného bonusu tedy činí **125 035 Kč**.

Tab. 10 Celkový ekonomický souhrn

Souhrn	Cena bez DPH
Celková investice	2 045 083 Kč
Celkové roční výnosy	427 527 Kč
Celkové roční náklady	641 176 Kč

5.11.4 Náklady na provoz bez kogenerační jednotky

Zde budeme uvažovat s případem, že by v objektu nebyla kogenerační jednotka a bylo by nutné řešit dodávku tepla připojením na CZT a dodávku elektrické energie z distribuční sítě. Ceny energie jsou průměrné ceny v udávané v tomto roce.

Cena tepla pro rok 2022 je 948 Kč/GJ. Potřeba tepla v objektu pro vytápění a ohřev TV je 112,89 Mwh/rok. Celkové roční náklady na teplo budou tudíž dle výpočtu **385 271 Kč/rok**.

Cena elektrické energie vychází taktéž z průměrné ceny a to 4,309 Kč/kWh. Objekt má potřebu elektrické energie 123 870 kWh/rok. Celkové roční náklady na elektrickou energii budou tedy **533 756 Kč/rok**.

5.11.5 Návratnost

Prostá doba návratnosti se spočítá podle vzorce:

$$T_s = \frac{IN}{CF}$$

T_s prostá doba návratnosti [rok]

IN investiční náklady [Kč]

CF roční úspora nákladů [Kč/rok]

$$T_s = \frac{2\,045\,083}{(385\,270 + 533\,756) - (641\,176 - 427\,527)} = 2,9 \text{ let}$$

Výpočet nezohledňuje inflaci u paliva tedy doba návratnosti by reálně byla poněkud vyšší. Hodnota návratnosti je nejvíce závislá na ceně zemního plynu a ceně dodávané elektrické energie ze sítě. Ve výpočtu předpokládáme, že se výše podpor pro uvedený systém nemění.

6 Závěr

Cílem mé práce bylo představit pojem kogenerace a vysvětlit, jak nám její použití může šetřit finance a zlepšit životní prostředí. V první části práce jsem se zabývala porovnáním kogeneračních technologií, představením jejich možnosti použití, výhodami a nevýhodami. Při návrhu jsem se věnovala pouze technologiím se spalovacími motory, protože objekt má možnost připojení na zemní plyn a také kvůli cenám, které u těchto kogeneračních jednotek nejsou tak vysoké.

Při samotném návrhu bylo potřeba zjistit potřebu tepla a elektrické energie pro jednotlivé měsíce, aby mohla být navržena kogenerační jednotka o správném výkonu. Nejdříve jsem spočítala potřebu tepla na vytápění v jednotlivých měsících. Výpočet byl proveden z tepelných ztrát prostupem a větráním, a z tepelných zisků vnitřních a solárních. Potřebu tepla na přípravu teplé vody jsem spočítala jako roční potřebu a uvažovala s tím, že teplá voda je po celý rok využívána stejně. Pro určení potřeby elektrické energie je potřeba znát instalovaný výkon celého objektu, jelikož jsem neměla informace o spotřebičích v objektu, tuto položku jsem určila odhadem.

Potřebný výkon nejlépe splňovala jednotka od firmy TEDOM. U malých objektů je problém s přebytkem tepla v letních měsících, proto jsem navrhla dvojí provoz pro letní a zimní období. V období od října do března bude jednotka fungovat 8 provozních hodin denně, v období od dubna do září bude tato jednotka v provozu pouze 5 hodin denně. V čase, kdy jednotka není v provozu bude teplá voda ukládána v akumulární nádrži, která je právě kvůli takto krátkému provozu kogenerační jednotky stanovena na 4000 litrů. Vzhledem k právě již zmíněnému přebytku tepla v letních měsících, je navržena jednotka o tepelném výkonu, při kterém nebude vznikat přebytek tepla, ale o menším elektrickém výkonu. Při této variantě dochází k problému, kdy kogenerační jednotka není schopna pokrýt celkovou potřebu elektrické energie, a proto je část elektrické energie dodávána z distribuční sítě i v době provozu jednotky. V době, kdy je jednotka mimo provoz, bude dodávka elektrické energie jen z distribuční sítě

Ekonomické zhodnocení, které jsem provedla v poslední kapitole, nám ukazuje, že se investice vyplatí. Aby bylo možné vypočítat návratnost investice musela jsem spočítat variantu bez kogenerační jednotky. V objektu by bylo nutné řešit dodávku tepla připojením na CZT a dodávku elektrické energie z distribuční sítě. Z provedeného výpočtu návratnosti

jsem zjistila, že investice pro nákup a instalaci kogenerační jednotky se nám začne vracet již po necelých 3 letech.

Vzhledem ke stoupajícím cenám zemního plynu bude možné, že se investice v budoucnu začne vyplácet po delší době, anebo vůbec. V tomto případě bych navrhovala kogenerační jednotku využívající jiné palivo, jako například dřevní štěpku nebo dřevěné pelety. Pokud pomineme vzrůstající cenu plynu a potřebu poměrně velké finanční částky pro investici, má kogenerace pro tento objekt význam a nebude to tedy promarněná investice.

Použité zdroje

Publikace, elektronické zdroje

- [1] *TEDOM* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs>
- [2] KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. *Zásobování teplem a kogenerace*. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1347-6.
- [3] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. Svazek 1. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-82-7.
- [4] *COGENTECH* [online]. [cit. 2022-05-2]. Dostupné z: <https://www.cogentech.cz/co-je-kogenerace/>
- [5] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - Zřízení a provoz*. 1. vydání. Praha: GAS s.r.o., 2007. 73 s. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [6] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-730-0118-7.
- [7] KARAFIÁT, J. a kolektiv. *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla*. [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>
- [8] ŠŤASTNÝ, Vítězslav. *ENERGETIKA info.cz* [online]. 2010 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.energetikainfo.cz/33/kogeneracni-jednotka>
- [9] *KURZYCZ* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/srovnani-cen>

[10] TRNOBRANSKÝ, Karel, Marie VALENTOVÁ a René DUFOUR. *Zlepšení ekonomie provozu kogeneračních jednotek využitím doprovodných technologií pro zrovnoměnění ročního odběru tepla* [online]. Praha: Česká energetická agentura [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8062.pdf

[11] *TZB info* [online]. [cit. 2022-04-0200]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/>

[12] *Webové stránky katedry TZB K125: Projekční podklady a pomůcky* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady>

Normy, vyhlášky, zákony, směrnice

[13] ČSN EN 12 831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

[14] ČSN 73 0331-1. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet-Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

[15] ČSN EN ISO 52016-1. *Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.

[16] TNI 73 0331. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

Seznam obrázků

Obr. 1 Využití energie při instalaci kogenerační jednotky [4].....	2
Obr. 2 Význam kogenerace pro snížení spotřeby tepla z PEZ [2].....	3
Obr. 3 Schéma zapojení protitlakové parní turbíny [5]	9
Obr. 4 Schéma zapojení kondenzační parní turbíny s odběrem páry [5].....	9
Obr. 5 Schéma kogeneračního zařazení s organickým teplotníkem (ORC)[5]	11
Obr. 6 Princip kogeneračního zapojení spalovací turbíny[5].....	13
Obr. 7 Schéma kogenerace s mikroturbínou [9]	14
Obr. 8 Zjednodušené schéma kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem [9]..	16
Obr. 9 Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem[5].....	18
Obr. 10 Základní zapojení spalovacích motorů pro kogenerační účely[5]	18

Seznam tabulek

Tab. 1 Tepelné vnitřní zisky objektu za jednotlivé měsíce	22
Tab. 2 Celkové tepelné toky solárních zisků	23
Tab. 3 Celkové tepelné zisky	23
Tab. 4 Celková potřeba tepla v jednotlivých měsících	24
Tab. 5 Potřeba elektrické energie v jednotlivých měsících.....	26
Tab. 6 Souhrnná tabulka potřeb	26
Tab. 7 Parametry kogenerační jednotky TEDOM Mikro T30.....	27
Tab. 8 Roční hodnoty pro kogenerační jednotku	29
Tab. 9 Soupis investičních položek.....	31
Tab. 10 Celkový ekonomický souhrn	32

Seznam příloh a výkresů

Seznam příloh

Příloha A-Technická zpráva

Příloha B-Výpočtová část

Příloha C-Technické listy

Seznam výkresů

Výkres č. 1 - Koncept M 1:50

Výkres č. 2 - Půdorys 1.NP M 1:50

Výkres č. 3 - Půdorys 2.NP M 1:50

Výkres č. 4 – Půdorys technické místnosti M 1:20

Výkres č. 5 – Schéma zapojení-řez M 1:20