

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ – FAKULTA STAVEBNÍ

Magisterský studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí se zaměřením Technická zařízení

Energetický koncept areálu malé firmy s truhlářskou dílnou

Energy concept of the small company areal with the carpentry workshop

Diplomová práce

Diploma thesis

Bc. Apolena Jelínková



Vedoucí práce: prof. Ing Karel Kabele CSc.

Praha 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Jelínková Jméno: Apolena Osobní číslo: 395672

Zadávací katedra: K 11125 Technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Energetický koncept areálu malé firmy s truhlářskou dílnou

Název diplomové práce anglicky: Energy concept of the small company areal with carpentry workshop

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte studii zásobování energií areálu se zohledněním využití odpadní biomasy z provozu truhlářské dílny. Popište principy využití biomasy se zaměřením na kogeneraci a zhodnoťte využití kogenerace v daném objektu. Na základě energetické bilance a technicko-ekonomického posouzení zvolte zdroj tepla.

Pro daný objekt a vybraný zdroj vypracujte projekt zásobování teplem v rozsahu rozšířené dokumentace pro stavební řízení.

Seznam doporučené literatury:

Zdeněk Pastorek, Jaroslav Kára, Petr Jevič. Biomasa - obnovitelný zdroj energie. místo neznámé : FCC Public, 2004. 80-86534- 06-5.

Mastný, Petr, Jiří Drápela, Stanislav Mišák, Jan Macháček, Michal Ptáček, Lukáš Radil, Tomáš Bartošík a Tomáš Pavelka. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha : ČVUT, 2011. ISBN 978-80- 01-04937- 2
Doc. Ing. Jaroslav Krbek, CSc., Doc. Ing. Bohumil Polesný, CSc. Kogenerační jednotky zřizování a provoz. Praha : GAS s.r.o., 2007. ISBN 978-80- 7328-151- 9..

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 3.10.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

3.10.2016

Datum převzetí zadání

roopis studenta(ky)

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem energeticky efektivním řešením vytápění objektu malé firmy s truhlářskou výrobou, v závislosti na produkci velkého množství odpadní dřevní biomasy, která lze využít jako palivo. Dále shrnuje principy využití biomasy pro kogeneraci a analyzuje vhodnost požití mikrokogenerační jednotky ve výše uvedeném objektu.

Klíčová slova

Kogenerační jednotka, mikro-kogenerace, biomasa, pelety, vytápění, truhlářství

Abstract

This diploma thesis describes the design of energy-efficient heating solutions of the small company with the carpentry, depending on the production of a large amount of waste wood biomass, which can be used as fuel. The thesis also summarizes the use of biomass for CHP and analyze the suitability of the ingestion of micro-cogeneration units in this area.

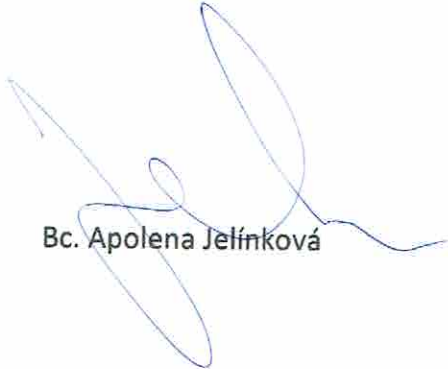
Key words

Cogeneration unit, micro-cogeneration, CHP, biomass, pellets, heating, carpentry

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: Energetický koncept areálu malé firmy s truhlářskou dílnou vypracovala samostatně pod vedením prof. Ing. Karlem Kabelem, CSc., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 8. 1. 2017



Bc. Apolena Jelínková

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Karlu Kabelemu CSc. za odborné vedení, užitečné rady a čas, který byl ochotný mi věnovat při konzultaci mé diplomové práce. Dále děkuji své rodině a blízkým, které mi umožnili dokončit diplomovou práci.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1	Typy biomasy použitelné pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, biopaliva	9
2.2	Zpracování biomasy.....	10
2.2.1	Termomechanické přeměny	11
2.2.2	Biochemické přeměny.....	14
2.2.3	Mechanicko-chemická přeměna.....	14
2.2.4	Biopaliva	16
2.3	Kogenerace.....	17
2.4	Hodnocení kogeneračních zařízení	17
2.4.1	Účinnost jednotek.....	18
2.5	Rozdělení kogeneračních technologií	19
2.5.1	Palivové články	20
2.5.2	Parní turbíny.....	21
2.5.3	Organický Rankinův cyklus.....	21
2.5.4	Plynové turbíny	22
2.5.5	Paroplynová kogenerace.....	22
2.5.6	Stirlingův motor	23
2.5.7	Primární jednotky s vnitřním spalováním	24

2.5.8	Systémy Talbott.....	25
2.6	Uplatnění a provozní režimy kogeneračních zařízení	25
2.6.1	Teplárny a centrální kotelny	27
2.6.2	Bioplynová stanice	27
2.6.3	Mikro-kogenerace	28
2.7	Návrh a dimenzování kogeneračních zařízení.....	30
2.8	Ekonomické hodnocení a podmínky provozu	32
2.9	Instalace kogenerační jednotky.....	32
2.10	Náklady.....	33
2.10.1	Investiční náklady.....	33
2.10.2	Roční provozní náklady	33
2.11	Výnosy	34
2.11.1	Výnosy za elektrickou energii	34
2.11.2	Výnosy za tepelnou energii	34
2.12	Legislativa a dotační podpora kogenerace a energie z biomasy.....	35
3	PRAKTICKÁ ČÁST – Analýza využití kogenerace v areálu malé firmy s truhlářskou dílnou ...	37
3.1	Popis objektu.....	37
3.2	Předběžné posouzení vhodnosti a možnosti použití kogenerace.....	38
3.3	Podrobný rozbor požadavků na dodávku elektřiny	38
3.4	Podrobný rozbor požadavků na dodávku tepla	41

3.5	Návrh a dimenzování zdroje tepla/kogeneračních zařízení.....	42
3.5.1	Výnosnost paliva	44
3.5.2	Referenční varianta	45
3.5.3	Varianta 1	47
3.5.4	Varianta 2	49
3.5.5	Varianta 3	51
3.6	Výdaje	53
3.7	Výnosy	55
3.8	Ekonomické hodnocení kogenerace	56
3.9	Výsledky analýzy	59
4	Skladové hospodářství objektu.....	59
5	Závěr	64
6	Seznam použité literatury.....	65
7	Použité zkratky a označení.....	71
8	Seznam tabulek, obrázků a grafů	72
9	Seznam příloh	75

1 Úvod

V současnosti se nám nabízí spousta možností, jaký koncept zásobování energií bude zvolen pro návrh objektu. Dnešní požadavky na návrh budov se setkávají nejen s ekonomickými, ale i ekologickými a společenskými požadavky. Proto jsou kladeny stále větší nároky, na jednotlivé profese daných budov, jak u novostaveb, tak i u rekonstrukcí.

Velmi důležitou roli proto hraje volba zdroje vytápění. V mé diplomové práci se budu snažit nalézt optimální řešení vytápění a ohřevu vody objektu truhlářské dílny s administrativními i obytnými prostory. Samotná truhlářská dílna vyprodukuje obrovské množství odpadu, které by bylo žádoucí využít pro pokrytí plné potřeby výroby tepla v objektu. Při volbě systému se nabízí, jako efektivní volba kogenerace, což je dáno rozdílných typem provozů, které se v objektu nacházejí přispívající ke spotřebě produkované energie.

Práce se skládá ze tří částí, a to část A se zabývá studií principů zpracování biomasy a formy kogenerace. V části B je analyzováno využití kogenerace v areálu malé firmy s truhlářskou dílnou a poslední částí je část C – projekt vytápění v rozsahu rozšířené dokumentace pro stavební řízení.

2 ČÁST A - TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Typy biomasy použitelné pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, biopaliva

Pojem biomasa zahrnuje veškerou hmotu organického původu. Pro energetické účely se využívá buď cíleně pěstovaných rostlin nebo odpadů ze zemědělské, potravinářské nebo lesní produkce. Biomasa využívaná pro energetické účely se dělí do následujících skupin [1] :

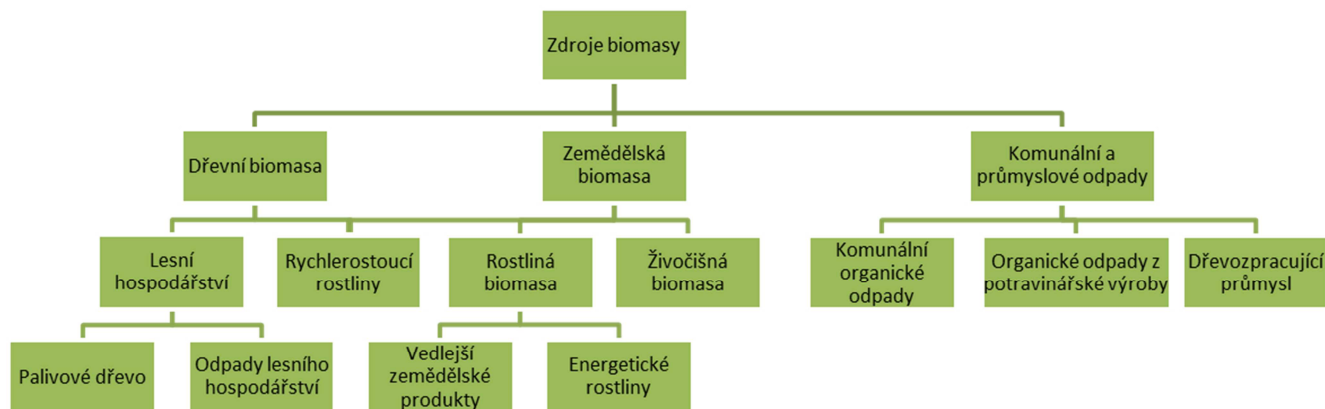
1. Fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy, tj. energetické dřeviny (olše vrba, topol) a obiloviny (pšenice),
2. Fytomasa olejnatých plodin, typická pro ČR je řepka olejka,
3. Fytomasa s vysokým podílem škrobu a cukru, sem spadají brambory, cukrová řepa, obilí.

Další velmi širokou skupinou je odpadní biomasa;

- a. Rostlinná kukuřičná, řepková, obilná sláma, luční nezkrmitelné zbytky, lesní nálety, odpady ze sadů a vinic;
- b. odpady živočišné výroby, hnůj, zbytky krmiv,
- c. odpady potravinářského průmyslu a ostatních průmyslových výrob (odpady z mlékáren, jatek, lihovarů a konzerváren, z vinařských provozů, odpady z dřevařských závodů);
- d. odpady z komunálního hospodářství, kaly odpadních vod, organický podíl komunálního odpadu;
- e. organický odpad z údržby městské zeleně a travnatých ploch;
- f. dendromasa, která zahrnuje veškerý odpad dřevařského průmyslu, např. kůra, větve, klest, piliny.

Výše uvedené skupiny lze rozdělit do dvou základních celků a to na suchou a mokrou biomasu. Neboť právě obsah vody má zásadní význam při způsobu zpracování. Právě 50% vlhkost je

přibližná hranice mezi těmito celky [2]. Dále biomasa obsahuje popel (0,1 %-6 %), těkavé látky a pevný uhlík.



Obrázek 2.1: Rozdělení biomasy

Legislativa zařazuje biomasu do následujících kategorií dle Vyhlášky č. 482/2005 Sb., příloha 1 o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, následovně;

kategorie O1- O3, pro spalování čisté biomasy;

kategorie S1 – S3 pro společné spalování palivových směsí biomasy a fosilních paliv;

kategorie P1 – P3 pro paralelní spalování biomasy a fosilních paliv.

Číselné označení jednotlivých kategorií (viz kategorie str. 8) určuje, o jaký druh biomasy se jedná.

2.2 Zpracování biomasy

Velkou výhodou zpracování biomasy je možnost zbavit se už jinak nevyužitelného odpadu a alespoň částečně nahrazení fosilních paliv. Avšak problémem u těchto procesů vyplývá ze složení biomasy. Ta totiž většinou obsahuje vysoký podíl vody a kyslíku, a s tím jsou spojené vysoké náklady na dopravu, skladování i úpravu biomasy před jejím samotným energetickým využitím [3].

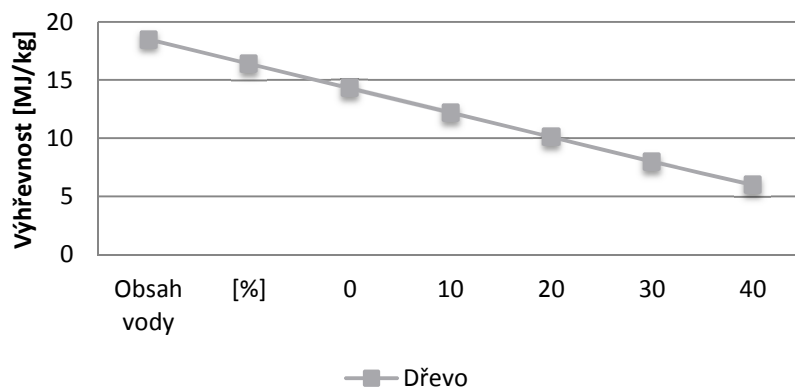
Zpracování biomasy lze těmito základními metodami; termochemickou, biochemickou a mechanicko-chemickou, (viz tabulka 2.1) ty jsou podrobně popsány v následujících podkapitolách.

Tabulka 2.1: Zpracování biomasy [4]

Typ přeměny	Způsob přeměny	Energetický výstup	Odpadní materiál nebo druhotná surovina
Termochemická	spalování	teplo	popeloviny
	zplyňování	generátorový plyn a teplo	dehtový olej
	pyrolýza	generátorový plyn	uhlíkaté palivo
Biochemická	alkoholová fermentace	etanol, methanol	vykvašený substrát
	aeobní fermentace	teplo	fermentovaný substrát
	anaerobní fermentace	bioplyn	
Fyzikálně-chemická	esterifikace bioolejů	metylester biooleje	glycerín

2.2.1 Termomechanické přeměny

Mezi termomechanické, neboli suché procesy patří spalování, zplyňování a pyrolýza. Důležitou roli při termomechanických přeměnách hraje vlhkost materiálu. Čím vyšší je vlhkost materiálu, tím nižší je výhřevnost, neboť část tepelné energie je ztracena pro odpaření vody z paliva.



Obrázek 2.2

Tabulka 2.2

Obsah vody [%]	Dřevo MJ/kg
0	18,5
10	16,4
20	14,3
30	12,2
40	10,1
50	8
60	6

Tabulka 2.3: Výhřevnost dřeva v závislosti na obsahu vody [5]

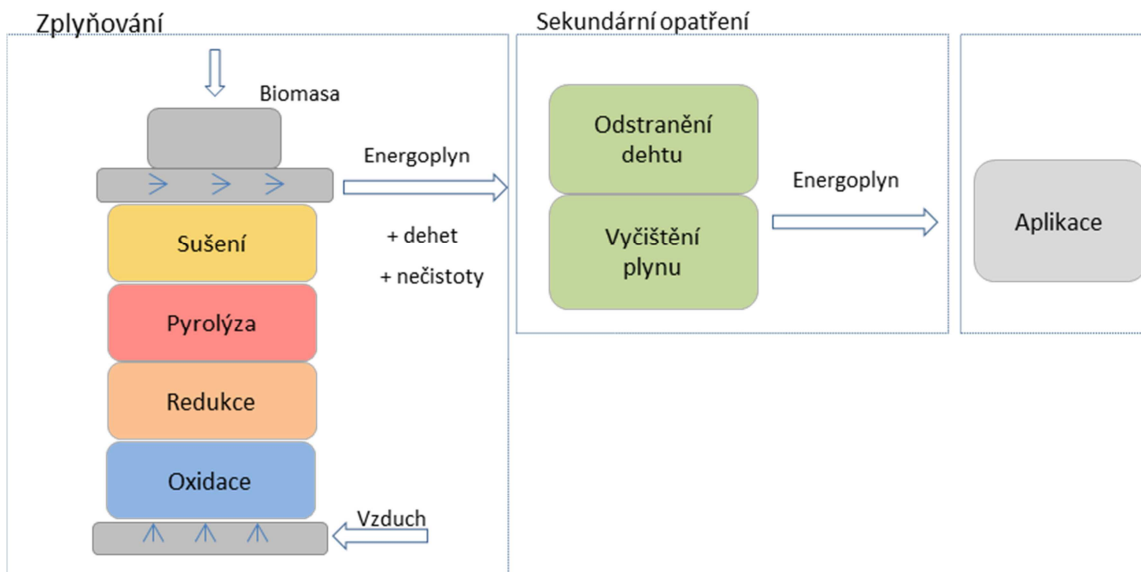
2.2.1.1 Spalování

Spalování neboli termická přeměna biomasy, již nevyžaduje speciální úpravu biomasy, není např. nutné důsledně sledovat vlhkost, ale na rozdíl od níže popsanych složitějších metod přeměny biomasy je třeba věnovat značnou pozornost optimálním podmínkám a kontrole emisí oxidu uhelnatého. [6]

2.2.1.2 Zplyňování

Oproti tradičnímu spalování biomasy se naskýtá možnost biomasu zplyňovat. To s sebou přináší řadu výhod, jako například větší konverze paliva na elektrickou energii, úspora primárních paliv a nižší měrné náklady na jednotku výkonu.

Zplyňování je definováno, jako termochemická přeměna organických materiálů na hořlavé plyny, při němž dochází ke čtyřem základním procesům; sušení, pyrolýze, oxidaci a redukci. Pokud dochází k těmto procesům postupně, jedná se o zplyňování v generátorech s pevným ložem. (Obr. 2.2) Pokud souběžně jedná se zplyňování ve fluidních generátorech. [7]



Obrázek 2.3: Proces zplyňování se sekundárním opatřením

Plyn vzniklý při primární výrobě zplyňování, tj. energoplyn, v případě zplyňování biomasy dřevoplyn, obsahuje dehet a jiné nežádoucí látky. Proto je do procesu nutné připojit sekundární proces, složený z odstranění dehtu a vyčištění plynu.

2.2.1.3 Pyrolýza

Principem pyrolýzy je tepelné zpracování materiálu s vyloučením přístupu kyslíku, vzduchu, či jiných zplyňovacích látek, neboli rozklad látek v atmosféře, ve které nedochází ke spalování. Během procesu pyrolýzy vzniká vícero produktů, například pyrolýzní plyn a olej, z biomasy konkrétně bio-olej (výhřevnost 16-19 kJ/kg, [8]), ten lze pro své složení využít především právě v kogeneračních jednotkách [3].

Důležité je zpracování samotné biomasy ještě před samotným procesem pyrolýzy. Je třeba jí předsušit na vlhkost nižší než 10 % a rozdrtit jí na požadovanou velikost, podle typu reaktoru. [6]

2.2.2 Biochemické přeměny

Mezi biochemické, mokré, přeměny patří fermentace a kvašení.

2.2.2.1 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je složitý biochemický proces, ve kterém dochází ke kontrolované mikrobiologické transformaci organických složek při mírně zvýšené teplotě, konečným produktem je bioplyn, obsahující 55-60% metanu s výhřevností 20-23 MJ/m³, jehož samotné složení se odvíjí od vstupního materiálu. Vlastnosti odpadní hmoty, tzv. digestátu, jsou pak výrazně lepší než před fermentací, neboť v něm jsou zachovány hlavní živiny a humusotvorné komponenty, oproti tomu jsou zahubeny patogenní zárodky a semena plevelů [6; 9].

Existují dva způsoby anaerobní fermentace a to mokrý a suchý. Při tom mokré se vstupní materiál dopraví do homogenizační nádrže a pomocí cirkulační nádrže se upraví do podoby čerpatelného substrátu, ten je následně veden do velkorozměrové fermentační nádrže, kde dochází k samotnému procesu. Při tom suchém bývá materiál plněn do velkých košů, po krátké době se díky mikrobiologickým procesům začne teplota samovolně zvyšovat, během čehož dochází k tvorbě bioplynu, který je následně odsáván. [6]

2.2.3 Mechanicko-chemická přeměna

Mezi mechanicko-chemicky přeměněnou biomasu spadá lisování olejů, esterifikace surových bio-olejů (výroba bionafty a přírodních maziv) a výroba pevných paliv (lisování, briketace, peletování, štípání, mletí).

Výše upravený tuhý odpad z biomasy se liší především svým tvarem a způsobem zpracování. Brikety jsou válečky nejčastěji o průměru 40 až 100 mm a délky do 300 mm lisované především ze dřevního suchého prachu, drtě, pilin. Pelety jsou oproti briketám výrazně menší, jsou to výlisky válcovitého tvaru o průměru 6 mm a délce. Nejjednodušší mechanicky upraveným

biopalivem je dřevní štěpka. To je dřevní hmota upravená na požadovanou velikost, částice jsou dlouhé od 3 mm do 250 mm.



Obrázek 2.4: Dřevěné pelety [46]



Obrázek 2.5: Dřevěné brikety [50]

2.2.3.1 Briketování

Vstupní surovina musí být nejprve zbavena všech větších částí. Brikety jsou následně tvořeny silným stlačením, o 40 MPa, v hydraulickém lisu, bez jakéhokoliv pojiva. Pomocí zvýšené teploty vzniklé při stlačování vznikne na povrchu jemná vrstva, díky které je briketa zatavena, což zaručí její kompaktnost.



Obrázek 2.6: Briketovací lis s automatickým plněním kotlů, zásobník [50]

2.2.3.2 Peletování

Piliny jsou nejdříve sušeny na pásu nebo pomocí bubnové sušárny v menších provozech vzduchem o teplotě 120° C. Následuje proces drcení v kladívkovém drtiči se sítí, částice musí mít rozměry maximálně 3,5 mm. Dalším procesem je vlhčení, na rozdíl od sušení, kdy se hmota zbavuje své celkové vlhkosti, jde v tomto procesu jen o povrchové zvlhčení, díky kterému dojde k změkčení suroviny, které napomáhá k lepší prostupnosti maticí, v tom důsledku i nižší energetické náročnosti. Po protlačení maticí (obr. 2.7) je peleta zahřáta na teplotu okolo 100°C a je nutné ji zchladit v protiproudém chladiči na teplotu 40°C.



Obrázek 2.7: Peletovací matrice [46]

2.2.4 Biopaliva

Výběr paliva je velmi ovlivněn použitím určité kogenerační technologie a požadavky, které jsou kladeny na provoz jednotky. Často je, ale návrh řešen obráceně, řeší se využitelnost paliva a jeho nejvyšší energetické zhodnocení. Biopaliva lze rozdělit:

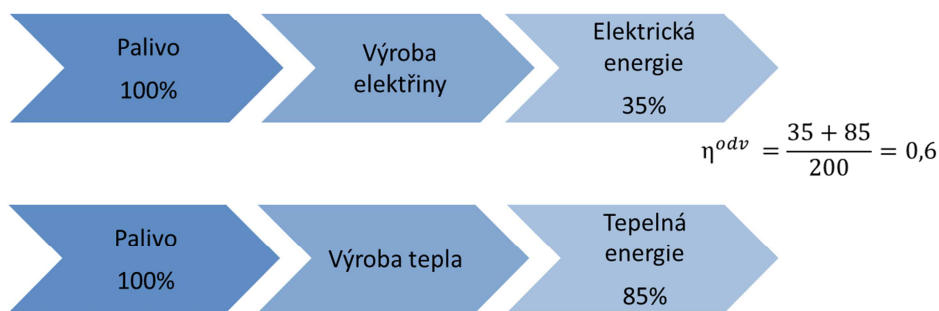
- a. Bio oleje, např. rostlinný olej, bionafta,
- b. zkapalněná plynná biopaliva, mezi která můžeme zařadit bioplyn a dřevoplyn,
- c. tuhá biopaliva, tj. dřevo, sláma, a jiné.

2.3 Kogenerace

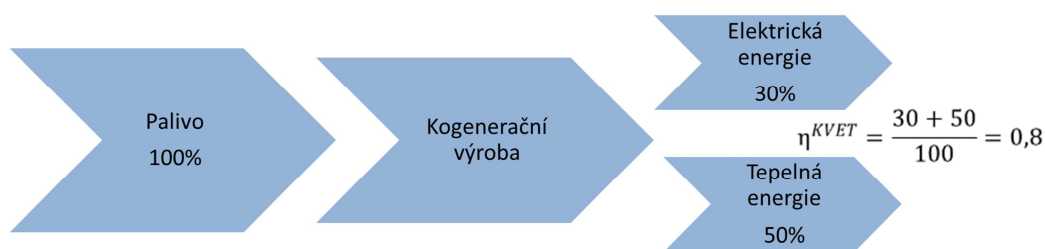
Kombinovaná výroba energie je definovaná jako společná produkce energií, nejčastěji právě kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET), neboli kogenerace. Pokud se část tepelná energie využívá k odnímání tepla jinému médiu, jedná se o tzv. trigeneraci.

Hlavním přínosem kogeneračních technologií je zvýšení využití jednoho primárního zdroje vstupujícího do transformačního řetězce oproti samostatné výrobě elektřiny a tepla.

Kogenerační jednotky mají široké výkonové rozpětí od 0,4 kW_E do 500kW_E.



Obrázek 2.8: Oddělená výroba tepla a elektřiny



Obrázek 2.9: Kombinovaná výroba tepla a elektřiny, η^{KVET} - účinnost kombinované výroby tepla a elektřiny, η^{odv} - účinnost oddělené výroby tepla a elektřiny

2.4 Hodnocení kogeneračních zařízení

Smyslem použití kogeneračních jednotek je především zvýšení využití primárních zdrojů energie, omezení vlivu znečištění a snížení ztrát při energetické dopravě. Aby byly tyto cíle

naplněny, je třeba provést zhodnocení transformačního řetězce a také vyhodnotit vhodnost instalace a provozu oproti jiným možnostem dodávky energií. [10]

Tabulka 2.4: výkonové charakteristiky kogeneračních jednotek (VT – vysokoteplní, NT – nízkoteplní)

primární jednotka	palivo	elektrická účinnost	celková účinnost	forma tepla
Odběrová parní turbína	pevná, kapalná a plynná paliva	10-30	75-88	NT pára, horká voda
Protitlaká parní turbína		7-20	75-88	NT pára, horká voda
Parní motor		10-25	70-80	teplá voda
Organický cyklus - ORC		5-22	75-90	teplá a horká voda
Stirlingův motor		20-40	70-85	teplá voda
Spalovací turbína	zemní plyn, LTO, bioplyn	25-48	75-90	VT a NT pára, horká voda
Paroplynový cyklus		35-60	80-90	VT a NT pára, horká voda
Pístový spalovací motor		25-45	75-92	NT pára, teplá a horká voda

2.4.1 Účinnost jednotek

Energetické možnosti transformačního řetězce jsou dány následujícím poměrem elektrického a tepelného výkonu σ , vyjádřený následující rovnicí:

$$\sigma = \frac{P_E}{P_T}[-]; \quad (2.1)$$

P_E - elektrický výkon, okamžitá hodnota, kterou je schopná jednotka dodávat;

P_T - tepelný výkon, okamžitá hodnota, kterou lze z jednotky užitečně využít pro dodávku tepla;

$E_{\%}$ - procentní zastoupení vyrobené elektrické energie [%],

$Q_{uv\%}$ - procentní zastoupení využití tepelné energie na celkové výrobě [%].

Tento parametr se v teplárenství nazývá modul teplárenské výroby elektrické energie. Poměr je důležitý pro volbu velikosti jednotky. Vzhledem k tomu, že se poměr energií může zásadně lišit, má hodnota σ podstatný vliv na vyhodnocení účinnosti kogenerační jednotky při porovnání s oddělenou výrobou energií.

Účinnost využití primárního paliva je vyjádřena následovně

- a. elektrická účinnost η_E , vyjadřující účinnost přeměny energie přivedené k palivu na elektrickou, dána vztahem:

$$\eta_E^{KVET} = \frac{P_E}{Q_i \cdot M_{pal}} \cdot 100 [\%]; \quad (2.2)$$

- b. tepelná účinnost η_T , vyjadřující účinnost přeměny energie přivedené k palivu na tepelnou, dána vztahem:

$$\eta_T^{KVET} = \frac{P_T}{Q_i \cdot M_{pal}} \cdot 100 [\%]; \quad (2.3)$$

- c. celková účinnost

$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \eta_T^{KVET} = \frac{P_E + P_T}{Q_i \cdot M_{pal}} \cdot 100 [\%]; \quad (2.4)$$

η – účinnost přeměny energie [-],

Q_i - energie v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva [kg/s, m³/s],

M_{pal} - hmotnostní nebo objemový průtok paliva [J/kg, J/m³].

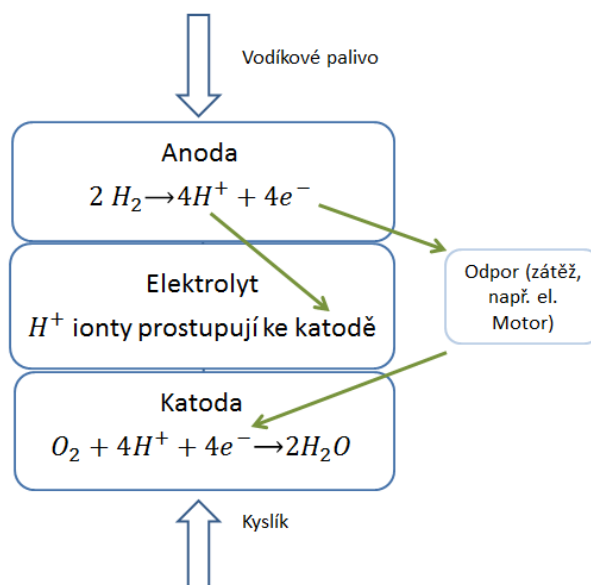
2.5 Rozdělení kogeneračních technologií

Kogenerační technologie lze rozdělit dle různých kritérií. Z fyzikálního hlediska lze energii získávat buď přímým anebo nepřímým způsobem. V první variantě se převádí energie paliva

přímo na energii elektrickou. V té druhé, se transformace energie děje ve více krocích. Nejdříve dojde k uvolnění tepelné energie z primárního zdroje, poté se získá technická práce, ta je převedena na mechanickou energii, které je posléze transformována na tu elektrickou. Tato varianta je v současnosti využívána nejvíce. [10]

2.5.1 Palivové články

Palivové články jsou založeny na přímé transformaci energetického zdroje. Chemická energie se elektrochemickou reakcí mění přímo na elektrickou. Palivový článek je tvořen třemi komponenty; anodou, katodou a elektrolytem. Na anodu je přivedeno palivo, které se disociuje na kladné ionty (protony) a elektrony. Elektrolyt umožňuje průchod pouze kladně nabitým protonům, volné elektrony prochází odděleným okruhem, díky němuž je tvořen elektrický proud. Poté dojde k sloučení protonů a elektronů s oxidačním činidlem, v tomto důsledku vznikne voda (viz. Obr. 2.10). [10; 11]

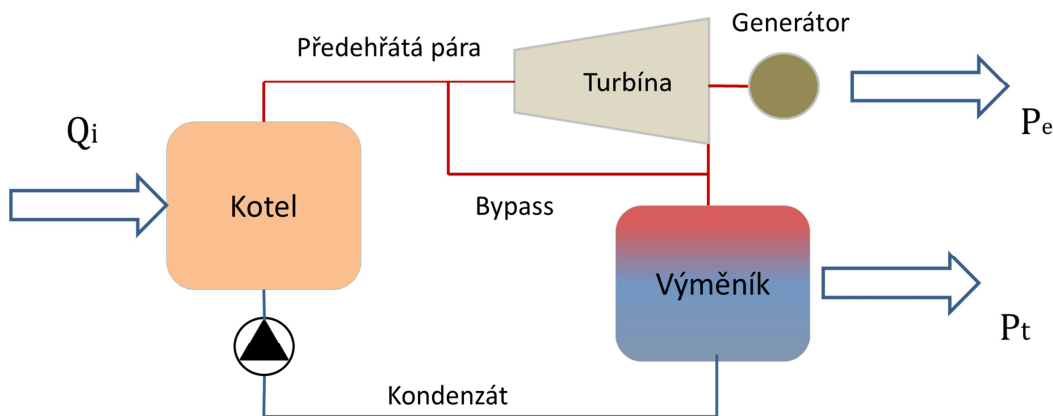


Obrázek 2.10: Princip palivového článku

Přestože účinnost může být při použití v kogenerační jednotce až 90%, ve srovnání s ostatními zdroji, může být provoz neekonomický, především kvůli energeticky náročné výrobě paliva, kterým je nejčastěji vodík. Výhodné využití je možné nalézt především při nadbytečném generování elektrické energie, která může být využita právě k výrobě vodíku [11]. Elektrický výkon se pohybuje v rozmezí od 2-100kW_E. [10]

2.5.2 Parní turbíny

Parní kogenerace bývá uskutečňována pomocí soustrojí turbína – alternátor. Do turbíny se přivádí pára, po její expanzi je dále využito teplo ve spotřebitelském okruhu.

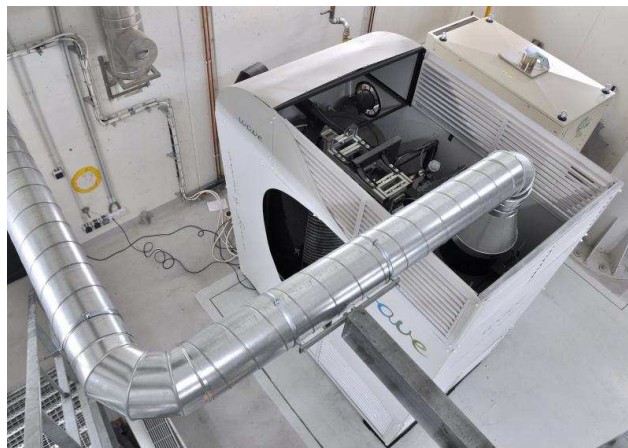


Obrázek 2.11: Cyklus plynové kogenerace

2.5.3 Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC) má principiálně shodný tepelný okruh jako parní turbíny. Rozdílem je použití jiné pracovní látky. Díky tomu, že organická látka má nižší výparnou teplotu, dá se využít pro recyklaci tepelné energie o nižších teplotách, ta by již v tradičních zařízeních nemohla být efektivně využita.

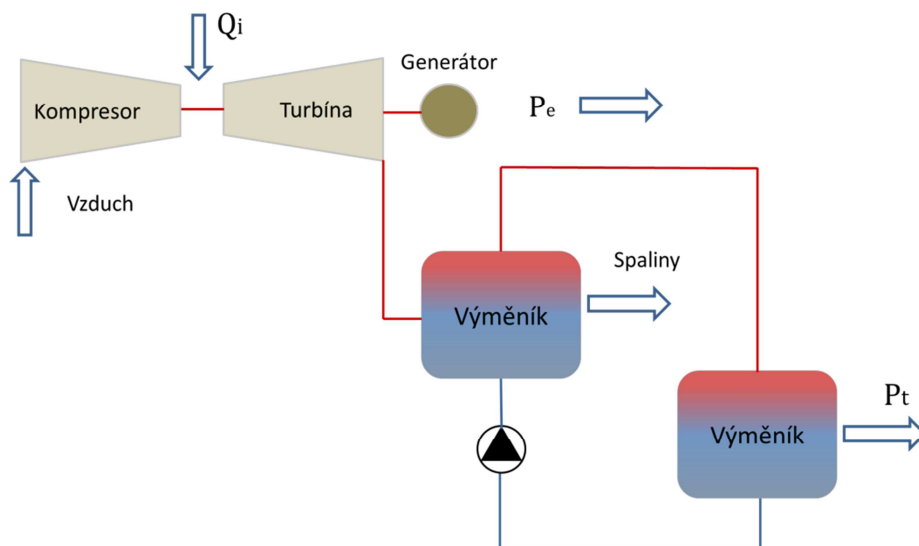
Na vývoji ORC v současnosti pracuje UCEEB (Univerzitní centrum energeticky efektivních budov), cílem projektu je vytvořit malou univerzální, sériově vyráběnou, kogenerační jednotku, neboť v současnosti jsou ORC vyráběny především na míru, které nemohou být investičně efektivní [12].



Obrázek 2.12: ORC kogenerační jednotka [12]

2.5.4 Plynové turbíny

Pracovním médiem tepelného oběhu plynových turbín je vzduch, který je nejdříve stlačen kompresorem, poté je mu dodána ve spalovací komoře tepelná energie a následně dojde k tlakové expanzi. Plynové turbíny jsou nejrozšířenější primární jednotkou pro kogenerační systémy, na rozdíl od parních turbín nejsou tolik náročné na instalaci a bývají více kompaktní. Palivem můžou být jakákoliv plynná či kapalná paliva [10]



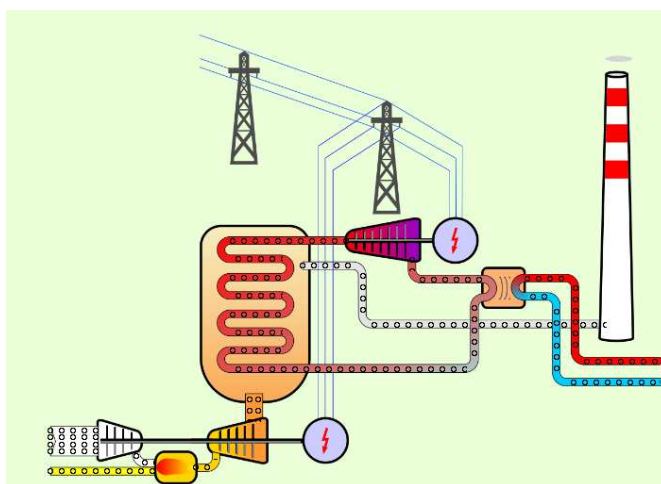
Obrázek 2.13: Cyklus plynové kogenerace [13]

2.5.5 Paroplynová kogenerace

Výraz „paroplynová kogenerace“ je vlastně pouze zjednodušené vyjádření pro propojený technologický proces. Jedná se o dva oběhy, jedním z nich je parní a druhý plynový, které jsou

navzájem propojeny spalínovým kotlem, kde se teplo vystupující z plynové turbíny využije ještě pro vývin páry pro parní turbínu.

Nejdříve dojde komprese vstupního vzduchu a jeho smísení s palivem. Směs poté shoří, spaliny po expanzi roztočí plynovou turbínu. Spaliny poté přejdou do spalínového kotle, kde se vyrobí pára, která dodá energii parní turbíně, ve které dojde k přehřátí páry a následně expanzi v parní turbíně. Oběh je uzavřen kondenzací páry, která se promění opět na vodu. (Obr. 2.14)

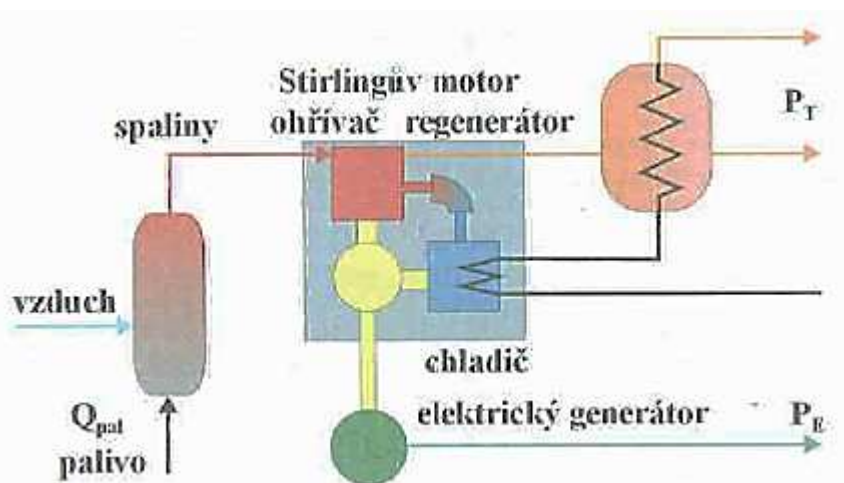


Obrázek 2.14: Paroplynová kogenerace [14]

2.5.6 Stirlingův motor

Stirlingův motor je pístový motor s vnějším spalováním. Uvolněná tepelná energie je předávána pracovní látce (helium, vzduch, dusík, oxid uhličitý) ta je střídavě stlačována ve studeném válci a expanduje v horkém válci. Teplo se přivádí do okruhu z vnějšího zdroje přes tepelný výměník.

Teplo, které se nepřemění na technickou práci hřídele, je odvedeno chladící vodou ve studeném tepelném výměníku. Plyn je přenášen z horké zóny do chladiče a zpět pomocí generátoru.



Obrázek 2.15 : Schéma kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem [10]

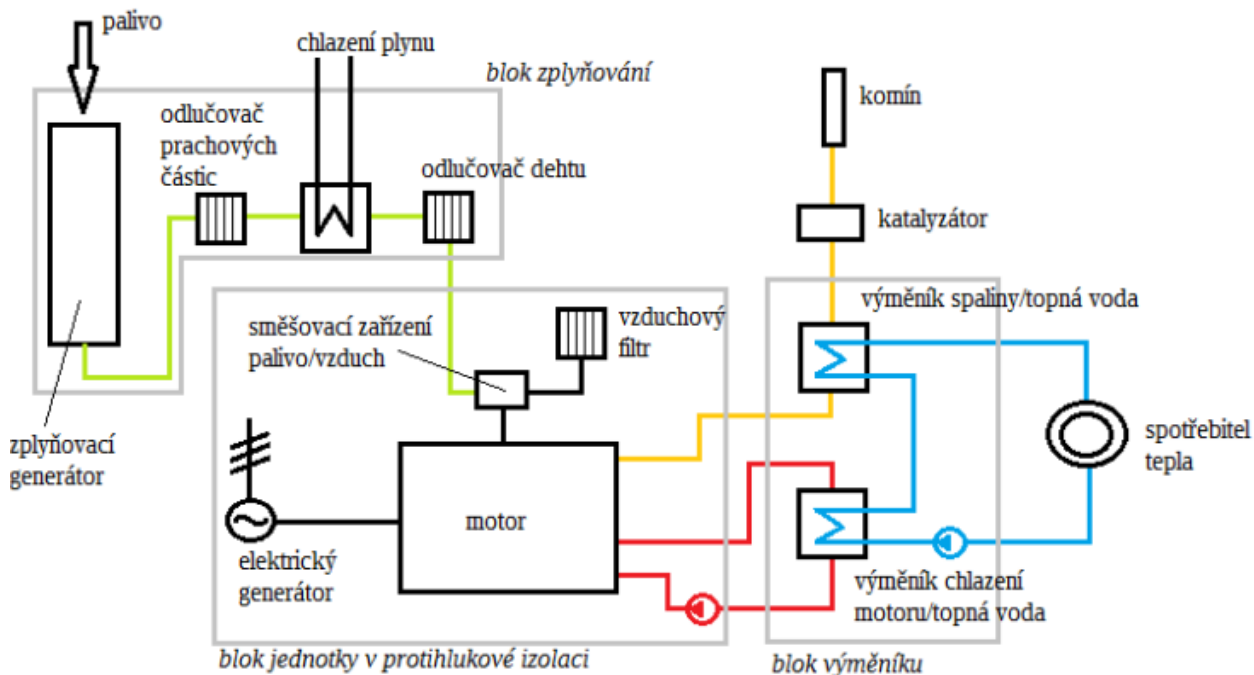
Malé jednotky se Stirlingovým motorem se vyrábějí v rozmezí od 0,4 do 600 kW_E a vzhledem k tomu, že má motor velmi nízkou hladinu hluku, neboť principiálně nefunguje na principu explozivního spalování, lze ho umístit i blízko místa spotřeby. Obecně lze využít jakékoliv palivo, z ekonomického hlediska je vhodné využívat méně kvalitní paliva, hlavně biomasu. Při použití kvalitnějších paliv lze dosáhnout rychlejšího startu studené jednotky. Je možné využít teplo z jiných zdrojů, např. zbytkové teplo z jiných technologických procesů, jako jsou pece zařízení spalující pevné odpady, odváděné teplo z jiných primárních jednotek, či sluneční záření.

2.5.7 Primární jednotky s vnitřním spalováním

Do této kategorie spadají spalovací motory. Do válcové spalovací komory se nasává vzduch spolu s palivem, nebo se do něj palivo vstříkuje. Tato směs je stlačena a zapálena, expanzí plynu se píst vrátí do původní pozice. Jako palivo bývá využíván především zemní plyn a bioplyn. Jsou vyráběny ve výkonové řadě cca od 200 kW do 5 MW. Důležitou aplikací při zpracování tekuté biomasy spalovacích motorů jsou bioplynové stanice [15].

Uplatnění spalovacích motorů lze nalézt i při zpracování tuhé biomasy a to v kombinaci se zplyňovacím generátorem.

Spalovací motory produkují vysokou hladinu hluku, proto jsou často dodávány v již zakrytovaném provedení.



Obrázek 2.16: Schéma jednotky se spalovacím motorem a zplyňovacím generátorem [16]

2.5.8 Systémy Talbott

Systémy Talbott vyvinuty stejnojmennou britskou společností se využívají pro menší tepelné a elektrické výkony a jsou navrženy pro spalování tuhé biomasy.

Kompresor stlačí nasátý vzduch, který je následně odveden do kotle, kde je ohříván na 800°C. Ohřátý vzduch expanduje ve vzduchové turbíně, která pohání kompresor a elektrický generátor.

2.6 Uplatnění a provozní režimy kogeneračních zařízení

Užití kogeneračních jednotek lze rozdělit do několika základních skupin, závislých především na rozsahu výkonu.:

- a. Komerční a komunální jednotky neboli malé kogenerační nebo mikrokogenerační jednotky aplikované v objektech, kde primárně zajišťují vytápění s výkonem často pod 1 MW.
- b. Kogenerační jednotky průmyslových objektů, s vysokou potřebou tepla a tepelné energie v průběhu celého roku, jsou to například rafinerie, textilky, papírny.
- c. Velká kogenerační zařízení, především zajišťující výrobu páry nebo spojená s tepelnými centrály či spalovnami, zahrnující především centrální zásobování teplem. Kogenerační zařízení využívající obnovitelné palivové zdroje. [17; 10]

Na základě výše uvedených skupin lze určit, v jakém provozním režimu by bylo vhodné dané jednotky užívat, zdali centralizovaně nebo decentralizovaně. Provoz velkých centralizovaných kogeneračních zařízení je spojen s velkými ztrátami při rozvodu tepelné energie, dále je nutné počítat s vysokými investicemi do rozvodných tepelných sítí a údržby, ve spojení s likvidací městských odpadů, či biomasy mohou být ekonomicky výhodné.

Je možné sledovat samostatně či kombinovaně tepelný a elektrický výkon nebo z hlediska investic i provozu je nejnáročnější ostrovní provoz. Z toho vyplývá, že může být jednotka použita jako základní, špičkový nebo záložní zdroj.

Tabulka 2.5: Rozdělení kogeneračních technologií dle výkonu [17]

	Elektrický výkon
	[kWE]
Mikro-kogenerace	do 50
Mini-kogenerace	50 - 500
Kogenerace malého výkonu	500 - 1000
Kogenerace středního výkonu	1000 - 50 000
Kogenerace vysokého výkonu	nad 50 000

2.6.1 Teplárny a centrální kotelny

Teplárny neboli průmyslové závody zajišťující, na rozdíl od tzv. výtopen, právě kombinovanou výrobu tepla a elektřiny o velkých objemech v řádech desítek až stovek MWt fungují v systému Centrálního zásobování teplem. V České Republice pokrývají 2/3 dodávek tepla, výrobu elektřiny z 21%. Primární jednotkou bývají nejčastěji parní turbíny, jejichž primární energií je uhlí [18].

V současnosti je v provozu 40 kotelen, které využívají pro svůj provoz biomasu, ve dvou třetinách výhradně, v té třetí kombinovaně s uhlím, zemním plynem či topným olejem [19]. Dále lze nalézt kogenerační jednotky v komerční sféře s parní turbínou poháněné energií z biomasy, například společnost Less & Timber ji aplikovala v roce 2009 v dřevo zpracovávajícím komplexu v Čáslavi (obr. 2.17, 2.18), její výkon je 5,5MWe a 10MWt.



Obrázek 2.17: Biomasa ke zpracování v kogenerační jednotce [49]



Obrázek 2.18: Kogenerační jednotka [49]

2.6.2 Bioplynová stanice

Bioplynové stanice jsou zařízení, které pomocí anaerobní digesce vytvářejí bioplyn a digestát. Teplo, které je pro tento proces zásadní vytváří kogenerační jednotka (často spalovací motor), jejíž primární energií je právě část tvořeného bioplynu. Zbytek odpadního tepla, který je produkovan jednotkou vytápění obytných budov, skleníků a pro sušení zemědělských produktů, dřeva atd.

Vizionářským projektem je bioplynová stanice bezemisního datového centra společnosti Microsoft, které je napájeno palivovými články vyrábějící elektřinu elektrochemickou konverzí bioplynu z čistírny. [20]

2.6.3 Mikro-kogenerace

Dle evropské směrnice 2004/8/ES pojem mikro-kogenerace označuje všechny jednotky o výkonu nižším než 50 kWe. V praxi je však tato definice velmi široká, a pojem „mikro“ označuje jednotky pouze do výkonu 1-5 kWe, zbytek je označován, jako mini-kogenerace. [21] lze jí aplikovat např. v objektech rodinných či menších bytových domů, popřípadě menších řemeslných dílen. Na trhu lze nalézt jednotky o výkonech ještě nižších, příkladem je jednotka Pellematic Smart_E 0,6 rakouské společnosti Ökofen Heiztechnik GmbH, o výkonu 0,6 kWe, proto se především v zahraničí můžeme již setkat s termínem nano-kogenerace, označující jednotky s výkonem pod 1 kWe.

Hlavní překážkou pro široké využití mikrokogeneračních jednotek je jejich cena, která v dnešní době často přesahuje 25 000 euro, dle odhadů Cogeneration Observatory and Dissemination Europe (CODE), by cena mohla poklesnout na přijatelnějších 4000 euro [22].

V současnosti se v ČR jedná spíše o ojedinělé aplikace těchto systémů, oproti tomu v sousedních státech (Německo, Rakousko) jsou kogenerační jednotky daleko častěji využívány běžnými domácnostmi, neboť zde existuje větší podpora mikro-kogenerace, a v tomto důsledku výrobci plynových kotlů rozvíjejí technologie, díky kterým se můžeme setkat např. s kogenerační jednotkou se Stirlingovým motorem, která je cenově přijatelná a je tedy reálná návratnost investice [23; 19], Kogenerační jednotky má ve svém portfoliu několik firem jedná se například o společnosti Viessmann, který dodává na trh jednotku VitoTwin 300 (obr. 2.19), dále společnost Honda s jednotkou Ecowill, která dodala tuto jednotku více než 130 000 Japonských domácností, v Evropě je k dostání pod značkou Vaillant, [24]

Tabulka 2.6: Vybrané jednotky na trhu

primární jednotka (výrobce)	technologie	palivo	Jmenovitý elektrický výkon	Jmenovitý tepelný výkon	elektrická účinnost η_E	celková účinnost η
			kWe	kWt	%	%
VitoTwin (Viessmann)	Stirlingův motor	zemní plyn	0,3-	3,2-26	10-30	96
Cogetherm	ORC	pelety	5	25	15	90
Lion Powerblock pellets (Otag)	parní stroj		0,3-2	3-16	10	85
Řada Micro (Tedom)	spalovací motor	bioplyn	25;35	47,5;79,5	7-20	75-88

V Německu je v běhu tzv. PV-KWK program, jehož cílem je propojení fotovoltaických systémů s kogeneračními jednotkami pro společnou výrobu elektřiny a tepla [25]. V ČR se zabývá výrobou mikro-kogeneračních jednotek např. firma TEDOM, Hoval a Polycomp. Pokrok byl taktéž zaznamenán v oblasti mikro-kogeneračních jednotek spalujících jako primární palivo brikety, jednotky o výkonech do 1 kWe jsou již sériově dodávány na trh Německa či Rakouska. [26]



Obrázek 2.19: kogenerační jednotka VitoTwin [56]



Obrázek 2.20: Stirlingův motor [56]

2.6.3.1 Obsluha a údržba mikrokogeneračních zařízení

Jako jednou z překážek pro zřizování mikro-kogeneračních zařízení se můžou jevit vyšší náklady na provoz. Avšak dle zahraničních zdrojů jsou např. malé plynové kogenerační jednotky srovnatelné s provozními náklady malých plynových kotlů. [27]

2.7 Návrh a dimenzování kogeneračních zařízení

Při návrhu je nejprve zapotřebí předběžně posoudit vhodnost a možnost použití kogenerace, poté je třeba provést podrobně rozbor požadavků na dodávku tepla a elektřiny ve spotřebitelské soustavě, na jehož základě bude proveden návrh typu, velikosti a počtu kogeneračních jednotek.

V prvním kroku tedy dojde k posouzení následujících posoudit zejména tyto okolnosti [17]:

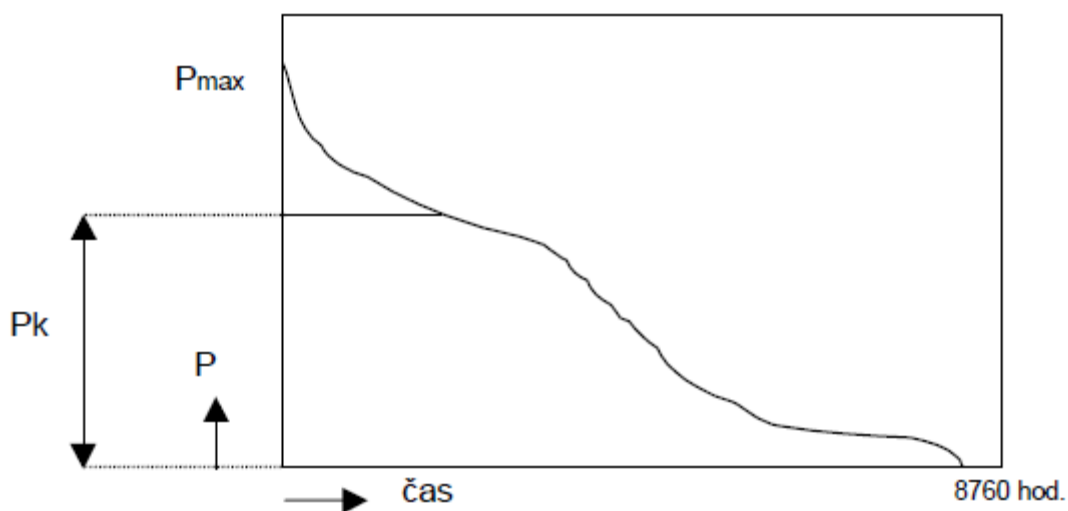
- a. *Zdali jsou v daném místě přiměřeně velké požadavky na teplo a elektřinu a to jak z hlediska výkonů, tak doby ročního využití;*
- b. *je-li v dané lokalitě k dispozici vhodné palivo, voda a možnost připojení k veřejné elektrické síti;*
- c. *je-li k dispozici dostatečný prostor pro výstavbu zařízení a nezbytné zázemí;*
- d. *zda je předpokládaný spotřebitel tepla blízko místa instalace kogenerační jednotky;*
- e. *nebrání-li výstavbě tepelného zdroje legislativní požadavky (hluk, emise, veřejný zájem).*

V další fázi je třeba nutné získat co následující podklady v co možná nejpodrobnější formě [17]

- a. situační plán spotřebitelské lokality resp. generel objektů investora;
- b. kompletní údaje o stávajícím tepelném zdroji vč. stavební dokumentace;
- c. diagramy spotřeby tepelné a elektrické v průběhu roku
- d. denní diagramy průběhu potřeby tepla a elektriky v typických dnech roku (topná sezóna, přechodné období, letní období). [17]

Zásadní při rozhodování počtu a nasazení kogeneračních jednotek jsou diagramy potřeby a spotřeby tepla, neboť jednotky nemohou pracovat bez odběru tepelné energie. Především kvůli tomu, že by museli být chlazeny a odpadní teplo by nebylo využíváno, to by směřovalo proti principu kogeneračních jednotek, neboť by v tomto případě nemohli konkurovat odděleným výrobním energiím.

V případě, že je teplo užíváno jen pro vytápění a přípravu TV nejsou denní diagramy potřeby tepla nutné. Při návrhu postačí roční průběh spotřeby tepla sestavený na základě klimatických dat. [17]



Obrázek 2.21: Roční diagram potřeby tepla [17]

Diagram tepla se sestaví na základě potřeby tepla pro přípravu TV, ohřev topné vody a v případě a případně i pro dodávku tepla vzduchotechnickým systémům, v závislosti na klimatických datech. P_{\max} znázorňuje maximální průměrný měsíční výkon, P_k značí maximální výkon jednotky.

2.8 Ekonomické hodnocení a podmínky provozu

Posouzení ekonomické výhodnosti je založeno především na porovnání nasazení kogenerační jednotky oproti jiným možnostem dodávky požadované spotřeby energií, z toho vyplývá, že ekonomickou výhodnost lze zajistit dosažením maximální hodnoty využití primárního paliva a doby využití.

2.9 Instalace kogenerační jednotky

Instalace KJ souvisí s následujícími legislativními požadavky [28];

- a. Připojení jednotky do sítě na základě žádost o připojení k místní distribuční soustavě u distribuční společnosti. Distributor si může vyžádat další technickou dokumentaci, například projekt na zapojení KJ. Bez uzavření smlouvy o připojení není možno jednotku instalovat.
- b. KJ Stavební povolení, jehož součástí je projekt na instalaci KJ a případně projekt na vyvedení elektrického výkonu. Výjimkou mohou být výměny kotle za malé KJ v případě, že je zachováno stejné topné médium.
- c. Licence na výrobu elektřiny v případě prodeje přebytků vydávaná ERÚ.
- d. Osvědčení o původu elektřiny a tepla nutné pro vyplácení podpory KVET od územně příslušného distributora, je vydáváno MPO.
- e. Registrace u OTE nutná pro každého výrobce elektřiny, neboť se stává se registrovaným účastníkem trhu.
- f. Elektroměr, platný dle současné legislativy, v případě odběru elektřiny ze sítě a současně dodávky do sítě.

- g. Smlouva na výkup elektřiny s registrovaným obchodníkem, který vykoupí přebytkovou elektřinu za sjednanou cenu.
- h. S výše uvedenými legislativními požadavky souvisí i povinnost zpracování pravidelných výkazů souvisejících s výrobou elektřiny a tepla. Četnosti a termíny stanoví prováděcí právní předpisy.

2.10 Náklady

2.10.1 Investiční náklady

Investiční náklady jsou finanční prostředky na výstavbu a provoz kogeneračního zařízení, mohou se lišit především v závislosti typu a velikosti. Obecně jsou stanoveny náklady takto;

- a. cenu KJ (jednotek);*
- b. palivové hospodářství, zásobní nádrže a ovládací zařízení;*
- c. připojení na místní nebo veřejnou elektrickou síť zahrnující popř. jeho rekonstrukci;*
- d. všechna mechanická propojení a elektrický servis, včetně propojení a vyzkoušení;*
- e. některé nové budovy, úpravy stávajících budov;*
- f. vyškolení operátorů, záložní díly a jiné speciální prostředky pro údržbu a opravy;*
- g. projekty, dozory a náklady na uvedení zdroje do provozu;*
- h. environmentální výbavu, hasičské prostředky a vnější profesionální služby požadované k jejich ovládní. [17]*

Obecně lze shrnout, že investiční náklady malé KJ, která obsahuje generátor, výměníky tepla a kontrolní systémy, dosahují 60-70 % ceny celkových investic zdroje [17].

2.10.2 Roční provozní náklady

Celkové roční provozní náklady se skládají z následujících položek:

- a. náklady na palivo pro pohonné jednotky;*

- b. mzdové náklady;*
- c. náklady na běžnou údržbu;*
- d. náklady na plánované prohlídky a opravy;*
- e. náklady na montážní a údržbový materiál;*
- f. náklady na provozní oleje, technické plyny a chemické prostředky na úpravy napájecí a chladící vody;*
- g. režijní náklady. [17]*

2.11 Výnosy

Při aplikaci kogeneračních jednotek jsou výnosy dány vyrobenou tepelnou a elektrickou energií, které se mohou projevit buď jako úspora, pokud by byly nakupovány z externích zdrojů nebo jako zisk z prodeje.

2.11.1 Výnosy za elektrickou energii

Produkovanou energii lze využít pro:

- a. částečné krytí vlastní spotřeby, zbytek se nakupuje z veřejné rozvodné sítě;*
- b. pokrytí vlastní spotřeby a prodej přebytků do veřejné rozvodné sítě;*
- c. prodej do veřejné rozvodné sítě;*
- d. ostrovní provoz bez připojení k veřejné rozvodné síti. [17]*

2.11.2 Výnosy za tepelnou energii

Výnosy z tepla jsou dány součinem odebraného tepla a jeho měrné ceny. Při posuzování úspor je třeba za měrnou cenu dosadit cenu tepla v palivu kotlů zvýšenou o energii a hmoty spotřebované v kotelně. [17]

2.12 Legislativa a dotační podpora kogenerace a energie z biomasy

Státní podpora kogeneračních zařízení je zajištěna především cestou evropských dotací formou příspěvku na samotné pořízení KJ. Konkrétně přes operační programy pro podporu podnikání nebo podpory využívání zdrojů energie. [29]

Dalším podpurným prostředkem je samotná platba za vytvořenou elektrickou energii, tzv. zelený bonus.

Tabulka 2.7: Výkupní ceny a roční zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy

f./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Kategorie biomasy a proces využití	Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)		Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	a	b	c	k	l	m
200	Výroba elektřiny společným spalováním biomasy a různých zdrojů energie s výjimkou komunálního odpadu v procesu vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla	1.1.2006	31.12.2017	S1	3100*	2 440
201		1.1.2006	31.12.2017	S2	1960*	1 300
202		1.1.2006	31.12.2017	S3	760*	100
203		1.1.2006	31.12.2017	P1	3370*	2 710
204		1.1.2006	31.12.2017	P2	2230*	1 570
205		1.1.2006	31.12.2017	P3	1030*	370
206		1.1.2006	31.12.2017	DS1	3100*	2 440
207		1.1.2006	31.12.2017	DS2	1960*	1 300
208		1.1.2006	31.12.2017	DS3	760*	100
209		1.1.2006	31.12.2017	DP1	3370*	2 710
210		1.1.2006	31.12.2017	DP2	2230*	1 570
211	1.1.2006	31.12.2017	DP3	1030*	370	
230	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	1.1.2016	31.12.2017	-	1720*	1 060
240	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy	1.1.2006	31.12.2007	O1	3 900	3 240
241		1.1.2006	31.12.2007	O2	3 200	2 540
242		1.1.2006	31.12.2007	O3	2 530	1 870
243	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy ve stávajících výrobnách	1.1.2006	31.12.2012	O1	2 830	2 170
244		1.1.2006	31.12.2012	O2	2 130	1 470
245		1.1.2006	31.12.2012	O3	1 460	800
260	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy v nových výrobnách elektřiny nebo zdrojích	1.1.2008	31.12.2012	O1	4 580	3 920
261		1.1.2008	31.12.2012	O2	3 530	2 870
262		1.1.2008	31.12.2012	O3	2 630	1 970
263		1.1.2013	31.12.2013	O1	3 730	3 070
264		1.1.2013	31.12.2013	O2	2 890	2 230
265		1.1.2013	31.12.2013	O3	2 060	1 400
266		1.1.2014	31.12.2014	O1	3 335	2 675
267		1.1.2014	31.12.2014	O2	2 320	1 660
268		1.1.2014	31.12.2014	O3	1 310	650
269		1.1.2015	31.12.2017	O1	3 263	2 603
270		1.1.2015	31.12.2017	O2	2 251	1 591
271	1.1.2015	31.12.2017	O3	1 245	585	

Podpora KVET je legislativně zakotvena v zákonu 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů., dále ve vyhlášce Ministerstva průmyslu a obchodu č.37/2016 Sb. O elektřině z vysokoučinné výroby elektřiny a tepla a elektřiny z druhotných zdrojů. Evropská unie podporuje kogenerace skrz Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti.

3 ČÁST B - PRAKTICKÁ ČÁST – Analýza využití kogenerace v areálu malé firmy s truhlářskou dílnou

3.1 Popis objektu

Objekt je situován v obci Ostředek, v okrese Benešov, ve Středočeském kraji, v nadmořské výšce 442 m n. m. Jedná se o návrh objektu tří budov, z nichž dvě budou kompletně rekonstruovány. Třetím objektem je novostavba, která bude mimo jiné sloužit k propojení těchto stávajících objektů. První dvě budovy byly vystavěny již v 1. polovině 20. století, nosné stěny jsou z kamene o tloušťce 90 cm, resp. 70 cm, se sedlovou střechou a dřevěným krovem. Účelem budovy 2 (objekt vpravo, viz obr. 3.1) je truhlářská výroba, která zde bude zachována. Bude zde zpracovááno rostlé dřevo pro výrobu schodišť, dveří a podobných výrobků. Nalevo od truhlárny bude vystavěna novostavba, jejíž nosnou konstrukcí budou cihlové stěny s železobetonovými stropy a plochou střechou. Posledním objektem je stodola (na obr. 3.1 objekt vlevo), která bude sloužit jednak jako sklad materiálu, v další části bude tzv. wellness, složená z tělocvičny a sauny, a v podkroví bude umístěna obytná část.

Objekt bude vytápěn deskovými tělesy, v koupelnách a na toaletách trubkovými tělesy. Větrání je navrženo jako podtlakové s ventilátory v koupelnách a na toaletách, prostor lakovny je větrán nuceně. Primárním zdrojem tepelné energie bude tuhý dřevní odpad z místní produkce, a to ve formě pelet nebo kusového dřeva.



Obrázek 3.1: Vizualizace řešeného objektu (zprava: objekt 2 – truhlárna, objekt 1 - novostavba, objekt 3 – původní stodola)

3.2 Předběžné posouzení vhodnosti a možnosti použití kogenerace

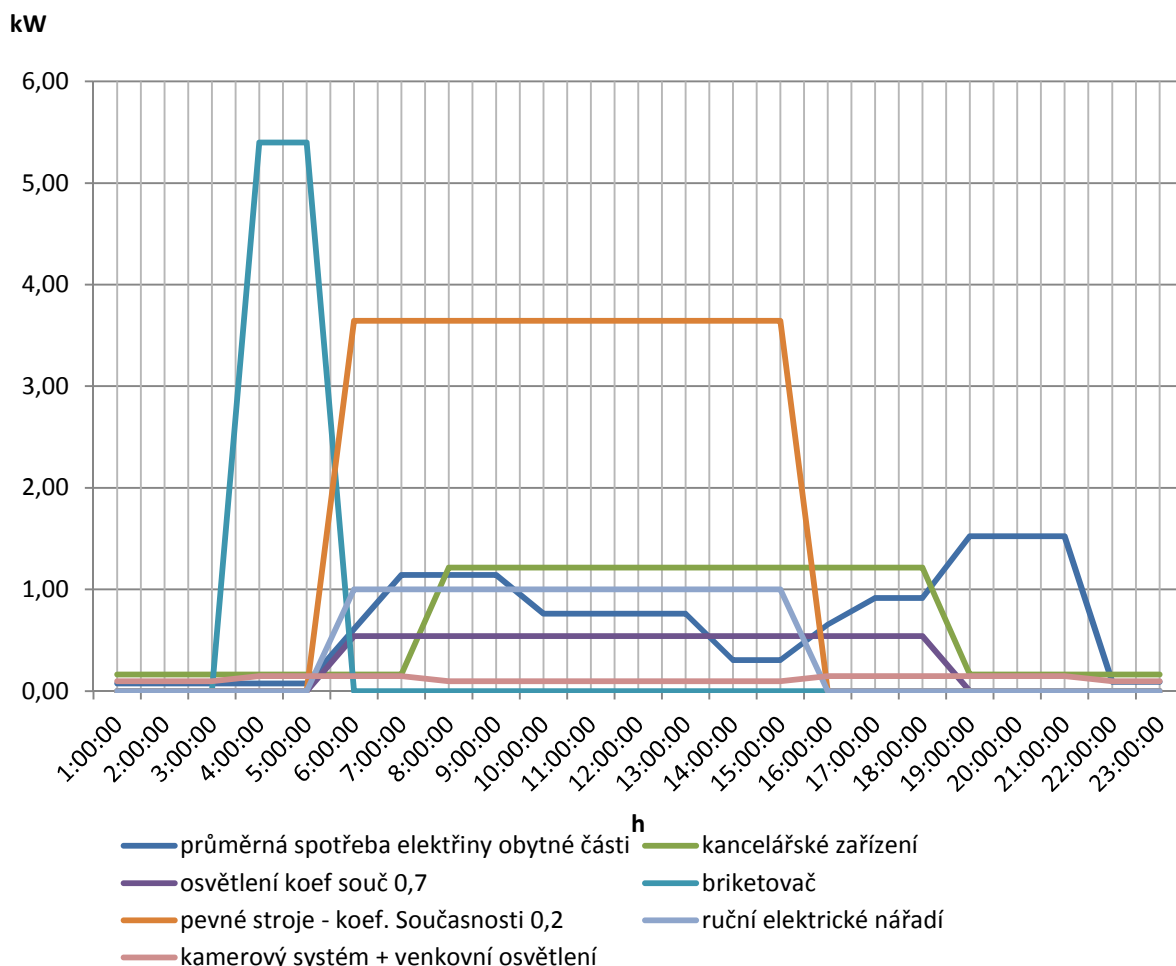
Jak je výše uvedeno, objekt se skládá ze tří budov s různým využitím. Tato multifunkčnost vede právě k myšlence využití kogenerační jednotky na tuhou biomasu, neboť jsou zde splněny podmínky popsané v kapitole 2.7, tj. vyskytuje se zde jak přiměřená poptávka elektrické a tepelné energie, tak poměrně velká produkce dřevního odpadu, který lze využít pro vytápění.

3.3 Podrobný rozbor požadavků na dodávku elektřiny

Aby byla dosažena co nejvyšší úspora finančních prostředků za elektřinu, je vhodné vyrábět elektřinu v době odběru vysokého tarifu, proto je uvažován provoz kogenerační jednotky především v denních hodinách. V případě potřeby tepelné energie v nočních hodinách, bude elektrická energie využita pro provoz automatického peletovacího stroje.

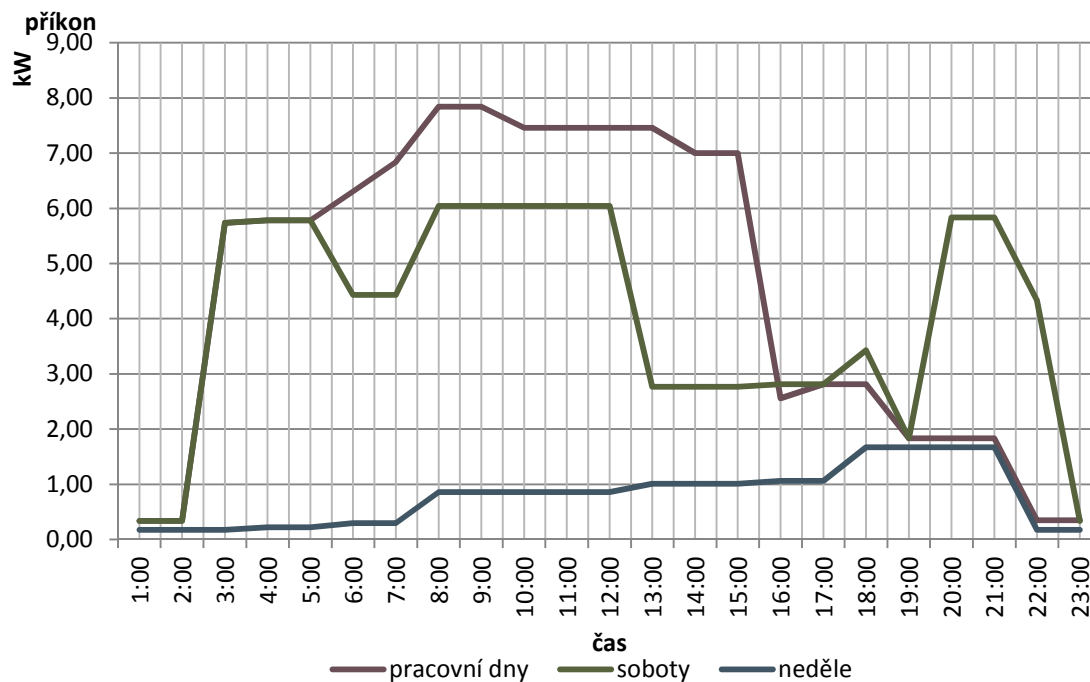
Pro co nejpřesnější stanovení denní spotřeby elektrické energie proběhly konzultace s provozovatelem truhlářské dílny, dalším podkladem sloužil soupis technických parametrů spotřebičů. Při analýze byla zohledněna denní pracovní doba a využití strojů, s přispěním akustického měření, z kterého byl odvozen počet strojů v provozu v určitém čase. Na základě těchto podkladů byl stanoven pro zjednodušení koeficient současnosti. Spotřeba elektřiny obytné části, je stanovena na základě průměrné denní spotřeby domácnosti, dle ČSÚ. [30]

V administrativní a wellness části je příkon stanoven dle pracovní, resp. provozní doby. Na základě těchto vstupních dat, byl sestaven graf denní průměrné potřeby elektrické energie (viz obr 3.2), jak v pracovních dnech, tak o víkendech, rozdíl mezi součtovým příkonem lze vidět v grafu na obr. .



Obrázek 3.2: Průběh potřeby elektrické energie v pracovním dni

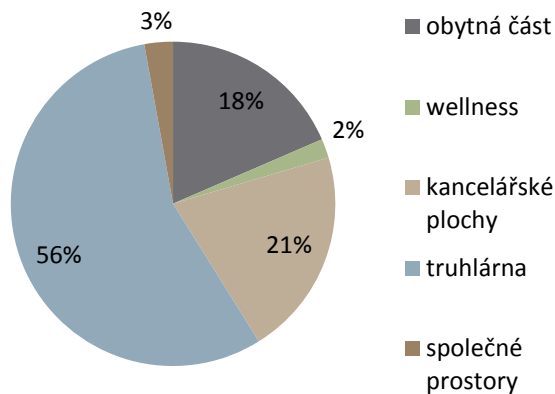
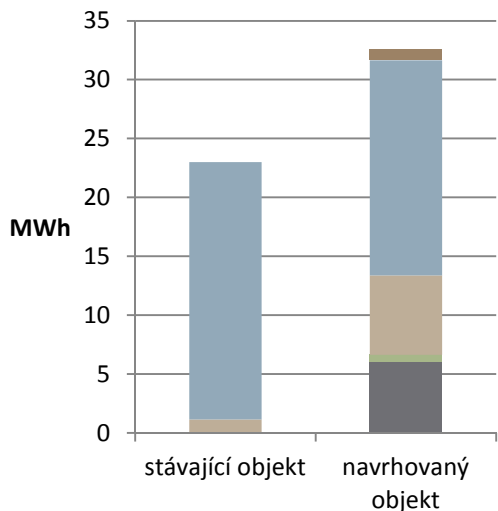
Na základě uvedených grafů lze nastínit, jaký provoz kogeneračního zařízení by byl nejefektivnější. Při sledování křivky celkové potřeby elektrické energie je patrné, že odběr energie v průběhu dne poklesne jen v nočních hodinách, a to pouze v krátkém časovém úseku. Neboť v nočních hodinách je v provozu jen automatický peletovací stroj.



Obrázek 3.3: Denní průběh potřeby elektrické energie celého objektu

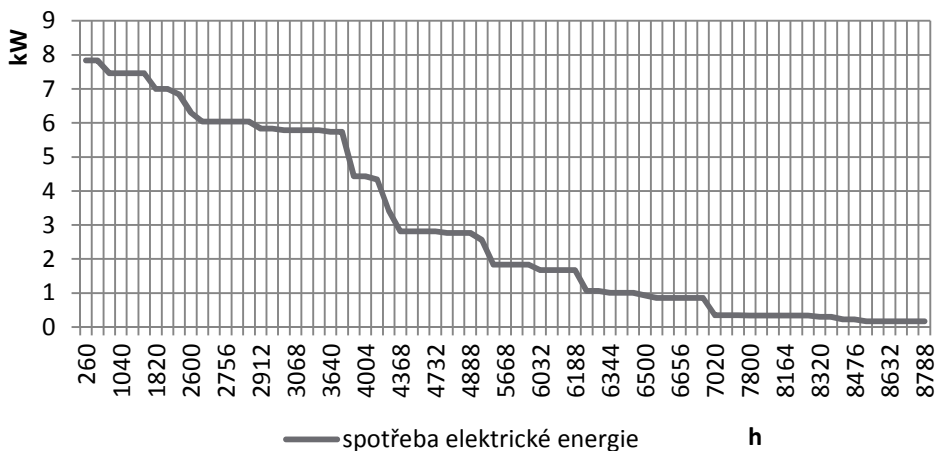
Nejnižší potřeba elektrické energie připadá na neděli, kdy v provozu není truhlářská dílna ani administrativní část. Přesto hodinová spotřeba elektřiny v denních hodinách klesá jen mírně pod 3 kW.

Relevance spotřeby elektrické energie truhlářskou dílnou, byla porovnávána s fakturami za sdružené služby dodávky elektřiny současného objektu (tj. truhlářská dílna vč. zázemí s kanceláří 5 m²), která v předchozích letech dosahovala v průměru 23 MWh/rok, po celkové přestavbě a rozšíření funkcí objektu z dat vychází navýšení spotřeby o 39 % na 32 MWh/rok. (viz obr. 3.4 a 3.5).



Obrázek 3.4: Bilance spotřeby elektřiny – stávající objekt/ navrhovaný objekt

Obrázek 3.5: Skladba odběru elektřiny navrhované budovy



Obrázek 3.6: Spotřeba elektrické energie

3.4 Podrobný rozbor požadavků na dodávku tepla

Z podrobného výpočtu tepelných ztrát (viz příloha C3) byl navržen tepelný zdroj následovně;

$$Q_{top} = 56,4 \text{ kW},$$

$$Q_{vzt} = 4,5 \text{ kW},$$

$$Q_{tv} = 5,6 \text{ kW}.$$

kde

Q_{top} - nejvyšší tepelný výkon pro vytápění,

Q_{vzt} - nejvyšší tepelný výkon pro vzduchotechniku,

Q_{tvv} - nejvyšší tepelný výkon pro ohřev TV.

$$Q_{prip} = 56,4 + 4,5 = 60,9 \text{ kW}.$$

Q_{prip} – minimální výkon zdroje/zdrojů tepla.

V objektu je uvažována nádrž o objemu 1000 l.

3.5 Návrh a dimenzování zdroje tepla/kogeneračních zařízení

Pro analýzu jsou uvažovány 3 varianty řešení. Referenční varianta představuje variantu základní, konvenční, neboť počítá pouze se samotnou výrobou tepelné energie, jejím primárním zdrojem tepelné energie je uvažován automatický kotel na pelety (viz kapitola 3.5.1). Ve variantě 2 a 3 je jako primární zdroj tepelné energie uvažována kogenerační jednotka, jejímž palivem budou dřevěné pelety. Na základě kapitoly 3.4 je uvažováno, že Q_{prip} pro všechny varianty bude 60,9 kWt a ve všech variantách je navržena vyrovnávací akumuláční nádrž 1000 l. Jako doplňkový zdroj tepla ke všem posuzovaným variantám bude shodně uvažován zplyňovací kotel na dřevo typ DCxxS s různým tepelným výkonem, závislý na výkonu primárního zdroje tepla.

Tabulka 3.1: Doplnkový zdroj tepla

Tepelný výkon	kWt	8,9-40 kW
Elektrický výkon	kWe	-
η_E^{KVET}	%	-
η_T^{KVET}	%	90%
η_C^{KVET}	%	90%
Rozměry	cm	60,6x90,4x140,5



Obrázek 3.7: Kotel na kusové dřevo [55]

Cílem prováděné analýzy je návrh co nejefektivnějšího tepelného zdroje. Vzhledem k tomu, že elektrická energie je hodnotnější než ta tepelná, i v případě nižší tepelné účinnosti může být kogenerace výhodnější. Pro jednoduché srovnání, které poukáže na výhodnost vysoké elektrické účinnosti, byla připravena tabulka sloužící k základnímu porovnání výtěžnosti 1 tuny paliva, v tomto případě briket. Vstupní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.1.

Reálná výhřevnost paliva pelet je uvažovaná 16,5 MJ/t [31], jako vstupní cena pelet je uvažována spodní hranice cen za pelety na českém trhu, tedy 4000 Kč/t [32]. Cena za elektřinu je vypočtena na základě faktur provozovatele objektu, zahrnující spotřebu elektřiny, systémové služby, podporu OZE, za činnost zúčtování OTE.

Tabulka 3.2: Vstupní údaje pro výpočet výtěžnosti jedné tuny paliva

Výhřevnost paliva/ energie v palivu	16,5	MJ/t
Vstupní cena pelet	4000,00	Kč/t
Cena za elektřinu	4 460,00 Kč	Kč/ MWh

3.5.1 Výnosnost paliva

Pro zjednodušení je uvažována jen palivová složka ceny, do výpočtu nejsou zahrnuty ceny nákladů na obsluhu, ani amortizace. Na základě elektrické a tepelné účinnosti určíme kolik tepla a elektřiny bude z 1 tuny pelet vytvořeno. Ze srovnání jednotlivých variant vyplývá, že při použití KJ dojde k ekonomicky efektivnějšímu využití paliva, a to ve variantě 2 téměř o 60 %, ve variantě 3 dokonce dvojnásobně. Přestože je vyrobeno v případě 2 i 3 méně tepelné energie než ve variantě 1, vzhledem k tomu, že elektrická energie je nejhodnotnější formou energie, vychází tyto varianty z hlediska výtěžnosti jednoznačně výhodněji.

Avšak je třeba vzít v potaz, že potřeba paliva pro pokrytí potřeby tepelné energie je vyšší, než energie z vytvořeného odpadu, je třeba uvažovat s nákupem paliva pokrývající zbytek potřeby. Tudíž platí pro řešený objekt, že čím nižší je tepelná účinnost zdroje, tím vyšší jsou náklady na vytápění. Výpočet bilance vyprodukovaného a dokupovaného paliva je zmíněn v kapitole 4. Uvažované výdaje a výnosy jsou shrnuty hromadně pro všechny varianty v kapitole 3.6, resp. 3.7.

Pro objekt budou posouzeny tři různé kogenerační jednotky. V první variantě se bude jednat o KJ s parním strojem, v druhé půjde ORC a třetí jednotka funguje na bázi Stirlingova motoru, jednotlivé jednotky jsou popsány v následujících podkapitolách, kde jsou uvedeny i pořizovací náklady.

Tabulka 3.3: Výtěžnost 1 tuny paliva, ve formě pelet

	Referenční varianta	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
	kotle na biomasu	KJ lion-Powerblock	KJ Cogetherm	KJ Sunmachine Pellet
η_c	90%	95%	90%	90%
η_e	0%	10%	15%	20%
η_t	90%	85%	75%	70%
Vyrobená elektrická energie [MJ]	0,00	1,62	2,43	3,24
Vyrobené teplo [MJ]	14,59	13,78	12,16	11,35
Peněžní hodnota elektřiny na výstupu	0,00 Kč	2 008,24 Kč	3 012,36 Kč	4 016,48 Kč
Peněžní hodnota tepla na výstupu	3 600,00 Kč	3 400,00 Kč	3 000,00 Kč	2 800,00 Kč
Celková peněžní hodnota na výstupu	3 600,00 Kč	5 408,24 Kč	6 012,36 Kč	6 816,48 Kč

3.5.2 Referenční varianta

V první variantě, tzv. konvenční, je uvažováno s oddělenou výrobou tepelné a elektrické energie. Zdrojem tepelné energie budou dva kotle na dřevní biomasu, a to jeden na kusové dřevo typ DC 30 SX a automatický kotel na pelety typ D40P. Celkový navržený tepelný výkon tedy bude 700 kWt.

Tabulka 3.4: Technické charakteristiky referenční varianty

Tepelný výkon	kWt	8,9-40 kW
Elektrický výkon	kWe	-
η_E^{KVET}	%	-
η_T^{KVET}	%	90%
η_C^{KVET}	%	90%
Rozměry	cm	60,6x90,4x140,5

Obrázek 3.8:
Automatický kotel na
pelety

Pořizovací náklady kotle na kusové dřevo jsou stanoveny na základě cenové nabídky, zbytek na základě dostupných cen na internetových stránkách výrobců.

Tabulka 3.5: Pořizovací náklady referenční varianty

Pořizovací náklady na zdroje tepla	Cena
Pořizovací náklady kotle na dřevo	
kotel na dřevo DC 40 SX	35 289,00 Kč
Pořizovací náklady automatického kotle na pelety	
Automatický kotel na pelety D40P	42 900,00 Kč
hořák	28 900,00 Kč
šnekový podavač	14 400,00 Kč
systém na dopravu pelet vč. zásobníku	80 000,00 Kč
automatický odvod popele	3 800,00 Kč
Pneumatické čištění hořáku na pelety	13 100,00 Kč
Celkem	183 100,00 Kč
Montáž, zprovoznění, regulace a doprava zdrojů tepla	65 516,70 Kč
Celkové pořizovací náklady	283 905,70 Kč

3.5.3 Varianta 1

Ve variantě 1 je uvažováno využití kogenerační jednotky se parním strojem spalující dřevní pelety lion –Powerblock v kombinaci s jedním zplyňovacím kotlem na dřevo DC50SX firmy Atmos, celkový tepelný výkon systému tedy bude 69 kWt, elektrický výkon bude 2 KWe.

Lion-Powerblock je mikro-kogenerační jednotku spalující dřevní pelety německé společnosti Otag, primárně určena pro provoz domácností. Vzhledem k tomu, že jednotka pracuje již od 21% svého maximálního výkonu (viz tab. 3.5) lze ji využívat již při nízkých potřebách dodávky tepla, díky čemuž může být v provozu i mimo topnou sezónu a zajišťovat přípravu TV, to se kladně projeví ve výnosech za elektřinu.

Tabulka 3.6: Lion Powerblock pellets – technické parametry [26]

Tepelný výkon	kWt	4-16 (19)
Elektrický výkon	kWe	0,3-2
η_E^{KVET}	%	85
η_T^{KVET}	%	10
η_C^{KVET}	%	95
Rozměry jednotky	cm	83,0 x 62,0 x 126,0



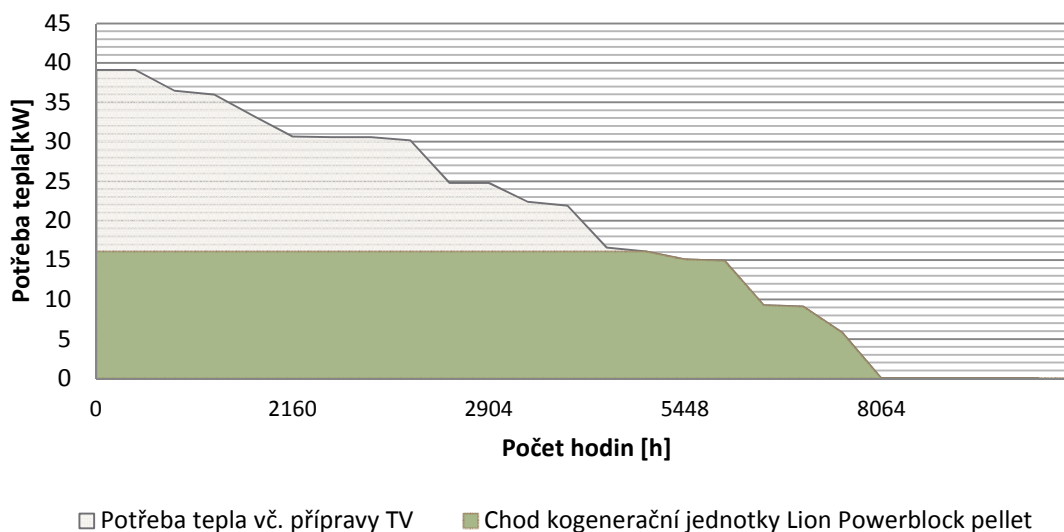
Obrázek 3.9: lion-Poweblock pellets [51]

Cena kogenerační jednotky je dle výrobce 18000 euro [33], uvažovaný průměrný kurz 12/2016 je 27 Kč za euro. Systém na dopravu pelet je shodný s referenční variantou, ostatní náklady zahrnující montáž, zprovoznění, regulace a doprava zdrojů tepla a náklady spojené se zapojením do distribuční sítě představují 15% z ostatních položek, která byla stanovena s pomocí případové studie uvedené na stránkách výrobce.

Tabulka 3.7:: Pořizovací náklady varianty 1

Pořizovací náklady na zdroje tepla	Cena
Kotel na dřevo DC 50 SX	50 991,00 Kč
Kogenerační jednotka (vč. Šnekového podavače)	432 000,00 Kč
systém na dopravu pelet vč. zásobníku	80 000,00 Kč
Montáž, zprovoznění, regulace a doprava zdrojů tepla, náklady spojené se zapojením do distribuční sítě	84 448,65 Kč
Celkové pořizovací náklady	647 439,65 Kč

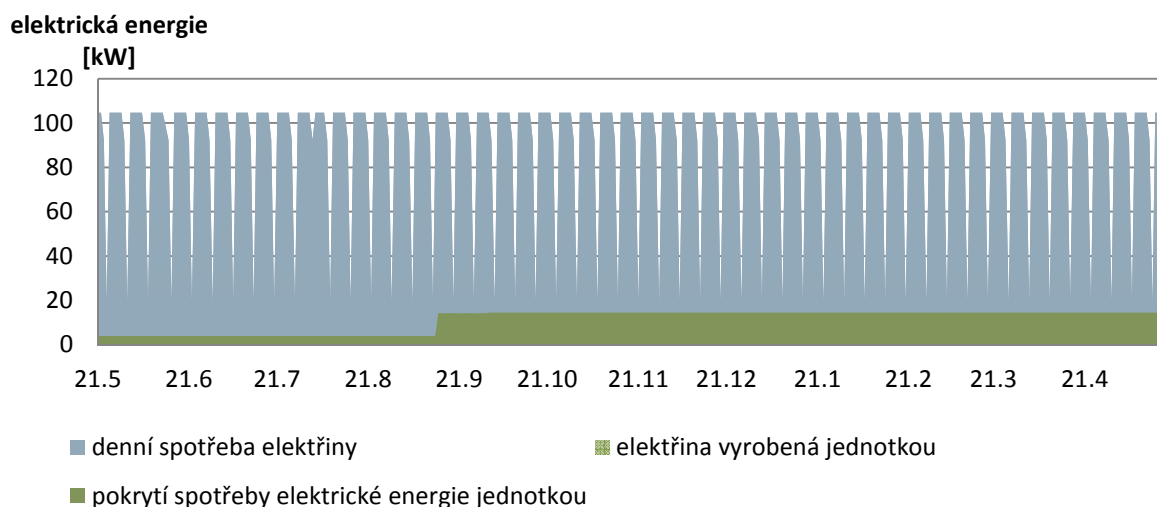
Jednotka bude v provozu na plný výkon 5088 h, zbytek sezóny zajistí, jak je již výše zmíněno, přípravu teplé vody, a poběží tedy na nižší výkon, to se projeví i na výrobě elektrické energie a krytí potřeby, objektu, viz obr.3.10.



Obrázek 3.10: Roční diagram potřeby tepla

Jak lze vyčíst z grafu na obr. 3.11 veškerá vyrobená elektřina bude využita pro pokrytí potřeby elektrické energie objektu a nebude třeba ji už dále distribuovat do sítě. V tomto případě by bylo možné vyhnout se nákladům spojeným se získáním licence, tím by se ztratila možnost poskytnutí státní podpory [34], tzv. zeleným bonusům, které mohou dosahovat v současnosti

ročně pro tuto variantu 26 000 Kč, z tohoto důvodu bude zapojení do distributorské sítě uvažováno.



Obrázek 3.11:Souvislost mezi krytím potřeby a výrobou elektřiny kogenerační jednotkou varianta 1

3.5.4 Varianta 2

Ve variantě 2 je uvažována kombinace kogenerační jednotky se ORC cyklem spalující dřevní pelety, Cogetherm, v kombinaci s jedním zplyňovacím kotlem na dřevo DC50SX firmy Atmos, celkový tepelný výkon systému tedy bude 75 kWt, elektrický výkon bude 5 kWe.

Kogenerační jednotka Cogetherm společnosti WOODCO SA, evropskou společností, se sídlem v Irsku, Švýcarsku a Velké Británii, zabývající se výrobou mikro-kogeneračních jednotek na biomasu a to buď na principu ORC nebo s parním strojem. Jednotka Cogetherm funguje na upraveném principu ORC, na který má společnost svůj patent.

Tabulka 3.8: Základní technické údaje kogenerační jednotky Sunmachine Pellet [35]

Maximální tepelný výkon	kWt	25
Elektrický výkon	kWe	5
η_E^{KVET}	%	15
η_T^{KVET}	%	75
Rozměry jednotky	cm	70,0x70,0x120,0 cm
Hmotnost jednotky	kg	120 kg



Obrázek 3.12: Jednotka Cogetherm [35]

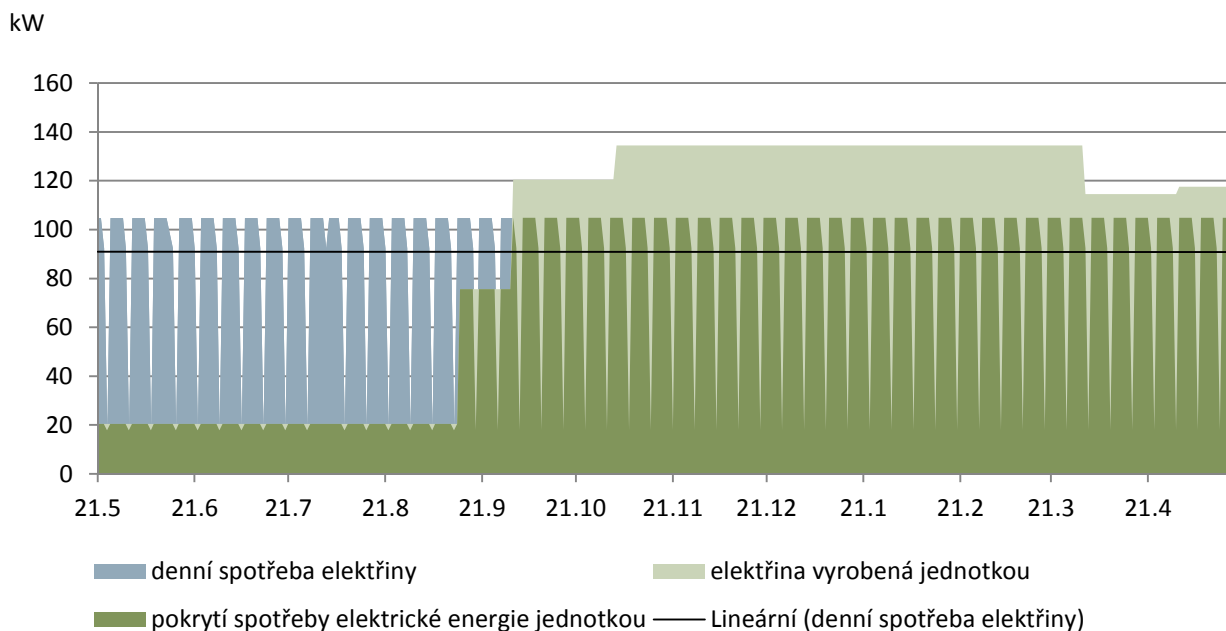
Je uvažováno, že tato jednotka bude v zimním provozu využívána v kombinaci s kotli, naopak v letním režimu bude zabezpečovat ohřev TV, vzhledem k vysokému výkonu bude třeba navrhnout větší zásobníkový ohřivač.

Cena kogenerační jednotky byla odhadnuta, podobně jako ve variantě 1, na základě případové studie zveřejněné výrobcem. [35]

Tabulka 3.9: Pořizovací náklady varianty 2

Pořizovací náklady na zdroje tepla	Cena
kotel na dřevo DC 40 SX	41 239,00 Kč
Kogenerační jednotka	1 240 000,00 Kč
šnekový podavač	14 400,00 Kč
systém na dopravu pelet vč. zásobníku	80 000,00 Kč
Montáž, zprovoznění, regulace a doprava zdrojů tepla, náklady spojené se zapojením do distribuční sítě	206 345,85 Kč
Celkové pořizovací náklady	1 581 984,85 Kč

Z grafu zobrazeným na obrázku 3.13 je patrné, že na rozdíl od první varianty, v hlavní topné sezóně jednotka vyrobí víc energie, než jaký je požadovaný odběr objektu v pracovních dnech, odprodej do distribuční sítě je tedy zřejmý.



Obrázek 3.13: Souvislost mezi krytím potřeby a výrobou elektřiny kogenerační jednotkou

3.5.5 Varianta 3

Poslední zvažovanou variantou je použití KJ se Stirlingovým motorem, pro zvolený objekt byla zvažována společnost jednotka Pelematic Smart_E o výkonu maximálním 55 kWt a 4,5 KWe a kogenerační jednotka Stirling společnosti Stirling GmbH, původně Sunmachine, o u maximálním výkonu 10 kWt elektrickém výkonu až 3 kWe. pro další analýzu byla vybrána jednotka Stirling BHKW P1 z důvodu k vyšší účinnosti oproti Pellematic Smart_E.

Jako doplňkový tepelný zdroj jsou navrženy 2 kotle, a to automatický kotel na dřevní pelety DC24S o výkonu 24 kW a druhý na kusové dřevo o výkonu 27 kW. Celkový tepelný výkon soustavy bude 61 kWt a 3 kWe.

Tabulka 3.10: Technické vlastnosti KJ Stirling BHKW 1

Tepelný výkon	4,5-10,5 kW
Elektrický výkon	1,5-3 kW
η_E^{KVET}	20-25%
η_T^{KVET}	75%
η_C^{KVET}	90%
Rozměry jednotky	76,0 x 159,0 x 116,0 cm



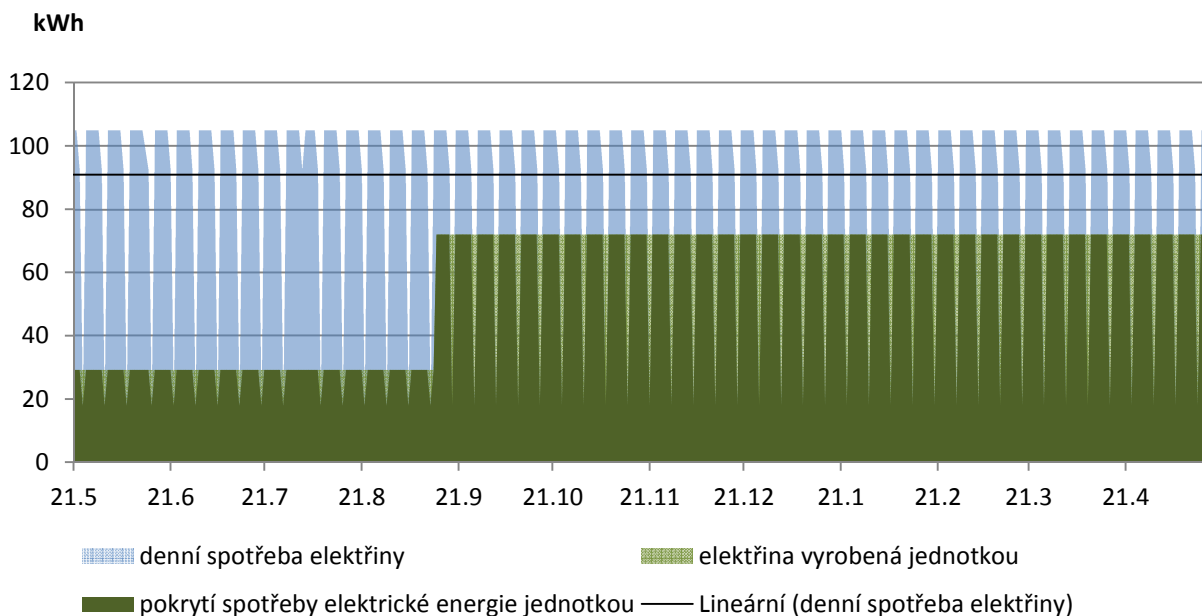
Obrázek 3.14: Stirling BHKW 1, původně Sunmachine [51]

Náklady na pořízení jednotky, byly uvažovány jednotně, za kompletní dodání jednotky, dle původní jednotky Sunmachine, a to 30 000 euro, průměrný kurz uvažován 12/2016 27 Kč/euro.

Tabulka 3.11: Pořizovací náklady varianta 3

Pořizovací náklady na zdroje tepla	Cena
kotel na dřevo DC 30 SX	33 801,00 Kč
Pořizovací náklady automatického kotle na pelety (vč. šn. podavače a dopravníku pelet)	125 900,00 Kč
Kogenerační jednotka (vč. šn. podavače a dopravníku pelet)	810 000,00 Kč
Montáž, zprovoznění, regulace a doprava zdrojů tepla, náklady spojené se zapojením do distribuční sítě	145 455,15 Kč
Celkové pořizovací náklady	1 115 156,15 Kč

Dle grafu na obrázku 3.15 pokryje potřebu elektřiny jednotka v pracovní době z více než 60 %, o víkendech, jak je to i u ostatních variant bude odprodávána do distributorské sítě.



Obrázek 3.15: Souvislost mezi krytím potřeby a výrobou elektřiny kogenerační jednotkou

3.6 Výdaje

Při návrhu konvenčního zásobování teplem, kotli, je zásadní účinnost, v tomto případě platí jednoznačně, že čím vyšší tepelná účinnost je, tím je ekonomicky výhodnější.

Ale to však neplatí při použití KJ, neboť zde hraje významnou roli zisk z vyrobené elektřiny. Pro daný objekt jsou uvažovány náklady ve formě dokupovaného paliva, vyrobený dřevní odpad a teplo z něj, uvažováno pro účely srovnání, s nulovou hodnotou. V tabulce 3.12 jsou znázorněny náklady na nákup paliva, které jsou vztaženy k účinnosti jednotlivých systémů. Celková potřeba tepla je tvořena dvěma částmi, a to teplo spotřebované jednotkou (uvažovaná rozdílná účinnost) a teplo spotřebované kotli, ve všech případech je uvažována účinnost kotle 87%.

Tabulka 3.12: Roční náklady na vytápění

	jednotky	tepelná energie dodaná soustavě			
		referenční varianta	varianta 1	varianta 2	varianta 3
		87%	85%	75%	70%
celková potřeba tepelné energie	GJ	630,7			
energie z dřevního odpadu	GJ	563,6			
celková potřeba energie	GJ	724,9	731,6	790,3	827,8
dokoupené palivo	GJ	161,3	168,0	226,7	264,2
	t	9,8	10,2	13,7	16,0
	Kč	39103,5	40718,8	54964,2	64058,3

Provozní náklady uvedené v tabulce 4.3 byly stanoveny dle kvalifikovaného odhadu provozovatele kotle na tuhá paliva. V případě variant s kogeneračními jednotkami je uvažováno procentuální navýšení nákladů, z důvodu komplikovanější technologie, celkové roční náklady ostatních variant jsou uvedeny v kapitole 3.8.

Tabulka 3.13: Roční náklady na údržbu (ceny uvedené bez DPH)

vynášení popele (2x za týden... cca 1x 84 h)	9 600,00 Kč
čištění kotle (1x za týden.. cca 1x za 168 h provozu)	19 200,00 Kč
obsluha kotle na tuhá paliva (uvažováno přiložení = 77 kg obsah násypky 0,14 m ³)	11 054,74 Kč
obsluha automatického kotle	5 238,25 Kč
Celkové roční náklady na obsluhu kotlů	45 092,99 Kč
Celkové měsíční náklady na obsluhu kotlů	3 757,75 Kč
Revize kotle (1x za 2 roky)	850,00 Kč
Revize a čištění komínů	2 500,00 Kč
Celkem revize	3 350,00 Kč
Celkové roční náklady	48 442,99 Kč

3.7 Výnosy

Jako zisky lze uvažovat ušetřené náklady za elektrickou energii nebo prodej elektřiny do sítě a zelený bonus poskytovaný na kogenerační jednotky, pro zjednodušení výpočtu budou zisky uvažovány konstantní.(tab.3.14) Pro relevantnost návrhu jednotkové ceny za ušetřenou elektřinu byla použita cena za MWh, skládající se ze spotřeby elektřiny, ceny za systémové služby, ceny na podporu výkupu elektřiny z OZE, ceny OTE za činnost zúčtování, stejně jako v kapitole 3.5.

Výkupní cena energie je stanovena na základě rozhodnutí ERÚ, ale nejedná se o trvalou částku. ERÚ vydává každoročně cenové rozhodnutí, v současnosti je však podpora výkupu nejistá. Na rozdíl od ceny elektřiny, která bude v budoucnosti spíše růst. Investice do kogeneračního systému by tedy měl být návratná i bez zahrnutí výkupu elektřiny distributorem-

Tabulka 3.14: Roční zisky z prodeje elektrické energie do sítě

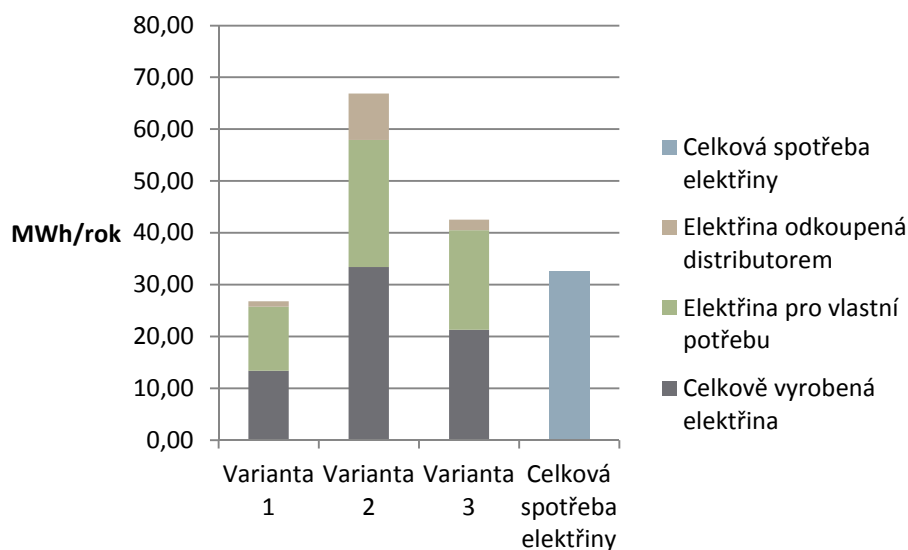
Cena elektřiny	4460 Kč/MWh
Výkupní cena (jednotarifní pásmo provozování) [36]	2 630,00 Kč/MWh
Zelený bonus (jednotarifní pásmo provozování) [36]	830 Kč/MWh

Tabulka 3.15 Elektrická energie vyrobená kogenerační jednotkou za rok [MWh/rok]

		Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Celkově vyrobená elektřina	MWh _e /rok	13,40	33,43	21,28
Elektřina pro vlastní potřebu		12,35	24,52	19,20
Elektřina odkoupená distributorem		1,05	8,91	2,08

V kapitole 3.3 bylo vypočteno, že celková roční spotřeba bude zhruba 32 MWe/rok, jak lze vidět v tabulce 3.13, jen o něco méně vytvoří kogenerační jednotka varianty 2. Tato energie je, ale produkována i v době, kdy objekt elektřinu neodebírání, nebo je jí nadbytek. V případě stabilního trhu by se tato varianta jevila nejvýhodněji, ale z hlediska nejistoty a vysokých pořizovacích

nákladů, by v případě snížení dotace státem a snížením výkupní ceny mohlo výrazně poklesnout cash flow (výpočet viz kapitola 3.8) a byla by ohrožena návratnost investice.



Obrázek 3.16: Balance vyrobené elektřiny a spotřeby elektřiny

3.8 Ekonomické hodnocení kogenerace

Aby bylo využití mikro-kogenerace posuzováno objektivně, bude posuzováno s konvenčním řešením, které představuje referenční varianta. Vzhledem k tomu, že je produkována pouze tepelná energie, nevyskytují se zde žádné výnosy. Celkové pořizovací náklady zdroje tepla jsou 283 906 Kč, podrobný výpočet je uveden v podkapitole 3.5.2. Celkové roční výdaje jsou tedy rovny cash flow a to -83 936 Kč.

Tabulka 3.16

	Referenční varianta
Pořizovací náklady	-283 906 Kč
Roční výdaje	
Provozní náklady	-48 443 Kč
Nákup paliva	-35 330 Kč
Roční cash flow	-83 773 Kč

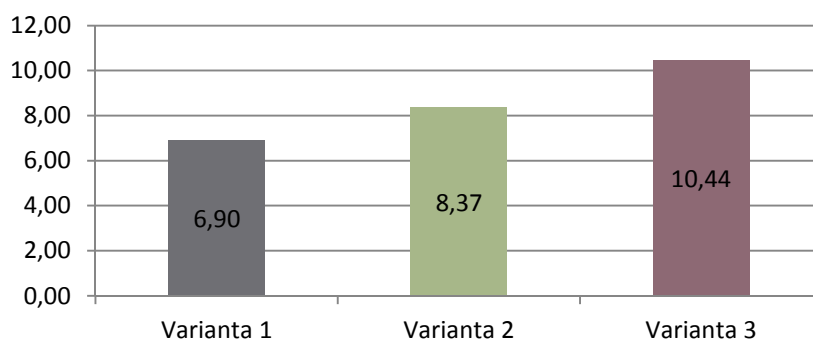
Celkové pořizovací náklady jsou uvedeny podrobně v podkapitole každé varianty. Investiční náklady představují rozdíl mezi pořizovacími náklady referenční varianty a pořizovacími náklady ostatních variant. Navýšení provozních nákladů je stanoveno pouze, jako odhad procentuálním nárůstem nákladů konvenční varianty, při použití kogenerační technologie. Navýšení nákladů na nákup paliva je dáno rozdílnou účinností, výpočet je znázorněn v kapitole 3.6. Jednotkové ceny příjmů jsou uvedeny v kapitole 3.7.

Tabulka 3.17: Ekonomická bilance a výpočet prosté doby návratnosti

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Celkové pořizovací náklady	-647 440 Kč	-1 581 985 Kč	-1 115 156 Kč
Investiční náklady	-363 534 Kč	-1 298 079 Kč	-831 250 Kč
Výdaje navýšení provozních nákladů	-2 422 Kč	-9 689 Kč	-2 422 Kč
navýšení nákladů na nákup paliva	-3 773 Kč	-5 388 Kč	-19 634 Kč
Příjmy			
Zelený bonus	26 408 Kč	65 861 Kč	41 917 Kč
Úspora za elektrickou energii	32 484 Kč	64 485 Kč	50 502 Kč
Elektřina prodaná do sítě	4 699 Kč	39 751 Kč	9 256 Kč
cash flow	52 696 Kč	155 020 Kč	79 619 Kč

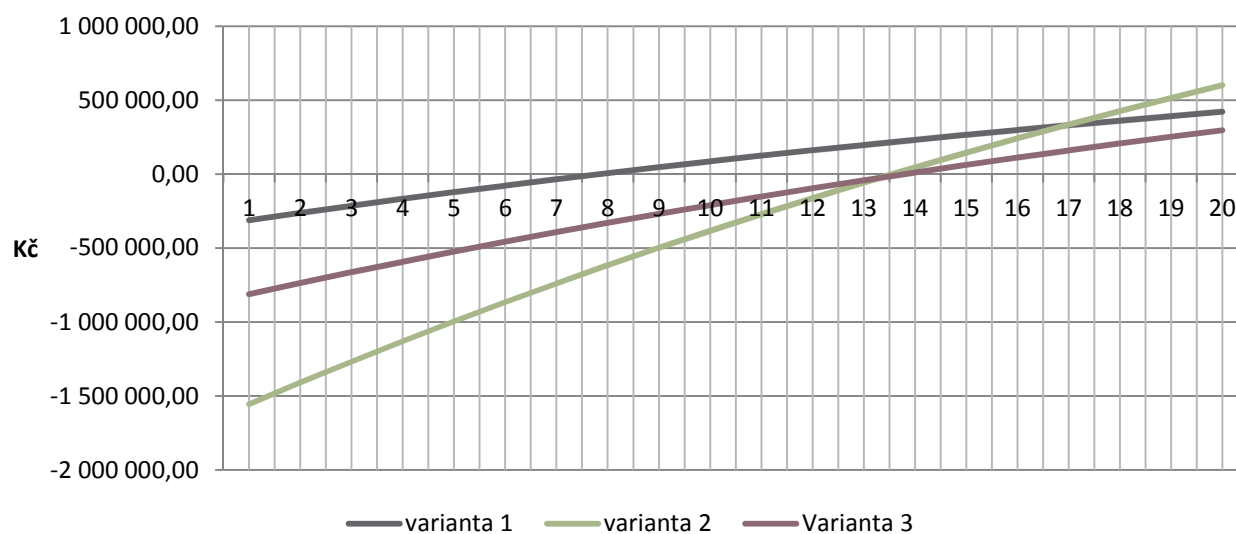
Prvním, výchozím způsobem hodnocení investice je výpočet prosté doby návratnosti. Pro všechny varianty je uvažovaná stejná životnost systému, a to 20 let při řádné údržbě, přestože je pro každou jednotku rozdílná. Prostřednictvím nákladů na provoz u jednotlivých variant a dle složitosti jejich systémů byly navýšeny provozní náklady, které rozdíly mírně stírají. Všechny

varianty na základě tohoto jednoduchého posouzení jsou smysluplné, neboť jejich doba návratnosti je nižší než životnost systému.



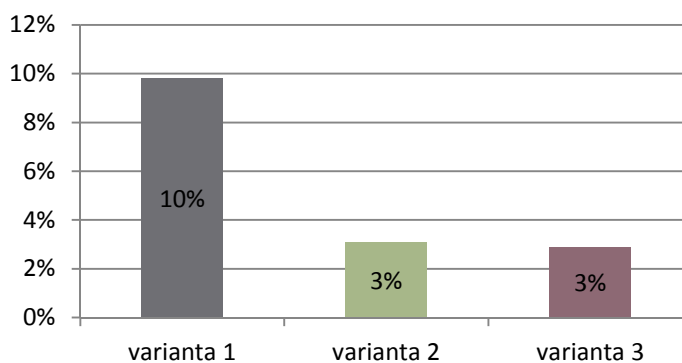
Obrázek 3.17: Zhodnocení investice dle prosté doby návratnosti

Přesnějším způsobem hodnocení investice je pomocí reálné doby návratnosti. V této metodě vyšly výrazně hůře varianty 2,3, jejichž návratnost činí 13,5 let., což je dáno vysokou hodnotou investice. Návratnost varianty 1 činí 8 let.



Obrázek 3.18: Reálná doba návratnosti

Dále byla zhodnocena investice pomocí vnitřního výnosového procenta, které nám říká, kolik procent na dané investici vyděláme, při zvažení časové hodnoty peněz. Z toho jednoznačně nejvýhodněji vyplívá varianta 1. (viz obr. 3.19).



Obrázek 3.19: IRR (vnitřní výnosové procento jednotlivých variant)

3.9 Výsledky analýzy

Nejen hodnocení ekonomických investic, provedené výše, poukazují na variantu 1, jako na nejvýhodnější, ale i ty technické a realizační hodnocení. Jednotka varianty 1 lion-Powerblock Pellet je dnes sériově distribuována [37], s tou výhodou, oproti variantě 2, že jejím výrobcem je německá společnost. V případě nutnosti autorizovaných oprav by tedy byly náklady nižší než u varianty 2. V části C tedy bude navržena, jako zdroj vytápění, varianta 1.

4 Skladové hospodářství objektu

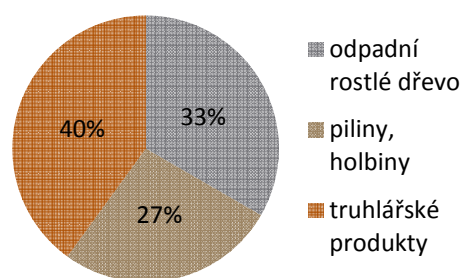
Při návrhu skladového hospodářství paliva lze obecně tvrdit, že by měla být co nejpřesněji stanovena potřeba paliva na topnou sezónu, neboť v průběhu sezóny jsou ceny paliva nejvyšší, prostor pro skladování by tedy měl pokrýt roční potřebu paliva v maximální možné míře. Avšak v případě skladování pilin a štěpky s vlhkostí nad 25%, je doporučená doba skladování pouze 2 měsíce, neboť hrozí jejich degradace, která může mít za následek snížení výhřevnosti a zvýšení zdravotního rizika vznikem spor a plísní. [38] Dále platí, že v případě skladování kusového dřeva, je nutné počítat s jeho vysycháním na požadovanou vlhkost 20 %, to trvá 18 až 24 měsíců, což by znamenalo naskladnit dřevo již dvě topné sezóny dopředu. [38]

Avšak vstupní materiálem místní truhlářské dílny jsou převážně vysušené dřevěné fošny o vlhkosti 14-16% z tvrdého dřeva, tudíž při vzniku odpadního kusového dřeva, není třeba uvažovat s předzásobením, stejně tak nehrozí degradace pilin.

V tabulce 4.1 můžeme nalézt souhrn produkce odpadu ve srovnání s celkovým nakoupeným množstvím řeziva. Zhruba 60% ze zpracovaného dřeva místním truhlářstvím vznikne odpad ve formě biomasy, a to ve formě pilin a odřezků neboli odpadního rostlého dřeva.

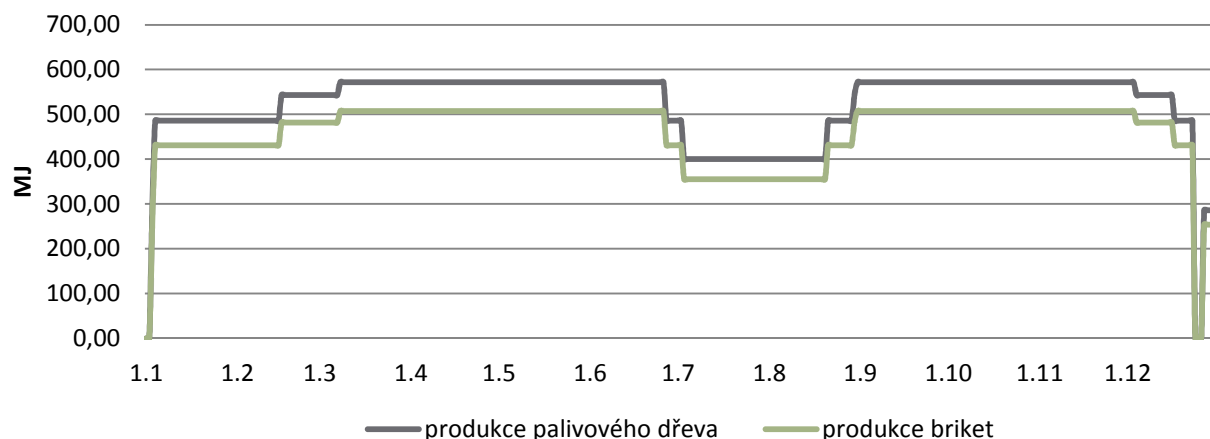
Tabulka 4.1: Srovnání mezi zpracovaným materiálem a dřevním odpadem

	t/měsíc	t/rok
Měsíčně zpracováno rostlého dřeva	5,0	60,0
Celkový odpad ve formě dřevní biomasy	3,0	36,0
Odpadní rostlé dřevo	1,7	20,0
Piliny, hobliny	1,3	16,0



Obrázek 4.1: Poměr využití zpracovaného dřeva

Produkce dřevního odpadu byla stanovena na základě několikaletého sledování pracovního procesu v truhlářském sektoru. K poklesu truhlářské výroby a tudíž i poklesu tvorby dřevního odpadu dochází v období zimních svátků a letních prázdnin. Další znatelný pokles je v období prvním čtvrtletí (viz obr. 4.2).



Obrázek 4.2: Intenzita roční produkce dřevního odpadu

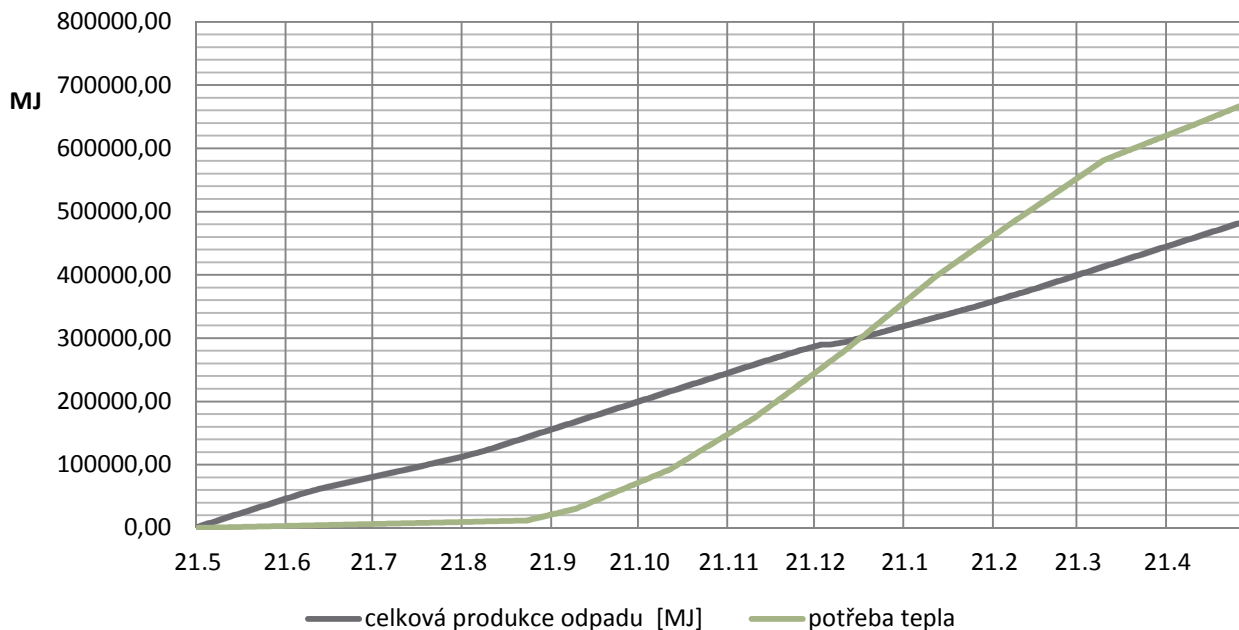
V následující tabulce je uvedena bilance energií uložené ve zdroji a energie vztažena na účinnost a výhřevnost.

Tabulka 4.2: Tepelná energie uložená v palivu

	Výhřevnost	Energie na vstupu	Tepelná energie, η_t 87%
	GJ/t	GJ/rok	GJ/rok
rostlé dřevo	15,0	299,78	260,81
pelety	16,5	263,82	229,52
celkem		563,60	490,33

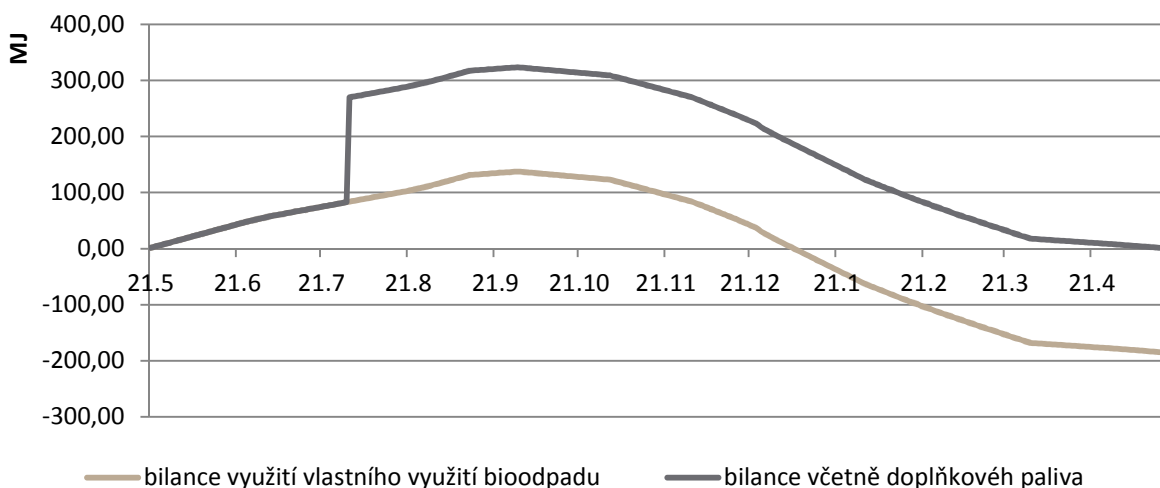
V následujícím grafu je znázorněna celková roční bilance potřeby tepla a výroby dřevního odpadu využitelného pro vytápění. Na základě výhřevnosti je sestavena celková produkce odpadu s přihlédnutím k účinnosti jednotlivých zdrojů tepla. Obecně platí, že účinnost spalování pelet k tomu určeným kotlem je vyšší, než v případě spalování palivového dřeva, ale uvažujeme průměrnou účinnost a to 87%.

Potřeba tepla v průběhu roku byla vypočtena pro jednotlivé měsíce v programu PROTECH spol. s.r.o., viz. Příloha B1 .



Obrázek 4.3: Bilance celkové produkce potřeby paliva od konce topné sezóny do konce následující sezóny

Z grafu výše (obr. 3.11) vyplývá, že produkce dřevního odpadu pokryje 74% procent potřeby tepla. Je tudíž třeba uvažovat s nákupem palivem a nejen s teplem z vlastní produkce.



Obrázek 4.4 Bilance produkce a potřeby tepla v topné sezóně

Mimo topnou sezónu, kdy dochází k spotřebě tepelné energie jen pro ohřev TV, je třeba uskladnit nashromážděné palivo. Celkově se jedná o 159 GJ tepelné energie na vstupu v peletách. Tepelná energie je z 53% ve formě pelet a z 47% ve formě kusového dřeva. Dále je třeba naskladnit nakoupené palivo pro pokrytí potřeby tepla zbytku sezóny, jak je zmíněno již

výše, aby byl nákup co nejvýhodnější, je třeba pořídit palivo mimo sezónu, tudíž v letních měsících.

Tabulka 4.3: Obecné charakteristiky biologických paliv

Palivo	Výhřevnost [MJ/kg]	hustota [kg/m ³]	Objemová hmotnost [kg/prm]
kusové dřevo w<20%, skládané	14-15	640	480
brikety w<10%	16-17	1000	600
pelety w<10%	16-18	1050	650

Dle tabulky 4.3 se jeví jako nejefektivnější varianta uskladnění paliva ve formě pelet. Ty mohou být uskladněny buď jednotlivě v pytlích, kdy je skladový prostor využitý maximálně do 60%, nebo hromadně ve vyspádaném skladu či ve velkoobjemovém vaku, v těchto případech je využitelnost pak 70%, resp. 45%. V první variantě je možno počítat s minimálními investicemi do úpravy skladovacích prostor, na rozdíl od dalších dvou variant. Ale je potřeba počítat s náročnější obsluhou.

Tabulka 4.4: Produkce paliva

Palivo		kusové dřevo w<20%, skládané	pelety
Výhřevnost [MJ/kg]	GJ/t	15	16,5
Vyrobená energie v palivu k uskladnění na začátku sezóny	GJ	89,6	
Vyprodukované palivo k naskladnění	%	90%	10%
	t	54	5
Nakoupené palivo	%	33%	67%
	t	4,04	7,45
Celkem potřeba naskladnit	prm	111,8	19,8

Kusové dřevo bude vyskládáno ve skladu 1.22 na 20 m². Pelety ve venkovním silu podél severní fasády blízkosti kotelny o minimálním objemu 20 m³ (viz část C, výkres C_1.1). Vzhledem k tomu, že objekt je ve svažitém terénu, postačí na dopravu pelet šnekový podavač a nebude nutné zřizovat hydraulické zařízení.

5 Závěr

Kogenerační technologie budou mít v budoucnosti, bezpochyby, daleko širší zastoupení ve vytápěcích systémech, a to zejména formou mikrokogenerace. Vzhledem k tomu, že poptávka mikrokogenerační jednotek není masová, což mimo jiné přispívá k vysokým cenám zařízení, je třeba narozdíl od konvenčních systémů provést důkladnou analýzu požadavků na dodávku tepla a elektřiny. To nemusí být vždy snadné, neboť je mnohdy těžké odhadnout, jakým způsobem bude objekt využíván. Avšak při dostatku vstupních dat lze navrhnout jednotku, která může provozovateli ušetřit značnou část prostředků.

6 Seznam použité literatury

1. **Masný, Petr, Jiří Drápela, Stanislav Mišák, Jan Macháček, Michal Ptáček, Lukáš Radil, Tomáš Bartošík a Tomáš Pavelka.** *Obnovitelné zdroje elektrické energie.* Praha : ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
2. **Zdeněk Pastorek, Jaroslav Kára, Petr Jevič.** *Biomasa - obnovitelný zdroj energie.* místo neznámé : FCC Public, 2004. 80-86534-06-5.
3. **Lenka Jílková, Karel Ciahotný, Radek Černý.** Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů. *Paliva* . 4, 2012.
4. <http://www.transformacni-technologie.cz/biomasa-jako-zdroj-energie.html>. [Online]
5. **Zdeněk Pastorek, Jaroslav Kára, Petr Jevič.** *Biomasa : obnovitelný zdroj energie.* Praha : FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
6. **Jan Motlík, Jaroslav Váňa.** <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-2-technologie>. *biom.cz*. [Online] 6. 2 2002.
7. *biom.cz*. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>. [Online] CZ Biom - České sdružení pro biomasu, 12. 7 2010. [Citace: 5. 11 2016.]
8. **Vobořil, David.** <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>. *oenergetice.cz*. [Online] 2016.
9. **Ing. Petr Trávníček, Ph.D. Doc. Ing. Ivan Vítázek, CSc. Ing. Tomáš Vítěz,.** *Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití.* Brno : Mendelova univerzita v Brně, 2015.

10. **Emil Dvorský, Pavla Hejtmánková.** *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie.* Praha : BEN - technická literatura, 2005. 80-7300-118-7.
11. **Majling, Eduard.** <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni/>. [Online] 2015.
12. <http://www.uceeb.cz/projekty/organicky-rankinuv-cyklus-orc>. *UCEEB*. [Online] [Citace: 29. 09 2016.]
13. https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17401. [Online]
14. <http://www.tscr.cz/schema/?ids=3&h=550&x=7542144>. [Online]
15. **Petr Trávníček, Zbyšek Karafiát.** <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>. [Online] 2009.
16. https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66319. [Online]
17. **Doc. Ing. Jaroslav Krbek, CSc., Doc. Ing. Bohumil Polesný, CSc.** *Kogenerační jednotky zřizování a provoz.* Praha : GAS s.r.o., 2007. ISBN 978-80-7328-151-9.
18. **prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c. a kolektiv.** *Studie stavu teplotenství.*
19. **Šejvl, Mgr. Radovan.** *Možnosti výroby elektrické energie z OZE.*
20. <http://www.enviweb.cz/clanek/bioplyny/101452/microsoft-pocitace-jedou-na-bioplyn>. [Online] 14. 12 2014.
21. **Bc. Karel Bělohlávek, DiS.** *Využití mikro-kogeneračních jednotek se Stirlingovým motorem pro KVET v rodinných domech.*

22. <http://www.reuters.com/article/europe-energy-microchp-idUSL5N11X0TI20151001>. [Online]
23. **Ledvina, Ing. Josef.** <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/mikrokogenerace-nastupuje-na-trh>. [Online]
24. **Näslund, Jan de Wit and Mikael.** <http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/MiniMicroCHP-ICCICongf2011.pdf>. [Online]
Danish Gas Technology Centre.
25. <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/svet/2015021102/novy-projekt-inteligentni-rizeni-energie-pomoci-fv-systemu-ktere-umozni-propojeni-vyroby-elektriny-a-tepla#.WFZ5I7LhC70>. [Online]
26. <http://www.heizungsfinder.de/bhkw/hersteller/otag-lion-powerblock>. [Online]
27. <https://www.renewableenergyhub.co.uk/micro-combined-heat-and-power-micro-chp-information/>. [Online]
28. **s.r.o., STIRLING ENERGY.** <http://www.stirlingenergy.cz/obsah/podpora-kvet>. [Online] 12 2016.
29. <http://www.opzp2007-2013.cz/sekce/369/prioritni-osa-3/>. [Online]
30. http://www.eccb.cz/fotos/_c_246uspory-elektriny-v-domacnosti.pdf. [Online]
31. <http://oze.tzb-info.cz/biomasa/6263-naklady-na-vytopeni-drevnimi-peletami>. [Online]
32. <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/43-prehled-cen-pelet>. [Online]
33. <http://www.powerblock.eu/>. [Online]

34. **PhDr. Jarmila Lehnerová, mluvčí ERÚ.** <http://www.cne.cz/fotovoltaiicke-systemy/caste-dotazy-fotovoltaiicka-zarizeni/>.
35. http://www.woodco-energy.com/uploads/pdf/59c90507c0f7f2e5dbf826220b5b5c7b_2d0bbd4273fc8806e88dc2cc1e9c6982382680d2.pdf. [Online]
36. <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/91-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>. [Online]
37. <https://www.bhkw-infothek.de/bhkw-anbieter-und-hersteller/nano-bhkw-übersicht/>. [Online] 1 2017.
38. **Valenty, kolektiv autorů pod vedením Vladimíra.** *Topenářská příručka 3*. Praha : Agentura ČSTZ s.r.o., 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.
39. Vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů. *Sbírka zákonů č. 477 / 2012*. 2012.
40. *Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy.* **Oldřich Mužík, Antonín Slejška.** místo neznámé : <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>, 2003.
41. **Beneš, Štěpán Ctibor.** <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-palivovych-clanku>. *biom.cz*. [Online] 2005.
42. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stirlinguv-motor-a-biomasa-presvedciva-kombinace>.
43. <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/8581-viessmann-uedl-na-trh-malou-kogeneraci-pro-bytove-a-vetsi-rodinne-domy>. [Online]

44. <http://www.lesstimber.cz/less-energy>. [Online]
45. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mikrokogenerace-a-trigenerace>. [Online]
46. <http://www.ceska-peleta.cz/pelety-a-brikety/vyroba-drevnich-pelet/>. [Online]
47. Ing. Petr Cankař, Atmos. <http://www.tzb-info.cz/2855-petr-cankar-hodne-lidi-si-dava-akumulacni-nadrze-s-kotlem-na-drevo-a-my-jim-to-doporucujeme>. 2005.
48. <http://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/kogenerace/mikrokogenerace-na-stirlingove-principu/vitotwin-300w.html>. [Online]
49. <http://www.lesstimber.cz/less-energy>. [Online]
50. <http://www.schody-zabradli-jelinek.cz/>. [Online]
51. <http://www.bhkw-prinz.de/sunmachine-pellet-bhkw-mit-stirlingmotor/141#Preis>. [Online]
52. ERÚ. http://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV_12_2016/058c6730-a61f-4606-a51b-e72ada54c052. [Online]
53. *v1.09 Operation Manual*. místo neznámé : All Power Labs.
54. <http://www.woodco-energy.com/product/e-compact-microchp/35.htm>. [Online]
55.
http://www.atmos.eu/paper/75/docs/Cenik%20pro%20kotle%20na%20drevo,%20uhli%20a%20brikety_1.1.-28.2.2017_CZ_01.pdf. [Online]
56. <http://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/kogenerace/mikrokogenerace-na-stirlingove-principu.html>. [Online]

57. <http://www.bhkw-prinz.de/sunmachine-pellet-bhkw-mit-stirlingmotor/141>. [Online] 11 2016.

7 Použité zkratky a označení

Symbol	Význam	jednotky
KVET	Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie	
KJ	Kogenerační jednotka	
P_E	Okamžitý elektrický výkon	
P_T	Okamžitý tepelný výkon, využitelný pro dodávku tepla	
$E_{\%}$	Procentní zastoupení vyrobené elektrická energie	
$Q_{uv\%}$	Procentní zastoupení využití tepelné energie na celkové výrobě	
η_E	Tepelná účinnost vyjadřující účinnost přeměny energie přivedené k palivu na elektrickou energii	
η_T	Tepelná účinnost vyjadřující účinnost přeměny energie přivedené k palivu na tepelnou	
Q_i	Energie v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva	
M_{pal}	Hmotnostní nebo objemový průtok paliva [j/kg,j/m ³]	
PEZ	Úspora primárního paliva (primární energetický zdroj)	
ORC	Organický rankinův cyklus	
ERÚ	Energetický regulační úřad	
Prm	Prostorový metr	
NT	Nízkoteplotní	
VT	Vysokoteplotní	
OTE	Operátor trhu s elektřinou	
OZE	Obnovitelné zdroje elektřiny	
TN_P	Prostá doba návratnosti	
NPV	Diskontovaná doba návratnosti	
IRR	Vnitřní výnosové procento	
TV	Teplá voda	
NT	Nízkoteplotní	
VT	Vysokoteplotní	
P_{max}	Maximální průměrný měsíční výkon	
P_k	Maximální výko kogenerační jednotky	

8 Seznam tabulek, obrázků a grafů

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Zpracování biomasy [4]	11
Tabulka 2.2 , Graf 2.1: Výhřevnost dřeva v závislosti na obsahu vody [5]	12
Tabulka 2.3: výkonové charakteristiky kogeneračních jednotek.....	18
Tabulka 2.4: Rozdělení kogeneračních technologií dle výkonu	26
Tabulka 2.5: Výkupní ceny a roční zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy	35
Tabulka 3.1: Vstupní údaje pro výpočet výtěžnosti jedné tuny paliva	43
Tabulka 3.2: Výtěžnost 1 tuny paliva, ve formě pelet	44
Tabulka 3.3: Roční náklady na údržbu (ceny uvedené bez DPH)	54
Tabulka 3.4: Lion Powerblock pellets – technické parametry (33).....	47
Tabulka 3.5: Základní technické údaje kogenerační jednotky Sunmachine Pellet (32).....	50
Tabulka 3.6: Technické vlastnosti KJ Sunmachine	52
Tabulka 3.7: Roční náklady na vytápění.....	54
Tabulka 3.8: Roční zisky z prodeje el. Energie do sítě.....	55
Tabulka 3.9 Elektrická energie vyrobená kogenerační jednotkou za rok [MWh/rok].....	55
Tabulka 3.11	60
Tabulka 3.12: Obecné charakteristiky biologických paliv	63
Tabulka 3.13: Produkce paliva	63

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Rozdělení biomasy.....	10
Obrázek 2.2: Proces zplyňování se sekundárním opatřením.....	13
Obrázek 2.3: Dřevěné Pelety [38]	15
Obrázek 2.4: Dřevěné brikety [41].....	15
Obrázek 2.5: Briketovací lis s automatickým plněním kotlů, zásobník [41]	15
Obrázek 2.6: Peletovací matrice [38].....	16
Obrázek 2.7: Oddělená výroba tepla a elektřiny	17
Obrázek 2.8: Kombinovaná výroba tepla a elektřiny.....	17
Obrázek 2.9: Princip palivového článku	20
Obrázek 2.10: Cyklus plynové kogenerace [12]	21
Obrázek 2.11: ORC kogenerační jednotka [13].....	22
Obrázek 2.12: Cyklus plynové kogenerace [12].....	22
Obrázek 2.13: Paroplynová kogenerace [14].....	23
Obrázek 2.14 : Schéma kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem [10]	24
Obrázek 2.15: Schéma jednotky se spalovacím motorem a zplyňovacím generátorem (16)	25
Obrázek 2.16: Biomasa ke zpracování v kogenerační jednotce [40]	27
Obrázek 2.17: Kogenerační jednotka [40]	27
Obrázek 2.18: kogenerační jednotka VitoTwin.....	29
Obrázek 2.19: Řez mikrokogenerační jednotkou Pellematic Smart_e 0,6 společnosti Okofen ...	29

Obrázek 3.1: Vizualizace řešeného objektu (zprava: objekt 2 – truhlárna, objekt 1 - novostavba, objekt 3 – původní stodola)	38
Obrázek 3.2: Automatický kotel na pelety.....	46
Obrázek 3.3: lion-Poweblock pellets (49)	47
Obrázek 3.5: Jednotka Cogetherm (34)	50
Obrázek 3.3: Sunmachine (49).....	52

9 Seznam příloh

Příloha B1 potřeba tepelné energie

Příloha: Část C – projekt vytápění

Seznam výkresové dokumentace

- 1.1 Půdorys 1. NP
- 1.2 Půdorys +1.NP
- 1.3 Půdorys 2. NP
- 2.1 Rozvinuté schéma soustavy
- 3.1 Půdorys kotelny
- 3.2 Půdorys vodárny
- 3.3 Schéma zapojení zdroje tepla

Technická zpráva

Příloha C1: výpis konstrukcí

Příloha C2: výpočet tepelných ztrát

Příloha C3: návrh otopných těles

Příloha C4: dimenzování otopné soustavy