

Centrální zdroj tepla pro ZD a obec Krásná Hora

Central heat source for agricultural cooperatives and village Krásná Hora

Diplomová práce

Studijní program: Strojní inženýrství – obor Energetika

Vedoucí práce: Prof. Ing. František Hrdlička, CSc.

Bc. Matouš Bartoš



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní, Ústav energetiky

Technická 4, 166 07 Praha 6

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro: Bc. Matouš BARTOŠ

program: Strojní inženýrství

obor: Energetika

Název tématu: Centrální zdroj pro ZD a obec Krásná hora

Title: Central heat source for agricultural cooperatives and village
Krásná hora

Zásady pro vypracování:

Proveďte technickoekonomické porovnání variant využití odpadního tepla z bioplynové stanice Krásná Hora pro zásobování rozptýlených spotřebičů a bytových objektů.

Rozsah grafických prací: ---

Rozsah průvodní zprávy: ---

Seznam odborné literatury:

Hrdlička F. a kol. „Průmyslová energetika, skripta ČVUT, firemní podklady, podklady z bioplynové stanice KH

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. František Hrdlička, CSc.

Konzultant/i:

Datum zadání diplomové práce: 27. 10. 2016

Datum odevzdání diplomové práce: 11. 1. 2017

Neodevzdá-li student/ka bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student/ka řádně neomluvil/a nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student/ka zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Posluchač/ka bere na vědomí, že je povinen/povinna vypracovat bakalářskou nebo diplomovou práci samostatně bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské nebo diplomové práci.

Zadání diplomové práce převzal dne: 27. 10. 2016

Bartoš

student/ka

Kolovratník
doc. Ing. Michal Kolovratník, CSc.
vedoucí Ú 12115



Valášek
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
děkan fakulty

Anotační list

Jméno autora	Bc. Matouš BARTOŠ
Název BP/DP	Centrální zdroj tepla pro ZD a obec Krásná Hora
Anglický název:	Central heat source for agricultural cooperatives and village Krásná Hora
Akademický rok:	2016/2017
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky
Vedoucí BP/DP:	Prof. Ing. František Hrdlička CSc.
Konzultant:	
Bibliografické údaje:	Počet stran: 97
	Počet obrázků: 14
	Počet tabulek: 34
	Počet příloh: 3
Klíčová slova:	Odpadní teplo, ekonomická bilance, bioplynová stanice, roztroušená zástavba, centrální zásobování teplem
Keyword:	Waste heat, economically evaluation, biogas plant, countryside, central heat supply

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá praktickým využitím odpadního tepla z bioplynové stanice. Práce definuje typický dům pro současnou vesnickou zástavbu a kalkuluje jeho spotřeby. Dále navrhuje postupné zavádění systému centrálního zásobování teplem, které by zvýšilo procento využití tepla produkovaného bioplynovou stanicí a nutné úpravy, které je nezbytné v zemědělském družstvu kvůli novému systému realizovat. Navrženy jsou dvě varianty úprav. Obě varianty jsou v práci energeticky a ekonomicky vyhodnoceny.

Abstract:

This diploma thesis deals with practice application of utilization of biogas plant's waste heat. The thesis defines typical house for given area and calculates its consumptions. Furthermore it designs a central heating system that would increase the percentage of biogas plant's waste heat utilization, and points out necessary adjustments for the collective farm to adapt to a new energy system. This thesis designs two options. Both it is an evaluation of the energy and environmental aspects .

Bibliografická citace

BARTOŠ, Matouš. *Centrální zdroj tepla pro ZD a obec Krásná Hora*. Praha, 2017.

Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Prof. Ing. František Hrdlička CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Využití odpadního tepla z bioplynové stanice“ vypracoval samostatně s použitím podkladů, které jsou všechny uvedeny v příloženém seznamu zdrojů na konci diplomové práce.

V Praze, dne

Podpis:

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu Prof. Ing. František Hrdličkovi CSc. za věnovaný čas, odborné konzultace a rady. Děkuji také konzultantovi mé práce, energetikovi ZD Krásná Hora nad Vltavou, panu Ing. J. Švastalovi za čas strávený prohlídkami areálu a ochotné poskytnutí veškerých dostupných dat. Dále děkuji své rodině za podporu po celou dobu studia.

Obsah

1.	Úvod.....	13
2.	Teoretický základ.....	14
2.1.	Bioplynová stanice	14
2.1.1.	Definice	14
2.1.2.	Bioplyn	15
2.1.3.	Digestát.....	15
2.1.4.	Anaerobní digesce.....	16
☐	Hydrolýza	16
☐	Acidogeneze.....	16
☐	Acetogeneze	16
☐	Metanogeneze.....	16
2.1.5.	Stabilita procesu	17
2.1.6.	Fermentor.....	17
2.1.7.	Kogenerační jednotka bioplynové stanice.....	18
2.2.	Centrální zásobování teplem.....	20
2.2.1.	Teplovodní síť.....	20
2.2.2.	Předávací stanice.....	21
2.3.	Akumulace tepla	22
3.	Charakteristika řešené lokality	25
3.1.	Zeměpisná charakteristika	25
3.2.	Charakteristika energetické situace.....	25

Ústav energetiky

3.2.1.	Vytápění.....	25
3.2.2.	Elektrická energie	26
3.2.3.	Zdroje energie instalované v dané oblasti	26
3.3.	Meteorologická charakteristika řešené oblasti.....	26
4.	Charakteristika typického vesnického domu.....	28
4.1.	Rozměrová charakteristika typického vesnického domu.....	28
4.2.	Tepelně izolační vlastnosti typického vesnického domu.....	29
4.2.1.	Varianta A – cihlové stěny	29
4.2.2.	Varianta B – kamenné stěny.....	30
4.2.3.	Návrh zlepšení tepelně technický vlastností modelové budovy	31
4.3.	Tepelná ztráta typového domu.....	31
4.3.1.	Tepelná ztráta budovy - varianta A	31
4.3.2.	Tepelná ztráta budovy – varianta B	32
4.4.	Stanovení potřeb energie pro vytápění.....	32
4.5.	Potřeba tepla pro ohřev TV	33
4.6.	Zhodnocení potřeb tepla pro typický vesnický RD.....	34
5.	Zdroje a spotřebiče tepla v ZD Krásná Hora nad Vltavou	35
5.1.	Zdroje tepla v areálu ZD Krásná Hora nad Vltavou	35
5.1.1.	Bioplynová stanice Krásná Hora nad Vltavou	35
☐	Zapojení tepelných okruhů BPS Krásná Hora nad Vltavou	36
5.1.2.	Kotel na hnědé uhlí Carborobot	41

Ústav energetiky

5.2.	Spotřebiče tepla v ZD Krásná Hora nad Vltavou	42
5.2.1.	Současnost provozu spotřebičů tepla	42
6.	Návrh CZT pro roztroušenou zástavbu	45
6.1.	Navrhované úpravy energetického hospodářství ZD pro maximální využití tepla kogenerační jednotky.....	45
6.1.1.	Varianta I – KG jednotka dodává 400 kW tepla do ZD	46
6.1.2.	Varianta II – KG jednotka dodává 300 kW tepla do ZD	50
6.1.3.	Vytápění sálu	54
6.1.4.	Akumulace tepla.....	55
7.	Energetické vyhodnocení navrhovaných variant	56
7.1.	Teplu produkované ve stávajícím stavu	56
7.1.1.	Teplu produkované KG jednotkou BPS	56
7.1.2.	Teplu produkované kotlem Carborobot	56
7.2.	Množství energie dodané mimo ZD	56
7.2.1.	Energie dodaná mimo ZD ve variantě I.....	56
7.2.2.	Energie dodaná mimo ZD ve variantě II.....	58
7.3.	Změna spotřeby energie při realizaci jednotlivých variant.....	58
7.3.1.	Výpočet změny spotřebované energie ve variantě I.....	59
7.3.2.	Výpočet změny spotřebované energie ve variantě II.....	63
7.3.3.	Spotřeba paliva ve špičkovém zdroji.....	64
8.	Ekonomické vyhodnocení navržených variant.....	65
8.1.	Varianta I	67

Ústav energetiky

8.1.1.	Investiční náklady na realizaci dané varianty.....	67
8.1.2.	Výnosy z realizace dané varianty.....	68
8.1.3.	Změna provozních nákladů po realizaci dané varianty.....	69
8.1.4.	Vyhodnocení dané varianty.....	70
8.2.	Varianta II	71
8.2.1.	Investiční náklady na realizaci dané varianty.....	71
8.2.2.	Výnosy z realizace dané varianty.....	72
8.2.3.	Změna provozních nákladů po realizaci dané varianty.....	73
8.2.4.	Vyhodnocení dané varianty.....	74
8.3.	Výpočet optimální ceny tepla pro daný projekt.....	75
9.	Vyhodnocení optimálních úprav pro energetické hospodářství ZD.....	76
10.	Závěr	77
11.	Použitá literatura.....	79
	Seznam obrázků	81
	Seznam tabulek	82
12.	List zkratk.....	84
13.	Příloha č. 1 – Statistická charakteristika meteorologické situace v oblasti.....	86
14.	Příloha č.2 – Denní bilance potřeby tepla.....	87
15.	Příloha č. 3 – Ekonomické vyhodnocení projektu	96

1. Úvod

Technický pokrok života na Zemi v posledních desetiletích nabral obrovské tempo. Pro naprostou většinu lidských činností je nyní potřeba energie, především elektrická. Její spotřeba neustále roste, nejen díky technickému pokroku, ale i kvůli růstu počtu obyvatel naší planety. Do budoucna se počítá i s masivním rozvojem elektromobilů – díky kterému dojde k dalšímu výraznému navýšení potřeby elektrické energie.

K modernímu uvažování člověka neodmyslitelně patří i ekologie, která se v energetice projevuje jednak výrazným růstem podílu obnovitelných zdrojů na výrobě energií, dále pak snahou o efektivnější výrobu a hospodaření s energiemi. Jedním ze způsobů, jak efektivně produkovat energii je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. Elektrická energie má zajištěn odbyt vždy, ale co se týče tepla, je situace složitější. Ve městech je obvykle řešen centrálním zásobováním tepla pro například sídliště.

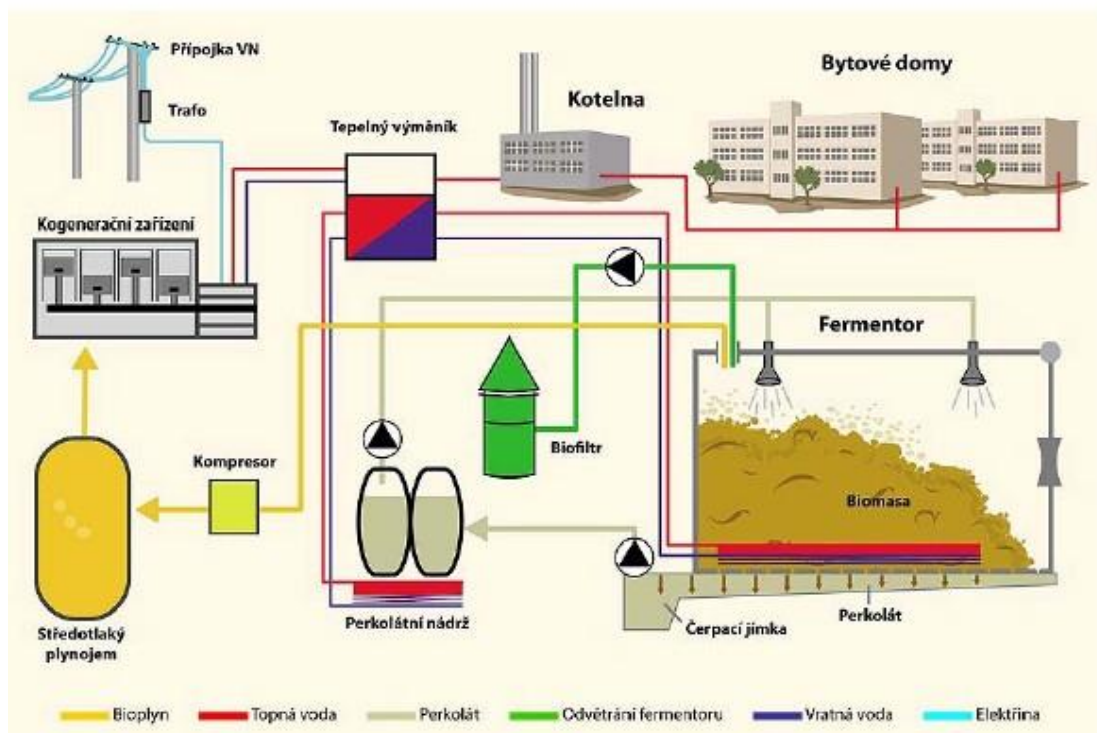
V ČR ale žije více než 11 % obyvatel v obcích o velikosti méně než 5 000 obyvatel. Tato práce se proto zabývá možnostmi, jak využít více tepla produkovaného v kogenerační jednotce bioplynové stanice. Práce navrhuje a ekonomicky hodnotí jednotlivé varianty, které mají sloužit k většímu využití odpadního tepla kogenerační stanice. Z důvodu výskytu vysokých špičkových odběrů tepla ZD, které provozuje BPS, je součástí práce návrh úprav zdrojů tepla v areálu ZD tak, aby bylo možné maximální využití tepelné energie produkované kogenerační jednotkou.

2. Teoretický základ

2.1. Bioplynová stanice

2.1.1. Definice

Podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 zní definice bioplynové stanice následovně: závod na výrobu bioplynu je závod, ve kterém se provádí biologické odbourávání produktů živočišného původu v anaerobních podmínkách za účelem výroby a shromažďování bioplynu. [6]



Obrázek 1 - schéma bioplynové stanice [7]

Bioplynová stanice je technologické zařízení, které přeměňuje vstupní materiály (materiály nebo odpady organického původu) pomocí řízeného procesu anaerobní digesce na bioplyn a digestát. Anaerobní digesce probíhá ve fermentoru. Bioplyn je spalován v kogenerační jednotce, která vyrábí elektrickou energii a jako vedlejší produkt dodává teplo.



Obrázek 2 – Bioplynová stanice Ožďany [8]

2.1.2. Bioplyn

Bioplyn je tvořen především metanem (50 – 75%) a oxidem uhličitým, dále se v závislosti na vstupních surovinách vyskytují další příměsi. Z hlediska spalování plynu v kogenerační jednotce je nutné hlídat především podíl sulfanu, sloučenin chloru, fluoru, koncentraci křemíku a relativní vlhkost paliva. Při spalování hrozí nebezpečí vzniku kyseliny sírové (ze sloučeniny síry), která rozpouští běžné kovy. Proto je bioplyn před kogenerační jednotkou dále upravován a čištěn. [9]

2.1.3. Digestát

Digestát je kapalný zbytek po fermentačním procesu, který vzniká anaerobní fermentací jako produkt výroby bioplynu v bioplynové stanici. Digestát je využíván jako kvalitní hnojivo pro další zemědělskou výrobu. [9]

2.1.4. Anaerobní digesce

Neboli anaerobní metanová fermentace je souborem více procesů, ve kterých heterogenní kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Produkty jsou v případě bioplynové stanice plyny (CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2 , H_2S) a kapalný zbytek – tzv. digestát (viz. kapitola 2.3). Metanizace je tedy souborem více dílčích procesů, které na sebe navazují a na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů. Produkt jedné skupiny je vstupním materiálem pro proces následující a tudíž problém v jednom z dílčích procesů může způsobit nefunkčnost celého děje. Hlavními stadii rozkladu jsou:

- **Hydrolýza**

V prvním stadiu – hydrolýze jsou rozkládány makromolekulární látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě.

- **Acidogeneze**

Produkty hydrolýzy jsou v druhé fázi dále rozkládány na jednodušší organické látky (Organické kyseliny, alkoholy, CO_2 , H_2).

- **Acetogeneze**

V této fázi probíhá oxidace látek vzniklých ve fázi acidogeneze na CO_2 , H_2 a kyselinu octovou.

- **Metanogeneze**

V této fázi dochází ke tvorbě metanu pomocí metanogenních mikroorganismů – Jejich substrátem jsou jednoduhlíkaté látky – metanol, kyselina mravenčí, methylaminy, CO_2 , CO , a kyselina octová.

2.1.5. Stabilita procesu

Stabilitu procesu anaerobní digesce ovlivňuje řada faktorů – především ty, které mají přímý vliv na životní prostředí mikroorganismů a také ty, které musí být brány v úvahu při samotném návrhu a posouzení reaktoru – tzv. fermentoru.

Nejdůležitějšími faktory, které ovlivňují životní prostředí mikroorganismů, jsou teplota, pH, nutrienty a toxické látky.

Z technologických faktorů je důležité dobré míchání substrátu, aby obsah reaktoru byl homogenní a doba zdržení v reaktoru. Ta musí být dostatečně dlouhá, aby bylo dosaženo dostatečné účinnosti rozkladu a nedocházelo ke zbytečnému vyplavování mikroorganismů z reaktoru. Doba zdržení se obvykle pohybuje mezi 20 a 40 dny. [9]

2.1.6. Fermentor

Fermentor pro bioplynové stanice může být dodán ve třech základních variantách:

1. Systém samostatných fermentorů
2. Systém fermentorů kruh v kruhu s integrovaným plynojemem
3. Systém fermentorů kruh v kruhu s externím plynojemem

Pro BPS je obvykle využíváno variant 2 nebo 3 z důvodu menší zastavěné plochy, menší tepelné ztráty a nižších nákladů na izolaci. Z důvodu nutnosti udržení konstantní teploty okolo 40 °C (viz. kapitola 2.1.5) je fermentor vždy vytápěn, zpravidla teplovodním systémem využívajícím teplo produkované kogenerační jednotkou BPS. Homogenizaci materiálu zajišťuje obvykle vertikálně umístěné míchadlo. [10]



Obrázek 3 - Fermentor bioplynové stanice [10]

2.1.7. Kogenerační jednotka bioplynové stanice

Pro BPS jsou obvykle jako kogenerační jednotky využívány pístové stroje, v dnešní době se využívají dvě koncepce:

- **Se zážehovým plynovým motorem (Ottův motor)**

Tyto motory spalují pouze bioplyn. Špičkově dosahují větší z těchto motorů elektrické účinnosti 37 – 42 %, s klesáním elektrického výkonu pak klesá i účinnost. Investičně jsou tyto motory zpravidla náročnější než vznětové co se týče pořizovací ceny, nicméně jejich nároky na údržbu jsou obvykle nižší. Moderní plynové motory mají od výrobců dlouhou záruční dobu - generální oprava motorů je prováděna po 60.000

hod. provozu (po více než 7 letech) a v průběhu životnosti KG se předpokládají až tři generální opravy.

- **Se vznětovým motorem (se vstřikem zapalovacího oleje)**

Tyto motory využívají kromě hlavního paliva (bioplynu) také palivo doplňkové. Tím je zpravidla kapalné fosilní palivo, případně rostlinný olej. Doplňkové palivo slouží k zapálení hlavního paliva a tedy ke spuštění celého procesu. Nejčastěji se používá motorová nafta nebo LTO, možné je ovšem i využití biopaliv (bionafta, rostlinné oleje). Spotřeba doplňkového paliva není zanedbatelná, dosahuje až 10 % celkového příkonu v palivu. Obvyklá účinnost těchto KG se pohybuje mezi 40 – 45 %. Účinnost těchto jednotek je také méně závislá na velikosti jednotky. Pořizovací náklady jsou zpravidla nižší, ovšem generální oprava je vyžadována již po 40 000 hodinách provozu. Vzhledem k využití fosilního paliva může být problém s vyhodnocením podílu energie vyrobené z obnovitelných zdrojů.



Obrázek 4 – Kogenerační jednotka BPS [10]

2.2. Centrální zásobování teplem

Centrální zásobování teplem je systém dodávky tepla pro koncového spotřebitele. Skládá se ze zdroje tepla, rozvodu média ke koncovému zákazníkovi a zpravidla výměníku, který zajišťuje předání tepla do místa spotřeby. Rozvod média bývá zpravidla zajištěn jedním ze tří možných vedení:

- Teplovod rozvádí upravenou vodu o teplotě do 110 °C.
- Horkovod rozvádí upravenou vodu o teplotě od 110 °C do 150 °C
- Parovod rozvádí mírně přehřátou páru o tlaku výrazně vyšším než 0,049 MPa

V rámci této práce je zdrojem tepla KG jednotka BPS, která dodává teplou vodu o maximální teplotě 96 °C. Relevantní je tedy teplovodní síť.

2.2.1. Teplovodní síť

Teplovodních sítí je několik typů. Primárně jsou teplovody rozlišovány podle způsobu jejich uložení na nadzemní a podzemní. V poslední době se upouští od nadzemních realizací z několika důvodů – mají vyšší tepelné ztráty a v neposlední řadě nezapadají do designových plánů měst a obcí. Naopak mají nejlepší servisní přístup. Podzemní teplovody jsou děleny na bezkanálové a kanálové. Vzhledem k vysokým investičním nákladům a horším tepelně izolačním vlastnostem jsou kanálové sítě budovány pouze v minimu případů. Oproti bezkanálovému řešení ale mají také výrazně lepší přístup, co se týče kontroly a servisu. V současnosti převládá výstavba podzemních bezkanálových teplovodních rozvodů, které mají optimální poměr ceny a tepelně izolačních vlastností, nevýhoda špatného přístupu k rozvodům je vyvážena nízkou poruchovostí systému.



Obrázek 5 – Příklad vedení teplovodní sítě (podzemní bezkanálový systém)

2.2.2. Předávací stanice

Obecně existuje pro předání tepla z rozvodu CZT do koncových objektů mnoho různých systémů. Pro řešení předávky tepla z teplovodního rozvodu koncovým spotřebitelům (rodinným domům) jsou reálné pouze dvě možnosti. První možností je řešení bez předávací stanice, kdy přímo médium teplovodu koluje v otopné soustavě RD a ohřívá zde i teplou vodu v zásobníku. Z důvodu výrazně lepší regulovatelnosti a také možné diference jednotlivých otopných systémů v RD je však prakticky výhradně realizován systém s předávací stanicí pro jednotlivé RD. Zde je předávací stanicí jednoduchý zpravidla deskový tepelný výměník, jehož součástí je i měření odebraného tepla. Příkladem předávací stanice jsou deskové výměníky od firmy Alfa Laval na obrázku č. 6.



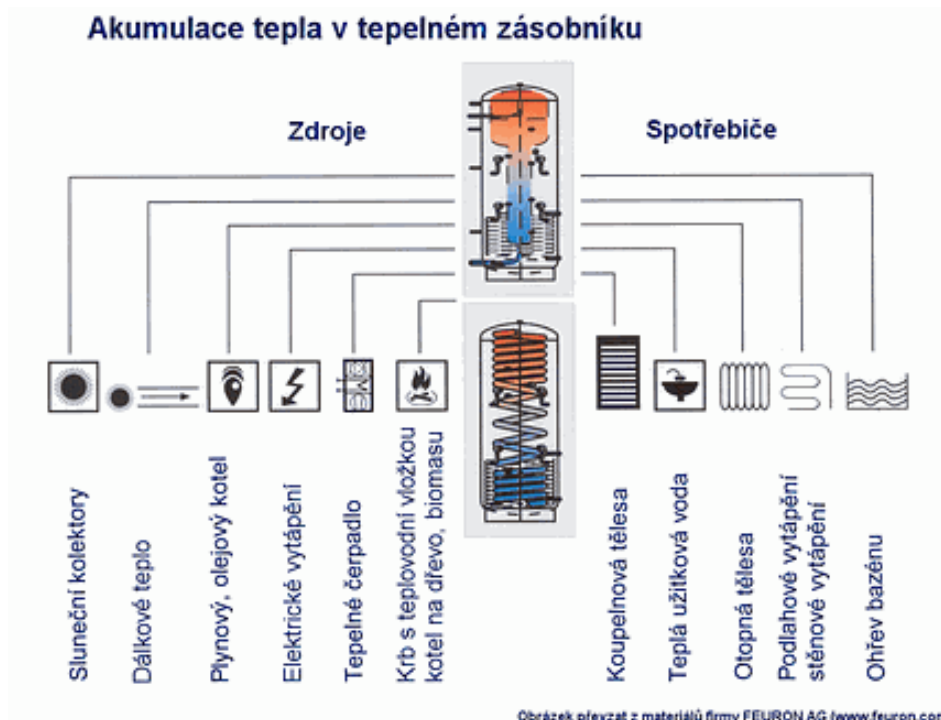
Obrázek 6 – Možná realizace předávacích stanic [11]

2.3. Akumulace tepla

Principem akumulace je přenos energie z doby relativního přebytku do doby relativního nedostatku.

Obecně existují dva způsoby akumulace tepla - do stavebních konstrukcí a do akumulčních prvků (nejčastěji voda). V rámci zpracovávané studie je relevantní pouze akumulace tepla do akumulčních prvků, protože je nutností akumulovat tepelné přebytky z BPS.

Dále se akumulace dělí na dlouhodobou (léto-zima) a krátkodobou (den-noc). Vzhledem k množství tepla uvažovaného k akumulaci je pro studii relevantní využití pouze krátkodobé akumulace.



Obrázek 7 – Schéma akumulace tepla v tepelném zásobníku [12]

Krátkodobá akumulace probíhá nejčastěji formou ukládání teplé vody do izolovaných akumulčních nádob o různých objemech. Dimenzování objemu nádrží závisí na množství energie, kterou je potřeba akumulovat a teplotním spádu využívaném na akumulovaném médiu – tedy množství energie, která je akumulována v jednotce objemu daného média. [12]

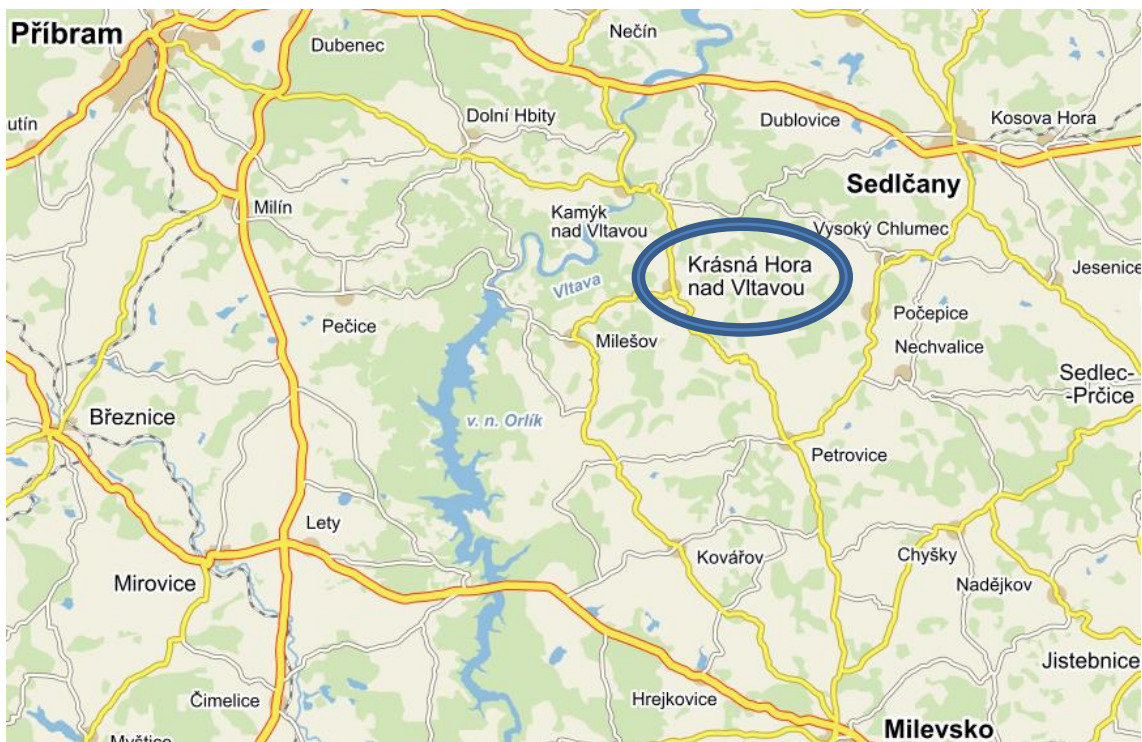


Obrázek 8 – Ukázka akumulace energie ve vodě v průmyslovém provozu

3. Charakteristika řešené lokality

3.1. Zeměpisná charakteristika

Projekt je řešen pro město Krásná Hora nad Vltavou. Toto město se nachází ve Středočeském kraji, přibližně ve středu pomyslného trojúhelníku mezi městy Příbram, Benešov a Milevsko. Krásná Hora nad Vltavou leží v nadmořské výšce přibližně 430 m.n.m. Počet obyvatel k 01.01.2011 byl 1 097. [3]



Obrázek 9 – Poloha Krásné Hory nad Vltavou [2]

3.2. Charakteristika energetické situace

3.2.1. Vytápění

Obec není plynofikována. Většina budov je tedy vytápěna tuhými palivy. Jedinou další alternativou je vytápění pomocí elektrické energie – energie s největšími nároky na primární zdroje energie. Ve městě není rozvod CZT. [3]

Ústav energetiky

3.2.2. Elektrická energie

Ve městě Krásná Hora nad Vltavou je zavedena elektrická energie.

3.2.3. Zdroje energie instalované v dané oblasti

V nejbližší okolí dané lokality se nachází několik fotovoltaických elektráren o celkovém instalovaném výkonu max. 50 kW. Jediným dalším zdrojem jsou bioplynové stanice. [4]

V zemědělském družstvu v Krásné Hoře nad Vltavou je v provozu bioplynová stanice.

V zemědělském družstvu v Petrovicích (asi 9 km) je v provozu bioplynová stanice. Patří stejnému zemědělskému družstvu, jako BPS v Krásné Hoře nad Vltavou.

V oblasti se nenachází žádný závod, který by produkoval teplo jako odpadní produkt (například mrazírny).

3.3. Meteorologická charakteristika řešené oblasti

Tato studie se zabývá využitím odpadního tepla BPS pro vytápění a přípravu teplé vody, kde je předpokládáno využití akumulace tepla. Proto je nutné statisticky sledovat vývoj počasí v průběhu nejchladnějšího měsíce v roce – ledna a dle těchto dat dimenzovat nádrže pro akumulaci tepla. Statisticky sledované období je posledních pět let – za roky 2011 až 2015. Pro dané údaje není volně dostupný zpracovaný dlouhodobý průměr pro jednotlivé dny. Byl proveden náhodný výběr jednoho roku z každého desetiletí od roku 1940 do roku 2010 – ve všech vybraných případech nebylo množství po sobě jdoucích chladných dní (viz dále) větší než ve statisticky zkoumaném období. Pro dimenzování akumulace bude použito množství tzv. chladných dnů následujících za sebou v daném měsíci. Chladný den je takový, kdy nejvyšší denní teplota nevystoupí přes 0 °C a nejnižší klesne pod -10 °C.

Statistické vyhodnocení je uvedeno v příloze č. 1. Nejvyšší množství po sobě následujících chladných dnů je 3. [13]

4. Charakteristika typického vesnického domu

Pro technicko - ekonomické posouzení aplikace chytrých sítí pro vesnickou zástavbu je nejprve nutné určit typické spotřeby energií pro vesnický dům. Aplikace chytrých sítí pro případ řešený v rámci této práce navrhuje změnu ve vytápění a případně přípravy TV. V kapitolách 4.1 až 4.5 je určena potřeba tepla na vytápění a přípravu TV.

4.1. Rozměrová charakteristika typického vesnického domu

Pro typovou definici typického vesnického domu byl vybrán konkrétní dům z řešené oblasti. Typový dům má obdélníkový půdorys o rozměrech 20 x 8 m. Dům je dvoupatrový, výška jednoho patra je 2,5 m. Střecha je šikmá se sklonem 35°. Jedná se o budovu z osmdesátých let 20. století. Budova je obývána celoročně, bez jakýchkoli pauz v provozu. Dvoupatrový dům (přízemí a první patro) není podsklepen. Podkroví není využíváno. Vnější fasáda není zateplena, ale je v dobrém stavu.



Obrázek 10 - typický vesnický dům

4.2. Tepelně izolační vlastnosti typického vesnického domu

Kalkulace uvažuje dvě možnosti. Ve variantě A je dům postaven z cihel, ve variantě B má dům kamenné stěny.

4.2.1. Varianta A – cihlové stěny

Základová konstrukce: je tvořena temovaným kamenivem o tloušťce 20 cm a prostými betonovými pasy.

Nosná konstrukce, neprůsvitný obvodový plášť: Obvodové zdivo je tvořeno plnými pálenými cihlami o tloušťce 40 cm bez dodatečného zateplení. Vnitřní i vnější omítky jsou vápenné o tloušťce 2 cm.

Ústav energetiky

Vodorovné konstrukce – podlahy: podlahy jsou těžké, neizolované. Pod betonem o tloušťce 5 cm se nachází vrstva temovaného kameniva o tloušťce 20 cm. Krycí vrstva podlah je tvořena převážně základními druhy nášlapných vrstev, kterými jsou PVC, a keramická dlažba.

Konstrukce stropu a střechy- stropy do podkroví jsou dřevěné, trámové ve složení omítka na rákos, dřevěný záklop, vzduchová mezera mezi nosnými trámy 30 cm, dřevěný záklop, násyp, půdovky případně cementová mazanina. Izolace skelnou vatou o tloušťce vrstvy 100 mm.

Vnitřní povrchy konstrukcí jsou vápenné štukové s malbou vápnem většinou v bílé barvě. V prostorech sociálních zařízení je proveden obklad glasovanými obkladačkami do výše 180 cm.

Výplňové konstrukce – Okna jsou původní, dřevěná, zdvojená. Dveřní konstrukce jsou původní, dřevěné.

4.2.2. Varianta B – kamenné stěny

Základová konstrukce: je tvořena temovaným kamenivem a prostými betonovými pasy.

Nosná konstrukce, neprůsvitný obvodový plášť: Obvodové zdivo je tvořeno z kamene. Tloušťka stěny je 60 cm. Vnitřní i vnější omítky jsou vápenné.

Vodorovné konstrukce – podlahy: podlahy jsou těžké, neizolované. Pod betonem o tloušťce 5 cm se nachází vrstva temovaného kameniva o tloušťce 20cm. Krycí vrstva podlah je tvořena převážně základními druhy nášlapných vrstev, kterými jsou PVC, a keramická dlažba.

Konstrukce stropu a střechy- stropy do podkroví jsou dřevěné, trámové ve složení omítka na rákos, dřevěný záklop, vzduchová mezera mezi nosnými trámy 30 cm, dřevěný záklop, násyp, půdovky případně cementová mazanina.

Vnitřní povrchy konstrukcí jsou vápenné štukové s malbou vápnem většinou v bílé barvě. V prostorech sociálních zařízení je proveden obklad glasovanými obkladačkami do výše 180 cm.

Výplňové konstrukce – Okna jsou původní, dřevěná, zdvojená. Dveřní konstrukce jsou původní, dřevěné.

4.2.3. Návrh zlepšení tepelně technických vlastností modelové budovy

V případě realizace projektu chytré sítě v dané zástavbě by bylo vhodné uvažovat v rámci projektu využití tepla bioplynové stanice i o zateplení domů zapojených do projektu.

Pro typickou modelovou budovu byla navržena následující opatření:

- Zateplení obvodových stěn extrudovaným polystyrenem o tloušťce 160 mm
- Zateplení stropu minerální vatou o tloušťce 200 mm

4.3. Tepelná ztráta typového domu

Tepelná ztráta budov je vypočtena dle ČSN EN 12831. Výpočet tepelné ztráty budov je zpracován v programu TV firmy Protech s.r.o. Nový Bor.

4.3.1. Tepelná ztráta budovy - varianta A

V tabulce č. 1 je uvedena vypočtená tepelná ztráta budovy ve variantě A.

Tabulka 1 – Tepelná ztráta budovy- varianta A

Tepelná ztráta	Před zateplením	Po zateplení
Prostupem [W]	26 033	14 183
Výměnou vzduchu [W]	4 982	4 982
Celkem [W]	31 014	19 164

4.3.2. Tepelná ztráta budovy – varianta B

V tabulce č. 2 je uvedena vypočtená tepelná ztráta budovy ve variantě B.

Tabulka 2 – Tepelná ztráta budovy- varianta B

Tepelná ztráta	Před zateplením	Po zateplení
Prostupem [W]	26 133	14 469
Výměnou vzduchu [W]	4 982	4 982
Celkem [W]	31 115	19 450

4.4. Stanovení potřeb energie pro vytápění

Tepelná ztráta budovy je vypočtena dle ČSN EN 12831. Výpočet tepelné ztráty budovy je zpracován v programu TV firmy Protech s.r.o. Nový Bor. Tepelné ztráty budov ukazují tabulky č. 1 a 2. Potřeba tepla na vytápění je počítána s vnitřní výpočtovou teplotou 20 °C. Potřeba tepla na vytápění byla také vypočítána v programu TV. Potřebu tepla pro vytápění zvoleného typizovaného rodinného domu v nezateplené i zateplené podobě ukazuje tabulka č. 3.

Tabulka 3 – Potřeba tepla pro vytápění typizovaného RD

Varianta A – cihlový plášť	Před zateplením	Po zateplení
Potřeba tepla na vytápění [kWh]	59 272	36 625
Varianta B – kamenný plášť	Před zateplením	Po zateplení
Potřeba tepla na vytápění [kWh]	59 463	37 170

4.5. Roční potřeba tepla pro ohřev TV

Spotřeba tepla pro ohřev TV je vypočtena dle ČSN EN 15316-3-1. Je uvažováno s obyváním RD čtyřmi stálými obyvateli. Obyvatel je brán jako měrná jednotka. Je počítáno se specifickou potřebou teplé vody 40 l/měrná jednotka.den.

$$V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} \cdot f}{1000} = \frac{40 \cdot 4}{1000} = 0,16 \text{ m}^3$$

TV je ohřívána na teplotu 55 °C. Průměrná teplota studené vody k ohřevu je 10 °C, účinnost ohřevu je 95 %, hustota vody 1 000 kg/m³ a měrná tepelná kapacita vody 4 180 J/kg.K.

$$Q_{rok} = \frac{V_{H2O} \cdot \rho_{H2O} \cdot C_{P_{H2O}} \cdot (t_2 - t_1)}{\eta_{ohřev}} = \frac{0,16 \cdot 1000 \cdot 4,180 \cdot 45 \cdot 365}{0,95}$$

$$= 11\,563\,200 \text{ kJ} == \mathbf{3,212 \text{ MWh}}$$

Roční potřeba tepla pro přípravu TV je **3,212 MWh**.

Vzhledem ke zkušenostem s obvyklými aplikacemi je uvažován výkon zařízení pro přípravu teplé vody 3 kW. Tento výkon je nutné započítat do celkového potřebného výkonu pro zásobování RD teplem při napojení na CZT. Celkový potřebný výkon je vidět v tabulce č. 4.

Tabulka 4 – Celková potřeba tepelného výkonu pro typický RD

	Vytápění	TV	Celkem
Dům po zateplení [kW]	20	3	23
Dům bez zateplení [kW]	32	3	35

4.6. Zhodnocení potřeb tepla pro typický vesnický RD

Potřeba tepla pro vytápění je srovnatelná pro RD ve variantě A i B před i po zateplení. **Proto bude dále počítáno pouze s variantou A – RD s pláštěm z cihel.** Potřeba tepla pro přípravu TV je pro obě varianty stejná.

5. Zdroje a spotřebiče tepla v ZD Krásná Hora nad Vltavou

5.1. Zdroje tepla v areálu ZD Krásná Hora nad Vltavou

Hlavním zdrojem tepla pro areál ZD je kogenerační jednotka BPS. V případě spotřeby tepla převyšující výrobu BPS se používá ještě teplovodní kotel na hnědé uhlí.

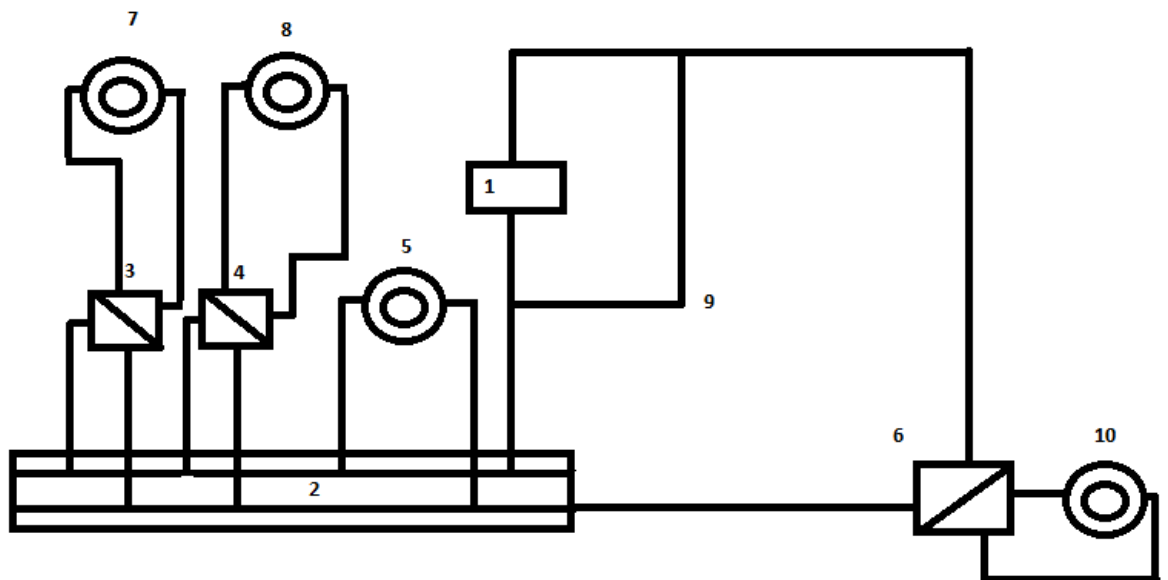
5.1.1. Bioplynová stanice Krásná Hora nad Vltavou

Instalovaná BPS je od firmy FARMTEC a.s. Vstupními surovinami jsou kejda skotu, kukuřičná siláž, senáž a obilný šrot. BPS byla uvedena do provozu v roce 2008, provozovatelem je ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. BPS je osazena kogenerační jednotkou Jenbacher, technické parametry uvádí tabulka č. 1.

Tabulka 5 - Technické parametry kogenerační jednotky Jenbacher

Elektrický výkon	549	kW
Celkový tepelný výkon	580	kW
Z toho na ohřev fermentoru	80 - 150	kW
Zbytkové teplo	410	kW
Teplota vody zbytkového tepla	82-96	°C
Maximální předpokládaná odstávka	3	Dny
V provozu od	2008	-
Zásobník bioplynu	400	Nm ³

- Zapojení tepelných okruhů BPS Krásná Hora nad Vltavou



Obrázek 11 – Schéma zapojení kogenerační jednotky do tepelného hospodářství ZD

- 1 – Kogenerační jednotka
- 2 – Rozdělovač
- 3 – Trubkový výměník
- 4 – Deskový výměník
- 5 – Fermentor
- 6 – Deskový výměník
- 7 – Dojení
- 8 – Ostatní topení (vytápění areálu, sušky....)
- 9 – Zpětná větev chladicí vody kogenerační jednotky
- 10 – Chlazení kogenerační jednotky.

Při startu kogenerační jednotky ze studeného stavu proudí chladicí voda zpětnou větví (9) a koluje tak jen v nejmenším chladicím okruhu z důvodu co nejrychlejšího zahřátí na provozní teplotu. Po zahřátí se uzavře ventil umožňující proudění vody přes větev č. 9 a chladicí voda odchází do rozdělovače (2). Z rozdělovače odchází voda vždy do fermentoru, kde zajišťuje teplo pro proces anaerobní fermentace. Dále může a nemusí odcházet do dvou dalších paralelně zapojených větví. První slouží pro zajištění tepla pro proces dojení (7). Druhá vede do konvenční kotelny, kde může dodávat teplo pro ostatní procesy (sušení, vytápění areálu...). Z rozdělovače odchází voda do dalšího výměníku (6). Ten umožňuje v případě nedostatečného tepelného odběru na výše vyjmenovaných spotřebičích mařit teplo v chladičích (10) na střeše strojovny BPS.

- **Elektrická bilance BPS v současném stavu**

V BPS stanici není evidováno množství vyrobeného tepla, ale pouze teplo využitě. Proto je v tabulce č. 7 uvedena skutečná výroba elektrické energie a vypočtená doba využití nominálního elektrického výkon. Použitá data jsou z roku 2015.

V tabulce č. 6 je uvedena elektřina vyrobená BPS, která je spotřebována v rámci areálu. Vzhledem k možnosti využití elektrokotlů jako špičkových zdrojů je nutné ohlídat maximální možné využití 20% vyrobené elektrické energie. Pokud by došlo k jeho překročení, bude BPS automaticky spadat do skupiny s výrazně menší finanční podporou obnovitelných zdrojů.

Tabulka 6 – Množství vyrobené elektřiny spotřebované v rámci ZD

Skutečně [MWh]	VL spotřeba [MWh]	20 % z výroby	Ještě možno využít [MWh]
406,0	21,8	81,2	59,4
379,0	33,4	75,8	42,4
406,5	90,5	81,3	-34,2
390,0	99,0	78,0	-21
408,4	80,5	81,7	1,18
388,4	78,2	77,7	-0,52
405,5	103,5	81,1	-40,4
405,6	110,5	81,1	-39,48
383,0	100,0	76,6	-23,4
389,0	102,0	77,8	-24,2
394,5	43,7	78,9	35,2
403,6	24,5	80,7	56,22
4 759,5	940,7	951,9	11,2
Využito z výroby v areálu ZD [%]			18,65
Ještě možno využít el. [MWh]			64,3

Z tabulky č. 6 je vidět, že lze spotřebovat ještě 64,3 MWh elektrické energie ročně. Proto budou pro navrhované varianty uvažovány instalace špičkových elektrických kotlů, ale primárně bude uvažován provoz kotle na dřevní štěpku (který bude v areálu instalován bez ohledu na projekt CZT).

Tabulka 7 - Roční bilance výroby el. energie v BPS

Elektřina			
Měsíc	Teoreticky v. [MWh]	Skutečně v. [MWh]	Doba využití [hod]
Leden	408,5	406,0	739,5
Únor	368,9	379,0	690,3
Březen	408,5	406,5	740,4
Duben	395,3	390,0	710,4
Květen	408,5	408,4	743,9
Červen	395,3	388,4	707,5
Červenec	408,5	405,5	738,6
Srpen	408,5	405,6	738,8
Září	395,3	383,0	697,6
Říjen	408,5	389,0	745,0
Listopad	395,3	394,5	718,6
Prosinec	408,5	403,6	735,2
Celkem	4 822,4	4 743,2	8 639,7

Z doby využití nominálního elektrického výkonu je přes nominální tepelný výkon dopočteno teplo vyrobené v BPS – v tabulce č. 8. Dále tato tabulka ukazuje množství tepla, které bylo spotřebováno na udržení fermentačního procesu. Použitá data jsou z roku 2015.

Tabulka 8 – Teplo vyrobené BPS

Měsíc	Teoretická výroba tepla [GJ] z doby využití	Využito celkem [GJ]	Z toho vl.sp. [GJ]
Leden	1 544,1	1 292,0	865,0
Únor	1 441,4	1 148,0	325,0
Březen	1 546,0	1 180,0	350,0
Duben	1 483,3	935,0	311,0
Květen	1 553,3	863,0	207,0
Červen	1 477,2	761,0	232,0
Červenec	1 542,2	564,0	182,0
Srpen	1 542,6	764,0	225,0
Září	1 456,7	598,0	289,0
Říjen	1 479,5	1 255,0	396,0
Listopad	1 500,4	1 079,0	336,0
Prosinec	1 535,0	1 159,0	360,0
Celkem	18 107	10 914,7	4 078,0

Rok 2015 byl teplejší než je dlouhodobý normál – teplo z BPS, které bylo spotřebováno na krytí tepelné spotřeby procesů v ZD a na vytápění budov v ZD je přepočteno denostupňovou metodou na dlouhodobý normál. Není totiž možné rozdělit teplo spotřebované na vytápění a teplo spotřebované pro krytí procesů – bude tedy počítáno s nejhorší možnou variantou – tedy veškerá spotřeba tepla je přepočtena na dlouhodobý normál. Přepočet ukazuje tabulka č. 9.

Tabulka 9 – Přepoččet spotřeby tepla v areálu ZD na dlouhodobý normál

Měsíc	Teplo vyprodukované BPS [GJ]	Využito celkem [GJ]	Den-nostupně normál	De-nostupně 2015	Využito dle normálu [GJ]	Zbývá pro CZT [MWh]
Leden	1544,13	1292,00	616,30	535,20	1487,78	15,65
Únor	1441,44	1148,00	527,30	522,10	1159,43	78,34
Březen	1546,03	1180,00	446,70	433,30	1216,49	91,54
Duben	1483,28	935,00	292,60	293,00	933,72	152,65
Květen	1553,26	863,00	49,10	141,80	298,82	348,45
Červen	1477,19	761,00	0,00	0,00	761,00	198,94
Červenec	1542,23	564,00	0,00	0,00	564,00	271,73
Srpen	1542,61	764,00	0,00	0,00	764,00	216,28
Září	1456,66	598,00	18,50	106,80	103,59	375,85
Říjen	1479,48	1255,00	288,30	312,50	1157,81	89,35
Listopad	1500,39	1079,00	437,70	363,70	1298,54	56,07
Prosinec	1535,00	1159,00	560,00	425,50	1525,36	2,68
Celkem	18 101,7	11 598,0	3236,50	3133,90	11 977,55	1 701,11

5.1.2. Kotel na hnědé uhlí Carborobot

Kotel na hnědé uhlí je na hranici životnosti, navíc nesplňuje emisní limity vstupující v platnost v roce 2018. Proto je do budoucna počítáno s jeho nahrazením za kotel na dřevní štěpku, kterou si ZD produkuje z vlastních zdrojů ve velkém množství. Nahrazení tohoto zdroje je zahrnuto do navržených opatření v kapitole 6.1. Technické parametry kotle uvádí tabulka č. 10. Účinnost byla vyhodnocena kvalifikovaným odhadem.

Tabulka 10 – Technické parametry kotle Carborobot

Kotel Carborobot	
Tepelný výkon [kW]	290
Účinnost [-]	0,60
Teplovodní akumulční nádrž	ne

5.2. Spotřebiče tepla v ZD Krásná Hora nad Vltavou

Areál ZD má sám o sobě vysokou spotřebu tepla. Jedná se o teplo na vytápění objektů, teplo pro přípravu TV a teplo potřebné pro technologii – především dojení, sušky obilí a dalších materiálů. Část spotřeby tepla pokrývá BPS, zbytek pokrývají kotle na tuhá paliva – viz kapitola 5.1.

Seznam instalovaných spotřebičů tepla v areálu ZD Krásná Hora nad Vltavou je uveden v tabulce č. 11.

Tabulka 11 – Instalovaný výkon spotřebičů tepla v ZD Krásná Hora nad Vltavou

Spotřebič	Instalovaný výkon [kW]
Fermentor	150
Dojení	40
Suška pásová	500
Suška roštová	400
Suška obilí	500
Topení sál radiátory	100
Topení sál horkovzdušné	300
Topení dílny	300
Topení kanceláře	150
TUV ostatní	30
Celkem	2 470

5.2.1. Současnost provozu spotřebičů tepla

Protože všechny tepelné spotřebiče nepracují kontinuálně po celý rok, je nutné sestavit křivku potřeby výkonu v daném časovém úseku roku. Ze zadaných dat není možné zjistit přesnou potřebu výkonu pro každý den v roce, proto došlo po konzultaci s vedoucím práce k rozdělení roku do třech období: letní, zimní a přechodné.

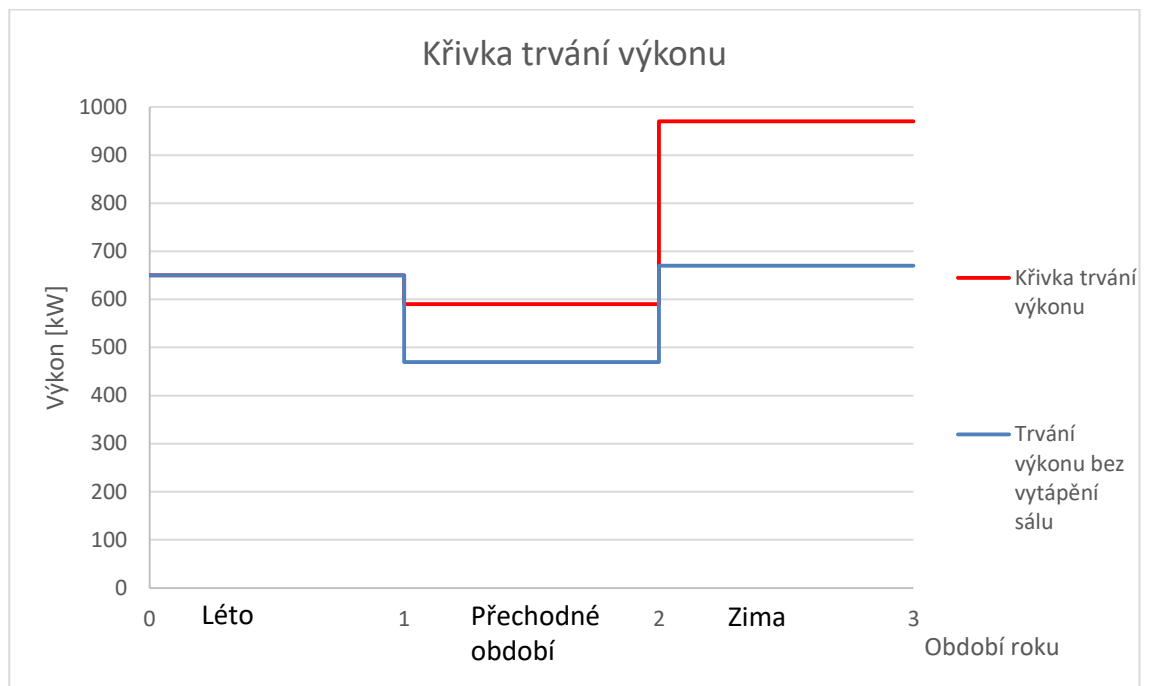
Po celý rok je konstantní pouze spotřeba TUV pro technologii dojení a spotřeba TUV pro kuchyni a sanitární zařízení.

Ústav energetiky

Pro vytápění fermentoru je dle měření v zimě potřeba maximální instalovaný výkon 150 kW, v přechodném období 120 kW a v létě 80 kW.

Pro instalované sušky platí omezení, že vždy pracuje pouze jedna z nich, navíc z měření je dáno, že v zimě nejsou v provozu vůbec, v přechodném období může běžet pouze roštová suška s omezením na maximální příkon 100 kW a v letním období může pracovat jen jedna – sušky si tedy v letním období nárokují zdroj o výkonu 500 kW.

Pro vytápění je počítáno se stoprocentním výkonem v zimě, čtyřicetiprocentním výkonem v přechodném období a nulovým výkonem v létě. Navíc vytápění sálu je řešeno dvěma systémy – radiátory a horkovzdušně. Toto vytápění nikdy nepracuje současně. Tepelný zdroj je nutné dimenzovat na větší variantu odběru, tedy na topení horkovzdušné. Instalované výkony jednotlivých otopných soustav jsou uvedeny v tabulce č. 1. Protože sál je používán jen pro jednorázové akce a je vytápěn pouze několikrát ročně, je jednou z možných variant uvažovat o jeho vytápění mimo centrální systém a proto obrázek č. 11 ukazuje křivku trvání maximálního výkonu v jednotlivých obdobích roku s a bez vytápění sálu.



Obrázek 12 – Křivka trvání tepelného výkonu v typizovaných obdobích

6. Návrh CZT pro roztroušenou zástavbu

Specifika aplikace CZT pro roztroušenou zástavbu spočívají v několika problémech, které vyplývají z výrazně nižší hustoty osídlení. Například v případě využití kogenerační jednotky je nutný rozvod tepla na větší vzdálenosti, čímž rostou ztráty a kladný efekt kogenerace se snižuje. Dalším problémem může být nepřítomnost některých sítí, například zemního plynu. Na venkově se také více projevují sezónní trendy ve spotřebách energií.

6.1. Navrhované úpravy energetického hospodářství ZD pro maximální využití tepla kogenerační jednotky

Vzhledem ke značné proměnlivosti jednotlivých roků v zemědělské výrobě (ať už co se týče výnosů na hektar nebo současnosti sklizní a sušení jednotlivých produktů) nemá smysl konstruovat denní nebo sezónní diagram potřeby tepla, ale je nutné nadimenzovat zdroje tepla na nejvyšší možný tepelný odběr.

Dalším důvodem pro úpravy současných zdrojů tepla je, že nyní instalovaný kotel spalující hnědé uhlí nesplňuje nastupující emisní limity, a je tedy nutné řešit jeho výměnu.

Z provozních zkušeností energetika zemědělského družstva je známo, že nyní je využito maximálně 62 % tepla z kogenerační jednotky ročně. Proto budou porovnány dvě varianty úprav energetických zdrojů v zemědělském družstvu tak, aby tepelný výkon kogenerační jednotky využívaly především kontinuální potřeby tepla – z technologie je to vyhřívání fermentoru, teplo pro dojení a v zimě vytápění provozních objektů. Tato spotřeba bude doplněna o napojení na CZT pro vytápění a přípravu TV pro obytné objekty v řešené oblasti. Spotřebiče tepla, které jsou v provozu pouze nárazově (sušky obilí a vytápění sálu) budou v případě potřeby zásobovány nově instalovanými zdroji tepla. Vytápění sálu, které je většinu roku mimo provoz a používá se jen nárazově několikrát do roka, bude řešeno mimo

Ústav energetiky

teplovodní rozvody pomocí elektrických infrazářičů. Vytápění sálu je navrženo v kapitole 6.1.3.

6.1.1. Varianta I – KG jednotka dodává 400 kW tepla do ZD

Ve variantě I budou provedeny úpravy tak, aby kogenerační jednotka pokryla spotřebu tepla ZD ve výši 400 kW – tedy aby pro CZT byl k dispozici trvale výkon 160 kW.

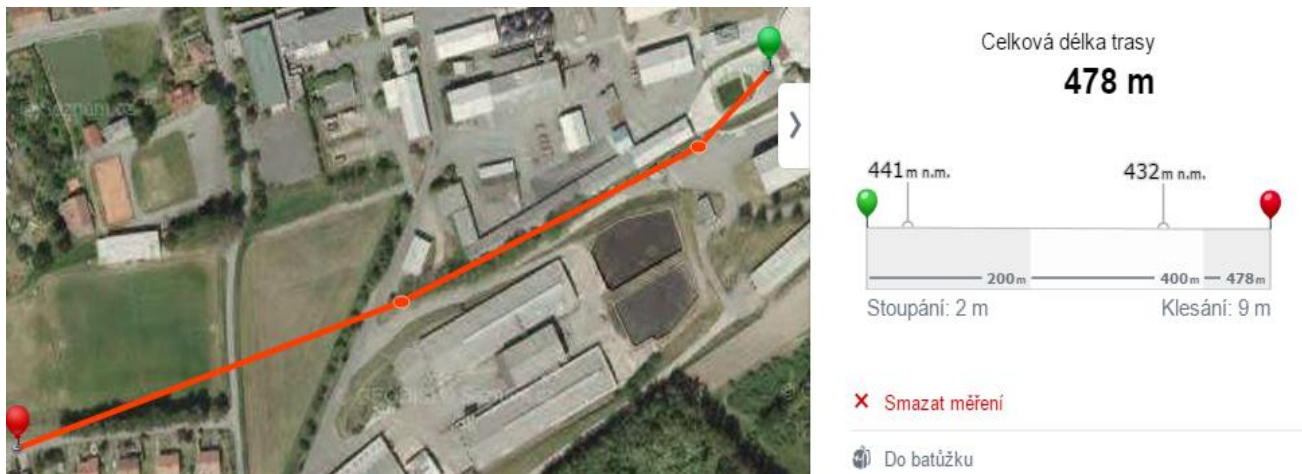
Maximální využívaný tepelný výkon a potřeby jeho doplnění záložním zdrojem před upřesněním odběru pro CZT ukazuje tabulka č. 12:

Tabulka 12 – Dimenzace přidavného zdroje pro variantu I

	KG stanice rezervováno pro ZD	Potřeba z dalšího zdroje
Zima [kW]	400	270
Přechodné o. [kW]	400	70
Léto [kW]	400	250

Pro zásobování CZT je tedy k dispozici výkon 160 kW. Množství domů, které je možno s využitím tohoto výkonu vytápět je nutné dimenzovat na výkon nutný pro jejich vytápění v zimě – tedy období, kdy je potřebný výkon nejvyšší. Naopak výkon, který v ostatních obdobích nebude potřebný pro vytápění domu lze využívat v ZD pro krytí potřeby nárazově provozovaných spotřebičů.

V rámci rozvodu tepla mimo areál ZD je uvažována ztráta 2 % na 100 m horkovodního vedení. Orientační vedení nového horkovodu je znázorněno na obrázku č. 13.



Obrázek 13 – Orientační vedení nového horkovodu

Přibližná délka nového horkovodního vedení je tedy 480 m. Vzhledem k výstupnímu tepelnému výkonu 160 kW z kogenerační stanice a uvažované ztrátě je koncový výkon v místě distribuce do jednotlivých RD 144,64 kW. Vzhledem k celkové potřebě tepelného výkonu pro typický vesnický dům (viz. kapitola 4.) je v této variantě možné na CZT možno připojit **4 domy**, které nebyly zatepleny, anebo **6 domů**, které zateplené byly. Vzhledem k použití typizovaného případu domu s relativně vysokou tepelnou ztrátou je možné, že v případě realizace CZT se bude množství napojených domů lišit. K dispozici však bude stejný výkon vstupující do CZT a tudíž celková tepelná ztráta domů sečtená s výkonem nutným pro ohřev TV nesmí překročit 144,64 kW. Množství domů v této práci slouží především pro přibližný odhad délky vedení CZT. V tabulce č. 13 je znázorněno množství výkonu, které odeberou RD ze svého rezervovaného výkonu 160 kW, kolik zbývá pro využití v ZD a kolik v případě maximálního odběru musí dodat špičkový zdroj.

Tabulka 13 – Požadavky na tepelný výkon v jednotlivých obdobích

		Celkový odběr ro- dinných domů	Zbývá pro ZD	Nutný výkon špič- kového zdroje
Zima	Dům po zateplení [kW]	152,7	7,3	262,7
	Dům bez zateplení [kW]	154,9	5,1	264,9
Přechod	Dům po zateplení [kW]	73,0	87,0	-17,0
	Dům bez zateplení [kW]	69,9	90,1	-20,1
Léto	Dům po zateplení [kW]	19,9	140,1	109,9
	Dům bez zateplení [kW]	13,3	146,7	123,3

Záporné hodnoty ve sloupci pro nutný výkon špičkového zdroje znamenají výkonovou rezervu.

- **Instalace nových zdrojů v případě realizace varianty I**

Nově navržený zdroj musí splňovat několik podmínek. První je pokrytí nejvyššího možného odběru tepla spotřebiči, jeho výkon tedy musí být alespoň 265 kW. Dále je nutné jeho bezproblémové a rychlé najetí v době, kdy budou spínat sušky obilí. Dále musí být regulovatelný velice dobře na výkon přibližně 120 kW – nejpravděpodobnější odběr v letním období.

V zimním období se na spotřebě tepla nejvíce podílí vytápění, které ale naprostou většinu času nebude vyžadovat maximální výkon. Tepelná ztráta, na kterou je dimenzován maximální výkon, je počítána pro venkovní teplotu -12 - -18 °C. Při 0 °C je ale tepelná ztráta domu zhruba jen 60% z té maximální. Proto bude i nejčastější požadovaný tepelný výkon topných soustav v zimním období ve výši 60 % maximálního požadovaného výkonu [5]. Také odběr do CZT pro RD bude nejčastěji pouze 60 % z maxima, zbytek bude možno využít pro vytápění v areálu ZD.

Ústav energetiky

Z těchto podmínek lze vypočítat, kolik tepla bude v nejobvyklejším režimu v zimním období dodávat špičkový kotel:

$$\begin{aligned}
 & 0,6 \cdot P_{topc} + 1 \cdot P_{fermentor} + 1 \cdot P_{dojení} \\
 & + 1 \cdot P_{TV} - P_{KG400} - 0,4 \cdot P_{CZT400KG} = \\
 & = 0,6 \cdot 450 + 1 \cdot 150 + 1 \cdot 40 + 1 \cdot 30 - 400 - 0,4 \cdot 160 = \mathbf{26 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

P_{topc} Celkový výkon vytápění v areálu ZD (bez vytápění sálu)

$P_{fermentor}$ Maximální výkon fermentoru

$P_{dojení}$ Maximální tepelný výkon pro dojení

P_{TV} Maximální výkon pro přípravu TV

P_{KG400} Výkon směřující z KG do ZD nastavený na 400 kW

$P_{CZT400KG}$ Výkon směřující do CZT při výkonu do ZD 400 kW

Nově koncipovaný zdroj by tedy měl být schopný při ideálních parametrech dodávat přibližně 30 kW tepelných.

Vzhledem k tomu, že obec Krásná Hora nad Vltavou není plynofikována a ZD má vlastní zdroj dřevní štěpky, spalují nově navržené zdroje dřevní štěpku. Špičkové kotle, které budou v provozu minimálně, jsou na elektrickou energii. Je to umožněno rezervou pod limitem vlastní spotřeby elektrické energie z BPS.

V ZD bude i bez realizace daných variant instalován kotel na dřevní štěpku o výkonu 200 kW. Pro realizaci varianty jedna by tedy bylo nutné instalovat ještě špičkový zdroj o výkonu 65 kW. Vzhledem k nejnižším investičním nákladům a možnosti využít elektrickou energii vyráběnou v KG jednotce, by bylo ideální instalovat špičkový elektrokotel. Nicméně na výrobu elektřiny v BPS je čerpána podpora ve formě zeleného bonusu – spotřeba elektřiny

Ústav energetiky

v místě je omezena na max. 20 % z celkového množství vyrobeného v BPS ročně (informace od provozovatele BPS, ověřeno na ERÚ). Dle bilance v kapitole 5.1.1 je v areálu ZD již nyní spotřebováváno asi 18,5 % elektrické energie vyrobené v BPS. Špičkový kotel proto bude navržen elektrický (výkon 80 kW), nicméně v případě nutnosti provozu dalších zdrojů bude primárně využíván zdroj na dřevní štěpku, který bude v areálu instalován bez ohledu na tento projekt jako záloha.

6.1.2. Varianta II – KG jednotka dodává 300 kW tepla do ZD

Ve variantě II budou provedeny úpravy tak, aby kogenerační jednotka pokryla spotřebu tepla ZD ve výši 300 kW – tedy aby pro CZT byl k dispozici trvale výkon 260 kW.

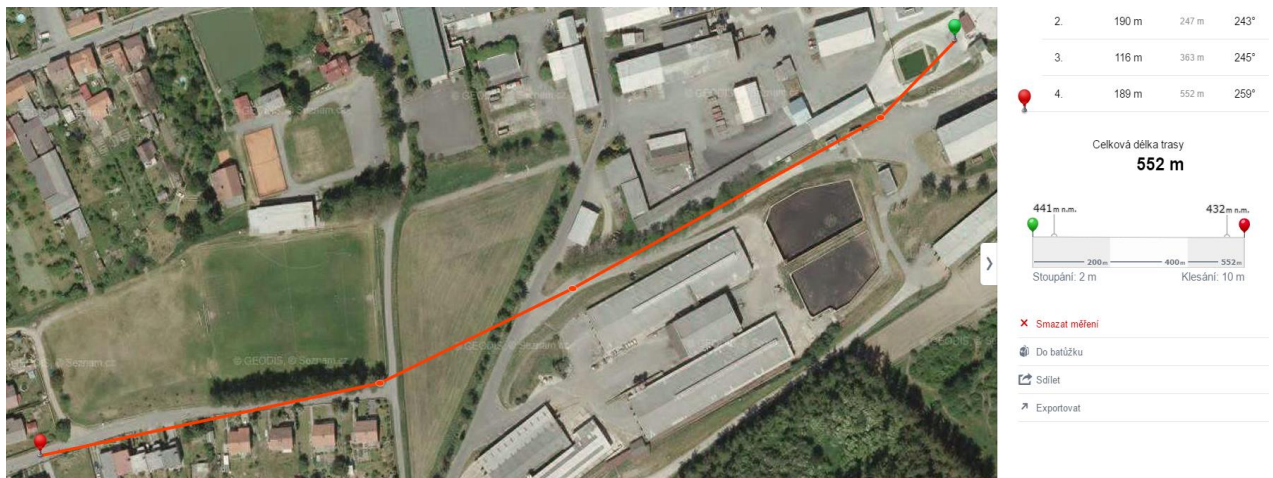
Maximální využívaný tepelný výkon a potřeby jeho doplnění záložním zdrojem ukazuje tabulka č. 14:

Tabulka 14 – Dimenzace přidavného zdroje pro variantu II

	KG stanice rezervováno pro ZD	Potřeba z dalšího zdroje
Zima [kW]	300	370
Přechodné o. [kW]	300	170
Léto [kW]	300	350

Pro zásobování CZT je tedy k dispozici výkon 260 kW. Množství domů, které je možno s využitím tohoto výkonu vytápět je nutné dimenzovat na výkon nutný pro jejich vytápění v zimě – tedy období, kdy je potřebný výkon nejvyšší. Naopak výkon, který v ostatních obdobích nebude potřebný pro vytápění domu lze využívat v ZD pro krytí potřeby nárazově provozovaných spotřebičů.

V rámci rozvodu tepla mimo areál ZD je uvažována ztráta 2 % na 100 m horkovodního vedení. Orientační vedení nového horkovodu je znázorněno na obrázku č. 14.



Obrázek 14 – Orientační vedení nového horkovodu

Přibližná délka nového horkovodního vedení je tedy 550 m. Vzhledem k výstupnímu tepelnému výkonu 260 kW z kogenerační stanice a uvažované ztrátě je koncový výkon v místě distribuce do jednotlivých RD 231,4 kW. Vzhledem k celkové potřebě tepelného výkonu pro typický vesnický dům (viz. kapitola 4) je v této variantě možné na CZT možno připojit **6 domů**, které nebyly zatepleny, anebo **10 domů**, které zateplené byly. Vzhledem k použití typizovaného případu domu s relativně vysokou tepelnou ztrátou je možné, že v případě realizace CZT se bude množství napojených domů lišit. K dispozici však bude stejný výkon vstupující do CZT a tudíž celková tepelná ztráta domů sečtená s výkonem nutným pro ohřev TV nesmí překročit 231,4 kW. Množství domů v této práci slouží především pro přibližný odhad délky vedení CZT. V tabulce č. 15 je znázorněno množství výkonu, které odeberou RD ze svého rezervovaného výkonu 260 kW, kolik zbývá pro využití v ZD a kolik v případě maximálního odběru musí dodat špičkový zdroj.

Tabulka 15 – Požadavky na tepelný výkon v jednotlivých obdobích

		Celkový odběr ro- dinných domů	Zbývá pro ZD	Nutný výkon špič- kového zdroje
Zima	Dům po zateplení [kW]	258,4	1,6	368,4
	Dům bez zateplení [kW]	236,0	24,0	346,0
Přechod	Dům po zateplení [kW]	123,6	136,4	33,6
	Dům bez zateplení [kW]	106,5	153,5	16,5
Léto	Dům po zateplení [kW]	33,7	226,3	123,7
	Dům bez zateplení [kW]	20,2	239,8	110,2

Záporné hodnoty ve sloupci pro nutný výkon špičkového zdroje znamenají výkonovou rezervu.

- **Instalace nových zdrojů v případě realizace varianty II**

Nově navržený zdroj musí splňovat několik podmínek. První je pokrytí nejvyššího možné odběru tepla spotřebiči, jeho výkon tedy musí být alespoň 369 kW. Dále je nutné jeho bezproblémové a rychlé najetí v době, kdy budou spínat sušky obilí. Dále musí být regulovatelný velice dobře na výkon přibližně 120 kW – nejpravděpodobnější odběr v letním období.

V zimním období se na spotřebě tepla nejvíce podílí vytápění, které ale naprostou většinu času nebude vyžadovat maximální výkon. Tepelná ztráta, na kterou je dimenzován maximální výkon, je počítána pro venkovní teplotu -12 - -18 °C. Při 0 °C je ale tepelná ztráta domu zhruba jen 60% z té maximální. Proto

Ústav energetiky

bude i nejčastější požadovaný tepelný výkon topných soustav v zimním období ve výši 60 % maximálního požadovaného výkonu [5]. Také odběr do CZT pro RD bude nejčastěji pouze 60 % z maxima, zbytek bude možno využít pro vytápění v areálu ZD. Z těchto podmínek vypočítat, kolik tepla bude v nejobvyklejším režimu v zimním období dodávat špičkový kotel:

$$0,6 \cdot P_{\text{topc}} + 1 \cdot P_{\text{fermentor}} + 1 \cdot P_{\text{dojení}} + 1 \cdot P_{\text{TV}} - P_{\text{KG400}} - 0,4 \cdot P_{\text{CZT400KG}} =$$

$$= 0,6 \cdot 450 + 1 \cdot 150 + 1 \cdot 40 + 1 \cdot 30 - 300 - 0,4 \cdot 260 = \mathbf{86 \text{ kW}}$$

P_{topc} Celkový výkon vytápění v areálu ZD (bez vytápění sálu)

$P_{\text{fermentor}}$ Maximální výkon fermentoru

$P_{\text{dojení}}$ Maximální tepelný výkon pro dojení

P_{TV} Maximální výkon pro přípravu TV

P_{KG400} Výkon směřující z KG do ZD nastavený na 400 kW

P_{CZT400KG} Výkon směřující do CZT při výkonu do ZD 400 kW

Nově koncipovaný zdroj by tedy měl být schopný při ideálních parametrech dodávat přibližně 100 kW tepelných.

Vzhledem k tomu, že obec Krásná Hora nad Vltavou není plynofikována a ZD má vlastní zdroj dřevní štěpky, spalují nově navržené zdroje dřevní štěpku.

V ZD bude i bez realizace výše navržených variant instalován kotel na dřevní štěpku o výkonu 200 kW. Pro realizaci varianty jedna by tedy bylo nutné instalovat ještě špičkový zdroj o výkonu 170 kW. Vzhledem k nejnižším investičním nákladům a možnosti využít elektrickou energii vyráběnou v KG jednotce, by bylo ideální instalovat špičkový elektrokotel. Nicméně na výrobu elektřiny v BPS je čerpána

Ústav energetiky

podpora ve formě zeleného bonusu – spotřeba elektřiny v místě je omezena na max. 20 % z celkového množství vyrobeného v BPS ročně (informace od provozovatele BPS, ověřeno na ERÚ). Dle bilance v kapitole 5.1.1 je v areálu ZD již nyní spotřebovááno asi 18,5 % elektrické energie vyrobené v BPS. Špičkový kotel proto bude navržen elektrický (výkon 180 kW), nicméně v případě nutnosti provozu dalších zdrojů bude primárně využíván zdroj na dřevní štěpku, který bude v areálu instalován bez ohledu na tento projekt jako záloha.

6.1.3. Vytápění sálu

Rozměry sálu jsou přibližně 30x12x4 m. Místnost se nachází ve starší kamenné stavbě. Režim využívání sálu je naprosto náhodný, slouží jako konferenční místnost. Dle historických zkušeností je využíván pouze několikrát ročně vždy na jeden den. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je zbytečné natápět horkovzdušně celý prostor jako dosud, kdy navíc velké množství energie spotřebovává natopení kamenných stěn. Proto je v rámci úprav navrženo vytápění pomocí elektrických infrazáříčů. Ty neohřívají vzduch a prostor jako takový, nýbrž pouze osoby a předměty v daném prostoru pod zářiči. Tudíž nedochází ke zbytečnému natápění stěn a pozdější ztrátě energie jejich opětovným chladnutím.

Daná aplikace je omezena výškou stropu řešeného sálu, protože zářiče mají své doporučené montážní výšky. Z dispozice dané místnosti vyplývá omezení výkonu jednoho zářiče na 2 – 3 kW. Na druhou stranu vzhledem k výše uvedeným skutečnostem postačuje instalovaný výkon zářičů v rozmezí 50 – 60 kW. Náklady na instalaci výše popsaného otopného systému jsou uvedeny v kapitole č. 8 – ekonomické vyhodnocení daných variant. Cenový odhad byl dodán společností 4heat s.r.o.

6.1.4. Akumulace tepla

Vzhledem k hlavnímu cíli projektu, kterým je maximalizace využití tepla produkovaného v BPS, je nutné navrhnout také akumulaci tepla, které zajistí skladování maximálního možného množství tepla v době, kdy je produkce tepla vyšší než jeho odběr. Tím bude také zajištěna menší nutnost využití špičkového zdroje v době, kdy bude odběr tepla vyšší než jeho produkce. Akumulace tepla je omezena místem pro nádrže teplé vody, která bude akumulována. Pro daný projekt je doporučeno využít maximální velikost akumulace, která se do stávajícího objektu kotelny vejde. Tím je objem akumulčních nádrží **omezen na velikost 150 m³**. V projektu je počítáno s akumulací právě této velikosti pro variantu č. 2, pro variantu č. 1 postačuje akumulace o velikosti 50 m³ – dle bilancí v příloze č.2.

7. Energetické vyhodnocení navrhovaných variant

7.1. Teplo produkované ve stávajícím stavu

Toto teplo je součtem tepelné produkce kogenerační jednotky BPS a kotle Carborobot, který spaluje černé uhlí. Produkce tepla BPS je v roce konstantní. Produkce tepla kotle je nárazová.

7.1.1. Teplo produkované KG jednotkou BPS

Tepelný výkon KG jednotky je uveden v kapitole 5.1.1. Roční doba využití a produkce kogenerační jednotky je uvedena v tabulce č. 16.

Tabulka 16 – Tepelná produkce KG jednotky

BPS	
Tepelný výkon [kW]	580
Roční doba využití [hod]	8 669,4
Roční produkce tepla [MWh]	5028,25

Roční bilance výroby tepla BPS je uvedena v kapitole 5.1.1.

7.1.2. Teplo produkované kotlem Carborobot

Dle informací od provozovatele areálu nebyl kotel od instalace KG jednotky v provozu.

7.2. Množství energie dodané mimo ZD

Energie dodaná mimo ZD je rovna součtu spotřeby domů připojených na rozvod CZT a ztrátě v rozvodu CZT. Energie pro vytápění domů je vypočítána dennostupňovou metodou a vychází z dlouhodobého normálu.

7.2.1. Energie dodaná mimo ZD ve variantě I

Z dimenzování dle potřebného výkonu vychází, že na CZT je napojeno 6 domů po zateplení anebo 4 nezateplené domy. Potřeba energie na vytápění a ohřev TV typického vesnického

Ústav energetiky

domu byla zjištěna v kapitole 4. Pro potřeby výpočtu maxima odebrané energie je v práci počítáno s maximální možnou krytou tepelnou ztrátou domů – 144,6 kW – tedy výkon 160 kW na vstupu do CZT. Shrnutí energie dodané CZT vidíme v tabulce č.17.

Tabulka 17 – Energie dodaná mimo ZD ve variantě I

Měsíc	Dennostupně (dlouhodobý normál):	CZT potřebuje varianta I [MWh]
Leden	616,3	54,5
Únor	527,3	46,7
Březen	446,7	39,5
Duben	292,6	25,9
Květen	49,1	4,4
Červen	0,0	0,1
Červenec	0,0	0,1
Srpen	0,0	0,1
Září	18,5	1,7
Říjen	288,3	25,5
Listopad	437,7	38,7
Prosinec	560,0	49,5
Suma	3 236,5	286,7

7.2.2. Energie dodaná mimo ZD ve variantě II

Z dimenzování dle potřebného výkonu vychází, že na CZT je napojeno 10 domů po zateplení anebo 6 nezateplených domů. Potřeba energie na vytápění a ohřev TV typického vesnického domu byla zjištěna v kapitole 4. Pro potřeby výpočtu maxima odebrané energie je v práci počítáno s maximální možnou krytou tepelnou ztrátou domů – 231,4 kW – tedy výkon 260 kW na vstupu do CZT. Shrnutí energie dodané CZT vidíme v tabulce č.18.

Tabulka 18 - Energie dodaná mimo ZD ve variantě II

Měsíc	Dennostupně (dlouhodobý normál):	CZT potřebuje varianta II [MWh]
Leden	616,3	88,7
Únor	527,3	76,0
Březen	446,7	64,4
Duben	292,6	42,3
Květen	49,1	7,3
Červen	0,0	0,3
Červenec	0,0	0,3
Srpen	0,0	0,3
Září	18,5	2,9
Říjen	288,3	41,7
Listopad	437,7	63,1
Prosinec	560,0	80,7
Suma	3 236,5	467,9

7.3. Změna spotřeby energie při realizaci jednotlivých variant

Energie spotřebovaná navíc není rovna energii dodané do CZT, protože dojde k vyššímu využití tepla dodávaného kogenerační jednotkou. Ve stávajícím stavu je využito maximálně 62 % tepla produkovaného KG, zbylé teplo je mařeno do okolního vzduchu pomocí chladičů. Energie spotřebovaná v ZD navíc po úpravách je rovna množství energie ve spálené štěpce a elektrické energii spotřebované ve špičkových kotlích, ponížené o množství energie, které je v současném stavu dodána ze spáleného hnědého uhlí.

7.3.1. Výpočet změny spotřebované energie ve variantě I

V tabulce č. 19 je uvedeno porovnání tepla, které zbývá pro CZT a tepla, které je do CZT potřeba dodat v měsíčních intervalech ve variantě I.

Tabulka 19 – Porovnání tepla zbývajících a potřebného pro CZT ve variantě I po měsících

Měsíc	Zbývá pro CZT [MWh]	CZT potřebuje varianta I [MWh]
1	15,65	57,3
2	78,34	49,2
3	91,54	42,3
4	152,65	28,6
5	348,45	5,1
6	198,94	0,1
7	271,73	0,1
8	216,28	0,1
9	375,85	2,0
10	89,35	28,3
11	56,07	41,4
12	2,68	52,3
Celkem	1897,54	306,7

Měsíční porovnání je nedostačující, je nutné provést porovnání po jednotlivých dnech, abychom dostali skutečnou bilanci, která ukáže, zda a nakolik bude nutné využít špičkové zdroje tepla. Toto porovnání bude provedeno pro měsíc leden, kdy je nejmenší rezerva nyní mařného tepla pro využití v CZT. Pokud bude zjištěna potřeba využití špičkového zdroje v dané variantě, je nutné udělat stejnou bilanci i pro měsíc předchozí a následující. Vzhledem k tomu, že není možnost rozdělit denní potřebu tepla na množství pro vytápění a přípravu TV pro dojení a ostatní proozy (zimní období), bude veškeré teplo přepočítáno rozděleno na jednotlivé dny dennostupňovou metodou. Počet denostupňů pro daný den je zjištěn jako rozdíl vnitřní výpočtové teploty objektu a průměrné venkovní teploty v daný den. Toto rozdělení také zajistí bezpečnostní rezervu projektu – vyjdou vyšší difference v rámci jednotlivých dnů, než v případě přepočtu jen tepelných nároků na vytápění, v reálném případě tedy bude potřeba nasazení špičkového zdroje menší.

Ústav energetiky

$$D_{den} = t_{is} - t_{es}$$

D_{den} Počet denostupňů v daný den

t_{is} Vnitřní výpočtová teplota v objektu

t_{es} Průměrná venkovní teplota v daný den

Dále je zavedena odchylka od průměrného množství denostupňů za jeden den pro daný měsíc:

$$O_{deno/den} = D_{den} - (D_{m\acute{e}s\acute{ic}}/P_{m\acute{e}s\acute{ic}})$$

$O_{deno/den}$ Odchylka množství denostupňů od průměrného množství denostupňů pro 1 den v daném měsíci

$D_{m\acute{e}s\acute{ic}}$ Počet denostupňů v daném měsíci

$P_{m\acute{e}s\acute{ic}}$... Počet dnů v daném měsíci

Dále je zavedeno také množství tepla na 1 denostupeň a daný měsíc:

$$Q_{denostupe\acute{n}} = Q_{pro\ CZT\ zb\acute{y}v\acute{a}\ m\acute{e}s\acute{ic}}/D_{m\acute{e}s\acute{ic}}$$

$Q_{denostupe\acute{n}}$ Množství tepla na 1 denostupeň

$Q_{pro\ CZT\ zb\acute{y}v\acute{a}\ m\acute{e}s\acute{ic}}$ Množství tepla zbývajících pro CZT v daný měsíc

Ústav energetiky

Teplo, které je v daný den k dispozici pro CZT v daný den je vypočteno následujícím postupem:

$$Q_{\text{pro CZT zbývá den}} = \frac{Q_{\text{pro CZT zbývá měsíc}}}{P_{\text{měsíc}}} \cdot (D_{\text{den}} * Q_{\text{denostupen}})$$

$Q_{\text{pro CZT zbývá den}}$ Množství tepla zbývajících pro CZT v daný den

Dále je spočítáno potřebné množství tepla pro zásobování CZT v daný den:

$$Q_{\text{pro CZT potřeba den}} = \frac{Q_{\text{pro CZT potřeba měsíc}}}{D_{\text{měsíc}}} \cdot D_{\text{den}}$$

$Q_{\text{pro CZT potřeba den}}$ Teplo potřebné pro zásobování CZT v daný den

$Q_{\text{pro CZT potřeba měsíc}}$ Teplo potřebné pro zásobování CZT v daný měsíc

Následně je z rozdílu tepla, které pro CZT v daný den zbývá, a tepla, které je potřeba v daný den do CZT dodat zjištěno, zda teplo v daný den přebývá (kladné hodnoty výsledného rozdílu) anebo zda teplo chybí (záporné hodnoty rozdílu). Chybějící teplo je primárně kryto akumulací, v případě vybité akumulace špičkovým zdrojem (kotel na štěpku). Tato denní bilance množství a potřeby tepla je nejprve provedena pro nejchladnější měsíc v roce – leden. Pokud je zjištěna nutnost využití špičkového zdroje v tomto měsíci pro danou variantu, je nutné provést tuto bilanci pro měsíc předchozí i následující. Bilance jsou přiloženy jako příloha č. 2.

V následující tabulce č. 20 je uvedeno množství energie dodané z BPS a množství energie dodané ze špičkových zdrojů v roce 2015, který je brán jako modelový.

Tabulka 20 – Množství tepla z BPS a špičkového zdroje pro CZT ve variantě I

Měsíc	Tepla celkem do CZT potřeba[MWh]	Z odpadního t. BPS [MWh]	Ze špičk. zdroje [MWh]
Listopad	38,745	38,745	0,000
Prosinec	49,958	2,679	47,279
Leden	54,524	15,653	38,871
Únor	46,794	46,794	0,000
Březen	39,540	39,540	0,000
Duben	25,925	25,925	0,000
Květen	4,412	4,412	0,000
Červen	0,074	0,074	0,000
Červenec	0,074	0,074	0,000
Srpen	0,074	0,074	0,000
Září	1,709	1,709	0,000
Říjen	25,545	25,545	0,000
Celkem	287,375	201,226	86,149

7.3.2. Výpočet změny spotřebované energie ve variantě II

V tabulce č. 21 je uvedeno porovnání tepla, které zbývá pro CZT a tepla, které je do CZT potřeba dodat v měsíčních intervalech ve variantě II.

Tabulka 21 - Porovnání tepla zbývajícího a potřebného pro CZT ve variantě II po měsících

Měsíc	Zbývá pro CZT [MWh]	CZT potřebuje varianta II [MWh]
1	70,2	93,2
2	86,1	80,1
3	105,2	68,8
4	145,2	46,6
5	210,7	8,5
6	208,7	0,3
7	246,6	0,3
8	270,7	0,3
9	247,8	3,4
10	76,0	46,1
11	128,5	67,4
12	97,1	85,2
Celkem	1892,8	500,1

Měsíční porovnání ale nestačí, je nutné provést porovnání po jednotlivých dnech, abychom dostali skutečnou bilanci, která ukáže, zda a nakolik bude nutné využít špičkové zdroje tepla. Výpočet je proveden stejně jako pro variantu I v kapitole 7.3.1.

V následující tabulce č. 22 je uvedeno množství energie dodané z BPS a množství energie dodané ze špičkových zdrojů v roce 2015, který je brán jako modelový.

Tabulka 22 - Množství tepla z BPS a špičkového zdroje pro CZT ve variantě II

Měsíc	Tepla celkem do CZT potřeba [MWh]	Z odpadního t. BPS [MWh]	Ze špičkového zdroje [MWh]
Listopad	63,107	54,147	8,960
Prosinec	81,329	0,000	81,329
Leden	88,748	15,653	73,095
Únor	76,188	71,137	5,051
Březen	64,399	64,399	0,000
Duben	42,275	42,275	0,000
Květen	7,317	7,317	0,000
Červen	0,268	0,268	0,000
Červenec	0,268	0,268	0,000
Srpen	0,268	0,268	0,000
Září	2,924	2,924	0,000
Říjen	41,658	41,658	0,000
Celkem	468,748	300,313	168,435

7.3.3. Spotřeba paliva ve špičkovém zdroji

Z předchozích kapitol je známé množství energie, které je nutné dodat ze špičkového zdroje. Špičkovým kotlem je automatický kotel na dřevní štěpku - je nutné zjistit množství paliva spáleného v daném zdroji. Účinnost špičkového kotle je uvažována 86 %. Spotřeba paliva špičkového zdroje je vidět v tabulkách č. 23 a 24.

Tabulka 23 – Spotřeba paliva špičkového zdroje ve variantě I

Varianta I			
Š.Z. musí dodat [MWh]	Účinnost	Dodat v palivu [MWh]	Palivo [t]
86,15	0,86	98,21	25,25

Tabulka 24 – Spotřeba špičkového zdroje ve variantě II

Varianta II			
Š.Z. musí dodat [MWh]	Účinnost	Dodat v palivu [MWh]	Palivo [t]
168,44	0,86	192,02	49,38

8. Ekonomické vyhodnocení navržených variant

Pro ekonomické vyhodnocení navržených variant je nejprve nutné stanovit výnosy a změny provozních nákladů plynoucí z realizace jednotlivých variant a také investiční náklady na realizaci daných variant.

Z ekonomického hlediska bude projekt vyhodnocen metodou prosté doby návratnosti, čisté současné hodnoty investice a vnitřního výnosového procenta. Dále bude zjištěna nejnižší možná cena dodávaného tepla pro koncové odběratele za předpokladu splnění rentabilnosti projektu pro investora – ZD. Rentabilitnost projektu bude splněna, pokud projekt při dané ceně tepla splní tyto tři podmínky:

Nastavení parametrů pro výpočet T_s , T_{sd} , NPV a VVP:

- Doba hodnocení 20 let
- Růst cen energie 3 % ročně
- Diskontní sazba 4 %

Způsob výpočtu

V zásadě se jedná o tři hlavní kritéria:

- **Prostá doba návratnosti T_s**

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

IN investiční výdaje projektu

CF roční přínosy projektu (Cash – flow)

Ústav energetiky

- **Reálná doba návratnosti, doba splacení investice** při uvažování diskontní sazby T_{sd} se vypočte z podmínky:

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

CF_t Roční přínosy projektu (změna peněžních toků po realizaci projektu)

r diskont

$(1+r)^{-t}$ odúročitel

- **Čistá současná hodnota (ČSH):**

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN$$

T_z doba životnosti (hodnocení) projektu

Pro výpočet výše zmíněných kritérií je nutné stanovit tok hotovosti (Cash – flow) investičních opatření. V daném roce se tok hotovosti pro navržená opatření stanoví jako:

$$CF = U - IN$$

U Úspory – změna provozních nákladů vyvolaných realizací varianty, stanoví se jako rozdíl provozních nákladů před a po realizaci

- **Vnitřní výnosové procento (VVP)**

Hodnota IRR se vypočte z podmínky:

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

Hodnocení je provedeno bez uvažování způsobu financování, nejsou uvažovány dotace.

8.1. Varianta I

8.1.1. Investiční náklady na realizaci dané varianty

Pro realizaci varianty jedna je nutné zrealizovat tyto investice:

- Výstavba teplovodu ve variantě I – délka 480 m
- Instalace akumulčních nádrží ve velikosti 50 m³
- Instalace špičkového kotle na dřevní štěpku o výkonu 110 kW
- Instalace záložního kotle na dřevní štěpku o výkonu 200 kW (investice je brána jako nulová vzhledem k záměru ZD k jeho instalaci i bez realizace výše navržených variant)
- Instalace infrazářičů pro vytápění sálu

V tabulce č. 25 je uvedena celková nutná investice pro realizaci varianty I. Instalace kotle na štěpku je považována za nulovou, protože kotel bude dle záměrů ZD instalován i v případě nerealizování těchto variant.

Tabulka 25 – Investiční náklady na realizaci varianty I

Opatření	Rozložení		Cena [Kč]
Teplovod	Délka 480 m	4 000 Kč/m	1 920 000
	Rezerva	10%	192 000
	Celkem		2 112 000
Kotel na štěpku	Výkon	80 kW	33 900
	Zapojení		10 000
	Rezerva	10%	4 390
	Celkem		48 290
Kotel na štěpku	Celkem (bude realizováno i bez těchto var.)		0
Akumulace	50 000 l		500 000
	Instalace		100 000
	Rezerva		60 000
	Celkem		660 000
Infrazáříče	Infrazáříče 3 kW (20 ks)		250 000
	Řízení a regulace		20 000
	Instalace		15 000
	Projektová rezerva		28 500
	Celkem		313 500
Celkové náklady na realizaci všech opatření			3 133 790

8.1.2. Výnosy z realizace dané varianty

Výnosem z realizace dané varianty jsou příjmy za dodávku tepla jednotlivým domácnostem. Cena tepla pro daný výpočet byla stanovena na 1500 Kč/MWh tepla dodaného na výměník v konkrétním rodinném domě. Pro porovnání uvádím ceny tepla v různých částech ČR v tabulce č. 26, ceny jsou uvedeny bez DPH:

Tabulka 26 – Ceny tepla v různých městech ČR

	Jindřichův Hradec	Brno	Liberec	Milevsko
Cena tepla v místě RD [Kč/MWh]	1 717,92	1 980,00	2 160,00	1 830,00

Množství dodaného tepla je množství dodané v areálu do CZT, ponižené o ztráty v teplovodu, které byly vyčísleny v rámci kapitoly 6. Roční výnosy z realizace varianty I uvádí tabulka č. 27:

Tabulka 27 – Roční výnosy z realizace varianty I

Varianta I		
Dodané teplo [MWh]	Cena tepla [Kč/MWh]	Výnos varianty I [Kč/rok]
259,79	1 500,00	389 680,64

8.1.3. Změna provozních nákladů po realizaci dané varianty

Změnou nákladů po realizaci varianty je snížení množství štěpky, které ZD prodává. Část této štěpky je totiž spálena v kotli na štěpku kvůli potřebě dodat teplo do CZT. Zvýšení spotřeby elektřiny po instalaci infrazářičů pro vytápění sálu je vzhledem k předpokladu provozu 6 hod/rok zanedbáno. Tuto ztrátu vyčísluje tabulka č. 28:

Tabulka 28 – Roční zvýšení provozních nákladů po realizaci varianty I

Varianta I			
Nově dodat ŠZ [MWh]	Spáleno štěpky [t]	Cena štěpky [Kč/t]	Cena za palivo [Kč/rok]
86,15	25,25	1 600,00	40 406,43

8.1.4. Vyhodnocení dané varianty

Výpočty sloužící k souhrnnému ekonomickému vyhodnocení dané varianty jsou uvedeny v příloze č. 3. Souhrnné vyhodnocení uvádí tabulka č. 29.

Tabulka 29 – Ekonomické vyhodnocení varianty I

Parametr	Jednotka	Var. I
Investiční výdaje projektu	Kč	3 133 790
Změna nákladů na energie (+ zvýšení, - snížení)	Kč	40 406
Změna ostatních provozních nákladů	Kč	0
Změna osobních nákladů	Kč	0
Změna nákladů na emise a odpady	Kč	0
Změna tržeb (za teplo, elektřinu, využití odpady)	Kč	389 681
Přínosy projektu celkem (+ přínos, - ztráta)	Kč	349 275
Doba hodnocení	roky	20
Růst cen energie	%	3
Diskont	%	4
Ts - prostá doba návratnosti	roky	9
Tsd - reálná doba návratnosti	roky	10
ČSH - čistá současná hodnota	tis. Kč	3 003
VVP - vnitřní výnosové procento	%	12,09

Pro variantu č. I vychází reálná doba návratnosti 10 let, čistá současná hodnota investice je 3 003 000 Kč a vnitřní výnosové procento investice je 12,09 %.

8.2. Varianta II

8.2.1. Investiční náklady na realizaci dané varianty

Pro realizaci varianty jedna je nutné zrealizovat tyto investice:

- Výstavba teplovodu ve variantě II – délka 552 m
- Instalace akumulčních nádrží ve velikosti 150 m³
- Instalace špičkového elektrického kotle o výkonu 170 kW
- Instalace záložního kotle na dřevní štěpku o výkonu 200 kW (investice je brána jako nulová vzhledem k záměru ZD k jeho instalaci i bez realizace výše navržených variant)
- Instalace infrazářičů pro vytápění sálu

V tabulce č. 30 je uvedena celková nutná investice pro realizaci varianty II. Instalace kotle na štěpku je považována za nulovou, protože kotel bude dle záměrů ZD instalován i v případě nerealizování těchto variant.

Tabulka 30 – Investiční náklady na realizaci varianty II

Opatření	Rozložení		Cena [Kč]
Teplovod	Délka 480 m	4 000 Kč/m	2 208 000
	Rezerva	10%	220 800
	Celkem		2 242 800
Kotel na štěpku	Výkon	180 kW	101 700
	Zapojení		30 000
	Rezerva	10%	13 170
	Celkem		144 870
Kotel na štěpku	Celkem (bude realizován i bez realizace var.)		0
Akumulace	50 000 l		1 500 000
	Instalace		200 000
	Rezerva		170 000
	Celkem		1 870 000
Infrazáříče	Infrazáříče 3 kW (20 ks)		250 000
	Řízení a regulace		20 000
	Instalace		15 000
	Projektová rezerva		28 500
	Celkem		313 500
Celkové náklady na realizaci všech opatření			4 757 170

8.2.2. Výnosy z realizace dané varianty

Výnosem z realizace dané varianty jsou příjmy za dodávku tepla jednotlivým domácnostem. Cena tepla pro daný výpočet byla stanovena na 1500 Kč / MWh tepla dodaného na výměník v konkrétním rodinném domě. Rešerše cen tepla v ČR je uvedena v kapitole 8.1.2.

Množství dodaného tepla je množství dodané v areálu do CZT, ponižené o ztráty v teplovodu, které byly vyčísleny v rámci kapitoly 6. Výnosy z realizace varianty II uvádí tabulka č. 31:

Tabulka 31 – Výnosy z realizace varianty II

Varianta II		
Dodané teplo [MWh]	Cena tepla [Kč/MWh]	Výnos varianty I [Kč/rok]
423,75	1 500,00	635 622,71

8.2.3. Změna provozních nákladů po realizaci dané varianty

Změnou nákladů po realizaci varianty je snížení množství štěpky, které ZD prodává. Část této štěpky je totiž spálena v kotli na štěpku kvůli potřebě dodat teplo do CZT. Zvýšení spotřeby elektřiny po instalaci infrazářičů pro vytápění sálu je vzhledem k předpokladu provozu 6 hod/rok zanedbáno. Tuto ztrátu vyčísluje tabulka č. 32:

Tabulka 32 – Zvýšení provozních nákladů po realizaci varianty II

Varianta II			
Nově dodat ŠZ [MWh]	Spáleno štěpky [t]	Cena štěpky [Kč/t]	Cena za palivo [Kč/rok]
168,44	49,38	1 600,00	79 000,88

8.2.4. Vyhodnocení dané varianty

Výpočty sloužící k souhrnnému ekonomickému vyhodnocení dané varianty jsou uvedeny v příloze č. 3. Souhrnné vyhodnocení uvádí tabulka č. 33.

Tabulka 33 – Ekonomické vyhodnocení varianty II

Parametr	Jednotka	Var. II
Investiční výdaje projektu	Kč	4 757 170
Změna nákladů na energie (+ zvýšení, - snížení)	Kč	79 001
Změna ostatních provozních nákladů	Kč	0
Změna osobních nákladů	Kč	0
Změna nákladů na emise a odpady	Kč	0
Změna tržeb (za teplo, elektřinu, využití odpady)	Kč	635 623
Přínosy projektu celkem (+ přínos, - ztráta)	Kč	556 622
Doba hodnocení	roky	20
Růst cen energie	%	3
Diskont	%	4
Ts - prostá doba návratnosti	roky	9
Tsd - reálná doba návratnosti	roky	10
ČSH- čistá současná hodnota	tis. Kč	5 023
VVP - vnitřní výnosové procento	%	12,80

Pro variantu č. II vychází reálná doba návratnosti 10 let, čistá současná hodnota investice je 5 023 000 Kč a vnitřní výnosové procento investice je 12,80 %.

8.3. Výpočet optimální ceny tepla pro daný projekt

Z podmínek zadavatele je známa hranice rentabilnosti projektu, při které je ochoten do dané varianty investovat:

- Reálná doba návratnosti do 8 let

Z této podmínky je možné dopočítat cenu MWh tepla, aby došlo k realizaci projektu:

- **Cena tepla pro variantu I je 1 777,26 Kč/MWh, to je 493,68 Kč/GJ**
- **Cena tepla pro variantu II je 1 695,69 Kč/ MWh, to je 471,03 Kč/GJ**

9. Vyhodnocení optimálních úprav pro energetické hospodářství ZD

- Cena tepla vychází nižší pro variantu II, investičně je tedy lepší realizovat variantu II
- Cena tepla pro realizaci varianty II je nižší, než ve všech porovnávaných městech (Jindřichův Hradec, Milevsko, Brno, Liberec)
- Celý výpočet je výrazně na straně bezpečnosti – tedy počítá s většími výdaji a na realizaci a větším zvýšením provozních nákladů, než ke kterému by mělo dojít v reálné situaci
- Před realizací je doporučeno vyhodnotit plánovaný záměr detailní studií proveditelnosti, která zpřesní výslednou ekonomickou bilanci (např.: rozdělení spotřeb ZD na konstantní a ovlivněné venkovními klimatickými podmínkami) a zpřesnit budoucí vedení CZT včetně zjištění zájmu a připojení obyvatel v dané obci a poptání nabídkové ceny pro realizaci CZT

10. Závěr

V práci jsem navrhl a energeticky a ekonomicky vyhodnotil dvě varianty optimalizace tepelného hospodářství ZD, které měly za cíl zvýšit podíl využití tepla produkovaného BPS. Obě varianty počítají s připojením rodinných domů sousedících se ZD k hypotetické síti CZT. Předpokládám, že lidé budou mít zájem o systém vytápění, který je ekologičtější a zároveň jim zajišťuje takřka bezstarostný provoz. Práce ukázala, že vzhledem k vysoce proměnlivé charakteristice živočišné a rostlinné výroby, není možné dimenzovat plánované CZT k využití stejného tepla, jako je dnes mařeno do vzduchu. S tím bylo spojeno dimenzování špičkových zdrojů. Zvolil jsem kotel na dřevní štěpku (ZD má záměr instalovat kotel jako zálohu) v kombinaci s elektrokotli. Porovnával jsem dvě varianty úprav tepelného hospodářství. V první je pro CZT rezervován výkon 160 kW, ve druhé 260 kW. S použitím veškerých známých dat (výroba a spotřeba tepla a el. energie v ZD v roce 2015) a přepočtu na dlouhodobý normál dennostupňovou metodou a výpočtu tepelné potřeby teoreticky připojených objektů jsem obě varianty energeticky a ekonomicky vyhodnotil. Realizace varianty I zvýší využití tepla produkovaného BPS o 4,00 %. Realizace varianty II zvýší využití tepla produkovaného BPS o 9,32 %.

Ekonomické vyhodnocení varianty I ukazuje, že reálná doba návratnosti je 10 let, čistá současná hodnota investice po 20 letech je 3 003 469 Kč a vnitřní výnosové procento je 12,09 %. Varianta II dosahuje lepších ekonomických výsledků, konkrétně reálná doba návratnosti je 10 let, čistá současná hodnota investice po 20 letech je 5 023 478 Kč a vnitřní výnosové procento 12,80 %. Přehledné ekonomické porovnání variant je vidět v tabulce č. 34:

Parametr		Var. I	Var. II
Prostá doba návratnosti	roky	8,97	8,55
Čistá současná hodnota	Kč	3 003 469	5 023 478
Vnitřní výnosové procento	%	12,09	12,80

Ústav energetiky

Hlavním výstupem je teoretická cena tepla, která by musela být nasazena, aby reálná doba návratnosti byla do osmi let. Pro variantu I jsem vypočítal cenu tepla 1 777,26 Kč/MWh (493,68 Kč/GJ) a pro variantu II 1 695,69 Kč/MWh (471,25 Kč/GJ). V rámci zařazení by se tato studie dala nazvat studií příležitosti. Protože v jejím rámci jsem nastavil velké bezpečnostní rezervy (ve výpočtových zjednodušeních) a ekonomické výsledky jsou přesto zajímavé, doporučuji rozpracovat záměr ve studii proveditelnosti.

11. Použitá literatura

- [1] SmartGrids - European Technology Platform: Frequently Asked Questions. SMARTGRIDS - EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM. [Http://www.smartgrids.eu/](http://www.smartgrids.eu/) [online]. SmartGrids - European Technology Platform, © 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.smartgrids.eu/node/56#12>
- [2] Mapy. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.2348785&y=49.5782131&z=11>
- [3] Zveřejněné informace. *Město Krásná Hora nad Vltavou* [online]. 2011 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.krasna-hora.cz/mestsky-urad/povinne-zverejnene-informace>
- [4] Přehled údajů o licencích udělených ERÚ. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-09-30]. Dostupné z: <http://licence.eru.cz/index.php?roff=120>
- [5] *Výpočet výkonu tepelného zdroje* [online]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/vyber-tepelneho-cerpadla.php>
- [6] SCHULZ, H.; EDER, B. *Bioplyn v praxi*. Ostrava : HEL, 2004. 167 s. ISBN 80-86167- 21-6.
- [7] Schéma bioplynové stanice. *Biom* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/schema-bioplynove-stanice>
- [8] Bioplynová stanice Ožďany. *Arca Capital* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.arcacapital.com/en/projects/biogas-holding-sro>
- [9] Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace. *Biom* [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
- [10] Varianty BPS Farmtec. *Internetové stránky firmy Farmtec* [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.farmtec.cz/varianty-bps-farmtec-158.html>
- [11] Sortiment výrobků: Deskové výměníky. *Webové stránky firmy Alfa Laval* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: http://www.kpmark.cz/uploads/Sortiment_vyroбку.pdf
- [12] Akumulace tepla. *TZB info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla>
- [13] Měsíční statistiky teplot: Meteorologické stanice. *IN - Počasí* [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.in->

Ústav energetiky

[pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=paha_ruzyne&historie_bar_mesic=1&historie_bar_r
ok=2015&typ=teplot](http://pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=paha_ruzyne&historie_bar_mesic=1&historie_bar_r
ok=2015&typ=teplot)

[14] HRDLIČKA, František. Průmyslová energetika. Vyd. 2. přeprac. Praha: ČVUT, 2004. 138 s. ISBN 80-01-02883-6.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - schéma bioplynové stanice [7].....	14
Obrázek 2 – Bioplynová stanice Ožd'any [8].....	15
Obrázek 3 - Fermentor bioplynové stanice [10].....	18
Obrázek 4 – Kogenerační jednotka BPS [10]	19
Obrázek 5 – Příklad vedení teplovodní sítě (podzemní bezkanálový systém).....	21
Obrázek 6 – Možná realizace předávacích stanic [11].....	22
Obrázek 7 – Schéma akumulace tepla v tepelném zásobníku [12].....	23
Obrázek 8 – Ukázka akumulace energie ve vodě v průmyslovém provozu	24
Obrázek 9 – Poloha Krásné Hory nad Vltavou [2]	25
Obrázek 10 - typický vesnický dům.....	29
Obrázek 11 – Schéma zapojení kogenerační jednotky do tepelného hospodářství ZD.....	36
Obrázek 12 – Křivka trvání tepelného výkonu v typizovaných obdobích	44
Obrázek 13 – Orientační vedení nového horkovodu	47
Obrázek 14 – Orientační vedení nového horkovodu	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Tepelná ztráta budovy- varianta A.....	31
Tabulka 2 – Tepelná ztráta budovy- varianta B.....	32
Tabulka 3 – Potřeba tepla pro vytápění typizovaného RD	32
Tabulka 4 – Celková potřeba tepelného výkonu pro typický RD.....	33
Tabulka 5 - Technické parametry kogenerační jednotky Jenbacher.....	35
Tabulka 6 – Množství vyrobené elektřiny spotřebované v rámci ZD.....	38
Tabulka 7 - Roční bilance výroby el. energie v BPS	39
Tabulka 8 – Teplo vyrobené BPS.....	40
Tabulka 9 – Přepočtená spotřeba tepla v areálu ZD na dlouhodobý normál	41
Tabulka 10 – Technické parametry kotle Carborobot	41
Tabulka 11 – Instalovaný výkon spotřebičů tepla v ZD Krásná Hora nad Vltavou	42
Tabulka 12 – Dimenzace přídatného zdroje pro variantu I.....	46
Tabulka 13 – Požadavky na tepelný výkon v jednotlivých obdobích	48
Tabulka 14 – Dimenzace přídatného zdroje pro variantu II.....	50
.Tabulka 15 – Požadavky na tepelný výkon v jednotlivých obdobích	52
Tabulka 16 – Tepelná produkce KG jednotky.....	56
Tabulka 17 – Energie dodaná mimo ZD ve variantě I	57
Tabulka 18 - Energie dodaná mimo ZD ve variantě II	58
Tabulka 19 – Porovnání tepla zbývajcího a potřebného pro CZT ve variantě I po měsících. 59	
Tabulka 20 – Množství tepla z BPS a špičkového zdroje pro CZT ve variantě I.....	62

Ústav energetiky

Tabulka 21 - Porovnání tepla zbývajícího a potřebného pro CZT ve variantě II po měsících	63
Tabulka 22 - Množství tepla z BPS a špičkového zdroje pro CZT ve variantě II	64
Tabulka 23 – Spotřeba paliva špičkového zdroje ve variantě I.....	64
Tabulka 24 – Spotřeba špičkového zdroje ve variantě II	64
Tabulka 25 – Investiční náklady na realizaci varianty I.....	68
Tabulka 26 – Ceny tepla v různých městech ČR	68
Tabulka 27 – Výnosy z realizace varianty I.....	69
Tabulka 28 – Zvýšení provozních nákladů po realizaci varianty I	69
Tabulka 29 – Ekonomické vyhodnocení varianty I.....	70
Tabulka 30 – Investiční náklady na realizaci varianty II.....	72
Tabulka 31 – Výnosy z realizace varianty II.....	73
Tabulka 32 – Zvýšení provozních nákladů po realizaci varianty II	73
Tabulka 33 – Ekonomické vyhodnocení varianty II.....	74

12. List zkratek

FVE	Fotovoltaická elektrárna
OZE	Obnovitelné zdroje energie
VTE	Větrná elektrárna
RD	Rodinný dům
TV	Teplá voda
$V_{w, \text{day}}$	Denní potřeba teplé vody [l/den]
f	Počet měrných jednotek [počet obyvatel]
$V_{w, f, \text{day}}$	Specifická potřeba teplé vody [l/m ² . počet obyvatel]
$Q_{\text{měsíc}}$	Energie potřebná k ohřevu TUV za jeden měsíc [kWh]
C_{pH_2O}	Měrná tepelná kapacita vody [kJ/kg.K]
t_1	Teplota vstupující vody do bojleru [°C]
t_2	Teplota ohřáté vody z bojleru [°C]
ρ_{H_2O}	Hustota vody [kg/m ³]
$V_{H_2O, \text{day}}$	Objem teplé vody pro rodinný dům [m ³ /den]
$\eta_{\text{ohřev}}$	Účinnost ohřevu TV
CZT	Centrální zásobování teplem
ZD	Zemědělské družstvo
ČSH	Čistá současná hodnota
VVP	Vnitřní výnosové procento
T_{is}	Vnitřní výpočtová teplota
T_{es}	Průměrná venkovní teplota v daný den
Dden	Počet denostupňů v daný den

Ústav energetiky

Qdeno/den	Odchylka množství denostupňů v daný den od měsíčního průměru
Dměsíc	Počet denostupňů v daném měsíci
Pměsíc	Počet dnů v daném měsíci
Qdenostupně	Množství tepla na 1 denostupeň v daném měsíci
QproCZT zbývá měsíc	Množství tepla zbývajících pro CZT z BPS v daném měsíci
QproCZT zbývá den	Množství tepla zbývajících pro CZT z BPS daný den
QproCZT potřeba den	Množství tepla potřebné pro CZT v daný den
QproCZT potřeba měsíc	Množství tepla potřebné pro CZT daný měsíc
Ts	Prostá doba návratnosti
Tsd	Reálná doba návratnosti
ČSH	Čistá současná hodnota investice
VVP	Vnitřní výnosové procento

13. Příloha č. 1 – Statistická charakteristika meteorologické situace v oblasti

Rok/den	Leden - nejnižší a nejvyšší denní teplota																															Chl. dny vřadě
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2011	-5	-3	-9	-10	-10	-10	-1	0	-1	0	0	0	2	5	5	1	-4	-4	-1	-3	-3	-7	-8	-4	-2	-3	-9	-8	-16	-14	-14	
2011	0	0	-1	-4	-6	4	7	6	4	2	1	4	8	10	9	10	4	9	4	1	-2	-2	0	0	1	1	-2	-2	-3	-5	-7	
2012	0	5	4	3	2	1	1	2	1	1	1	1	0	-1	-3	-7	-1	-4	0	0	-1	1	1	1	-2	-3	-7	-11	-6	-7	-8	-11
2012	9	11	8	8	6	4	3	5	4	5	7	7	3	2	1	0	2	4	5	3	4	5	5	3	1	-1	-2	-2	-1	0	-3	
2013	0	0	2	5	4	4	3	2	2	-3	-7	-8	-5	-8	-8	-4	-7	-7	-8	-7	-8	-8	-7	-8	-19	-19	-5	-4	2	4	2	
2013	5	5	7	9	8	7	4	5	5	3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-6	-6	-3	-4	-6	-5	-6	-7	-5	0	3	6	12	8	
2014	-3	-1	-2	0	0	-1	2	1	3	1	1	-5	-4	-1	-2	0	1	2	-1	-2	-4	-4	-8	-15	-12	-4	-5	-6	-3	-3	-3	
2014	2	3	7	6	6	6	10	11	12	6	6	4	4	1	4	5	3	4	4	8	4	-1	-1	-2	-3	-8	-4	-2	-2	0	0	
2015	0	0	0	-1	0	-4	-3	0	4	1	1	3	2	-3	-2	0	1	0	-1	-2	0	-2	0	-2	-3	-2	-3	0	0	-1	-3	-4
2015	3	2	2	3	2	2	1	6	11	13	4	6	11	9	5	4	4	4	2	1	2	4	0	0	3	3	2	3	3	3	1	1
2015 průměr	2	2	1,5	2	2	1	0	2	5	10	2	4	5	5	3	3	3	3	3	1	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0

14. Příloha č.2 – Denní bilance potřeby tepla

Demostupně	Odchyška od dñs prumeru	Zbývá tepla pro CZT [kWh]	Porovnání leden	
			CZT potřebuje E [kWh]	Varianta I Zbývá E/dodat E [kWh]
				Dodá ŠZ
18,00	0,71	484,22	1831,02	-
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
19,00	1,71	455,01	1932,75	1477,73
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
19,00	1,71	455,01	1932,75	1477,73
20,00	2,71	425,81	2034,47	1608,66
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
15,00	2,29	571,83	1525,85	954,02
10,00	7,29	717,85	1017,23	299,39
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
16,00	1,29	542,63	1627,57	1084,95
15,00	2,29	571,83	1525,85	954,02
15,00	2,29	571,83	1525,85	954,02
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
19,00	1,71	455,01	1932,75	1477,73
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
17,00	0,29	513,42	1729,30	1215,88
18,00	0,71	484,22	1831,02	1346,80
20,00	2,71	425,81	2034,47	1608,66

Porovnání leden			
Varianta II			
CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodat E [kWh]	Dodá ŠZ	
2 980,34	-	2 496,12	-
2 980,34	-	2 496,12	-
3 145,92	-	2 690,90	-
2 980,34	-	2 496,12	-
2 980,34	-	2 496,12	-
3 145,92	-	2 690,90	-
3 311,49	-	2 885,68	-
2 980,34	-	2 496,12	-
2 483,62	-	1 911,79	-
1 655,75	-	937,90	-
2 980,34	-	2 496,12	-
2 649,19	-	2 106,57	-
2 483,62	-	1 911,79	-
2 483,62	-	1 911,79	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 980,34	-	2 496,12	-
2 980,34	-	2 496,12	-
2 980,34	-	2 496,12	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 980,34	-	2 496,12	-
2 814,77	-	2 301,35	-
2 980,34	-	2 496,12	-
3 311,49	-	2 885,68	-
			73 094,73

Porovnání únor				Varianta II		Dodá ŠZ
Dennostupně	Odhylka od dš průměru	Zbývá tepla pro CZT [kWh]	CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodat E [kWh]		
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01	špičková zdroj 10,01	
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01	dodá elektrokotel	
20,00	1,30	2 602,64	2 902,41	299,77		
22,00	3,30	2 303,36	3 192,65	889,28		
24,00	5,30	2 004,09	3 482,89	1 478,80		
23,00	4,30	2 153,73	3 337,77	1 184,04		
22,00	3,30	2 303,36	3 192,65	889,28		
20,00	1,30	2 602,64	2 902,41	299,77	5 050,95	
18,00	0,70	2 901,92	2 612,17	289,75		
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01		
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01		
20,00	1,30	2 602,64	2 902,41	299,77	Pokryje AKU	
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
16,00	2,70	3 201,20	2 321,93	879,27		
16,00	2,70	3 201,20	2 321,93	879,27		
16,00	2,70	3 201,20	2 321,93	879,27		
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
16,00	2,70	3 201,20	2 321,93	879,27		
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
20,00	1,30	2 602,64	2 902,41	299,77	Pokryje AKU	
18,00	0,70	2 901,92	2 612,17	289,75		
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01		
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01		
20,00	1,30	2 602,64	2 902,41	299,77	Pokryje AKU	
16,00	2,70	3 201,20	2 321,93	879,27		
18,00	0,70	2 901,92	2 612,17	289,75		
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01		
19,00	0,30	2 752,28	2 757,29	5,01		
20,00	1,30	2 602,64	2 902,41	299,77	Pokryje AKU	
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
16,00	2,70	3 201,20	2 321,93	879,27		
16,00	2,70	3 201,20	2 321,93	879,27		
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
17,00	1,70	3 051,56	2 467,05	584,51		
20,00	1,30	2 602,64	2 902,41	299,77	Pokryje AKU	
18,00	0,70	2 901,92	2 612,17	289,75		

Porovnání únor		
Varianta I		
CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodat E [kWh]	Dodá šZ
1 693,51	1 058,77	
1 693,51	1 058,77	
1 782,64	820,00	
1 960,91	342,46	
2 139,17	-	POKRYJE aku
2 050,04	103,69	
1 960,91	342,46	
1 782,64	820,00	
1 604,38	1 297,54	
1 515,25	1 536,31	
1 515,25	1 536,31	
1 693,51	1 058,77	
1 693,51	1 058,77	
1 782,64	820,00	
1 515,25	1 536,31	
1 426,12	1 775,08	
1 426,12	1 775,08	
1 426,12	1 775,08	
1 515,25	1 536,31	
1 426,12	1 775,08	
1 515,25	1 536,31	
1 515,25	1 536,31	
1 782,64	820,00	
1 604,38	1 297,54	

		Porovnání Prosince				Varianta II		Dodá ŠZ
Dennostupně	Odchylka od dñs prumeru	bývá tepla pro CZT [kWh]	CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodat E [kWh]				
13,00	- 0,82	86,49	2 467,40	- 2 380,91				
11,50	- 2,32	86,62	2 182,70	- 2 096,08				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
16,00	2,18	86,24	3 036,81	2 950,57				
15,00	1,18	86,32	2 847,00	2 760,68				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
12,00	- 1,82	86,58	2 277,60	2 191,02				
17,00	3,18	86,15	3 226,61	3 140,45				
16,00	2,18	86,24	3 036,81	2 950,57				
18,00	4,18	86,07	3 416,41	3 330,34				
17,00	3,18	86,15	3 226,61	3 140,45				
15,00	1,18	86,32	2 847,00	2 760,68				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
18,00	4,18	86,07	3 416,41	3 330,34				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
11,00	- 2,82	86,66	2 087,80	2 001,14				
10,00	- 3,82	86,75	1 898,00	1 811,25				
10,00	- 3,82	86,75	1 898,00	1 811,25				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
10,00	- 3,82	86,75	1 898,00	1 811,25				
11,00	- 2,82	86,66	2 087,80	2 001,14				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
11,00	- 2,82	86,66	2 087,80	2 001,14				
9,00	- 4,82	86,84	1 708,20	1 621,37				
11,00	- 2,82	86,66	2 087,80	2 001,14				
12,00	- 1,82	86,58	2 277,60	2 191,02				
14,00	0,18	86,41	2 657,20	2 570,80				
17,00	3,18	86,15	3 226,61	3 140,45				
22,00	8,18	85,73	4 175,61	4 089,88			78 650,31	

		Varianta I	
CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodát E [kWh]	Dodá ŠZ	
1 515,64	-	1 429,14	AKU
1 340,76	-	1 254,14	
1 632,23	-	1 545,82	
1 865,40	-	1 779,16	
1 748,81	-	1 662,49	
1 632,23	-	1 545,82	
1 399,05	-	1 312,47	
1 981,99	-	1 895,84	
1 865,40	-	1 779,16	
2 098,58	-	2 012,51	
1 981,99	-	1 895,84	
1 748,81	-	1 662,49	
1 632,23	-	1 545,82	
2 098,58	-	2 012,51	
1 632,23	-	1 545,82	
1 632,23	-	1 545,82	
1 282,46	-	1 195,80	
1 165,88	-	1 079,13	
1 165,88	-	1 079,13	
1 632,23	-	1 545,82	
1 632,23	-	1 545,82	
1 165,88	-	1 079,13	
1 282,46	-	1 195,80	
1 632,23	-	1 545,82	
1 282,46	-	1 195,80	
1 049,29	-	962,45	
1 282,46	-	1 195,80	
1 399,05	-	1 312,47	
1 632,23	-	1 545,82	
1 981,99	-	1 895,84	
2 564,93	-	2 479,20	45 849,50

Listopad					
Demostupně	Odchyška od dnu průměru	Zbývá tepla pro CZT [kWh]	Varianta I		
			CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodá E [kWh]	Dodá ŠZ
13,00	0,70	1 762,66	1 364,99	397,68	
15,00	2,70	1 458,76	1 574,99	116,23	
17,00	4,70	1 154,85	1 784,98	630,14	
15,00	2,70	1 458,76	1 574,99	116,23	
12,00	0,30	1 914,62	1 259,99	654,63	
9,00	3,30	2 370,48	944,99	1 425,49	
6,00	6,30	2 826,34	629,99	2 196,35	
7,00	5,30	2 674,39	734,99	1 939,39	
7,00	5,30	2 674,39	734,99	1 939,39	
6,00	6,30	2 826,34	629,99	2 196,35	
7,00	5,30	2 674,39	734,99	1 939,39	
10,00	2,30	2 218,52	1 049,99	1 168,53	
10,00	2,30	2 218,52	1 049,99	1 168,53	
12,00	0,30	1 914,62	1 259,99	654,63	
11,00	1,30	2 066,57	1 154,99	911,58	
8,00	4,30	2 522,43	839,99	1 682,44	
9,00	3,30	2 370,48	944,99	1 425,49	
7,00	5,30	2 674,39	734,99	1 939,39	
8,00	4,30	2 522,43	839,99	1 682,44	
13,00	0,70	1 762,66	1 364,99	397,68	
15,00	2,70	1 458,76	1 574,99	116,23	
18,00	5,70	1 002,89	1 889,98	887,09	
18,00	5,70	1 002,89	1 889,98	887,09	
19,00	6,70	850,94	1 994,98	1 144,04	
18,00	5,70	1 002,89	1 889,98	887,09	
17,00	4,70	1 154,85	1 784,98	630,14	4 551,67
17,00	4,70	1 154,85	1 784,98	630,14	
17,00	4,70	1 154,85	1 784,98	630,14	
15,00	2,70	1 458,76	1 574,99	116,23	978,83
13,00	0,70	1 762,66	1 364,99	397,68	

Porovnání listopad		
Varianta II		
CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodat E [kWh]	Dodá ŠZ
2 223,28	460,62	pokryje AKU
2 565,32	1 106,57	
2 907,36	1 752,52	
2 565,32	1 106,57	
2 052,26	137,64	
1 539,19	831,29	
1 026,13	1 800,21	
1 197,15	1 477,24	
1 197,15	1 477,24	
1 026,13	1 800,21	
1 197,15	1 477,24	
1 710,21	508,31	
1 710,21	508,31	
2 052,26	137,64	AKU
1 881,24	185,34	
1 368,17	1 154,26	
1 539,19	831,29	
1 197,15	1 477,24	
1 368,17	1 154,26	
2 223,28	460,62	Pokryje AKU
2 565,32	1 106,57	
3 078,39	2 075,49	
3 078,39	2 075,49	5 257,55
3 249,41	2 398,47	
3 078,39	2 075,49	
2 907,36	1 752,52	
2 907,36	1 752,52	
2 907,36	1 752,52	
2 565,32	1 106,57	11 738,62
2 223,28	460,62	

Březen				Varianta II		
Demostupně	Odhylka od dnu průměru	Zbývá tepla pro CZT [kWh]	CZT potřebuje E [kWh]	Zbývá E/dodat E [kWh]	Dodá šZ	
18,00	3,89	2 139,57	2 649,56	-	509,99	Pokryje AKU
14,00	0,11	2 976,50	2 060,77	915,73		Přebývky
15,00	0,89	2 767,26	2 207,97	559,30		
16,00	1,89	2 558,03	2 355,16	202,87		
17,00	2,89	2 348,80	2 502,36	-	153,56	Pokryje AKU
16,00	1,89	2 558,03	2 355,16	202,87		
13,00	1,11	3 185,73	1 913,57	1 272,16		
14,00	0,11	2 976,50	2 060,77	915,73		
15,00	0,89	2 767,26	2 207,97	559,30		
14,00	0,11	2 976,50	2 060,77	915,73		
15,00	0,89	2 767,26	2 207,97	559,30		
12,00	2,11	3 394,96	1 766,37	1 628,59		
11,00	3,11	3 604,19	1 619,18	1 985,02		
13,00	1,11	3 185,73	1 913,57	1 272,16		
14,00	0,11	2 976,50	2 060,77	915,73		
14,00	0,11	2 976,50	2 060,77	915,73		
13,00	1,11	3 185,73	1 913,57	1 272,16		
17,00	2,89	2 348,80	2 502,36	-	153,56	Pokryje AKU
15,00	0,89	2 767,26	2 207,97	559,30		
13,00	1,11	3 185,73	1 913,57	1 272,16		
10,00	4,11	3 813,43	1 471,98	2 341,45		
9,50	4,61	3 918,04	1 398,38	2 519,66		
13,00	1,11	3 185,73	1 913,57	1 272,16		
13,00	1,11	3 185,73	1 913,57	1 272,16		
11,00	3,11	3 604,19	1 619,18	1 985,02		
13,00	1,11	3 185,73	1 913,57	1 272,16		
14,00	0,11	2 976,50	2 060,77	915,73		

Příloha č. 3 – Ekonomické vyhodnocení projektu

Tabulka 34 – Výpočet ekonomických dat varianty I

		Var. I					12,23%
		Rozdíl				IRR	12,0930
	t	Náklady na energie	přínosy	Disk. CF	NPV		
-3133790	1	-349 275	349 275	335 841	-2 797 949	311 594	-2 822 196
359 753	2	-359 753	359 753	332 612	-2 465 337	286 317	-2 535 879
370 545	3	-370 545	370 545	329 414	-2 135 924	263 091	-2 272 788
381 662	4	-381 662	381 662	326 246	-1 809 678	241 749	-2 031 039
393 112	5	-393 112	393 112	323 109	-1 486 568	222 138	-1 808 900
404 905	6	-404 905	404 905	320 002	-1 166 566	204 119	-1 604 782
417 052	7	-417 052	417 052	316 925	-849 641	187 560	-1 417 221
429 564	8	-429 564	429 564	313 878	-535 763	172 346	-1 244 876
442 451	9	-442 451	442 451	310 860	-224 903	158 365	-1 086 511
455 724	10	-455 724	455 724	307 871	82 968	145 518	-940 993
469 396	11	-469 396	469 396	304 911	387 879	133 714	-807 279
483 478	12	-483 478	483 478	301 979	689 858	122 867	-684 412
497 982	13	-497 982	497 982	299 075	988 933	112 900	-571 512
512 922	14	-512 922	512 922	296 199	1 285 132	103 742	-467 770
528 309	15	-528 309	528 309	293 351	1 578 484	95 326	-372 444
544 159	16	-544 159	544 159	290 531	1 869 014	87 593	-284 851
560 483	17	-560 483	560 483	287 737	2 156 751	80 488	-204 364
577 298	18	-577 298	577 298	284 970	2 441 722	73 958	-130 405
594 617	19	-594 617	594 617	282 230	2 723 952	67 959	-62 446
612 455	20	-612 455	612 455	279 517	3 003 469	62 446	0

Tabulka 35 – Výpočet ekonomických dat varianty II

		Var. II					12,97%
		Rozdíl				IRR	12,8009
	t	Náklady na energii	přínosy	Disk. CF	NPV		
-4757170	1	-556 622	556 622	535 213	-4 221 957	493 455	-4 263 715
573 320	2	-573 320	573 320	530 067	-3 691 890	450 580	-3 813 135
590 520	3	-590 520	590 520	524 970	-3 166 919	411 431	-3 401 704
608 236	4	-608 236	608 236	519 922	-2 646 997	375 683	-3 026 021
626 483	5	-626 483	626 483	514 923	-2 132 074	343 041	-2 682 980
645 277	6	-645 277	645 277	509 972	-1 622 102	313 235	-2 369 744
664 636	7	-664 636	664 636	505 068	-1 117 033	286 019	-2 083 725
684 575	8	-684 575	684 575	500 212	-616 821	261 168	-1 822 557
705 112	9	-705 112	705 112	495 402	-121 419	238 476	-1 584 081
726 265	10	-726 265	726 265	490 639	369 220	217 756	-1 366 325
748 053	11	-748 053	748 053	485 921	855 141	198 835	-1 167 490
770 495	12	-770 495	770 495	481 249	1 336 389	181 559	-985 931
793 610	13	-793 610	793 610	476 621	1 813 011	165 784	-820 146
817 418	14	-817 418	817 418	472 038	2 285 049	151 380	-668 767
841 940	15	-841 940	841 940	467 500	2 752 549	138 227	-530 540
867 199	16	-867 199	867 199	463 004	3 215 553	126 217	-404 323
893 215	17	-893 215	893 215	458 552	3 674 106	115 250	-289 073
920 011	18	-920 011	920 011	454 143	4 128 249	105 236	-183 836
947 611	19	-947 611	947 611	449 777	4 578 026	96 093	-87 744
976 040	20	-976 040	976 040	445 452	5 023 478	87 744	0