

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV ENERGETICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

MODERNIZACE VÝTOPNY NA BIOMASU. MODERNIZATION OF BIOMASS HEAT PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARTIN SEDLÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. ZDENĚK SKÁLA, CSC.

BRNO 2008

1. Zadání

Abstrakt

Diplomová práce má za úkol posoudit vhodnost použití kogenerační výroby elektrické energie a tepla v Bystřici nad Pernštejnem, která zatím využívá pouze teplo z obecní vytápny na biomasu. Text je koncipován tak, aby popsal zákonitosti a potenciál obnovitelných zdrojů i možnosti využití kombinované výroby elektřiny a tepla jak v České republice tak v Evropském a světovém rámci aktuálních událostí.

Z úvodních obecných kapitol vychází samotné řešení konkrétního příkladu využívání obnovitelných zdrojů v Bystřici nad Pernštejnem. Postupně jsou analyzovány současné instalované zařízení, potenciál biomasy jako základního palivového zdroje pro budoucí projekty a možnosti rozšíření stávajícího portfolia energetických zdrojů v obci. Na tomto základě jsou navrženy tři v úvahu přicházející varianty, pro něž je proveden základní návrh cyklu a vyhodnocení po ekonomické stránce a vysloveny závěry o vhodném dalším postupu města.

Abstrakt

The thesis examines the suitability of a CHP project in Bystřice nad Pernštejnem, a small town in Vysočina region, Czech Republic, which is currently supplied by biomass central heating. It reviews situation and availability of renewable energy sources and opportunities for CHP both in the Czech Republic and in Europe, including the context of current global developments.

The opening chapters are followed with the renewable energy project for Bystřice nad Pernštejnem itself. The current technology, availability of biomass fuel for a potential future project, and possible development of energy sources in the town are analysed. Three alternative solutions for the CHP plant are suggested, with proposal for the technology and economic analysis, and possible future steps of the town council are discussed.

Klíčová slova

biomasa, obnovitelné zdroje energie, kotel, kogenerace, organický Rankinův cyklus (ORC), energetická bezpečnost, decentralizace

Key words

biomass, renewable source energy, boiler, combined heat and power, organic Rankin cycles (ORC), energy security

4. Bibliografická citace závěrečné práce

SEDLÁK, M. *Modernizace výtopny na biomasu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 111 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Modernizace vytápny na biomasu**, vypracoval samostatně a bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

V Brně, dne 17. října 2008

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád směřoval několik díků. První patří všem vyučujícím z Energetického ústavu Fakulty strojní Vysokého učení technického v Brně, kteří se podíleli na mé odborné přípravě. Jmenovitě si dovolím poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Skálovi, CSc.

Druhý dík je určený mým kolegům ze zaměstnání, kteří mi pomohli rozšířit obzory o nové zkušenosti na poli energetické politiky, environmentálních, ekologických a ekonomických aspektů energetiky. Toto poděkování je určeno zejména Mgr. Vojtěchu Koteckému, Ing. Edvardu Sequensovi a Mgr. Petru Holubovi.

V neposlední řadě bych rád poděkoval mým rodičům za finanční i morální podporu během mého studia. Neopomenutelná je role mých blízkých, kteří mne přiměli k dokončení studia.

OBSAH

ČÁST A

ÚVOD	11 -
1. Obnovitelné zdroje energie	12 -
1. 1. Obnovitelné zdroje v České republice.....	12 -
1. 2. Energetická bezpečnost.....	16 -
1. 3. Decentralizace energetických systémů.....	18 -
1. 4. Energetika a globální klimatické změny.....	20 -
2. Biomasa.....	22 -
2. 1. Rozdělení biomasy a vztah mezi energetickými plodinami a agropalivy..	22 -
2. 2. Potenciál biomasy v České republice	24 -
2. 3. Energetické plodiny: rozdělení a sklizeň	26 -
2. 4. Zhodnocení biomasy	27 -
3. Společná výroba elektrické energie a tepla	29 -
3. 1. Kombinovaná výroba energie	29 -
3. 2. Hodnocení Kombinované výroby energie a tepla.....	32 -
3. 3. Technologie pro KVET	34 -
3. 4. Přínos kogenerace pro životní prostředí.....	35 -
3. 5. Potenciál kogenerace v mezinárodních souvislostech.....	36 -

ČÁST B

1. Modernizace vytápění na biomasu	39 -
1. 1. Obecný úvod do kontextu úkolu.....	39 -
1. 2. Lokalizace Bystřice nad Pernštejnem	39 -
1. 3. Současné tepelné zdroje města.....	41 -
1. 4. Zdroje biomasy pro potřeby CZT Bystřice nad Pernštejnem	44 -
1. 5. Teoretické možnosti výroby elektřiny v Bystřici nad Pernštejnem	51 -
2. Konkrétní návrhy zdrojů pro výrobu elektřiny v Bystřici nad Pernštejnem.....	57 -
2. 1. Doplnění či stavba nových zařízení na stávajícím místě.....	56 -
2. 2. Varianta B: Modernizace kotlů a doplnění o protitlakou turbínu.....	57 -
2. 3. Varianta B: Výstavba nového zdroje v blízkosti stávající lokality.....	59 -

2. 3. 1. Varianta B 1: ORC 200 kW _e , kotel 1,5 MW _t	- 64 -
2. 3. 2. Varianta B 2: ORC 600 kW _e , kotel 3,5 MW _t , 4 800 hodin.....	- 71 -
2. 3. 3. Varianta B 3: ORC 600 kW _e , kotel 3,5 MW _t , 7 500 hodin.....	- 78 -
2. 4. Ekonomická analýza z hlediska investora (Varianta B 3).....	- 82 -
2. 5. Varianta C: Výstavba nového zdroje v průmyslové zóně.....	- 87 -
2. 6. Návrh na změnu nastavení výkupních cen energie z biomasy.....	- 88 -
2. 7. Teoretické posouzení varianty s prodejem tepla.....	- 93 -
Závěr.....	- 99 -
Seznam použitých zdrojů.....	- 101 -
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	- 103 -
Přílohy.....	- 106 -

ÚVOD

Úkolem této diplomové práce je navrhnout modernizaci vytápny městského zařízení nalézajícího se v Bystřici nad Pernštejnem. Vychází z požadavku politické reprezentace města, která zvažuje rozšíření stávající instalované vytápny o technologii umožňující společnou výrobu tepla i elektřiny z obnovitelných zdrojů energie – dřevní biomasy.

Stávající vytápna, tvořená dvěma kotli od rakouské firmy URBAS o celkovém výkonu 9 000 kW, zásobuje produkovaným teplem 1 500 bytů, školy, sportoviště a úřady. Pro optimalizaci provozního režimu kotlů je do soustavy nainstalován akumulátor tepla o kapacitě 350 m³. Palivem používaným v kotelně je zejména dřevní štěpka.

Nyní městští zastupitelé zvažují investice do rozšíření stávající vytápny o zařízení umožňující společnou výrobou tepla a elektřiny. Jako vhodné zařízení se jeví navržený organického Rankinova cyklu, který představuje aplikaci typickou ve spojení s kotelnami na biomasu. Je-li primární energie v palivu (biomase) využita jednak na výrobu tepla, ale i elektrické energie, dosahuje celková účinnost kogeneračního systému ORC přibližně 85 %. Jako teplotnosné médium v ORC slouží silikonový olej (termoolej).

Pro použití ORC v lokalitě Bystřice nad Pernštejnem hovoří také omezené místo v areálu vytápny, protože technologie ORC představuje standardizované modulové (stavebnicové) uspořádání. K dalším výhodou mimo zmíněného stavebnicového uspořádání jednotlivých částí celku pro produkci elektrické energie patří nenáročnost na obsluhu, absence převodovky, vysoká účinnost při nižších tepelných spádech atd. Za nevýhody můžeme považovat fakt, že tato technologie není dosud příliš rozšířena, a v důsledek toho jsou i vyšší investiční náklady.

Proto je v tomto diplomovém projektu řešena modernizace stávající vytápny právě návrhem systému využívajícím organický Rankinův cyklus. Práce tedy obsahuje jak návrh technického řešení, tak kalkulaci ekonomickou pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla (KVET). K dalším důležitým částem patří zdroje financování tohoto projektu a návrhy odkud lze získat prostředky.

Celé řešení konkrétního případu v Bystřici nad Pernštejnem vychází z úvodních kapitol v, kterých je podrobně diskutována role obnovitelných zdrojů energie s důrazem na potenciál a možnosti využití biomasy. Rámec obnovitelných zdrojů je zasazen do souvislostí environmentálních (globální klimatické změny) a mezinárodně politických (z pohledu energetické bezpečnosti jako problému závislosti na dodávkách paliv).

Popis souvislostí vyplývajících ze současné situace v energetice a srovnání s jinými zdroji energie má za cíl objektivně popsat obnovitelné zdroje energie a jejich šance na pokrytí energetických potřeb v České republice s ohledem na naše zapojení v Evropské unii.

ČÁST A

1. Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou energetické zdroje, které má člověk v přírodě volně k dispozici a jejich zásoba je z lidského pohledu nevyčerpatelná nebo se obnovuje v časových měřítcích srovnatelných s jejich využíváním – na rozdíl od tradičních fosilních či jaderných energetických zdrojů, které se vytvářely v rozpětí několika geologických období, ale mohou být vyčerpány během několika desetiletí až staletí [1].

OZE lze rozdělit do tří základních skupin podle druhu energie. Největší potenciál mají zdroje založené na dopadajícím slunečním záření. energii lze pak využít přímo (fototermické a fotovoltaické systémy), nebo v transformované podobě (vůtr, voda, biomasa). V další kategorii jsou zdroje založené na tepelné energii zemské jádra. Poslední skupinu tvoří zdroje založené na rotační a gravitační energii Země a okolních vesmírných těles (přilivová energie).

Využívání OZE s sebou nese velké množství ekologických a sociálních pozitiv. Přínosy lze stručně charakterizovat v bodech:

- ➔ Úspory energie z klasických zdrojů energie
- ➔ Decentralizace (lokální výroba i spotřeba energie) přinášející úspory ztrát při přenosu a rozvodu a bezpečnost dodávek energie v dané obci (regionu)
- ➔ Pozitivní vliv na zaměstnanost
- ➔ Snížení emisí (což mimo lepší životní prostředí nese i snížení nutných výdajů za emisní poplatky)
- ➔ Lepší image podniku, města, regionu v podobě dobrého vztahu k životnímu prostředí
- ➔ Při dobře zpracovaném projektu jde o ziskový vhodný podnikatelský záměr

K rozvoji obnovitelných zdrojů energie dochází v celosvětovém měřítku s geometrickým růstem. Pozvolné počátky se řadí do 70. let 20. století: první masivní využití větrných elektráren v Dánsku, postupně se přidává využití slunečního záření, ale také cílené využívání biomasy jak pro produkci elektrické energie, tak pro zásobování teplem v systémech centralizovaného zásobování teplem (CZT). Z technického hlediska je významná možnost společné výroby tepla a elektrické energie (kogenerace). Nejvýznamnějšího rozvoje dosahují obnovitelné zdroje v tomto desetiletí a v současné době jsme svědky dynamického růstu moderního odvětví.

V následujících podkapitolách diskutuji základní fenomény, které se dotýkají problematiky OZE. Jde o potenciál OZE, legislativní opatření, brzdy a příležitosti. K důležitým tématům patří také hlediska energetické bezpečnosti, možnosti decentralizace produkce energie (elektrické i tepelné) a globální změny klimatu.

1.1. Obnovitelné zdroje v České republice

Také v České republice existuje nezanedbatelný potenciál OZE. Jedná se zejména o energii z biomasy, větru, slunce, vody a země (geotermální + nízkopotencionální energie prostředí). K rozvoji OZE dochází po roce 2005, kdy byl přijat zákon na podporu výroby elektrické energie

z OZE č. 180/2005. Samotný nárůst lze však počítat až od roku následujícího, kdy zákon vešel v praxi.

Elektrická energie z OZE (v roce 2007):

Dle dat zprávy ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) [2] pro rok 2007 byl podíl hrubé výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na tuzemské hrubé spotřebě elektřiny 4,7 %. Na celkové tuzemské hrubé výrobě elektřiny se hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů podílela 3,9 %. Podíl obnovitelné energie na primárních energetických zdrojích činil 4,77 %.

Tab. 1: Současné využití energie z OZE v roce 2007 (zdroj: MPO 2007, [2])

Výroba elektřiny z OZE v roce 2007

	Hrubá výroba elektřiny	Dodávka do sítě / netto výroba	Podíl na zelené elektřině	Podíl na hrubé dom. spotřebě elektřiny	Podíl na hrubé výrobě elektřiny
	MWh	MWh	%	%	%
Vodní elektrárny	2 089 600,0	2 080 800,0	61,24%	2,90%	2,37%
Malé vodní elektrárny do 1 MW	520 500,0	b.d.	15,25%	0,72%	0,59%
Malé vodní elektrárny od 1 do 10 MW	491 600,0	b.d.	14,41%	0,68%	0,56%
Velké vodní elektrárny nad 10 MW	1 077 500,0	b.d.	31,58%	1,50%	1,22%
Biomasa celkem	968 062,9	403 706,1	28,37%	1,34%	1,10%
Štěpka apod.	427 531,2	326 239,7	12,53%	0,59%	0,48%
Celulózoové výluhy	474 571,1	20 931,7	13,91%	0,66%	0,54%
Rostlinné materiály	26 415,3	24 158,7	0,77%	0,04%	0,03%
Pelety	39 211,3	32 042,0	1,15%	0,05%	0,04%
Ostatní biomasa	334,0	334,0	0,01%	0,00%	0,00%
Bioplyn celkem	215 223,0	138 485,0	6,31%	0,30%	0,24%
Komunální ČOV	70 865,4	14 496,6	2,08%	0,10%	0,08%
Průmyslové ČOV	3 291,6	818,0	0,10%	0,00%	0,00%
Bioplynové stanice	43 248,2	30 881,4	1,27%	0,06%	0,05%
Skládkový plyn	97 817,8	92 289,0	2,87%	0,14%	0,11%
Tuhé komunální odpady (BRKO)	11 975,1	5 074,0	0,35%	0,02%	0,01%
Větrné elektrárny	125 100,0	124 700,0	3,67%	0,17%	0,14%
Fotovoltaické systémy (odhad)	2 127,0	1 800,0	0,06%	0,00%	0,00%
Kapalná biopaliva	9,0	8,2	0,00%	0,00%	0,00%
Celkem	3 412 097,0	2 754 573,3	100,00%	4,74%	3,87%

Pozn.: u větrných, vodních a solárních elektráren uvedena netto výroba dle ERÚ.

Pramen: MPO, ERÚ

Tepelná energie z OZE (v roce 2007):

V roce 2007 činila produkce tepelné energie z OZE 50 014 849 GJ. Největší podíl zaujímá pevná biomasa (91 %), v domácnostech se jí spotřebovalo přibližně 30 PJ, v teplárnách, výtopnách a dalších technologických provozech 16 PJ. Zbývající tepelnou energii vyprodukovaly bioplynové stanice, tepelná čerpadla a solární kolektory [2].

Budoucnost obnovitelných zdrojů v ČR – indikativní cíle:

Česká republika patří mezi státy EU, které mají nejvyšší emise na jednotku HDP. Například srovnávací statistika Evropské komise (EK) nás v roce zařadila na čtvrté místo ze států s nejhoršími exhalacemi oxidu uhličitého na obyvatele ze všech 25 zemí EU [3].

V přístupových jednáních do EU se Česká republika zavázala k snížení emisí. Jako jedno z řešení účinného boje proti rostoucím emisím a změnám klimatu vznikl v roce 2005 zákon na podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. ČR se v tomto zákoně přímo zavazuje: *"Vytvořit podmínky pro naplnění indikativního cíle podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny v České republice ve výši 8 % k roku 2010 a vytvořit podmínky pro další zvyšování tohoto podílu po roce 2010."* [4].

Při porovnání závazků v rámci států EU zjistíme, že náš cíl není nijak ambiciózní. Státy jako Irsko, Dánsko, Belgie či Spojené království by měly v roce 2010 dosáhnout tří až pětinasobného zvýšení tohoto podílu oproti roku 2000. Dle statistiky MPO dosáhl u nás v roce 2004 podíl hrubé výroby elektřiny na tuzemské spotřebě elektřiny 4 %.

Zákon 180/2001 otevřel cestu na český trh větrným či malým vodním elektrárnám, spalování biomasy nebo sluneční energii. Jeho primárním cílem je snížit exhalace oxidu uhličitého zhruba o 4 miliony tun. Díky němu vzniknou v české ekonomice investice ve výši asi 50 miliard korun do roku 2010. Smyslem zákona je vnést moderní prvky do naší energetiky a vytvořit tisíce nových pracovních míst. Přitom dopad na cenu bude jen v řádu několika procent, zanedbatelný ve srovnání s jinými vlivy na trhu. Podnikatelé, kteří se rozhodnou postavit zařízení na výrobu čisté energie, budou díky němu mít dlouhodobě garantovanou výkupní cenu své elektřiny, což zajistí návratnost investic, a umožní přístup k bankovním úvěrům.

Výše podpory čisté energie vychází z prováděcích vyhlášek, které k zákonu připravuje Energetický regulační úřad. Stanovuje v nich pravidla pro výpočet výkupních cen a zejména ceny samotné. Právě výkupní ceny jsou nejdůležitějším parametrem celého systému podpory.

Dalším nástrojem pro podporu čisté energie je tzv. klimaticko-energetický balíček EU, který vzniká v průběhu roku 2008 na půdě Evropského parlamentu. Návrh tvoří směrnice o podpoře užívání energie z obnovitelných zdrojů. Směrnice obsahuje závazný cíl využívat v roce 2020 v unijním průměru 20 % produkované energie z obnovitelných zdrojů. Současně má všechny členské státy zavazovat cíl navýšení podílu energie z obnovitelných zdrojů v oblasti dopravy na 10 % konečné spotřeby.

V návrhu pro ČR navrhuje Evropská komise, aby obnovitelné zdroje v roce 2020 dodávaly dohromady 13 procent veškeré energie (elektřiny, tepla i motorových paliv). Avšak podle studie zpracované pro ministerstvo životního prostředí i Nezávislou energetickou komisi vyplývá, že by šlo dosáhnout přinejmenším 18 procent [5]. Třináctiprocentní cíl proto zdaleka nevyužívá možností, které český průmysl má.

Dalším základním pilířem pro Českou republiku je Statní energetická koncepce (SEK). V současné době v ČR platí koncepce schválená vládou dne 10. 3. 2004. SEK definuje priority a cíle České republiky v energetice a popisuje konkrétní realizační nástroje energetické politiky státu. Její součástí je i výhled do roku 2030 a definice tří hlavních priorit: nezávislosti, bezpečnosti a udržitelného rozvoje. Podpora výroby elektřiny a tepelné energie z obnovitelných zdrojů energie je cíl s velmi vysokou prioritou a v SEK je i stanoven dlouhodobý cíl: dosáhnout 15–16% podílu OZE v celostátní bilanci primárních energetických zdrojů v roce 2030 [6].

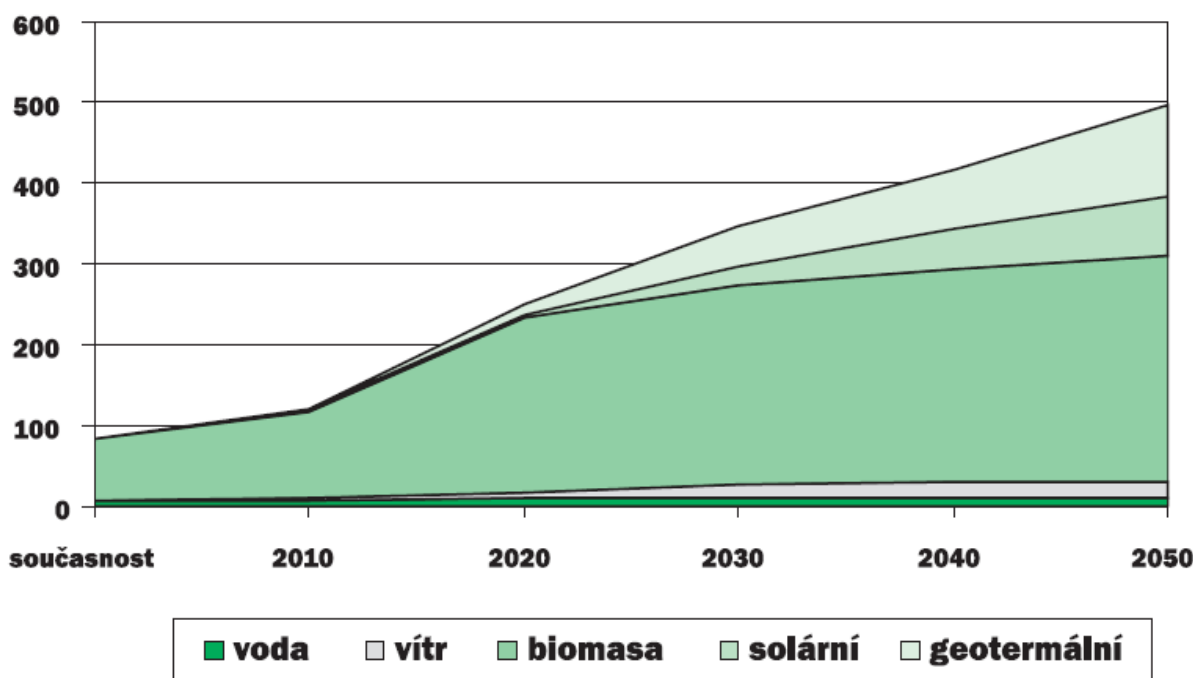
Pro úplnost je třeba dodat, že v letech 2007 až 2008 ustanovila vláda Nezávislou energetickou komisi (NEK), složenou z expertů jednotlivých politických stran. Úkolem komise je zpracovat rámec pro dlouhodobou energetickou strategii České republiky a předložit vládě doporučení

k jejímu dopracování a realizaci [7]. Oponovaná zpráva s doporučeními má být zveřejněna na přelomu října a listopadu 2008.

Potenciál obnovitelných zdrojů energie v ČR:

Pro ČR existují studie, které propočítaly, že veškerý potenciál OZE – reálně dosažitelný do roku 2050 – činí 498 PJ. To je skoro 30 % primární energie, která je třeba k pokrytí potřeb české ekonomiky. Největší díl zabírá spalování biomasy – přibližně 56 %. Dále se budou rozšiřovat možnosti geotermální energie, která má šanci do roku 2050 překročit 20 % v podílu OZE. Větrné elektrárny mají reálnou šanci produkovat 2,5 TWh čisté elektřiny. To je přibližně dvacetinásobek dnešního stavu [5]. Vývoj od současného stavu do roku 2050 ilustruje **Obr. 1**.

Důležitou roli bude hrát sektor tepla: vytápění biomasou, ohřev vody, využití potenciálu geotermální energie a topení solárními kolektory. Dojde-li k redukci plánů náhrady ropy morovými biopalivy, bude ještě podstatnější prostor k pěstování energetických plodin pro teplárny a elektrárny.



Obr. 1: Primární energie z obnovitelných zdrojů energie do roku 2050 (zdroj: Motlík)

Brzdy a příležitosti OZE:

Faktory ovlivňující využití potenciálu obnovitelných zdrojů energie mohou být brzdou jejich rozvoje, ale při správném nastavení se v nich skýtají příležitosti k rozvoji. Studie [5] definuje šest základních faktorů:

- ➔ Legislativní prostředí
- ➔ Doba výstavby
- ➔ Doba životnosti projektu

- ➔ Vývoj cen energií
- ➔ Bezpečnostní politika státu
- ➔ Technická specifika výstavby a provozu

Jednou z podstatných bariér širšího uplatnění potenciálů OZE v české energetice je absence zákona na podporu obnovitelného tepla. Přijetí zákona by mělo položit základy k rozvíjení odvětví, jako tomu bylo po přijetí legislativy na podporu výroby čisté elektřiny (zákon 180/2001). Proto je třeba přijmout zákon, který by obsahoval koncepční podpůrný systém. Nová legislativa tak pomůže výrobě tepla z obnovitelných zdrojů: biomasy, geotermální či solární energie. Jedním z nabízených řešení jsou pevně a na dlouhou dobu stanovené příplatky ke každému vyrobenému gigajoulu čistého tepla. Mechanismus by byl vztažen na střední a větší zdroje v obcích, podnicích a pro vytápění bytových domů.

Účelem nové legislativy však není a nebude soustavné pokrytí rozdílu mezi náklady na výrobu zelenou energií a z fosilních zdrojů. Podporu je třeba chápat jako cílený výchozí podnět k investicím do odvětví. Nové technologie a masovější výroba postupně sníží ceny, takže obnovitelné zdroje časem budou moci konkurovat bez státní intervence. Cenové trendy v odvětví elektřiny z obnovitelných zdrojů potvrzují, že takový postup funguje.

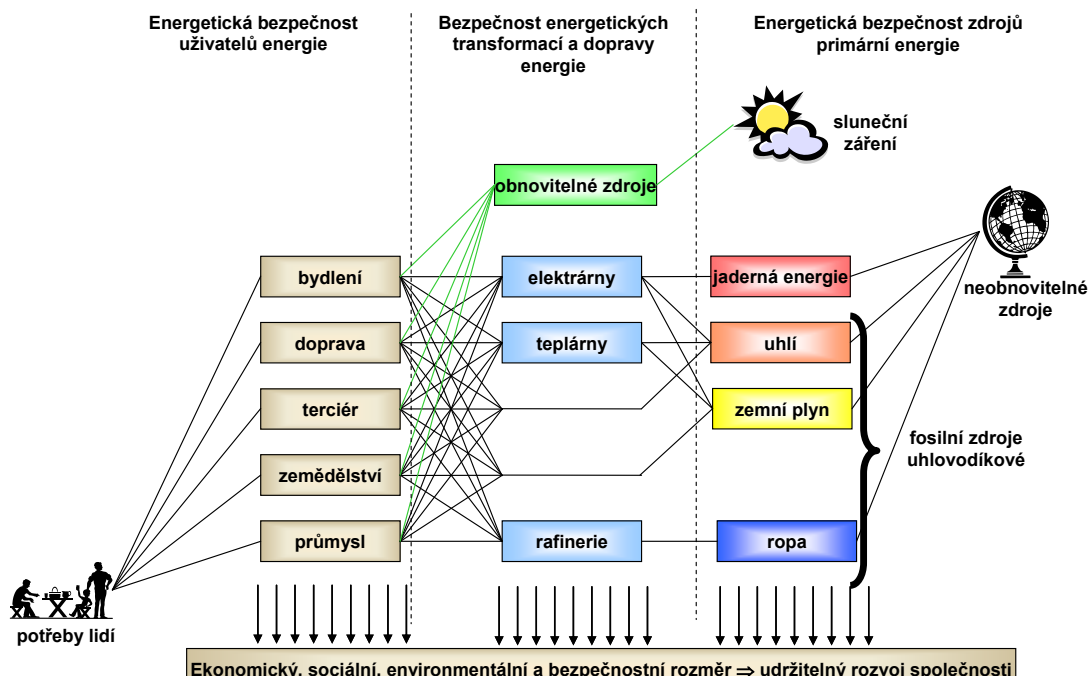
Mezi účinné nástroje, které ve vedlejších efektech podporují produkci čisté energie, patří ekologická daňová reforma. V ní jde o přesun daňového zatížení z práce na využívání fosilních zdrojů energie.

1.2. Energetická bezpečnost

Česká republika patří mezi vyspělé státy světa a proto mezi základní otázky, které si musí klást, patří bezpečnost dodávek energie. Náš každodenní život i ekonomika jsou zcela závislé na pravidelných a nepřetržitých dodávkách energie. Plynulost systému může být ohrožena nenadálým aktem (teroristický útok na energetická zařízení) nebo vlivem přírodní katastrofy (orkány, v ČR například Kyrill v roce 2007), ale také jevy vyplývající ze spolehlivosti dodávek surovin nutných pro produkci energie. ČR je surovinově závislá na ropě, zemním plynu i jaderném palivu. Problém je také závislost na jednom strategickém zahraničním dodavateli – Rusku. To se v současném mezinárodně-politickém kontextu jeví jako rizikové.

Energetickou bezpečnost je tedy nutno řešit v široké soustavě výše nastíněných jevů. Ty je nutno spojit s předpokladem společnosti, která od energetiky očekává především spolehlivost dodávek energie (elektřiny, tepla a paliv), snižování spotřeby (což má pozitivní efekt v nižších účtech ale také snížení emisí) a konečně volbu takových energetických systémů, co způsobují minimální škody na životním prostředí. Státní energetická politika by měla napomáhat splnění těchto předpokladů.

Energetickou bezpečnost lze rozdělit na tři témata odpovídající třem subsystémům energetiky [8]: bezpečnost zajištění energetických zdrojů, bezpečnost energetických transformací a dopravy energie, energetická bezpečnost konečných uživatelů energie. Vzájemnou propojenost energetických zdrojů a jednotlivé energetické subsystémy – viz: **Obr. 2.**



Obr. 2. Energetický systém a zajištění bezpečnosti (zdroj: Cityplan: Energetická bezpečnost)

Při pohledu na grafické znázornění energetického systému (Obr. 2) lze vypožorovat, že nejjednodušší a tedy z hlediska energetické bezpečnosti (zranitelnosti – ztráty dodávek surovin) jsou obnovitelné zdroje. Je to dáno především jejich z velké části místní produkci a spotřebě.

Obnovitelné zdroje v kombinaci s energetickou efektivitou (snižování spotřeby energie v domácnostech, terciárním sektoru i průmyslu) představují významné příležitosti k snížení závislosti na neobnovitelných zdrojích energie. A to především z pohledu bezpečnosti dodávek a snižování rizika výpadku dodávek surovin z rizikových oblastí, na kterých je Česká republika závislá. V roce 2005 i v roce 2006 dosáhla energetická závislost ČR (vč. započtení jaderného paliva) výše 42,1 % (zdroj: ČSÚ). Například v elektroenergetice se tato závislost vztahuje na přibližně 33 % naší spotřeby elektřiny v podobě dodávek jaderného paliva z Ruska. V případě teplárenství a dalších průmyslových potřeb je Česká republika závislá téměř 100 % na dodávkách zemního plynu, naprostou většinu opět dodává Rusko.

Právě ve snižování závislosti na rizikových regionech hrají OZE významnou roli z pohledu bezpečnosti. Jsou místně dostupné, tedy nezávislé na dovozu.

Dalším důležitým faktorem pro posílení energetické bezpečnosti je diverzifikace zdrojů. Toho dosáhneme vhodnou volbou energetického mixu primárních energetických zdrojů: uhlí, ropy, zemního plynu, uranu a obnovitelných zdrojů energie. Spolu s tímto problémem musí však být také řešena diverzifikace dovozních cest energetických surovin s důrazem na odstranění dominantních dodavatelů surovin nebo úplné nahrazení dovážených surovin domácími zdroji, s důrazem na jejich udržitelnost.

Již nyní existují účinná opatření vedoucí k využití potenciálu energetické efektivity (účinné technologie, snižování energetické náročnosti průmyslu), moderních technologií obnovitelných zdrojů (v českých podmínkách lze uvažovat nad větrem, biomasou a sluneční energií).

1.3. Decentralizace energetických systémů

Obnovitelné zdroje jsou po planetě rozloženy rovnoměrněji než konvenční zdroje energie (uhlí, uran, zemní plyn). Tento fyzikální jev je základní podmínkou pro úspěšnou aplikaci decentralizovaného principu produkce elektrické energie a tepla.

Decentralizace, kterou umožňují obnovitelné zdroje energie, přináší další pozitivní efekty: sníží lokální znečištění, přináší nové investice dávající šanci českému zemědělství a průmyslu, realizované projekty přináší zisk buď přímo obci, nebo mohou pobírat rentu. Dalším pozitivním efektem je vytvoření nových pracovních míst.

Tedy místní využívání obnovitelných zdrojů energie vede k větší ekonomické a politické decentralizaci i soběstačnosti ve smyslu posílení rozhodovacích pravomocí a ekonomické nezávislosti místních komunit (obce, regionu).

Ekonomické a environmentální přínosy decentralizované výroby energie ukazují například výstupy z modelu pro ekonomické modelování energetického systému z dílny World Alliance for Decentralized Energy (WADE) z roku 2002 [9]. Hlavní kladné faktory jsou vyšší provozní efektivita a nižší systémové ztráty. K dalším plusům se řadí nižší nároky na investice do dopravy, dodávek paliva a nižší emise oxidu uhličitého.

Decentralizace s sebou také přináší další podstatný pozitivní efekt: odstranění monopolních producentů energie a přechod na liberalizovaný trh s nastavením férových podmínek. To umožní přístup novým nezávislým výrobcům do sítě a odstraní jejich diskriminaci. S tímto jevem jsou také spojeny nové formy energetického vlastnictví: od místních podnikatelů, obecních zařízení nebo družstevní podílnictví po zdroje vlastnění jednotlivci. Tento přístup s sebou nese vyšší míru odpovědnosti k energetickým potřebám, ale také nezávislost a vyšší soběstačnost [10].

Cílem decentralizace není vytvoření odříznutého energetického systému od ostatních dodávek energie zvenčí, ale dosažení tzv. čisté dovozní nezávislosti. Jde tedy pak o ostrovní síť, kde elektroenergetická síť slouží k vyrovnávání aktuální výroby a aktuální spotřeby elektřiny v dané obci, regionu apod. [10]. V případě výpadku nadřazené soustavy mohou decentralizované zdroje fungovat v ostrovním provozu a zajišťovat energii pro svůj vlastní provoz a spotřebitele v okolí [11].

Decentralizace však musí zachovat rozumnou míru užití a aplikace by měla vynechat místa, kde je lepší zachovat centralizované síť. Jde například o města, kdy centralizované zásobování teplem umožňuje redukci místních emisí škodlivin a vyšší efektivitu procesu. Na druhou stranu lze ve městech s úspěchem umísťovat solární kolektory, které neemitují emise vůbec.

Přínos decentralizace z ekonomického pohledu je jednak v úspoře prostředků: energie je vyrobena „na místě“ a tam je i spotřebována. Peníze tedy zůstávají v regionu. Motivací pro obce je také přísun prostředků z daní.

K dalším kladným rysům patří vytvoření pracovních míst. Pro venkov to znamená šanci na rozvoj a zastavení odlivu populace za prací. Například v Dánsku větrná energetika zaměstnává 20 000 lidí, v Německu 70 000 [10]. Produkce biomasy pro vytápění, kogenerační stanice a elektrárny znamená šanci pro zemědělce i zpracovatele.

Tab. 2: Odhadovaný počet osob zaměstnaných v sektoru obnovitelných zdrojů energie (celosvětově) a vybrané příklady zemí (zdroj: [12])

Renewable Energy Source	World*	Selected Countries	
Wind	300,000	Germany United States Spain China Denmark India	82,100 36,800 35,000 22,200 21,000 10,000
Solar PV	170,000**	China Germany Spain United States	55,000 35,000 26,449 15,700
Solar Thermal	624,000-plus	China Germany Spain United States	600,000 13,300 9,142 1,900
Biomass	1,174,000	Brazil United States China Germany Spain	500,000 312,200 266,000 95,400 10,349
Hydropower	39,000-plus	Europe United States	20,000 19,000
Geothermal	25,000	United States Germany	21,000 4,200
Renewables, Combined	2,332,000-plus		

Pozn: část týkající se biomasy je tvořena produkcí elektřiny a tepla z energetických plodin, ale i biopaliv pro dopravu

Nesporným pozitivem decentralizace a samotného použití obnovitelných zdrojů je přímá demokratická kontrola, které podléhá jejich vybudování i provozování. Na počátku většiny projektů je aplikováno místní referendum nebo průzkum obce, o záměru hlasuje místní zastupitelstvo. Lze tedy konstatovat, že místní mají absolutní vliv na rozhodnutí o výstavbě OZE. Šance pro přijetí OZE (ať už větrných turbín, biomasy nebo solární elektrárny) se zvyšují, když je projekt připraven místní firmou. To ukazují pozitivní příklady z Dánska, Německa nebo Rakouska, kde téměř neexistuje odpor společnosti vůči OZE [10]. Mimo vlastnických kritérií do debaty vstupuje také vyšší míra uvědomování si globální odpovědnosti za stav životního prostředí.

Na druhé straně stojí jaderná nebo uhelná energetika. Například občané ve většině obcí v lokalitách dotčených vyhledáváním hlubinného úložiště myšlenku konečného řešení vysoceradioaktivního vyhořelého paliva v blízkosti jejich domovů odmítli, ale jejich názor neberou státní úřady v potaz (ani nemohou, ale dle zákona 18/1997, tzv. atomový zákon, je jediným účastníkem řízení stát, potažmo státem zřízený orgán). Stejně jevy lze vystopovat v severních Čechách, kde se již několik let brání městy Horní Jiřetín tlaku Mostecké uhelné společnosti, která chce pod obcí těžit hnědé uhlí (i přesto, že je v obci platné místní referendum,

v němž občané bourání obce odmítli a obec brání také tzv. ekologické územní limity vyhlášené za vlády premiéra Pitharta v roce 1991) [13].

Při využití energie větru a slunečního záření, je třeba vnímat jejich závislost na přírodních podmínkách. Řešením je pak záloha v síti nebo akumulace. Příkladem východiska k zajištění plynulého chodu mohou být již uvedený princip „ostrovních sítí.“

1.4. Energetika a globální klimatické změny

Proměny klimatu mají příčiny přirozené i umělé. Dle současného vědeckého poznání však panuje názor, že většinovým podílem jsou změny klimatu způsobeny lidskou činností. Emisní znečištění z různých druhů lidské činnosti, kde k dominantním patří energetika a doprava přispívající k rychlým změnám globálního klimatu. Podle čtvrté zprávy Mezinárodního panelu pro změny klimatu (IPCC) je s 90 % pravděpodobností příčinou oteplování pozorovaného po roce 1950 spalování uhlí, ropy a zemního plynu. Podle statistik dochází nejen k růstu průměrné teploty a počtu extrémně horkých dnů, ale také zvyšování hladiny oceánů, ubývání ledovců a dešťů v suchých částech světa.

Již zmíněná zpráva také předkládá možné následky globálních změn klimatu:

- ➔ Teplota se během 21. století zvýší o (1,8–4,0) °C, podle velikosti exhalací. Bude-li pokračovat světový ekonomický růst i závislost na fosilních palivech, bude se hodnota pohybovat kolem čtyř stupňů.
- ➔ Subtropické oblasti Afriky či Asie budou postihovat stále větší sucha.
- ➔ Častější budou vlny horka a extrémní, povodňové srážky.
- ➔ Tropické cyklóny – hurikány a tajfuny – budou dramatičtější; možná jich ovšem ubude.
- ➔ Takzvaná termohalinní cirkulace, teplý mořský proud v Atlantiku, který ohřívá evropské pobřeží, se během 21. století bude oslabovat, nejspíše asi o čtvrtinu. Je však velmi nepravděpodobné, že by náhle kolaboval.

Vědecké kapacity sdružené v IPCC se shodují, že už současné technologie umožňují snížit exhalace skleníkových plynů o desítky procent. Nejvyšší odhad nákladů odpovídá snížení růstu HDP asi o 0,12 procentního bodu ročně – a taková investice zabrání enormním ekonomickým škodám z globálních změn podnebí.

Panel však současně upozorňuje, že státy musí přijmout nové zákony k podpoře zavádění čistých technologií. OZE by mohly v roce 2030 dodávat 30–35 % světové spotřeby elektřiny. Opatření ovšem musí začít rychle. „Úsilí o snížení emisí během příštích dvou nebo tří desetiletí budou mít velký dopad na šance stabilizovat [koncentraci skleníkových plynů] na nižší úrovni“, varují ekonomové [14].

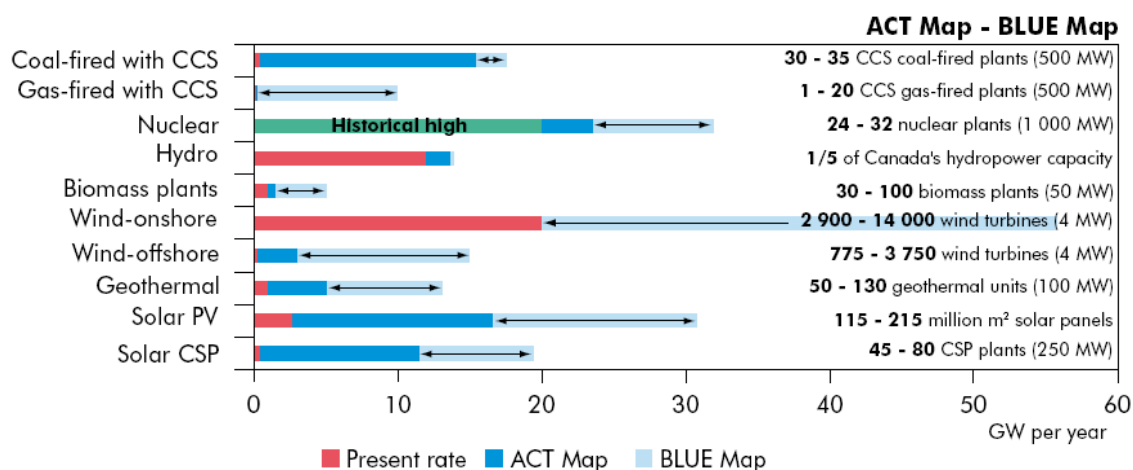
Pro nástin odvrácení klimatické hrozby existuje několik relevantních scénářů. Jedním z nich je zpráva publikovaná Mezinárodní energetickou agenturou (IEA) v červnu 2008: Energy Technology Perspectives [15]. V této publikaci IEA na žádost států G8 sledovala technologické trendy. Podle Mezinárodní energetické agentury budou hlavní roli ve snižování emisí oxidu uhličitého hrát především energetická efektivnost a rozvoj obnovitelných zdrojů. Studie propočítla, že už se současnými technologiemi je reálné do roku 2050 snížit emise oxidu uhličitého o 50 % (viz Obr. 3).

Přitom podle IEA:

- ➔ Lze počítat s tím, že 36 % z potřebného snížení emisí zajistí lepší energetická efektivnost ekonomiky – nové, vysoce efektivní technologie s nízkou spotřebou.
- ➔ Dalších 21 % z potřebného snížení exhalací dodají obnovitelné zdroje energie.
- ➔ Jaderná energetika může zajistit snížení emisí o šest procent.
- ➔ Zbytek tvoří hlavně ukládání uhlíku (CCS), přechod uhelných elektráren na relativně čistější paliva (hlavně zemní plyn) nebo větší účinnost při výrobě elektřiny z fosilních paliv.

Nutno podotknout, že 6% podíl jaderné energetiky na snížení emisí by byl podle zprávy IEA možný pouze v případě, že každý rok v letech 2005–2050 bude do provozu uvedeno 24–32 jaderných reaktorů, každý o výkonu 1000 MW.

Figure ES.3 ➤ Additional investment in the electricity sector in the ACT Map and BLUE Map scenarios (compared to the Baseline, 2005-2050)



Obr. 3: Výstavba zdrojů do roku 2050 pro snížení emisí oxidu uhličitého o 50 % (zdroj: [15])

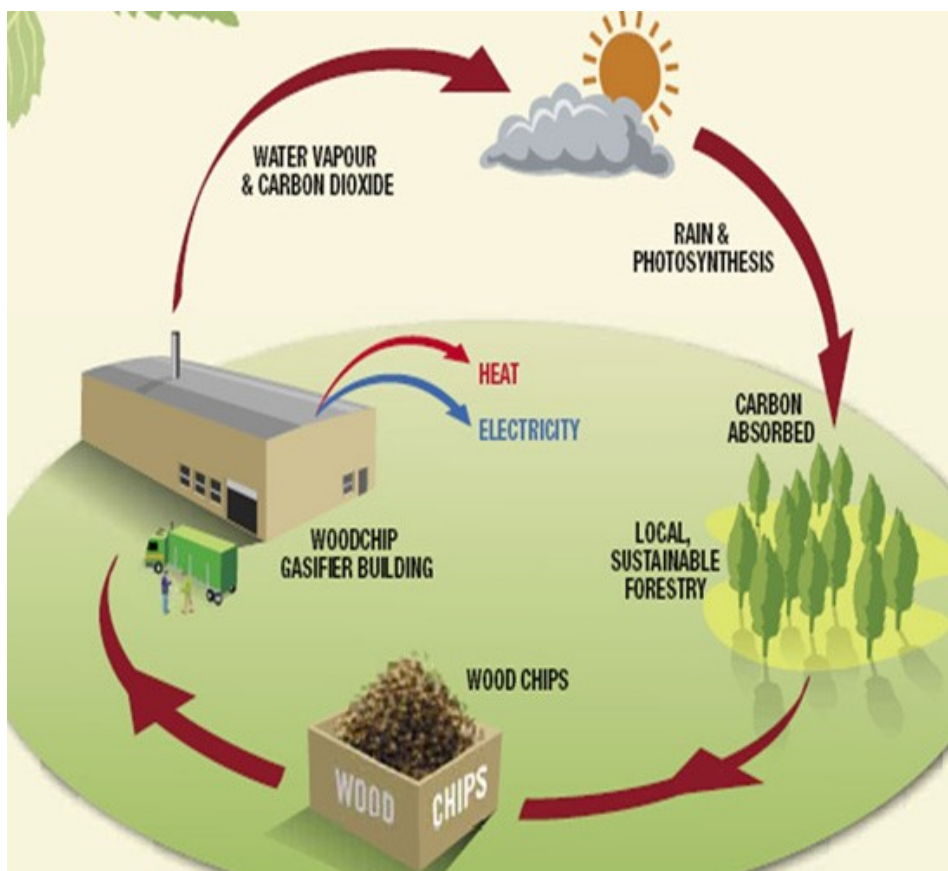
2. Biomasa

Důležitým zdrojem obnovitelné energie je biomasa. V českých podmínkách má nejširší potenciál i zastoupení v současné době. Biomasa také tvoří zdroj energie výtopny v Bystřici nad Pernštejnem a město s ním počítá také do budoucna. V této kapitole se diskutuje biomasa z obecného pohledu a základních aspektů, které se ji v dnešním čase dotýkají.

2.1. Rozdělení biomasy a vztah mezi energetickými plodinami a agropalivou

Biomasa vzniká díky dopadající sluneční energii. Jedná se o hmotu organického původu. Rostlinná biomasa je tvořena převážně celulórou, hemicelulózami a ligninem. Dále obsahují menší množství škrobu, terpeny, silice, oleje atd. Vždy je přítomna voda a anorganická sůl. Výhodou je nízký obsah síry, zejména u dřevní biomasy. Pro energetické účely se využívá buď cíleně pěstovaných rostlin, nebo odpadů z lesní a zemědělské produkce.

Mezi obnovitelné zdroje se biomasa řadí díky neutrální bilanci oxidu uhličitého. Při spalování biomasy sice CO_2 vzniká, ale rostliny jej opět spotřebovávají při svém růstu. Tímto dějem se vytváří uzavřený koloběh oxidu uhličitého na Zemi (vztaženo na biomasu). Množství biomasy se růstem rostlin neustále obnovuje a nedochází tak k narušování zdrojové základny, jako například u fosilních nebo uranových zdrojů, které jsou pouze odebírány bez možnosti obnovy. Koloběh využívání biomasy je iluzorně znázorněn na Obr. 4.



Obr. 4: Koloběh biomasy - dřevní štěpky (zdroj: www1.uea.ac.uk)

Klasické rozdělení biomasy je dle obsahu vody na suchou: dřevo a dřevní odpady, sláma – lze spalovat přímo nebo po vysušení. Mokrá: zejména tekuté odpady jako je například kejda – nelze přímo spalovat a využívá se v bioplynových stanicích. Speciální biomasa: olejnin, škrobové a cukernaté plodiny – lze z nich za pomoci speciálních technologií získat energetické látky pro využití v dopravě (bionafta, líh).

Tab. 3: Orientační hodnoty výhřevnosti v (kWh/kg) dle vlhkosti (zdroj: [16])

Palivo	Vlhkost	Výhřevnost
	W^r (%)	Q_l^r (kWh/kg)
Dřevo po těžbě z lesa	50	2,32
Dřevo po několikaměsíčním skladování	30	3,49
Dřevo po dlouhodobějším skladování	20	4,13
Sláma	16	3,95 – 4,31

Z pohledu diskuze o využití biomasy ke krytí energetických potřeb je třeba provést další rozdělení a definici pojmů spjatých s touto oblastí:

Energetické plodiny a dřeviny pro teplárny a elektrárny: zde se rozumí pěstování a následné případné zpracování biomasy, která je určena jako palivo pro teplárny či elektrárny nebo kogenerační zdroje. Jde o jednoleté nebo víceleté tzv. rychle rostoucí dřeviny cíleně pěstované pro využití v energetice

Zbytková (odpadní) biomasa: jedná se o dřevní odpady z lesního hospodářství, papírenství, dřevozpracujícího průmyslu, rostlinné zbytky ze zemědělské výroby (sláma, seno), odpady ze živočišné výroby (hnůj, kejda, zbytky krmiv). Odpadní biomasa se může využít přímo přeměnou na teplo spalováním nebo rozkladem na bioplyn a posléze až spálením na teplo.

Agropaliva pro dopravu: základem je pěstování škrobo-cukernatých rostlin (brambory, cukrová řepa, obilí, kukuřice), z kterých se vyrábí bionafta lisováním oleje ze semen řepky za působení vysokých teplot a katalyzátorů. Produktem kvašení organických materiálů s obsahem cukru a škrobu a následnou destilací se získává bioetanol.

Takto provedené rozdělení je důležité pro současný stav: Evropský parlament letos (v roce 2008) projednává návrh, aby každá země EU nahradila do konce příštího desetiletí 10 % ropy agropalivy. Toto řešení však vyvolává řadu nejasností a negativ, znamená také určitou nevýhodu pro energetické plodiny a dřeviny.

Aplikace agropaliv znamená především slabé snížení emisí (v ČR pouhá tři promile), ale také drahé opatření ke snížení emisí (snížení exhalací o jednu tunu pomocí větrných elektráren stojí ve srovnání s řepkovou bionaftou sedmkrát méně a zateplování rodinných domků je ještě levnější [17]). Podpora EU pro agropaliva v navrhované podobě pak může znamenat pouze podporu slabých současných technologií. Daleko důležitější by byla podpora pro energetické plodiny a dřeviny, kterou však zatím evropský parlament v konkrétní podobě nezabývá.

Zemědělská půda má omezenou plochu. Podstatnou část je třeba vyhradit na pěstování potravin. Zbývající je proto vhodné využívat co nejefektivnějším způsobem. Pěstování energetických plodin k výrobě elektřiny nebo tepla má daleko lepší výsledky než motorová agropaliva. Aplikace energetických plodin a dřevin vede ke snížení exhalací oproti fosilnímu palivu o více než 80 %, u tzv. rychle rostoucích dřevin dosahuje i 95 % [18]. Lze tedy konstatovat, že je

vhodnější využít jeden hektar půdy pro pěstování energetických plodin než k produkci řepky či kukuřice pro výrobu současných motorových paliv.

2.2. Potenciál biomasy v České republice

Při uvažování o potenciálu biomasy pro energetické účely je nutno definovat možnou plochu orné půdy pro zemědělskou biomasu – závisí na scénářích potravinové bezpečnosti, u lesní biomasy je důležité vymezit ponechání odpadu z těžby dřeva v lese – jako důležitý zdroj živin pro les, poslední zdroj biomasy tzv. „zbytková biomasa“ nemá žádná významná omezení.

Produkce bylinné biomasy v ČR dosáhla v roce 2007 přes 1 800 ha. Plochy s rychle rostoucími dřevinami zaujímají pouze 100 ha. Tedy z pohledu energetických potřeb spadá v současné době význam pouze na rostliny bylinného charakteru [19].

Studie zpracovaná Asociací pro využití obnovitelných zdrojů energie [5] vypočítává následující potenciál biomasy:

a) Zemědělská biomasa

Zemědělskou biomasu tvoří cíleně pěstovaná biomasa – obilniny, olejnin, trvalé travní porosty, rychle rostoucí dřeviny pěstované na zemědělské půdě a rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny. Zemědělská produkce biomasy s sebou nese řadu pozitivních efektů. Mezi základní patří snížení nezaměstnanosti, pozitivní přínos k údržbě krajiny, zadržení vody v krajině. Základním kladem (týkajícím se všech biopaliv) je vytěšňování fosilních zdrojů energie.

Tab. 4: Rozložení zemědělské půdy v ČR (Zdroj: ČSÚ 2006)

ČR	Zemědělská půda	Orná půda	Zahrady	Ovocné sady	Chmelnice	Vinice	Trvalé travní porosty
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
	4 259 479	3 047 251	161 813	46 990	10 966	18 669	973 790

Využití orné půdy ovšem musí vycházet ze scénářů potravinové bezpečnosti. Pro tyto odhady lze vyjít ze tří variant:

Varianta 1: Průměrný objem zemědělské produkce – vychází z průměrných hodnot osevních ploch, sklizní a hektarových výnosů v minulosti (1993-2006).

Varianta 2: Vychází z trendu využívání osevních ploch k produkci zemědělských plodin, přihlíží k nárůstu, resp. úbytku dle současného vývoje.

Varianta 3: Základem jsou podklady Ministerstva zemědělství ČR pro zajištění základní potravinové bezpečnosti.

Energetický potenciál ze zemědělské půdy pro uvedené varianty popisuje

Tab. 5.

Tab. 5: Energetický potenciál ze zemědělské půdy (zdroj: [5])¹

	Energie z orné půdy (bez slámy)	Energie slámy z potravinové produkce (orná půda)	Trvalé travní povrchy	Energie z ostatních ploch (zahrady a sady)	Celkem
	(PJ)	(PJ)	(PJ)	(PJ)	(PJ)
Varianta 1: Průměr	143	50,6	20	3,3	217
Varianta 2: Trend	181	49,7			255
Varianta 3: Potravinová bezpečnost	132	38,2			194

b) Lesní biomasa

Lesní biomasa (dendromasa) je představována palivovým dřevem, zbytky z dřevozpracujícího průmyslu, prořezávek a probírek. Pro využití v energetice je nutno věnovat pozornost manipulačním a dopravním nárokům (nákladům) a zohledňovat lokální dostupnost zdroje. Pro správnou funkci lesa je třeba ponechat odpad z těžby dřeva na místě.

Ročně se v ČR vytěží 17 678 268 000 metrů kubických, uvažováno bez kůry (ČSÚ 2007). Odhad potenciálu dendromasy v ČR uvádí Tab. 6

Tab. 6: Odhad potenciálu lesní biomasy v ČR (zdroj: [5])

Odhad potenciálu dendromasy v ČR	Koeficient	Celkem (tis. m ³)
Těžba dřeva		17 678
Zbytky po těžbě v lese	0,1	1 768
Dřevní odpad ze zpracování dřeva a dřevařské výroby	0,25	4 420
Probírky	0,25	4 420
Prořezávky	0,005	88
Dendromasa pro energetiku a ostatní průmyslové využití		10 695

Potenciál lesní biomasy přepočítaný na energetickou hodnotu pro 10,7 miliónů m³ dřevní hmoty činí **84 PJ**. Je však nutno uvažovat s dalším materiálovým využitím druhotné dendromasy, převážně lesní štěpky, pro výrobu dřevovláknitých desek. Možnosti energetického využití lesní biomasy se pak sníží na cca **50 PJ**.

¹ U plodin z orné půdy je uvažována výhřevnost 120 GJ/ha, u slámy a sena z travních porostů 14 MJ/kg.

c) Zbytková biomasa

Ve zbytkové biomase je zahrnut široké spektrum druhů biomasy, které vznikají při zpracovávání primárních zdrojů rostlinného nebo živočišného průvodu. Hlavní objem zbytkové biomasy pochází z výroby potravin a třídění komunálního odpadu. Zvláštní položku tvoří exkrementy chovných zvířat, k energetickému zpracování této mokré biomasy je třeba dalšího zpracování.

Celkový energeticky využitelný potenciál zbytkové biomasy lze odhadnout na **35 PJ**.

Souhrn potenciálu pro ČR

Při sečtení jednotlivých zdrojů biomasy dostáváme číslo reálně využitelného potenciálu biomasy v ČR pro energetické účely v dlouhodobém horizontu: 280 PJ. Rozdělení jednotlivých sektorů viz **Tab. 7**.

Tab. 7: Potenciál biomasy v ČR (zdroj: [5])

Biomasa	PJ
Zemědělská	194
Lesní	50
Zbytková	35
Celkem	279

2.3. Energetické plodiny: rozdělení a sklizeň

a) Rozdělení

Jednoleté

Základní plodiny: obiloviny, řepka, konopí, len, lnička a další alternativní olejnin, topinambury aj. Pro zemědělce neznámá pěstování těchto plodin pro energetické účely žádné větší investiční zatížení, neboť není třeba speciální technika (odlišná od stávající pro pěstování potravinářských plodin). Kladem je také udržování orné půdy v dobrém stavu a přechod na pěstování potravinářských plodin není problémem. Pěstování plodin typu lnička, saflor, případně i konopí, vedle energetické skýtá i využití částí rostlin pro jiné účely.

Víceleté a vytrvalé

Základní plodiny: ozdobnice čínská, chrastice rákosovitá, křídlatka japonská, rákos obecný aj. Přínosem tohoto typu energetických plodin je ochrana půdy proti erozi. Při jejich pěstování je půda pod vegetací chráněna celoročně a plodiny brání odplavování půdy. Jako ekonomicky výhodné se jeví pěstování energetického šťovíku, chrastice rákosovitá, případně i kostrava.

Rychle rostoucí dřeviny

Základní plodiny: topoly, vrby, olše aj. Počátky pěstování rychle rostoucích dřevin spadají do doby před dvaceti lety. Nejdále jsou s touto formou hospodaření ve Švédsku, Velké Británii, Rakousku a Německu a také v některých oblastech Severní Ameriky. Pro naše klimatické podmínky se jeví jako výhodné některé klony topolů a vrb. Prostory s rychle rostoucími dřevinami se označují jako energetické plantáže nebo energetický les. Produktem plantáží je dřevní biomasa, kterou je nutno pro využití v energetice štěpkovat. Obmýtní doba je 2 až 8 let vegetačního období, životnost plantáže 15-20 let. V našich podmínkách se dosahuje výtěžnosti 10 t/ha [20].

b) Sklizeň a manipulace po sklizni

Důležitým kritériem pro energetické využití biomasy je obsah vody. Sklízí-li se biomasa v období tvorby největšího množství hmoty, pak se obsah vody pohybuje v intervalu 60-70 %. Proto se pro účely přímého spalování biomasa dosouší přímo na poli nebo uměle v sušárnách. V podzimním období sklizně je obsah vody nadále vysoký. Přirozené sušení již není možné, proto se biomasa dosouší studeným nebo temperovaným vzduchem. Právě z důvodu vlhkosti je u většiny vytrvalých plodin pro energetické použití výhodnější sklízet v období zimním nebo jarním, neboť mráz vodu vysuší. Orientační dobu sklizně a výhřevnost jednotlivých druhů plodin popisuje **Tab. 8**.

Nízký obsah vody v biomase určené ke spalování zaručí ekologické a efektivní spalování. Optimální je vlhkost biomasy do 15 %. Aby biomasa po sklizni dále nenavlhala, uplatňují se jednoduché sklady lehkých konstrukcí s možností provzdušňování. Pro byliny se doporučuje úprava do balíků (tvaru hranolu nebo kulatých). Tato forma úpravy zaručuje snadnou manipulovatelnost a dopravu do kotle.

Tab. 8: Orientační čísla pro dobu sklizně, výhřevnost, výnosy a sklizňovou vlhkost energetických plodin (Zdroj: VÚRV)

	Výhřevnost	Vlhkost	Výnos (t/ha)		
	Q_i^r (MJ/kg)	W^r (%)	minimum	Ø	optimum
Sláma obilovin (VII-X)	14	15	3	4	5
Sláma řepka (VII)	18,5	17-18	4	5	6
Energetická fytomasa – orná půda (X-XI)	14,5	18	15	20	25
Rychle rostoucí dřeviny – zem. půda (XII-II)	12	25-30	8	10	12
Energetické seno – zem. půda (VI, IX)	12	15	2	5	8
Energetické seno – horské louky (VI, IX)	12	15	2	3	4
Rychle rostoucí dřeviny – antropogenní půda (XII-II)	12	25-30	8	10	12
Jednoleté rostliny - antropogenní půda (X, XII)	14,5	18	15	17,5	20
Energetické rostliny - antropogenní půda (X-XII)	15	18	15	20	25

2.4. Zhodnocení biomasy

Základní ekologická výhoda využívání biomasy v energetice tkví v neutrální bilanci CO₂. Při spalování biomasy z energetických plodin se totiž do ovzduší dostává stejné množství uhlíku,

jaké rostlina spotřebovala ke svému růstu. Tímto se proces vyrovnává a koncentrace skleníkových plynů se v atmosféře nemění.

Další výhody lze shrnout následovně:

- ➔ Jde o tuzemský zdroj energie, jeho využívání má pozitivní ekonomický i sociální vliv přímo na region odkud pochází (regionální může být celý systém od produkce, zpracování po spotřebu).
- ➔ Regionálním využíváním biomasy také odpadá nutnost transportů energetických surovin
- ➔ Snižuje spotřebu fosilních paliv.
- ➔ Jde velmi univerzální zdroj: lze použít jako centrální, lokální nebo také sezónní zdroj.
- ➔ Stále roste míra bezobsažnosti a komfortu obsluhy (automatizace kotlů se zásobníky paliva).
- ➔ Důležitý prvek v údržbě a péči o krajinu.
- ➔ Zbytek po spálení čisté biomasy lze využít jako hnojivo
- ➔ V systému tříděného odpadu lze využívat vytříděnou biologickou složku odpadu v bioplynových stanicích, čímž se přispívá k vyšší míře recyklace.

K využívání biomasy však patří také nevýhody. V odborné literatuře je možno najít několik slabín využívání biomasy, se kterými se musí uživatel vypořádat. Určité omezení představuje větší obsah vody a tím pádem nižší výhřevnost. Z toho vyplývají nároky na větší objem paliva a potřeba větších skladovacích prostor. Je také nutno počítat s náklady na úpravu paliva: sušení, tvarování. Dále lze uvést nutnost likvidace popela nebo omezení dopravními vzdálenostmi pro dovoz paliva.

Ovšem tyto „slabiny“ lze srovnat se závěry uvedenými v předchozím textu. Z nich vyplývá, že správnými postupy je možno nevýhody minimalizovat (například vhodná doba sklizně) nebo z nich učinit výhodu pro region: systém zpracování biomasy vytvoří řadu pracovních míst, což má kladné dopady jak sociální, tak ekonomické (tok peněz zůstává v regionu).

3. Společná výroba elektrické energie a tepla

Kogenerace, tedy kombinovaná výroba tepla a elektrické energie, je charakterizována jako ekologicky šetrný způsob získávání energie. Ekologické hledisko se o to více násobí, když je pro produkci energie tepelné a elektrické využito paliva z obnovitelných zdrojů. Kogeneraci lze využít u spalování biomasy, v solárních či geotermálních systémech. Při jeho aplikaci dochází ke snížení zátěže na životní prostředí, ale také k snížení energetické náročnosti hospodářství. Zapojení kogeneračních zařízení do energetických sítí patří mezi aktuální otázky.

V této kapitole jsou diskutována základní obecná fakta o kogeneraci s připojením posledních trendů v tomto oboru. Není opomenuto aktuálního politického prostředí ve světě.

3.1. Kombinovaná výroba energie

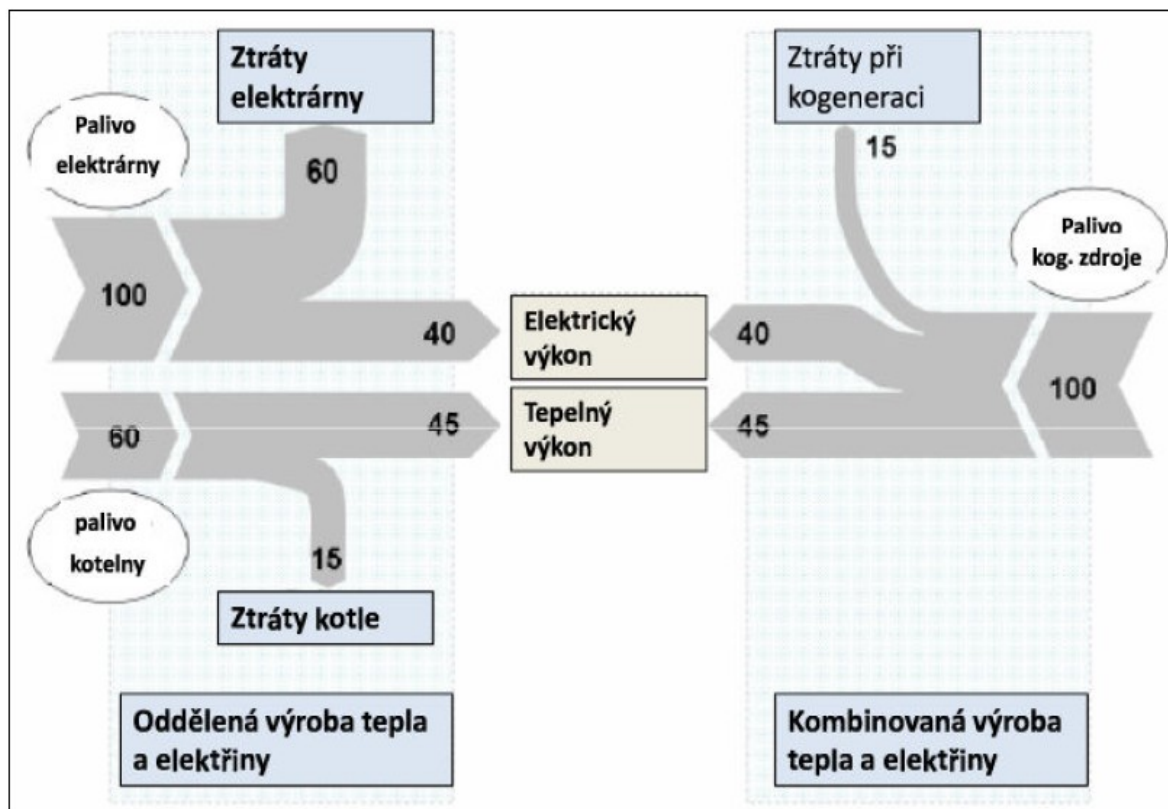
Skriptum VUT „Zásobování teplem a kogenerace“ [21] od doc. Ladislava Ochraný a kol. hovoří o kogeneraci v tomto smyslu: „*Energeticky mnohem dokonalejším způsobem [myšleno oproti prostému spálení paliva v teplárně, pozn. autora] lze dodávku tepla uskutečnit použitím tzv. kogenerace, která představuje sdruženou výrobu elektrické energie a tepla. Výraz kogenerace ... je ekvivalentní pojmu teplárenská výroba elektrické energie a tepla. ...neboť jednoznačně vyjadřuje podstatu problému.*“

Společná transformace primární energie v dodaném palivu na energii elektrickou a tepelnou probíhá v energetických výrobních (jednotkách), které se nejčastěji označují jako teplárenské či výstižněji kogenerační jednotky. Výrobu lze rozlišit dle transformačního řetězce – buď s jedním, nebo dvěma řetězci. V případě použití dvou transformačních řetězců je produkce nazývána kombinovaným cyklem a zařízení kombinovanou kogenerační jednotkou. Charakteristickým příkladem kombinovaného cyklu je produkce elektrické energie prostřednictvím plynového nebo parního oběhu s dodávkou tepla.

Každá kogenerační jednotka může být principiálně složena ze zařízení pro úpravu primárního zdroje energie (paliva), primární jednotky, zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie a zařízení pro rekuperaci tepelné energie.

Při výrobě elektřiny ve velkých tepelných fosilních a jaderných elektrárnách se využije okolo 30 % u starých a 42 % u moderních typů energie dodané v palivu. Zbytek energie představuje ztrátu, tedy odpadní teplo odváděné nejčastěji chladicími věžemi do okolního prostředí. Oblasti výroby tepla je pokryta tisíci vytápěními a kotelny, které u paliva (nejčastěji fosilního) vyrábějí pouze teplo.

V teplárnách a jiných kogeneračních zařízeních, kde je také mimo tepla produkována i elektrická energie, dochází ke snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů energie. K tomuto pozitivnímu efektu lze přičíst snížení emisí škodlivin a skleníkových plynů. Dalším pozitivem výstavby kogeneračních zařízení na bázi decentralizované výroby energie je také snížení přenosových ztrát a vyšší energetické bezpečnosti dodávek, již diskutovaných v předešlých kapitolách. Rozdíl mezi konvenční výrobou elektrické energie nebo tepla a kombinovanou výrobou elektřiny a tepla je patrný z **Obr. 8**. Rozvoj kogenerační výroby energie také úzce souvisí s liberalizací trhu s elektrickou energií. Tento proces znamená příležitost pro menší producenty energie, kteří tak mohou snadno vstupovat do sítí a zvyšovat konkurenční prostředí v něm.



Obr. 5: Toky energie při monovýrobě elektřiny, tepla a kombinované výrobě elektřiny a tepla

a) Rozdělení kogeneračních systémů

Základní členění kogeneračních systémů je dle pořadí využívání produkovaných energií. Rozdělení se pak nazývá horní nebo dolní kogenerační systém.

- ➔ **Horní kogenerační systém:** dochází nejdříve k získávání tepelné energie v energetickém zařízení (kotel). Teplo o vysokých parametrech je využíváno v technologických procesech a až po té je v druhém energetickém zařízení (tepelný motor) přeměněno na technickou práci (mechanickou energii), která se v generátoru transformuje na elektrickou energii. Teplo odvedené z tepelného oběhu lze využít pro další tepelné účely (vytápění) nebo představuje tepelnou ztrátu.
- ➔ **Dolní kogenerační systém:** nejprve je získávána elektrická energie, užitečná tepelná energie se získává z odváděného tepla z tepelného oběhu.

Horní kogenerační systémy jsou méně rozšířené, důvodem je nutnost poměrně vysoké vstupní teploty do tepelného oběhu.

b) Rozdělení kogeneračních technologií

Dle fyzikálního hlediska se člení do dvou základních kategorií: přímý nebo nepřímý způsob přeměny energií.

- ➔ **Nepřímý způsob transformace:** přeměna se provádí prostřednictvím více energetických transformací. Nejvíce využívaným je způsob tří transformací:

Uvolnění energie spalováním v tepelném zdroji - transformace na technickou práci – přeměna na mechanickou práci. V pracovním oběhu neustále proudí pracovní látka. Buď v oběhu proudí opakovaně, nebo je dodávána nově. Pak lze požití dílčí dělení na tepelné oběhy uzavřené (dochází ke změně skupenství, například voda a vodní pára) nebo otevřené (plynné pracovní látkou).

➔ **Přímý způsob transformace:** energie v palivu je přeměněna přímo na elektrickou. Na přímém způsobu je založena technologie palivových článků.

U obou způsobů výroby elektrické energie je prováděna transformace energie pomocí primární jednotky. Vzniklá tepelná energie se využívá pro tepelnou spotřebu, z účelu použití vychází požadavek na teplotu a tlak. Nositelem tepelné energie může být přímo látka zúčastněná na transformaci energie v kogenerační jednotce nebo látka, na kterou se energie přenesou prostřednictvím tepelných výměníků.

K dalšímu dělení kogeneračních technologií můžeme přistoupit z pohledu požitého primárního paliva, maximálního dosažitelného výkonu, účelu využití a samotné technologie kogenerační jednotky.

V případě dělení **dle primárního paliva** jde o jasné rozdělení na zdroje obnovitelné a neobnovitelné.

Pro **maximální dosažitelný výkon** existují jednotlivé kategorie rozlišené dle výkonové hladiny – viz: **Tab. 9**.

Tab. 9: Členění kogenerace dle maximálního dosažitelného výkonu

Typ kogenerační hladiny	Výkon kogenerace (kW _E)
Mikro-kogenerace	do 50 kW _E
Mini-kogenerace	do 500 kW _E
Kogenerace malého výkonu	do 1 MW _E
Kogenerace středního výkonu	do 50 MW _E
Kogenerace velkého výkonu	nad 50 MW _E

Podle **účelu využití** je možno na kogeneraci pohlížet na základě způsobu integrace do systému zásobování elektrickou a tepelnou energií: základní, špičkové, záložní, rezervní a specifické zdroje. Další dělení v této kategorii je dle spotřeby: centralizované zásobování teplem, průmyslová kogenerace, kogenerace v komerční sféře, kogenerace pro komunální sféru, kogenerace pro bytovou sféru.

Jednotlivé **technologie**, které se využívají v kogeneraci: kombinovaný cyklus s rekuperací tepla, parní protitlaká turbína, kondenzační turbína s odběrem páry, plynová turbína s rekuperací tepla, motor s vnitřním spalováním, mikroturbína, motor Stirling, palivové články, parní turbíny, organické Rankinovy cykly atd.

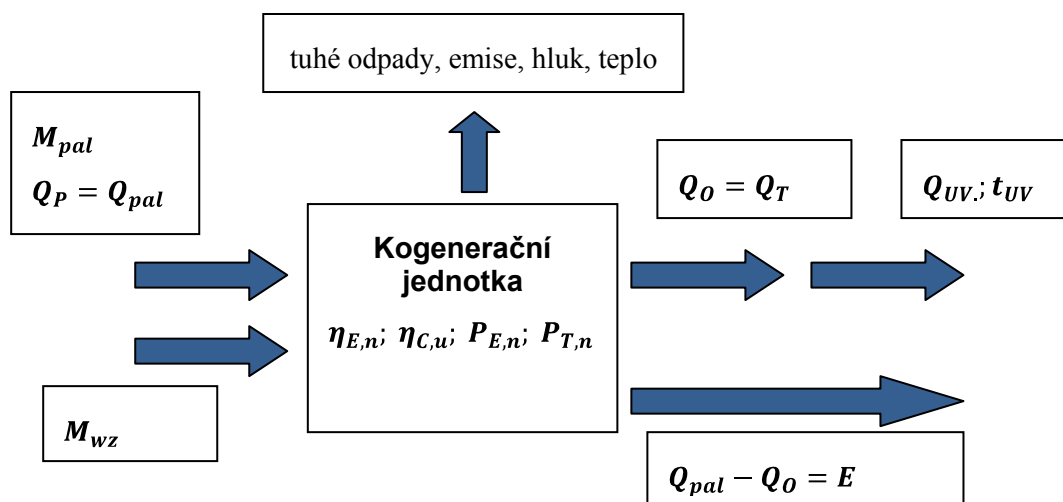
c) Konstrukční provedení

Konstrukční řady v současné době vyráběných kogeneračních jednotek se od sebe významně neliší. Různé vývojové řady se vyvinuly buď do modrého uspořádání, nebo do stavebnicového uspořádání.

- ➔ **Modulové uspořádání:** používá zejména u jednotek menšího výkonu, zařízení jsou soustředěna do jednoho modulu a umístěna co nejbližší sobě. V tomto provedení je snadná propojitelnost zařízení. Výhodou je úspora investičních nákladů, snadné zapojení a vysoce automatizovaný provoz.
- ➔ **Stavebnicové uspořádání:** u jednotek vyšších výkonů. Jednotky se dodávají rozložené do základních částí, nebo složena do celku od různých dodavatelů. Dobrou stránkou stavebnicového uspořádání jsou relativně nízké náklady dodavatele a v důsledku toho také nízké ceny jednotky.

3.2. Hodnocení kombinované výroby energie a tepla

Kritéria pro hodnocení výroby konečných energetických forem se provádí podle ukazatelů, které charakterizují základní vlastnosti, pomocí nichž lze porovnávat jednotlivé energetické výrobní řetězce. Základem je účinnost transformace primárního zdroje energie, náklady na výrobu konečných forem energie a vliv na životní prostředí.



Obr. 6: Parametry kogeneračních jednotek

a) Energetické parametry

Tato skupina parametrů udává energetické možnosti transformačního řetězce kogenerační jednotky (KJ). Patří sem:

- ➔ **Elektrický výkon P_E (t):** jedná se o okamžitou hodnotu, kterou je kogenerační jednotka schopna dodávat. Hodna se může pohybovat od minima po maximum a takto vymezené pásmo se nazývá regulační rozsah. Jmenovitý výkon $P_{E,n}$ je hodnota, při které pracuje zařízení s maximální účinností a nejvíce hospodárným provozem.
- ➔ **Tepelný výkon P_T (t):** okamžitá hodnota, která lze z kogenerační jednotky účinně využít pro dodávky tepla. Toto množství je závislé na množství vyráběné elektrické energie. Není-li součástí požadavku na kogenerační jednotu využití tepelné energie, pak musí být zajištěn odvod nevyužitého tepla do okolí.
- ➔ **Poměr elektrického a tepelného výkonu σ :** údaj charakterizuje možnosti kombinované dodávky (teplárenského využití).

$$\sigma = \frac{E}{Q_{UV}} = \frac{P_E}{P_T} = \frac{P_{E,\%}}{P_{T,\%}} = \frac{E_{\%}}{Q_{UV,\%}} [-] \quad (1)$$

V rovnici (1) jednotlivé členy zastupují:

$P_{E,\%}$ - procentní zastoupení elektrického výkonu na celkovém výkonu KJ [%],

$P_{T,\%}$ - procentní zastoupení tepelného výkonu na celkovém výkonu KJ [%],

$E_{\%}$ - procentní zastoupení vyrobené elektrické energie na celkové výrobě KJ [%],

$Q_{UV,\%}$ - procentní zastoupení využitelné tepelné energie na celkové výrobě KJ [%].

Vzájemný poměr požadované spotřeby elektrické a tepelné energie je podstatný pro volbu velikosti KJ. Účinnost výroby elektrické a tepelné energie se může významně lišit, z tohoto důvodu má veličina σ podstatný vliv na vyhodnocení účinnosti KJ při porovnávání s oddělenou výrobou elektrické nebo tepelné energie.

Za pomoci poměrného parametru σ lze také vyjádřit procentní podíl elektrického nebo tepelného výkonu. Při změně poměru výroby mezi elektrickou a tepelnou energií však musí být zachována bilance dle rovnice (2):

$$E_{\%} + Q_{UV,\%} = P_{E,\%} + P_{T,\%} = 100 \% \quad (2)$$

b) Účinnost transformace primárního paliva

účinnost vyplývá ze zákona zachování energie, je tedy vždy dána poměrem výstupní (využité) a vstupní (dodané) energie do energetického systému.

➔ **Elektrická účinnost η_E :** jedná se o účinnost přeměny energie přivedené v palivu na elektrickou.

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

kde:

m_{pal} – hmotnost nebo objem paliva [$kg \cdot m^3$],

M_{pal} – hmotnostní nebo objemový průtok paliva [$kg/s; m^3/s$]

Q_i – energie v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva [$J/kg; J/m^3$]

➔ **Tepelná účinnost η_T :** jde o účinnost přeměny energie přivedené v palivu na užitečně využitelnou energii tepelnou.

$$\eta_T^{KVET} = \frac{Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_T}{M_{pal} \cdot Q_i} [-] \quad (4)$$

➔ **Celková účinnost η_C :** účinnost přeměny energie přivedené v palivu na užitečnou energii, jedná se tedy o součet jednotlivých účinností.

$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \eta_T^{KVET} = \frac{E+Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{E+Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_E+P_T}{M_{pal} \cdot Q_i} [-] \quad (5)$$

c) Environmentální parametry

Při provozu kogeneračních jednotek jsou produkovány škodliviny a dochází k ovlivňování životního prostředí. Na omezení škodlivin musí myslet již výrobce daného kogenerační jednotky. Chod zařízení musí být v souladu s platnými předpisy, směrnicemi a vyhláškami příslušných ministerstev.

Účinky plynoucí z provozu kogenerační jednotky na životní prostředí lze rozdělit:

- ➔ Jedovaté látky v plynných látkách (spalinách) – mohou být ve formě plynných látek (CO, CO₂, NO_x, SO₂, těkavé organické sloučeniny) nebo emisních částic (saze, popel, kapalné částice). Výše těchto škodlivin je omezena zákonem o znečištění ovzduší č. 352/2002 Sb. a z něj vyplývajících předpisů.
- ➔ Jedovaté látky v tuhých odpadech – vyskytují se u kogeneračních jednotek spalujících tuhá paliva. Povinnosti pro provozovatele u této skupiny zátěžových látek vyplývá ze zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. Zákon nestanovuje limity odpadů, ale poplatky za jejich uskladnění.
- ➔ Hluk a vibrace – způsobené mechanickou energií pohybujících se částí zařízení a provozních látek kogenerační jednotky. Emisní hodnoty hluku jsou pro dané zařízení na základě zákona o technických požadavcích na výrobky č. 342/2003 Sb. Výrobce musí zajistit, že jsou splněny a garantovat je.
- ➔ Tepelná energie – jejím nositelem je buď odpadní teplo, nebo emise skleníkových plynů. Jejich vlivem dochází k ovlivnění životního a pracovního prostředí. V případě umístění kogenerační jednotky do pracovního prostoru nesmí docházet k nepříznivým vlivům, jež by narušily zdraví a pohodlí pracovníků (zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb.). Emise skleníkových plynů mají vliv na globální klimatické změny (jejich vliv na změny klimatu je dostatečně vědecky prokázán a potvrzen – IPPC). Nástrojem pro regulaci emisí CO₂ se používá vydávání povolenek pro stanovené technologické procesy od určité hladiny výkonu. Překročí-li provozovatel stanovené množství, je nucen omezit výrobu nebo nakoupit povolenky. Tento proces tak přispívá k ochraně klimatu, neboť také dochází k rozvoji odvětví, které se snaží eliminovat vznik CO₂. Obchodování s emisemi CO₂ se řídí zákonem o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů č. 695/2004 Sb.

3.3. Technologie pro KVET

Kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla lze docílit použitím několika různých typů energetických zařízení, které liší způsobem přeměny primárního paliva na výstupní energii. V KVET lze účinně využít parní, plynové, paroplynové kogenerace a palivových článků.

a) Parní kombinovaná výroba

Elektrická energie a teplo jsou vyráběny za pomoci páry, která se generuje v parním kotli. Palivo může být fosilní (uhlí, zemní plyn nebo některý z obnovitelných zdrojů energie – nejčastěji biomasa). Pára je přiváděna na turbínu, která je připojena na generátor. Z turbíny (protitlaku nebo odběru) je odebrána požadovaná tepelná energie, o příslušných parametrech vycházejících z požadavků tepelné sítě nebo technologického procesu.

b) Plynová kombinovaná výroba

Jde o výrobu elektrické energie a tepla pomocí přímého spalování zemního plynu nebo bioplynu ve spalovacím motoru či spalovací turbíně, která pohání elektrický generátor. Teplo z chlazení motoru a teplo ze spalin za motorem, respektive teplo spalin za spalovací turbínou se využívá jako zdroj tepla pro tepelnou síť nebo technologický proces.

c) Paroplynová kombinovaná výroba

Jde o výrobu elektrické energie a tepla pomocí kombinace zařízení na plynovou a parní přeměnu energie z paliva na mechanickou práci, která pohání elektrické generátory. Odpadní teplo ze spalovací turbíny je použito v parním cyklu pro získávání páry, která pohání parní turbínu. Teplo se získává z protitlaku (odběru) parní turbíny a ze spalin ze spalovací turbíny.

d) Palivové články pro kombinovanou výrobu

Proces je založen na chemické reakci plynu v článku s vhodnými elektrodami a elektrolytem. V článku se generuje elektrická energie, která přímo vzniká z energie chemicky vázané v plynu. Při přeměnách v článku se uvolňuje dále využitelné teplo.

3.4. Přínos kogenerace pro životní prostředí

Společná výroba elektřiny a tepla oproti monovýrobě elektřiny nebo tepla znamená především podstatné snížení emisí NO_x , CO, CO_2 , SO_2 a tuhých částic. Je to dáno zmenšením spotřeby primárních zdrojů energie, ale také širším zastoupením zemního plynu a obnovitelných zdrojů energie při kogenerační výrobě energie.

Výhody využívání kogenerace oproti klasickým zdrojům pro monovýrobu elektrické energie nebo tepla lze sledovat v Tab. 10, kde jsou srovnávány emise $\text{CO}_{2\text{ekv}}$ a vypočtena úspora emisí při KVET vůči zemnímu plynu nebo hnědému uhlí. Čísla uvedená v tabulce vychází z podkladové zprávy Nezávislé energetické komise, která pro výpočet využila modelu GEMIS [pracovní verze k oponentuře]. Výsledek modelu jasně ukazuje, že decentralizované – kogenerační zdroje mohou přispět významným dílem k redukci emisí skleníkových plynů, a to jednak využitím bezemisních obnovitelných zdrojů energie a jednak využitím zemního plynu v kogeneraci, který má výrazně nižší emise než zbývající fosilní paliva (hnědé a černé uhlí).

Tab. 10: Srovnání emisí $\text{CO}_{2\text{ekv}}$ kombinované výroby a monovýroby elektřiny a tepla (zdroj:[22])

Srovnání emisí $\text{CO}_{2\text{ekv}}$ u kombinované výroby elektřiny a tepla					
Zdroj	Paroplynová teplárna 100 MWe, 86 MWt	Motorová kogenerace zemní plyn 1 MWe, 1,5 MWt	Geotermální kogenerace 3,6 MWe, 7,2 MWt	Kogenerace na slámu 0,8 MWe, 4 MWt, dovoz paliva 50 km, úspora vůči zemnímu plynu	Kogenerace na slámu 0,8 MWe, 4 MWt, dovoz paliva 50 km, úspora vůči hnědému uhlí
$\text{CO}_{2\text{ekv}}$	299	284	-610	-1377	-2142

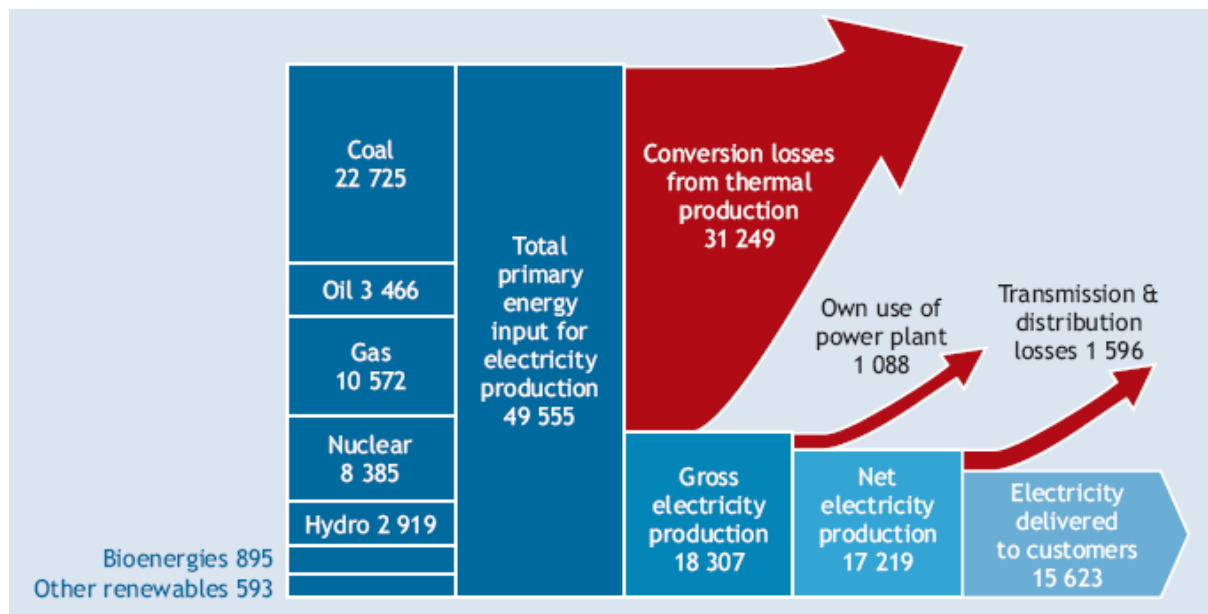
Srovnání emisí CO _{2ekv} pro výrobu monovýrobu tepla					
Zdroj	Elektrický přímotop 10 kW	Kotel na černé uhlí 100 kW, dovoz paliva 100 km	Kotel na hnědé uhlí 100kW, dovoz paliva 100 km	Kotel na zemní plyn 10 MW	Kotel na slámu 5 MW, dovoz paliva 50 km
CO _{2ekv}	798	549	512	310	25
Srovnání emisí CO _{2ekv} pro výrobu monovýrobu elektřiny					
Zdroj	Hnědouhelná elektrárna 660 MW, hrubá účinnost 38 %, dovoz paliv 0 km	Hnědouhelná elektrárna 660 MW, hrubá účinnost 43 %, dovoz paliv 0 km	Jaderná elektrárna PWR (EPR) 1450 MW, dovoz paliva z Ruska	Větrná elektrárna 1 MW	Elektrárna na dřevní odpad 20 MW, dovoz paliva 100 km
CO _{2ekv}	1002	883	63	17	25

3.5. Potenciál kogenerace v mezinárodních souvislostech, zhodnocení KVET

Možnosti společné výroby elektrické energie a tepla si uvědomují také vrcholní světoví lídři. Dílčím závěrem setkání vůdců nejvyspělejších států světa v německém Heiligendammu v červenci 2007 je tvrzení, že je třeba významně zvýšit podíl kogenerace v sektoru energetiky. Je třeba přijmout potřebné prostředky a opatření k nalezení energetického, environmentálního a ekonomického potenciálu společné výroby energie [23].

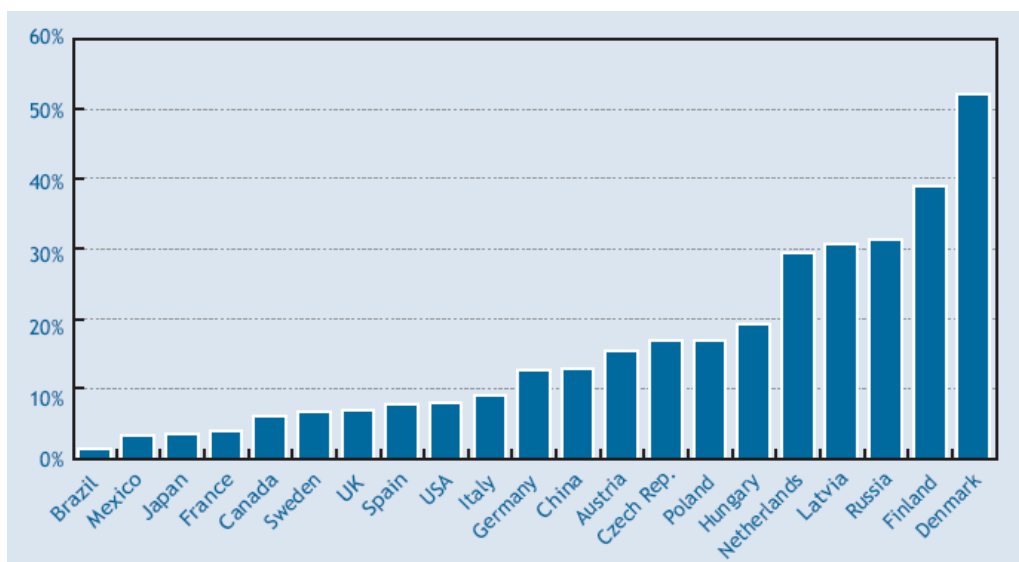
Na základě úkolů pro vytýčení potenciálu kogenerace vznikla souhrnná zpráva „Combined Heat and Power“ [23] vypracovaná Mezinárodní energetickou agenturou (IEA v létě 2008. Ve zprávě je KVET představena jako spolehlivá a ekonomická technologie, která představuje důležitý příspěvek v ochraně klimatu. KVET může redukovat emise CO₂ do roku 2015 o 4 %, zatímco v roce 2030 může přispět k snížení emisí o 10 %. Díky tomu, že kogenerace nepotřebuje vysoké investice do přenosové a rozvodné sítě, může zvýšený podíl KVET redukovat nutné výdaje do investic na distribuci až o 795 miliard dolarů v období příštích dvaceti let.

Obr. 7 ukazuje ztráty energie, která by při širším nasazení kogenerace mohla být využita. Možnosti uplatnění kogenerace se však liší podle energetiky států. Brazilská energetika založená na elektřině z vodních elektráren neskýtá tolik příležitostí jako energetiky založené na fosilních zdrojích nebo s velkou mírou biomasových instalací. Je však také důležité si uvědomit, že uhelné elektrárny již dlouhou dobu ustrnula na účinnosti 35 – 37 %, pak téměř dvě třetiny energie jsou ztraceny v odpadním teple. Tato ztracená energie by se mohla využít pro vytápění či v technologickém procesu.



Obr. 7: toky energie z jednotlivých zdrojů s vyznačením ztát (zdroj: IEA)

Při pohledu na současný světový potenciál zjistíme, že potenciál KVET zůstává ležet ladem. Již delší dobu stojí ustálený na 9 % produkce energie [23]. Nejrozšířenější zastoupení má kogenerace v Dánsku, Finsku, Rusku, Lotyšsku a Nizozemí – viz Obr. 8. Česká republika se drží na přibližně průměru, ale stále zde zůstává nevyužitý potenciál především v oblasti biomasy, bioplynu a geotermální energie.



Obr. 8: Podíl KVET na výrobě elektřiny ve vybraných státech (zdroj: IEA)

Rysy úspěšných projektů kogeneračních technologií (podle [23]):

- ➔ Poměr ceny elektřiny a palivových nákladů: 2,5:1
- ➔ Roční odběr tepla alespoň 5000 hod/rok
- ➔ Krátké vzdálenosti distribuce tepla

- Možnost připojení do sítě a rozumné náklady na zálohu

Potenciál KVET (podle [23]):

- Řada evropských studií předpovídá významný nárůst globální kapacity v KVET, například IEA 2007 hovoří o 150 – 250 GW, studie COGEN Europe z roku 2006 předpovídá dosažení 17% podílu na výrobě elektřiny v celosvětovém měřítku.
- Očekává se, že do roku 2015 se zvýší KVET v zemích G8+5 (osmička nejvyspělejších států světa plus pět vedoucích zemí rozvíjejících se ekonomik) na 15 % a do roku 2030 na 24 %. V případě, že se tento scénář naplní, bylo v zemích G5+8 v roce 2015 instalováno 430 GW a v roce 2030 830 GW v kogeneraci.
- Kanada chce do roku 2015 dosáhnout 12% (15,5 GW) podílu kogenerace v instalovaném výkonu
- USA existují plány na dosažení 110 GW v kogeneraci do roku 2015
- Velká Británie chce zvýšit do roku 2010 svůj podíl ze současných 7,5 % na 17 %.
- Německo hodlá do roku 2020 zdvojnásobit současný podíl KVET (21 000 MW v roce 2006)
- Japonsko identifikovalo jako reálný cíl dosažení 11 % (cca 30 GW) z celkové instalované kapacity do roku 2030
- V České republice bylo v roce 2006 v KVET instalováno 5 200 MW. Předběžná zpráva Nezávislé energetické komise mluví o potřebě kogenerace, ale nestanovuje žádný indikativní cíl.

Souhrn hlavních výhod KVET:

- Redukce emisí CO₂ plynoucích ze sektoru energetiky
- Úspory nákladů pro spotřebitele energie i investory
- Snížení dovozní závislosti na fosilních palivech
- Zřejmé omezení krytí spotřeby z neobnovitelných zdrojů energie a posílení podílu obnovitelných zdrojů
- Snížení znečištění životního prostředí
- Snížení nutných investic do energetické infrastruktury (sítí)
- Snížení ztrát v přenosových sítích v důsledku blízko umístěných spotřebitelů
- Využití místních (lokálních) zdrojů – především z odpadu, biomasy a geotermální energie v decentralizovaném či městském energetickém systému
- Zvýšení konkurence v energetickém průmyslu i mezi jeho jednotlivými systémy energetického zásobování

ČÁST B

1. Modernizace vytápny na biomasu

1. 1. Obecný úvod do kontextu úkolu

Zapojení kogeneračních zařízení do energetických sítí patří mezi aktuální otázky. Proto je ku prospěchu, že si i v Bystřici nad Pernštejnem uvědomují možnosti společné produkce tepla a elektřiny. Město se dlouhodobě profiluje kladným vztahem k životnímu prostředí a své občany zásobuje „čistým teplem“ z biomasy.

Zastupitelé města nyní zvažují investiční záměr rozšířit stávající zařízení vytápny na biomasu o zdroj na bázi kogenerace, vyrábějící teplo i elektřinu. Cílem je zvýšení energetické soběstačnosti města, zvýšená snaha o dobré životní prostředí v regionu, ale také podnikatelský záměr, který by měl obci přinést další zdroj financí do městského rozpočtu. Vedlejším pozitivem investičního záměru je vznik nových pracovních míst a možnost místních firem podílet se na subdodávkách například u stavebních prací.

Cesta k realizaci investičního záměru by měla vycházet z analýzy vhodného zdroje paliva, volby technologie pro kogeneraci a analýza energetických potřeb různých podnikatelských subjektů v Bystřici nad Pernštejnem a blízkém okolí. Investor také potřebuje sledovat možnosti programů na podporu výroby energie z obnovitelných zdrojů a příležitosti pro získání výhodných půjček pro financování zamýšleného cíle.

Úsilí města o vyšší energetickou soběstačnost i využití obnovitelných zdrojů při získávání energie je v souladu s Programem rozvoje kraje Vysočina [34]. Zde jsou jako cíle k naplnění udržitelného rozvoje definovány opatření vedoucí k omezení využívání neobnovitelných zdrojů energie a naopak je požadována přednostní orientace na alternativní zdroje energetické (využívání sluneční energie, biomasy a vodní energie).

Mimo shody s Programem kraje Vysočina je cíl města Bystřice nad Pernštejnem také samozřejmě dílčím bodem v plnění závazku České republiky k dosažení alespoň 8 % podílu elektřiny z OZE (na celkové spotřebě elektřiny) do roku 2010.

1. 2. Lokalizace Bystřice nad Pernštejnem

Město Bystřice nad Pernštejnem se nachází v severovýchodním okraji kraje Vysočina, v okrese Žďár nad Sázavou. Svým územím město přímo sousedí s Jihomoravským a Pardubickým krajem. Okres Žďár nad Sázavou má celkovou rozlohu 1 672 m², převážná většina území se rozkládá na Českomoravské vrchovině, průměrná nadmořská výška je 561 m.

Blízké okolí města znázorňuje mapka na **Obr. 9**. Terén území města a jeho okolí není příliš členitý, maximální výškový rozdíl jednotlivých městských celků je 50 m. V jihozápadním a severním pásmu je lokalizována intenzivní zemědělská produkce. Jak je patrné z mapky lesní porosty se nacházejí v okolí městských částí Bratrušina, Domanínek a Nový Dvůr. Jižní částí města protéká říčka Bystřice a východní částí Věchnovský potok.

a) klimatické podmínky

Průměr atmosférických srážek se pohybuje v intervalu 325-400 mm ročně. Ve vegetačním období se srážky pohybují okolo 450 mm a v zimním okolo 275 mm. Průměrná denní teplota vzduchu se pohybuje okolo 7 °C. Dlouhodobá průměrná teplota v dané oblasti se pohybuje okolo 6,47 °C.



Obr. 9: Bystřice nad Pernštejnem a blízké okolí, vlajčka označuje umístění městské výtopny na biomasu (zdroj: www.amapy.atlas.cz)

b) rozsah území [zdroj: informace městského úřadu BnP]

Území města Bystřice nad Pernštejnem lze rozčlenit na lesní půdu (14,1 %), vodní plochy (1,4 %), zastavěné plochy (18,2 %) a zemědělskou půdu (66,3 %). Z pohledu lesní a zemědělské plochy jsou nejvýznamnější městské části Bratrušín a Domaníněk. Zemědělská plocha v nich zaujímá až cca 75 % a lesní necelých 8 % u Domanínka a až 18 % u Bratrušína.

c) demografické podmínky

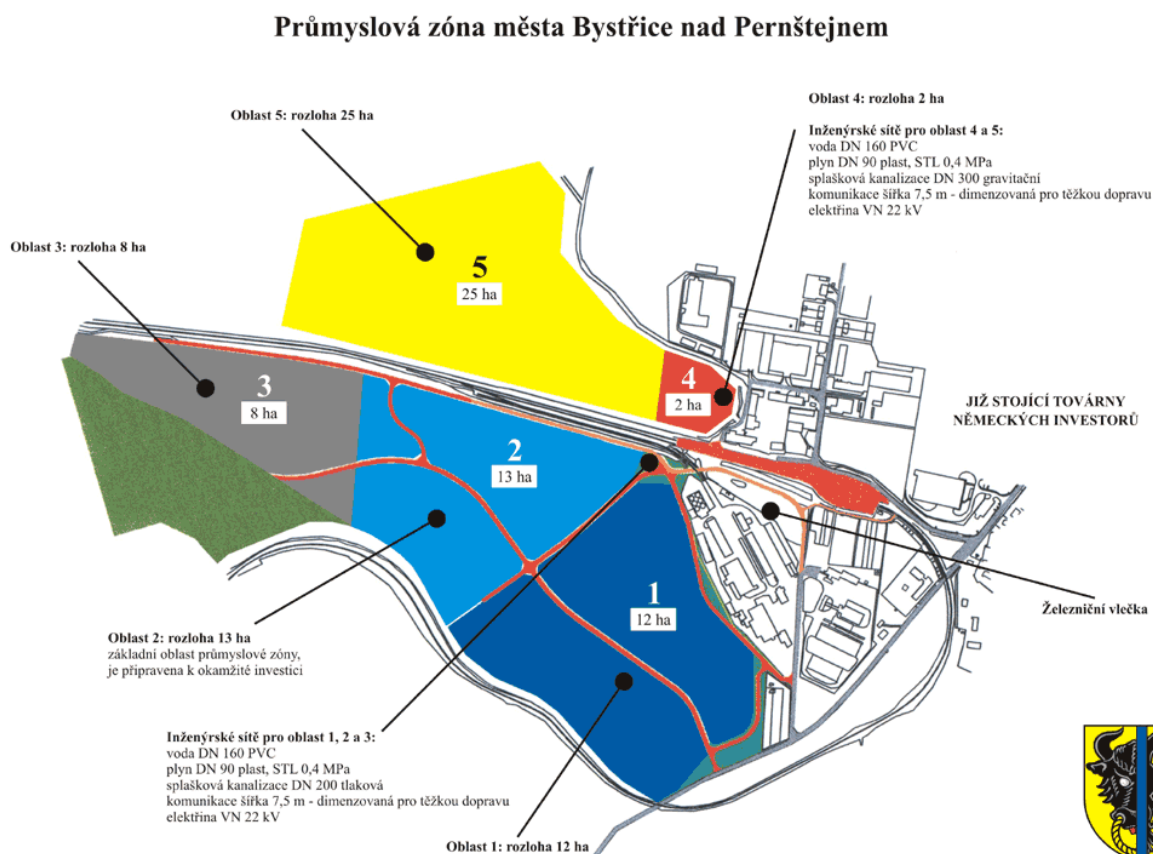
Počet obyvatel Bystřice nad Pernštejnem včetně městských dosáhl 8 897 obyvatel v roce 2007 [24]. Bytový fond města i soukromých osob představuje 1 950 bytových jednotek v domech a 1 287 bytů v rodinných domech.

c) průmysl a služby na území města

Ve městě jsou zastoupeny služby základní občanské vybavenosti v různém zastoupení. Průmysl je zastoupen střední a lehkou průmyslovou výrobou. V současné době buduje město novou průmyslovou zónu (viz **Obr. 10**) o celkové výměře cca 60 ha. Z toho přibližně 40 ha vlastněných městem je vybaveno inženýrskými sítěmi o dostatečné kapacitě pro okamžité zahájení výstavby

případných průmyslových investic. Jednou ze zvažovaných investic je vybudování obilného lihovaru.

Nová průmyslová zóna by měla být budována s úzké součinnosti na zvažované projekty města v oblasti společné výroby elektrické energie a tepla. V zájmu města je, aby nové podniky nezvyšovaly závislost regionu na dovozu fosilních paliv a těmito případnými zdroji nezhoršovaly životní prostředí města a jeho okolí. Město by tedy mělo se zájemci jednat o připojení do centralizované tepelné sítě a se zájmem investorů o „čisté“ teplo uvažovat v chystaných projektech.



Obr. 10: Příprava průmyslové zóny Bystřice nad Pernštejnem (zdroj: <http://www.bystricenp.cz>)

1. 3. Současné tepelné zdroje města²

V městském systému zásobování tepla se nacházejí tři zdroje s různou palivovou základnou. Hlavní a nejdůležitější složku představuje centrální zdroj na biomasu. Dále jsou v centralizovaném zásobování teplem (CZT) zapojeny zdroje na zemní plyn menších výkonů, které však město téměř nevyužívá a slouží jako záložní, špičkové zdroje. Poslední složku tvoří lokální kotelny na různé druhy paliva.

Jak již bylo uvedeno hlavním zdrojem v CZT Bystřice nad Pernštejnem je centrální zdroj na biomasu, který tvoří páteř tohoto systému.

² Text sestaven podle popisu pana Loukoty (ředitel Bystřická tepelná s.r.o.) a dalších materiálů poskytnutých městem. Ze stejných zdrojů pocházejí také data ohledně produkce tepla a palivových nákladů.

Zařízení na spalování biomasy je umístěno v samostatně stojící výtopně, která byla vybudována v roce 2001 na místo bývalé uhelné kotleny. Výstavba nové technologie využívající jako palivo čistou a obnovitelnou biomasu s neutrální bilancí CO₂ tak výrazně přispělo ke zlepšení životního prostředí ve městě.

Nově vybudované kotle o výkonu 2x 4,5 MW tak nahradily 6x 2,5 MW zastaralých zdrojů spalujících hnědé uhlí. Generálním dodavatelem nové technologie na spalování biomasy byly ŽS Brno, a.s., technologickou část dodala firma EKOENGINEERING, a.s. Výrobcem a dodavatelem kotlových jednotek na spalování biomasy je rakouský firma URBAS Maschinenfabrik, GmbH. Potrubní rozvody a výměňkové stanice vybuvovala firma TENZA, a.s.

a) Technologická zařízení kotleny

Jak již bylo zmíněno, současná výtopna v Bystřici nad Pernštejnem je tvořena dvěma paralelně zapojenými roštovými horkovodními kotli na spalování biomasy. Každý kotel o jednotkovém výkonu 4,5 MW. Palivo kotlů tvoří především odpadní biomasa (piliny, stěpka a kůra) o výhřevnosti 8 až 12 GJ/t.

Spalovací vzduch je v kotlích dělen do tří pásem (primárního, terciárního a sekundárního pásma). Každé je vybaveno vlastním vzduchovým ventilátorem. Všechny ventilátory mají plynulou regulaci otáček v závislosti na požadovaném výkonu kotlů. Ovládání kotlů je možné plně automaticky v rozsahu 25-100% jmenovitého výkonu v závislosti na výstupní teplotě vody, obsahu zbytkového kyslíku ve spalínách, teplotě a podtlaku topeniště. Palivo do kotle dodávají dva provozní zásobníky pomocí hydraulických podavačů. Proud paliva do kotlů se řídí v závislosti na obsahu zbytkového kyslíku v kouřovém plynu. Objem primárního a sekundárního spalovacího vzduchu se reguluje podle výstupní teploty vody. Počet otáček dmyhadla kouřových plynů je upravován podle podtlaku topeniště.

Spaliny proudí ze spalovací komory přes žárové trubky ohříváku vody, dále přes teplosměnnou plochu ohříváku vzduchu (LUVO). Kouřovody vedou spaliny dál do multicyklonů a pomocí kouřových ventilátorů podzemními kanály do komína. Popílek je zachycován v mulitcykonech. Škvára je dopravována z roštů do krytého kontejneru.

Kotelna je vybavena dvěma stanicemi na úpravu vody o celkovém výkonu cca 0,6 m³/h. Pro úpravu vody se používá katex, dávkování chemikálií pro změkčení vody a vázání kyslíku rozpuštěného ve vodě. Část vratné síťové vody se odplyňuje v příslušném zařízení s výkonem cca 1,5 m³/h. Novou vodu doplňují do systému čerpadla integrovaná v katexu.

Referenční hodnotu tlaku v systému CZT na vstupu vracející se vody do kotleny udržuje vyrovnávací a doplňovací zařízení (ELT), které odčerpáváním a dočerpáváním síťové vody hlídá potřebnou hladinu tlaku. To zamezuje odpaření vody ve výše položených částech sítě, nebo poškození sítě nedovoleným podtlakem. V systému jsou zapojeny tři zásobní nádoby na upravenou vodu (jedna o objemu 9 000 l, a dvě beztlakové o objemu 5 000 l).

Vyrobená tepelná energie slouží zejména k vytápění bytů, k vytápění nebytových prostor nevýrobního charakteru a vytápění samotného objektu kotleny. Při realizaci nové výtopny na biomasu se také přikročilo k rekonstrukci sítě CZT města. Ta je tvořena třemi samostatnými potrubními trasami (střed města, sídliště I a sídliště II) o celkové délce 8 000 m a objemu vody v soustavě přibližně 150 m³. Teplovodní rozvody jsou provedeny z předizolovaného potrubí v rozměrech DN 200 – DN20 (systém LONGSTOR-ROR, s tepelnou vodivostí potrubí $\lambda = 0,03$ W/mK). Do tepelné sítě byt také nově integrován akumulátor tepla o objemu 350 m³. Jeho úloha spočívá v pokrytí špiček při maximálních odběrech z CZT.

Páteční vratná potrubí z jednotlivých částí města jsou zaústěna do sběrného kolektoru vratné vody na vstupu do kotelny. Pak je vratná síťová voda zavedena do sacího kolektoru čerpadel. V CZT jsou instalována tři oběhová čerpadla, každé o výkonu 50 l/s. Systém umožňuje provoz dvou čerpadel současně, třetí představuje provozní zálohu.

Z oběhových čerpadel proudí síťová voda přes kolektor výtlačku a regulační ventily do jednotlivých kotlů. Z kotlů je horká voda přivedena do kolektoru výstupní vody a dále do pátečních výstupních potrubí jednotlivých částí města. Systém obtoků a armatur umožňuje míchání ochlazené vratné vody s horkou výstupní vodou. Jsou tak dodrženy požadované teploty oběhové vody na vstupu do sítě CTZ a předepsané teploty na vstupu a výstupu z kotlů.

Tab. 11: Teploty oběhové a vratné vody (zdroj: [25])

Kotle (2x 4,5 MW)	Vstupní teplota oběhové vody	Výstupní teplota oběhové vody
	85 °C	90-110 °C
Síť CZT	Teplota vratné oběhové vody	Výstupní teplota oběhové vody
zimní období	70 °C	110 °C
letní období	30-40 °C	75-90 °C



Obr. 11: Fotografie kotlů na biomasu – Bystřice nad Pernštejnem
(zdroj: <http://www.lea.ecn.cz>)

a) Technologie skladu paliva

Součástí nového zdroje tepla bylo také vybudování nové haly pro skladování biomasy o velikosti 52,6x24,5x13,7 m. Skladovací hala je osazena automatickým mostovým jeřábem s drapákem. Úkolem jeřábu je přeprava paliva z příjmového terminálu do vlastního skladu a zásobování provozních zásobníků kotlů. Plocha haly se dělí na sektor příjezdového terminálu, vlastního skladu paliva (pojme až 5 400 m³ paliva) a provozních zásobníků paliva kotlů (objem zásobníku kotle č. 1 je cca 100 m³ a kotle č. 2 cca 55 m³). Spotřeba paliva pro jeden kotel je při maximálním výkonu cca 2,05 t/h. Zásoba skladu paliva pak při jeho naplnění postačí na minimálně 18 dnů plného provozu. Lze předpokládat, že pro normální zimní provoz i v největších mrazech vystačí zásoba paliva skladu na 25 až 35 dní.

1. 4. Zdroje biomasy pro potřeby CZT Bystřice nad Pernštejnem

V současné době se v městské výtopně na biomasu používá především kůra z pilařských provozů a manipulačních skladů nebo dřevní odpady ve formě pilin a štěpků. Dále se ve výtopně používá řepková sláma jako příměs jednoho z předešlých druhů.

Z vyhodnocení celoročního provozu obou kotlů pro rok 2005 lze vyvodit potřebu biomasy v jednotlivých měsících roku pro stávající instalovaný systém městské výtopny – viz **Tab. 12** a jeho grafické znázornění: **Graf 1**. Výtopna dodá pro potřeby města ročně přibližně 102 TJ tepla. K vyrobení příslušného množství tepla je pak spotřebováno necelých 50 tisíc prm dřevního odpadu.

Tab. 12: Provozní hodiny, výroba tepla a potřeba paliva pro oba kotle (2x 4,5 MW)

Měsíc	Provozní hodiny	Výroba	Palivo
	T (hod)	Q_T (GJ)	m_{pal} (prm)³
Leden	1 488	15 621	6 214
Únor	1 330	15 319	6 102
Březen	1 448	13 890	5 856
Duben	1 436	7 666	3 493
Květen	744	5 087	2 480
Červen	717	2 720	1 630
Červenec	741	2 098	1 156
Srpen	743	2 199	2 400
Září	711	3 291	1 896
Říjen	1 094	7 782	3 852
Listopad	1 440	12 019	5 960
Prosinec	1 483	15 194	6 992
Celkem (roční)	13 411	102 886	48 031

³ prm: zkratka pro prostorový metr (metrová polena, štěpiny dřeva jsou vyskládány do krychle 1x1x1 m, nebo celkový objem je 1 m³).

Účinnost vytápny:

$$\eta_{výt} = \frac{Q_t}{Q_{pal}} = \frac{Q_t}{Q_{výh} \cdot m} = \frac{102\,886 \cdot 10^3}{11 \cdot 125360910} \cdot 100 = \underline{89,25 \%} \quad (6)$$

m – hmotnost paliva (dřevní štěpky), přepočít na kilogramy:

$$palivo = 48\,031 \text{ prm} \cdot A = 48\,031 \cdot 1,5 = 69\,645,95 \text{ prms}^4$$

$$m = palivo \cdot B = 69\,645,95 \cdot 155 = 10\,446\,742,50 \text{ kg}$$

$$výchřevnost \text{ paliva } 11 \text{ MJ/kg} \quad (7)$$

Konstanty A a B v rovnici 4.2 jsou voleny s ohledem na parametry paliva spalovaného v Bystřické výtopně dle [XX]

a) cena dřevní štěpky

Město Bystřice nad Pernštejnem má dostatečně zajištěno zásobování vytápny biomasou od smluvních dodavatelů. Důležité je, že nevyužívá monopolního dodavatele. Cena biomasy roste, na nárůst ceny má vliv řada faktorů od rostoucího počtu biomasových instalací v ČR okolních státech po spoluspalování biomasy ve velkých elektrárnách společnosti ČEZ, a.s.

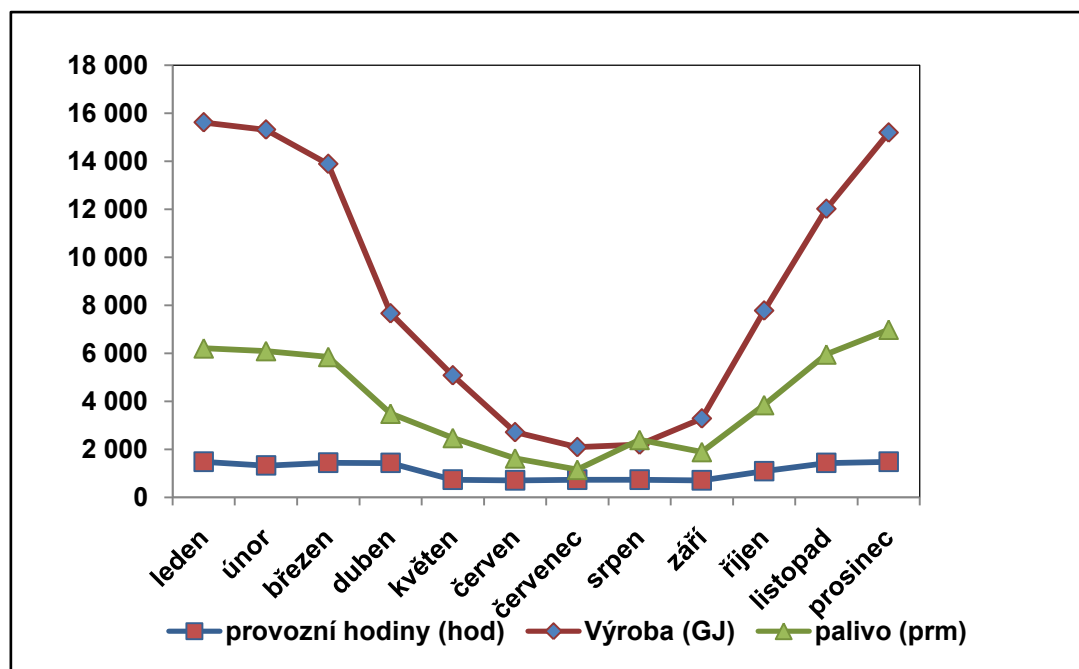
Tab. 13: Vývoj potřeby paliva a jeho ceny vztažená na prm

Rok	Spotřeba paliva	Cena paliva	Měrné náklady
	prm	Kč	Kč/prm
2002	34 291	7 386 995	215
2003	41 720	9 548 816	229
2004	45 024	10 247 484	228
2005	48 031	11 368 469	237
2006	50 244	11 853 635	236
2007	47 976	12 232 972	255

Vyčerpávání dnešních zdrojů dřevního odpadu má za následek zvyšování ceny odpadní biomasy. Jev je důsledkem již zmíněného zvýšeného zájmu o biomasu jako obnovitelné palivo, ale také klasická produkce deskových materiálů zastoupená na Vysočině velkou řadou dřevozpracujících firem.

Nárůst ceny dřevního odpadu pak směřuje provozovatele vytápny k hledání alternativních zdrojů paliva. Snahou je zajištění nezávislosti na lokálních dodávkách biomasy. Městu se nabízejí dvě cesty jak toho dosáhnout: vytvořit jednotku pro získávání zbytků po těžbě v lese nebo cíleně pěstovat energetické dřeviny či plodiny.

⁴ prms: prostorový metr sypaný (1 m³ volně loženého drceného dřeva, nezhušťovaného)



Graf 1: Grafické znázornění ročního provozu výtopny na biomasu – Bystřice nad Pernštejnem

b) potenciál biomasy pro potřeby Bystřice nad Pernštejnem

Z výše uvedených důvodů je třeba vyčíslit potenciál zdrojů biomasy pro potřeby tepelného zásobování v Bystřici nad Pernštejnem. Výsledný potenciál bude také sloužit jako jedno z kritérií pro zvažované rozšíření energetického portfolia města o kogenerační výrobu elektřiny a tepla. Při analýze možností zdrojů biomasy lze uvažovat zbytky dřevní hmoty po lesní těžbě, rostlinné zbytky ze zemědělské výroby (obilná sláma, řepná sláma apod.) a potenciál pěstování energetických dřevin a plodin.

V následující části jsou demonstrovány příležitosti získávání biomasy v dostupné vzdálenosti. Jedná se o určení teoretického potenciálu odpadní dendromasy, bez ohledu na současné zásobování městské výtopny.

Možnost A: Teoretický potenciál dendromasy (lesní biomasy):

Na využití zbytků po těžbě v lesích není jednoznačně pohlíženo. Touto problematikou se zabývá ministerstvo zemědělství (MZe) ve spolupráci s ministerstvem životního prostředí (MŽP). Studie [26] zpracovaná pro MŽP navrhuje různá opatření pro těžbu v lese. K nejpodstatnějším z pohledu surovin pro energetiku patří ponechávání kůry a větví z těžených kmenů na místě a maximální prodloužení doby obmýtky. Z pohledu životního prostředí jde o přínosné kroky: dřevní odpad v lese znamená důležitý a nenahraditelný zdroj živin, tlející dřevo obohacuje humus, pomáhá zadržovat vodu v lese a zamezuje erozi. Z pohledu palivových surovin pro biomasové instalace se však jedná o jisté omezení, se kterým je třeba kalkulovat.

Při těžbě stromu lze uvažovat, že přibližně 50 % z vytěženého materiálu je využito (kmen), zbývající část je tvořena vrškem stromu, větvemi, kůrou a ořezy, což představuje dohromady přibližně zbylých 50 %. Jak bylo popsáno v kapitole 2 Biomasa, je v ČR ročně vytěženo cca 17,6 miliónů m³ dřeva. Pak lze také usuzovat, že dalších 17,6 miliónů m³ biomasy zůstává nevyužito.

Z důvodů výše uvedených ekologických důvodů pozitivního přínosu odpadní biomasy pro les, ale také z důvodů technických a ekonomických se odhaduje, že může být využita pouze jedna třetina z celkového množství odpadní biomasy.

Pro určení teoretického potenciálu existují různé metody⁵:

- ➔ Metoda vyvinutá Polákem vychází při výpočtu objemu energeticky využitelné biomasy z výměry lesnické půdy a uvažuje průměrné hodnoty rozsahu těžebního odpadu pro mýtní a předmýtní těžby.

Množství odpadní biomasy z těžby (m^3)

$$MN_o = 1,04 \text{ } m^3 / ha.rok \quad (8)$$

- ➔ Metoda autorů Jonas a Görtler kalkuluje objem biomasy obdobně jako v metodě dle Poláka, nabízí však koeficienty pro různé výměry:

Množství odpadní biomasy z těžby (m^3)

$$MN_o = 1,53 - 1,62 \text{ } m^3 / ha.rok =$$

$$0,57 - 0,60 \text{ } m^3 / ha.rok = 0,51 - 0,54 \text{ } t / ha.rok = 4 \text{ } GJ / ha.rok$$

brána v úvahu biomasa v vlhkosti 50 % (9)

Určení teoretického potenciálu odpadní dendromasy z těžby v lese:

Lesní prostory ekonomicky a technicky dostupné pro svoz odpadní biomasy: 11 638 ha

Dle Poláka:

Přepočet plochy na množství těžebního odpadu:

$$MN_o = plocha (ha) \cdot 1,04 \left(m^3 / ha.rok \right) = 12\,296 \cdot 1,04 = 12\,787 \text{ } m^3 / rok \quad (10)$$

Přepočet na hmotnost těžebního odpadu lesního (LO):

$$m_{pal}^{LO} = množství \left(m^3 / rok \right) \cdot 658 \left(kg / m^3 \right) = 12\,787 \cdot 658 = 8\,414\,398 \text{ } kg / rok \quad (11)$$

Výsledné teoretický energetický potenciál:

$$Q_b^{pot} = Q_i^r \cdot m_{pal}^{LO} = 12,5 \cdot 8\,414\,398 = 108\,545\,743 \text{ } MJ / rok \cong 109 \text{ } TJ / rok \quad (12)$$

Dle Jonase a Görtler:

Přepočet plochy na množství těžebního odpadu:

$$plocha \cdot 0,60 \text{ } m^3 / ha.rok = 12\,296 \cdot 0,60 = 7\,377 \text{ } m^3 / rok \quad (13)$$

Přepočet na hmotnost těžebního odpadu lesního (LO):

$$m_{pal}^{LO} = množství \left(m^3 / rok \right) \cdot 658 \left(kg / m^3 \right) = 7\,377 \cdot 658 = 4\,854\,461 \text{ } kg / rok \quad (14)$$

⁵ Sestaveno s využitím konzultace s EAV

Výsledné teoretický energetický potenciál:

$$Q_b^{pot} = Q_{výh} \cdot m_{pal}^{LO} = 12,5 \cdot 4\,854\,461 = 62\,622\,544 \text{ MJ/rok} \cong 63 \text{ TJ/rok} \quad (15)$$

Při výpočtu byla uvažována dřevina s relativní vlhkostí 35 %, hmotnost dřeviny brána z tabulek 658 kg/m³, výhřevnost 12,5 MJ/kg¹.

Dílčí závěr Možnosti A:

Z výpočtu můžeme vyvodit průměrnou hodnotu teoretického energetického potenciálu odpadní biomasy z těžby v lese z dostupných zdrojů na přibližně 86 TJ/rok.

Určitým problémem v oblasti získávání odpadní biomasy po těžbě v lesích je skutečnost, že v nevelké vzdálenosti od města Bystřice nad Pernštejnem operuje jiný vlastník biomasové kotelny na štěpku – třebíčská společnost TTS energo s.r.o., která disponuje vlastním zařízením pro těžbu a zpracování odpadní biomasy v lesích.

Prostor pro bystrický projekt ještě zbývá, ale v případě zájmu města o odpadní biomasu z lesa by město muselo iniciovat vznik společnosti, která by mu palivo ze zbytků po těžbě z lesa obstarávala. Nyní taková firma v regionu nefiguruje. Případně by město mohlo nakoupit techniku samo. Řešení tohoto úkolu je však nad rámec zadání projektu.

Možnost B: Teoretický potenciál biomasy ze zemědělství:

Zemědělská produkce je v oblasti Bystřice nad Pernštejnem zastoupena vyrovnanou kombinací rostlinné a živočišné výroby. Ze statistik ČSÚ vyplývá, že v posledních letech dochází k poklesu živočišné produkce. Tím se otevírají nové možnosti využití orné půdy – například k pěstování energetických bylin.

Do úvahy o teoretickém potenciálu odpadní biomasy ze zemědělské produkce jsou zahrnuty trvale obhospodařované půdy, tedy orné nebo trvalé travní porosty a to včetně pastvin.

Je uvažováno, že sláma obilovin využitelná pro energetické účely tvoří přibližně 15 % její roční produkce. U řepkové slámy lze uvažovat o celkovém využití pro energetické účely. Vlhkost slámy obilovin je brána 13 %, výhřevnost 14,5 MJ/kg, výhřevnost řepkové slámy 16 MJ/kg. Při posuzování potenciálu využití biomasy z trvale travnatých porostů (TTP) pro energetické účely je brán výnos 4t/ha a výhřevnost 14 MJ/kg.

Tab. 14: Teoretický potenciál odpadní biomasy ze zemědělské produkce

Rostlina	Výměra půdy	Celkem slámy (sena)	Množství energeticky využitelné odpadní slámy (sena)	Energetický potenciál
	(ha)	(t)	(t/rok)	Q_b^{pot} GJ/rok
obilná sláma	21 570	55 219	8 283	120 102
řepková sláma	21 570	7 377	7 377	118 031
seno z TTP	11 971	47 833	9 577	134 071
Celkem	55 111	110 429	25 236	372 204

Dílčí závěr možnosti B:

Teoretický potenciál odpadní biomasy ze zemědělství je 372 TJ/rok. Výhodou nákupu paliva ze zemědělského sektoru je diverzifikovanost subjektů v tomto odvětví v regionu Bystřice nad Pernštejnem. Z celkového počtu 95 možných obchodních partnerů jich cca 40 vlastní plochy s výměrou nad 1 000 ha. Je však třeba provést analýzu záměrů možných velkých producentů slámy a sena. Průzkum lze také vést směrem do budoucna – a to zda je v regionu zájem o pěstování energetických plodin nebo rychle rostoucích dřevin.

Možnost C: Odpadní biomasa z průmyslu:

Potenciál odpadní dendromasy z těžby v lesích, odpadní biomasy ze zemědělské produkce a cíleného pěstování rychle rostoucích dřevin doplňuje odpad z dřevozpracujícího průmyslu, který je v současné době hlavním zdrojem paliva pro městskou výtopnu.

Palivovou surovinou jsou piliny, hobliny a bílá štěpka z pil. Další možností jsou krajiny a okrojky, které se nutno naštěpkovat. Pro nákup této suroviny a udržitelnou energetiku lze za realistický odhadnout prostor do 50 km od Bystřice nad Pernštejnem.

Mimo současné smluvně zajištěné producenty dřevní štěpky přichází v úvahu například podnik Holzwerke Sommer, s.r.o., který se nachází v 45 km vzdáleném Ždírci nad Doubravou. Možné množství suroviny k odprodeji se pohybuje okolo 2-3 kamionů o objemu 90 m³ denně, což představuje potenciál 15 tisíc t/rok, resp. 120 tisíc GJ/rok.

Mimo odpadu z dřevozpracujícího průmyslu lze ještě uvažovat jako zdroj paliva zbytky ze zpracování zemědělské výroby. Mezi ně se čítají odpady z mlýnů, pekáren, lihovarů, lisoven oleje a podniků na zpracování ovoce. Zbytková biomasa je však využívána především v bioplynových stanicích a o její vybudování zatím město neuvažuje. Proto tuto část průmyslových zdrojů paliva také vynechávám.

Dílčí závěr možnosti C:

Existuje dostatečný potenciál pro nákup dřevní štěpky z dřevozpracujících podniků. A to jak pro současnou výtopnu, tak pro uvažované nové zařízení. Je však třeba brát ohled na dovozní vzdálenost komodity, neboť ta má při současných cenách ropy nemalý vliv na konečnou cenu paliva.

Možnost D: Biomasa z údržby městských ploch:

Zeleň udržovaná městem v sobě zahrnuje větve z ořezů křovin a stromů, dřevo z kácení stromů a tráva z údržby trvale travnatých ploch. Dle informací města je potenciál zeleně v Bystřici nad Pernštejnem vyčíslitelný na 3 000 t/rok., z čehož 10 % tvoří dřevní štěpka. Zbytek je tvořen trávou, kterou lze po usušení na seno také spalovat.

Dílčí závěr možnosti D:

Zeleň představuje dílčí doplňkový zdroj paliva pro městskou výtopnu.

Možnost E: Pěstování rychle rostoucích dřevin:

Město Bystřice nad Pernštejnem si je vědomo potřeby zajištění dostatečných palivových zdrojů pro své projekty v oblasti zásobování energií. Na 7 ha pěstuje rychle rostoucí topoly a vrby. Tato činnost je zajišťována společností Zemservis zkušební stanice Domanínec, s.r.o. Vymládková

plantáž rychle rostoucích dřevin se sklízí ve velmi krátkém intervalu obměty šesti let. Základní výhodou je, že lze sklízet několikrát po sobě, bez nutnosti nové výsadby.

Topoly pěstované v Bystřici nad Pernštejnem dosahují maximální produkce v rozmezí osmi až deseti tisíc kusů na jeden hektar. Výnos sušiny na 1 ha je 18 t/rok.

Dílčí závěr možnosti E:

Při kalkulaci teoretického výnosu plantáže dostáváme plochu 700 ha pro potřeby městské výtopny. Projekt pěstování rychle rostoucích dřevin v blízkosti města je stále ve stádiu výzkumu. Po jeho ekonomickém vyhodnocení lze stanovit další závěry pro tuto zdrojovou oblast.

Shrnutí možností zdrojů pro energetické projekty v Bystřici nad Pernštejnem:

Pro zásobování palivem se městu nabízí tři klasické cesty: možnosti A až C. I když svým potenciálem splňují kladené nároky, existují u nich jasná omezení. U varianty lesní biomasy (A) je to především absence společnosti, která by na daném poli zajišťovala pravidelné zásobování energetických zařízení. V případě možnosti B – odpadů ze zemědělské produkce je třeba nalézt subjekty, které budou mít volné obilnou, řepkovou slámu nebo seno z TTP k odprodeji. Dnešní stav zásobování výtopny odpady z dřevozpracujícího průmyslu (varianta C) nabízí dostatečné zázemí k plnění energetických potřeb města. Současně se také reálně nabízí pro uvažování jako zdroje paliva u nového projektu. Zbývající dvě možnosti jsou v dnešní době menšinové. Varianta D – biomasy z městské zeleně bude vždy pouze doplňkovým zdrojem. A v případě cíleného získávání paliva pěstováním rychle rostoucích dřevin jde zatím jen o výzkumný projekt města. Investice města však může být zúčtována v budoucnu, neboť úspěšnou volbou pro své potřeby pěstovaných dřevin nebo bylin se může zbavit závislosti na dodavateli odpadní biomasy.

c) Cena paliv

K posouzení je také důležité přihlížet k ceně paliva. Tabulka **Tab. 15** obsahuje srovnání.

Tab. 15: Měrná cena dostupných paliv⁶

	jednotky	štěpka (dnes)	štěpka (nový dodavatel)	sláma	RRD
Měrná cena	Kč/prms	240,-	350,-	-	-
	Kč/t	960,-	1 400,-	1 850,-	2 110,-
	Kč/GJ	96,-	140,-	128,-	180,-

Pozn 1: pro přepočty jsou z dat na www.tzb-info.cz brány:

- štěpka: měrná hmotnost 250 kg.prms^{-1} , výhřevnost 10 MJ.kg^{-1}
- sláma: výhřevnost $14,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$
- rychle rostoucí dřeviny: výhřevnost 12 MJ.kg^{-1}

Pozn 2: slámu lze spalovat v kotlích na dřevní štěpku do 15-20 % ve směsi se štěpkou. V případě samostatného spalování musí být zvolen odlišný typ kotle.

Pozn 3: ekonomiku vyšší ceny paliva z nových zdrojů může vylepšit právě zamýšlené rozšíření energetických zdrojů v Bystřici nad Pernštejnem o společnou výrobu elektřiny a tepla.

⁶ Stav k roku 2006

1. 5. Teoretické možnosti výroby elektřiny v Bystřici nad Pernštejnem

K nalezení řešení úkolu „doplnění stávajícího systému CZT v Bystřici nad Pernštejnem“ se nabízí řada možností pro společnou výrobu elektrické a tepelné energie nebo pouze elektrické energie (pak by bylo teplo mařeno do okolního prostředí).

Projekty města v oblasti energetiky se dlouhodobě zaměřují na využití biomasy. Lze předpokládat, že tomu tak bude i v budoucnu. Proto se širší možností technologií zužuje na systémy využívající energetického potenciálu biomasy spalováním.

V případě spalování biomasy je možno pro výrobu elektrické energie uvažovat o technologiích využívajících páru (z pracovního média vody nebo silikonového oleje) nebo lze aplikovat energetická zařízení typu Sterlingova motoru. Části, kde probíhá transformace energie obsažené v palivu na elektrickou energii, nazýváme primárními jednotkami (PJ). Typ primární jednotky závisí na použité technologii. Srovnání parametrů různých technologií využitelných v kogenerační výrobě uvádí

Tab. 16. Pro ucelenou představu jsou zde uvedeny primární jednotky využitelné pro spalování biomasy i pracující na bázi jiných technologií. U Sterlingova motoru je nutno doplnit, že tato technologie ještě není připravena k plně komerčnímu užití.

Z výše uvedeného vyplývá, že lze reálně uvažovat pouze o zdroji s parní turbínou na bázi Rankinova cyklu nebo o turbíně hnané párami silikonového oleje v Organickém Rankinově cyklu.

Tab. 16: Parametry primárních jednotek (zdroj: [27])

Typ PJ	Elektrický výkon	Pohotovost	Elektrická účinnost	Celková účinnost	Medul teplotní výroby
	(MW)	(%)	(%)	(%)	(-)
Parní turbína	0,5-100	90-95	14-35	60-85	0,1-0,5
ORC	0,3-1,8	90-94	15-20	65-85	0,1-0,5
Sterlingův motor	0,003-1,5	85-90	35-50	60-80	1,2-1,7
Plynová turbína	0,1-100	90-95	25-40	60-80	0,5-0,8
Vznětový motor	0,07-50	80-90	35-45	60-85	0,8-1,4
Palivový článek	0,04-50	90-92	37-45	85-90	0,8-1,0

a) Parní turbíny – Rankinův cyklus

Pracovní oběh funguje na principu Rankinova cyklu (RC), který patří k nejklasikářším způsobům výroby elektrické energie z jakéhokoliv typu paliva. Tepelná energie obsažená v palivu se uvolňuje ve spalovací komoře a je předávána pracovní látce – vodě – o vysokém

tlaku. V parním generátoru dochází ke změně skupenství pracovní látky z vody na páru. Z parogenerátoru je pára vedena do parní turbíny, kde expanduje, a je získávána technická práce. Z turbíny pára vystupuje buď do kondenzátoru, nebo do tepelného výměníku. Do něj může vstupovat veškeré množství páry jdoucí přes turbínu. V takovém případě se turbína nazývá protitlaká. Dodávaná tepelná energie má nízké parametry. Jsou-li kladeny vyšší požadavky na teplotu tepelného oběhu, musí se zvýšit výstupní teplota. Pak je ovšem nutno počítat s poklesem účinnosti části, kde je získávána elektrická energie. V případě požadavků vysokých teplot na dodávek tepla je nutno použít turbínu s odběrovou turbínou. Což však opět vede ke snížení účinnosti přeměny energie na elektrickou.

Regulace tepelného výkonu teplárny s protitlakou turbínou je pro dodávky tepla parou řešeno udržováním protitlaku na konstantní hodnotě. Dodává-li se teplo obsažené v horké vodě je tepelný výkon usměrňován změnou teplot vody vystupující z výměníkové stanice při přibližně konstantním průtoku horké vody. Tento typ regulace se nazývá kvalitativním a je z hlediska energeticky nejvýhodnějším.

Využití páry je buď přímé – odvodem ke spotřebiteli, nebo ohřívá topnou vodu. U protitlaké turbíny lze získávat pouze oba druhy energie současně. Nelze tedy provádět výrobu elektrické energie bez dodávek tepla. Provázanost výroby elektrické energie a tepla však představuje velkou nevýhodu tohoto systému. Řešením je pak použití turbíny kondenzační s regulovaným odběrem par. Použití tohoto druhu turbíny v cyklu dovoluje práci bez ohledu na potřeby tepla. Využití kondenzační turbíny však vyžaduje pečlivou rozvahu, neboť se ekonomicky vyplatí až od instalací nad 50 MW elektrického výkonu [21].

Elektrický výkon parní turbíny je dán rovnicí:

$$P_{sv} = M \cdot H_{iz} \cdot \eta_{TDsv} \text{ (kW)} \quad (16)$$

kde: $M \text{ (kg} \cdot \text{s}^{-1})$ je hmotnostní průtok páry turbínou,

$H_{iz} \text{ (kJ} \cdot \text{s}^{-1})$ je izoentropický tepelný spád

$\eta_{TDsv} (-)$ je svorková termodynamická účinnost turbíny

Tepelný výkon získaný z protitlaké turbíny:

$$\dot{Q} = M \Delta i_p \text{ (kW}_t\text{)} \quad (17)$$

kde: $\Delta i_p \text{ (kJ/kg} \cdot \text{J)}$ je rozdíl entalpií protitlaké páry a jejího kondenzátu

Primární jednotky kogeneračních zařízení s parní turbínou nejsou náročné na údržbu. Je třeba se soustředit především na kontrolu provozních látek, zejména jejich čistoty a teploty. Nejčastější údržbu vyžadují zařízení na úpravu paliva a parogenerátory, které jsou nejvíce namáhány a opotřebovávány. Životnost parních turbín je dostatečně dlouhá, někdy jsou provozovány až 50 let. Při správné údržbě dosahují vysoké spolehlivosti.

b) Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC) má tepelný oběh principiálně shodný s cyklem Rankinovým pro parní turbíny. ORC je tedy složen z těchž termodynamických přeměn jako anorganický Rankinův cyklus. Rozdíl je v použitém pracovním médiu (organické sloučenině – silikovém oleji). Hlavní výhodou používaných pracovních organických látek vůči vodě je nižší teplota vypařování při pracovních tlacích. Tato přednost znamená možnost využití nízkopotencionálního

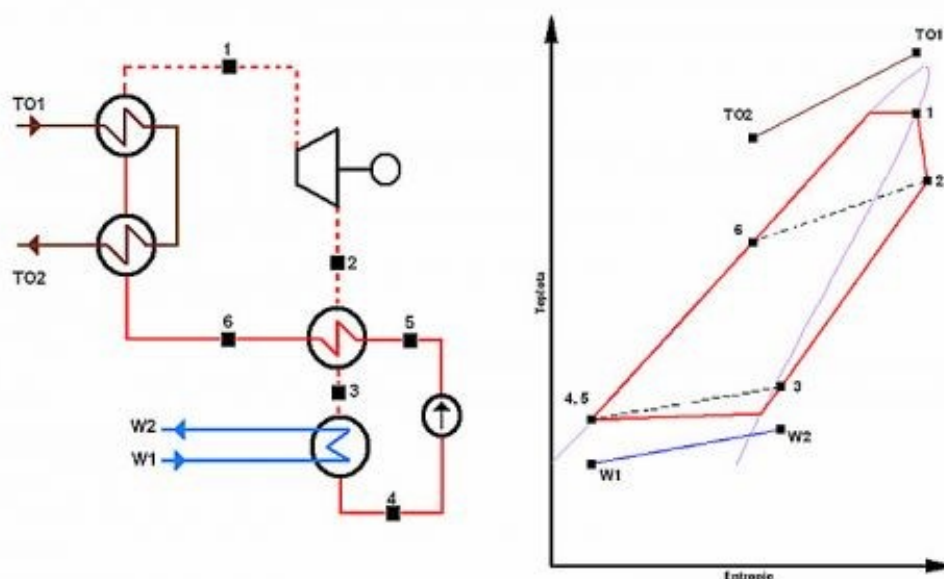
tepla. Termodynamické vlastnosti pracovní látky umožňují získávání mechanické energie s vyšší účinností než v zařízeních pracujících s anorganickými látkami (vodou). Díky zvláštním vlastnostem však není nutný ohřev páry (přehřívání) po odpaření. Proces je tak kromě již zmíněné vyšší účinnosti jednodušší.

ORC jednotka přeměňuje tepelnou energii uvolněnou spálením příslušného množství paliva na elektrický proud. Topným a chladícím okruh vytváří v zařízení patřičný rozdíl tlaků. Tento rozdíl tlaků je využíván k pohonu turbíny prostřednictvím páry termooleje. Termoolej se ohřívá v teplosměnných plochách termoolejového kotle a jako teplonosné médium proudí do jednotky ORC. Z primárního okruhu proudí horký olej do výparníku, zde předává olej teplo sekundárního okruhu, v něm se odpařují silikonové sloučeniny z organické pracovní látky (silikonového oleje). Silikonové páry jsou vedeny přes axiální turbínu, kde dochází k expanzi. Expanze přehřáté organické páry v turbíně končí v oblasti přehřáté páry. Generovaná technická práce je prostřednictvím generátoru přeměňována v elektrickou energii. Veškerá pára silikonového oleje vystupuje z turbíny a je vedena kondenzátoru přes rekuperátor. Využití přehřátí celého průtočného množství páry k rekuperaci tepla do média pro vytápění je výhodné a nezbytné k dosažení dobré účinnosti ORC. V kondenzátoru je předáno teplo silikonového oleje předáno do vodního okruhu. Odváděné teplo souží pro účely vytápění. Pára silikonového oleje je v kondenzátoru zkapalňována, zahřívána parou vycházející z turbíny v regeneračním výměníku a kondenzát je čerpán do výparníku.

Schéma vlastního oběhu ORC je znázorněno na **Obr. 12**.

Popis jednotlivých dějů a stavů:

- 1 – sytá pára pracovní látky, 2 – oblast přehřáté páry, 1-2 – expanze na turbíně,
- 2-3 – ochlazení par pracovní látky na mez sytosti v rekuperátoru,
- 3-4 – kondenzace pracovní látky, změna z plynné na kapalnou fázi,
- 4-5 – pracovní látka je dopravována čerpadlem,
- 5-6 – ohřev pracovní látky v rekuperátoru,
- 6-1 – ohřev pracovní látky ve výparníku, organická látka se vypařuje.
- T01 – teplota termooleje na vstupu do výparníku,
- T02 – teplota termooleje na výstupu z výparníku
- W1 – teplota vody na vstupu do kondenzátoru (vratná voda ze systému CZT),
- W2 – teplota vody na výstupu z kondenzátoru (teplota vody vstupující do systému CZT)

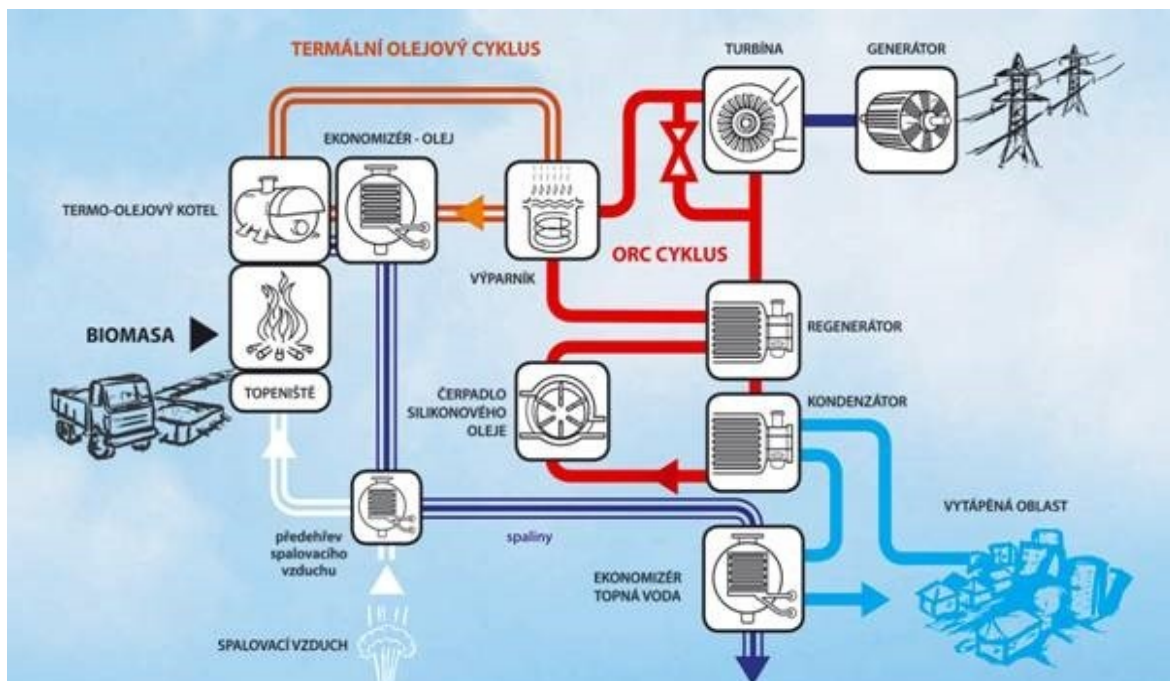


Obr. 12: Schéma vlastního oběhu ORC a vynesení do T-s diagramu (zdroj: www.tts.cz)

Pracovní látky mají vysokou molekulovou hmotnost a i při nízkých teplotách se udržují v kapalném stavu při daleko nižším tlaku než voda. Výhodou ORC je, že se nedostává expanze nasycených organických par v turbíně do oblasti mokrých par. Nejčastěji používané látky jsou silikonové, toluen, fluoridové uhlovodíky (isopentan, iso-oktan). Čirý silikonový olej je tepelně odolný a chemicky velmi stálý. Při volbě vhodného typu oleje je nutné se ohlížet na teplotu tuhnutí, vzplanutí a závislost viskozity na teplotě pro uvažovaný interval pracovních teplot. Silikáty jsou makromolekulární látky na bázi SiO_2 , na ně se váže fenyl nebo vinyl pak jde o silikony. Nevýhodou silikonů je výrobní náročnost a v důsledku toho i vysoká cena. Silikonový olej také vyžaduje speciální zabezpečení vůči vzniku požáru.

U ORC je snaha o používání co nejjednodušší regulaci z důvodů snížení investičních a provozních nákladů. Hlavní regulačním orgánem je škrticí ventil, kterým se nastavuje hmotnostní průtok média parním generátorem a turbínou na hodnotu odpovídající požadovanému výkonu. Regulační ventil bývá umístěn za napájecím čerpadlem. Při zvýšeném množství topných plynů ze zdroje se do okruhu instaluje obtokový ventil, který má za úkol chránit parogenerátor před přetížením.

Turbíny používané v systémech ORC mají dobrou účinnost i při částečném zatížení. Krátkodobě se dají přetěžovat až na 120 % jmenovitého elektrického výkonu [29]. Z důvodů dosažení maximální účinnosti jsou ORC jednotky provozovány s konstantní teplotou na výstupu z kondenzátoru, pak se nemění protitlak v závislosti na aktuálních požadavcích tepelné sítě. Zdroje tepla nemusí být pouze biomasa. Pro ORC lze využít také odpadní teplo, solární energie a geotermální energie. Rozhodnutí o zdroji tepla vychází z podmínek konkrétního řešení pro danou lokalitu.



Obr. 13: Schéma ORC cyklu (zdroj: www.tts.cz)

Samotná údržba ORC jednotek je nenáročná. Pracovní látky jsou stabilní a nemusí se na rozdíl od vody upravovat. Životnost silikonového oleje je relativně vysoká. Literatura [29] udává přibližné náklady na provoz a údržbu ve výši necelých 0,01 Eur/kW_E.

Primární jednotky ORC se dodávají jako modulární celky. Výkonový rozsah se pohybuje od 200 do 1 500 kW_E. Je-li požadován větší výkon, lze jej dosáhnout paralelním zapojením modulů. Reálně jsou systémy ORC využívány v rozmezí teplot 200 až 300 °C. U nižších teplot by se výrazně snížila účinnost a pro vyšší teploty je ekonomičtější využití klasické parní nízkotlaké turbíny.

Celková účinnost energetického zařízení s ORC je definována jako poměr elektrického výkonu na výstupních svorkách a tepla přivedenému do ORC v parním generátoru:

$$\eta_{ORC} = \frac{P_{elN}}{Q_{PG}} = \frac{P_{elG} - P_{N\check{c}} - P_{elOST}}{Q_1 - Q_2} \quad (18)$$

kde $P_{N\check{c}}$ je příkon napájecího čerpadla

P_{elN} je příkon dalších spotřebičů

$Q_{PG} = Q_1 - Q_2$ je teplo přivedené do ORC

Výhody systému ORC:

- ➔ Vysoká účinnost při nižších teplotních spádech: až 79 % může být využito na vytápění a z 18 % získána elektrická energie, pouze 3 % činí ztráty. Účinnost platí téměř beze změny pro celé regulační rozmezí systému.
- ➔ Schopnost termooleje přenést potřebnou teplotu 300 °C bez nutnosti vysokých tlaků, což znamená zvýšení bezpečnosti provozu.

- ➔ Pracovní látka umožňuje použití pomaluběžné turbíny se zachováním vysoké účinnosti. Turbínu lze provozovat v různých režimech dle nároků na vytápění v širokém rozmezí 10 až 100 %.
- ➔ Nižší otáčky turbíny umožňují přímý pohon generátoru a odpadá nutnost převodovky.
- ➔ Lopatky turbíny podléhají pouze minimální erozivním procesům díky absenci kapiček pracovní látky.
- ➔ Plně automatický systém bez nutnosti řízení dovoluje provozovat ORC systém i za nepřítomnosti vysoce kvalifikované obsluhy.
- ➔ Systém je plně uzavřený, nedochází ke ztrátě pracovních látek, vyžaduje pouze minimální údržbu.
- ➔ Vyšší životnost systému ORC

Srovnáním s klasickým parním cyklem je možno za výhody u ORC považovat: nižší provozní náklady, menší spotřebu paliva a větší produkci elektrické energie. Výhodou uzavřeného cyklu pracujícím se silikonovými oleji oproti cyklům s anorganickými látkami je také to, že odpadá potřeba kondenzačního, dochlazovacího a napájecího hospodářství. To nám opět snižuje nutné investiční náklady a čas pro obsluhu zařízení.

2. Konkrétní návrhy zdrojů pro výrobu elektřiny v Bystřici nad Pernštejnem

V této části budou podrobně rozebrány různé způsoby, které se nabízejí jako řešení pro modernizaci stávající výtopny na biomasu v Bystřici nad Pernštejnem. Při zadávání projektu se předpokládalo, že lze modernizaci řešit na úrovni doplnění stávajícího zařízení. Při postupném studování problému a po analýze konkrétních dat vlastníka výtopny na biomasu se takto realizovatelné řešení ukázalo pouze jako teoretické. Jako reálnější řešení se ukazuje výstavba zcela nového zařízení a to buď v blízkosti stávající výtopny, nebo na novém místě – v blízkosti nádraží, u vznikající průmyslové zóny. Další možností je také odložení celého projektu na dobu, kdy budou vyjasněny různé ekonomické mechanismy podpor a zájem investorů v lokalitě. Návrhy řešení jsou provedeny pro různé varianty a slouží jako podklad pro vlastníka objektu jako nástroj dalšího směřování v energetických projektech města. Z pohledu podpory projektů založených na využívání obnovitelných zdrojů se řešení nevyhýbají ani scénářům určeným pro změnu systému.

2. 1. Doplnění či stavba nových zařízení na stávajícím místě

Umístění stavby:

Pro tuto variantu je nutno definovat možný prostor okolo výtopny. Značnou nevýhodou pro jakékoliv nové projekty, v nichž by se rozšiřoval počet energetických zařízení, je velká blízkost obytných domů. V lokalitě se plánuje nová zástavba bytových či rodinných domů. Výhodou návrhu stavby energetických zařízení do stávající lokality je existence tepelných rozvodů a blízkost velína výtopny.

Výtopna je v současné době dotčenými obyvateli přijímána kladně. Nebyly zaznamenány žádné negativní postoje. Je však otázkou jak by se situace změnila po realizaci výstavby zařízení na výrobu elektrické energie. S novým projektem vzroste četnost příjezdů kamionů s palivem a důsledkem toho bude také vyšší zatížení hlukem. Samotné zařízení (turbína a generátor) bude muset být odhlučněno. Bude se muset vybudovat přípojka elektrického vedení. Rozhodne-li se město postupovat výstavbou nového zařízení, či pouze doplněním stávajícího o protitlaké zařízení mělo prvně uspořádat veřejnou diskusi s okolními obyvateli. I přesto, že projekt svým výkonem nepodléhá procesu EIA (Environmental Impact Assessment) lze městu doporučit širokou informovanost svých občanů. Vyhne se tak případným konfliktům, které se občas dějí při prosazování jiných energetických zařízení.

Tab. 17: Vzdálenost vybraných míst od výtopny

Místo	Vzdálenost k výtopně (m)
Nejbližší obytný dům	25
Masarykova náměstí (střed města)	625
Průměrný rádius obytných domů okolo výtopny	250
Budoucí obytné domy	45
Místo občanské vybavenosti (Areál sportu)	100



Obr. 14: Lokalizace výtopny v Bystřici nad Pernštejnem (zdroj: www.mapy.cz)
Legenda: 1 – Výtopna, 2 – Nejbližší obytný dům, 3 – louka určená k výstavbě obytných domů

2. 2. Varianta A: Modernizace kotlů a doplnění o protitlakou turbínu

Jako základní řešení úkolu doplnění stávající výtopny o zařízení umožňující výrobu elektrické energie se jeví instalace elektrárny s parním provozem. Nejprve by musela být učiněna rekonstrukce jednoho z kotlů, při které by byl navýšen výkon. Rekonstrukce by byla spojena s optimalizací spalovacího procesu (instalace systému recirkulace spalín a úprava řídicího systému) a optimalizací teplosměnných ploch.

K rekonstruovanému kotli by byl připojen parní kotel (kotel na odpadní teplo spalín), kde by byla generována pára pro parní turbínu. Jako zdroj tepla by tedy sloužily spaliny ze spalování dřevní hmoty ve spalovací komoře rekonstruovaného kotle URBAS.

Parametry řešení:

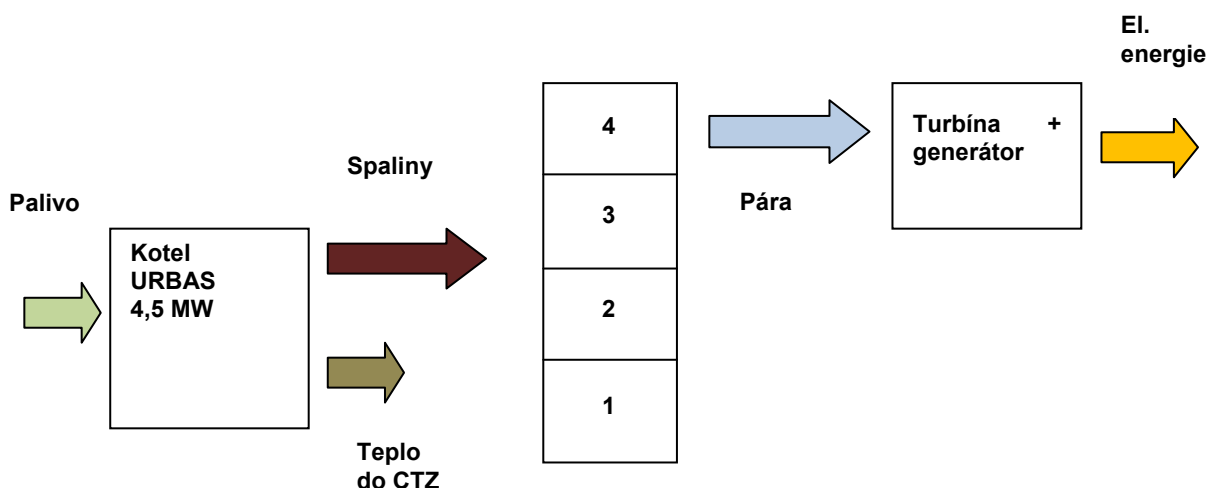
Zdroj tepla: spaliny ze spalovací komory o teplotě 800 °C

Pára: $t_p = 330$ °C, $p_p = 3$, MPa, $t_{NV} = 111$ °C

Mezipřihřátá pára: $t_{mp} = 330$ °C, $p_{mp} = 1,2$ MPa

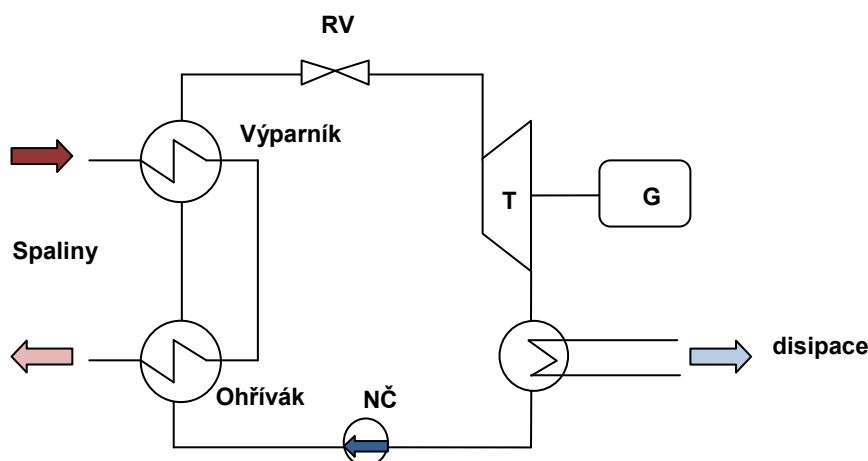
Palivo (dřevní štěpka): $W = 35$ %, $A = 2$ %, $C = 0,355$ kg/kg, $H_2 = 0,038$ kg/kg, $O_2 = 0,267$ kg/kg, Výhřevnost: $Q_i = 11,5$ MJ/kg

Kotel by byl koncipován jako soubor výměníků s konvečními plochami obdobně jako kotle na odpadní teplo, které se používají v paroplynových cyklech. Trubky je s ohledem na spaliny nutno volit hladké, protože u žebrovaných by hrozilo významné zanášení. Z důvodů omezeného místa ve stávající kotelně by byla volena koncepce parního kotle vertikálního. Do obvodu by bylo zapojeno oběhové čerpadlo.



Obr. 15: Schéma možného řešení společné výroby elektřiny a tepla, legenda: 1 – 4: výhřevné plochy parního kotle (1 – EKO, 2 – Výparník, 3 – Mezipřehřívák, 3 – Přehřívák)

Alternativou je použití části cyklu ORC, který by také využíval odpadní teplo spalín. Sekundární cyklus by byl složen z ohříváku, výparníku. Zde by se vypařoval silikonový olej či jiná organická látka vhodná k použití v tepelných obězích. Přes regulační ventil by páry silikonového oleje proudily na turbínu spojenou s generátorem. Zbytkové teplo v organické látce by bylo disipováno do okolí. Přes napájecí čerpadlo hnáno zpět do obvodu.



Obr. 16: Návrh výroby elektrické energie pomocí částečného ORC cyklu, legenda: T – Turbína, G – Generátor, NČ – Napájecí čerpadlo

Problémem takto navrženého řešení je, že kapacita současné výtopny je plně vytížena již za současného stavu. Rekonstrukcí by se dal výkon kotle navýšit přibližně o 13 %. Při výstavbě výtopny v roce 2001 se na síť nepřipojili všichni uživatelé. Nyní s nárůstem cen zemního plynu začínají projevovat zájem o teplo z městské výtopny. Na CZT síť se nedávno připojila základní škola. Potřeby tohoto objektu si vyžádají až 600 kW tepla. Připojením areálu školy se tak

významně zmenšuje prostor pro výrobu elektrické energie. Základní škola také není poslední subjekt, který by mohl být do CZT připojen. Nepřipojeny jsou ještě další dvě školy a budova úřadů kraje Vysočina. Město jako vlastník společnosti provozující výtopnu na biomasu tedy uvažuje směrem potřeb rozšiřování portfolia zdrojů než kombinovaným využíváním stávajících zařízení k společné výrobě elektrické energie a tepla. Bude-li také realizována výstavba obytných a rodinných domů na přilehlé louce lze uvažovat, že je v zájmu města, aby do těchto domů dodávalo teplo. V případě, že by se připojily zbývající velké instituce, bude CZT síť vytížena na maximum. A nelze uvažovat rekonstrukci stávajících zařízení.

Město navíc odmítá konstrukční zásahy do kotle právě z důvodů zabezpečení dodávek tepla. Dle provozovatele výtopny jsou kotle seřizeny na parametry pro dosažení maximální účinnosti při použití daného paliva (dřevní štěpky). Nejsou tedy provozovány na maximální výkon, ale na jmenovitý výkon, při kterém dosahují dobré ekonomiky.

Město ve svých úvahách o energetických zařízeních preferuje cestu vybudování nového zdroje, který by mohl také sloužit jako záložní zdroj tepla pro případy náhlého vypadnutí jednoho ze dvou stávajících kotlů URBAS. Nyní je záloha pouze v rekuperačním zařízení a teoretická v malých kotelnách na zemní plyn. Ty však město nechalo trvale odstavit z důvodů vysoké ceny paliva a nákladů na údržbu. Zdroje na zemní plyn by šlo využít pouze jako krátkodobé zálohy. S tím počítá i město, které je odhlásilo z velkoodběru na maloodběr.

Protože z výše uvedených důvodů nejvíce zájem o návrhy rekonstrukce současných kotlů/kotle vedoucí k dosažení kombinované výroby elektrické energie a tepla, toto řešení nebude detailně rozbíráno ani podrobováno ekonomické analýze.

2. 3. Varianta B: Výstavba nového zdroje v blízkosti stávající lokality

a) Finanční podpora pro projekty OZE

U všech projektů ve Variantě B lze uvažovat s finanční podporou určenou projektům využívajícím OZE dle zákona č. 180 a nevratnou dotací ze Státního fondu životního prostředí.

→ Podpora dle zákona č. 180/2005 Sb.:

Výkupní ceny elektřiny z biomasy jako obnovitelného zdroje jsou dány cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Tato práce se řídí cenovým rozhodnutím ERÚ č. 7/2007 ze dne 20. listopadu 2007 [30], kterým je stanovena podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů. Jako palivo bude sloužit biomasa, proto vycházíme z bodu 1.5 cenového rozhodnutí, jenž stanovuje výkupní ceny a zelené bonusy právě pro elektřinu produkovanou z biomasy. Nové zařízení kogeneračního cyklu na bázi ORC lze podle typu spalovaného paliva teoreticky zahrnout do prvních tří kategorií:

- O1: zahrnuje spalování záměrně pěstovaných energetických dřevin (RRD)
- O2: zahrnuje spalování dřevního odpadu po těžbě, kuru apod.
- O3: zahrnuje spalování pilin a hoblin

Cenová rozhodnutí a zelené bonusy pro zařízení v „nových lokalitách“ po 1. 1. 2008 pro příslušné kategorie biomasy uvádí

Tab. 18. Výkupní ceny a zelené bonusy nelze kombinovat v rámci jedné výroby elektřiny. Naprostá většina energetických zařízení produkujících energii z obnovitelných zdrojů však

využívá pouze podporu výkupní cenou. V rámci jednoho zařízení lze kombinovat kategorie O1 až O3 podle poměru spalovaného paliva ve směsi.

Tab. 18: Výkupní ceny a zelené bonusy pro elektřinu z biomasy (zdroj: ERÚ 2007)

Kategorie/Zdroj energie	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě ⁷	Zelené bonusy ⁸
	(Kč/MWh)	(Kč/MWh)
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1	4 210	2 930
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2	3 270	1 990
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3	2 520	1 240

➔ Státní fond životního prostředí

Pomoc s financováním projektů (mimo jiné) na výstavbu energetických zdrojů využívajících obnovitelné zdroje se v ČR ustaven Státní fond životního prostředí (SFŽP). Podpory OZE se týká Prioritní osa 3 „Udržitelné využívání zdrojů energie.“ SFŽP definuje výchozí stav využívání OZE a úspor v oblasti spotřeby energie, jako „příspěvek k šetrnému využívání přírodních zdrojů, diverzifikaci nabídky energie, ke snižování energetické náročnosti a udržitelnému rozvoji.“ [28]. Posilování OZE má napomoci náhradě fosilních paliv.

Program je v souladu s Národním Lisabonským programem 2005-2008 podle usnesení vlády ČR č. 1200 ze dne 14. Zář 2005. Prioritní osa 3 přímo navazuje na projekty MŽP a v zahraničně politickém kontextu vychází z Evropské strategie udržitelného rozvoje a 6. akčního balíčku EU. Oblasti podpory jsou také samozřejmě v souladu se Státní energetickou koncepcí.

Jak již bylo v obecné části uvedeno, ČR se zavázala v přístupové smlouvě ke zvýšení podílu elektřiny z OZE na hrubé spotřebě elektřiny na 8 % do roku 2010 a dosažení 6 % OZE na celkové spotřebě primárních zdrojů energie do roku 2010.

SFŽP je pak spolu se zákonem č. 180/2005 Sb. (o podpoře výroby elektrické energie z OZE), nástrojem jak tohoto stavu dosáhnout. Podpora OZE pomocí Prioritní osy 3 by měla fungovat v symbióze s nastavením výkupních cen a zelených bonusů dle zákona č. 180.

Mezi kategorie podpory v Prioritní ose 3 patří větrné elektrárny, solární a biomasové instalace, malé vodné elektrárny, geotermální, ale také projekty založené na energetické účinnosti, kogenerační zařízení a hospodaření s energií. Forma podpory má podobu nevratné finanční pomoci.

⁷ **Výkupní ceny** se uplatňují za elektřinu dodanou a naměřenou v předávacím místě výroby elektřiny a sítě provozovatele příslušné distribuční soustavy nebo provozovatele přenosové soustavy, které vstupuje do zúčtování odchylek subjektu zúčtování odpovědného za ztráty v regionální distribuční soustavě nebo subjektu zúčtování odpovědného za ztráty v přenosové soustavě.

⁸ **Zelené bonusy** se uplatňují za elektřinu dodanou a naměřenou v předávacím místě výroby elektřiny a sítě provozovatele regionální distribuční soustavy nebo přenosové soustavy a dodanou výrobcem obchodníkovi s elektřinou nebo oprávněnému zákazníkovi a dále za ostatní vlastní spotřebu elektřiny podle zvláštního právního předpisu. Zelené bonusy se neuplatňují za technologickou vlastní spotřebu podle zvláštního právního předpisu.

Poznámka 3 a 4: definice ERÚ

Projektu v Bystřici nad Pernštejnem se týká Oblast podpory 3.1 – Výstavba nových zařízení a rekonstrukce stávajících zařízení s cílem zvýšení využívání OZE pro výrobu tepla a kombinované výroby elektřiny a tepla.

Dle Implementačního dokumentu OP Životního prostředí 2007-2013 lze pro projekt získat až 40% dotaci ze způsobilých výdajů, maximálně však 100 milionů Kč.

Z výše uvedených důvodů zájmu města, jako vlastníka energetických zařízení se nabízí řešení doplnění stávajícího portfolia výtopny o zcela nové zařízení pracující na bázi kogenerační jednotky s ORC. Technologie společné výroby elektrické energie a tepla z biomasy patří k ekonomicky zajímavým především díky vysoké účinnosti a využitím obnovitelných zdrojů energie.

Podrobný princip technologie využívající organický Rankinův cyklus je diskutována v kapitole 4.5 bod b). Pro názornou představu funkce konkrétního zařízení si lze zjednodušeně představit chod cyklu následovně: Hořením biomasy vzniklé spaliny proudí do speciálního dvoudílného výměníku, kde předávají své teplo termooleji. Ohřátý termoolej cirkuluje ve vloženém okruhu a je tepelným zdrojem vlastního ORC okruhu. Teplo je v dvojici výměníků (Ohřívák, Výparník) předáváno pracovní látce (silikonový olej, toluen), která se ohřívá a odpařuje. Generovaná sytá pára pracovní látky je vedena na axiální turbínu, kde expanduje a výstupní tlak do oblasti přehřáté páry. Výstupní příruba turbíny je spojena s rekuperátorem. Zde se předává citelné teplo odebrané přehřáté páře kapalně fázi pracovní látky. Rekuperace je zapojena z důvodu zvýšení stupně konverze tepelné energie na elektrickou. Za rekuperátorem následuje kondenzátor, ve kterém dochází k fázové přeměně pracovní látky z plynné na kapalnou. Odebírané teplo je odváděno vodou a slouží k vytápění.

Z prostorových důvodů není možné umístit ORC cyklus s termoolejovým kotlem do stávající budovy městské výtopny na biomasu. Jako nejvhodnější místo pro nový objekt vychází z dispozičního hlediska jižní strana výtopny (vedle skladu paliva). Výhodou tohoto místa je snadné napojení nového energetického zařízení na stávající systém rozvodů CZT. Dále s instalací souvisí napojení kouřovodů do stávajícího komína. Je také nutno vybudovat trafostanici 22/0,4 kW pro vyvedení elektrického výkonu do distribuční sítě vysokého napětí.

b) Popis technologie:

Termoolejový kotel je určen pro spalování dřevní štěpky a kůry do vlhkosti paliva až 55 %. Pro systém ORC se nabízí termoolejový kotel produkovaný firmou Kohlbach nebo firmou TTS eko s.r.o.

Druhá jmenovaná firma dodává kotel označený VESKO-B. Životnost a spolehlivost garantuje pro dřevní hmotu s maximální vlhkostí $W^r = 55 \%$, popelem $A^r = 3 \%$ hmotnostního podílu, měrná hmotnost paliva 250 až 350 kg/m³. Lze v něm spalovat kusy dřeva dodávané z pil do maximálního průměru 100 mm a délky 100 mm. Nedrcená kůra může být v obsahu směsi paliva až do 30 % z celkového podílu. Piliny lze spalovat se směsí se štěpkou do 30 % objemu paliva. Fyzická zásah obsluhy je nutný pouze při zapřícení paliva v profilu dopravní cesty. Jinak je systém kotle zcela automatický.

Vlastní konstrukce kotle je samonosná, celosvařovaná, spodní část kotle je tvořena horizontálním ohništěm s přesuvným šikmým roštem. Doprava paliva do kotle zajišťuje **hydraulický zavážecí list** pomocí chlazené hubice vtlačováním. Palivo (štěpka) je spalována na roštu. Spalovací prostor má horizontální tvar, stěny jsou chlazeny olejem. Spaliny ze spalovacího prostoru vstupují do **dohořivací komory**, kde teplota spalin klesá pod teplotu tavení popílku. Z prostoru ohniště proudí spaliny do speciálního **dvoudílného výměníku**, kde předávají fyzické teplo oleji.

Olej následně proudí ve vloženém okruhu a je teplotním médiem pro vlastní ORC okruh. Odprášení spalín probíhá v **multicyklonech**, které jsou zavěšeny vedle kotle. Spaliny jsou odsávány **spalinovým ventilátorem** umístěným v prostoru kotelně pomocí izolovaného kouřovodu do stávajícího komínu vytápění. Popel je z roštu odváděn na jeho konci přes vyhrnovací dopravník do šnekového dopravníku popele. Popel je shromažďován v kontejneru.

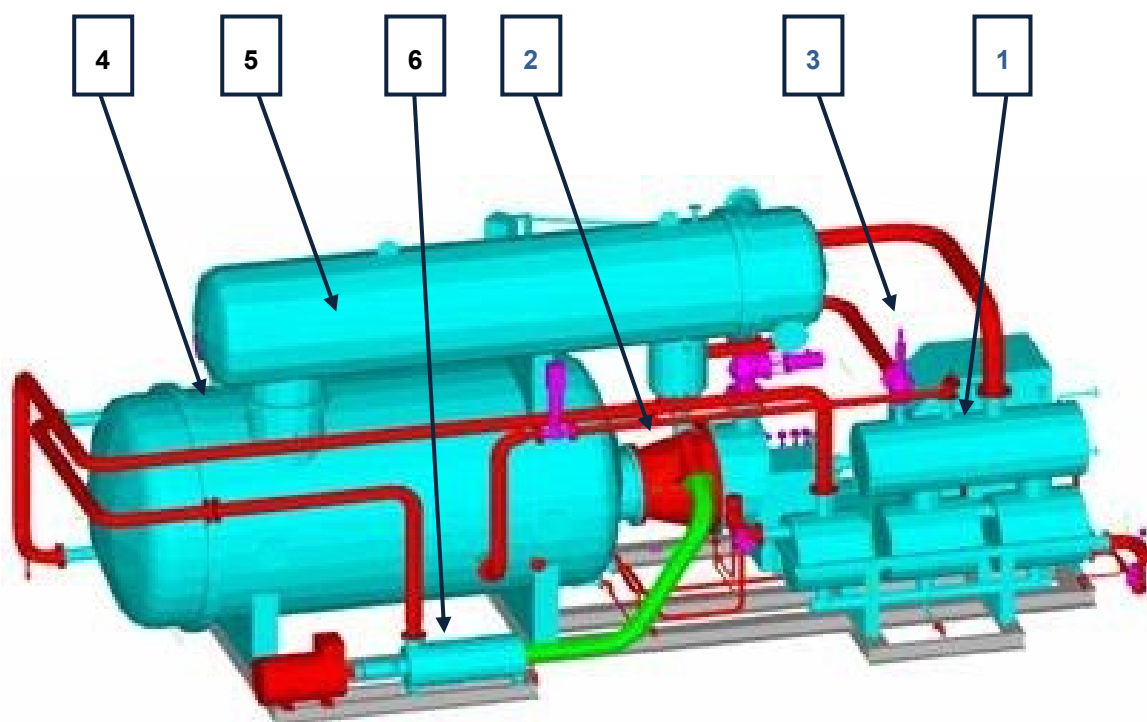
Kotel je opatřen vlastní automatikou. Celková účinnost spalování se pohybuje nad 83 % pro regulační rozsah kotle 30 až 80 % jmenovitého výkonu. Pomocí termoolejového potrubí je kotel spojen s technologií **olejové strojovny**, kde jsou soustředěny veškerá technologická zařízení určená pro zajištění provozní i havarijní cirkulace termooleje v okruhu spalínového výměníku kotle o ohříváče a výparníku systému ORC. Pro havarijní stavy je ve strojovně také instalováno zařízení pro chlazení odparem vody v otevřené nádrži. V případě odstavení ORC jednotky je tepelný výkon přenášen pomocí do okruhu topné vody přes vložený teplovodní okruh.

ORC jednotka je dodávána výrobcem jako blokové zařízení obsahující všechny výkonné prvky cyklu. Investor tedy nemusí nakupovat jednotlivá zařízení a vše dostane v kompaktním provedení instalovaném do funkčního celku. Bloková jednotka ORC je napojena do systému termoolejového kotle. Teplená energie je do okruhu ORC dodávána ve formě horkého termooleje o teplotě přibližně 300 °C. Ve **výměníku** je toto teplo předáno do organické látky, celý okruh je hermeticky uzavřený. Energie páry je vedena přes jednostupňovou turbínu na generátor. Kondenzační teplo organické pracovní látky je odbíráno v **kondenzátoru** topnou vodou o vstupních a výstupních parametrech 60/80 °C.

Provoz kotelně vyžaduje pouze občasnou obsluhu, která se skládá ze zavezení denního skladu paliva a vizuální kontroly provozu. Náročnost prací zabírá dvě až tři hodiny denně. O provozních stavech a případných poruchách bude informovat dispečink spojený se stávajícím dispečinkem biomasové vytápění.

Blokové jednotky ORC patří k specializovaným energetickým zařízením. Jejich výrobou a vývojem se zabývá pouze několik firem na světě. Ke světové špičce patří italská firma Turboden (její projekty představují například ORC kogenerační zařízení dodané městu Trhové Sviny přes českého zástupce Schiestl, s.r.o., nebo biomasová teplárna v rakouském Lienci). V České republice se vývojem zabývala společnost TTS eko, s.r.o., která zatím dodala pouze jediné zařízení do teplárny v Třebíči. Příklad blokové jednotky v uspořádání dle TTS eko, s.r.o. je na

Obr. 17.



Obr. 17: Blokova jednotka ORC, vyvinutá firmou TTS eko, s.r.o., s vyznačením jednotlivých komponent: 1 – výparník, 2 – turbína, 3 – generátor, 4 – regenerátor, 5 – kondenzátor, 6 – čerpadlo silikonového oleje (zdroj: www.tts.cz)

2. 3. 1. Varianta B 1: ORC 200 kW_e, kotel 1,5 MW_t

Vstupní data:

- ➔ Provozní hodiny instalovaného výkonu: 6 500 hodin (předpokládané)
- ➔ Účinnost spalování: 85 %
- ➔ Výhřevnost paliva 10,5 GJ/t, maximální vlhkost 55 % (dřevní štěpka, piliny, kůra)
- ➔ Elektrický příkon kotelní 22 kW

Předpokládaný provoz jednotky ORC:

- ➔ Veškerá vyrobená energie bude prodávána do sítě
- ➔ Elektrická energie nutná k pokrytí spotřeby v kotelně bude nakupována ze sítě
- ➔ Provoz v měsících červen, červenec, srpen bude omezený nebo zbude zbytkové teplo disipováno do okolí. V případě připojení významného odběratele tepla i na letní měsíce lze zařízení provozovat na plný výkon. Výroba a rozvody chladu rozšířením na trigeneraci zatím nejsou reálné.

Podmínky pro ekonomické vyhodnocení Varianty B1:

- ➔ Ekonomické kalkulace jsou provedeny ve stálých cenách roku 2008
- ➔ Je uvažován reálný diskont 2,5 %
- ➔ Při výpočtu se vychází z výkupní ceny elektrické energie dle ERÚ č.7/2007
- ➔ Cena nakupované energie pro vlastní spotřebu uvažována 1,99 Kč/kWh
- ➔ Ceny jsou uváděny bez daně z přidané hodnoty. Při výpočtu se vychází z předpokladu, že investor (město) neprovádí daňové odpisy hmotného investičního majetku a platí nulovou daň z příjmu.

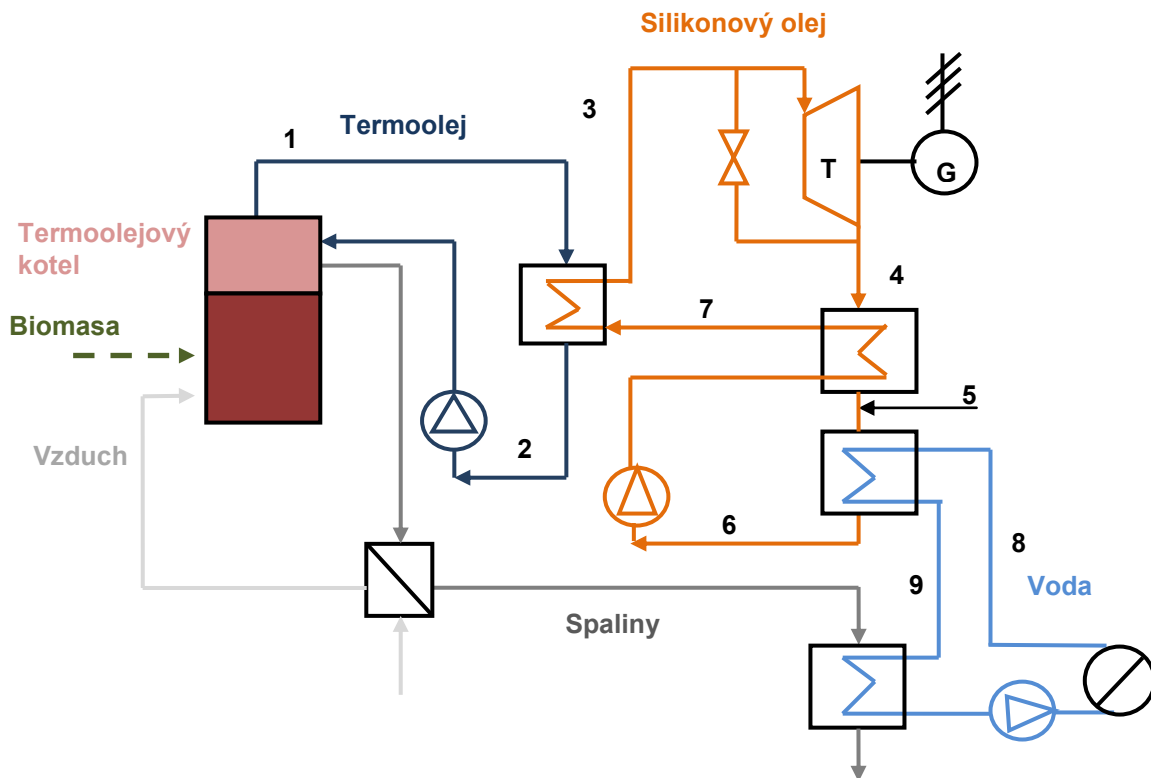
Návrh cyklu termoolejového kotle 1,5 MW s ORC blokovou jednotkou 200 kW_e:

Tab. 19: Parametry ORC Varianta B1, 200kW_e

Termoolejový kotel 1,5 MW _t s ORC cyklem 200 kW _e				
Část cyklu:		Označení	Výkon/	
Tepelný výkon termoolejového kotle		Q _K	1,5	MW _t
Elektrický výkon		P _e	200	kW _e
Tepelný výkon		P _t	1 200	kW _t
Palivo			Dřevní štěpka, piliny, kůra	
Výhřevnost		Q _r	10,5	MJ/kg
Životnost zařízení		Ž	15	let
Účinnost zařízení při jmenovitém výkonu	Elektrická	η _E	17	%
	Tepelná	η _t	80	%
Uvažované roční využití		t	6 500	hodin
Vložený termoolejový cyklus				

	Označení		Jednotka	Bod ve schématu
Teplota termooleje na výstupu z EKO kotle	t_{TO1}	300	°C	1
Teplota termooleje na výstupu z výparníku	t_{TO2}	250	°C	2
Průtok termooleje	$\dot{V}_{TO}$	50	m ³ /hod	
	$\dot{m}_{TO}$	40900	kg/hod	
Výparník (termoolej – silikonový olej)				
Přehřev	Q_{PrV}	1 100	kW	
Odpar	Q_{OV}	400	kW	
Celkový výkon výparníku	Q_V	1 500	kW	
Vlastní ORC cyklus				
Teplota silikonového oleje na výstupu z výparníku (skupenství: sytá pára)	t_1	275	°C	3
Teplota silikonového oleje na výstupu z turbíny (skupenství: přehřátá pára)	t_2	220	°C	4
Teplota silikonového oleje za regenerátorem (skupenství: plynné, páry ochlazený na mez sytosti)	t_3	125	°C	5
Teplota silikonového oleje za kondenzátorem (skupenství: kapalné)	t_4	85	°C	6
Teplota silikonového oleje po ohřátí v regenerátoru (skupenství: kapalné)	t_5	194	°C	7
Teplota vody na vstupu do kondenzátoru	t_{W1}	60	°C	8
Teplota vody na výstupu z kondenzátoru	t_{W2}	80	°C	9
Části ORC blokové jednotky				
Turbína (jednostupňová axiální)	P_{Te}	240	kW	
Kondenzátor	Q_K	1 200	kW	
Čerpadlo silikonového oleje	$P_{\check{C}}$	15	kW	
	$\dot{m}_{SO}$	30	m ³ /hod	

Data v předchozí tabulce jsou vyplněna pomocí kalkulace známých údajů z ORC cyklů produkovaných firmami TTS eko, s.r.o a Turboden (Itálie).



Obr. 18: Schéma termoolejového kotle s ORC blokovou jednotkou pro návrh varianty B1 (legenda viz Tab. 19)

Energetické parametry:

➔ Tepelná účinnost dle rovnice (4):

$$\eta_T^{KVET} = \frac{Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_T}{M_{pal} \cdot Q_i} = \frac{1,2}{0,143 \cdot 10,5} = 0,80 \rightarrow 80 \% \quad (20)$$

$$P_T = 1,2 \text{ MW}$$

$$m_{pal} = 0,143 \text{ kg/s}$$

$$Q_i = 10,5 \text{ MJ/kg}$$

➔ Elektrická účinnost dle rovnice (3):

$$\eta_E^{KVET} = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{E}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_E}{M_{pal} \cdot Q_i} = \frac{0,2}{0,143 \cdot 10,5} = 0,135 \rightarrow 13,5 \% \quad (21)$$

$$P_E = 0,2 \text{ MW}$$

$$m_{pal} = 0,143 \text{ kg/s}$$

$$M_{pal} = 10,5 \text{ MJ/s}$$

➔ Celková účinnost dle rovnice (5):

$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \eta_T^{KVET} = \frac{E+Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{E+Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_E+P_T}{M_{pal} \cdot Q_i} = \frac{0,2+1,2}{0,143 \cdot 10,5} = 0,935 \rightarrow 93,5 \% \quad (22)$$

Ekonomické vyhodnocení varianty B 1 (ORC 200 kW_e, 6 500 hod):

Vstupy:

- Diskontní sazba: 6 %
- Cena prodávané energie 2,557 Kč/kWh
- Předpokládaná výhřevnost paliva 10,5 MJ/kg, maximální vlhkost 50 %
- Elektrický příkon kotelny 22 kW_e
- Ve variantě B1 není uvažováno s případným navýšením odběratelů tepla. Proto se uvažuje nezměněné množství prodaného tepla instalací nového energetického zdroje. Do ekonomické kalkulace nejsou zahrnuty příjmy z prodeje tepla. Náklady na palivo jsou brány v takové míře, o kterou se zvýší jeho spotřeba nutná k výrobě elektrické energie.
- Náklady na uložení popela jsou zanedbány
- Vstupní údaje o výši investice jsou uvedeny v **Tab. 20**.

Tab. 20: Rozepsaná investice varianty B 1

Nutné investiční náklady pro kotel 1,5 MW a ORC 200 kW			
Položka	Označení	Cena	Jednotka
Technologie:			
Bloková jednotka ORC	N _{IORC}	22 415 800	Kč
Kotel	N _{IK}	8 681 300	Kč
Ostatní technologie	N _{IOT}	8 493 010	Kč
Celkem technologie	N_{ITech}	39 590 110	Kč
El. instalace + Měření a regulace	N_{iem}	4 091 600	Kč
Stavba objektu (SO)	N_{is}	4 212 780	Kč
Elektroinstal. SO	N_{ies}	1 695 050	Kč
Stavba externího skladu paliva	N_{isp}	1 780 890	Kč
Investice celkem	N_i	51 370 430	Kč

Tab. 21: Provozní údaje pro kotel 1,5 MW a ORC 200 kW

Provozní údaje pro kotel 1,5 MW a ORC 200 kW			
Položka	Označení		Jednotka
Roční doba využití	T_r	6 500	hod
Výnosy ORC 200 kW_e	V_E	3 324 750	Kč
Provozní náklady			
Náklady na spotřebovanou elektřinu	N _{VS}	306 020	Kč
Náklady na opravy	N _{OP}	200 000	Kč
Náklady na palivo ⁹	N _{Pal}	624 000	Kč
Ostatní provozní náklady	N_{Ost}	183 000	Kč
Celkem provozní náklady	N_P	1 313 020	Kč

⁹ Náklady na palivo jsou zahrnuty pouze v takové míře, v jaké se zvýší spotřeba paliva pro výrobu elektrické energie.

Bilanční výpočty:

Výpočet výkupní ceny elektřiny z biomasy pro navrhovaný ORC cyklus:

$$c_E = 0,05 \cdot 0,02 + 0,95 \cdot 0,03 = 0,05 \cdot 3270 + 0,95 \cdot 2520 = 2557,5 \text{ Kč/MWh} \quad (23)$$

Roční výroba elektrické energie:

$$E_r = P_{SV} \cdot \tau_r = 0,26500 = 1\,300 \text{ MWh/r} \quad (24)$$

Roční tržby za prodanou elektrickou energii:

$$V_E = E_r \cdot c_E = 1\,300 \cdot 2557,5 = 3\,324\,750 \text{ Kč} \quad (25)$$

Ekonomická analýza:

Prostá úvaha:

Prostá doba návratnosti:

$$T_n = \frac{N_i}{V_E - N_P} = \frac{51\,370\,430}{3\,324\,750 - 1\,313\,020} = 25,5 \text{ let} \gg T_{\dot{z}} = 15 \quad (26)$$

Prostá doba návratnosti významně převyšuje dobu životnosti zařízení. Projekt je nerealizovatelný. Protože dlouhodobým cílem České republiky je zvýšení počtu instalací OZE jsou zavedeny podpůrné programy. Mají pomoci odstranit počáteční nevýhodu obnovitelných zdrojů energie (vysoká investiční náročnost). Problém vysoké investiční náročnosti v kombinaci s malým kapitálem se projevuje zejména u obcí. Nevýrobní sféře a tedy zejména obcím je určena pomoc v podobě již zmíněného SFŽP – Prioritní osa 3. Obce mohou získat nevratnou dotaci ve výši 40% celkové investice do výše dotace 100 milionů Kč.

Následuje úvaha, která bere v potaz snížení investiční částky nenávratnou dotací.

$$N_i^d = N_i - N_d = 51\,370\,430 - 20\,548\,172 = 30\,822\,258 \text{ Kč} \quad (27)$$

$$N_d = N_i \cdot 0,4 = 20\,548\,172 \text{ Kč} \quad (28)$$

Možnost financování:

Tab. 22: Finanční shrnutí a prostá doba návratnosti

Investice - Dotace	Výnosy z prodeje elektrické energie	Celkové provozní náklady	Prostá návratnosti doba
Kč	Kč/rok	Kč/rok	Rok
30 822 258	3 324 750	1 313 020	14,9

$$T_N^d = \frac{30\,822\,258}{3\,324\,750 - 1\,313\,020} = 14,9 \text{ roku} \quad (29)$$

Prostá doba návratnosti dosahuje téměř doby předpokládané životnosti zařízení. Z jednoduché úvahy lze vyslovit, že projekt je nerealizovatelný ani při 40% dotaci z programů SFŽP. Do ekonomické úvahy nejsou zakalkulovány úroky z půjčky, kterou by si město vzít na pokrytí zbývajících investičních nákladů.

Ekonomická analýza z hlediska projektu:

→ Diskontní sazba uvažována 2,5 %.

→ Cash-Flow v každém roce provozu:

$$CF = V - N_p = 3\,324\,750 - 1\,313\,020 = 2\,011\,730 \text{ Kč} \quad (30)$$

Výpočet diskontovaného CF je uveden v následující tabulce.

Tab. 23: Diskontované CF pro Variantu B1

Doba projektu (rok)	N_i (Kč)	CF (Kč)	CFr^j (Kč)	DCF (Kč)
0	30 822 258	-30 822 258	-30 822 258	-30 822 258
1		2 011 730	1 962 663	-28 859 595
2		2 011 730	1 914 794	-26 944 801
3		2 011 730	1 868 091	-25 076 710
4		2 011 730	1 822 528	-23 254 182
5		2 011 730	1 778 076	-21 476 105
6		2 011 730	1 734 708	-19 741 397
7		2 011 730	1 692 399	-18 048 998
8		2 011 730	1 651 120	-16 397 878
9		2 011 730	1 610 849	-14 787 029
10		2 011 730	1 571 560	-13 215 468
11		2 011 730	1 533 230	-11 682 239
12		2 011 730	1 495 834	-10 186 405
13		2 011 730	1 459 350	-8 727 055
14		2 011 730	1 423 756	-7 303 299
15		2 011 730	1 389 030	-5 914 269

→ Splatnost:

$$T_o = \frac{N_i}{CF} = \frac{30\,822\,258}{2\,011\,730} = 15,3 \text{ roků} \quad (31)$$

→ Doba splatnosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_o \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 15,3 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} = 19,6 \text{ roku} \quad (32)$$

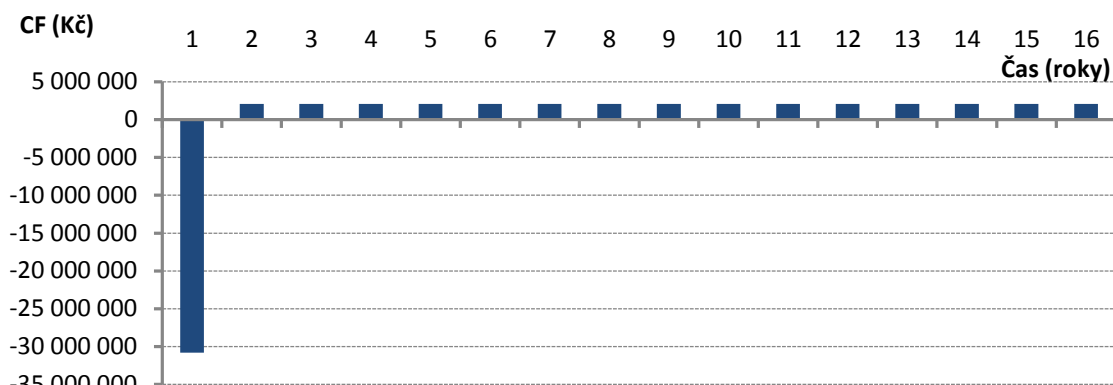
→ Kritérium diskontovaného toku hotovosti (Discounted Cash Flow):

$$DCF = \sum_{t=0}^{T_z} (V - N_p - N_{it}) \cdot (1 + d)^{-t} - N_i \text{ (dle [31])} \quad (33)$$

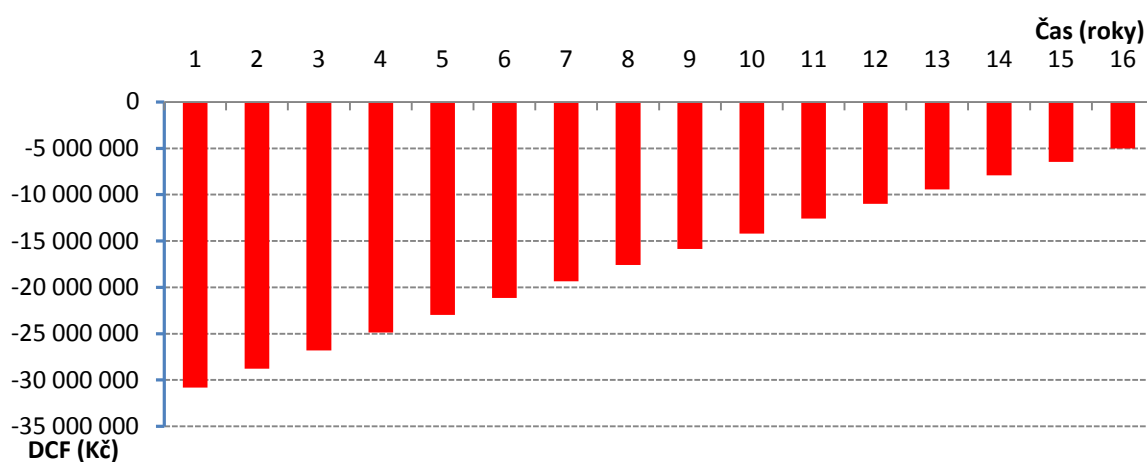
→ Vnitřní výnosové procento IRR:

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 0 \rightarrow IRR = r \quad (34)$$

Postupnou iterací dostaneme $IRR \leq 1 \%$



Graf 2: Grafické znázornění CF pro variantu B1



Graf 3: Grafické znázornění DCF pro Variantu B1

Vyhodnocení Varianty B1:

Jak ukazuje **Tab. 23** a grafické znázornění výsledků, varianta B1 se výrazně pohybuje v „červených číslech“ není tedy nutné provádět analýzu z pohledu investora. Projekt je finančně nerealizovatelný a pro město nezajímavý.

2. 3. 2. Varianta B 2: ORC 600 kW_e, kotel 3,5 MW_t, 4 800 hodin

Vstupní data:

- ➔ Provozní hodiny instalovaného výkonu: 4 800 hodin (předpokládané)
- ➔ Účinnost spalování: 85 %
- ➔ Výhřevnost paliva 10,5 GJ/t, maximální vlhkost 55 % (dřevní štěpka, piliny, kůra)
- ➔ Elektrický příkon kotelní 50 kW

Předpokládaný provoz jednotky ORC:

- ➔ Veškerá vyrobená energie bude prodávána do sítě
- ➔ Elektrická energie nutná k pokrytí spotřeby v kotelně bude nakupována ze sítě
- ➔ Provoz v měsících květen až září bude omezený nebo zbude zbytkové teplo disipováno do okolí. V případě připojení významného odběratele tepla i na letní měsíce lze zařízení provozovat na plný výkon. Výroba a rozvody chladu rozšířením na trigeneraci zatím nejsou reálné.

Podmínky pro ekonomické vyhodnocení Varianty B 2:

- ➔ Ekonomické kalkulace jsou provedeny ve stálých cenách roku 2008
- ➔ Je uvažován reálný diskont 2,5 %
- ➔ Při výpočtu se vychází z výkupní ceny elektrické energie dle ERÚ č.7/2007
- ➔ Cena nakupované energie pro vlastní spotřebu uvažována 1,99 Kč/kWh
- ➔ Ceny jsou uváděny bez daně z přidané hodnoty. Při výpočtu se vychází z předpokladu, že investor (město) neprovádí daňové odpisy hmotného investičního majetku a platí nulovou daň z příjmu.

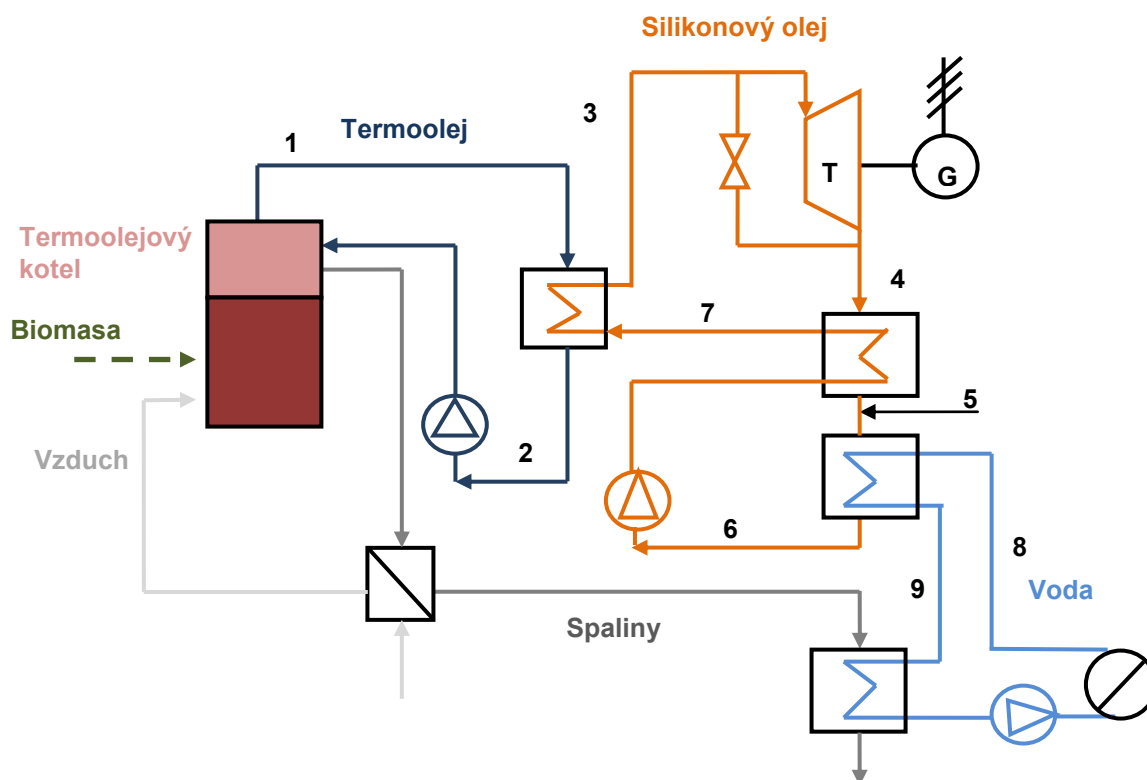
Návrh cyklu termoolejového kotle 3,5 MW s ORC blokovou jednotkou 600 kW_e:

Tab. 24: Parametry ORC Varianta B 2, 600kW_e

Termoolejový kotel 3,5 MW _t s ORC cyklem 600 kW _e				
Část cyklu:		Označení	Výkon/	
Tepelný výkon termoolejového kotle		Q _K	3,5	MW _t
Elektrický výkon		P _e	600	kW _e
Tepelný výkon		P _t	2 800	kW _t
Palivo			Dřevní štěpka, piliny, kůra	
Výhřevnost		Q _r	10,5	MJ/kg
Životnost zařízení		Ž	15	let
Účinnost zařízení při jmenovitém výkonu	Elektrická	η _E	17	%
	Tepelná	η _t	80	%
Uvažované roční využití		t	4 800	hodin
Vložený termoolejový cyklus				

	Označení		Jednotka	Bod ve schématu
Teplota termooleje na výstupu z EKO kotle	t_{TO1}	300	°C	1
Teplota termooleje na výstupu z výparníku	t_{TO2}	250	°C	2
Průtok termooleje	$\dot{V}_{TO}$	120	m ³ /hod	
	$\dot{m}_{TO}$	99090	kg/hod	
Výparník (termoolej – silikonový olej)				
Přehřev	Q_{PV}	2 540	kW	
Odpar	Q_{OV}	960	kW	
Celkový výkon výparníku	Q_V	3 500	kW	
Vlastní ORC cyklus				
Teplota silikonového oleje na výstupu z výparníku (skupenství: sytá pára)	t_1	280	°C	3
Teplota silikonového oleje na výstupu z turbíny (skupenství: přehřátá pára)	t_2	230	°C	4
Teplota silikonového oleje za regenerátorem (skupenství: plynné, páry ochlazený na mez sytosti)	t_3	125	°C	5
Teplota silikonového oleje za kondenzátorem (skupenství: kapalně)	t_4	85	°C	6
Teplota silikonového oleje po ohřátí v regenerátoru (skupenství: kapalně)	t_5	194	°C	7
Teplota vody na vstupu do kondenzátoru	t_{W1}	60	°C	8
Teplota vody na výstupu z kondenzátoru	t_{W2}	80	°C	9
Části ORC blokové jednotky				
Turbína (jednostupňová axiální)	P_{Te}	660	kW	
Kondenzátor	Q_K	2 900	kW	
Čerpadlo silikonového oleje	$P_{\check{C}}$	36	kW	
	$\dot{m}_{SO}$	70	m ³ /hod	

Data v předchozí tabulce jsou vyplněna pomocí kalkulace známých údajů z ORC cyklů produkovaných firmami TTS eko, s.r.o a Turboden (Itálie).



Obr. 19: Schéma termoolejového kotle s ORC blokovou jednotkou pro návrh varianty B1 (legenda viz Tab. 24)

Energetické parametry:

→ Tepelná účinnost dle rovnice (4):

$$\eta_T^{KVET} = \frac{Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_T}{M_{pal} \cdot Q_i} = \frac{2,8}{0,33 \cdot 10,5} = 0,80 \rightarrow 80 \% \quad (35)$$

$$P_T = 2,8 \text{ MW}$$

$$m_{pal} = 0,33 \text{ kg/s}$$

$$Q_i = 10,5 \text{ MJ/kg}$$

→ Elektrická účinnost dle rovnice (3):

$$\eta_E^{KVET} = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{E}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_E}{M_{pal} \cdot Q_i} = \frac{0,6}{0,33 \cdot 10,5} = 0,17 \rightarrow 17 \% \quad (36)$$

$$P_E = 0,6 \text{ MW}$$

$$m_{pal} = 0,33 \text{ kg/s}$$

$$M_{pal} = 10,5 \text{ MJ/s}$$

→ Celková účinnost dle rovnice (5):

$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \eta_T^{KVET} = \frac{E+Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{E+Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_E+P_T}{M_{pal} \cdot Q_i} = \frac{0,6+2,8}{0,33 \cdot 10,5} = 0,94 \rightarrow 94 \% \quad (37)$$

Ekonomické vyhodnocení varianty B 2 (ORC 600 kW_e, 4 800 hod):

Vstupy:

- ➔ Diskontní sazba: 2,5 %
- ➔ Cena prodávané energie 2,557 Kč/kWh
- ➔ Předpokládaná výhřevnost paliva 10,5 MJ/kg, maximální vlhkost 50 %
- ➔ Ve variantě B 2 není uvažováno s případným navýšením odběratelů tepla. Proto se uvažuje nezměněné množství prodaného tepla instalací nového energetického zdroje. Do ekonomické kalkulace nejsou zahrnuty příjmy z prodeje tepla. Náklady na palivo jsou brány v takové míře, o kterou se zvýší jeho spotřeba nutná k výrobě elektrické energie.
- ➔ Náklady na uložení popela jsou zanedbány
- ➔ Vstupní údaje o výši investice jsou uvedeny v **Tab. 25**. Data jsou získány z nabídkového listu firem produkujících kogenerační zařízení na bázi ORC cyklu a aktualizovány pro rok 2008.

Tab. 25: Rozepsaná investice varianty B 2

Nutné investiční náklady pro kotel 1,5 MW a ORC 200 kW, 4 800 hodin			
Položka	Označení	Cena	Jednotka
Technologie:			
Bloková jednotka ORC	N_{IORC}	37 671 800	Kč
Kotel	N_{IK}	20 054 300	Kč
Ostatní technologie	N_{IOT}	19 793 010	Kč
Celkem technologie	N_{ITech}	60 705 401	Kč
El. instalace + Měření a regulace	N_{IEM}	5 482 600	Kč
Stavba objektu (SO)	N_{IS}	6 703 780	Kč
Elektroinstal. SO	N_{IES}	3 258 050	Kč
Stavba externího skladu paliva	N_{ISP}	1 780 890	Kč
Investice celkem	N_{I}	76 930 721	Kč

Tab. 26: Provozní údaje pro kotel 3,5 MW a ORC 600 kW, 4 800 hodin

Provozní údaje pro kotel 1,5 MW a ORC 200 kW			
Položka	Označení		Jednotka
Roční doba využití	T_r	4 800	hod
Výnosy ORC 200 kW_e	V_E	7 365 600	Kč
Provozní náklady			
Náklady na spotřebovanou elektřinu	N_{VS}	513 600	Kč
Náklady na opravy	N_{OP}	250 000	Kč
Náklady na palivo ¹⁰	N_{Pal}	1 382 400	Kč
Ostatní provozní náklady	N_{Ost}	301 000	Kč
Celkem provozní náklady	N_P	2 447 000	Kč

¹⁰ Náklady na palivo jsou zahrnuty pouze v míře, v jaké se zvýší spotřeba paliva pro výrobu elektřiny.

Bilanční výpočty:

Roční výroba elektrické energie:

$$E_r = P_{SV} \cdot \tau_r = 0,64800 = 2\,880 \text{ MWh/r} \quad (38)$$

Roční tržby za prodanou elektrickou energií:

$$V_E = E_E \cdot c_E = 2\,880 \cdot 2557,5 = 7\,365\,600 \text{ Kč} \quad (39)$$

Ekonomická analýza:

Prostá úvaha:

Prostá doba návratnosti:

$$T_n = \frac{N_i}{V_E - N_P} = \frac{76\,930\,721}{7\,365\,600 - 2\,447\,000} = 15,6 \text{ let} > T_{\check{z}} = 15 \quad (40)$$

Prostá doba návratnosti je přibližně rovna době životnosti zařízení. Projekt je opět pod hranicí nerealizovatelnosti.

Lze však využít stejného mechanismu jako u Varianty B 1 – dotace na podporu obnovitelných zdrojů energie SFŽP ve výši 40 % celkových investičních nákladů s maximem dotace do 100 milionů Kč.

Následuje úvaha, která bere v potaz snížení investiční částky nenávratnou dotací.

$$N_i^d = N_i - N_d = 76\,930\,721 - 30\,772\,288 = 46\,158\,432 \text{ Kč} \quad (41)$$

$$N_d = N_i \cdot 0,4 = 30\,772\,288 \text{ Kč} \quad (42)$$

Možnost financování:

Tab. 27: Finanční shrnutí a prostá doba návratnosti

Investice - Dotace	Výnosy z prodeje elektrické energie	Celkové provozní náklady	Prostá doba návratnosti
Kč	Kč/rok	Kč/rok	Rok
46 158 432	7 365 600	2 447 000	9,4

$$T_N^d = \frac{46\,158\,432}{7\,365\,600 - 2\,447\,000} = 9,4 \text{ roku} \quad (43)$$

Prostá doba návratnosti je stále poměrně vysoká. Následující analýzy prokážou, zde je o zajímavý záměr pro investora.

Ekonomická analýza z hlediska projektu:

➔ Diskontní sazba uvažována 2,5 %.

➔ Cash-Flow v každém roce provozu:

$$CF = V - N_p = 7\,365\,600 - 2\,447\,000 = 4\,918\,600 \text{ Kč} \quad (44)$$

Výpočet diskontovaného CF je uveden v následující tabulce.

Tab. 28: Diskontované CF pro Variantu B 2

Doba projektu (roky)	N_i Kč	CF Kč	CFr^j Kč	DCF Kč
0	46 158 000	-46 158 000	-46 158 000	-46 158 000
1		4 918 600	4 798 634	-41 359 366
2		4 918 600	4 681 594	-36 677 772
3		4 918 600	4 567 409	-32 110 363
4		4 918 600	4 456 009	-27 654 354
5		4 918 600	4 347 326	-23 307 028
6		4 918 600	4 241 293	-19 065 735
7		4 918 600	4 137 847	-14 927 887
8		4 918 600	4 036 924	-10 890 963
9		4 918 600	3 938 463	-6 952 501
10		4 918 600	3 842 402	-3 110 098
11		4 918 600	3 748 685	638 587
12		4 918 600	3 657 254	4 295 841
13		4 918 600	3 568 053	7 863 894
14		4 918 600	3 481 027	11 344 921
15		4 918 600	3 396 124	14 741 044

→ Splatnost:

$$T_o = \frac{N_i}{CF} = \frac{46\,158\,000}{4\,918\,600} = 9,4 \text{ roků} \quad (45)$$

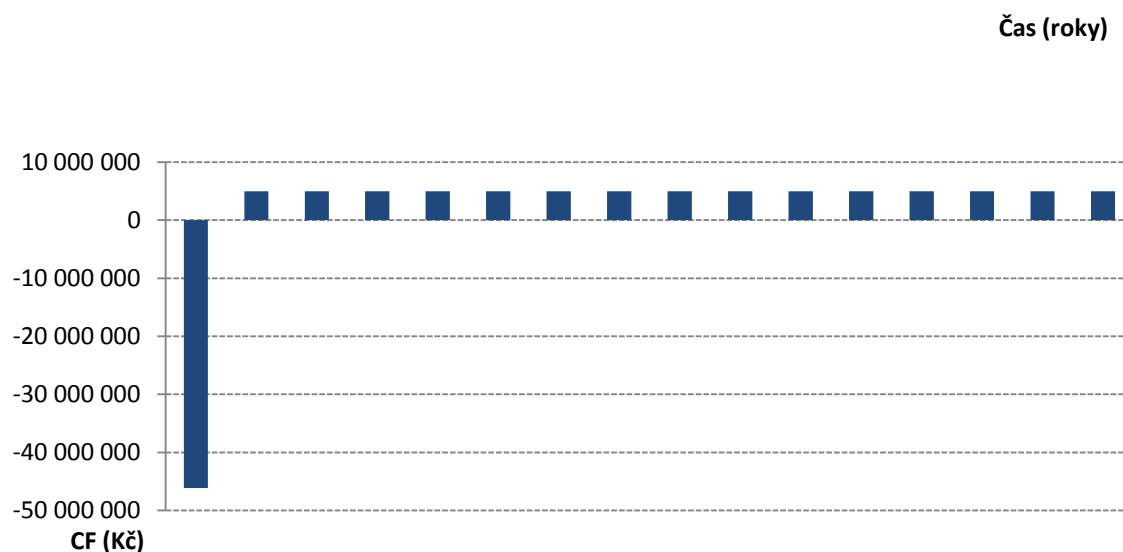
→ Doba splatnosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1-T_o \cdot d}}{\ln(1+d)} = \frac{\ln \frac{1}{1-9,4 \cdot 0,025}}{\ln(1+0,025)} = 10,8 \text{ roku} \quad (46)$$

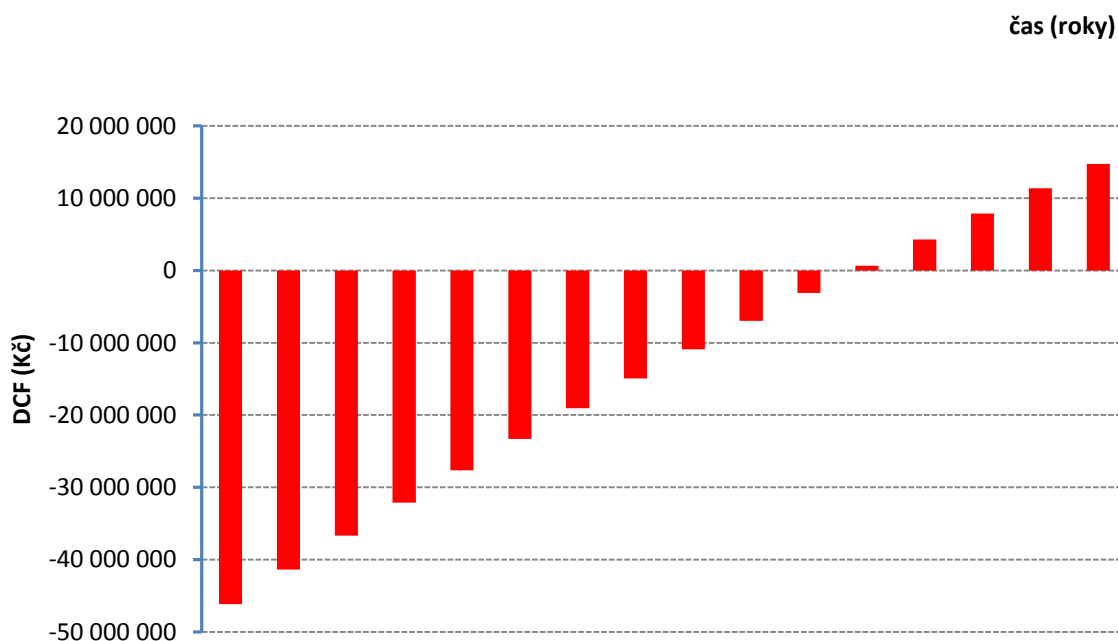
→ Vnitřní výnosové procento IRR:

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 0 \rightarrow IRR = r \quad (47)$$

Postupnou iterací dostaneme **IRR = 6,9 %**



Graf 4: Grafické znázornění CF pro variantu B 2



Graf 5: Grafické znázornění DCF pro Variantu B 2

Vyhodnocení Varianty B 2:

Jak ukazuje **Tab. 28** a grafické znázornění výsledků, Varianta B 2 se většinu doby životnosti zařízení pohybuje v „červených číslech.“ Vnitřní výnosové procento je mírně vyšší než u Varianty B2, přesto je stále velmi nízké.

2. 3. 3. Varianta B 3: ORC 600 kW_e, kotel 3,5 MW_t, 7 500 hodin

Vstupní data:

- ➔ Provozní hodiny instalovaného výkonu: 7 500 hodin (předpokládané)
- ➔ Účinnost spalování: 85 %
- ➔ Výhřevnost paliva 10,5 GJ/t, maximální vlhkost 55 % (dřevní štěpka, piliny, kůra)
- ➔ Elektrický příkon kotelny 50 kW

Předpokládaný provoz jednotky ORC:

- ➔ Veškerá vyrobená energie bude prodávána do sítě
- ➔ Elektrická energie nutná k pokrytí spotřeby v kotelně bude nakupována ze sítě
- ➔ Při celoročním provozu kotle je nutno snížit v letních měsících výkon nebo mařit teplo v chladiči.

Podmínky pro ekonomické vyhodnocení Varianty B 3:

- ➔ Ekonomické kalkulace jsou provedeny ve stálých cenách roku 2008
- ➔ Je uvažován reálný diskont 2,5 %
- ➔ Při výpočtu se vychází z výkupní ceny elektrické energie dle ERÚ č.7/2007
- ➔ Ceny jsou uváděny bez daně z přidané hodnoty. Při výpočtu se vychází z předpokladu, že investor (město) neprovádí daňové odpisy hmotného investičního majetku a platí nulovou daň z příjmu.

Návrh cyklu termoolejového kotle 3,5 MW s ORC blokovou jednotkou 600 kW_e:

- ➔ Použit stejný systém jako u Varianty B 2 – viz **Tab. 24, Obr. 19**
- ➔ Totožné jsou také energetické parametry.

Ekonomické vyhodnocení varianty B 3 (ORC 600 kW_e, 7 500 hod):

Vstupy:

- ➔ Diskontní sazba: 2,5 %
- ➔ Cena prodávané energie 2,557 Kč/kWh
- ➔ Předpokládaná výhřevnost paliva 10,5 MJ/kg, maximální vlhkost 50 %
- ➔ Ve variantě B 3 není uvažováno s případným navýšením odběratelů tepla. Proto do ekonomického hodnocení u nového energetického zdroje není zahrnut prodej tepla. Náklady na palivo jsou brány v takové míře, o kterou se zvýší jeho spotřeba nutná k výrobě elektrické energie.
- ➔ Náklady na uložení popela jsou zanedbány
- ➔ Vstupní údaje o výši investice jsou uvedeny v **Tab. 29**. Data jsou získány z nabídkového listu firem produkujících kogenerační zařízení na bázi ORC cyklu a aktualizovány pro rok 2008.

Tab. 29: Rozepsaná investice varianty B 3

Nutné investiční náklady pro kotel 1,5 MW a ORC 200 kW, 7 500 hodin			
Položka	Označení	Cena	Jednotka
Technologie:			
Bloková jednotka ORC	N_{IORC}	37 671 800	Kč
Kotel	N_{iK}	20 054 300	Kč
Ostatní technologie	N_{iOT}	19 793 010	Kč
Celkem technologie	N_{iTech}	60 705 401	Kč
El. instalace + Měření a regulace	N_{iEM}	5 482 600	Kč
Stavba objektu (SO)	N_{iS}	6 703 780	Kč
Elektroinstal. SO	N_{iES}	3 258 050	Kč
Stavba externího skladu paliva	N_{iSP}	1 780 890	Kč
Investice celkem	N_i	76 930 721	Kč

Tab. 30: Provozní údaje pro kotel 3,5 MW a ORC 600 kW, 7 500 hodin

Provozní údaje pro kotel 1,5 MW a ORC 200 kW			
Položka	Označení		Jednotka
Roční doba využití	T_r	7 500	hod
Výnosy ORC 200 kW_e	V_E	11 508 750	Kč
Provozní náklady			
Náklady na spotřebovanou elektřinu	N_{VS}	802 500	Kč
Náklady na opravy	N_{OP}	250 000	Kč
Náklady na palivo ¹¹	N_{Pal}	2 160 000	Kč
Ostatní provozní náklady	N_{Ost}	301 000	Kč
Celkem provozní náklady	N_P	3 513 500	Kč

Bilanční výpočty:

Roční výroba elektrické energie:

$$E_r = P_{SV} \cdot \tau_r = 0,67500 = 4\,500 \text{ MWh/r} \quad (48)$$

Roční tržby za prodanou elektrickou energii:

$$V_E = E_E \cdot c_E 4\,500 \cdot 2557,5 = 11\,508\,750 \text{ Kč} \quad (49)$$

Ekonomická analýza:

Prostá úvaha:

Prostá doba návratnosti:

$$T_n = \frac{N_i}{V_E - N_P} = \frac{76\,930\,721}{11\,508\,750 - 3\,513\,500} = 9,6 \text{ let} < T_{\check{z}} = 15 \quad (50)$$

Prostá doba návratnosti je nižší než doba životnosti, T_N lze ještě snížit využitím dotace SFŽP.

¹¹ Náklady na palivo jsou zahrnuty pouze v míře, v jaké se zvýší spotřeba paliva pro výrobu elektřiny. Ceny dle dat Bystřická tepelná s.r.o.

Následuje úvaha, která bere v potaz snížení investiční částky nenávratnou dotací.

$$N_i^d = N_i - N_d = 76\,930\,721 - 30\,772\,288 = 46\,158\,432 \text{ Kč} \quad (51)$$

$$N_d = N_i \cdot 0,4 = 30\,772\,288 \text{ Kč} \quad (52)$$

Možnost financování:

Tab. 31: Finanční shrnutí a prostá doba návratnosti

Investice - Dotace	Výnosy z prodeje elektrické energie	Celkové provozní náklady	Prostá doba návratnosti
Kč	Kč/rok	Kč/rok	Rok
46 158 432	11 508 750	3 513 500	5,8

$$T_N^d = \frac{46\,158\,432}{11\,508\,750 - 3\,513\,500} = 5,8 \text{ roku} \quad (53)$$

Ekonomická analýza z hlediska projektu:

➔ Diskontní sazba uvažována 2,5 %.

➔ Cash-Flow v každém roce provozu:

$$CF = V - N_p = 11\,508\,750 - 3\,513\,500 = 7\,995\,250 \text{ Kč} \quad (54)$$

Výpočet diskontovaného CF je uveden v následující tabulce.

Tab. 32: Diskontované CF pro Variantu B 3

Doba projektu	N_i	CF	CFr^j	DCF
Roky	Kč	Kč	Kč	Kč
0	46 158 000	-46 158 000	-46 158 000	-46 158 000
1		7 995 250	7 800 244	-38 357 756
2		7 995 250	7 609 994	-30 747 762
3		7 995 250	7 424 384	-23 323 378
4		7 995 250	7 243 302	-16 080 076
5		7 995 250	7 066 636	-9 013 440
6		7 995 250	6 894 279	-2 119 161
7		7 995 250	6 726 126	4 606 965
8		7 995 250	6 562 074	11 169 039
9		7 995 250	6 402 023	17 571 063
10		7 995 250	6 245 877	23 816 939
11		7 995 250	6 093 538	29 910 477
12		7 995 250	5 944 915	35 855 392
13		7 995 250	5 799 917	41 655 310
14		7 995 250	5 658 456	47 313 766
15		7 995 250	5 520 445	52 834 210

→ Splatnost:

$$T_o = \frac{N_i}{CF} = \frac{46\,158\,000}{7\,995\,250} = 5,8 \text{ roků} \quad (55)$$

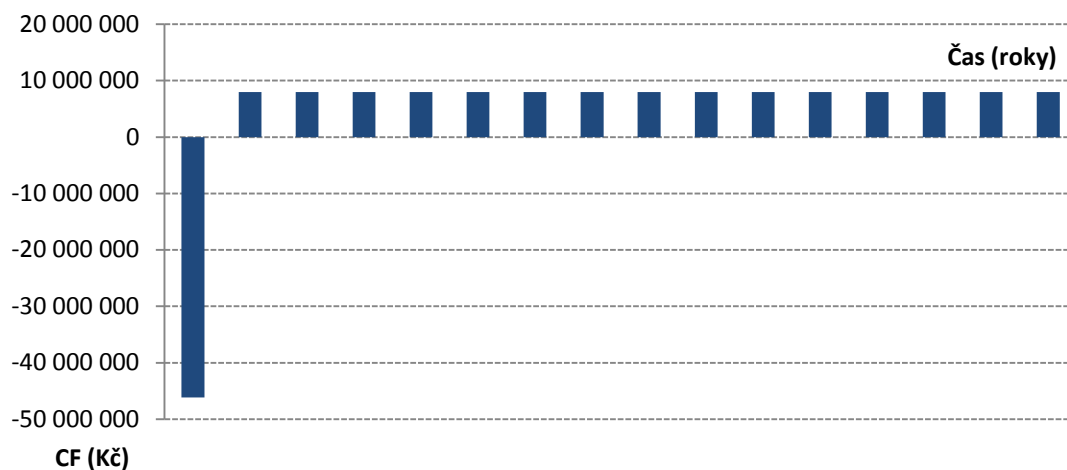
→ Doba splatnosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_o \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 5,8 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} = 6,4 \text{ roku} \quad (56)$$

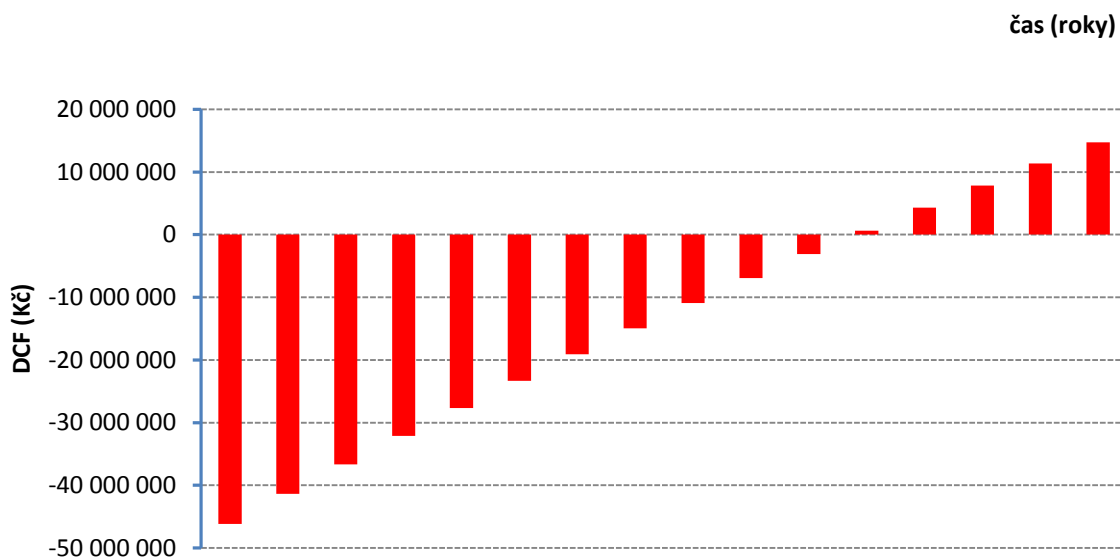
→ Vnitřní výnosové procento IRR:

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 0 \rightarrow IRR = r \quad (57)$$

Postupnou iterací dostaneme **IRR = 15,3 %**



Graf 6: Grafické znázornění CF pro variantu B 3



Graf 7: Grafické znázornění DCF pro Variantu B 3

Vyhodnocení Varianty B 3:

Jak ukazuje **Tab. 32** a grafické znázornění výsledků níže následující porovnání všech tří variant, vykazuje Varianta B 3 nejlepší šance pro realizovatelnost. Bude proto pro ni vypracována ekonomická analýza z hlediska investora – města.

Tab. 33: Porovnání variant B 1 – B 3

Varianta	N_i^d	T_N^d	NPV	IRR
	Kč	roky	Kč	%
B 1	30 822 258	15,3	-5 914 269	< 1
B 2	46 158 432	9,3	14 741 044	6,9
B 3	46 158 432	5,7	52 834 210	15,3

2. 4. Ekonomická analýza z hlediska investora (Varianta B 3):

Z tabulky **Tab. 33** vyplývá, že nevhodnějším řešením je varianta B 3. Proto pro ni bude provedena analýza z hlediska investora.

a) Zjednodušená varianta (nejsou uvažovány odpisy majetku):

- ➔ Ve výpočtu je uvažována konstantní výkupní cena elektrické energie po dobu 15 let
- ➔ Zařízení bude vlastnit město, proto se neuvažuje daň z příjmů
- ➔ Do cash-flow se nezahrnují odpisy

Tab. 34: Vstupní data pro ekonomické vyhodnocení z pohledu investora

Položka	Údaj	Jednotka
N_i^d	46 158 432	Kč
Diskontní sazba	2,5	%
Vlastní prostředky	10 158 432	Kč
Půjčka	36 000 000	Kč
Úrok	7	%
Doba splatnosti úvěru	7	let

- ➔ Poměrná anuita úvěru:

$$a_{T_{su}} = \frac{(1+u)^{T_{su,u}}}{(1+u)^{T_{su,u}}-1} = \frac{(1+0,07)^7 \cdot 0,08}{(1+0,07)^7-1} = 0,186 \quad (58)$$

- ➔ Roční splátka úvěru:

$$N_{spl} = \frac{N_{ip}}{T_{su}} = \frac{36\,000\,000}{7} = 5\,142\,857 \text{ Kč} \quad (59)$$

→ Úrok z úvěru:

$$N_{\dot{u}} = \left(a_{T_{su}} - \frac{1}{T_{su}}\right) N_{ip} = \left(0,186 - \frac{1}{7}\right) \cdot 36\,000\,000 = 1\,573\,059 \text{ Kč} \quad (60)$$

Rozvaha pro roky 1 – 7:

→ Hrubý zisk:

$$Z = V - N_p - N_{\dot{u}} = 11\,508\,750 - 3\,513\,500 - 1\,573\,059 = 6\,458\,191 \text{ Kč} \quad (61)$$

→ Cash-Flow:

$$CF_1 = CF_2 = CF_3 = CF_4 = CF_5 = CF_6 = CF_7 = V - N_p - N_{\dot{u}} - N_{spl} = 11\,508\,750 - 3\,077\,287 - 1\,771\,749 - 5\,142\,857 = 1\,315\,333 \text{ Kč} \quad (62)$$

Rozvaha pro roky 8 – 15:

→ Hrubý zisk:

$$Z = V - N_p = 11\,508\,750 - 3\,513\,500 = 7\,995\,250 \text{ Kč} \quad (63)$$

→ Cash-Flow:

$$CF_8 = CF_9 = CF_{10} = CF_{11} = CF_{12} = CF_{13} = CF_{14} = CF_{15} = V - N_p = 11\,508\,750 - 3\,077\,287 = 7\,995\,250 \text{ Kč} \quad (64)$$

Finanční úvaha k hodnocení ekonomické efektivity investice dle [32] a [33]:

Výpočet ekonomických aspektů uvažovaných projektů na ekonomiku investora je nepostradatelným materiálem pro rozhodování investora. K základním výchozím podmínkám patří respektování korektních předpisů ekonomického rozhodování i ekonomických dispozic, v nichž se investor při přípravě investičního projektu pohybuje. Výstupy z ekonomického hodnocení musí být předloženy institucím, u kterých žádá investor o poskytnutí úvěru formou půjčky. Jsou také nezbytné pro žádost o finanční podporu u SFŽP či jiného datačního titulu, který na jejich základě rozhoduje o poskytnutí potřebné dotace.

Vstupními daty pro správné vyhodnocení ekonomické efektivity daného projektu jsou: doba životnosti zařízení, výše potřebné investice, finanční možnosti investora, úvěr, doba splácení úvěru a podmínky pro jeho získání, roční výnos, roční provozní náklady, diskontní sazba (zde volena podle České národní banky). Celkový ekonomický efekt projektu je také ovlivňován daní z příjmu, případnými daňovými úlevami a státní či jinou podporou (například z krajských programů).

Jak již bylo uvedeno v úvodu daň z příjmu, a odpisy nejsou uvažovány. Úvaha je také aplikováno zjednodušení v předpokladu konstantní výše zisků a nákladů na provoz po celou dobu předpokládané životnosti.

Tab. 35: Hodnocení ekonomické efektivity investice

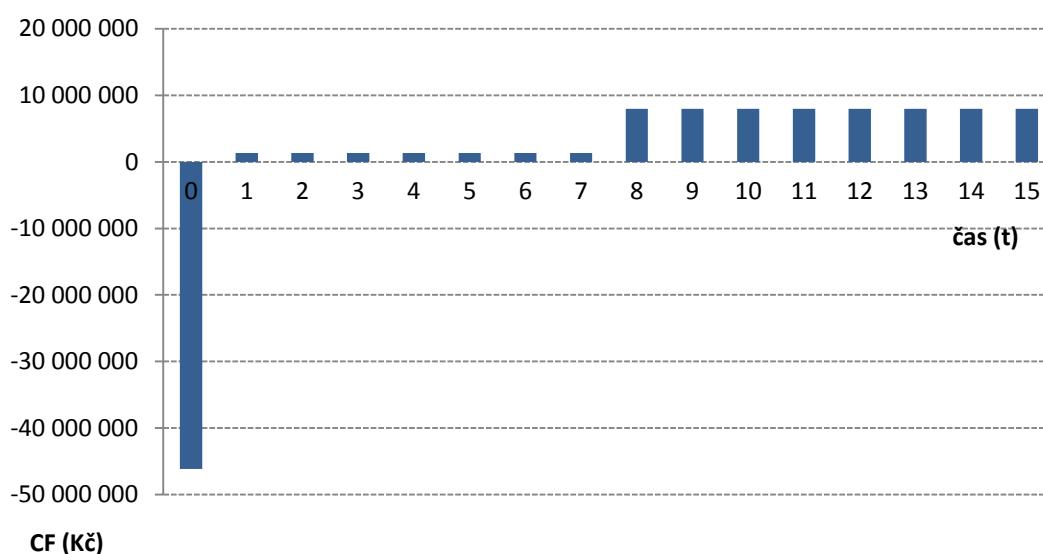
Čas	N_i	CF	CFr^j	DCF	Z	Zr^j
rok	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
0	-46 158 432	-46 158 432	-46 158 432	-46 158 432		
1		1 315 333	1 283 252	-44 875 179	6 458 191	6 300 674
2		1 315 333	1 251 953	-43 623 226	6 458 191	6 146 999
3		1 315 333	1 221 418	-42 401 807	6 458 191	5 997 072
4		1 315 333	1 191 627	-41 210 180	6 458 191	5 850 802
5		1 315 333	1 162 563	-40 047 616	6 458 191	5 708 099
6		1 315 333	1 134 208	-38 913 408	6 458 191	5 568 878
7		1 315 333	1 106 544	-37 806 863	6 458 191	5 433 051
8		7 995 250	6 562 074	-31 244 789	7 995 250	6 562 074
9		7 995 250	6 402 023	-24 842 765	7 995 250	6 402 023
10		7 995 250	6 245 876	-18 596 889	7 995 250	6 245 876
11		7 995 250	6 093 538	-12 503 351	7 995 250	6 093 538
12		7 995 250	5 944 915	-6 558 436	7 995 250	5 944 915
13		7 995 250	5 799 917	-758 518	7 995 250	5 799 917
14		7 995 250	5 658 455	4 899 936	7 995 250	5 658 455
15		7 995 250	5 520 444	10 420 381	7 995 250	5 520 444

K vyhodnocení ekonomické efektivity investice se řadí:

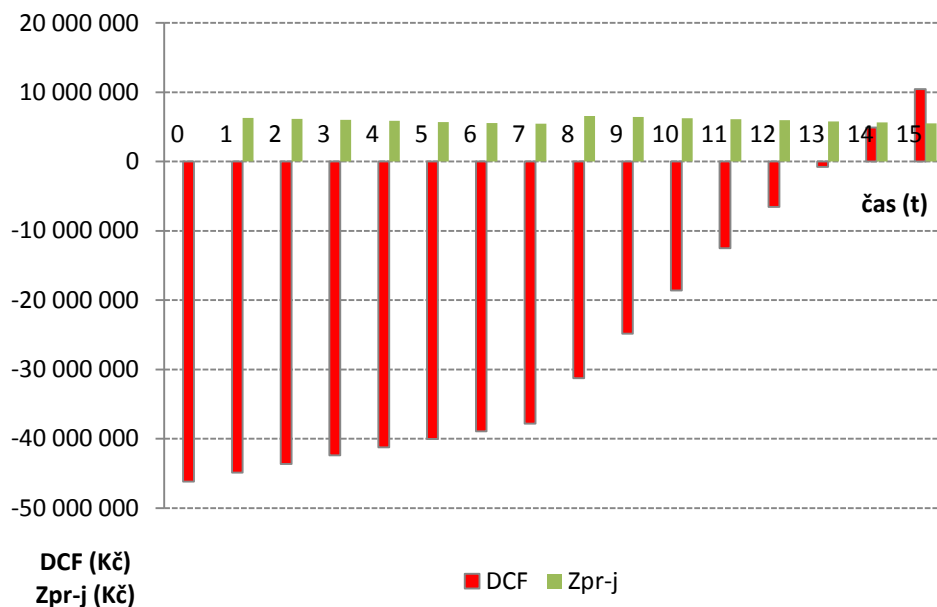
→ Čistá současná hodnota projektu:

$$NPV = \sum_0^t DCF = 10\,420\,381 \text{ Kč} \quad (65)$$

→ Doba návratnosti: $T = 12$ let, Diskontovaná doba návratnosti $T_D = 14$ let, Vnitřní výnosové procento $IRR = 5\%$.



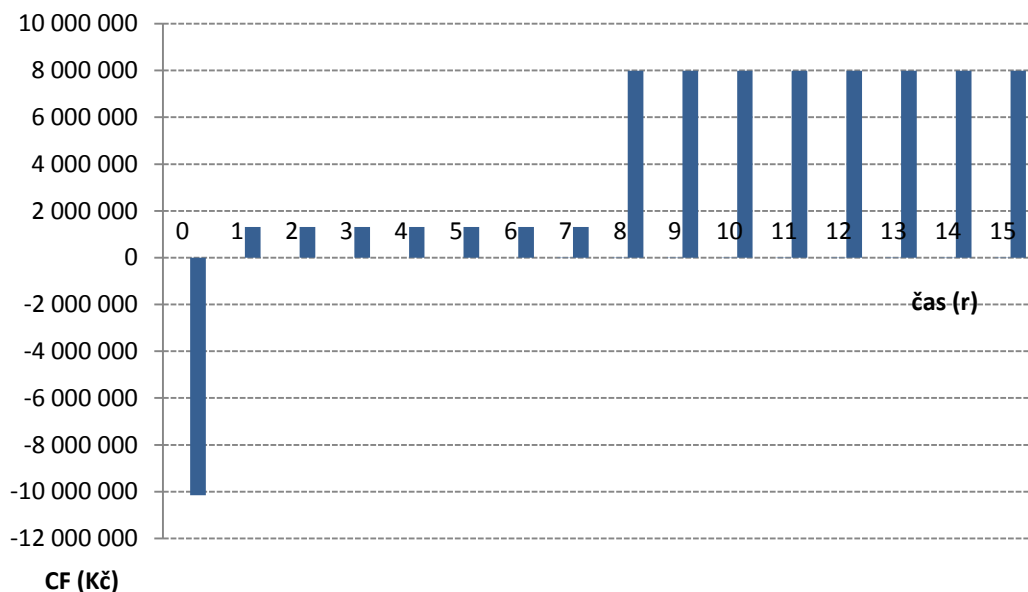
Graf 8: Průběh cash-flow (CF) v závislosti na životnosti pro hodnocení ekonomické efektivity investice



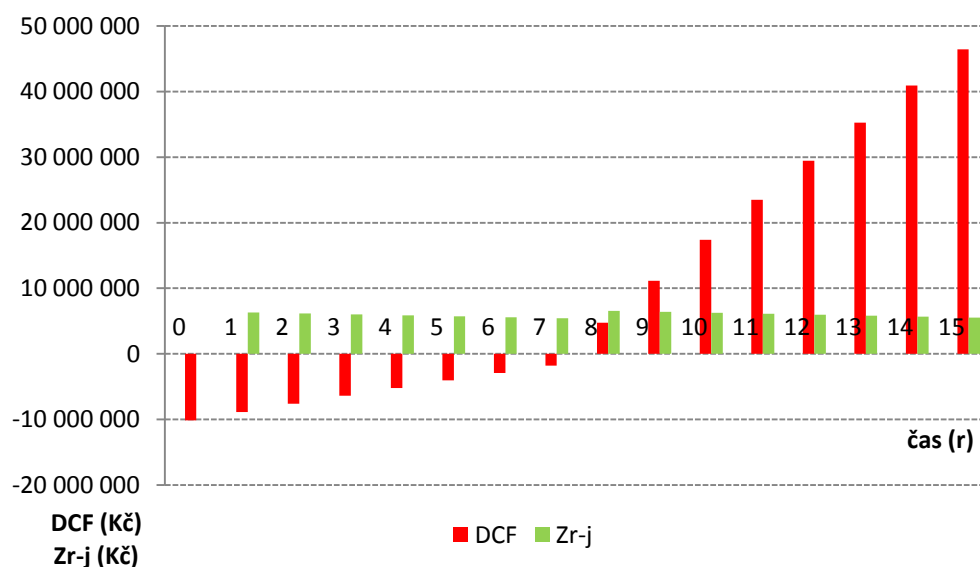
Graf 9: Průběh diskontního cash-flow (DCF) a zisku (Z_{pr}^j) v závislosti na životnosti pro hodnocení ekonomické efektivity investice

Ekonomická analýza z hlediska investora podle [31]:

Doba	Ni	CF	CFr ^j	DCF	Z	Zr ^j
rok	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
0	-10 158 432	-10 158 432	-10 158 432	-10 158 432		
1		1 315 334	1 283 253	-8 875 179	6 458 191	6 300 674
2		1 315 334	1 251 954	-7 623 226	6 458 191	6 146 999
3		1 315 334	1 221 418	-6 401 807	6 458 191	5 997 073
4		1 315 334	1 191 628	-5 210 179	6 458 191	5 850 802
5		1 315 334	1 162 564	-4 047 616	6 458 191	5 708 100
6		1 315 334	1 134 208	-2 913 408	6 458 191	5 568 878
7		1 315 334	1 106 545	-1 806 863	6 458 191	5 433 052
8		7 995 250	6 562 074	4 755 211	7 995 250	6 562 074
9		7 995 250	6 402 023	11 157 235	7 995 250	6 402 023
10		7 995 250	6 245 877	17 403 111	7 995 250	6 245 877
11		7 995 250	6 093 538	23 496 649	7 995 250	6 093 538
12		7 995 250	5 944 915	29 441 564	7 995 250	5 944 915
13		7 995 250	5 799 917	35 241 482	7 995 250	5 799 917
14		7 995 250	5 658 456	40 899 938	7 995 250	5 658 456
15		7 995 250	5 520 445	46 420 382	7 995 250	5 520 445



Graf 10: Průběh cash-flow v ekonomické analýze investora podle [31]



Graf 11: Průběh diskontního cash-flow (DCF) a zisku (Zr^j) v ekonomické analýze investora podle [31]

Dílčí závěr vyhodnocení ekonomické efektivity investice do projektu „Varianta B 3“

Varianta B 3 se při srovnání se zbývajících dvěma možnostmi vybudování ORC cyklu s novým termoolejovým kotlem na biomasu jako nejlepší. Město sice netrvá na čistě komerčním projektu a má zájem účastnit se na projektech v oblasti obnovitelných zdrojů. Po vyhodnocení ekonomické efektivity investice se zahrnutím nutných nákladů na splácení úvěru však nedosahuje Varianta příznivého hodnocení, které by vedlo k doporučení realizovat projekt.

Ekonomika projektu by zlepšil, kdyby se městu podařilo nasmlouvat nové zájemce o dodávky tepelné energie. Avšak je nutno v takovém případě počítat se zvýšením palivových nákladů.

Za dalšími příčinami může stát zvolená technologie, která vykazuje vyšší nároky na instalovaný kilowatt než konvenční anorganické parní kogenerace. Jiným aspektem může být špatně

stanovená výkupní cena ERÚ. Je-li druhý možný jev příčinou slabého zájmu o budování biomasových kogenerací, může to ohrozit dosažení indikativního cíle ČR – dosažení do 8 % OZE do roku 2010. Navýšení dotace by nebylo správnou cestou, neboť k podpoře OZE má především sloužit zákon na podporu výroby elektrické energie z OZE (č 180/2005 Sb.).

Při stanovení ekonomických závěrů je však třeba mít na paměti, že jde o výsledky pouze orientační. Cena jednotlivých variant nevzešla z výběrového řízení, ale je odhadnuta dle již vybudovaných ORC systémů a dalších údajů od provozovatele aktualizovaných na dnešní ceny. Výpočet by také na řadě míst zjednodušen oproti reálnému stavu.

2. 5. Varianta C: Výstavba nového zdroje v průmyslové zóně

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, mimo řešení využívající okolní prostor stávající výtopny na biomasu se ještě nabízí stavba zcela nového kogeneračního zařízení v jiné lokalitě – v průmyslové zóně. Tato zóna je situována v okolí vlakového nádraží a město se snaží přilákat zájemce o podnikání. Průmyslová zóna není napojena na stávající systém CZT. V případě, že by se město rozhodlo vybudovat novou kotelnu, může tím zvýšit atraktivitu lokality dodávkami tepla pro technologické potřeby podniků vybudovaných v lokalitě.

Město by tak mělo nesmlouvat stálé zákazníky pro odbyt tepla, elektrickou energii by prodávalo do sítě. Výhodou tohoto řešení je, že zůstane zaručen stávající čistý vzduch. Neboť se tak město vyhne možnému riziku, že některá z budoucích firem postaví řešení svých energetických potřeb na fosilních zdrojích či nebude své objekty vytápět přímotopy na elektrický proud. Dle konzultací s vedením Bystřická tepelná s.r.o. však v současné době není žádný vážný zájemce o vybudování podniku využívající ve výrobě páru či větší firma, které by se mohlo dodat teplo na vytápění rozsáhlého objektu.

Nástin řešení:

Bylo by nutno postavit budovu kotelny, sklady a technologická příslušenství pro nakládání s palivem – biomasou, komín. Protože průmyslová zóna není napojena na městskou tepelné rozvody v CZT bylo by třeba také vybudovat propojení mezi těmito sítěmi. Parní kotelna by pak přes výměňkovou stanici mohla sloužit jako záloha pro teplovodní síť.

Z důvodů větších nákladů na vybudování infrastruktury se nabízí použití levnější technologie než je ORC – parní kogenerace. Kogenerační zařízení by bylo sestaveno z parního kotle na biomasu, který by produkoval páru na mezi sytosti, do obvodu integrovaný parní turbogenerátor, by redukoval parametry páry pro využití v technologickém procesu nebo na vytápění objektu v průmyslové zóně.

Princip parní kogenerace byl popsán v kapitole 1.5. Část B. V krátkosti lze možnou aplikaci parní kogenerace v Bystřici popsat dle [29]: lze uvažovat, že nový zdroj bude nižšího výkonu, točivá redukce o výkonu ve stovkách kilowatt. Pro takovýto výkon jsou dodávány protitlaké turbíny axiální nebo radiální, které přes převodovku pohánějí generátor. Dle zvolené konstrukce se vstupní/výstupní tlak páry pohybuje v intervalech 0,9 až 6,5/0,1 až 0,7 MPa, teplota páry v rozmezí 200 až 450 °C.

Výhody Varianty C:

- ➔ Využitím parní kogenerace z biomasy se udrží podíl nízkoemisních zdrojů na produkci energie ve městě.

- ➔ Vhodně nastaveným systémem může město nalákat investory – např: firmy dbající na využívání energie z obnovitelných zdrojů, cena dodávaného tepla však musí být konkurenceschopná s jinými druhy zdrojů.
- ➔ Projekt v součinnosti s rozvojem průmyslové zóny podpoří zaměstnanost v lokalitě.

Nevýhody Varianty C:

- ➔ Podnik, kterému bude město dodávat teplo, může z lokality odejít. Ztrátou odběratele se výrazně zhorší ekonomika projektu.
- ➔ Projekt bude vykazovat vyšší náklady na obsluhu – u parní kogenerace je nutná větší obsluha než u ORC. Zvýší se také náklady na palivové hospodářství nutností vybudování a koupí nových zařízení (Varianta B by částečně využívala stávající techniku a infrastrukturu).

Závěr k Variantě C:

Posouzení možnosti vybudování nového energetického zdroje by mělo vyjít ze samostatné analýzy jednotlivých technických a ekonomických aspektů daného projektu. V současné době neexistují přesná ani přibližná data k bližšímu návrhu energetických potřeb pro průmyslovou zónu. Po předběžné analýze by mělo město vyhledat vhodného strategického partnera se zájmem o podnikání v lokalitě. Tedy takového zájemce, u kterého by předmět podnikání koreloval se záměrem města. A v souladu s podnikatelským subjektem pak navrhnout tepelný a elektrický výkon kogeneračního zařízení.

V případě, že tohoto zájemce město nenajde, může jít směrem vlastního podnikatelského záměru – například vybudování lihovaru, sušárny na zemědělské plody nebo zařízení na zpracování dřeva z rychle rostoucích dřevin, jejichž možnosti v regionu zkoumá město v paralelním projektu k energetickým zdrojům. V případě vybudování lihovaru se může mezi možné energetické systémy zahrnout také bioplynová stanice spalující výpalky z lihovaru.

2. 6. Návrh na změnu nastavení výkupních cen energie z biomasy

Jak ukázaly ekonomické propočty návrhů jednotlivých technických systémů dle Variant B 1 až B 2 a dílčí závěry v kapitole 2. 4. Může být jednou z příčin pomalého rozvoje OZE špatně nastavený systém výkupních cen – respektive jejich výše. Tato kapitola tedy provede návrh s vyšší výkupní cenou, u které by již řešení mohlo nalézt zájem u potencionálních investorů. Autor si samozřejmě uvědomuje, že jde pouze o ilustrativní příklad s řadou zjednodušení.

Příklad vychází ze stejných ekonomických parametrů jako ve Variantě B 3. Je pouze navýšena výkupní cena elektřiny z biomasy. Uvažuje se zvýšení výkupní ceny elektřiny o přibližně 40 %. Tedy z 2557 Kč/MWh na 3555 Kč/MWh.

a) Zjednodušená varianta (nejsou uvažovány odpisy majetku):

- ➔ Ve výpočtu je uvažována konstantní výkupní cena elektrické energie po dobu 15 let
- ➔ Zařízení bude vlastnit město, proto se neuvažuje daň z příjmů
- ➔ Do cash-flow se nezahrnují odpisy

Tab. 36: Vstupní data pro ekonomické vyhodnocení z pohledu investora

Položka	Údaj	Jednotka
N_i^d	46 158 432	Kč
Roční prodej energie	16 000 000	Kč
Diskontní sazba	2,5	%
Vlastní prostředky	10 158 432	Kč
Půjčka	36 000 000	Kč
Úrok	7	%
Doba splatnosti úvěru	7	let

→ Poměrná anuita úvěru:

$$a_{T_{su}} = \frac{(1+u)^{T_{su}.u}}{(1+u)^{T_{su}}-1} = \frac{(1+0,07)^{7.0,08}}{(1+0,07)^7-1} = 0,186 \quad (58)$$

→ Roční splátka úvěru:

$$N_{spl} = \frac{N_{ip}}{T_{su}} = \frac{36\,000\,000}{7} = 5\,142\,857 \text{ Kč} \quad (59)$$

→ Úrok z úvěru:

$$N_{\dot{u}} = \left(a_{T_{su}} - \frac{1}{T_{su}}\right) N_{ip} = \left(0,186 - \frac{1}{7}\right) \cdot 36\,000\,000 = 1\,573\,059 \text{ Kč} \quad (60)$$

Rozvaha pro roky 1 – 7:

→ Hrubý zisk:

$$Z = V - N_p - N_{\dot{u}} = 16\,000\,000 - 3\,513\,500 - 1\,573\,059 = 10\,913\,441 \text{ Kč} \quad (61)$$

→ Cash-Flow:

$$CF_1 = CF_2 = CF_3 = CF_4 = CF_5 = CF_6 = CF_7 = V - N_p - N_{\dot{u}} - N_{spl} = 16\,000\,000 - 3\,077\,287 - 1\,771\,749 - 5\,142\,857 = 5\,806\,583 \text{ Kč} \quad (62)$$

Rozvaha pro roky 8 – 15:

→ Hrubý zisk:

$$Z = V - N_p = 16\,000\,000 - 3\,513\,500 = 12\,486\,500 \text{ Kč} \quad (63)$$

→ Cash-Flow:

$$CF_8 = CF_9 = CF_{10} = CF_{11} = CF_{12} = CF_{13} = CF_{14} = CF_{15} = V - N_p = 16\,000\,000 - 3\,077\,287 = 12\,486\,500 \text{ Kč} \quad (64)$$

Finanční úvaha k hodnocení ekonomické efektivity investice dle [32] a [33]:

Tab. 37: Hodnocení ekonomické efektivity investice

Doba	Ni	CF	CFr ^j	DCF	Z	Zr ^j
rok	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
0	-46 158 433	-46 158 433	-46 158 433	-46 158 433	0	0
1		5 806 584	5 664 960	-40 493 473	10 949 441	10 682 382
2		5 806 584	5 526 790	-34 966 682	10 949 441	10 421 836
3		5 806 584	5 391 990	-29 574 692	10 949 441	10 167 645
4		5 806 584	5 260 479	-24 314 213	10 949 441	9 919 653
5		5 806 584	5 132 174	-19 182 039	10 949 441	9 677 711
6		5 806 584	5 006 999	-14 175 040	10 949 441	9 441 669
7		5 806 584	4 884 877	-9 290 163	10 949 441	9 211 384
8		12 486 500	10 248 252	958 089	12 486 500	10 248 252
9		12 486 500	9 998 295	10 956 384	12 486 500	9 998 295
10		12 486 500	9 754 434	20 710 818	12 486 500	9 754 434
11		12 486 500	9 516 521	30 227 339	12 486 500	9 516 521
12		12 486 500	9 284 411	39 511 749	12 486 500	9 284 411
13		12 486 500	9 057 962	48 569 711	12 486 500	9 057 962
14		12 486 500	8 837 036	57 406 746	12 486 500	8 837 036
15		12 486 500	8 621 498	66 028 244	12 486 500	8 621 498

K vyhodnocení ekonomické efektivity investice se řadí:

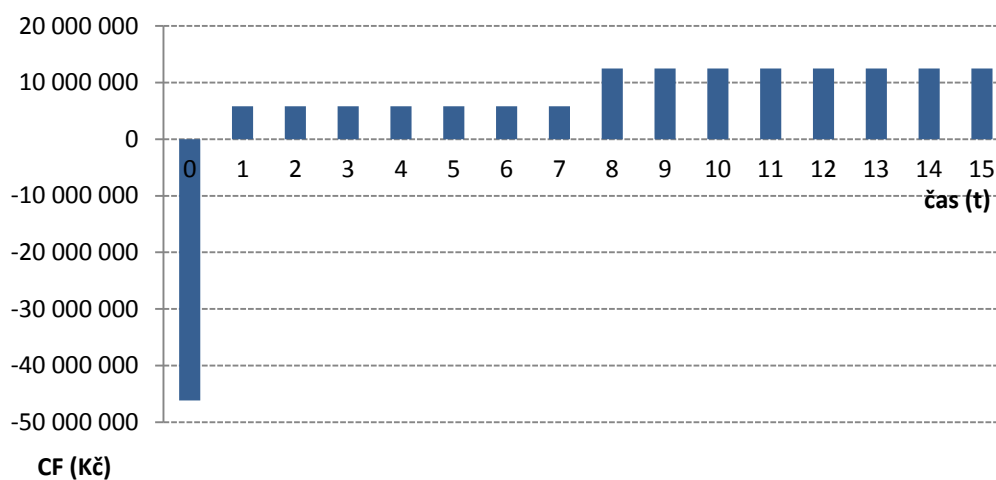
→ Čistá současná hodnota projektu:

$$NPV = \sum_0^t DCF = 66\,028\,246 \text{ Kč} \quad (65)$$

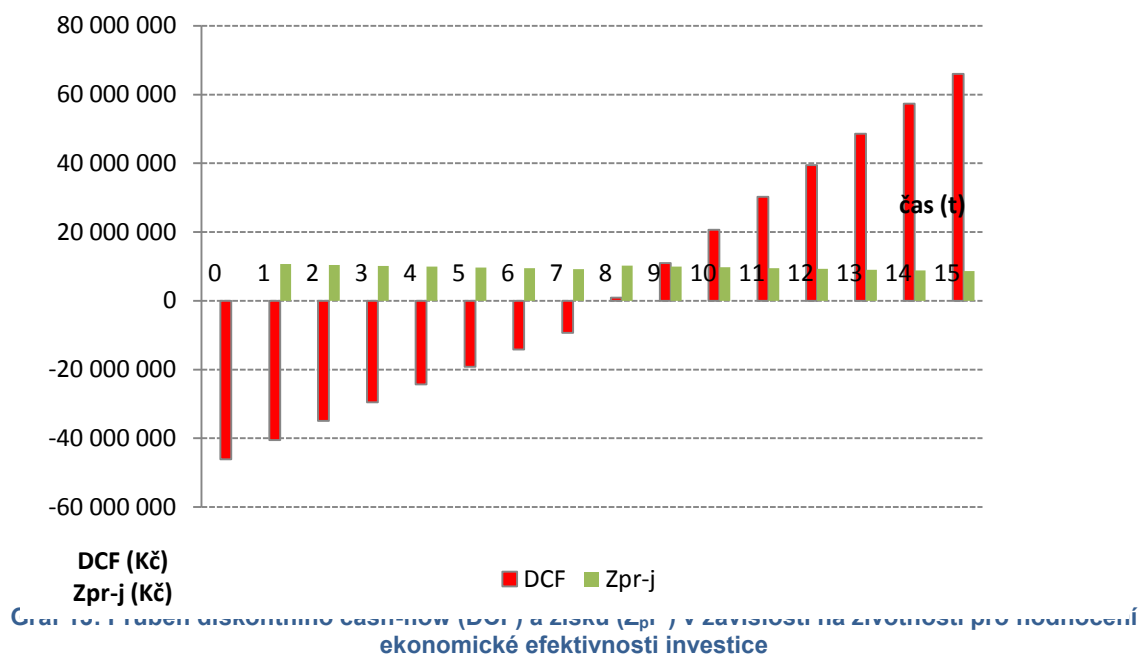
→ Doba návratnosti: $T = 8$ let,

→ Diskontovaná doba návratnosti $T_D = 8$ let,

→ Vnitřní výnosové procento $IRR = 15 \%$.

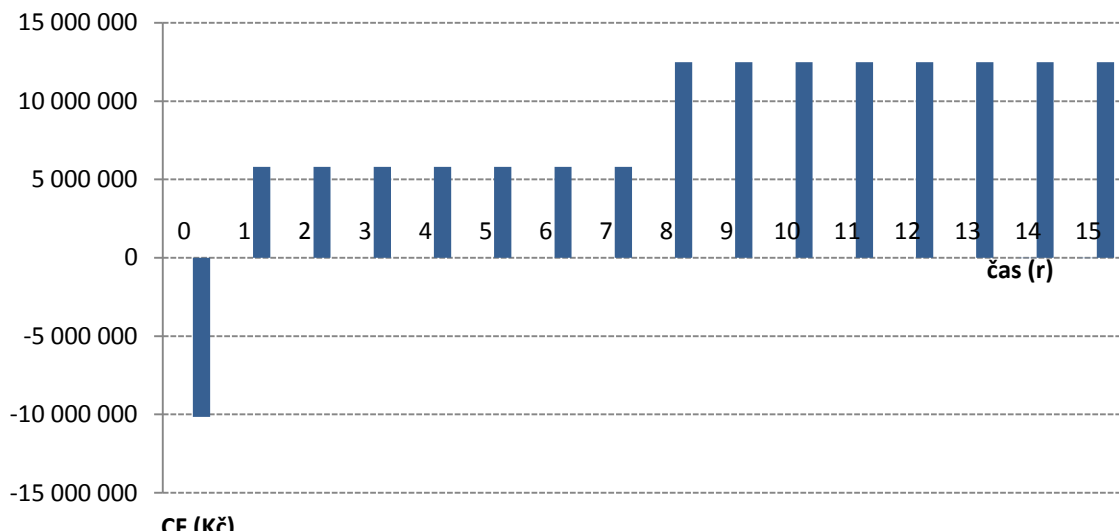


Graf 12: Průběh cash-flow (CF) v závislosti na životnosti pro hodnocení ekonomické efektivity investice

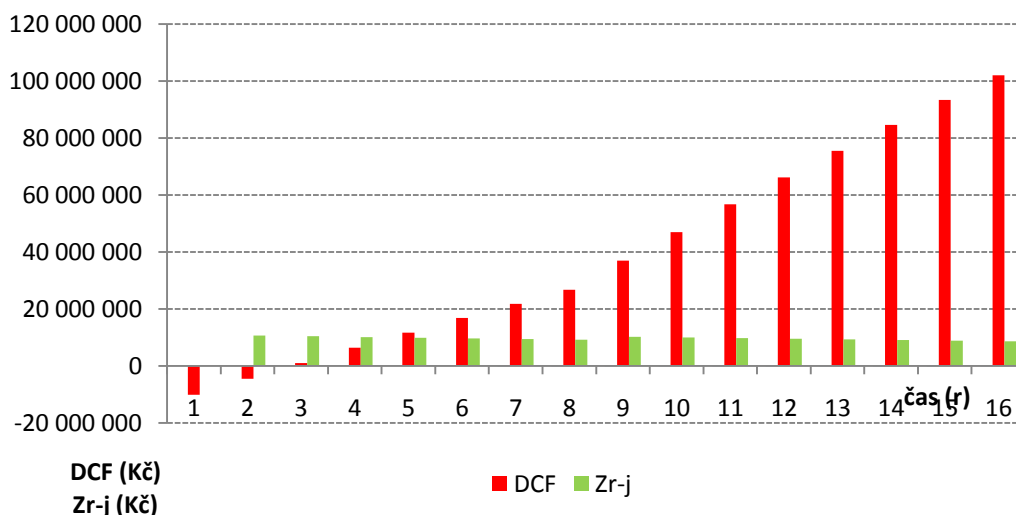


Ekonomická analýza z hlediska investora podle [31]:

Doba	Ni	CF	CFr ^j	DCF	Z	Zr ^j
rok	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
0	-10 158 432	-10 158 432	-10 158 432	-10 158 432		
1		5 806 584	5 664 960	-4 493 472	10 949 441	10 682 382
2		5 806 584	5 526 790	1 033 318	10 949 441	10 421 836
3		5 806 584	5 391 990	6 425 309	10 949 441	10 167 645
4		5 806 584	5 260 479	11 685 787	10 949 441	9 919 653
5		5 806 584	5 132 174	16 817 961	10 949 441	9 677 711
6		5 806 584	5 006 999	21 824 960	10 949 441	9 441 669
7		5 806 584	4 884 877	26 709 838	10 949 441	9 211 384
8		12 486 500	10 248 252	36 958 090	12 486 500	10 248 252
9		12 486 500	9 998 295	46 956 384	12 486 500	9 998 295
10		12 486 500	9 754 434	56 710 818	12 486 500	9 754 434
11		12 486 500	9 516 521	66 227 339	12 486 500	9 516 521
12		12 486 500	9 284 411	75 511 750	12 486 500	9 284 411
13		12 486 500	9 057 962	84 569 711	12 486 500	9 057 962
14		12 486 500	8 837 036	93 406 747	12 486 500	8 837 036
15		12 486 500	8 621 498	102 028 245	12 486 500	8 621 498



Graf 14: Průběh cash-flow v ekonomické analýze investora podle [31]



Graf 15: Průběh diskontního cash-flow (DCF) a zisku (Zr^{-j}) v ekonomické analýze investora podle [31]

Dílčí závěr po vyhodnocení „Varianty B 3“ s navýšenou výkupní cenou

Po navýšení ceny o přibližně 40 procent, se ukázalo použití ORC cyklu jako konkurenceschopné. Při úvaze o výkupních cenách je třeba brát na zřetel, že jsou myšleny pouze jako dočasný systém pobídky, který má odstranit nevýhody mladého odvětví obnovitelných zdrojů energie oproti zavedeným technologiím. Zabere-li takto nastavená investiční pobídka, povede k většímu počtu instalací a tím pádem by mělo dojít ke snížení ceny technologie – tak jak jsme tomu například svědky u větrné energetiky.

Jako protipól navýšení výkupních cen však stojí fakt, že do analýzy nejsou započítány výnosy z prodaného tepla. Úvaha v této podkapitole se tedy týká pouze teoretické rozvahy monovýroby elektřiny z biomasy pomocí ORC systému. Lze pak oprávněně namítnout, že kdyby byla zvolena jiná technologie, levnější technologie pro monovýrobu elektrické energie budou výsledky jiné.

2. 7. Teoretické posouzení varianty s prodejem tepla

Příklad opět vychází ze stejných ekonomických parametrů jako ve Variantě B 3. Ovšem nyní je připojen předpoklad, že město získá nové odběratele tepla. Podle dostupných údajů by bylo možno navýšit odběratele o jednu pětinu současného stavu.

a) Zjednodušená varianta (nejsou uvažovány odpisy majetku):

- Ve výpočtu je uvažována konstantní výkupní cena elektrické energie a tepla po dobu 15 let.
- Zařízení bude vlastnit město, proto se neuvažuje daň z příjmů.
- Do cash-flow se nezahrnují odpisy.

Tab. 38: Vstupní data pro ekonomické vyhodnocení z pohledu investora

Položka	Údaj	Jednotka
N_i^d	46 158 432	Kč
Roční prodej elektrické energie	11 508 750	Kč
Výkupní cena el. energie	2557	Kč/MWh
Roční prodej tepla	7 630 000	Kč
Cena tepla	350	Kč/GJ
Roční náklady na palivo	4 460 419	Kč
Diskontní sazba	2,5	%
Vlastní prostředky	10 158 432	Kč
Půjčka	36 000 000	Kč
Úrok	7	%
Doba splatnosti úvěru	7	let

- Poměrná anuita úvěru:

$$a_{T_{su}} = \frac{(1+u)^{T_{su,u}}}{(1+u)^{T_{su}} - 1} = \frac{(1+0,07)^7 \cdot 0,08}{(1+0,07)^7 - 1} = 0,186 \quad (58)$$

- Roční splátka úvěru:

$$N_{spl} = \frac{N_{ip}}{T_{su}} = \frac{36\,000\,000}{7} = 5\,142\,857 \text{ Kč} \quad (59)$$

- Úrok z úvěru:

$$N_{\dot{u}} = \left(a_{T_{su}} - \frac{1}{T_{su}}\right) N_{ip} = \left(0,186 - \frac{1}{7}\right) \cdot 36\,000\,000 = 1\,573\,059 \text{ Kč} \quad (60)$$

Rozvaha pro roky 1 – 7:

- Hrubý zisk:

$$Z = V - N_p - N_{\dot{u}} = 19\,138\,750 - 5\,813\,919 - 1\,573\,059 = 11\,787\,772 \text{ Kč} \quad (61)$$

→ Cash-Flow:

$$CF_1 = CF_2 = CF_3 = CF_4 = CF_5 = CF_6 = CF_7 = V - N_p - N_{\dot{u}} - N_{spl} = 19\,138\,750 - 5\,813\,919 - 1\,573\,059 - 5\,142\,857 = 6\,644\,914 \text{ Kč} \quad (62)$$

Rozvaha pro roky 8 – 15:

→ Hrubý zisk:

$$Z = V - N_p = 19\,138\,750 - 5\,813\,919 = 13\,324\,830 \text{ Kč} \quad (63)$$

→ Cash-Flow:

$$CF_8 = CF_9 = CF_{10} = CF_{11} = CF_{12} = CF_{13} = CF_{14} = CF_{15} = V - N_p = 19\,138\,750 - 5\,813\,919 = 13\,324\,830 \text{ Kč} \quad (64)$$

Finanční úvaha k hodnocení ekonomické efektivity investice dle [32] a [33]:

Tab. 39: Hodnocení ekonomické efektivity investice

Doba	Ni	CF	CFr ^j	DCF	Z	Zr ^j
rok	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
0	-46 158 433	-46 158 433	-46 158 433	-46 158 433	0	0
1		6 644 915	6 482 844	-39 675 589	11 787 772	11 500 266
2		6 644 915	6 324 726	-33 350 863	11 787 772	11 219 771
3		6 644 915	6 170 464	-27 180 399	11 787 772	10 946 118
4		6 644 915	6 019 965	-21 160 434	11 787 772	10 679 140
5		6 644 915	5 873 137	-15 287 297	11 787 772	10 418 673
6		6 644 915	5 729 889	-9 557 408	11 787 772	10 164 559
7		6 644 915	5 590 136	-3 967 272	11 787 772	9 916 643
8		13 324 831	10 936 309	6 969 037	13 324 831	10 936 309
9		13 324 831	10 669 570	17 638 607	13 324 831	10 669 570
10		13 324 831	10 409 337	28 047 944	13 324 831	10 409 337
11		13 324 831	10 155 450	38 203 394	13 324 831	10 155 450
12		13 324 831	9 907 756	48 111 151	13 324 831	9 907 756
13		13 324 831	9 666 104	57 777 255	13 324 831	9 666 104
14		13 324 831	9 430 345	67 207 600	13 324 831	9 430 345
15		13 324 831	9 200 337	76 407 937	13 324 831	9 200 337

K vyhodnocení ekonomické efektivity investice se řadí:

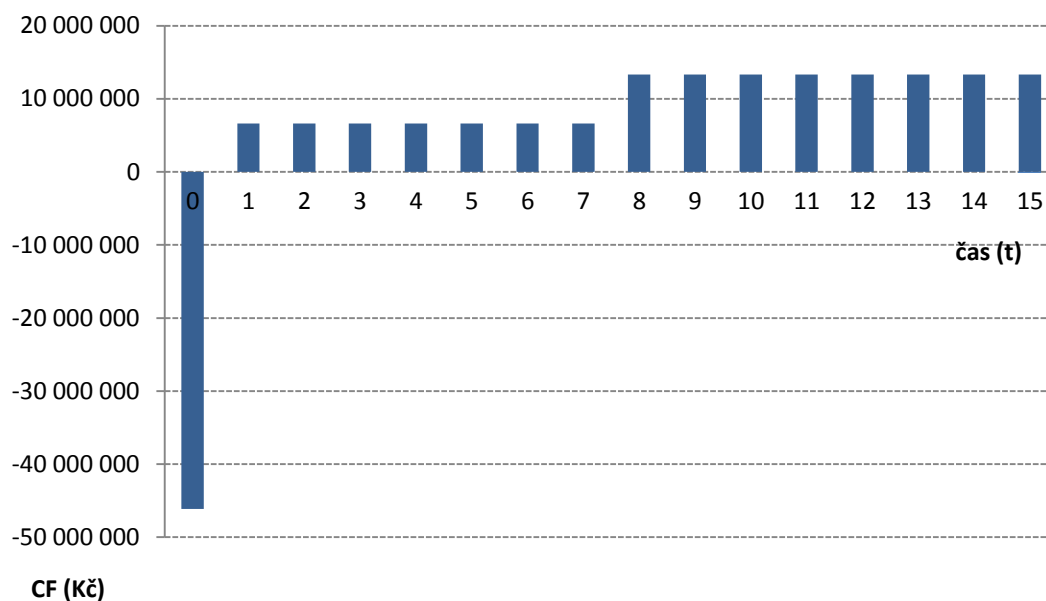
→ Čistá současná hodnota projektu:

$$NPV = \sum_0^t DCF = 66\,028\,246 \text{ Kč} \quad (65)$$

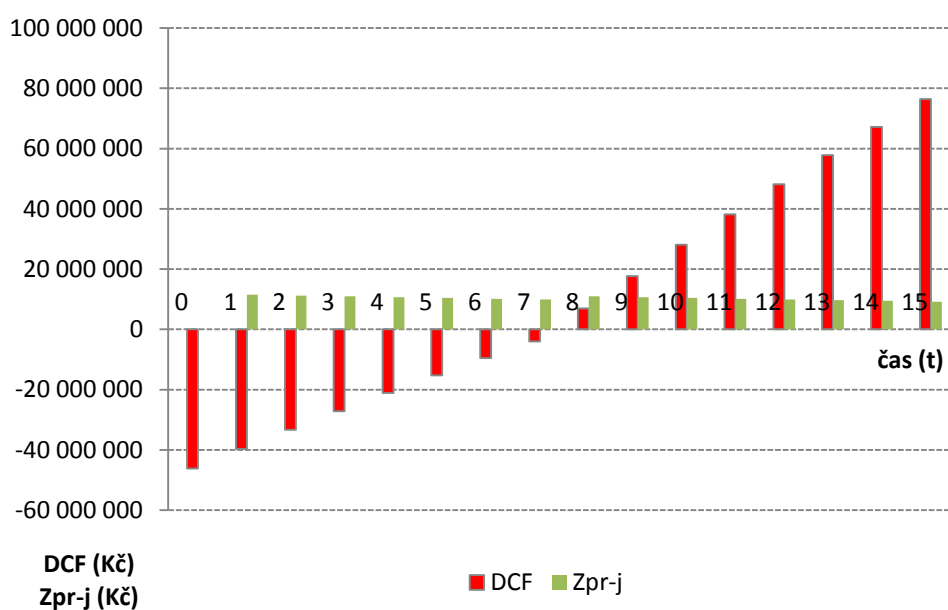
→ Doba návratnosti: $T = 8$ let,

→ Diskontovaná doba návratnosti $T_D = 8$ let,

→ Vnitřní výnosové procento $IRR = 15\%$.



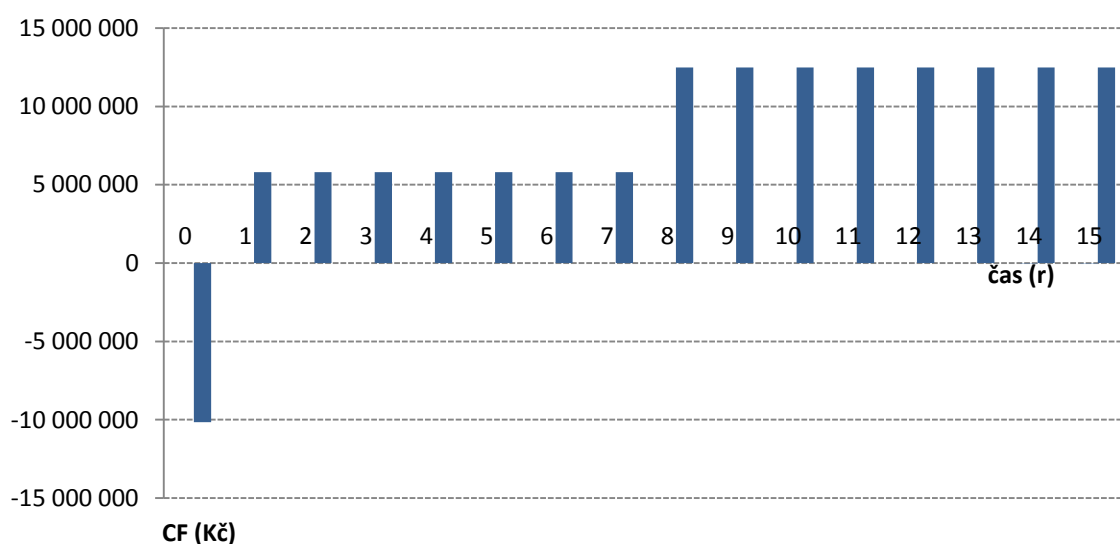
Graf 16: Průběh cash-flow (CF) v závislosti na životnosti pro hodnocení ekonomické efektivity investice



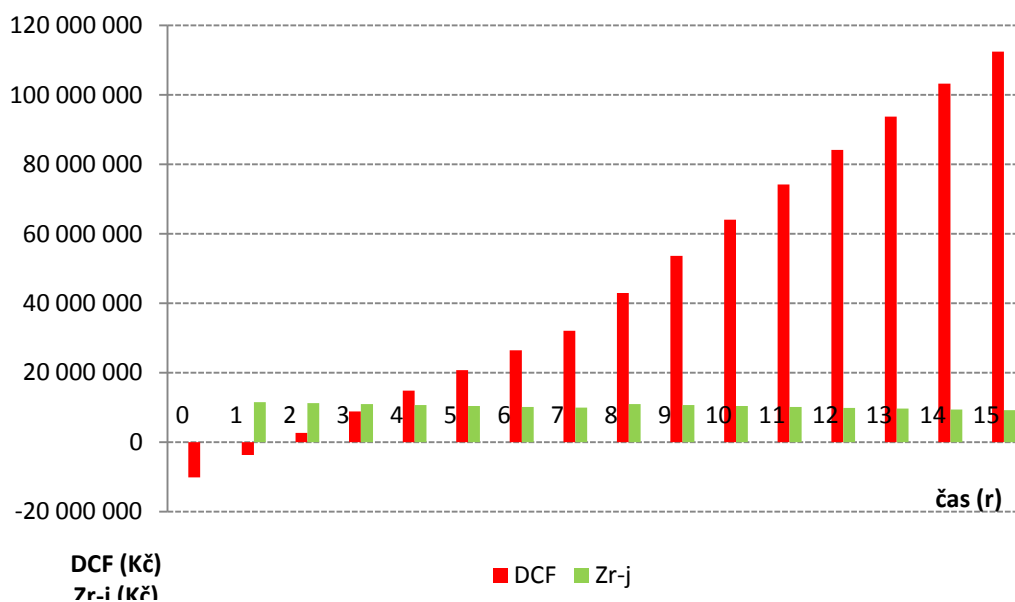
Graf 17: Průběh diskontního cash-flow (DCF) a zisku (Z_{pr}^j) v závislosti na životnosti pro hodnocení ekonomické efektivity investice

Ekonomická analýza z hlediska investora podle [31]:

Doba	Ni	CF	CFr ^j	DCF	Z	Zr ^j
rok	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
0	-10 158 432	-10 158 432	-10 158 432	-10 158 432	0	0
1		6 644 915	6 482 844	-3 675 588	11 787 772	11 500 266
2		6 644 915	6 324 726	2 649 138	11 787 772	11 219 771
3		6 644 915	6 170 464	8 819 602	11 787 772	10 946 118
4		6 644 915	6 019 965	14 839 567	11 787 772	10 679 140
5		6 644 915	5 873 137	20 712 703	11 787 772	10 418 673
6		6 644 915	5 729 889	26 442 592	11 787 772	10 164 559
7		6 644 915	5 590 136	32 032 728	11 787 772	9 916 643
8		13 324 831	10 936 309	42 969 038	13 324 831	10 936 309
9		13 324 831	10 669 570	53 638 608	13 324 831	10 669 570
10		13 324 831	10 409 337	64 047 944	13 324 831	10 409 337
11		13 324 831	10 155 450	74 203 395	13 324 831	10 155 450
12		13 324 831	9 907 756	84 111 151	13 324 831	9 907 756
13		13 324 831	9 666 104	93 777 255	13 324 831	9 666 104
14		13 324 831	9 430 345	103 207 600	13 324 831	9 430 345
15		13 324 831	9 200 337	112 407 937	13 324 831	9 200 337



Graf 18: Průběh cash-flow v ekonomické analýze investora podle [31]



Graf 19: Průběh diskontního cash-flow (DCF) a zisku (Zr^j) v ekonomické analýze investora podle [31]

Dílčí závěr po vyhodnocení „Varianty B 3“ s prodejem elektřiny i tepla

Výsledky ekonomického hodnocení dávají velmi dobré charakteristiky, doba návratnosti dosahuje k přibližně polovině doby životnosti zařízení. Městu tedy lze doporučit, aby své kroky směřovalo nejprve k posílení odběratelů tepla. Tato varianta se jeví jako dosažitelnější než předchozí teoretická analýza kalkulující s navýšením výkupních cen za elektřinu z biomasy.

Závěr

Část A:

První část práce je koncipována tak, aby popsala nevyčerpatelný potenciál obnovitelných zdrojů energie, s důrazem na jejich roli v energetice České republiky. Podíl obnovitelné energie na primárních energetických zdrojích v roce 2007 dosáhl 4,77 %. Na celkové tuzemské hrubé výrobě elektřiny se hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů podílela 3,9 %. Předkládané studie však hovoří o potenciálu až 30 % současné spotřeby PEZ [5]. Současný stav OZE v České republice ostře kontrastuje s cílem, který stát přijal – dosáhnout do roku 2010 alespoň 8 % na hrubé spotřebě elektrické energie. Již nyní lze předpovědět, že se tento cíl nepodaří splnit.

V navazujícím textu jsou postupně představeny oblasti, v nichž mohou OZE sehrát významnou roli. Jedná se zejména o snižování závislosti na fosilních zdrojích a energetické bezpečnosti. Obnovitelné zdroje mají také sehrát významnou úlohu při snižování emisí v souvislosti s účinným předcházením globálním změnám klimatu. Podle studie IEA z roku 2008 se na snížení emisí CO₂ do roku 2050 budou OZE podílet z 21 %, což je o 3,5 krát více, než IEA přisuzuje jaderné energetice. Další významný efekt lze nalézt v oblasti sociální: OZE vytvářejí nová pracovní místa a v rámci decentralizovaných systémů posilují roli komunit a místních ekonomik. OZE mohou sehrát velkou úlohu v novém rozvoji venkovských obcí a zastavení odlivu populace za prací do měst.

Důležitým zdrojem čisté energie je biomasa, která je přisuzován v ČR největší potenciál. Mezi obnovitelné zdroje ji řadíme díky neutrální bilanci CO₂. Pro energetiku jsou důležité energetické byliny a rychle rostoucí dřeviny cíleně pěstované pro teplárny a elektrárny. Ty mají daleko vyšší výsledky v poměru snižování emisí ku jednomu investovanému hektaru zemědělské půdy než současná generace motorových biopaliv. Výhodou energetických plodin je také fakt, že nekonkurují komoditám potravinářským. Při dalším rozvoji by mohly nahradit v současné době nejvíce využívanou dřevní štěpku z odpadu po lesní těžbě. Odpad má významnou roli v živinové bilanci lesní půdy, proto je důležité, aby velká část zůstávala na místě těžby. Pro rozvoj energetických plodin je však třeba přijmout účinné podpůrné mechanismy, aby se stala cena dřevní štěpky z cíleně pěstovaných energetických a dřevin konkurenceschopná vůči jiným palivům.

Důležitou roli při snižování energetické závislosti na fosilních palivech má také společná výroba elektrické energie a tepla. Kogeneraci lze využívat například v systémech s biomasou, sluneční energií nebo geotermální energií. Nezanedbatelný je pak také přínos kogenerace na životní prostředí. Z podkladů zpracovaných pro Nezávislou energetiku komisi vyplývá, že kombinovaná výroba elektřiny a tepla vykazuje nejnižší emise CO_{2ekv} ve srovnání s monovýrobou elektrické energie nebo tepla. Potenciál KVET na snižování emisí si také uvědomuje IEA/OECD, která ve zprávě pro země G8 předkládá analýzu, že kogenerace může přispět do roku 2030 na 10 % snížení emisí.

ČÁST B:

Navazující část se zabývá konkrétním úkolem: návrhem a posouzením možností společné výroby elektrické energie a tepla v Bystřici nad Pernštejnem. Při analýze posuzování daného projektu jsou použity závěry z předcházející obecné části.

Před samotným návrhem možných energetických technologií je představeno město s okolní oblastí, demografická struktura a klimatické podmínky, samotný stávající tepelný zdroj na biomasu v Bystřici nad Pernštejnem a zdejší systém CZT.

Protože se chce město i v případě nových energetických projektů soustředit na biomasu jako základní zdroj paliva, je dále posuzován potenciál regionu pro získání paliva pro rozšiřující se portfolio energetických zdrojů ve městě. V současné době město nakupuje dřevní štěpku za přibližně 255 Kč/prm, je tedy snaha o nalezení zdroje v obdobné cenové relaci. Městu se nabízí možnost získávat odpadní biomasu z lesa, výkupu slámy ze zemědělské nadprodukce nebo dřevní štěpky z dřevozpracujících podniků. Jako teoretická možnost se jeví pěstování energetických dřevin. Na tomto poli probíhají různé pokusné projekty, ale vyhodnocení závěrů bude možno až v průběhu jara 2009. Lze však konstatovat, že nákup nového paliva se nepodaří uskutečnit v současných cenách ani v jedné z nabízených variant.

K samotným konkrétním návrhům zdroje pro výrobu elektřiny a tepla se teoreticky nabízí několik možností. Relativně nejjednodušší se jeví využití stávajících kotlů na biomasu, jejich rekonstrukce a doplnění o kotel na odpadní teplo a parní turbínu malého výkonu. Po konzultaci se zástupci města vyšlo najevo, že pro tuto variantu jsou již zpracovány podkladové materiály. Město však využití takto koncipované technologie odmítá. Důvody vidí v potřebě tepelného výkonu v budoucnu (ve městě nejsou připojeny všechny velké instituce), odmítá také konstrukční zásahy do současných kotlů a dispozičního řešení budovy vytápny.

Proto se jeví jako jediné použitelné řešení výstavba nového tepelného zdroje na bázi kombinované výroby elektrické energie a tepla. K tomuto řešení byla po společných konzultacích se zástupci města vybrána technologie organického ORC cyklu s termoolejovým kotlem na biomasu. Stavba by vyrostla v těsné blízkosti stávající vytápny. Toto řešení by vedlo k snížení investičních a provozních nákladů využitím například stávajícího velínu vytápny nebo komínu.

Návrh zařízení byl proveden ve třech variantách pro dva různé typy výkonů. Varianta B 1 počítá s ORC 200 kW_e a kotlem 1,5 MW, s předpokládaným provozem 6 500 hodin/rok; Varianta B 2: ORC 600 kW_e a kotel 3,5 MW, provoz 4 800 hodin/rok; Varianta B 3: ORC 600 kW_e a kotel 3,5 MW, provoz 7 500 hodin/rok. Předpokladem provozu s nižším počtem hodin v roce je výkonové omezení po dobu letních měsíců. Možnost vyššího výkonu lze předpokládat po připojení velkých odběratelů tepla. Jelikož se však v současné době množství prodaného tepla instalací nového zdroje nezmění, nejsou do ekonomické analýzy zahrnuty příjmy z prodeje tepla a náklady na palivo jsou brány pouze v míře, o kterou se zvýší potřeba paliva nutná pro výrobu elektrické energie. Náklady na uložení popela se zanedbávají.

Pro ekonomickou analýzu se vychází z předpokladu konstantní výkupní ceny elektřiny a předpokládá se také udělení dotace Státního fondu životního prostředí ve výši 40 % investičních nákladů.

Po ekonomickém vyhodnocení jednotlivých projektů se ukázala Varianta B 3 jako nejlepší k další analýze s pohledu investora. Po finanční kalkulaci ekonomické efektivity investic se započítáním potřebného úvěru se však ukazuje, že varianta nevykazuje pozitivní ekonomické výsledky.

Za možnou příčinou lze považovat několik jevů. Ekonomiku projektu by zlepšilo, kdyby se městu podařilo nasmlouvat nové zájemce o dodávky tepelné energie. Avšak je nutno v takovém případě počítat se zvýšením palivových nákladů.

Za dalšími příčinami může stát zvolená technologie, která vykazuje vyšší nároky na instalovaný kilowatt než konvenční anorganické parní kogenerace. Jiným aspektem může být špatně

stanovená výkupní cena ERÚ. Při stanovení ekonomických závěrů je však třeba mít na paměti, že jde o výsledky pouze orientační. Cena jednotlivých variant nevzešla z výběrového řízení, ale je odhadnuta dle již vybudovaných ORC systémů a dalších údajů od provozovatele aktualizovaných na dnešní ceny. Výpočet byl také na řadě míst zjednodušen oproti reálnému stavu.

Jako poslední možné řešení rozšíření energetického portfolia města může být stavba kogeneračního zařízení na zcela novém místě – v blízkosti průmyslové zóny. V případě, že by se městu podařilo namlouvat odběratele tepla pro technologické účely (lihovar, peletárna nebo sušárna zemědělských produktů), může se jednat o zajímavý investiční záměr. V současné době však tokový zájemce neexistuje, proto nelze provést technický návrh vzhledem k potřebám tepla nebo ekonomické vyhodnocení po zvolení technologie. S ohledem na nutně vyšší investiční náklady na vybudování nové infrastruktury a palivového hospodářství než u Variant B 1 až B 3 lze doporučit spíše směřování technologie na parní kogeneraci s ohledem na nižší investiční náklady parního kotle a parní turbíny.

Poslední část textu se zabývá možným důvodem ekonomické nevýhodnosti projektu ORC v Bystřici nad Pernštejnem. První teoretické řešení je vypočítáno pro výkupní ceny elektřiny z biomasy o přibližně 40 % vyšší než současné. Pak řešení vykazuje ekonomicky dobré charakteristiky a bylo by je možno doporučit k realizaci.

Jako druhé teoretické řešení je představena situace, kdy by město zvýšilo počet odběratelů tepla. Po započtení zisku z prodaného tepla se projekt také dostává do oblasti, kdy by jej bylo možno doporučit k realizaci. Tato varianta se jeví jako dosažitelnější než předchozí teoretická analýza kalkulující s navýšením výkupních cen za elektřinu z biomasy. Městu tedy lze doporučit, aby své kroky směřovalo nejprve k posílení odběratelů tepla.

Pro ORC technologie platí obecný fakt, že se jedná o sofistikovanou technologii, kterou produkuje malý počet specializovaných výrobců. Ani snaha o dodávky v modulovém uspořádání nevede k dostatečnému zlevnění. Patřičný cenový efekt může nastat až po uvolnění technologie, což ovšem není v zájmu firem, které technologie věnovaly rozsáhlý výzkum.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Jakubes, J., Pilánek, J., et. Prouza, L.: Příručka obnovitelné zdroje, Hospodářská komora, Praha 2006
- [2] Bufka, A., Dušek, L., et. Rosecký, D.: Obnovitelné zdroje energie v roce 2007, Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha 2008
- [3] Evropské agentury pro životní prostředí: Změna klimatu: Komise vítá další pokrok směrem k dosažení cíle EU podle Kjótského protokolu, <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/965&format=HTML&aged=0&language=CS&guiLanguage=en>, 18. 6. 2008
- [4] Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), 180/2005 Sb., ze dne 31. 4. 2005
- [5] Motlík, J.: Potenciál výroby tepla z obnovitelných zdrojů energie, Asociace pro výrobu obnovitelných zdrojů energie, 2008
- [6] Státní energetická koncepce, schválená usnesením vlády České republiky č. 211 ze dne 10. března 2004, Vláda České republiky, Praha 2004
- [7] Stručná zpráva o výsledcích Nezávislé energetické koncepce, <http://www.vlada.cz/scripts/detail.php?id=37143>, 4. 7. 2008
- [8] Beneš, I., Mejta, F., et. Pejčoch, J.: Energetická bezpečnost, informační příručka 1. vydání, Praha, CITYPLANE, 2007, ISBN: 978-80-2454-1244-2
- [9] <http://www.localpower.org/>
- [10] Holub, P.: Obnovitelné zdroje energie, centralizace společnosti a komunitní život, diplomová práce, Masarykova univerzita, Brno 2007
- [11] Beneš, I., et Princ, D.: Využití potenciálu decentralizované výroby tepla a elektřiny v kogeneraci, CityPlan pro Calla a Hnutí DUHA, Praha 2008.
- [12] Renner, M., Cerio, D., et.: Green Jobs: Towards decent work in a sustainable, low-carbon world, Washington, United Nations Environment Programme, 2008, ISBN: 978-92-807-2940-5
- [13] Usnesení Vlády České republiky ze dne 30. října 1991, č. 444, http://kormoran.vlada.cz/usneseni/usneseni_webtest.nsf/WebGovRes/7DCED4838DD30F36C12571B6006B9ABD?OpenDocument
- [14] <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>
- [15] Energy Technology Perspectives, Scenarios & Strategies to 2050, OECD/IEA, 2008
- [16] Vaňková, L., Kůrka, F.: Územní energetická koncepce města Plzně, Statutární město Plzeň, 2007
- [17] Spitz, J., Pur, L.: Zpráva o potenciálu snížení emisí skleníkových plynů v České republice, Ministerstvo životního prostředí, Praha 2007
- [18] Bioenergy: Environmental Impact and Best Practice, Final report, Land use Consultants, Bristol, 2007
- [19] Nepotravinářské využití zemědělské půdy, informační list, Calla, České Budějovice 2007

- [20] Energie biomasy, Ekowatt, <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>,
- [21] Krbek, J., Ochrana, L., et. Polesný, B.: Zásobování teplem a kogenerace, VUT Brno, 1999, ISBN 80-214-1347-6
- [22] Zpráva Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu, Verze k oponentuře, Vláda ČR, Praha 2008
- [23] Combined head and power, Evaluating the benefits of greater global investment, OECD/IEA, Paris, 2008
- [24] http://www.bystricenp.cz/scripts/index.php?id_nad=118
- [25] Zdroj: <http://biom.cz/clanky.stm?x=155577>
- [26] Hruška, J., Cinciala, E.: Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd, MŽP, Praha, 2002, ISBN 80-7212-190-1
- [27] DVORSKÝ, Emil, HETMÁNKOVÁ, Pavla. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. 2005. vyd. Praha : BEN / technická literatura, 2005. 287 s. ISBN 80-7300-118-7
- [28] Programový dokument OPŽP pro období 2007-2013, MŽP, Praha 2007
- [29] Dvorský Emil, Hejtmánková Pavla: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie Technická literatura BEN, Praha 2005, ISBN: 80-7300-118-7
- [30] http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=113
- [31] Krbek, J., Polesný, B., et. Fiedler, J.: Strojní zařízení tepelných central, Návrh a výpočet, VUT Brno, 1999, ISBN 80-214-1344-4
- [32] Ibler, Z., Karták, J.: Energetika v příkladech, Technický průvodce energetika – 2 díl, BEN Technická literatura, Praha, 2003, ISBN 80-7300-097-0
- [33] <http://energie.tzb-info.cz/>
- [34] Program rozvoje kraje Vysočina, Programová část, kraj Vysočina, 2007

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky:

CCS	Carbon Capture and Storage (ukládání uhlíku pod zem)
CF	Cash-flow
CO ₂	oxid uhličitý
CZT	Centralizované zásobování teplem
ČSÚ	Český statistický úřad
DCF	Diskontované Cash-flow
EAV	Energetická agentura Vysočina
EIA	Environmental Impact Assessment
ERÚ	Energetického regulačního úřad
G 8	Group of Eight (sedm nejvyspělejších zemí světa a Rusko)
IEA	Mezinárodní energetickou agenturou
IPCC	Mezinárodního panelu pro změny klimatu
KJ	kogenerační jednotky
KVET	Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MZe	ministerstvo zemědělství
MŽP	ministerstvem životního prostředí
NEK	Nezávislou energetickou komisi pro posouzení energetických potřeb ČR do roku 2050
ORC	Organický Rankinův cyklus
OZE	Obnovitelné zdroje energie
RC	Rankinova cyklu
RRD	Rychle rostoucí dřeviny
SEK	Státní energetická koncepce
SFŽP	Státní fond životního prostředí
WADE	World Alliance for Decentralized Energy

Symboly:

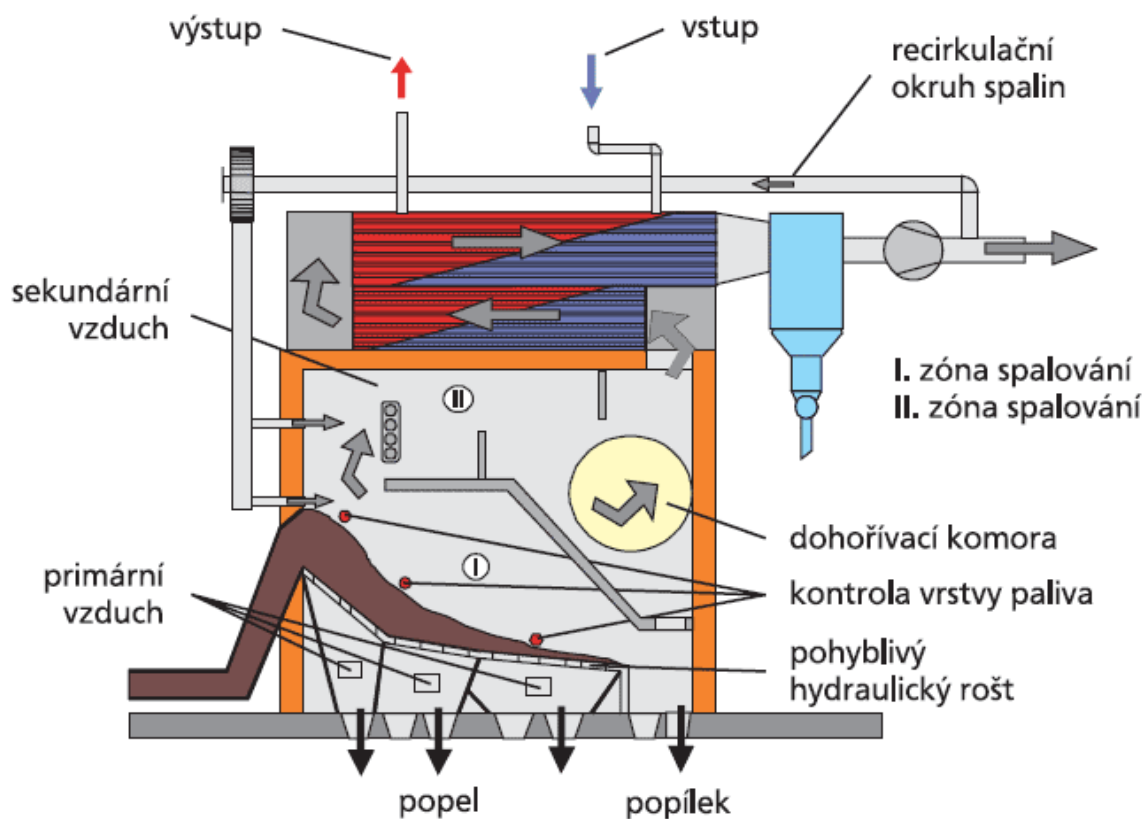
Symbol	Jednotka	význam
W^r	[%]	Vlhkost
Q_i^r	[kWh/kg] [MJ/kg]	Výhřevnost
P_E	[W]	Elektrický výkon
P_T	[W]	Tepelný výkon
σ	[%]	Poměr elektrického a tepelného výkonu
P_E	[%]	Elektrický výkon
P_T	[%]	Tepelný výkon
$P_{E,\%}$	[%]	procentní zastoupení elektrického výkonu na celkovém výkonu KJ
$P_{T,\%}$	[%]	procentní zastoupení tepelného výkonu na celkovém výkonu KJ
$E_{\%}$	[%]	procentní zastoupení vyrobené elektrické energie na celkové výrobě KJ
$Q_{UV,\%}$	[%]	procentní zastoupení využitelné tepelné energie na celkové výrobě KJ
η_{EE}	[%]	Elektrická účinnost
m_{pal}	[kg · m ³]	hmotnost nebo objem paliva
M_{pal}	[kg/s; m ³ /s]	hmotnostní nebo objemový průtok paliva
η_T	[%]	Tepelná účinnost
η_C	[%]	Celková účinnost
T_r	[hod]	Roční provoz
Q_T	[J]	Teplo
m_{pal}	[prm], [kg]	Množství paliva
$\eta_{výt}$	[%]	Účinnost vytápny
MN_o	[m ³]	Množství odpadní biomasy z těžby
m_{pal}^{LO}	[kg]	Hmotnost odpadu při těžbě v lese
Q_b^{pot}	[J]	Teoretický potenciál biomasy
N_{IORC}	[Kč]	Náklady na pořízení ORC
N_{IK}	[Kč]	Náklady na pořízení kotle
N_{IOT}	[Kč]	Náklady na ostatní technologie
N_{IEM}	[Kč]	Náklady na pořízení elektroinstalace a měření a regulace

N_{IS}	[Kč]	Náklady na výstavbu objektu
N_{iES}	[Kč]	Náklady na elektroinstalace v objektu
N_i	[Kč]	Celkové investiční náklady
T_r	[hod]	Doba ročního provozu
V_E	[Kč]	Výnos z prodané energie
N_{VS}	[Kč]	Náklady na vlastní spotřebu
N_{OP}	[Kč]	Náklady na opravy
N_{Pal}	[Kč]	Palivové náklady
N_P	[Kč]	Provozní náklady
c_E	[Kč/kWh]	Výkupní cena energie
E_r	[Wh/rok]	Roční produkce energie
T_n	[hod]	Doba návratnosti
CF	Kč	Cash-flow
DCF	Kč	Discount Cash-flow
N_i^d	Kč	Investiční náklady snížené o dotaci

Seznam příloh:

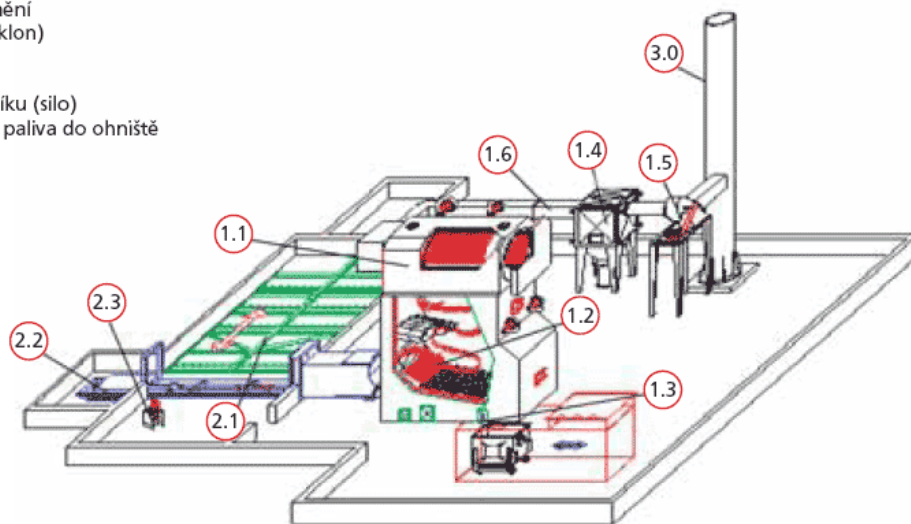
Příloha 1: Termoolejový kotel Kohlbach.....	107
Příloha 2: Termoolejový kotel TTS.....	108
Příloha 2: ORC jednotka – Turboden.....	109

Příloha 1: Termoolejový kotel Kohlbach (zdroj: www.schiestl.cz) využívaný pro ohřev termooleje v systémech s ORC blokovou jednotkou



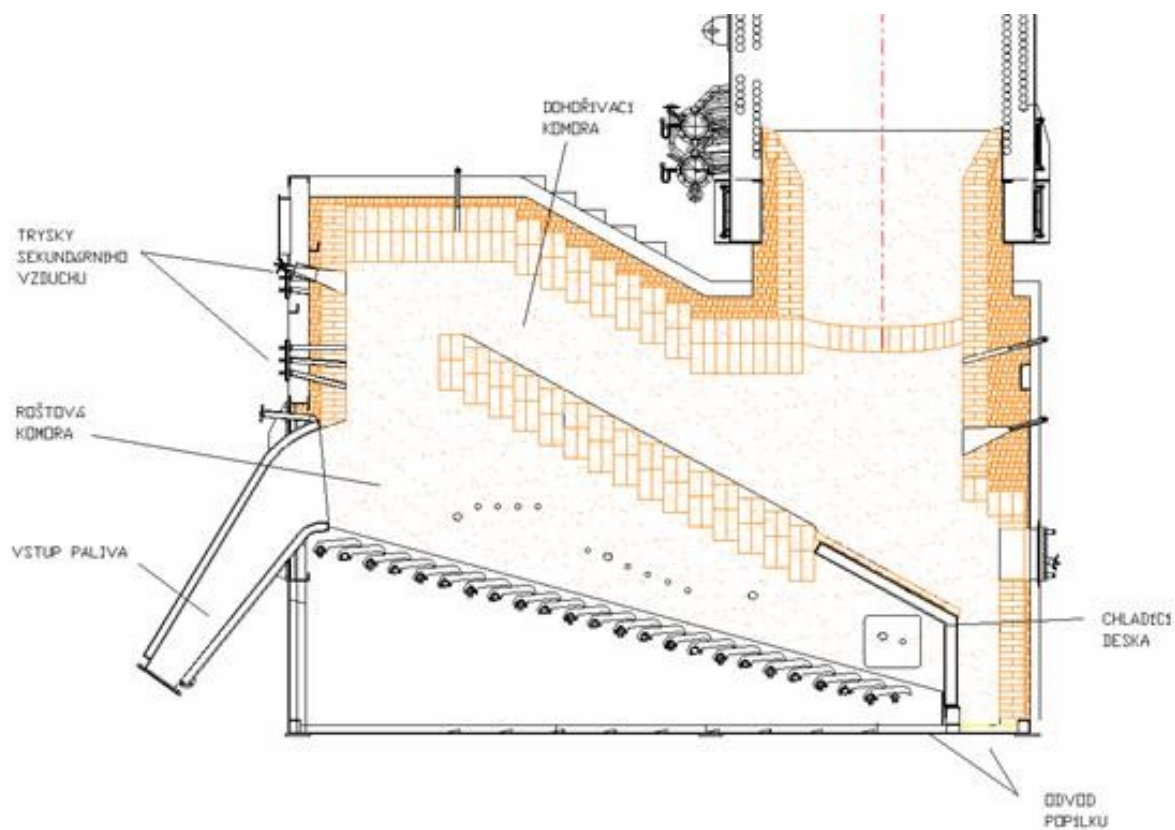
Obr. 20: Schematický řez kotlem s vyznačením funkčních částí a směrů toků látek kotlem

- 1.1 Kotlový výměník (voda, pára)
- 1.2 Ohniště
- 1.3 Mechanické odpopelnění
- 1.4 Čištění spalin (multicyklon)
- 1.5 Kouřový ventilátor
- 1.6 Kouřovody
- 2.1 Pohyblivé dno zásobníku (silo)
- 2.2 Hydraulické podávání paliva do ohniště
- 2.3 Hydraulický agregát
- 3.0 Komín



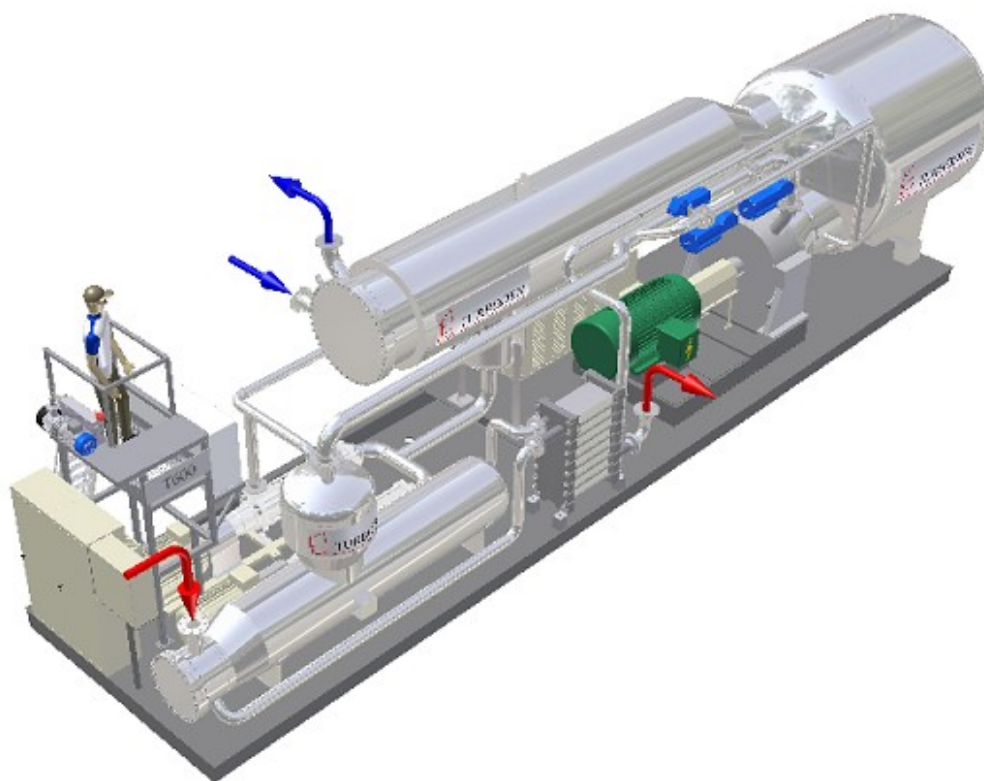
Obr. 21: Celkové schéma kotle včetně dodávaných zařízení

Příloha 2: Termoolejového kotel TTS eko, s.r.o. (zdroj: www.tts.cz) využívaný pro ohřev termooleje v systémech s ORC blokovou jednotkou



Obr. 22: Řez kotlem VESKO-B vyvinutého firmou TTS eko, s.r.o.

Příloha 3: ORC jednotka – Turboden (zdroj: www.turboden.com)



Obr. 23: Ilustrace podoby ORC jednotky produkované firmou Turboden (Itálie)



Obr. 24: Instalace ORC jednotky, Trhové Sviny



Obr. 25: ORC jednotka, Trhové Sviny