

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**ZHODNOCENÍ VÝVOJE VÝROBY
ELEKTRICKÉ ENERGIE Z BIOMASY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

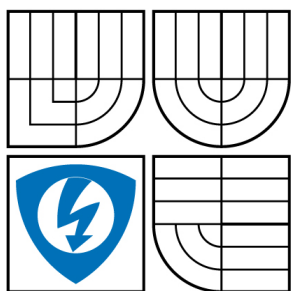
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ HELLER

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Heller Ondřej

ID: 78496

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Zhodnocení vývoje výroby elektrické energie z biomasy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Výroba elektrické energie z biomasy - základní principy a podmínky možnosti provozu
2. Podmínky pro připojení do elektrizační soustavy
3. Návrh zdroje pro konkrétní objekt

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího

Termín zadání: 17.12.2007

Termín odevzdání: 4.6.2008

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/pani

Jméno a příjmení: Ondřej Heller
Bytem: Chalabalova 282/1, 62300, Brno - Kohoutovice
Narozen/a (datum a místo): 14.5.1986, Brno

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Zhodnocení vývoje výroby elektrické energie z biomasy

Vedoucí/školitel VŠKP: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP: 16.6.2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2
Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 29.5.2008

.....

Nabyvatel

Ondřej Keller
.....

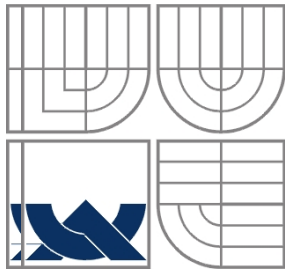
Autor

Bibliografická citace práce:

HELLER, O. Zhodnocení vývoje výroby elektrické energie z biomasy. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2008, 46 stran.

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Ondřej Heller



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

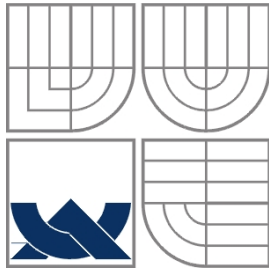
Zhodnocení vývoje výroby elektrické energie z biomasy

Ondřej Heller

vedoucí: doc. Ing. Petr Toman Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2007

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Bachelor's Thesis

Evaluation of Trends of Electricity Production from Biomass

by

Ondřej Heller

Supervisor: doc. Ing. Petr Toman Ph.D.

Brno University of Technology, 2008

Brno

ABSTRAKT

Tato práce se v rešeršní části věnuje objasnění pojmu biomasa, principům získávání energie z ní, tzn. přeměně termochemické a biochemické a následně pojednává o využití této energie pro výrobu tepla a elektřiny. Krátce seznamuje i se současným stavem využití biomasy pro energetické účely. Vysvětluje se zde pojem kogenerace, vymezují se její druhy a posuzují z hlediska vhodnosti pro urč. paliva, z hlediska ceny, efektivity apod. Kapitola o podmínkách využití biomasy je věnována problematikým stránkám dodávek biomasy na místo určení, jako jsou limitní vzdálenost dovozu, nároky na skladování a na kvalitu či například zápach kolem bioplynových stanic. Druhá část kapitoly obsahuje podmínky odběru energie, především tepelné, především kvůli nerovnoměrnosti tohoto odběru a také jsou zmíněny možnosti řešení, tzn. umístění jednotky u vhodného objektu nebo trigenerační provoz. Práce obsahuje i některé specifické vlastnosti biomasy důležité pro energetické využití, jsou to například nižší výhřevnost dřevoplynu či bioplynu nebo jejich nižší čistota. S tím souvisí též další oblast, která je zde řešena, totiž podmínky pro ekologický provoz jednotek. Jsou zde zmíněny různé druhy škodlivin a podmínky pro jejich odstranění, např. oxidy dusíku, oxid uhelnatý, dioxiny atd. V poslední kapitole rešeršní části jsou podmínky pro připojení jednotek do elektrizační soustavy, zejména se jedná o nutné ochrany při poruchových stavech, kvalitu elektřiny (účinník), dále pak o vliv výroby na napěťové poměry v místě připojení a vliv na hladinu signálu hromadného dálkového ovládání.

V praktické části se řeší návrh kogenerační jednotky pro malou dřevovýrobu se zámečnickou dílnou, s ohledem na energetickou náročnost provozu, cenu zařízení a spotřebu paliva. Vzhledem k potřebě malého výkonu je zdrojem energie spalovací motor o elektrickém výkonu 30 kW, poháněný dřevoplynem vyráběným ve zplyňovacím generátoru. V první části se práce věnuje výpočtu nákladů a návratnosti při přerušovaném provozu a využití zbytků z výroby. Návratnost je pak 62 let a náklady na výrobu elektřiny 1,73 Kč/kWh. Druhá část pojednává o výhodnosti stálého provozu s dokupováním dřevní štěpky, v tomto případě jsou výrobní náklady 2,19 Kč/kWh a návratnost 50 let.

KLÍČOVÁ SLOVA: Biomasa; obnovitelný zdroj; spalování; kogenerační jednotka; elektrická energie; tepelná energie; energetika; bioplyn; dřevoplyn; turbína; efektivita; návratnost; životní prostředí, zplyňovací zařízení

ABSTRACT

The research part of this thesis explains the term biomass and the principles of obtaining energy from it, i.e. the processes of thermochemical and biochemical conversion, and consequently deals with using such energy for the production of heat and electricity. It briefly introduces the current situation in utilising the biomass for the purposes of power engineering. The term of cogeneration is explained, along with defining its types and assessing their suitability for specific fuels from the point of view of price, efficiency, etc. The chapter on conditions for using the biomass focuses on the problem points of supplying biomass to the place of delivery, such as limitations in transport distance, storage and quality requirements, or, for example, the smell around the biogas stations. The second part of the chapter lists the conditions for power take-off, especially thermal, namely due to the irregularity of such take-off. It also mentions possible solutions, which consist in placing the units along with suitable objects or the trigeneration method of operation. The thesis also mentions some specific properties of biomass significant to power generation, such as low heating value of wood-gas or biogas, or their lower cleanliness. This is connected to another subject, which is also discussed here, namely the conditions for environment-friendly operation of units. Various types of dangerous substances, such as nitrogen oxides, carbon monoxide, dioxins, etc. are mentioned along with the conditions for their removal. The last chapter of the research part introduces the conditions for connecting the units to the power system; particular interest is paid to the necessary protection during failure conditions, power quality (power factor), and further also the impact of the production facility on the voltage conditions in the point of connection and impact on the level of ripple control signal.

The practical part deals with the project of a cogeneration unit for a small woodworking manufacture with a locksmith's workshop, taking into account the operation's energy demands, purchase price of the equipment and the fuel consumption. Due to the low energy output consumption, the source of energy is a combustion engine with electrical output of 30 kW, operated on wood-gas produced in a gasification generator. The first part includes the calculations of costs and returnability for non-continuous operation, using the waste from the manufacture. Returnability in such case is 62 years, the costs of power generation being CZK 1.73 per kWh. The second part deals with the advantage of continuous operation supplied by purchased wood-pulp; in this case the production costs are CZK 2.19 per kWh with 50 year returnability.

KEY WORDS:

biomass; renewable resources; combustion; cogeneration unit; electrical energy; thermal energy; power engineering; biogas; wood-gas; turbine; efficiency; returnability; environment, gasification system

OBSAH

Seznam obrázků.....	11
Seznam tabulek.....	12
Seznam symbolů a zkratk.....	13
1 Úvod.....	14
2 Výroba elektrické energie z biomasy.....	16
2.1 Princip získávání energie.....	16
2.1.1 Termochemická přeměna.....	16
2.1.2 Biochemická přeměna.....	16
2.2 Způsoby využití energie.....	18
3 Podmínky pro výrobu energie z biomasy.....	23
3.1 Dodávka biomasy.....	23
3.2 Odběr vyrobené energie.....	25
3.3 Některá specifika využití biomasy.....	26
3.4 Vliv spalování biomasy na životní prostředí.....	27
4 Podmínky pro připojení do elektrizační soustavy.....	28
5 Návrh kogenerační jednotky.....	29
5.1 Popis objektu.....	29
5.2 Výpočet výkonu zdroje.....	29
5.3 Výběr zdroje a přepočet parametrů.....	29
5.4 Energetická bilance provozovny a jednotky.....	31
5.5 Sušárna dřeva.....	31
5.6 Celková energetická bilance všech provozů a jednotky.....	33
5.7 Ekonomický přínos provozu kog. jednotky.....	34
5.8 Návrh investice do kogeneračního zařízení.....	36
5.9 Nepřetržitý provoz jednotky.....	38
6 Závěr.....	42
Použitá literatura.....	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Princip zachycování bioplynu na skládce a jeho využití (převzato z [4])</i>	19
<i>Obr. 2-2 Schéma bioplynové stanice(převzato z [1])</i>	19
<i>Obr. 2-3 Výhřevnost některých plynů (převzato z [21])</i>	21
<i>Obr. 2-4 Porovnání výroby tepla a elektřiny u různých druhů kogenerace (převzato z [9])</i>	21
<i>Obr. 2-5 Schéma palivového článku s použitím zemního plynu (převzato z [15])</i>	22
<i>Obr. 3-1 Pokrytí roční spotřeby tepla – využití 3 kog. jednotek a kotle (převzato z [18])</i>	26
<i>Obr. 5-1 Závislost vlastní spotřeby zařízení na celkovém výkonu kog. jednotky</i>	30
<i>Obr. 5-2 Přibližná závislost ceny KJ na jejím výkonu</i>	37

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Produkce výkalů zvířat a množství plynu z nich získané (převzato z [22])</i>	17
<i>Tab. 2-2 Využití biomasy pro energetiku v roce 2006 v tunách (převzato z [5])</i>	18
<i>Tab. 3-1 Vlastnosti některých fosilních paliv a biomasy (převzato částečně z [11])</i>	23
<i>Tab. 5-1 Ceník produktu E.ON StandardPower (převzato z [34])</i>	35

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Veličina	Jednotka
A_{dodcelk}	el. energie dodaná do sítě	kWh/měs.
A_{sitcelk}	el. energie ze sítě odebraná	kWh/měs.
M_p	spotřeba paliva	kg/hod
N_{dol}	náklady na dolomit	Kč/měs.
N_{dop}	náklady na dopravu z provozovny	Kč/měs.
N_{kab}	cena za kabel	Kč
N_{kog}	cena kog. jednotky	Kč
N_{kWh}	náklady na vyrobenou energii	Kč/kWh
N_{stav}	náklady na stavební úpravy	Kč
N_{step}	náklady na nákup štěpky	Kč/měs.
N_{udr}	náklady na údržbu	Kč/měs.
P_{sit}	výkon dodávaný do sítě	kW
T	návratnost investice	rok
Z_{celk}	celkový zisk za el. energii	Kč/měs.
Z_{nak}	zisk z nenakoupené el. energie	Kč/měs.
Z_{prod}	zisk z prodeje el. energie	Kč/měs.

DS	Distribuční síť
HDO	Hromadné dálkové ovládání
KJ	Kogenerační jednotka
NN	Nízké napětí
NT	Nízký tarif
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDS	Provozovatel distribuční sítě
VN	Vysoké napětí
VT	Vysoký tarif

1 ÚVOD

Výroba elektrické energie z biomasy je dnes velmi diskutované téma, pominou-li se vodní elektrárny, u kterých jsou možnosti další výstavby velmi omezené, je to bezesporu jeden z nejperspektivnějších obnovitelných zdrojů energie. Proti využití energie slunce nebo větru je získávání el. energie z biomasy výhodnější v tom, že se výroba dá poměrně dobře regulovat a nezatěžuje tak svými výkyvy zbytečně přenosovou soustavu.

Biomasa obecně je organická hmota vznikající za působení sluneční energie. Lze ji rozdělit podle několika hledisek [1]; například podle množství vody v ní obsažené existuje biomasa suchá, tzn. dřevní hmota a sláma, biomasa mokrá, např. hnůj nebo kejda a biomasa speciální, což jsou především olejnaté, cukernaté a škrobové plodiny.

Dalším hlediskem může být způsob vzniku, tady se rozeznává biomasa odpadní a záměrně vyprodukovaná např. právě k energetickým účelům. Mezi odpadní biomasu se řadí:

- rostlinné odpady vzniklé v zemědělské výrobě, jako sláma z obilnin nebo kukuřice, seno, odřezky ze sadů, dřevní hmota z náletových dřevin atd.
- lesní odpady, to znamená především dřevo nevhodné pro dřevařský průmysl, větve uřezané při těžbě či probírkách, šišky, pařezy a jiná hmota nevhodná k dalšímu průmyslovému zpracování.
- průmyslové odpady, které vznikají v dřevozpracujících provozech, cukrovarech, lihovarech, konzervárnách a jiných podnicích zpracovávajících zemědělské a lesnické produkty.
- organické odpady z komunální sféry – kaly z čističek a organické složky tuhého komunálního odpadu.
- odpady z živočišné výroby, k těm řadíme především hnůj a kejdu (směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat), zbytky krmiv, masokostní moučka, zbytky z jatek

Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům (energetické plodiny) se dělí podle složení na rostliny:

- lignocelulóznové, zastoupené dřevinami (rychle rostoucí stromy, keře), obilovinami (celé obilné rostliny), travinami, ostatními rostlinami (šťovík krmný, konopí seté, laskavec)
- olejnaté, zde se uplatňují především řepka olejná a slunečnice, případně také dýně
- škrobové a cukernaté, což jsou například brambory, obilí, cukrová řepa, cukrová třtina a kukuřice

Vzhledem k tomu, že se Česká republika zavázala při vstupu do Evropské unie pokrýt do roku 2010 8 % spotřeby elektrické energie z obnovitelných zdrojů, je třeba pro její výrobu vytvořit vhodné podmínky a efektivně využívat dostupné zdroje biomasy. Podle odhadů z roku 2003 [31] by mělo být v roce 2010 k dispozici pro energetické účely 111 PJ energie z pevné biomasy, což při 50 % využití pro kombinovanou spotřebu elektřiny a tepla a 30 % účinnosti výroby el. energie činí asi 1400 GWh, dalších přibližně 600 GWh je předpokladané množství elektřiny vyrobené z bioplynu (odhad je podle statistiky z roku 2003 – průměrné roční zvýšení výroby 65 GWh). Spolu s dalšími zdroji (spoluspalování s uhlím) se počítá s výrobou energie z biomasy maximálně 2200 GWh za rok. Při celkové spotřebě zhruba 70 tis. GWh je tedy třeba dalších 3600 GWh vyrobit ve vodních, větrných, příp. slunečních elektrárnách. Zatím se zdá, že bude obtížné tento závazek splnit, neboť podíl obnovitelných zdrojů na spotřebě činil v roce 2006 asi 4,9 %, proti roku 2004 je to navýšení asi o 0,9 %.

V souvislosti s výše uvedenými skutečnostmi se proto tato práce zabývá obecně principy přeměny biomasy na energii elektrickou, příp. tepelnou, současným stavem a možnostmi využití

biomasy v energetice. Zvláštní pozornost je věnována podmínkám pro efektivní a ekonomickou výrobu energie a podmínkám pro její využití i s ohledem na životní prostředí. V práci se také zmiňují některé rozdíly mezi výrobou energie z biomasy a fosilních paliv, jejich nevýhody a přednosti.

Praktická část práce obsahuje návrh kogenerační jednotky pro malou dřevovýrobu, orientační rozvahu nad množstvím energie dodané do sítě a naopak ze sítě nakoupené, tj. rozvahu nad zisky a náklady z ní plynoucími. Zabývá se též návratností investice a náklady na vyrobenou jednotku energie při dvou různých režimech výroby, jsou zde zmíněny podmínky, při kterých může být investice do KJ výhodná.

2 VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE Z BIOMASY

2.1 Princip získávání energie

Pro energetické účely přicházejí v úvahu dva způsoby získávání energie, termochemická a biochemická přeměna. Pro úplnost se dá ještě uvést mechanickochemická přeměna, která se uplatňuje při lisování olejů a v dnešní době také při stále více prosazované výrobě bionafty, jež vzniká po úpravách z řepkového oleje.

2.1.1 Termochemická přeměna

Nejvýznamnější pro energetiku je přeměna termochemická, pro tuto přeměnu se jako palivo používají nejčastěji odpady po těžbě dřeva v lese, odpady z dřevozpracujících podniků, zbytky po likvidaci náletových dřevin a sláma. Může probíhat dvěma způsoby: přímým spalováním a zplyňováním (pyrolýzou).

Přímé spalování probíhá ve čtyřech fázích [2]. V první fázi se snižuje obsah vody v přivedeném palivu, palivo se ohřívá, v druhé fázi dosahuje zápalné teploty a při dostatečném přísunu kyslíku se rozkládá na hořlavé plyny a destilační produkty, zbytek paliva zuhelnatí. Třetí fáze spočívá ve smíchání hořlavých plynů (jsou různé prchavé podle druhu a vlastností biomasy) s přivedeným vzduchem, vzniká hořlavá směs, která následně začíná hořet. Ve čtvrté fázi se spalují pevné látky s obsahem uhlíku.

Zplyňování je přeměna hořlavé složky pevného paliva na palivo plynné za omezeného přístupu vzduchu a při určité teplotě. Plyn je pak odváděn do spalovacího prostoru, kde se spaluje jako jiná plynná paliva. Zplyňování se provádí v generátorech s pevným ložem nebo ve fluidních generátorech. Výhodou je jednodušší regulace než u přímého spalování a také možnost použití u kogeneračních jednotek s vyšší elektrickou účinností (viz. níže kap. 2.2). Zplyňování probíhá v pěti fázích [3]: v první fázi se hmota suší, v druhé fázi se zahřívá a rozkládá se (suchá destilace), třetí fáze spočívá v reakci uhlíku a kyslíku za vzniku oxidu uhličitého a tepla, ve čtvrté fázi se oxid uhličitý redukuje na oxid uhelnatý, v poslední fázi se shromažďují anorganické látky ve formě solí (vápník, hořčík). Pro energetické účely jsou možné v zásadě dva postupy, jak vzniklý plyn využít, buď na plynový generátor napojit kotel, kde se plyn spaluje na upravených hořácích, nebo použít plyn pro pohánění př. spalovací turbíny nebo motoru, ty pak pohánějí el. generátor.

V poslední době byla vyvinuta tzv. rychlá pyrolýza [2], která spočívá v úpravě paliva na malé částičky (do 2 mm) a vysušení paliva přibližně na desetiprocentní vlhkost. Palivo se pak zahřeje na 500°C bez přístupu vzduchu a plyny, které vznikají, se prudce ochladí a vznikne tekutý kondenzát (bioolej), jenž je vhodný pro další energetické využití.

2.1.2 Biochemická přeměna

Podle průběhu se rozlišují dva druhy této přeměny: metanové a etanolové kvašení [2]. Pro prvně jmenované kvašení se využívají odpady z živočišné výroby, především hnůj a kejda, pak kaly z čistíček a organické složky komunálního odpadu (skládkové plyny), někdy i rostlinné zbytky (tráva). Etanolové kvašení potřebuje pro svůj průběh cukry, proto se pro něj využívají např. cukrová řepa, brambory, obilí, melasa z pivovarů, případně kukuřice.

Metanové kvašení se vyznačuje především tím, že probíhá v reaktoru (fermentoru) bez přístupu vzduchu (anaerobně), proces spočívá v rozkladu vyšších uhlovodíků na metan a oxid uhličitý, reakce probíhá díky účasti anaerobních bakterií a vzniká při ní teplo. Vzniklá směs plynů

(bioplyn), která obsahuje podle [1] 55 – 70 obj. procent metanu, je potom využita buď pro výrobu elektřiny nebo tepla, příp. obojího (kogenerace – viz níže kap. 2.2). Tuhé zbytky po kvašení lze využít v zemědělství jako hodnotné hnojivo. Pro vznik bioplynu a jeho kvalitu je důležitá teplota, při které bakterie mohou bakterie pracovat. Obecně lze říci, že čím vyšší teplota, tím je výnos bioplynu vyšší, například termofilní bakterie dokáží pracovat při teplotě až 55°C. Množství plynů takto získaných ze zvířecích exkrementů je orientačně uvedeno v tab. 2-2. Doba zdržení ve fermentoru je závislá na druhu zpracovávané biomasy, je nutné minimalizovat obsah biologicky rozložitelných látek v tuhých zbytcích, v opačném případě tyto zbytky zapáchají [14]. Obecně se dá říci, že nejkratší dobu k fermentování potřebují hnůj a kejda, delší pak kaly z čističek, odpady z jatek nebo masokostní moučka.

Etanolové kvašení je založeno na fermentaci cukrů a škrobů pomocí kvasinek či bakterií, přičemž výsledkem je etanol. Probíhají výzkumy, při kterých určité druhy bakterií rozkládají na etanol i dřevo nebo slámu, ale pro energetické využití jsou tyto technologie příliš náročné a zbytečně drahé. Etanol se využívá kromě potravinářských účelů jako přídavek do paliva pro zážehové motory, v budoucnu bude tento přídavek uzákoněn z důvodu snížení závislosti na dovozu ropy, což je při avizovaném množství do 5 % přidaného etanolu velmi diskutabilní.

Zvláštním případem biochemické přeměny je vznik skládkového plynu. Vzniká složitými biologickými pochody z organických složek odpadu, kterých je na skládkách přibližně 35 % [1], tento plyn obsahuje převážně metan a oxid uhličitý a jeho složení se v průběhu doby mění. Využívá se stejně jako bioplyn pro výrobu tepla, elektřiny nebo obojího. Vzhledem k tomu, že je do budoucna snaha organické odpady třídit, bude se jejich podíl na skládkách zřejmě snižovat, tudíž se pro využití počítá prakticky jen se současnými skládkami [4].

Tab. 2-1 Produkce výkalů zvířat a množství plynu z nich získané (převzato z [22])

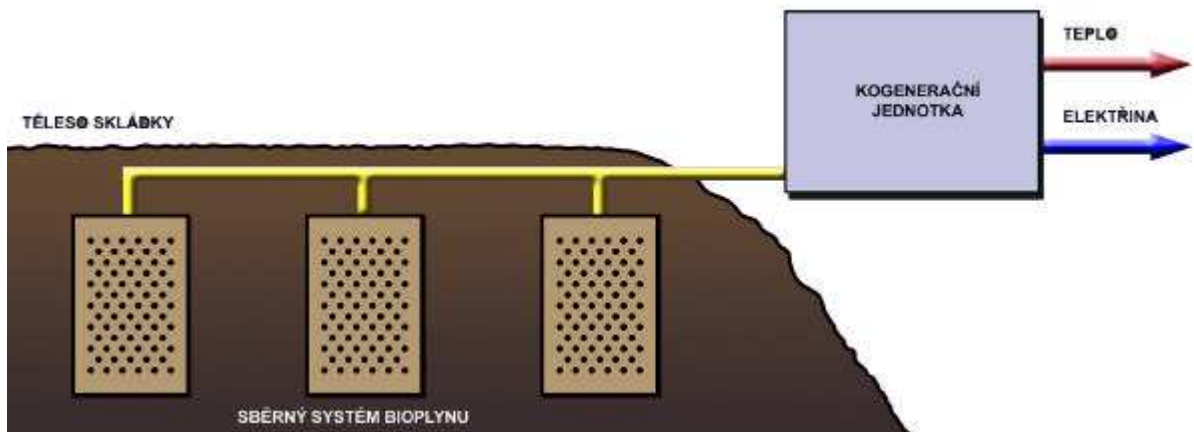
Kategorie	sušina výkalů vč. moče (kg.den ⁻¹)	výkaly celkem průměrně (kg.den ⁻¹)	množství bioplynu (m ³ .den ⁻¹)
Hovězí dobytek (průměr):			
Dojnice (550 kg)	6	60	1,7
Hovězí žír (350 kg)	3	30	1,2
Odchov jalovic (330 kg)	3,5	35	0,9
Telata (100 kg)	1,25	12 až 15	0,3
Prasata (průměr):			
Výkrm (70 kg)	0,5	8,5	0,2
Prasnice (170 kg)	1,0	14	0,3
Prasnice se selaty (90 kg)	0,55	9	0,2
Selata (10 kg) menší	0,15	3	0,1
Selata (23 kg) větší	0,25	4	0,15
Kanci (250 kg)	1,3	18,5	0,3
Drůbež (průměr):			
Nosnice (2,2 kg)	0,036	0,15 – 0,30	0,016
Brojler (0,8 kg)	0,020	0,009	
Kuřice (1,1 kg)	0,020	0,009	

2.2 Způsoby využití energie

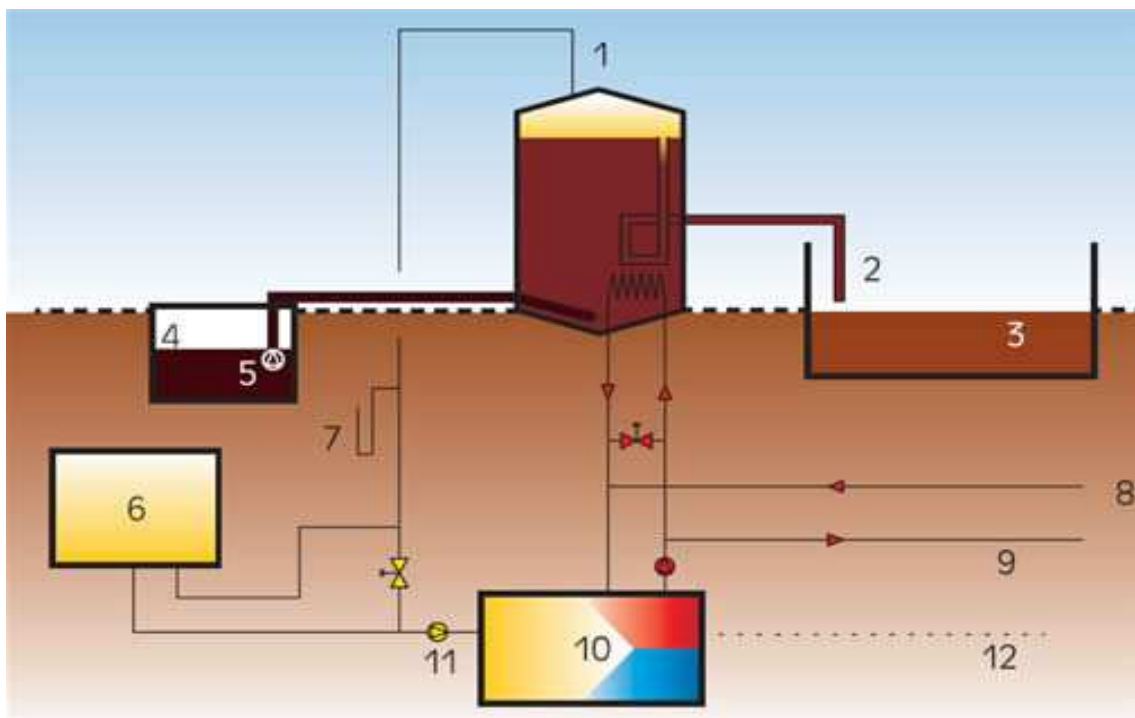
Energie biomasy se dá využít jak pro výrobu tepla, tak pro výrobu elektřiny. Ovšem výroba každého druhu energie zvlášť není efektivní, při výrobě elektřiny vzniká velké množství nevyužitého tepla, při výrobě tepla se sice dosahuje vysoké účinnosti a zařízení není finančně náročné, ale ztrácí se schopnost konat práci prostřednictvím uvolněného tepla [2]. Právě pro malou technologickou a finanční náročnost je doposud biomasa spalována více na výrobu tepla pro místní či dálkové vytápění [5]. Pro porovnání je uvedeno množství jednotlivých typů biomasy zpracované pro výrobu tepla a elektrické energie (tab.2-2). V roce 2005 bylo přitom pro výrobu elektřiny spotřebováno 389 tisíc tun biomasy. Aby byl výčet úplný, je nutno uvést, že v roce 2006 bylo energeticky využito 123 mil. m³ bioplynu [5], což představuje 176 GWh elektrické energie.

Tab. 2-2 Využití biomasy pro energetiku v roce 2006 v tunách (převzato z [5])

Palivo	Na výrobu elektřiny	Na výrobu tepla	Celkem
Dřevní odp., štěpka, piliny atd.	250 150	881 457	1131607
Palivové dřevo	-	54 102	54 102
Rostlinné materiály	62 146	12 307	74 453
Brikety a pelety	15 519	8 134	23 653
Celulózové výluhy	184 619	883 578	1068197
Celkem	512 435	1 839 578	2352012
Odhad spotřeby dřeva v domácnostech			3087549
Vývoz biomasy vhodné k energetickým účelům			516 455
Celkem energeticky využitá, či vyvezená biomasa			5956016



Obr. 2-1 Princip zachycování bioplynu na skládce a jeho využití (převzato z [4])



Obr. 2-2 Schéma bioplynové stanice (převzato z [1]), legenda: 1 - odvod plynu z reaktoru, 2 - přepad kalu, 3 - zásobník odplyněné kejdry (hnoje), 4 - nová sběrná nádrž (zdroj materiálu pro reaktor), 5 - kalové čerpadlo, 6 - plynojem, 7 - vodní uzávěr, 8 - připojení ke stávajícímu dálkovému vytápění, 9 - teplo z kogenerační jednotky, 10 - kogenerační jednotka, 11 - dmychadlo, 12 - elektrina z kogenerační jednotky

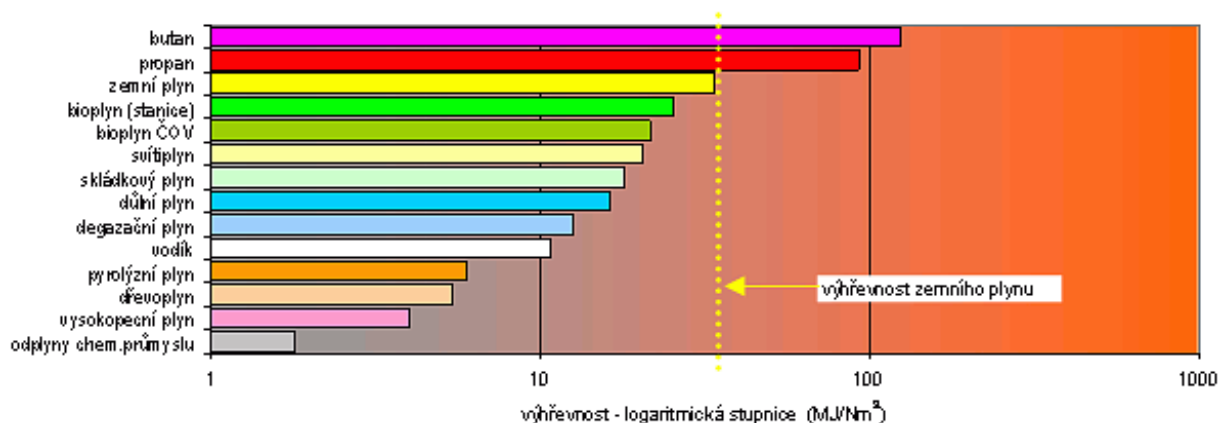
Co se týče výroby elektřiny z pevné biomasy, většina u nás vzniká spalováním s uhlím ve stávajících kotlích v elektrárnách nebo velkých teplárnách (Hodonín, Poříčí, Tisová, Ledvice,

Chvaletice, Dvůr Králové, Plzeň, Olomouc) [6]. Ze 731 GWh vyrobených z pevné biomasy v roce 2006 bylo 722 GWh vyrobeno právě spoluspalováním. U těchto velkých bloků nelze používat výhradně biomasu, protože pro jejich vysoký instalovaný výkon není v okolí dostatek paliva.

Protože při výrobě elektřiny v těchto zařízeních je využití energie paliva poměrně nízké (30 – 50 %) a pro odpadní teplo není vždy využití, začíná se v současné době biomasa hojně využívat také v menších decentralizovaných energetických zařízeních (řádově jednotky MW) pro současnou výrobu tepla a elektřiny – kogeneraci. V naší republice jsou těchto zařízení v současné době desítky, ale jak plyne z výše uvedených údajů, jejich podíl na celkové výrobě elektřiny z biomasy je malý právě pro jejich malý výkon. Kogenerace je energeticky výhodná výroba energie, proti oddělené produkci tepla a elektřiny je využití energie paliva vyšší o 20 – 40 % [7]. Je snahou vyrábět co největší množství ušlechtlejší formy energie – elektřiny, v praxi je ale použití určitého kogeneračního zařízení omezeno náklady provozními a pořizovacími. Kombinovaná výroba energie probíhá v zásadě čtyřmi způsoby - parní, plynovou, paroplynovou kogenerací a palivovými články [8].

Parní kogenerace spočívá ve výrobě páry parním kotlem, tou se pak pohání protitlaká parní turbína spojená s generátorem elektrické energie, z odběru parní turbíny se pak získává teplo ve formě páry o požadovaných vlastnostech (teplotě a tlaku) dle konstrukce turbíny. Obecně platí, že do výkonu 15 MW se používají radiální turbíny, při větších výkonech pak axiální. Parní kogenerace se vyznačuje nízkou účinností výroby elektřiny (8 – 15 %) a vysokou účinností výroby tepla (62 – 76 %). Celková účinnost výroby energie je 77 – 87 %. Výhodou tohoto druhu výroby naopak je, že v kotli lze spalovat poměrně levné tuhé palivo (uhlí nebo biomasu).

Plynová kogenerace je založena na spalování plynu ve spalovacím motoru nebo spalovací turbíně, které slouží pro pohon generátoru. Tepelná energie se získává z chlazení motoru nebo ze spalín za motorem (turbínou). V případě motoru se teplo odvádí pomocí dvou výměníků, v případě turbíny je teplo získáváno ze spalín ve spalínovém kotli, odvádí se podle požadavků ve formě horké vody nebo páry, podle potřeby se ještě spaliny mohou v kotli hořákem přehřívat. Spalovací motory se využívají pro výkony do 5 MW, spalovací turbíny pak pro výkony od 1 MW do 200 MW. Tato kombinovaná výroba má vyšší účinnost výroby elektřiny, činí asi 23 – 41 %, výroba tepla se pohybuje v rozmezí 35 – 57 %. Celkové využití energie je asi 70 – 90 %. Nevýhodou plynové kogenerace je drahé palivo – zemní plyn, použít lze i bioplyn, dřevoplyn nebo skládkové plyny, ty mají ale nižší výhřevnost (srovnání uvedeno na obr. 2-3), z čehož plyne také nižší účinnost výroby el. energie.



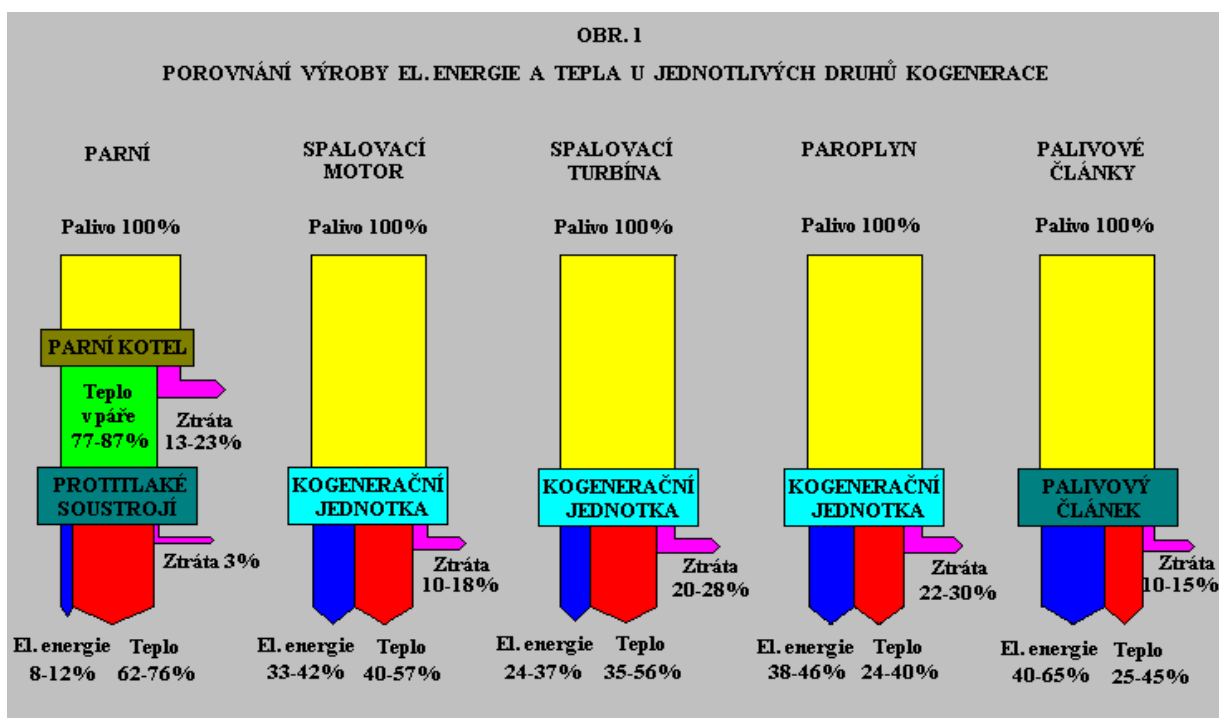
Obr. 2-3 Výhřevnost některých plynů (převzato z [21])

Jestliže je snahou vyrábět co největší podíl elektrické energie, používá se paroplynová kombinovaná výroba energie. Princip spočívá v tom, že spaliny z plynové turbíny slouží k výrobě páry v kotli a ta pohání ještě parní turbínu. Užitečné teplo se získává z odběru parní turbíny nebo ze spalin turbíny spalovací. Podíl získané energie ve formě elektřiny bývá až 44 %. Celková účinnost se pohybuje od 78 do 87 %. Tento druh kogenerace se využívá především pro velké výkony, neboť je technologicky náročnější, požadavky na palivo jsou stejné jako u plynových turbín. Pro bioplyn nebo dřevoplyn se tato technologie prakticky nepoužívá, neboť pro vysoké výkony není možné zajistit dostatečné množství těchto surovin.

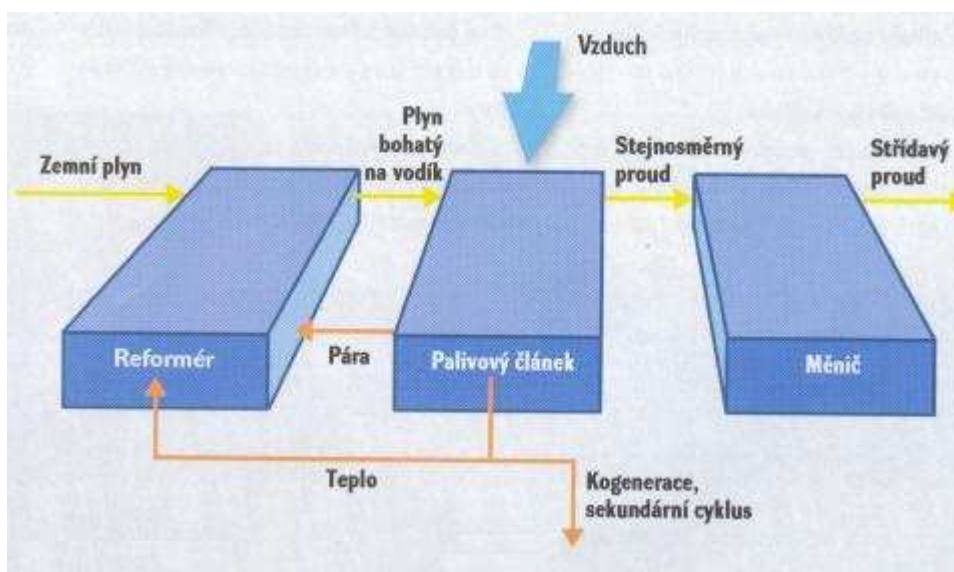
V dnešní době se začíná experimentovat se zvláštním druhem kogenerace, a to s palivovými články [9]. Ty se liší od výše uvedených přeměn především tím, že přeměna chemické energie na elektrickou probíhá přímo, nikoli přes energii mechanickou (viz obr. 2-5). Chemická energie se zde mění na elektrickou energii a na teplo pomocí oxidačně-redukčních reakcí probíhajících v elektrolytu. V něm se nacházejí elektrody (anoda a katoda), na kterých se generuje el. energie. Odpadní teplo je odváděno výměníky a použito k ohřátí média odvádějícího tepelnou energii na místo využití (pára, horká voda). Jako palivo se využívá vodík, resp. plyny obsahující vodík (metan, zemní plyn), protože je ale vodík sám o sobě velmi výbušný, stále nejsou uspokojivě vyřešeny problémy s jeho skladováním a manipulací s ním. Jako nadějně se jeví chemické navázání vodíku na jiné látky – hydridy, které jsou ovšem zatím schopny vázat jen 2 – 4 hmotnostní procenta vodíku, větší rozvoj tohoto způsobu skladování je očekáván v souvislosti s rozvojem nanotechnologií [19]. Palivové články se vyznačují vysokým podílem výroby el. energie, el. účinnost dosahuje 40 - 65 % (podle elektrolytu). Tepelná účinnost je pak 25 - 45 %. Výhodou je téměř bezhlučný chod díky absenci pohyblivých částí a nízké emise, proto je tato technologie podporována v automobilovém průmyslu jako náhrada klasického spalovacího motoru, avšak problém omezeného množství fosilních paliv dosud účinně neřeší. V energetice se palivové články neuplatňují pro svou vysokou pořizovací cenu, která je na jednotku výkonu několiknásobná v porovnání s ostatními kogeneračními zařízeními. Procentuální zastoupení výroby obou druhů energie v závislosti na druhu kogenerace je uvedeno na obr. 2-4.

V souvislosti s kogenerací lze ještě zmínit poměrně novou technologii, která z kogenerace vychází – trigeneraci [16]. Při této kombinované výrobě se kromě elektřiny a tepla vyrábí i chlad, a to zejména tehdy, když není odběr tepla pro jiné účely. Chlazení může být dvojího druhu – kompresorové a absorpční. Kompresorové není příliš výhodné, neboť spotřebovává elektřinu z kogenerační jednotky, která je sice levnější než ze sítě, ale elektřina může být narozdíl od tepla

bez větších problémů dodávána do sítě po celý rok. Proto je snaha využívat chlazení absorpční, které využívá méně ušlechtilou energii tepelnou. Princip spočívá v tom, že chladivo je za nízkého tlaku pohlcováno vhodnou látkou (absorbentem), pak jde tato směs do výměníku s vyšším tlakem, kde za použití tepla z kogenerační jednotky je chladivo z roztoku varem opět uvolněno, zvýší se jeho tlak a následně kondenzuje. Absorpční chlazení má však i nevýhody, zařízení je větší, těžší a je také investičně náročnější než zařízení kompresorové.



Obr. 2-4 Porovnání výroby tepla a elektřiny u různých druhů kogenerace (převzato z [9])



Obr. 2-5 Schéma palivového článku s použitím zemního plynu (převzato z [15])

3 PODMÍNKY PRO VÝROBU ENERGIE Z BIOMASY

Základní podmínky pro výrobu energie z biomasy by se daly shrnout takto: je třeba zajistit dodávku biomasy a odběr vyrobené energie [10].

3.1 Dodávka biomasy

Jestliže se požaduje, aby výroba energie z tohoto paliva byla ekonomicky přijatelná, je potřebný spolehlivý zdroj biomasy. V praxi to znamená, že je nutné spolupracovat se zemědělci, příp. lesníky a zajistit si tak spolehlivé dodavatele a také s nimi sjednat jasné podmínky pro výkup požadované suroviny. Optimální je větší počet dodavatelů, aby se daly překlenující případné výpadky dodávek. Důležitým předpokladem spolehlivosti výroby energie jsou také velké prostory pro uskladnění biomasy, její objemová hmotnost je totiž menší než u jiných tuhých paliv, což je pro srovnání uvedeno také níže v tab. 3-1. Pro dosažení větší měrné hmotnosti se rostlinné zbytky lisují a vznikají brikety nebo pelety, ale ty se využívají spíše pro lokální vytápění (rodinné domy, menší provozy), manipulace s nimi je sice čistá a komfortní, ale jejich cena je kvůli zpracování o mnoho vyšší, nejsou tedy pro energetiku příliš finančně výhodné.

Některé suroviny např. sláma nebo energetické rostliny se musí sklízet v určité době, ve většině případů v létě, je tedy nutné mít nebo vytvořit mezisklady pro jejich uskladnění a později je dopravit na místo určení. Rozsáhlé skladovací prostory je třeba také z klimatických důvodů, neboť v zimě, kdy je spotřeba elektřiny a především tepla vyšší než v letních měsících, může být horší sjízdnost silnic vedoucích od zdrojů nebo meziskladů biomasy k výrobnám energie. S tím souvisí také složitá manipulace s palivem ve venkovních prostorách při sněhové pokrývce, takže je vhodné mít sklad biomasy částečně zastřešený.

Tab. 3-1 Vlastnosti některých fosilních paliv a biomasy (převzato částečně z [11])

Palivo	vlhkost (%)	výhřevnost (MJ/kg)	obj. hmotnost (kg/m ³)
Polena (měkké dřevo)	0	18,56	355
	10	16,40	375
	20	14,28	400
	30	12,18	425
	40	10,10	450
	50	8,10	530
Dřevní štěpka	10	16,40	170
	20	14,28	190
	30	12,18	210
	40	10,10	225

sláma obilovin	10	15,50	120 (balíky)
sláma kukuřice	10	14,40	100 (balíky)
lněné stonky	10	16,90	140 (balíky)
sláma řepky	10	16,00	100 (balíky)
černé uhlí	1	24,00	770-880
hnědé uhlí	5-20*	14,60	650-780

* liší se podle oblasti [12]

Předpokladem bezproblémového provozu je také dodávka paliva o přijatelné vlhkosti, aby se příliš nesnižovala jeho výhřevnost (a také jakost vlivem rozkladu), nadměrně se neopotřebovávalo spalovací zařízení a v neposlední řadě, aby se zbytečně nedopravovala voda na úkor paliva. Problémem může být také sláma lisovaná do balíků při vysoké vlhkosti, neboť uvnitř balíku vznikají plísně, může dojít též k samovznícení. Tento problém se může vyskytnout i při skladování vlhké štěpky ve vysoké vrstvě (nad 4 m) [3].

Jedním z nejvýznamnějších hledisek pro využití biomasy je tedy doprava, která značně prodražuje její energetické použití. Proti jiným, neobnovitelným zdrojům má biomasa tu nevýhodu, že její výroba je značně rozptýlená, takže ji nelze transportovat ve velkém množství poměrně levně vlakem nebo lodí. Z toho plyne, že ji lze přepravovat většinou jen nákladními auty, ta ale snižují svými zplodinami ekologický přínos výroby energie z těchto zdrojů. Právě kvůli vysoké ceně dopravy se určuje limitní vzdálenost pro dopravu paliva, aby byla výroba konkurenceschopná fosilním palivům, především uhlí, protože zemní plyn se pro svou vysokou cenu využívá spíše jako pohotovostní zdroj. Jelikož nyní ceny využitelné biomasy stoupají v souvislosti se zvyšující se poptávkou, činí tato limitní vzdálenost podle [13] například pro dřevní štěpku zhruba 15 km, pro slámu v balících je to asi 20 km. Při samozásobování může být tato vzdálenost o mnoho vyšší, i přes 40 km, vzhledem k ceně zahrnující pouze vlastní náklady, příp. vlastní dopravu.

Právě kvůli problematičnosti a nákladnosti dopravy se uvažuje o pěstování energeticky využitelných rostlin v blízkosti výroben energie. Předpokládá se, že k produkci bude využita jak zemědělská půda ležící ladem, tak různé zemědělsky těžko využitelné plochy, rekultivované skládky apod. U nás je zatím pěstování energetických plodin ve fázi výzkumu [24], perspektivní se jeví např. šťovík uteuša nebo amaranthus. Pokusně se také vysazují plantáže rychle rostoucích dřevin [25], především vrby a topoly, zatím se jedná o rozlohu v řádu desítek hektarů. Problémy nastávají s rentabilitou pěstování (nedořešená státní bioenergetická koncepce), vyjímáním pozemků ze zemědělského fondu k pěstování těchto plodin a dřevin, nedostatkem rostlin pro výsadbu a někdy i s nedostatkem mechanizace pro sklizeň. Dalším aspektem je také znečištění životního prostředí umělými hnojivy a zplodinami strojů při pěstování těchto rostlin.

S přihlédnutím ke zvýšené frekvenci nákladní dopravy je třeba dostatečně dimenzovat příjezdové komunikace od meziskladů nebo zdrojů ke skladovacím prostorům teplárny a zajistit, aby doprava neobtěžovala hlukem, zápachem či otřesy okolí. V souvislosti s dodávkou paliva je potřebné také zajištění likvidace popelovin, popel lze využívat v zemědělství jako minerální hnojivo, snižuje také kyselost půdy. Z toho vyplývá, že problémy mohou nastat na zásaditých

půdách, podle složení paliva se mohou v popelu vyskytovat také těžké kovy v množství vyšším, než povoluje norma.

Specifické podmínky má energetické využití bioplynu vyrobeného z biomasy, příp. skládkového plynu. Teplárny pro výrobu energie ze skládkových plynů mohou být umístěny pouze na skládce nebo v jejím nejbližším okolí a mají tedy jen omezený přísun plynu, tedy omezený výkon, pokud nepočítáme se spoluspalováním plynu zemního. Pro efektivní provoz těchto jednotek je třeba podíl metanu ve skládkovém plynu alespoň 40 % [23].

V kogeneračních zařízeních zpracovávajících bioplyn je možnost přísun surovin k fermentování regulovat, avšak může nastat problém se zápachem v případě, že je třeba tyto suroviny přepravovat, neboť hlavními vstupy pro výrobu bioplynu jsou většinou látky zapáchající. Jestliže jsou bioplynové provozny umístěny v zemědělských areálech, pak zpracováním a stabilizací těchto organických látek se problém obtížného zápachu v okolí naopak redukuje. Přesto se někdy potíže se zápachem v okolí bioplynových stanic vyskytují [14], to je zřejmě způsobeno zpracováváním levnějších, ale zároveň méně kvalitních surovin, například tuků, kalů z čistíren odpadních vod, masokostní moučky nebo jatečních odpadů. Tyto suroviny pak způsobují zápach na vstupu i na výstupu jejich zpracování (nekvalitní digestát – pevný produkt fermentace). Pro zpracování těchto méně kvalitních surovin je dobré zastřešit homogenizační jímku pro jejich skladování před fermentací i uskladňovací jímku, ve které je digestát po fermentaci, zajistit odsávání a následné filtrování vzduchu z těchto prostor. V neposlední řadě je také nutné uvážit zemědělské použití digestátu v těsné blízkosti obydlených oblastí, pokud nedokonale fermentované produkty zapáchají.

3.2 Odběr vyrobené energie

Odběr elektrické energie je nutno dohodnout s lokálním distributorem, pro dodávku do sítě je třeba splnit několik podmínek, které jsou uvedeny v kap. 4, pak je dodávka el. energie bez větších problémů. Je také možné vyrobenou elektřinu využívat pro vlastní spotřebu v objektu, jsou-li v něm nějaké výkonnější spotřebiče. Například u bioplynových jednotek v čističkách [20], kde se nachází řada energeticky náročných zařízení (čerpadla, dopravníky, dmychadla), je využito cca 30 % vyrobené elektřiny pro vlastní spotřebu, což představuje nezanedbatelnou úsporu oproti odběru el. energie ze sítě.

S využitím vyrobené tepelné energie mohou nastat potíže, jestliže se kogenerační jednotka připojuje na stávající centrální rozvod tepla, musí vyrobené teplo respektovat parametry soustavy [10], to však může kolidovat s účinností jednotky. Pokud je budována nová soustava rozvodu tepla, projeví se tyto zvýšené náklady negativně na ceně dodávané energie. Aby bylo vybudování soustavy ekonomicky únosné, je třeba umístit zdroj energie do míst s hustou zástavbou, neboť výstavba dlouhých teplovodů je nejen drahá, ale zvyšují se i tepelné ztráty přenosem. Dalším aspektem je nízký odběr tepla v letním období. Zejména u kogeneračních jednotek zásobujících teplem bytové jednotky nebo rodinné domy se v tomto období jedná pouze o ohřev užitkové vody, ten představuje jen asi 30 % plného odběru. Přitom však právě v tomto období je k dispozici nejvíce biomasy s nejnižšími náklady.

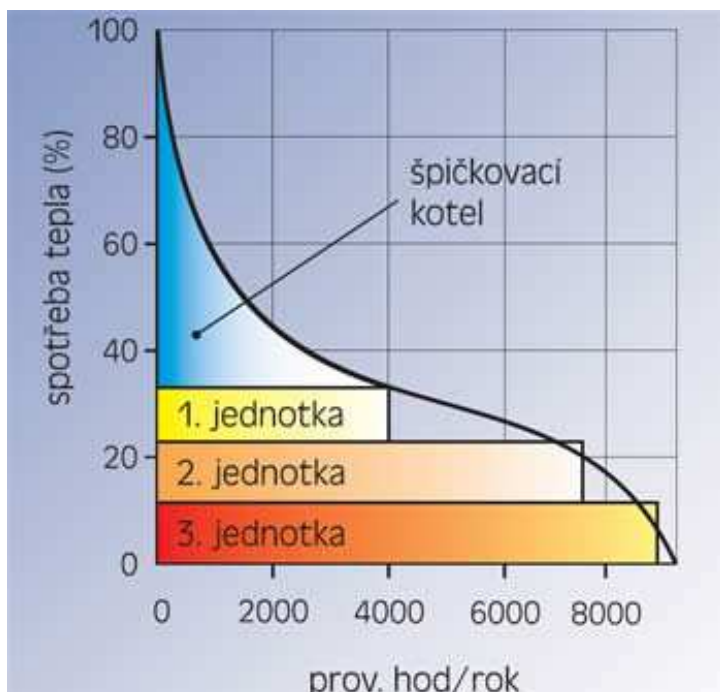
Tento nepříznivý jev lze zčásti eliminovat několika způsoby. Prvním je stavba trigenerační jednotky (kap. 2.2), ta dokáže přeměnit teplo na chlad, po kterém je v letním období větší poptávka. Podmínkou je ovšem umístění jednotky v blízkosti jednoho či více objektů, které jsou

schopny využívat vyšší chladicí výkon, tzn. hotely, nemocnice, kancelářské budovy, sportovní haly, chladírny. Druhé řešení je instalace kogenerační jednotky v blízkosti provozu, kde je neustálá spotřeba tepelné energie, př. v blízkosti sušičky dřeva, sena nebo ovoce, farmy pro chov exotických zvířat, bazénu apod. Další možností je snížení výkonu jednotky, případně odstavení některého kotle, příp. turbíny z provozu, což je však ekonomicky nevýhodné, snižuje se účinnost, v případě vypínání zdrojů jednotka není dostatečně využita a tím se prodlužuje její návratnost.

Denní výkyvy spotřeby tepla lze řešit akumulací vyrobeného tepla, nejčastěji se jako akumulátor používá voda [17] z důvodu nejnižší ceny. Kogenerační jednotka se pak uvádí do provozu až po vyčerpání zásob tepla, tudíž se příliš nesnižuje její účinnost a životnost kvůli opakovanému nabíhání a odstavování. Ve velkých provozech nebo objektech je možné využívat jednotku jako zdroj k pokrytí základní spotřeby tepla [18] a případné špičky především v zimním období pokrýt běžným kotlem př. plynovým (příklad na obr. 3-1). Kogenerační jednotka je pak efektivněji využita, neboť je dlouhodobě v provozu.

3.3 Některá specifika využití biomasy

Biomasa má z hlediska energetického některé vlastnosti odlišné od fosilních paliv. Jak je uvedeno v kap. 2.2.3, plyny získané zplyňováním nebo metanovým kvašením mají nižší výhřevnost (markantní u dřevoplynu), tudíž vyžadují úpravy konstrukce turbíny či motoru [26], při spalování dřevoplynu v těchto zařízeních je třeba plyn dočistit (obsahuje fenoly, dehty, pevné částice), při použití v běžných kotlích není dočištění nutné.



Obr. 3-1 Pokrytí roční spotřeby tepla – využití 3 kog. jednotek a kotle (převzato z [18])

Biomasa potřebuje ke svému spalování dostatek vzduchu, neboť obsahuje vysoký podíl prchavé hořlaviny [3], kterou je nutno smísit se spalovacím vzduchem pro její dokonalé vyhoření. S tím souvisí také dlouhý plamen, který je pro biomasu typický, z čehož vyplývá potřeba většího ohniště, než pro fosilní paliva. Spalování vyžaduje také určitou teplotu, ta je různá podle druhu paliva, problematická je v tomto ohledu například sláma. Ta má relativně vysoký obsah chloru, takže při teplotách nad 500 °C dochází ke korozi kovových ploch, ovšem nižší teploty nejsou přípustné z hlediska účinnosti a zplodin – při teplotách pod 600 °C se plyny nespalují, vzniká dým a organické kyseliny. Na druhou stranu při teplotách nad 1100 °C vznikají oxidy dusíku, které jsou velmi obtížně zachytitelné. Při teplotě kolem 850 °C se začíná tavit popel na roštu a na vyzdívce ve sklovitou hmotu, která je problematicky odstranitelná. Pro optimální životnost a snadnou údržbu je dobré od sebe oddělit prostor pro zplyňování (nižší teplota, kolem 600 °C) a prostor pro hoření plynů (vyšší teplota, kolem 1100 °C).

3.4 Vliv spalování biomasy na životní prostředí

Co se týče produkce oxidu uhličitého, je biomasa považována za neutrální palivo [3], produkuje se jen tolik oxidu uhličitého, kolik je vázáno v rostlinách při fotosyntéze. Jak je již uvedeno v kap. 3.3, při teplotách spalování pod 600 °C dochází ke vzniku dýmu obsahujícího dehty, naopak při teplotách nad 1100 °C vznikají oxidy dusíku, které jsou katalyzátory prakticky nezachytitelné. Potíže s oxidy dusíku nastávají také při spalování biomasy s obsahem dusíku nad 1,5 % - především u mladých rostlin. Při hnojení rostlin průmyslovými hnojivy s obsahem chlóru se může ve spalínách vyskytovat chlorovodík [27]. Emise oxidu siřičitého jsou prakticky nulové, pokud nepochází biomasa z oblastí s vysokou koncentrací síry v ovzduší, také při spalování např. kůry stromů se mohou nízké koncentrace vyskytnout. Při dostatečné teplotě (900 – 1100 °C), dostatečném přísunu vzduchu a dlouhém ohništi se minimalizuje výskyt oxidu uhelnatého ve spalínách. Poléťavý popel může obsahovat těžké kovy, ale úletu lze poměrně dobře zabránit lapačem jisker v komíně [3].

Neočekávané problémy se vyskytly s koncentrací dibenzodioxinů a dibenzofuranů ve spalínách [27], která při měřeních v několika teplárnách na biomasu překračovala povolené limity i více než 40x. Výzkumy bylo zjištěno, že výskyt těchto dioxinů se odvíjí od obsahu chlóru v biomase, při vysokém obsahu chlóru je vysoký i obsah dioxinů ve spalínách. Tyto látky mohou být karcinogenní pro lidský organismus a mohou také způsobovat různé srdeční a cévní potíže nebo snižovat imunitu. Aby se předešlo jejich nadměrnému vzniku, je třeba zajistit setrvání spalin při teplotě nad 850 °C po dobu nejméně 2 sekund [28].

4 PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ DO ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Pro zřízení nové výrobní el. energie připojené k distribuční síti je třeba souhlasu příslušného provozovatele distribuční sítě (PDS) [30], tento souhlas je udělován na základě několika formulářů a k nim náležejících dokumentů. Co se týká napěťových hladin, na které je výrobní připojena, maximální výkon pro připojení na NN nebo VN a minimální výkon pro připojení na VN nebo 110 kV se odvíjí od druhu výrobní, způsobu provozu a podle síťových poměrů distribuční sítě (DS) v daném místě [29].

Výrobní energie musí být spojena se sítí pomocí spínacího zařízení, které má schopnost alespoň vypínání zátěže, tomuto zařízení se předřazuje ještě ochrana při nepřipustném napětí (kontrolují se všechny tři fáze - kvůli jednopólovému poklesu), nepříp. frekvenci (stačí jednofázová kontrola) a ochrana zkratová. Při dimenzování spínacího zařízení je třeba dbát na fakt, že zkrat je napájen jak ze sítě PDS, tak z výrobní, kterou připojujeme, z čehož plyne, že zkratový proud je dán příspěvkem z obou zdrojů. Pokud by nová výrobní způsobila zvýšení zkratového proudu v síti PDS, na které nejsou zařízení v síti dimenzovány, je provozovatel výrobní povinen tyto zkratové proudy snížit, příp. snížit jejich vliv na síť. Jestliže je přerušeno pomocné napájení spínacího zařízení a ochrany, musí dojít k vypnutí vlastní výrobní, protože při poruše v distribuční síti by k jejímu vypnutí nedošlo. Vypnutí ochrany musí být dostatečně rychlé, aby nebyla poškozena zařízení PDS i výrobní samotné.

Co se týče účinnosti, musí se pohybovat v rozmezí 0,95 – 0,98 induktivní. Je-li v distribuční síti, na kterou je výrobní připojena, velké procento kabelových vedení, může se vlivem kondenzátorových kompenzátorů odběratelů účinnosti dostat do kapacitní oblasti. To však také není žádoucí, proto nejsou kompenzátory v některých případech především u menších generátorů požadovány. Obzvláště při velkém zatížení sítě by se měl účinnosti pohybovat kolem 1. Kompenzační zařízení se nesmí připojit k síti před připojením generátoru, odpojovat se má s generátorem současně. Podmínky kompenzace jalových proudů mohou být předmětem dohody provozovatele výrobní a PDS.

Následkem připojení výrobní na síť se napětí nesmí zvýšit u připojení na síť VN a 110 kV o více než 2 %, u připojení na NN o více než 3 % ve srovnání se stavem před připojením. Při spínání generátorů do sítě 110 kV častěji než desetkrát za hodinu je povolené zvýšení max. 1,5 %, u nízkého napětí platí 3 %, pokud není spínání častější než po 1,5 min.

Zařízení výrobní ovlivňuje i hladinu signálu hromadného dálkového ovládání (HDO) ve společném napájecím bodě, frekvenci tohoto signálu v daném místě lze zjistit od PDS, pohybuje se od 180 do 1050 Hz. Hladina signálu v síti se nesmí snížit o více než 10 až 20 %, vyloučit je třeba také nežádoucí rušivá napětí ovlivňující HDO více, než je přípustné podle [29].

5 NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

5.1 Popis objektu

Předmětem návrhu je kogenerační jednotka pro podnik zabývající se dřevovýrobou a zámečnickou činností. Vyrábí se zde převážně hranoly délky 1 m, obložení a další dřevěné výrobky na zakázku, firma provádí i mechanické úpravy kovů, jako broušení, stříhání a frézování, díky zámečnické dílně lze většinu oprav realizovat vlastními silami. Součástí provozu jsou také 2 kondenzační sušárny dřeva, které budou v rámci rekonstrukce nahrazeny teplovzdušnou sušárnou Katres KSR 1 o tepelném příkonu 46 kW a elektrickém 4,5 kW. Sušárna bude umístěna stejně jako stávající odděleně od ostatních objektů podniku, a to v areálu místního masozávodu ve vzdálenosti cca 400 m. Podnik má k dispozici štěpkovač, kde lze zpracovat dřevní odpad z výroby, množství tohoto odpadu je cca 400 kg za den. Hlavní jistič má hodnotu 80 A, celkový instalovaný výkon všech el. spotřebičů je 247 kW, z čehož představuje 40 kW pila a dalších 80 kW vybavení stolárny, podle údajů z výroby je koeficient využití 0,6 a koeficient současnosti 0,3. Přívod elektrické energie je zvlášť z transformátoru 22/0,4 kV na okraji obce kabelem zavěšeným na stávajícím rozvodu NN.

5.2 Výpočet výkonu zdroje

Nejprve se vypočítá koeficient náročnosti β , koef. současnosti $k_s=0,3$, koeficient využití $k_v=0,6$.

$$\beta = k_s * k_v = 0,3 * 0,6 = 0,18 \quad (5.1)$$

Nyní je možno spočítat potřebný výkon pro dimenzování zdroje energie, přičemž celkový instalovaný výkon P_{inst} je 247 kW.

$$P = \beta * P_{inst} = 0,18 * 247 = 44,5 \text{ kW} \quad (5.2)$$

Při výpočtu výkonu zdroje je třeba také zohlednit, že v podniku jsou pouze čtyři pracovníci, takže není technicky reálné, aby bylo najednou v činnosti větší množství energeticky náročných strojů.

5.3 Výběr zdroje a přepočet parametrů

Jelikož není na trhu příliš mnoho výrobců vyrábějících kogenerační jednotky, které je možno provozovat na dřevoplyn, obzvláště v oblasti malých výkonů v řádu desítek kW, je na výběr pouze několik jednotek od firmy Tedom, které nemají vlastní generátor dřevoplynu. Vzhledem k vypočtenému výkonu a pořizovací ceně by byla zřejmě vhodná jednotka Micro T25 AP o elektrickém výkonu 25 kW a tepelném výkonu 47 kW (při provozu na zemní plyn). Umístění je optimální u sušárny dřeva, neboť není třeba vést investičně náročné potrubí pro přívod tepelné energie. Přívod elektrické energie z jednotky do výroby je možno vést stávajícím kabelovým vedením, z hlediska dimenzování kabelu nedojde k žádným problémům, protože hlavní jistič zůstává stejný a předpokládá se, že vedení bylo dostatečně nadimenzováno při jeho výstavbě.

Protože je jednotka provozována na jiný plyn, než byla původně koncipována, tedy na dřevoplyn místo zemního plynu, změní se také její parametry, zejména spotřeba plynu a výkon.

Plyn je generován ve zplyňovacím zařízení od firmy Ateko Hradec Králové, která používá pro své kogenerační jednotky motory Tedom. Jelikož firma Ateko nemá ve své nabídce KJ s výše uvedeným motorem Tedom Micro T25 AP, vychází se z technických parametrů a ceny jednotek s vyšším výkonem [36], které se vhodně přepočítají. Dá se předpokládat, že kogenerační jednotku s tímto motorem bude v blízké době nabízet firma Boss Bučovice, takže případná realizace by byla možná. Jednotka má ovšem elektrický výkon P_{svork} zvýšený na 30 kW a tepelný na 50 kW.

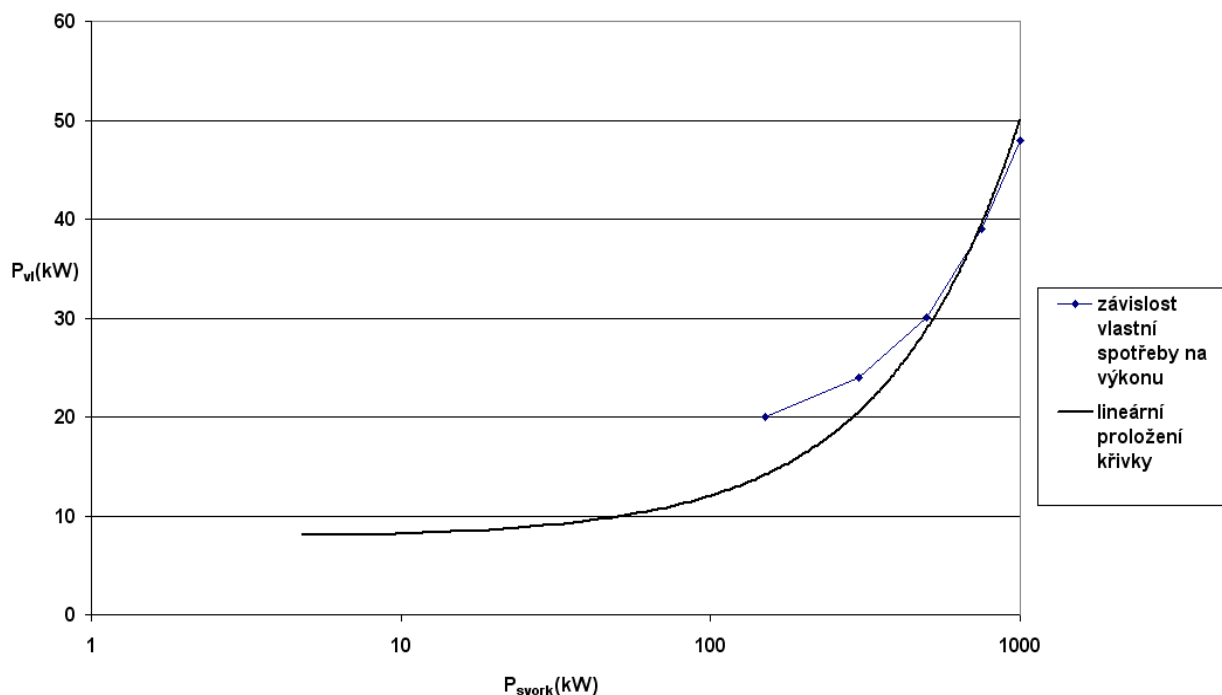
Podle parametrů jednotky Ateko o elektrickém výkonu 150 kW lze určit spotřebu paliva za hodinu provozu na jmenovitý výkon. Spotřeba této jednotky (M_{150}) je dle údajů výrobce 180-250 kg/hod a s klesajícím výkonem lineárně klesá (předpoklad dle spotřeby jednotek vyšších výkonů). Spotřeba paliva tedy činí

$$M_p = \frac{M_{150}}{\frac{P_{150}}{P_{30}}} = \frac{180(250)}{\frac{150}{30}} = 36(50) \text{ kg / hod} \quad (5.3)$$

Protože se spaluje poměrně kvalitní a vyschlý dřevní odpad, dá se předpokládat, že spotřeba paliva je kolem 40 kg/hod. Což při denní produkci M_d 400 kg dřevního odpadu představuje denní dobu chodu

$$t_d = \frac{M_d}{M_p} = \frac{400}{40} = 10 \text{ hod} \quad (5.4)$$

Závislost vlastní spotřeby na výkonu jednotky



Obr. 5-1 Závislost vlastní spotřeby zařízení na celkovém výkonu kog. jednotky

Jistým problémem se ukazuje vlastní el. příkon zplyňovacího zařízení a jeho příslušenství. Jak lze odhadnout z výše uvedeného orientačního grafu (Obr. 5-1), tento příkon P_{vl} se pohybuje pro uvažovanou jednotku někde kolem 10 kW (odhad z proložení křivky), což rapidně snižuje výkon dodávaný do el. sítě, příp. do výroby, a to

$$P_{sit} = P_{svork} - P_{vl} = 30 - 10 = 20 \text{ kW} \quad (5.5)$$

5.4 Energetická bilance provozovny a jednotky

Uvažuje-li se doba chodu t_d 10 hodin denně, el. energie vyrobená jednotkou A_{vyr} za tuto dobu je

$$A_{vyr} = P_{sit} * t_d = 20 * 10 = 200 \text{ kWh} \quad (5.6)$$

Jestliže je spotřeba výroby A_{mes} za měsíc přibližně 1700 kWh, při 20 pracovních dnech za měsíc představuje denní spotřeba A_d průměrně

$$A_d = \frac{A_{mes}}{20} = \frac{1700}{20} = 85 \text{ kWh} \quad (5.7)$$

Množství vyrobené energie za den je sice o mnoho vyšší, než spotřebované, je ale nutné počítat s tím, že v době, kdy běží výkonné stroje, např. pila, nedostačuje výkon jednotky k pokrytí spotřeby a část spotřeby el. energie je kryta ze sítě. Za předpokladu, že by se zvýšil odebíraný příkon na 40 kW po dobu jedné hodiny za den, je teoretické množství energie A_{tdod} dodané do sítě za měsíc

$$\begin{aligned} A_{tdod} &= (A_{vyr} - A_d) * 20 + (40 - P_{sit}) * 20 = \\ &= (200 - 85) * 20 + (40 - 20) * 20 = 2700 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Z toho vyplývá, že teoretické množství energie A_{tsit} odebrané provozovnou za měsíc ze sítě je

$$A_{tsit} = 20 * (40 - P_{sit}) = 20 * (40 - 20) = 400 \text{ kWh} \quad (5.9)$$

Protože však jednotka nepoběží trvale z důvodu oprav, údržby nebo jiných prostojů, je množství energie dodané do sítě menší a množství energie ze sítě odebrané naopak větší. Jestliže se uvažuje doba prostojů 1 den za měsíc, dosahuje en. do sítě dodaná A_{dod} a odebraná A_{sit} následujících hodnot

$$\begin{aligned} A_{dod} &= A_{tdod} - ((A_{vyr} - A_d) * 1 + (40 - P_{sit}) * 1) = \\ &= 2700 - ((200 - 85) * 1 + (40 - 20) * 1) = 2565 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$A_{sit} = A_{tsit} + (A_d - 20) = 400 + (85 - 20) = 465 \text{ kWh} \quad (5.11)$$

5.5 Sušárna řeziva

V předchozích výpočtech je zahrnuta pouze spotřeba dřevovýroby a zámečnictví, není zde však uvažována sušárna dřeva. Jak již bylo uvedeno výše, bude instalována nová teplovzdušná sušárna Katres KSR 1 o objemu 9 m³ místo stávajících dvou kondenzačních sušáren o celkovém objemu 14 m³. Jelikož měly sušárny poměrně malý příkon, průměrně 3 kW i se zvýšením

výkonu po zavezení nového řeziva do sušárny, neměl by být problém s menším objemem sušárny. Nová sušárna má totiž tepelný příkon P_{tep} 46 kW, což se jeví jako dostačující i při provozu pouze 10 hodin denně a průměrně 19 dní v měsíci, připočítají-li se výpadky v provozu. Předpokládá se tedy, že sušárna je v provozu pouze po dobu provozu kogenerační jednotky, neboť ta vyrábí potřebnou tepelnou energii a bylo by zbytečně investičně náročné pořizovat jiný zdroj tepla. Fakt, že sušení nebude probíhat trvale, nemá podle [20] vliv na kvalitu dřeva a sušení lze bez problémů navázat ve fázi, ve které sušení skončilo. Celková tepelná energie A_{tep} , kterou je možno do sušárny dodat, činí

$$A_{tep} = 19 * 10 * P_{tep} = 19 * 10 * 46 = 8740 kWh \quad (5.12)$$

Původní sušárny měly měsíční spotřebu A_{smes} asi 2200 kWh při elektrickém vytápění, takže výkon jednotky bohatě pokrývá spotřebu sušárny, i když se uvažují tepelné ztráty při jejím nabíhání a odstavování, či ztráty v přívodu tepla od jednotky k sušárně, které jsou ovšem minimální, neboť tato je v bezprostřední blízkosti jednotky.

Pro přebytečný tepelný výkon jednotky, který není využit pro sušení, není upotřeben, je proto odváděn do okolí, protože při tak malém výkonu jednotky není výstavba teplovodních rozvodů a výměňkových stanic do okolních objektů ekonomická. Navíc při náběhu sušárny je téměř celý tepelný výkon využit pro sušení a rezerva pro ostatní spotřebiče tudíž není.

Součástí sušárny je také ventilátor a další příslušenství, takže spotřebovává nejen energii tepelnou, ale i elektrickou, konkrétně u tohoto typu el. příkon P_{ven} činí 4,5 kW. K výpočtu spotřeby el. energie je ještě třeba zjistit dobu provozu sušárny. Vychází-li se z předpokladu, že teplovzdušná sušárna má při stejném příkonu stejnou sušící schopnost jako kondenzační, lze určit množství potřebné energie následujícím způsobem. Jestliže kondenzační sušárny pracují nepřetržitě, což bylo majitelem potvrzeno, a doba sušení jedné dávky řeziva je 3 týdny, pak spotřeba energie na jednu dávku A_{3tyd} činí

$$A_{3tyd} = A_{smes} * \frac{3}{4} = 2200 * \frac{3}{4} = 1650 kWh \quad (5.13)$$

Je ovšem nutné vzít v potaz, že původní sušárny měly celkový objem 14 m³ a nová sušárna má objem pouze 9 m³, je tedy nutné přepočítat spotřebu na jednu dávku v menší sušárně

$$A_{9m^3} = \frac{9}{14} * A_{3tyd} = \frac{9}{14} * 1650 = 1060 kWh \quad (5.14)$$

Doba najíždění t_{naj} , po kterou běží sušárna s plným tepelným příkonem, je podle [20] asi 5 hodin, pak příkon poklesne asi na 60 %. Energie potřebná pro fázi najíždění A_{naj} je

$$A_{naj} = P_{tep} * t_{naj} = 46 * 5 = 230 kWh \quad (5.15)$$

Počítá-li se s průměrným příkonem na úrovni 60 % plného příkonu sušárny [20] (což se může měnit např. s ročním obdobím), dá se nyní zjistit doba $t_{60\%h}$ nepřerušovaného sušení

$$t_{60\%h} = \frac{A_{9m^3} - A_{naj}}{0,6 * P_{tep}} = \frac{1060 - 230}{0,6 * 46} = 30 h \quad (5.16)$$

Přepočteno na dny tato doba představuje při 10-ti hodinovém provozu přibližně

$$t_{60\%} = \frac{t_{60\%h}}{10} = \frac{30}{10} = 3 \text{ dny} \quad (5.17)$$

Doba sušení je ve skutečnosti delší, neboť sušárna musí každý den najet na provozní parametry, aniž by bylo dřevo poškozeno. Jelikož řezivo od předchozího dne úplně nevychládne díky dobrým izolačním schopnostem sušárny, lze reálně počítat s tím, že doba postupného šetrného zahřívání dřeva nepřesáhne 2 hodiny. Předpokládá se také, že dobu pro postupné ochlazení není třeba do celkové doby připočítávat vzhledem k tepelné setrvačnosti motoru po odstavení a také vzhledem k postupnému ochlazování vody vytápějíci sušárnu. Celková doba sušení t_{celk} je (první den sušení ($t_{1,\text{den}}$) se dvouhodinová doba neuvažuje, neboť sušárna 5 hodin najíždí)

$$t_{\text{celk}} = \frac{t_{60\%h} + t_{\text{naj}} - t_{1,\text{den}}}{t_d - 2} + 1 = \frac{30 + 5 - 10}{10 - 2} + 1 = 4,1 \text{ dnů} \quad (5.18)$$

V praxi to znamená, že např. v pondělí bude dřevo zavezeno do sušárny a pravděpodobně již ve čtvrtek večer bude vysušeno na potřebnou vlhkost. Jestliže by případně dostatečně vyschlé nebylo, dosušilo by se v pátek, závisí to též na délce zavážení v pondělí.

Vypočtená doba, tedy přibližně pracovní týden, představuje čas potřebný pro usušení jedné dávky, tj. 9 m^3 . Požadavkem ovšem je usušit stejný průměrný měsíční objem V jako u sušáren stávajících, tzn. při 14 m^3 za 3 týdny

$$V = \frac{14}{3} * 4 = 18,7 \text{ m}^3 \quad (5.19)$$

Toto množství představuje přibližně 2 týdny práce sušárny, je zde tedy velká rezerva pro případné výpadky chodu jednotky či pro sušení dřeva s vysokou vlhkostí. Výhodou je také volná kapacita pro případné zvyšování objemu výroby, což je ale v dohledné době nepravděpodobné, protože v dané oblasti panuje nedostatek kulatiny.

Nyní jsou k dispozici výchozí údaje pro výpočet množství elektrické energie potřebné pro sušárnu. Předpokládá-li se, že ventilátory (jsou největšími el. spotřebiči) pracují stále na plný výkon, představuje to poměrně velký měsíční odběr, který ovšem může být hrazen kogenerační jednotkou. S přihlédnutím k faktu, že ventilátory běží i při každodenním nabíhání a odstavení sušárny [20], je možno uvažovat, že doba jejich činnosti je kolem 11 hodin denně. Množství energie A_{dven} potřebné pro jeden den provozu při plném odebíráním příkonu pak činí

$$A_{\text{dven}} = 11 * P_{\text{ven}} = 11 * 4,5 = 49,5 \text{ kWh} \quad (5.20)$$

I při velké rezervě jednotkou vyrobené el. energie je tento odběr výrazný, celková denní A_{dcelk} a hodinová A_{hcelk} spotřeba elektřiny (počítá se s 8-hodinovou pracovní dobou) tak vzroste na

$$A_{\text{dcelk}} = A_d + A_{\text{dven}} = 85 + 49,5 = 134,5 \text{ kWh} \quad (5.21)$$

$$A_{\text{hcelk}} = \frac{A_{\text{dcelk}} - 3 * P_{\text{ven}}}{t_{\text{prac}}} = \frac{134,5 - 3 * 4,5}{8} = 15,1 \text{ kWh} \quad (5.22)$$

5.6 Celková energetická bilance všech provozů a jednotky

Díky zvýšení průměrného příkonu sušárnou je nutné počítat s tím, že se zvýší množství energie odebírané ze sítě, neboť příkon spotřebičů bude častěji přesahovat výkon jednotky, tedy

20 kW. Jestliže odebíraný příkon stoupne na 30 kW po dobu 1 hodiny denně (kromě už výše zmiňované jedné hodiny s odebíraným příkonem 40 kW), uvažuje se provoz sušárny 9 dní v měsíci a provoz ventilátoru 1 hodinu denně ze sítě, je množství energie dodané do sítě za měsíc (je opět uvažován 1 den prostojů jednotky)

$$\begin{aligned} A_{dodcelk} &= (A_{vyr} - A_{dcelk}) * 9 + P_{ven} * 9 + (40 + 30 - 2 * P_{sit}) * 9 + \\ &+ (A_{vyr} - A_d) * 10 + (40 - P_{sit}) * 10 = (200 - 134,5) * 9 + 4,5 * 9 + \\ &+ (40 + 30 - 2 * 20) * 9 + (200 - 85) * 10 + (40 - 20) * 10 = \\ &= 2250 kWh \end{aligned} \quad (5.23)$$

Energie ze sítě odebraná pak bude za stejných předpokladů

$$\begin{aligned} A_{sitcelk} &= (40 + 30 - 2 * P_{sit}) * 9 + (40 - P_{sit}) * 10 + P_{ven} * 9 + A_d = \\ &= (40 + 30 - 2 * 20) * 9 + (40 - 20) * 10 + 4,5 * 9 + 85 = 595,5 kWh \end{aligned} \quad (5.24)$$

Vypočtené hodnoty nejsou zcela přesné, neboť není k dispozici přesný diagram výkonu odebíraného podnikem, ale pro orientační ekonomický propoččet energetické bilance firmy jsou postačující.

5.7 Ekonomický přínos provozu kog. jednotky

Výpočet měsíčního zisku za prodanou el. energii do distribuční sítě závisí na kategorii biomasy, do které spadá materiál spalovaný v jednotce a také na době uvedení jednotky do provozu. Výkupní ceny za elektřinu vyrobenou spalováním biomasy jsou uvedeny v [32], přesné rozdělení biomasy do kategorií je uvedeno v [33]. Podle těchto pramenů spadá biomasa tvořená odřezky a odpady při dřevovýrobě do kategorie O3, a elektrická energie z ní získaná (při výrobě v zařízení uvedeném do provozu po 1.1.2008) je vykupována za 2520 Kč/MWh. Zisk za prodej vyrobené elektřiny do sítě činí měsíčně

$$Z_{prod} = 2,25 * 2520 = 5670 \text{ Kč} \quad (5.25)$$

Pro zjištění úspory za nákup elektřiny ze sítě je třeba nejdříve zjistit částku placenou za elektřinu ze sítě, kterou lze spočítat se znalostí tarifu pro odběr el. energie. Stávající tarif pro provozovnu dřevovýroby a zámečnickou dílnu je E.ON StandardPower C 02d. Je otázkou, zda je výhodné tento tarif ponechat i nadále, protože podle [35] je tato sazba výhodnější než C 01d, pokud je roční spotřeba elektřiny větší než 6,573 MWh. Roční spotřeba A_{rok} je

$$A_{rok} = A_{sitcelk} * 12 = 595,5 * 12 = 7146 \text{ kWh} \quad (5.26)$$

Z výpočtu plyne, že bude výhodnější stávající sazbu ponechat. Pro kondenzační sušárny je odebírána elektřina v tarifu E.ON StandardPowerAku C 25d, který se jeví při přechodu na sušárnu teplovzdušnou nevhodným a pro sušárnu bude proto také platit tarif E.ON StandardPower C 02d, neboť její spotřeba elektřiny je v celkové spotřebě už započítána. Při hodnotě hlavního jističe 80 A je podle tabulky (Tab. 5-1) platba za příkon 288 Kč, stálý měsíční plat za dodávku elektřiny 40 Kč a cena za dodanou el. 4004 Kč/MWh. Měsíční platba X_{mes} za dodanou elektřinu je tedy

$$X_{mes} = 288 + 40 + A_{sitcelk} * 4004 = 288 + 40 + 0,5955 * 4004 = 2712 \text{ Kč} \quad (5.27)$$

Tab. 5-1 Ceník produktu E.ON StandardPower (převzato z [34])

Ceny jsou uvedeny bez DPH. Šedě uvedené ceny jsou včetně DPH a jsou pouze orientační. Sazba DPH je 19 %.

E.ON StandardPower						
Produkt na dodávku elektřiny	E.ON StandardPower					
1) Cena za dodávku elektřiny [Kč/MWh]			1 883		2 241	
2) Stálý měsíční plat za dodávku elektřiny [Kč/měsíc]			40		48	
Daň z elektřiny						
3) Sazba daně z elektřiny [Kč/MWh]			28,30		33,68	
Sazba distribuce pro území E.ON Distribuce, a.s.						
	C 01d		C 02d		C 03d	
4) Cena za distribuované množství elektřiny [Kč/MWh]	2 337,52	2 781,65	1 899,38	2 260,26	937,63	1 115,78
Měsíční plat za příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem						
Hodnota hlavního jističe	Měsíční plat za příkon [Kč/měsíc]					
5) do 3x10 A, do 1x25 A včetně	6	7	36	43	444	528
6) nad 3x10 A do 3x16 A včetně	10	12	58	69	710	845
7) nad 3x16 A do 3x20 A včetně	12	14	72	86	888	1 057
8) nad 3x20 A do 3x25 A včetně	15	18	90	107	1 110	1 321
9) nad 3x25 A do 3x32 A včetně	19	23	115	137	1 421	1 691
10) nad 3x32 A do 3x40 A včetně	24	29	144	171	1 776	2 113
11) nad 3x40 A do 3x50 A včetně	30	36	180	214	2 220	2 642
12) nad 3x50 A do 3x63 A včetně	38	45	227	270	2 797	3 328
13) nad 3x63 A do 3x80 A včetně	48	57	288	343	3 552	4 227
14) nad 3x80 A do 3x100 A včetně	60	71	360	428	4 440	5 284
15) nad 3x100 A do 3x125 A včetně	75	89	450	536	5 550	6 605
16) nad 3x125 A do 3x160 A včetně	96	114	576	685	7 104	8 454
17) nad 3x160 A za každou 1 A	0,60	0,71	3,60	4,28	44,40	52,84
18) nad 1x25 A za každou 1 A	0,20	0,24	1,20	1,43	14,80	17,61
Související služby						
19) Cena za systémové služby [Kč/MWh]	147,81	175,89	147,81	175,89	147,81	175,89
20) Cena na podporu výkupu elektřiny z OZE, KVET a DZ [Kč/MWh]	40,75	48,49	40,75	48,49	40,75	48,49
21) Cena za činnost OTE [Kč/MWh]	4,75	5,65	4,75	5,65	4,75	5,65
Souhrn jednotkových cen pro výpočet celkové platby za elektřinu						
22) Cena za dodanou a distribuovanou elektřinu celkem [Kč/MWh]	4 442,13	5 286,13	4 003,99	4 764,75	3 042,24	3 620,27
23) Měsíční plat celkem [Kč/měsíc]	40 + plat za příkon dle sazby distribuce a hodnoty jističe 48 + plat za příkon dle sazby distribuce a hodnoty jističe s DPH					
22) Součet řádků č. 1 + 3 + 4 + 19 + 20 + 21			23) Součet řádků č. 2 + jeden z řádků č. 5 až 18 dle hodnoty jističe			

Měsíční úsporu za elektřinu vyrobenou jednotkou a spotřebovanou v podniku pak tvoří rozdíl mezi částkou placenou za elektřinu původně a částkou placenou při provozu kog. jednotky a nové sušárny. Nejprve je ovšem třeba zjistit původní částku, kterou spočítáme podle stávajících tarifů, pro sušárny podle ceníku tarifu E.ON StandardPowerAku C 25d ve [34]. Dle údajů z podniku je průměrná měsíční spotřeba na sušení přibližně 1000 kWh ve vysokém tarifu (VT) a 1200 kWh v nízkém tarifu (NT). Cena za elektřinu ve VT je 3933,11 Kč/MWh, v NT pak 1568,83 Kč/MWh, stálý měsíční plat je opět 40 Kč a měsíční plat za příkon 198 Kč. Měsíční náklady X_{sus} na elektřinu pro sušení jsou průměrně

$$X_{sus} = 40 + 198 + 1 * 3933,11 + 1,2 * 1568,83 = 6054 \text{ Kč} \quad (5.28)$$

Provozovna, tzn. stolárna a zámečnická dílna spotřebují za měsíc průměrně 1700 kWh, jak bylo uvedeno výše. Při tarifu E.ON StandardPower C 02d podle tabulky (Tab. 5-1) to představuje částku X_{prov} za měsíc

$$X_{prov} = 40 + 288 + 1,7 * 4004 = 7135 \text{ Kč} \quad (5.29)$$

Celková měsíční platba X_{celk} při stávajícím uspořádání bez jednotky dělá průměrně

$$X_{celk} = X_{sus} + X_{prov} = 6054 + 7135 = 13189 \text{ Kč} \quad (5.30)$$

Přibližný zisk z rozdílu množství nakupované el. energie před a po instalaci kog. zařízení lze spočítat následovně

$$Z_{nak} = X_{celk} - X_{mes} = 13189 - 2712 = 10477 \text{ Kč} \quad (5.31)$$

Celkový hrubý zisk z prodeje elektřiny a úspory v nákupu energie činí měsíčně

$$Z_{celk} = Z_{nak} + Z_{prod} = 10477 + 5670 = 16147 \text{ Kč} \quad (5.32)$$

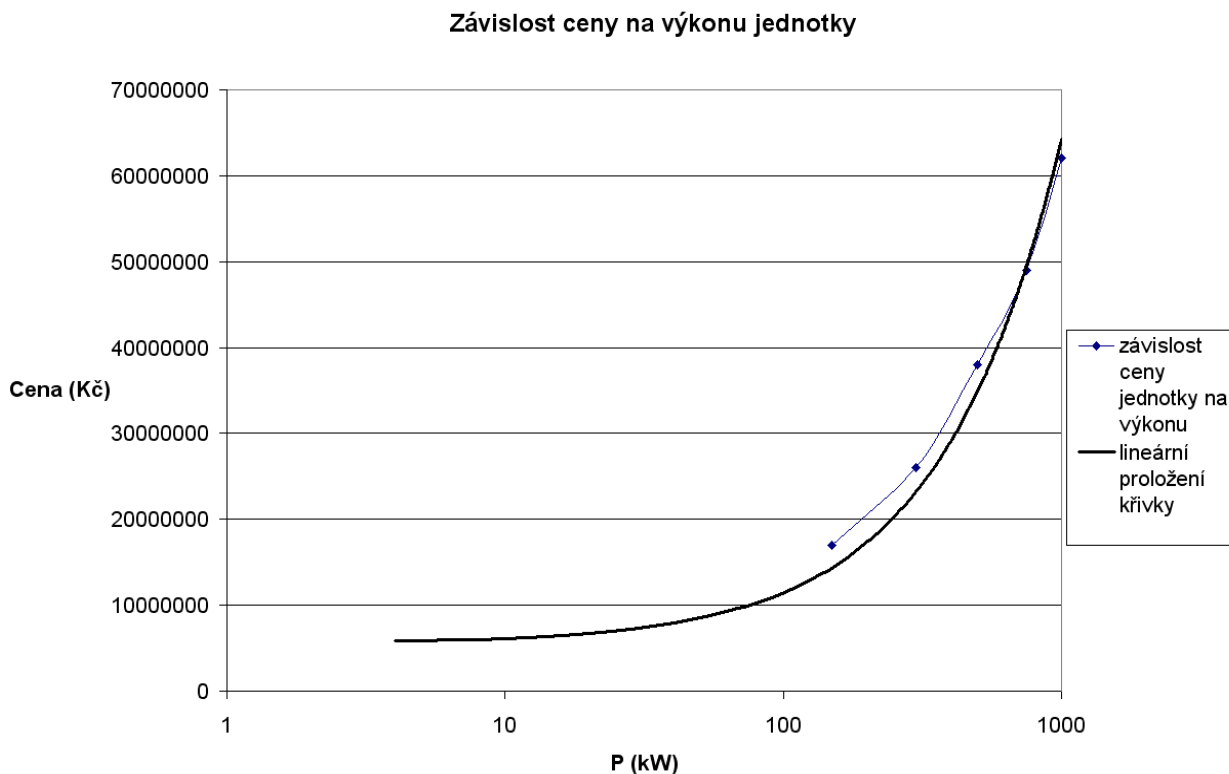
5.8 Návrh návratnosti investice do kogeneračního zařízení

K výpočtu návratnosti investice je nutné zjistit především cenu vlastního kogeneračního zařízení, tedy spalovacího motoru a generátoru dřevoplynu. Jak je uvedeno v kap. 5.3, není dosud k dispozici jednotka o uvažovaném výkonu, je proto nutné cenu přepočítat s přihlédnutím k vývoji cen se zvyšováním výkonu zařízení, což bude část výpočtu zatížená zřejmě největší chybou. Předpokládá se totiž, že cena jednotky v budoucnosti vyráběné sériově firmou Boss bude přibližně stejná, jako cena odvozená od výkonnějších zařízení fy Ateko. Jsou-li předchozí předpoklady reálné, lze cenu uvažované jednotky odhadnout z níže uvedeného grafu (Obr. 5-2). Podle odhadu z proložení křivky se cena pro výkon jednotky 30 kW pohybuje kolem 7 mil. Kč.

K této částce je ještě nutno připočítat náklady na stavební práce - vyrovnání a úpravy povrchu (povrch je již vybetonován), stavbu přístřešku pro palivo a náklady na připojení sušárny na jednotku. Vzhledem k tomu, že zámečnická dílna má k dispozici prostředky pro práci s potrubími, lze připojení provést prakticky svépomocí, takže na všechny výše zmíněné položky je počítáno s náklady nepřevyšujícími 100 000 Kč. Menší částku je třeba uvažovat na kabelové spojení jednotky s řídicím počítačem, který bude zřejmě umístěn v budově provozovny. Jestliže bude spojení realizováno osmižilovým optickým kabelem, pak se jeho cena pohybuje kolem 30 Kč/m, při vzdálenosti cca 300m (počítáno po rozvodu NN) činí cena kabelu (1000 Kč je rezerva pro konektory atd.)

$$N_{kab} = 300 * 30 + 1000 = 10000 \text{ Kč} \quad (5.33)$$

Pro práci vysokoteplotního reaktoru je podle výrobce [36] třeba také dolomit frakce 2-3 mm, spotřeba dolomitu je s rostoucím výkonem zařízení lineární. Jednotka o výkonu 150 kW má spotřebu 15 kg/hod, spotřeba dolomitu M_{dol} pro jednotku 30 kW bude tedy



Obr. 5-2 Přibližná závislost ceny KJ na jejím výkonu

$$M_{dol} = \frac{30}{150} * 15 = 3 \text{ kg / hod} \quad (5.34)$$

Měsíční spotřeba M_{dolmes} pak bude při 19-ti denním provozu

$$M_{dolmes} = 19 * t_d * M_{dol} = 19 * 10 * 3 = 570 \text{ kg} \quad (5.35)$$

Podle ceníku [37] je cena dolomitu požadované frakce 340 Kč/t, do celkových nákladů je ovšem potřeba započítat i dopravu, která bude zřejmě tvořit většinu částky. Nejbližší velkoobchodní prodejce dolomitu se totiž nachází ve Starém Městě pod Sněžníkem, což je asi 180 km od místa určení. Uvažuje-li se doprava 10 tun dolomitu a běžná cena dopravy 20 Kč/km, činí celková částka N_{aut} za nákladní vůz

$$N_{aut} = 2 * 180 * 20 + 10 * 340 = 10600 \text{ Kč} \quad (5.36)$$

Je ovšem možné, že dolomit dodává i jiný prodejce blíže k podniku, pouze nemá internetovou prezentaci. V tom případě by mohla být cena nákladního auta podstatně nižší. V případě, že tomu tak není, jsou měsíční náklady na dolomit

$$N_{dol} = \frac{M_{dolmes}}{10000} * N_{aut} = \frac{570}{10000} * 10600 = 604 \text{ Kč} \quad (5.37)$$

Také doprava biomasy pro KJ představuje náklady, které je třeba připočítat. Jestliže bude tato doprava probíhat vysokozdvížným vozíkem každodenně při ceně 10 Kč/km a vzdálenost při cestě z výroby k jednotce a zpět je přibližně 800 m, měsíční náklady na dopravu jsou

$$N_{dop} = 0,8 * 10 * 19 = 152 \text{ Kč} \quad (5.38)$$

Poměrně výraznou část nákladů na provoz činí obvykle údržba a servis zařízení, podle [38] to jsou ročně až 3% pořizovací ceny. Protože má dílna k dispozici potřebné nářadí pro většinu mechanických oprav, jsou počítány náklady jen na nejnútnejší náhradní díly a odborné opravy, a to ve výši 1% ročně, což představuje při výše uvedené ceně zařízení měsíčně

$$N_{udr} = \frac{0,01 * 7000000}{12} = 5833 \text{ Kč} \quad (5.39)$$

Nyní, když jsou vyčísleny všechny významnější položky nákladů, je možné určit náklady na vyrobenou kWh (nepočítá se vlastní spotřeba), předpokládá se provoz 19 dní v měsíci a ve výpočtu se uvažují pouze provozní náklady, nikoliv cena KJ

$$N_{kWh} = \frac{N_{dol} + N_{dop} + N_{udr}}{19 * A_{vyr}} = \frac{604 + 152 + 5833}{19 * 200} = 1,73 \text{ Kč / kWh} \quad (5.40)$$

Jestliže jsou všechny předchozí výpočty alespoň přibližně správné, lze spočítat prostou návratnost celého kog. zařízení

$$T = \frac{N_{kog} + N_{stav} + N_{kab}}{Z_{celk} - N_{dol} - N_{dop} - N_{udr}} = \frac{7000000 + 100000 + 10000}{16147 - 604 - 152 - 5833} = 744 \text{ mes} = 62 \text{ let} \quad (5.41)$$

Vypočtená doba návratnosti 62 let několikanásobně překračuje dobu životnosti celé jednotky, která činí podle [39] 20 let, proto je tato investice značně nevýhodná a majiteli by se asi nikdy nezaplátila. Nemá tedy smysl uvažovat o úvěru na koupi tohoto zařízení, neboť úvěr by dobu návratnosti ještě zvýšil.

Je zřejmé, že největším problémem je cena vlastního zařízení a to zejména zplyňovacího generátoru, protože cena vlastního spalovacího motoru v provedení na zemní plyn je kolem 600 000 Kč [40] a při úpravě na dřevoplyn je cena dle výrobce vyšší asi o 10 %. Se zvyšujícím se výkonem jednotek se sice poměr ceny zplyňovacího zařízení a motoru snižuje, stále je ovšem cena motoru zlomkem celkových pořizovacích nákladů na KJ.

5.9 Nepřetržitý provoz jednotky

Jedním ze způsobů, jak snížit dobu návratnosti investice do jednotky, je více jednotku využívat, tzn. zvýšit počet hodin, po které jednotka pracuje. Problémem ovšem je, že výrobná neprodukuje dostatek paliva pro delší provoz. Pak je jedním z řešení nakupovat štěpku od jiných dodavatelů. Zde je veliký rozptyl cen, za které se štěpka dodává, závisí to především na vzdálenosti, na kterou se štěpka dopravuje, na množství dřeva, které je pro zpracování v okolí k dispozici a také na její kvalitě. Například v roce 2007 vykupoval ČEZ štěpku za 800-900 Kč/t [41].

Nejprve je ovšem nutné zjistit množství štěpky potřebné pro provoz KJ, nejvýhodnější bude zřejmě provoz nepřetržitý. Značení symbolů použitých již výše je proto doplněno pro nepřetržitý provoz o index n. Jak je již uvedeno v kap. 5.3, jednotka spotřebuje za hodinu 36-50 kg paliva

podle jeho kvality. Nakupovaná štěpka pravděpodobně nebude mít takovou kvalitu jako štěpka z odpadu dřevovýroby, proto je lepší uvažovat spotřebu M_{np} vyšší - 45 kg/hod. Pak množství nakoupené štěpky M_{nak} pro měsíční nepřetržitý provoz činí (počítá se opět jeden den měsíčně na údržbu a opravy a délka měsíce 30 dní)

$$\begin{aligned} M_{nak} &= 19 * (24 - t_d) * M_{np} + 10 * 24 * M_{np} = \\ &= 19 * (24 - 10) * 45 + 10 * 24 * 45 = 22,8t \end{aligned} \quad (5.42)$$

Nyní je třeba zjistit, kolik se vyrobí energie A_{nvyr} za den při nepřetržitém provozu

$$A_{nvyr} = 24 * P_{sit} = 24 * 20 = 480 kWh \quad (5.43)$$

Odlišnost od přerušovaného provozu je ovšem v tom, že při stálém provozu běží sušárna nepřetržitě, tudíž se změní doba sušení i spotřeba el. energie t_{ncelk} . Doba sušení objemu řeziva vypočteného v rov. (5.19) je nyní

$$t_{ncelk} = (t_{celk} + 5) * 2 = (30 + 5) * 2 = 70 hod \approx 3 dny \quad (5.44)$$

Z výše uvedeného výpočtu je zřejmé, že sušárna je pro nepřetržitý provoz značně předimenzovaná a bylo by tedy výhodné pro tento případ zvolit sušárnu menší. Pokud se uvažuje sušárna stejná, provozovaná 3 dny měsíčně a 19 dní provozu jednotky v prac. dnech (údržba a servis se předpokládá v prac. dni), pak je množství energie $A_{ndodcelk}$ dodané do sítě

$$\begin{aligned} A_{ndodcelk} &= (A_{nvyr} - A_{dcelk}) * 3 + (40 + 30 - 2 * P_{sit}) * 3 + (A_{nvyr} - A_d) * 16 + \\ &+ (40 - P_{sit}) * 16 + 10 * 24 * P_{sit} = (480 - 134,5) * 3 + \\ &+ (40 + 30 - 2 * 20) * 3 + (480 - 85) * 16 + (40 - 20) * 16 + 10 * 24 * 20 = \\ &= 12567 kWh \end{aligned} \quad (5.45)$$

Energie ze sítě odebraná se zjistí podobně, jak ve vztahu (5.24), změní se doby provozu a také nebude připočítána energie spotřebovaná ventilátorem ze sítě při přerušovaném provozu, protože při stálém provozu sušárny a jednotky není třeba tuto energii uvažovat

$$\begin{aligned} A_{nsitcelk} &= (40 + 30 - 2 * P_{sit}) * 3 + (40 - P_{sit}) * 16 + A_d = \\ &= (40 + 30 - 2 * 20) * 3 + (40 - 20) * 16 + 85 = 495 kWh \end{aligned} \quad (5.46)$$

Zisk z prodeje vyrobené elektřiny do sítě je podle vztahu (5.25)

$$Z_{nprod} = A_{ndodcelk} * 2520 = 12,567 * 2520 = 31669 Kč \quad (5.47)$$

K této částce je ale nutno podotknout, že ceny vykupované elektřiny z biomasy jsou sice garantovány po dobu 20-ti let [42], ale mohou se meziročně snížit až o 5% [43], což může představovat dílčí snížení zisku za prodanou el. energií. Co se týče výpočtu platby za měsíční spotřebu elektřiny ze sítě, je potřeba zjistit, jestli není výhodnější změnit tarif, neboť se tato spotřeba snížila. Stejně jako v rov. (5.26) se spočítá roční spotřeba A_{nrok} a srovná se s tabulkou v [35]

$$A_{nrok} = A_{nsitcelk} * 12 = 495 * 12 = 5940 kWh \quad (5.48)$$

Podle tabulky je pro tuto spotřebu výhodnější sazba E.ON StandardPower C 01d. Podle ceníku (Tab. 5-1) je platba za příkon pro 80 A jistič 48 Kč, stálá platba za dodávku elektřiny 40 Kč a cena za dodanou elektřinu 4442 Kč/MWh. Platba za nakoupenou el. energii X_{nmes} činí

$$X_{nmes} = 48 + 40 + A_{nsitcelk} * 4442 = 48 + 40 + 0,495 * 4442 = 2286 Kč \quad (5.49)$$

Pro výpočet měsíčního zisku za nenakoupenou elektřinu ze sítě lze použít výsledek výpočtu v rov. (5.30) a odečíst od něj měsíční platbu za el. ze sítě

$$Z_{nnak} = X_{celk} - X_{nmes} = 13189 - 2286 = 10903 \text{ Kč} \quad (5.50)$$

Celkový hrubý zisk za prodej elektřiny a nenakoupenou elektřinu je

$$Z_{ncelk} = Z_{nnak} + Z_{nprod} = 10903 + 31669 = 42572 \text{ Kč} \quad (5.51)$$

Při zjišťování návratnosti lze vycházet z ceny jednotky odvozené v *kap. 5.8*, cena stavebních prací bude zřejmě vyšší, protože pro nepřetržitý provoz je nutné skladovat větší množství paliva, které se dováží obvykle v nákladních autech. Pro stavbu většího přístřešku a připojení sušárny na jednotku se tedy uvažují náklady N_{nstav} 200 000 Kč. Náklady na kabelové spojení jednotky a počítače zůstávají stejné tj. 10 000 Kč. Při nepřetržitém provozu bude větší spotřeba dolomitu. Hodinová spotřeba zůstává stejná, jak bylo vypočteno v rov. (5.34), měsíční spotřeba $M_{ndolmes}$ tedy činí

$$M_{ndolmes} = 29 * 24 * M_{dol} = 29 * 24 * 3 = 2088 \text{ kg} \quad (5.52)$$

Cena za jedno nákladní auto dolomitu se předpokládá stejná (5.36), měsíční náklady na tuto surovinu jsou

$$N_{ndol} = \frac{M_{ndolmes}}{10000} * N_{aut} = \frac{2088}{10000} * 10600 = 2213 \text{ Kč} \quad (5.53)$$

Je nutné ale opět připomenout, že tyto náklady mohou být podstatně nižší v případě, že by se našel zpracovatel dolomitu v menší vzdálenosti. Náklady na dopravu biomasy z výroby k jednotce zůstávají stejné, neboť množství dopravované suroviny se nemění.

Největší nárůst provozních nákladů představuje nákup a dovoz štěpky. Problémem je spočítat přesnou cenu této suroviny, neboť ta je dosti proměnlivá, a tak nezbyvá než cenu odhadnout podle výkupních cen společnosti ČEZ z roku 2007 [41]. Protože tyto ceny stále stoupají, uvažuje se cena vyšší, tj. 900 Kč/t. Dovoz se bude uskutečňovat nákladními auty, potřebné množství štěpky je poměrně malé, takže lze předpokládat, že dopravní vzdálenost nepřesáhne 20 km (v okolí jsou lesy převážně pro těžbu palivového dříví, avšak nepřilíh rozsaňlé). Jestliže se počítá s dovozem nákladním autem o nosnosti 10 tun a náklady na 1 km v běžné výši 20 Kč, pak bude stát dovoz jednoho auta štěpky N_{auto} (započítává se cesta tam i zpět)

$$N_{auto} = 10 * 900 + 20 * 40 = 9800 \text{ Kč} \quad (5.54)$$

Je zřejmé, že cena štěpky je rozhodujícím faktorem a proto se lze v tomto výpočtu dopustit poměrně značné nepřesnosti vzhledem k celkovým nákladům. Měsíční náklady na nákup štěpky pak budou činit

$$N_{step} = \frac{M_{nak}}{10} * N_{auto} = \frac{22,8}{10} * 9800 = 22344 \text{ Kč} \quad (5.55)$$

Náklady na údržbu a opravy se počítají stejně jako v případě přerušovaného provozu. Jednotka má ročně sice více provozních hodin, ale při přerušovaném provozu je z důvodu opakovaného nabíhání a odstavování tepelné namáhaní některých součástí vyšší, a tím i jejich opotřebení, čímž se životnost také snižuje.

Pro porovnání s přerušovaným provozem je dobré zjistit měrné náklady na výrobu 1 kWh el. energie, měsíční doba provozu je 29 dní, ostatní předpoklady jsou stejné jako u rov. (5.40)

$$\begin{aligned}
 N_{nkWh} &= \frac{N_{step} + N_{ndol} + N_{dop} + N_{udr}}{29 * A_{nvyr}} = \\
 &= \frac{22344 + 2213 + 152 + 5833}{29 * 480} = 2,19 \text{ Kč}
 \end{aligned}
 \tag{5.56}$$

Z výše uvedeného výpočtu lze usoudit, že nákup štěpky sice zvyšuje využití zařízení, nicméně zvyšuje i náklady na vyrobenou elektřinu. Nejdůležitějším ukazatelem je ovšem návratnost celého zařízení. Vychází-li se z výše uvedených výpočtů, pak je prostá návratnost KJ

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{N_{kog} + N_{nstav} + N_{kab}}{Z_{celk} - N_{step} - N_{ndol} - N_{dop} - N_{udr}} = \\
 &= \frac{7\,000\,000 + 200\,000 + 10\,000}{42\,572 - 22\,344 - 2\,213 - 152 - 5\,833} = 599 \text{ mes} \approx 50 \text{ let}
 \end{aligned}
 \tag{5.57}$$

Jak vyplynulo z výpočtu, je doba návratnosti i při nepřetržitém provozu více jak dvakrát delší, než je životnost jednotky. Ani zde tedy nemá smysl uvažovat o úvěru. Zřejmě největší částkou, která zvyšuje náklady na výrobu el. energie, je nakupované palivo, lze tedy pro porovnání vypočítat, kolik by musela štěpka stát, aby se investice do zařízení za předpokládanou dobu životnosti (20 let) alespoň vrátila. Při ostatních nákladech ve stejné výši pak vychází náklady na štěpku N_{nstep1} za měsíc

$$\begin{aligned}
 N_{nstep1} &= Z_{celk} - N_{ndol} - N_{dop} - N_{udr} - \frac{N_{kog} + N_{nstav} + N_{kab}}{T} = \\
 &= 42\,572 - 2\,213 - 152 - 5\,833 - \frac{7\,000\,000 + 200\,000 + 10\,000}{20 * 12} = \\
 &= 4\,332 \text{ Kč}
 \end{aligned}
 \tag{5.58}$$

Náklady na dopravu se uvažují stejně jako v rov. (5.54), cena za tunu štěpky N_{1t} pak činí

$$N_{1t} = \frac{N_{nstep1} - \frac{M_{nak}}{10} * 20 * 40}{M_{nak}} = \frac{4\,332 - \frac{22,8}{10} * 20 * 40}{22,8} = 110 \text{ Kč}
 \tag{5.59}$$

Tato je cena je však evidentně nereálná a štěpku v těchto cenových relacích není možné nakoupit, neboť takovou částkou nelze pokrýt náklady na údržbu dřevin, práci štěpkovače, pracovní sílu aj. Přitom při této ceně štěpky se investice pouze vrátí, majiteli z ní neplyne žádný zisk.

Z výše uvedených výpočtů plyne, že kogenerační jednotka využívající dřevoplyn se pro malou výrobu nevyplácí, v úvahu připadají pouze větší jednotky s menšími měrnými investičními náklady (Kč/kW), velkou spotřebou tepla a také s velkou vlastní spotřebou elektřiny. Při prodeji 1 MWh je totiž zisk přibližně 2500 Kč, při vlastní spotřebě však cca 4000 Kč (při tarifu E.ON StandardPower C 02d, nepočítá se paušální platba).

6 ZÁVĚR

Celkový podíl hrubé výroby elektrické energie z biomasy na hrubé spotřebě v naší republice je poměrně nízký, činí asi jedno a čtvrt procenta, převážná většina vyrobené elektřiny pochází ze spalování s uhlím ve velkých elektrárnách a teplárnách, v současné době se však instalují v hojné míře také menší zařízení v řádech stovek kilowattů (bioplyn) či jednotek megawattů (pevná biomasa). V posledních letech stoupá spotřeba biomasy pro energetické účely celkově, z toho pro výrobu elektřiny se zvýšila spotřeba pevné biomasy v roce 2006 o více než 30 % oproti roku 2005. Lze tedy říci, že má biomasa perspektivu jak při spalování s uhlím, tak při využití v malých výrobních na principu kogenerace. U zemědělských provozoven, jako jsou chovy zvířat, jsou dobré podmínky pro využití bioplynu.

Je ovšem nutno podotknout, že stavba kogeneračních jednotek je závislá na dotacích ze strany státu či Evropské unie, neboť zařízení těchto provozoven je investičně dosti náročné vzhledem k instalovanému výkonu jednotky, návratnost by tedy byla velmi dlouhá a těžko by do těchto zařízení někdo investoval. Z ekonomického hlediska je třeba uvažovat především vzdálenost, ze které je třeba biomasu dovážet, neboť doprava palivo značně prodražuje. Jestliže se porovnávají náklady na elektřinu z biomasy a uhlí, rentabilní vzdálenost pro dovoz slámy nebo štěpky je kolem 20 km, v některých případech při nízkých cenách surovin i přes 40 km. Limitní vzdálenost je fakticky ještě vyšší, protože výkupní ceny elektrické energie z obnovitelných zdrojů jsou garantovány vyšší než jsou výrobní náklady na energii z fosilních paliv.

Co se týče vlivu na životní prostředí, je spalování biomasy ekologicky příznivé, při konstrukci topeniště přizpůsobené zpracování biomasy a dodržení vhodných teplot spalování jsou emise škodlivin minimální, produkce oxidu uhličitého je omezena množstvím, které je vázáno v rostlinách. Jisté problémy se zápachem mohou nastat u bioplynových stanic, který je ale možné omezit zpracováním kvalitních surovin a úpravou zařízení těchto stanic.

Odběr energie v případě energie elektrické je u kogeneračních jednotek bez problémů, je však nutno splnit určité podmínky, například straně vypínačů zkratových proudů a vlivu těchto proudů na distribuční soustavu, maximálního zvýšení napětí v síti, velikosti účinníku či ovlivnění signálu hromadného dálkového ovládání. Naproti tomu odběr tepla vyrobeného kogenerací není vždy zajištěn, v teplejších obdobích je nízký, snižuje tedy efektivitu využití paliva. Tento problém lze řešit několika způsoby, například stavbou jednotky v blízkosti zařízení, které využívá teplo celoročně nebo stavbou jednotky trigenerační využívající přebytečné teplo pro chlazení. Zde je ale opět nutné instalovat jednotku v blízkosti objektů, které chlad využijí, navíc absorpční chlazení využívající teplo jednotky je investičně náročnější než klasické kompresorové chlazení s elektrickým pohonem. Regulace výroby tepla snižováním výkonu kogeneračních jednotek je neefektivní, neboť klesá účinnost výroby, navíc se vyrábí i méně elektřiny, která je výhodná po finanční stránce.

Příčinou masového zvyšování výroby elektřiny z biomasy spalováním je fakt, že se Česká republika zavázala do roku 2010 vyrábět z obnovitelných zdrojů 8 % elektrické energie spotřebované u nás. Vezme-li se v úvahu, že výroba ve vodních elektrárnách je poměrně hodně závislá na počasí a navíc potenciál těchto zdrojů je v naší republice téměř vyčerpán, že větrné elektrárny lze instalovat pouze v některých oblastech s ohledem na rychlost větru, a že fotovoltaické články vzhledem ke své ceně a výkonu nejsou pro energetiku významné, směřuje pozornost právě k biomase. Protože výkony kogeneračních jednotek jsou relativně nízké, je nejjednodušší zvýšit podíl OZE právě spalováním s uhlím ve velkých kotlích. Je otázka, zda

zvyšovat výrobu tímto druhem spalování i za cenu dovážení biomasy ze vzdálenějších míst, čímž se tato energie zdraží a zmenší se její ekologický přínos, nebo vystavět velké množství decentralizovaných kogeneračních zařízení, které využívají okolní zdroje paliva, ale jsou investičně náročnější a při absenci připojení na HDO mohou při současném chodu v určité oblasti vyvolat nestabilitu distribuční sítě.

Při návrhu kogenerační jednotky pro dřevozpracující závod byla vybrána KJ Tedom se zplyňovacím zařízením firmy Ateko o el. výkonu 30 kW. Při výpočtu návratnosti vyšla tato u přerušovaného provozu (10 hodin denně) přibližně 62 let a výrobní náklady 1,73 Kč/kWh, při stálém provozu je pak návratnost asi 50 let a náklady 2,19 Kč/kWh. Z toho lze usoudit, že tato investice není ekonomicky výhodná a majiteli by zřejmě nikdy nepřinesla žádný zisk. Investor, který by byl ochoten tuto jednotku pořídit, by musel být zřejmě člověkem založeným velmi environmentálně a neohlížet se na peníze, těchto lidí se však v oblasti průmyslu pravděpodobně mnoho nevyskytuje.

Největší vliv na návratnost má vlastní KJ, zejména pak zplyňovací zařízení, jehož cena několikanásobně převyšuje cenu vlastního spalovacího motoru, proto nejsou jednotky s malým výkonem výhodné při provozu na dřevoplyn. Problémem u malých jednotek je též vlastní spotřeba energie, která u výše uvedené jednotky dosahuje podle odhadu přibližně třetiny jejího svorkového výkonu. Jelikož se cena generátoru dřevoplynu a vlastní spotřeba nezvyšují lineárně rostoucím výkonem, lze předpokládat, že jednotky s výkonem v řádu stovek kW mohou být po finanční stránce o dost zajímavější. Je ovšem potřeba, aby byl zajištěn co nejvyšší odběr tepla z jednotky, př. pro sušení dřeva. Je též výhodné, pokud je co nejvíce elektřiny spotřebováno v podniku, neboť v tomto případě lze oproti prodeji elektřiny do sítě získat o 1000 až 2000 Kč/MWh více (podle tarifu). Prodej elektřiny může být výhodnější pouze, když je spalována biomasa kategorií O2 a především O1 [33], u těchto kategorií jsou většinou také vysoké náklady na její nákup. Tu je nutné podotknout, že kdyby nebyly výkupní ceny el. energie uměle zvyšovány, nebyl by provoz těchto jednotek finančně únosný. Kogenerační zařízení je dobré využívat pokud možno stále, neboť významnou položkou nákladů na provoz jsou opravy a údržba. Tyto náklady se s menším počtem provozních hodin zřejmě o mnoho sníží, neboť opakovaným najížděním a odstavováním je opotřebenění tepelně namáhaných částí vyšší, než při stálém provozu a provozní teplotě.

Co se týče paliva, nejlépe je využívat vlastních zdrojů, tedy u dřevozpracujících závodů odpadů z výroby a zpracování kulatiny. Nákup surovin značně zvyšuje náklady na výrobu, záleží především na ceně nakupovaného dřeva, příp. štěpky, která se místně dosti liší. Nezanedbatelnou položkou jsou také náklady na dopravu, zvláště pokud není zajištěn nákup surovin u jednoho dodavatele a je třeba je svázat z širokého okolí, příp. pokud je dovážena biomasa výše uvedených kategorií O2 a O1. Protože není takto získané palivo většinou příliš vyschlé, je též nutné vystavět přístřešek pro jeho vysychání, což je nezanedbatelná investice.

Snaha ekologických nadšenců o plošné šíření těchto obnovitelných zdrojů je stále velmi intenzivní, avšak z výše uvedených poznatků plyne, že je třeba použití jednotek na biomasu vždy důkladně zvážit, protože zdaleka ne všude jsou k jejímu hospodárnému provozu vhodné podmínky. Také je nutné vzít v potaz, že předpoklady, s kterými se při stavbě jednotek počítá, nemusejí vždy vyjít, jak lze u některých již realizovaných staveb vidět.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Beranovský, J., Macholda, F., Srdečný, K., Truxa, J. Energie biomasy [online]. EkoWATT, <http://www.ekowatt.cz/index.php?id=121>
- [2] Ibler, Z., Ibler, Z. ml. Možnosti rozvoje výroby tepla a elektřiny využitím biomasy v regionech a městech ČR [online]. Česká energetická agentura, 2003, <http://www.ceacr.cz/?download=2003/biomasa.pdf>
- [3] RAEN s. r.o. Využití biomasy v obcích [online]. Česká energetická agentura, 2001, <http://www.ceacr.cz/?download=2001/1189.pdf>
- [4] Študlar, Z. Úvod do problematiky energetického využití biomasy [online]. Krajská energetická agentura Jihočeského kraje, <http://www.keajc.cz/download/biomasa.pdf>
- [5] Bufka, A. Využití obnovitelných zdrojů energie v roce 2006 z pohledu energetické statistiky [online]. TZB-info, 15.10.2007, <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4411>
- [6] Přehled výroben spalujících biomasu, bioplyn a skládkový plyn [online]. Energetický regulační úřad, 28.2.2007, http://www.eru.cz/rz_06/rz/subjekty/141.htm
- [7] Kunc, J., Novák, L. Biomasa - efektivní palivo pro ORC technologii [online]. TZB-info, 11.4.2005, <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2455&h=2&pl=49>
- [8] Kogenerace – kombinovaná výroba elektřiny a tepla [online]. EkoWATT, 2007, <http://www.ekowatt.cz/library/infolisty/infolisty1999/kogenerace.php3>
- [9] RAEN s.r.o., CityPlan s.r.o. Příručka pro regionální využití kogeneračních zdrojů [online]. Česká energetická agentura, 1999, http://www.ceacr.cz/?download=1999/99_8070.pdf
- [10] Příbyl, E. Výroba elektrické energie z biomasy [online]. RAEN s.r.o., říjen 2006, <http://www.ceacr.cz/?download=2006/07.pdf>
- [11] Esterifikace aneb meřo [online]. <http://max.af.czu.cz/~miki/biodiesel/mero.ppt>
- [12] Dušák, V. Hnědé uhlí a norma ČSN ISO 1928 [online]. TZB-info, 28.3.2006, <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3173&h=3>
- [13] Trnobranský, K. Ekonomie dopravy dřevní hmoty [online]. TZB-info, 28.5.2003, <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1498&h=1&th=56>
- [14] Odborné stanovisko sekce Bioplyn k problematice zápachu z bioplynových stanic [online]. CZ Biom, 18.9.2007, <http://biom.cz/index.shtml?x=2041681>
- [15] Schauhuberová, M. Palivové články – minulost, současnost a budoucnost [online]. Česká plynárenská unie, listopad 2006, http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=/clanky/pl_2006_11.html
- [16] Murár, V. Trigenerace [online]. TEDOM, <http://kogenerace.tedom.cz/magazin-04-1-co-to-je-trigenerace.html>
- [17] Bechník, B. Porovnání vybraných způsobů akumulace energie [online]. TZB-info, 21.5.2003, <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1490>
- [18] Beranovský, J., Macholda, F., Srdečný, K., Truxa, J. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla [online]. EkoWATT, <http://www.ekowatt.cz/index.php?id=122>

- [19] Holba, M., Yang, Y., Bae, S. Ch., Získávání energeticky významných prvků z oceánů (II): Vodík [online]. TZB-info, 22.8.2005, <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2649&h=202&pl=49>
- [20] Trnobranský, K., Valentová, M., Dufour, R. Zlepšení ekonomie provozu kogeneračních jednotek využitím doprovodných technologií pro zrovnomnění ročního odběru tepla [online]. Česká energetická agentura, 1999, http://www.ceacr.cz/?download=1999/99_8062.pdf
- [21] Tintěra, L. Kogenerace - použití zvláštních plynů, obnovitelné zdroje energie a ekonomická motivace (II) [online]. TZB-info, 9.1.2006, <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2986>
- [22] Pastorek, Z. Aktuální situace v oblasti výroby bioplynu v ČR [online]. Odborný časopis o biomase Biom č. 10, květen 2000, <http://stary.biom.cz/biom/10/biom10.doc>
- [23] Křenek, V. Skládkování tuhých odpadů, problémy skládkování, způsoby řízeného skládkování [online]. Západočeská univerzita Plzeň, <http://kke.zcu.cz/predmety/predmety/data-evo/prednaska6.doc>
- [24] Petříková, V. Jak jsme pokročili v pěstování energetických rostlin [online]. CZ Biom, 23.10.2006, <http://biom.cz/index.shtml?x=1929459>
- [25] Bercha, J., Lasák, O. Silva Regina 2006 - I. část – Biomasa [online]. Lesnická práce roč. 85, č.5, květen 2006, <http://lesprace.silvarium.cz/content/view/165/0/>
- [26] Motlík, J., Váňa, J. Biomasa pro energii (2) Technologie [online]. CZ Biom, 6.2.2002, <http://biom.cz/index.shtml?x=62865>
- [27] Váňa, J. Ekologická hlediska spalování biomasy [online]. CZ Biom, 30.6.2003, <http://biom.cz/index.shtml?x=138817>
- [28] Kroča, V. Energetické kotle na spalování biomasy české konstrukce [online]. Technický týdeník, č.6, 2006, <http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=3&mark=>
- [29] Pravidla provozování distribučních soustav - příloha 4 - Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy [online]. Energetický regulační úřad, prosinec 2006, http://www.eon.cz/file/cs/distribution/regulations/PPDS_2007_4.pdf
- [30] Výrobní elektřiny – připojení na síť [online]. ČEZ Distribuce a. s., 1.9.2005, http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke_informace/kpp_ve.pdf
- [31] Váňa, J. Připravovaná podpora využívání obnovitelných energií [online]. CZ Biom, 18.4.2003, <http://biom.cz/index.shtml?x=131870>
- [32] Fiřt, J. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2007 [online]. ERÚ, 20.11.2007, http://www.eru.cz/edoc/cr_e/er_cr_7_2007_oze.pdf
- [33] Kalaš, P.J. Vyhláška č.5/2007 - Využití biomasy [online]. Ministerstvo životního prostředí, 21.12.2006, <http://www.infoenergie.cz/web/root/energy.php?nav01=15&nav02=31&nav03=518>
- [34] Přehled produktů a cen elektřiny energetické společnosti E.ON [online]. E.ON, 1.1.2008, http://www.eon.cz/file/cs/customers/companies/EON-prehled_produkту_a_cen_elektriny_20080101.pdf

- [35] Přehled sazeb a cen za distribuci elektřiny E.ON Distribuce a.s. [online]. E.ON, 1.1.2008, http://www.eon.cz/file/cs/customers/companies/EON_prehled_cen_a_sazeb_distribuce_20080101.pdf
- [36] Křížek, J. Nabídka č.92 760/200/2008 - Zařízení na zplyňování biopaliv a alternativních paliv pro výrobu elektřiny 150-1000 kWe. Ateko, Hradec Králové, 28.4.2008
- [37] Ceník vápenců a vápnných dolomitů [online]. KVK, 2008 <http://demo.kvk.cz/share/cenikkameniwo2008.pdf>
- [38] Ekowatt – Infolisty – OZE Kogenerace [online]. <http://www.ekowatt.cz/library/infolisty/infolisty1997/index.php?id=20&lang=cz&PHPSESSID=5edc3d2f14bf51690f83a2da1a58a8d7>
- [39] Vyhláška o technických a ekonomických parametrech [online]. Energetický regulační úřad, 29.7.2005, <http://www.eru.cz/doc/navrh01.doc>
- [40] Ceník kogeneračních jednotek Tedom (zemní plyn). Tedom s.r.o., Třebíč
- [41] Bercha, J. Zakládání porostů rychle rostoucích dřevin [online]. Časopis lesu zdar, Praha, 12.1.2007, http://www.lesy-cr.cz/lesuzdar/casopis-lesu-zdar/archiv-2007/unor-2007.ep/750_501-zakladani-porostu-rychle-rostoucich-drevin/1/
- [42] Vyhláška o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen č. 150/2007 sb. [online]. 19.6.2007, <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=15&i=525>
- [43] Povýšil, T. Garance výkupních cen [online]. i-EKIS, 15.11.2007, <http://www.i-ekis.cz/?akce=archiv&idp=6220>