

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
TECHNICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



TECHNICKÁ FAKULTA

**Dřevní hmota jako palivo pro kombinovanou výrobu tepla a
elektrické energie**

2010

Vedoucí: Neuberger Pavel, doc. Ing. Ph.D.

Vypracoval: Miroslav Sušek

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma:

Dřevní hmota jako palivo pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie

vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne 29. 4. 2010

Miroslav Sušek

Poděkování

Chtěl bych především poděkovat panu doc. Ing. Pavel Neubergerovi, Ph.D za cenné rady a připomínky v průběhu psaní práce.

Cíl práce

Cílem práce je vysvětlit pochody při oxidaci dřevní hmoty, její využitelnost jako paliva na území České republiky. Cílem práce je také specifikovat možnosti využití dřevní hmoty pro kogenerační účely a popsat na konkrétním případu jakým způsobem se tato technologie využívá na území ČR.

Abstrakt

Možnost využití dřeva pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla, vymezení možností využití tohoto paliva v rámci České republiky, včetně konkrétního příkladu funkční jednotky.

Klíčová slova: Dřevní hmota, kogenerace, energetika v ČR, biomasa

Indicate the possibility of use wood for cogeneration of electricity and heat, the definition of the possibility of using this fuel in the Czech Republic, including a concrete example of the functional units.

Keywords: Wood as fuel, cogeneration, energetics in the ČR, biomass

Obsah

1	Úvod	1
2	Biomasa jako obnovitelný zdroj energie.....	2
2.1	<i>Vyjadřování obsahu vody v dřevní hmotě.....</i>	6
2.2	<i>Využití dřevní hmoty ve formě odpadu</i>	9
2.3	<i>Podstata energetického využití biomasy</i>	10
2.4	<i>Zplyňování</i>	12
2.5	<i>Chemické složení hořlaviny paliva</i>	13
2.6	<i>Spalování kusové dřevní hmoty.....</i>	14
2.7	<i>Spalování drobné dřevní hmoty</i>	14
2.8	<i>Základní komponenty kotlů.....</i>	15
2.9	<i>Základní komponenty související dopravy a skládky paliva</i>	16
2.10	<i>Drtiče dřevní hmoty</i>	17
3	Stručný přehled energetických zdrojů realizovatelných na území České republiky.....	18
3.1	<i>Stručný přehled ostatních obnovitelných zdrojů realizovaných na území ČR</i>	20
4	Kogenerace	22
4.1	<i>Evropská legislativa.....</i>	23
4.2	<i>Kogenerace (KVET).....</i>	23
4.3	<i>Elektrina.....</i>	24
4.4	<i>Povinnosti vyplývající ze směrnice EU na podporu kogenerace.....</i>	24
4.4.1	Podpůrný mechanismus pro využití potenciálu pro vysoce účinnou KVET	25
4.4.2	Definice elektřiny z kogenerace	26
4.5	<i>Příklad kogeneračního kotle.....</i>	27
4.6	<i>Proces ORC</i>	27
4.6.1	Popis zařízení.....	28
4.6.2	Hlavní části OCR oběhu	29
4.6.3	Princip systému.....	29
4.6.4	Výkonové parametry zařízení ORC.....	30
4.6.5	Provozní výhody ORC oproti parní turbíně.....	31
4.6.6	Jak funguje organický Rankinův cyklus "ORC"?.....	31
4.7	<i>Dřevoplyn.....</i>	34
4.8	<i>Energetické využití dřevoplynu.....</i>	35
5	Příklady kogeneračních elektráren v České republice.....	39
5.1	<i>Elektrárna na spalování dřevní biomasy s využitím kogenerace – Čáslav.....</i>	39
6	Závěr	42
7	Seznam použité literatury	43
8	Seznam použitých tabulek.....	44

1 Úvod

Od začátku průmyslové revoluce v 19. století, kdy lidé poprvé začali využívat fosilních paliv, jejich spotřeba neustále stoupá. S postupně zvyšujícím se životním standardem rostly i nároky na energetickou spotřebu a lidé si poprvé začali uvědomovat, že zásob není na zemi nekonečně. Už od pradávna lidé využívali obnovitelné zdroje energie (např. vodní mlýny) jako pohon pro nějakou činnost. Ovšem v moderní době po vynálezu elektřiny a turbíny poprvé přišli s touto myšlenkou pro využití ve výrobě elektrické energie. V dnešní době, je na obnovitelné zdroje kladen další důraz – kromě výroby elektrické energie, společnost hledí i na její ekologičnost, všichni si uvědomují nebezpečí vznikající znečišťováním atmosféry. Z pohledu moderního člověka, žijícího v ekonomicky vyspělých zemích, nabývá elektrická energie dalšího rozměru – závislost na ní je velice vysoká, problémy s dodávkami a nebo úplné odstřižení od sítě by vedlo k rozpadu dnešní společnosti, sociálním nepokojům atd. S tohoto pohledu, se v rámci dlouhodobé strategie, jeví jako nutné najít takové zdroje, které budou nevyčerpatelné, spolehlivé a ekonomicky únosné. Z tohoto důvodu také Evropská unie požaduje po členských státech zvýšení podílu energie v síti poskytované pomocí obnovitelných zdrojů na minimálně 10% do roku 2013. V některých evropských státech např. v Dánsku již toto kritérium splňují dnes. Využívání energie větru, vody, biomasy, geotermální nebo solární energie se z dnešního pohledu jeví jako nejvhodnější, především kvůli problémům vznikajícím při výrobě energie konvenčním způsobem. Jedná-li se o fosilní paliva, kde vznikají značné emise, nehledě na vyčerpatelnost zdroje. V případě jaderné energie, kde je naopak problém s vyhořelým vysoce radioaktivním palivem nebo odpadním teplem.

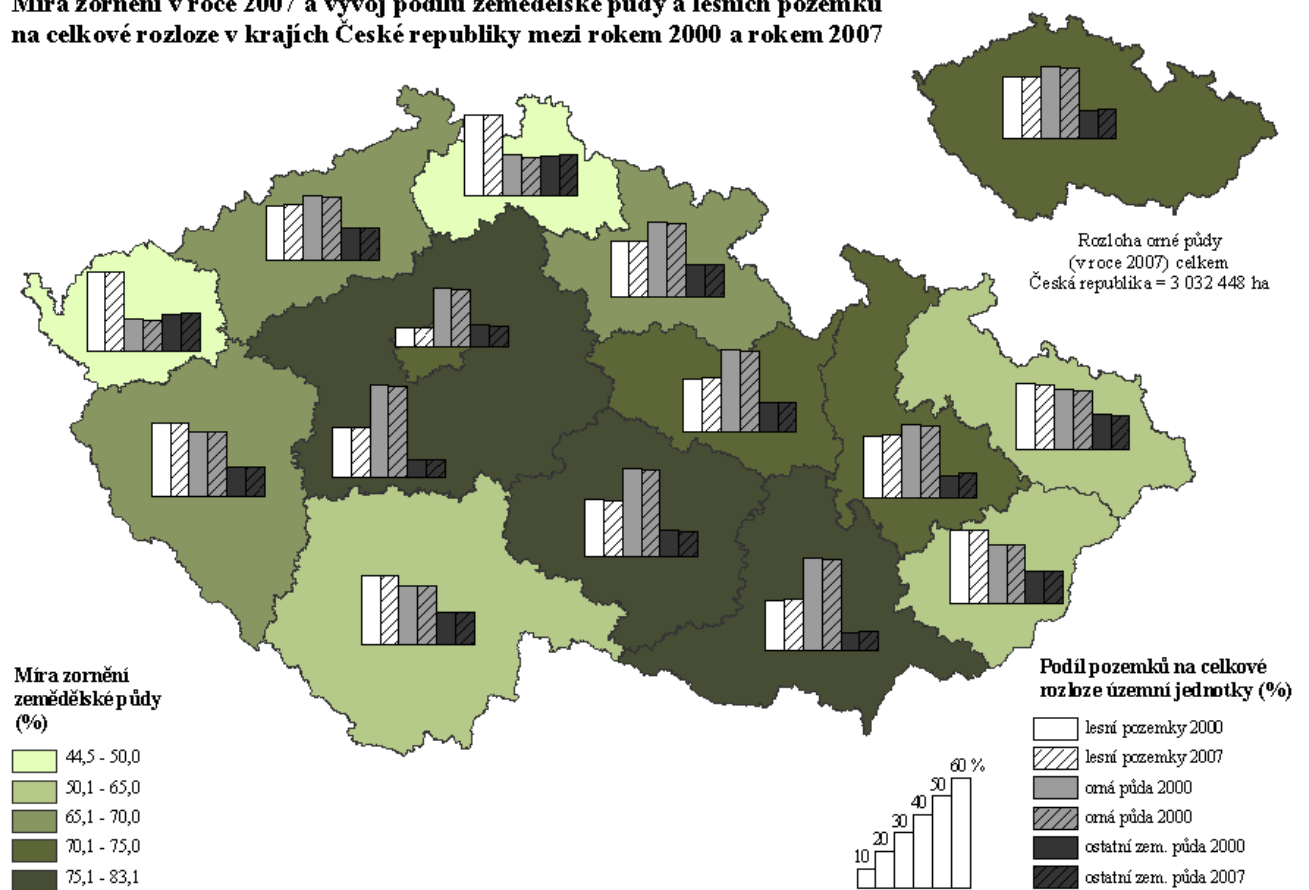
Jako velice výhodné se jeví do budoucna využití energie obsažené v biomase (potažmo dřevní hmotě) – v České republice tvoří lesní plochy 33 % a odpad ze zpracování dřeva z těchto ploch je perspektivním palivem. Při použití kogenerace dosahujeme vysokého využití paliva a nulové bilance oxidu uhličitého, oproti spalování uhlí. Právě tento důvod nás vedl k zamyšlení nad kombinovanou výrobou energie a tepla.

2 Biomasa jako obnovitelný zdroj energie

Biomasa je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z péče a údržby krajiny apod. Na obrázku jedna je vidět podíl lesní půdy na území české republiky. [1].

Obr. 1. Podíl lesní a zemědělské půdy 2000 – 2007

Míra zornění v roce 2007 a vývoj podílu zemědělské půdy a lesních pozemků na celkové rozloze v krajích České republiky mezi rokem 2000 a rokem 2007



Zdroj: [http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/t/54003DA606/\\$File/130408m01.gif](http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/t/54003DA606/$File/130408m01.gif)

tabulky 1. vyplývá vztah možného využití biomasy v ČR ve vztahu k celkové rozloze a obsazení zemědělské a lesní půdy.

tab. 1. Rozloha zemědělské a lesní půdy v ČR

rozloha státu celkem	7886 tis. ha (100 %)
lesní půda	2631 (33 %)
zemědělská půda	4271 (54 %)
z toho orná	3125 (40 %)
zemědělská a lesní půda celkem	6902 (87 %)

Zdroj: [1]

Z této tabulky je patrné, že lesní půda tvoří v České republice zhruba 1/3 celkové rozlohy, což nás z Evropského pohledu řadí mezi nadprůměrně zalesněné státy. Význam této rozlohy spočívá především v její využitelnosti, resp. jedná se o naši domácí surovinu, která je trvale obnovitelná. Při jejím využívání je třeba dbát na to, že cyklus její obnovy je dlouhodobý, je třeba zvýšené opatrnosti nakládání s lesním porostem. Při zpracování této dřevní masy vzniká vždy odpad, a to formou tzv. "nezpracovatelných dřevních odpadů" které nemají žádné využití a mohou být proto použity jako palivo pro energetické účely.[1][4]

V podmínkách ČR přichází v úvahu i další zdroje biomasy, jde o odpadní materiály, které se započítávají do celkového množství biomasy.

- dřevní odpady
- sláma ze zemědělské produkce
- kejda a chlévská mrva pro produkci a využití bioplynu
- rychlerostoucí energetické plodiny

Tradici má v České republice především spalování dřevního odpadu, je potřeba dodržovat uzavřený cyklus obnovy těchto materiálů. V úvahu také připadají rychlerostoucí energetické plodiny, které někdy bývají nazývány jako "netradiční", především "sloní tráva" (nebo také "deltská tráva") která pochází z tropických oblastí. Jedná se o travinu, která ve svých domovských podmínkách dosahuje produkce cca 75 tun sušiny ročně na hektar, ovšem v našich zeměpisných podmínkách připadá v úvahu produkce cca 40 tun ročně na hektar (tato travina dorůstá až 7m). Výhřevnost této rostliny dosahuje $18,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$, výhodou je jak možnost celoroční sklizně, tak i technologie sklizně, kterou je možno realizovat běžnými stroji na sklizeň silážní kukuřice. Spalování této plodiny provádíme ve fluidních topeništích, kde lze předpokládat kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Proto lze tuto netradiční energetickou plodinu považovat za velmi perspektivní.

Finanční náklady dosahují na jednotku energie vyšších hodnot než je tomu u energie z uhlí, je ovšem nutno zohlednit obecné výhody dřevní hmoty (především ekologičnost, obnovitelnost a kladné působení na svoje okolí)

Jako velice výhodné se jeví spalování slámy z polí, kde existují automatizované systémy na spalování celých balíků dovezených z pole. Velkou výhodou tohoto systému je využití odpadní slámy, pokud její produkce je značně vyšší než spotřeba k podestýlce zvířat. Bohužel tyto systémy fungují především v zahraničí. V následující tabulce 2. uvádím přibližné hodnoty základních zdrojů biomasy v České republice. [1].

Tab. 2. Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR

Biopalivo	roční produkce / mil.t /
Odpadní a palivové dřevo	2,6
Obilní a řepková sláma	2,7
Rychlerostoucí dřeviny a plodiny	1,0
Celkem	6,3

Zdroj: [1]

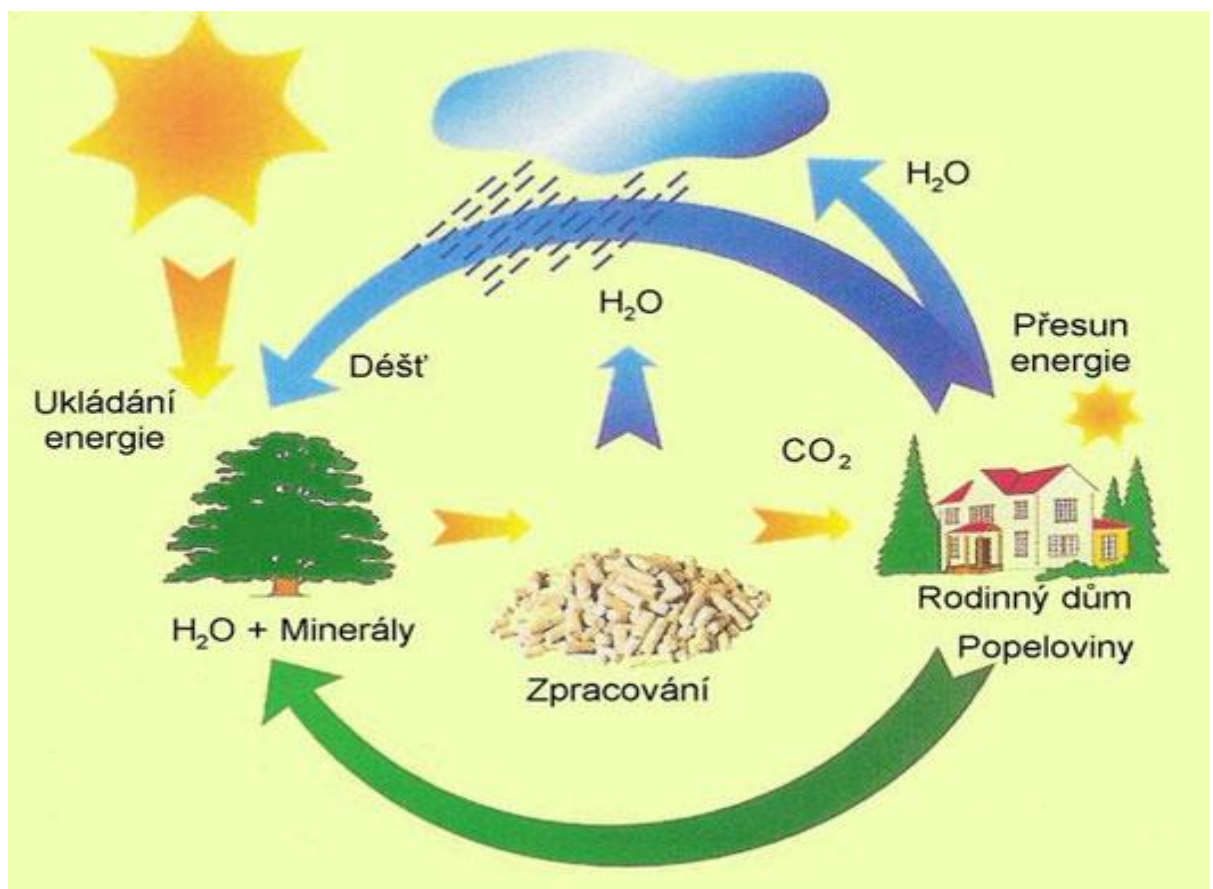
Energetické využívání odpadních plodin v České republice má nesporné výhody, pokud bychom je měli stručně specifikovat, jde především o:

- negativní emisní dopad na životní prostředí je podstatně nižší
- jde o obnovitelný zdroj energie
- ekonomický přínos, jelikož jde o zdroj pracovních míst

Dřevní odpady jsou nejvíce využívanou biomasou pro energetické účely, z toho to důvodu je pro ně vytvořena bilance CO_2 , která představuje plynnou emisi při spalování. Je třeba vyzdvihnout hlavní výhodu dřevních odpadů jako paliva z hlediska ekologie – má neutrální bilanci CO_2 . Z tohoto důvodu můžeme považovat biomasu za ekologickou formu výroby elektrické energie (mimo jiné).

Pokud dojde ke spálení 1 tuny dřevní hmoty, je spotřeba kyslíku z atmosféry 1,2 tuny a emise oxidu uhličitého představují 1,6 tuny. Pro vzrůst dřevní hmoty na ploše cca 0,2 ha se též spotřebuje 1,6 tuny oxidu uhličitého, čímž se jeho bilance vyrovnává a stává se vůči němu neutrální, viz obrázek č. 2. [1][4]

Obr. 2.: Koloběh oxidu uhličitého v přírodě



Zdroj: http://www.kea-olomouc.cz/grafika/alt_kolobeh_co2.jpg

2.1 Vyjadřování obsahu vody v dřevní hmotě

Velice důležitý je obsah vody v dřevní hmotě, jelikož ovlivňuje množství uvolňovaného oxidu uhličitého do atmosféry, výhřevnost. Obsah vody v dřevní hmotě je patrný v tabulce č. 3.

Tab. 3. Produkce CO₂ z 1t dřevních odpadů vzhledem k procentuální vlhkosti paliva

W (%)	CO ₂ (kg/t)
10	1654
20	1562
30	1286

Zdroj: [1]

Existují dvě metody určování obsahu vody v dřevním materiálu. První z nich se používá především v dřevozpracujícím průmyslu:

Obsah vody se vztahuje k suchému vzorku, to znamená, že při hmotnosti vody 0,5 Kg v 1 kg původního vzorku dřevní hmoty bude vlhkost (W) při hmotnosti vysušeného vzorku 0,5 kg činit 100%

$$W (d) = 0,5: 0,5 * 100$$

$$W = 100\%$$

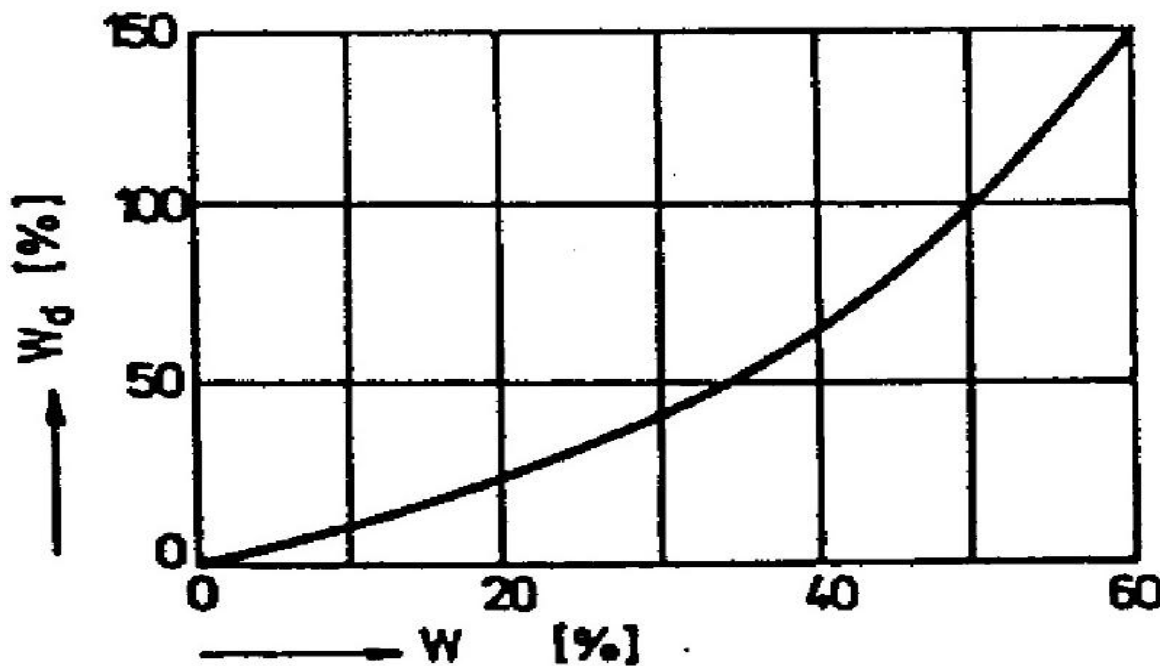
Druhá metoda je pro naši problematiku důležitější, používá se především v energetické praxi. Procentuální obsah vody se v tomto případě váže na hmotnost původního vzorku, což znamená, že při zachování stejných hmotností jako v předchozím případě bude:

$$W = 0,5: 1 * 100$$

$$W = 50\%$$

Pokud bychom obě tyto metody chtěli porovnat v grafické závislosti, vyjde nám jako výsledek následující graf, zakreslený na obr. č. 3:

Obr. 2. závislost jednotlivých metod určování obsahu vody ve dřevě



Zdroj: [1]

Pohyb vlhkosti můžeme obecně považovat v biomase za velký, setkáváme se s rozpětím $W = 8\% - 60\%$. Pokud u dřevní hmoty proběhne proces sušení, je logicky obsah vody nižší, hodnota okolo 60% odpovídá čerstvé lesní štěpce.

Vlhkost má především velký vliv na výhřevnost paliva, je jedním z nejdůležitějších ukazatelů kvality paliva. Pokud bychom chtěli relevantně pojednávat o vlastnostech paliva jako celku, zajímalo by nás především:

- Vlhkost paliva
- chemické složení paliva
- obsah popelovin
- výhřevnost paliva

Pokud budeme chtít spalovat palivo s větším obsahem vody, musíme této skutečnosti adekvátně přizpůsobit stavbu spalovacího zařízení. Zvýšený obsah vody způsobuje sníženou výhřevnost paliva, tzn. sníženou teplotu plamene. Obecně platí, že pokud vlhkost paliva stoupne nad $W = 55\%$ je takové palivo velice těžko spalitelné, v důsledku faktu, že nejnižší přijatelná teplota hoření plamene je $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, s ohledem na zachování správného průběhu spalovacích reakcí.[1][4]

Pokud by teplota spalování klesla pod $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, byli bychom nuceni přistoupit k přidání přídavného paliva, které by zvýšilo teplotu spalování na žádoucí úroveň.

Dřevní hmota při přirozeném provětrávání sníží svůj obsah vody na 20% za jeden rok. Řepková sláma za stejných podmínek na 13%. Obsah energie v 1 kg dřeva s nulovým obsahem vody je asi 5,2 kWh, problémem je, že dřevo nelze v praxi nikdy vysušit úplně, zbytkový obsah vody je asi 20% hmotnosti suchého dřeva. Část energie se při spalování spotřebuje k odpaření této vody, je proto nutné počítat s menším energetickým obsahem 4,3 – 4,5 kWh na 1 kg dřeva.

Zvyšováním obsahu vody se energetický obsah dřeva snižuje a klesá i účinnost spalování. Výhřevnost dřeva v závislosti na obsahu vody můžeme vidět na obr. č. 4 na následující stránce. [4]

Obr. 4. : Závislost výhřevnosti na obsahu vody u vybraných paliv

DRUH PALIVA [%]	OBSAH VODY [MJ/kg]	VÝHŘEVNOST	OBJEMOVÁ HMOTNOST volně ložená [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)

Zdroj: [2]

2.2 Využití dřevní hmoty ve formě odpadu

Roční produkce dřevního odpadu ve formě štěpky v České republice činí přibližně 0,5 mil. M3. Tuto štěpku je nutno vysušit a roztřídit. 0,1 mil. m3 štěpky je pak použito pro výrobu dřevotřískových desek, jako jejich střední vrstva. Zbytek štěpky nemá jiné využití, z toho důvodu se přistupuje ke spalování ve speciálních kotlích, které závod využívá k vytápění, sušení nebo výrobě elektrické energie.

Pokud uvažujeme o průměrné vlhkosti lesní štěpky 35%, pak tato štěpka má výhřevnost cca asi 5,6 MJ.m-3.

Velkým problémem lesní biomasy pak je její relativně malé využití, velké množství je např. ponecháno v lese na hromadách, nebo se přistupuje ke spalování bez využití energie. Odhad takto nevyužitě dřevní hmoty je zhruba 35%.

Pokud budeme uvažovat o dalším producentovi dřevních hmot – dřevozpracujícím průmyslu, najdeme příznivější situaci, zde je nevyužito pouze cca 4% dřevního odpadu vznikajícího při výrobě.[4]

2.3 Podstata energetického využití biomasy

Ta to kapitola je citována ze zdroje [4], včetně chemických rovnic.

Podstata energetického využívání biomasy je vždy spalovací proces, při němž vznikají oxidací hořlavých složek paliva vzdušným kyslíkem produkty reakce. Při zplyňování k oxidaci dochází až ve druhé fázi, první fázi je samotný proces zplyňování. Tyto produkty jsou vždy v plynné fázi a mohou být pouze nositeli fyzického tepla, které je ve spalovacím zařízení předáváno pracovní látce k využití, nebo mohou obsahovat navíc i chemickou energii obsaženou v hořlavých plynech s následným spalováním v jiném zařízení. První případ představuje dokonalé spalování, kdy hořlavé složky paliva reagují na konečný produkt, ve druhém případě se jedná v první fázi o nedokonalé spalování se vznikem energeticky vydatného plynného meziprojektu, který je dokonale spálen ve druhé fázi. V běžné terminologii hovoříme o spalování a zplyňování. Mechanismus reakce lze ukázat na příkladu spalování uhlíku. [4]

Za přítomnosti dostatečného množství kyslíku shoří uhlík podle rovnice č. 4.3.1.



Zároveň dojde k uvolnění reakčního tepla O_R . Ve skutečnosti probíhá tato reakce ve dvou fázích. První z nich je heterogenní reakce zplyňování uhlíku podle R. č. 4.3.2.:



Po ní následuje homogenní reakce spalování oxidu uhelnatého, kdy vzniká konečný produkt, podle rovnice č. 4.3.3.:



Při každé z těchto reakcí se uvolňuje příslušné reakční teplo, přičemž podle Hessova zákona platí že (R. č. 4.3.4.):

Rovnice. č. 4.3.4.:
$$\text{Q}_r = \text{Q}_{R1} + \text{Q}_{R2}$$

Zplyňovací reakce uhlíku je heterogenní, tzn., že spolu reagují látky v různé fázi, v tomto případě pevné a plynné. Tento fakt je významný z hlediska průběhu spalovacího procesu a možnosti jeho řízení. Jde o to, že k reakci mezi pevnou a plynnou fází, nebo jednoduše mezi tuhým palivem a vzdušným kyslíkem, může dojít pouze na povrchu pevné fáze. Při dostatečně vysoké spalovací teplotě je pak rychlost reakce dána rychlostí přívodu kyslíku k hořícímu povrchu paliva. Při následné homogenní reakci kdy jsou oba reagenty v plynné fázi, je promísení obou složek podstatně snazší.

Při bilancích spalovacího procesu, jimiž se stanoví množství spalovacího procesu, jimž se stanoví množství spalovaného vzduchu, množství a složení spalin, případně teoretická spalovací teplota se vychází ze složení paliva. To je možné vyjádřit hrubým rozbohem, při němž se stanoví obsah hořlaviny (h), vody (w) a popeloviny (A) platí podle rovnice 4.3.5.:

Rovnice. č. 4.3.5.:
$$\mathbf{h + w + A = 1}$$

Při známém elementárním složení hořlaviny pak lze vyjádřit složení paliva v rovnici 4.3.6.:

Rovnice. č. 4.3.6.:
$$\mathbf{C + H + O + N + w + A = 1}$$

Jednotlivé značky vyjadřují hmotnostní podíl uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku, vody a popeloviny v palivu (neuvažuje se zde s přítomností síry) a je nutno upozornit, že při zadaném složení hořlaviny podle rovnice 4.3.7.:

$$\text{Rovnice. \u010d. 4.3.7.:} \quad \mathbf{C^h + H^h + O^h + N^h = 1}$$

nebo su\u0161iny (co\u017e je palivo teoreticky neobsahuj\u00edc\u00ed \u017e\u00e1dnou vodu) 4.3.9.:

$$\text{Rovnice. \u010d. 4.3.8.:} \quad \mathbf{C^d + H^d + O^d + N^d + A^d = 1}$$

Se obsah jednotliv\u00e9 slo\u017eky v r\u016fzn\u00fdch vzorc\u00edch li\u0161\u00ed. V\u011bt\u0161ina spalovac\u00edch v\u00fdpo\u010dt\u016f se prov\u00e1d\u00ed ze slo\u017een\u00ed paliva. P\u0159epo\u010dty jsou snadn\u00e9, je-li na p\u0159\u00edklad zn\u00e1m obsah uhl\u00edku v ho\u0159lavin\u011b, mus\u00edme zn\u00e1t obsah vody a popeloviny v palivu pak je podle rovnice R. \u010d. 4.3.9.: [4]

$$\text{Rovnice. \u010d. 4.3.9.:} \quad \mathbf{C = C^h * (1 - w - A)}$$

2.4 Zply\u0148ov\u00e1n\u00ed

Zply\u0148ov\u00e1n\u00ed je proces, kter\u00fd prob\u00edh\u00e1 s omezen\u00fdm nebo \u017e\u00e1dn\u00fdm p\u0159\u00edstupem kysl\u00edku, kde se pod vlivem tepla vytv\u00e1\u0159\u00ed spaliteln\u00fd plyn, kter\u00fd je mo\u017eno n\u00e1sledn\u011b vyu\u017e\u00edvat v plynov\u00e9 turb\u00edn\u011b, nebo spalovac\u00edm motoru. Ve sply\u0148ova\u010di je biomasa vysu\u0161ena, pyrolizov\u00e1na, spalov\u00e1na a redukov\u00e1na v r\u016fzn\u00fdch z\u00f3n\u00e1ch procesu zply\u0148ov\u00e1n\u00ed. V\u00fdsledn\u00fd plyn obsahuje z velk\u00e9 \u010d\u00e1sti oxid uhelnat\u00fd (CO), vod\u00edk a metan.

Existuj\u00ed dva produkty zply\u0148ov\u00e1n\u00ed, kter\u00e9 m\u016fžeme produkovat. Jedn\u00e1 se o plyn s n\u00edzkou v\u00fdh\u0159evnost\u00ed (5 MJ*m⁻³) a plyny st\u0159edn\u011b a hodně v\u00fdh\u0159evn\u00e9 (10 a\u017e 20 MJ*m⁻³). Plyn s n\u00edzkou v\u00fdh\u0159evnost\u00ed lze produkovat ve vzduchov\u00e9m p\u0159o\u0161t\u0159ed\u00ed, plyn s vysokou v\u00fdh\u0159evnost\u00ed naopak p\u0159i kysl\u00edkov\u00e9m p\u0159o\u0161t\u0159ed\u00ed.

Nejvhodn\u011bj\u0161\u00ed surovinou pro zply\u0148ov\u00e1n\u00ed je palivov\u00e9 \u010di odpadn\u00ed d\u0159evo. Jak jsme si j\u00ed\u017e \u0159ekli, rozklad biomasy na plyn\u00e9 palivo je mo\u017en\u00fd r\u016fzn\u00fdmi zp\u016fsoby, ov\u0161em nej\u010dast\u011bj\u00ed se d\u0159evo zply\u0148uje za p\u0159\u00edstupu vzduchu.

Zplyňování dřeva ve zplyňovači má následující průběh:

Sušení > pyrolýza > oxidace > redukce

Existují tři základní technologie zplyňování, jsou to protiproudá, souproudá a fluidní. Při zplyňování ve fluidní loži (součást fluidního zplyňovače) víří látka přiměřené granulometrie (2–20 mm) ve spodní části účinkem předehřátého vzduchu, postupně pak účinkem vznikajícího plynu. Vhodným poměrem palivo / vzduch lze regulovat poměr exotermických (spalovacích) reakcí.

Aby bylo možno získat plyn s potřebnou výhřevností nad $5 \text{ MJ} \cdot \text{Nm}^{-3}$ je třeba, aby dřevo vkládané do reaktoru mělo maximální vlhkost 15 – 20%. To splňují jenom některé druhy dřevní hmoty, např. odpad z nábytkářské činnosti, mimořádně pak dobře prosušená štěpka, pokud by palivo mělo obsahovat více než 20% vlhkosti, je třeba ho dosušovat [12].

2.5 Chemické složení hořlaviny paliva

Při psaní této kapitoly a následujících jsem se inspiroval zdrojem [1].

Pro přesnost udávám hodnoty složení hořlaviny různých dřevních hmot (jehličnany, listnaté) a kvůli srovnání s konvenčními palivy také hodnoty v případě hnědého uhlí. Z tabulky je patrné, že jak dřevo, tak i kůra mají podobné složení, tzn. i vlastnosti a liší se pouze hmotností. Z tabulky je také patrné, že při spalování dřevní hmoty nedochází k žádným emisím SO_2 [1].

Tab. 4. Chemické složení hořlaviny dřevní hmoty

Složka %	Dřevo			kůra	Hnědé uhlí
	jehličnaté	listnaté	smíšené		
C	51,0	50,0	50,5	51,4	69,5
H	6,2	6,15	6,2	6,1	5,5
O	42,2	43,25	42,7	42,2	23,0
S	--	--	--	--	1,0
N	0,6	0,6	0,6	0,3	1,0
As	1,0	1,0	1,0	2,3 – 5,0	25,0

Zdroj: [1]

2.6 Spalování kusové dřevní hmoty

Kusovou dřevní hmotou máme na mysli polena, odřezky atd. Pro tento druh paliva se používají teplovodní kotle, jejichž konstrukce má tři základní části a to:

- Zásobník paliva, který je umístěn v horní části kotle. Do zásobníku se ručně přiloží palivo, které se zde zplyňuje za částečného přívodu vzduchu.
- Vyrobený dřevoplyn pak prochází v dolní části zásobníku paliva štěrbinou, která je opatřena tryskami pro přívod sekundárního spalovacího vzduchu. Vyrobený dřevoplyn je pak za štěrbinou spalován jako plynné palivo v další části kotle.
- Dohořivací spalovací komora je pod štěrbinou v dolní části kotle. Kotel je celý chlazen vodním obsahem kotle a teplosměnných ploch. Přívod spalovacího vzduchu zajišťují malé vzduchové ventilátory, které jsou řízeny od regulačního systému kotle. Tyto teplovodní kotle jsou dodávány do maximálního tepelného výkonu 100 Kw [1].

2.7 Spalování drobné dřevní hmoty

Pod pojmem drobná dřevní hmota máme na mysli piliny, lesní štěpku, drcenou kůru apod. Vzhledem k tomu, že tento druh paliva se používá převážně v průmyslové sféře,

pohybuje se tepelný výkon těchto zařízení a. do cca 10 MW. Kotle jsou dodávány dle přání zákazníka v teplovodním, horkovodním a parním provedení.

Základní dva směry použitého způsobu spalování jsou:

- Kotle se spodním (podsvvným) přívodem paliva na pevný rošt.
 - Kotle se šikmým mechanickým roštem, který je v některých případech chlazen vodou.
- Vodou chlazený rošt má tu přednost, že je možno (dle požadovaného tepelného výkonu kotle) snížit na minimum přívod spalovacího vzduchu pod 13 rošt. V případě vodou nechlazeného roštu musí být roštem zachován určitý průtok vzduchu, který odpovídá potřebnému chlazení použitého materiálu roštnic. Kotle jsou vybaveny zásobníkem paliva s vyhrnováním, aby bylo palivo automaticky dopravováno ze zásobníku do kotle. Větší kotelní jednotky jsou vybaveny i automatickým odpopelňováním a řízení přívodu spalovacího vzduchu je provedeno od kyslíkové sondy, která měří obsah O_2 ve spalinách za kotlem [1].

2.8 Základní komponenty kotlů

Základní komponenty kotlů lze v kostce shrnout do následujících částí:

- Spalovací komora kotle
 - se spodním přívodem paliva
 - se šikmým pevným, nebo mechanickým roštem (někdy vodou chlazeným)
- Vlastní těleso použitého typu kotle, které představuje potřebnou teplosměnnou plochu.
- Přívod a rozdělení spalovacího vzduchu
 - vzduchový ventilátor primárního spalovacího vzduchu
 - vzduchový ventilátor sekundárního spalovacího vzduchu.
- Odlučovač tuhých látek ze spalin. Většinou se používá multicyklonový odlučovač s recirkulací části vyčištěných spalin zpět na vstup do odlučovače. Tím se zajistí dokonalejší čištění spalin při sníženém výkonu kotle.
- Spalinový ventilátor pro odtah spalin do komína.
- Automatická regulace výkonu kotle a dopravy paliva.
- Provozní zásobník paliva s návaznou dopravou paliva do kotle.[1]

2.9 Základní komponenty související dopravy a skládky paliva

Palivová cesta začíná centrální skládkou paliva, do které je palivo dopravováno pneumatickou dopravou (např. Vítkovická, kruhová sila s vyhrnovací frézou), nebo nadzemní i podpovrchové skládky s hydraulickou vyhrnovací plošinou. Hydraulické vyhrnování je řešeno pomocí tyče s klínovými hrably, která je na dně skládky a je poháněna hydraulickým válcem. Na dně skládky bývá sudý počet tyčí s vystřídaným posuvem vpřed a zpět. Palivo je vyhrnováno k čelnímu otvoru ve stěně skládky odkud je dále dopravováno navazující palivovou cestou. Při nadzemním provedení skládky s hydraulickým vyhrnováním je skládka plněna převážně pomocí nakladače. Výška skladované vrstvy by neměla u dřevních odpadů překročit hodnotu 4 m s ohledem na možnost samovolného vznícení. Je nutno provést zastřešení (případně i boční zakrytí skládky) proti povětrnostním vlivům. 15 [1]

Palivo pak pokračuje od centrálního zásobníku k zásobníku provoznímu, který je umístěn v prostoru kotelny. Většinou se jedná o dopravníky hrabicové, pásové a šnekové v závislosti na frakci použitého paliva. Provozní zásobník má objem cca na 1 hodinu provozu kotle. Je opatřen snímáním minimální a maximální hladiny paliva. Od těchto snímačů se zapíná, nebo vypíná dopravní cesta paliva z centrální skládky. Provozní zásobník je opatřen vyhrnovacím zařízením, které zajišťuje, včetně návazné dopravy, dopravu paliva do spalovací komory kotle. Aby nedošlo k případnému prohoření paliva ze spalovací komory kotle do palivové cesty je dopravní systém opatřen automatickým zhášecím zařízením. Toto zařízení sestává z vodní zásobní nádrže, snímačů teplot ve sledovaných místech a el. ovládaných vodních trysek. Při zvýšení teploty nad přípustnou hodnotu se automaticky uvede v činnost vodní tryska, která sledovanou část dopravní cesty zaplaví vodou.[1]

2.10 Drtiče dřevní hmoty

V závislosti na použitém typu spalovacího zařízení a typu dopravníků paliva je nutno palivo upravovat co do požadované velikosti částic. K tomu se používají drtiče dřevní hmoty, které jsou buď stacionární, nebo mobilní pro práci v terénu. Mobilní drtiče jsou většinou napojeny na pohon traktoru a používají se k přípravě lesní štěpky při probírkách lesa, nebo údržby krajiny. Používají se rovněž i stacionární drtiče na drcení celých kmenů, pařezů apod. Měrná spotřeba elektrické energie je proto pochopitelně rozdílná a cca činí:

- drcení kůry 5,7 kWh/t
- drobný kusový dřevní odpad 15,7 kWh/t
- drcení kmenů 21,4 kWh/t.

Výkon dostupných drtičů se pohybuje v rozmezí od 0,5 . 20 m³/h, co. ji. představuje pohon el. motoru o výkonu 90 kW.[1]

3 Stručný přehled energetických zdrojů realizovatelných na území České republiky

Pouze stručně bych chtěl vymezit základní formy získávání elektrické energie v elektrárnách konvenčního typu, spalující převážně nerostné suroviny. Cílem této kapitoly je specifikovat výhody kogenerace při použití dřevní hmoty jako paliva a k tomu nám poslouží také vědět základní informace o klasických metodách.

Tepelné elektrárny

Jedná se o druh elektrárny, využívající chemickou energii uchovanou především v hnědém a černém uhlí, kterou následně převádí na energii tepelnou, následně pak na energii elektrickou.

Řetězec energie lze popsat:

- Tepelná
- kinetická
- elektrická

Uhlí je v těchto elektrárnách mleto na jemný prášek, který je vháněn do kotle a následně spalován. Energie získaná z uhlí ohřívá vodu, následně měnící se v páru, načež pára pohání turbogenerátor. Tlak páry je obvykle 20 Mpa. Oproti energii z dřevní hmoty, jak jsme si již řekli, má vysoce negativní vliv na životní prostředí.

Jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny představují v dnešní době kvalitnější zdroj energie, oproti tepelným elektrárnám mají více nesporných výhod, ovšem ale také i nevýhod.

Mezi největší výhody jaderné elektrárny patří jistě v podstatě nulové emise CO₂, ovšem tato vlastnost je vykoupena vysokou rizikovostí vyhořelého paliva –

jelikož se jedná o vysoce radioaktivní odpad bez dalšího využití, který je velmi složité skladovat, hledají vědci způsob jak tento problém vyřešit. V dnešní době bylo nalezeno řešení v podobě hlubinných úložišť, ovšem vzhledem k poločas rozpadu vyhořelého paliva je takové úložiště velice rizikové.

Proces výroby energie je v jaderné elektrárně obdobný jako u tepelné, pouze s rozdílem pohonné jednotky, kterou v tomto případě zastupuje štěpný reaktor, který má kvůli bezpečnosti dvojitý vodní okruh spojený výměníkem tepla.

Jaderná elektrárna má dále nevýhodu setrvačnosti štěpného cyklu, který nelze nárazově zapnout či vypnout. Palivo pro jadernou elektrárnu je uran nebo plutonium. V důsledku štěpné reakce dochází k uvolňování tepla, ale i bohužel nebezpečného záření. V současné době jsou na území ČR dvě jaderné elektrárny (Temelín a Dukovany, přičemž u prvně jmenované je v procesu plán přístavby bloku za cca 500 mld. Kč)

Jaderné elektrárny představují vhodný centralizovaný zdroj energie, jelikož kogenerační lokální jednotky nemají takový výkon a tolik paliva, jeví se jako vhodné vyrábět elektřinu souběžně v obou zdrojích. Kogenerační využití tepla vznikající z jádra by bylo přínosné, ovšem tyto elektrárny bývají umístěny co nejdále od hustě obydlených oblastí, pro případ havárie, což činí dopravu tepla téměř nerealizovatelnou.

Fuzní elektrárny

Fuzní elektrárny jsou naoko podobné těm jaderným, ovšem využívají odlišný způsob získávání energie. Zatímco v jaderné dochází ke štěpení atomů, u fuzní je tomu přesně naopak.

V současné době je tato technologie ve fázi výzkumu (na kterém se podílí také Česká republika), očekává se první komerčně využitelná fuzní elektrárna do 20. let. Jelikož snahou fuzní elektrárny je dosáhnou podobné reakce, která jinak normálně probíhá v hvězdách slunečního typu, je nesmírně obtížné dostat tyto složité jevy pod optimální a maximální kontrolu. V současné době existují dva základní předpoklady pro úspěšnou jadernou syntézu, resp. dva základní typy konstrukcí elektráren. Nicméně jde o energetický zdroj budoucnosti.

3.1 Stručný přehled ostatních obnovitelných zdrojů realizovaných na území ČR

Sluneční energie

Využívání slunečního záření se realizuje přeměnou na využitelnou formu energie: **Tepelnou** – vytápění bytů, zásobování teplou užitkovou vodou, sluneční vařiče, destilační zařízení i její přeměna na elektrickou.

Chemickou – při pěstování řasových kultur nebo rozkladu vody.

Elektrickou – s využitím fotovoltaických článků nebo solárně termickou přeměnou.[6]

Větrná energie

Obecně označuje zařízení, které je určeno k přeměně energie větru v jiný druh energie (mechanickou, popř. elektrickou).

Největším typem zařízení jsou elektrárny s vodorovnou osou otáčení, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky.

Možnosti využití větrné energie na území ČR nelze v žádném případě srovnávat s možnostmi přímořských zemí. Přesto se nedá jednoznačně říci, že na území naší republiky nelze využívat energii větru. V každém případě by měla být instalována zařízení, která budou brát ohled na dané podmínky, tedy zejména menší převládající rychlost větrů a jejich menší četnost a pravidelnost. Předcházet stavbě by měl, důkladný průzkum a rozbor větrných podmínek. V ČR je několik výrobců malých větrných turbín pro domácí použití. Velké turbíny se až na výjimky dovážejí.[6]

Vodní energie

Voda je v přírodě nositelem energie mechanické, tepelné a chemické. Největší význam má, z hlediska technického využití, mechanická energie vodních toků neustále obnovována koloběhem vody v přírodě. Jejím původem je energie slunečního záření. Energie vodních toků se projevuje ve formě potenciální (polohové a tlakové) a ve formě energie kinetické (rychlostní).

Základní prvky malé vodní elektrárny jsou vodní dílo, vodní stroj a generátor elektrické energie. Vývoj vodních turbín vedl k využití několika typů. V zásadě existují

turbíny přetlakové, kdy tlak vody se mění při průchodu turbínou a rovnotlaké, kdy voda vstupuje do turbíny se stejným tlakem, s kterým z ní vychází.[6]

Geotermální energie a energie mělkého horninového prostředí

Využitelný potenciál geotermální energie je nesrovnatelně menší než energie slunečního záření dopadajícího na Zemi. Zdroje geotermální energie mohou být: sopky, gejzíry, horké prameny, parní výrony. V ČR je několik regionů, kde je tento zdroj dobře využitelný (viz. Vytápění Děčína). V mnoha případech je také efektivní využít energii mělkého horninového prostředí například pomocí tepelných čerpadel. Ty fungují jako obrácená chladnička. Výměník tepla na zadní straně chladničky hřeje, vytápí naši kuchyni. Zbavuje se tak tepla, které převedla z nižší hladiny (+5 až +10 °C uvnitř chladničky) na hladinu vyšší (asi +30 °C na povrchu tepelného výměníku).

Tepelné čerpadlo na místo potravin ochlazuje jiné médium. Tím může být např. vzduch v okolí domu, na půdě nebo ve sklepě, podzemní voda (v hlubinných vrtech), povrchová voda (v řece, v rybníku), pramen geotermální vody, půda na zahradě nebo v okolí domu. [6]

4 Kogenerace

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET), kogenerace, teplárenství – mnoho pojmů pro jedinou věc, která neznámá nic jiného než pouhé využití tepla, které vzniká při výrobě elektřiny. Je to také nejlevnější cesta ke zvýšení účinnosti při výrobě elektřiny. Znamená to využít vzniklé teplo, nemuset kvůli získání tohoto tepla spalovat jiné palivo.

Z technických důvodů však není možné využít veškeré teplo z velkých elektrárenských bloků, postavených mnohdy mimo obydlené oblasti, a to z jediného prostého důvodu: v blízkosti zdroje není žádný spotřebitel tepla. Budování teplovodů od velkých zdrojů je ekonomické pouze do jisté nepříliš velké vzdálenosti, která může být tím větší, čím větší je spotřeba dopravovaného tepla, rovnoměrnost jeho spotřeby a čím jsou nižší palivové náklady.

Příklady ekonomicky vhodných CZT, kde se dopravuje teplo na velké vzdálenosti, jsou např. teplovod z elektrárny Mělník, dopravující teplo pro Prahu, a dále pak tepelná síť dodávající teplo z elektrárny Opatovice do městských aglomerací na Pardubicku a Královéhradecku.

Tyto soustavy byly postaveny již v dobách minulých, jsou i celosvětově poměrně unikátní a v podmínkách ČR těžko opakovatelné. Dnes je totiž nová výstavba podobných sítí poměrně komplikovanou záležitostí, a to jak z pohledu investičního, tak z pohledu územního řízení.

Chceme-li přesto využít teplo při výrobě elektřiny, ve většině případů nám zbývá jediná cesta, a to jít s výrobou elektřiny blíž ke spotřebiteli tepla. Zde pak hovoříme o decentrální výrobě elektřiny a tepla ze zdrojů KVET. Decentrální výroba je v dnešní době v podstatě jedinou možností, jak dále rozšířit podíl výroby elektřiny v KVET. Vhodná kombinace centrálních zdrojů (nejlépe jaderných) s decentrálními, vysoce účinnými zdroji, povede k významným úsporám paliv při výrobě elektřiny a zároveň ke snížení znečištění ovzduší.[5]

4.1 Evropská legislativa

Evropská unie si je nízké účinnosti výroby elektřiny a všech s tím spojených negativních důsledků vědoma. Z toho důvodu byla po dlouhých a komplikovaných jednáních v únoru roku 2004 schválena Směrnice 2004/8/EC na podporu kogenerace založené na výrobě užitečného tepla na vnitřním evropském trhu. Směrnice byla publikována v Official Journal dne 21. 02. 2004 a členské státy mají na její zapracování do národních legislativ dva roky, tj. do 21. 2. 2006.

Smyslem směrnice je:

- úspora primárních energií
- snížení závislosti na importu energie. EU dováží 50% všech energií a do roku 2030 hrozí nárůst na 70% – stupňování rizika ohrožení dodávek.
- snížení emisí, zejména skleníkových plynů.
- trvale udržitelný rozvoj Evropy i světa.
- základních cílů je dosahováno zejména podporou tzv. vysoce účinné kogenerace.[5]

4.2 Kogenerace (KVET)

Znamená současnou výrobu užitečného tepla a elektrické (nebo mechanické) energie ve společném technologickém procesu

- **Užitečné teplo** – teplo produkované v KVET k pokrytí ekonomicky ospravedlnitelných potřeb pro vytápění, ohřev, chlazení nebo pro technologické účely
- **Ekonomicky ospravedlnitelná potřeba tepla** – je potřeba tepla, která nepřevyšuje potřeby tepla pro vytápění, ohřev, chlazení nebo pro technologické účely, které by jinak byly uspokojeny na základě tržních podmínek jinak než z KVET, nebo je doposud uspokojována z jiných zdrojů než KVET. Ekonomicky ospravedlnitelná potřeba tepla

tedy vylučuje provoz kogenerace s dodávkou tepla do systému, kde již teplo z KVET je.

4.3 Elektřina

- **Záložní elektřina (back-up electricity)** – elektřina, která musí být dodána ze sítě v době přerušení kogeneračního procesu nebo v době provádění údržby či při odstávce z důvodu poruchy.
- **Špičková elektřina (top-up electricity)** – je elektřina, která je dodávána ze sítě v případě, kdy je příkon objektu vyšší než výkon zdroje KVET.
- **Celková účinnost zdroje KVET** – porovnání roční výroby elektřiny a tepla a spotřeby paliva
- **Elektrická účinnost zdroje KVET** – porovnání roční výroby elektřiny spotřeby paliva
- **Tepelná účinnost zdroje KVET** – porovnání roční výroby tepla spotřeby paliva
- **Mikrokogenerace** – do výkonu 50 kW_{el}
- **Malá kogenerace** – od 50 do 1000 kW_{el}
- **Referenční hodnota pro oddělenou výrobu** – účinnost samostatné výroby tepla nebo samostatné výroby elektřiny pro určení vysoce účinné KVET [5]

4.4 Povinnosti vyplývající ze směrnice EU na podporu kogenerace

Členské státy musí zpracovat analýzu národního potenciálu pro vysoce účinnou kogeneraci.

- Analýza musí:
 - být založena na seriózních údajích
 - identifikovat celkový potenciál pro využití tepla pro topení a chlazení, vhodného pro vysoce účinnou kogeneraci a taktéž identifikovat dostupné palivové zdroje pro tuto KVET
 - zahrnovat zvláštní analýzu bariér bránících využití národního potenciálu pro vysoce účinnou KVET. [5]

Zjednodušeně řečeno: Evropská unie ukládá všem členským státům popsat všechny lokality, kde je doposud teplo vyráběno v kotlích a bylo by ho možno vyrábět v kombinaci s elektřinou, tedy z vysoce účinné KVET.

4.4.1 Podpůrný mechanismus pro využití potenciálu pro vysoce účinnou KVET

- Směrnice ukládá oboustrannou zpravodajskou povinnost – členské státy informují Komisi, Komise informuje členské státy s cílem dojít k optimální jednotné formě podpory

- Členské státy navrhnou podpůrný mechanismus k podpoře vysoce účinné KVET. Členské státy zajistí, že podpora KVET – stávající a budoucí – se bude vztahovat pouze na zdroje s výrobou užitečného tepla za současného využití všech jiných dostupných metod ke snížení spotřeb energií (musí jít ruku v ruce s úsporami tepla)

- Evropská komise by měla zhodnotit aplikaci podpůrného mechanismu daného členského státu, podle kterého výrobce obdrží v souladu se zákony přímou či nepřímou podporu a měla by zvážit, zda tento mechanismus přispívá k naplnění cílů – naplňování potenciálu pro vysoce účinnou KVET

- Komise bude prezentovat ve svých zprávách zkušenosti získané aplikací a společnou existencí různých typů podpůrných mechanismů v různých státech. Zpráva bude hodnotit úspěšnost daného mechanismu včetně finanční efektivnosti a vlivu na rozvoj vysoce účinné KVET. Tato zpráva zhodnotí a přezkoumá přínos podpůrných mechanismů a jejich příspěvků pro tvorbu stabilních podmínek pro investice do KVET v rámci celé Evropy.[5]

4.4.2 Definice elektřiny z kogenerace

Stanovení množství elektřiny z KVET je určeno na základě očekávaného nebo aktuálního provozu zdroje za normálních podmínek.

a) Množství elektřiny z KVET bude stanoveno jako celková roční produkce měřená na svorkách generátoru u následujících jednotek:

- V jednotkách typu b), d), e), f), g a h) podle Přílohy I, s celkovou roční účinností nejméně 75%, a
- V jednotkách typu a) a c) podle Přílohy I s účinností vyšší než 80%

b) V KVET, které nedosahují účinností dle a) bude množství elektřiny z KVET stanoveno dle následujícího vzorce:

$$E_{CHP} = H_{CHP} * C$$

kde:

E_{CHP} = roční množství elektřiny z KVET

C = poměr elektrický/tepelný výkon

H_{CHP} = množství užitečného tepla z KVET [5]

4.5 Příklad kogeneračního kotle

Tento odstavec popisuje konkrétní technické provedení kogeneračního kotle, prodávaného společností TSS, sídlem v Třebíči. Tento kogenerační prvek je vhodný především pro lokální využití.

Zařízení pomocí kogeneračního procesu vyrábí z dřevěné štěpky elektrickou energii a teplo.

Biomasa je spalována v kotli. Horké plyny předávají ve výměníku teplo do olejového oběhu (termoolej). Zbývající teplo je dále redukováno ve vodním výměníku (ekonomizér), odpadní plyny jsou po vyčištění ve filtru odváděny do okolního prostředí komínem.

Okruh termooleje tvoří zdroj energie pro výrobu elektrického proudu v zařízení ORC. Je jím zásobován uzavřený oběh, ve kterém je odpařováním silikonového oleje poháněn blok turbogenerátoru. Poté pára kondenzuje, uvolněná tepelná energie je formou teplé vody odváděna zpět do tepelné sítě. Ve vodním výměníku (ekonomizéru) kotle na biomasu je vodní okruh dále ohříván na požadovanou hodnotu.

4.6 Proces ORC

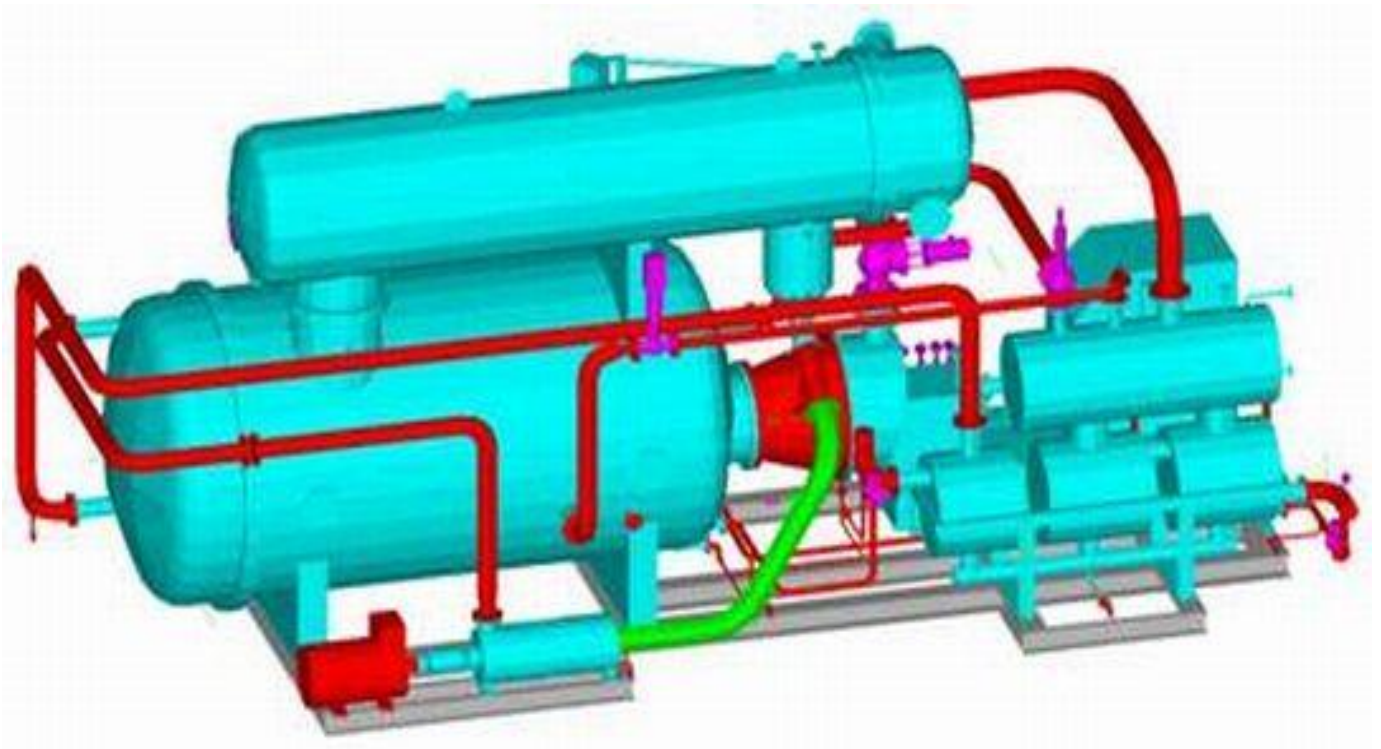
V tzv. ORC-procesu (Organický Rankinův Cyklus) – parním procesu s organickým médiem – je transformována tepelná energie na energii elektrickou. Pracovní médium vykazuje vhodné termodynamické vlastnosti pro malá, necentrální zařízení. Také při nízkých teplotách lze dosáhnout vysokých účinností.

ORC zařízení pracuje v principu jako konvenční parní elektrárna. Namísto vody je využívána pracovní tekutina v uzavřeném systému, kdy dochází k odpařování ve výměníku (výparník) a pohonu parní turbíny s generátorem. Tekutina je v dalším výměníku (kondensátor) ochlazována až ke kondenzaci a čerpadlem čerpána zpět do výměníku. Přitom odvedené teplo lze využít pro technologické účely, popř. vytápění budov. [7]

4.6.1 Popis zařízení

Zařízení ORC je postaveno jako modul. Veškeré komponenty jsou umístěny na samonosné ocelové konstrukci. Pouze řízení je umístěno ve vhodném prostoru pod konstrukcí. Vizualizace reálné podoby modulu ORC je uvedena na obrázku č. 5.

Obr. 5.: Virtualizace ORC oběhu



Zdroj: [7]

4.6.2 Hlavní části OCR oběhu

1. Výparník
2. Regenerátor
3. Kondensátor
4. Turbína
5. Generátor
6. Čerpadlo
7. Čerpadlo termooleje
8. Vakuové čerpadlo
9. Bezpečnostní ventily
10. Ventil Bypass turbíny
11. Spojovací potrubí
12. Čidla
13. Řízení a vizualizace

4.6.3 Princip systému

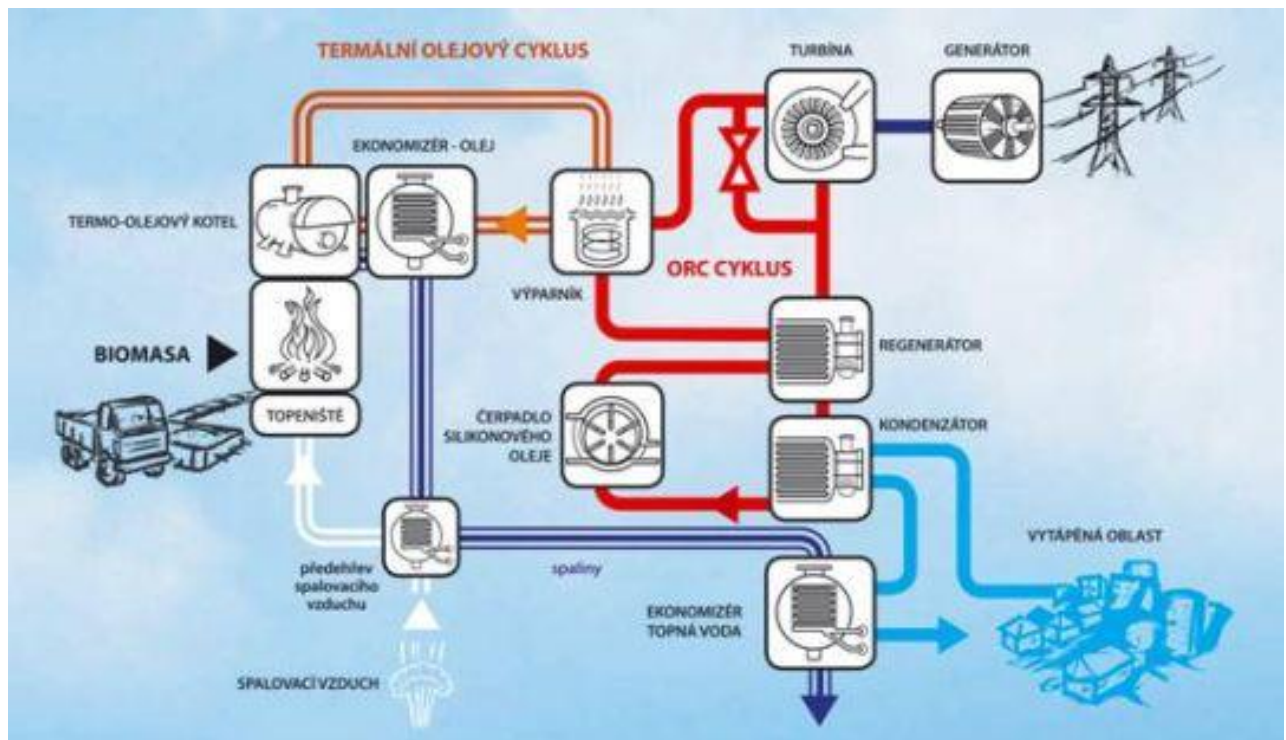
Zařízení ORC přeměňuje tepelnou energii v elektrický proud. Topným a chladicím okruhem je v zařízení vytvářen rozdíl tlaků. Tento rozdíl tlaků je využíván k pohonu turbíny prostřednictvím páry. Schéma systému ORC můžeme vidět na obrázku č. 6.

Tepelná energie je do zařízení přiváděna okruhem termooleje, který je ohříván v kotli. Horký olej ve výměníku způsobuje odpařování silikonové sloučeniny – pracovní kapaliny. Pára je vedena přes turbínu, v jejíž trysce dochází ke snížení napětí. Přitom dochází k expanzi a značnému zrychlení. Tento proud páry nyní pohání lopatkové kolo turbíny, jejíž pohybová energie je prostřednictvím generátoru přeměňována v elektrický proud. Podtlak nutný pro snížení napětí v turbíně je vytvářen pomocí kondensátoru. Získané teplo je vodním okruhem odváděno a dle potřeby využíváno pro vytápění. Odpadní pára je v kondensátoru zkapalňována, kondenzát je opět čerpán do výměníku poté, co je odpadní párou turbíny v dalším výměníku zahříván.

Principiálně ORC zařízení pracuje jako konvenční parní elektrárna. Namísto vody

je jako pracovní médium využita silikonová sloučenina. Díky zvláštním vlastnostem však není nutný ohřev páry (přehřívání) po odpaření. Proces se stává jednodušším a účinnějším. [7]

Obr. 6.: Schéma ORC oběhu



Zdroj: [7]

4.6.4 Výkonové parametry zařízení ORC

Biomasa:

- elektrický výkon 200 – 1500 kW e
- vstupní teplota termo-oleje 250 – 300 °C
- pracovní přetlak termo-oleje max. 3 bary

4.6.5 Provozní výhody ORC oproti parní turbíně

- systém je schopen využívat energii s relativně nízkou teplotou
- vysoká účinnost turbíny, zejména při částečném zatížení
- nízké otáčky turbíny umožňující přímý pohon generátoru
- zanedbatelná eroze turbínových lopatek (nepřítomnost kapiček pracovního média)
- nízké mechanické namáhání částí turbíny v důsledku nízké obvodové rychlosti
- možnost jakékoli regulace výkonu turbosoustrojí v celém výkonovém rozsahu
- celý cyklus pracuje s teplotou max. 300 °C a tlakem do 10 barů – vyšší životnost zařízení
- kotle mají dvojnásobnou životnost tlakových dílů – nízký tlak, teplota a chemické vlastnosti oleje
- nenáročnost na obsluhu zařízení, on-line monitoring stavu – bezobslužný provoz
- minimální nároky na stavbu a požadovaný prostor
- odpadá jakákoli chemická úprava jednotlivých médií
- vysoká pracovní spolehlivost při nízkých provozních nákladech [7]

4.6.6 Jak funguje organický Rankinův cyklus "ORC"?

V klasických tepelných elektrárnách je energie tepelná transformována na mechanickou v tepelném oběhu, který nazýváme Rankin - Clausiův cyklus. Tento elektrárenský kondenzační cyklus, ve své podstatě složený ze základních termodynamických změn, používá jako pracovní látku vodu resp. vodní páru. [7]

Voda na mezi sytosti, která je přivedena napájecím čerpadlem do parního generátoru (kotle), se v něm ohřívá, odpařuje (mění skupenství) a v parním přehříváku dosahuje parametrů tzv. admisní páry (tlak cca 14,5 MPa, teplota cca 530 °C), která je přivedena do parní turbíny. V parní turbíně pára expanduje (přehřátá pára přechází do oblasti syté páry) a následně mění své skupenství v kondenzátoru, odkud je v kapalném stavu kondenzačním čerpadlem dopravována přes zásobní nádrž a případné doplnění zpět do parního generátoru. Termická účinnost takového cyklu (poměr tepla přeměněného na mechanickou práci ku teplu přivedenému do oběhu)

se u nejmodernějších elektráren pohybuje na úrovni cca 38 %. Ke zvyšování termické účinnosti se zpravidla používá regenerace tj. ohřev napájecí vody v regeneračních ohřívácích mimo vlastní kotel nebo přehřívání páry (omezeno používanými materiály, maximální admissní tlak 15 MPa). [7]

Organický Rankinův cyklus (ORC) je v podstatě elektrárenský kondenzační cyklus, který používá namísto vody resp. vodní páry jako pracovní látku v primárním okruhu směs organických sloučenin (silikonový olej), které jsou svými termodynamickými vlastnostmi vhodné k použití v tepelném oběhu. Výhodou oleje je, že při dané teplotě (např. 300 °C) se udrží v kapalném stavu při značně nižším tlaku než voda. Ve výparníku předává olej teplo do sekundárního okruhu, kde se pracovní organická látka vypařuje, dosahuje většího tlaku než má olej a organické páry jsou vedeny do parní turbíny, kde expandují. Pára je za turbínou vedena do kondenzátoru, kde kondenzuje po odebrání výparného tepla chladicí vodou, která pak dodává teplo do objektů připojených na tuto tepelnou síť. Organické látky použité jako náhrada vody v sekundárním tepelném oběhu musí samozřejmě splňovat přísné předpisy a normy ve vztahu k životnímu prostředí. [7]

Typické využití ORC se nabízí ve spojení s kotelny na biomasu, kde je primární energie v palivu využita jednak na výrobu tepla, ale i elektrické energie. V takovém případě je celková účinnost kogenerace cca 85 %. Jen pro porovnání, v klasické tepelné elektrárně, kde je teplo z kondenzace odvedeno do okolí, se dosahuje celkové účinnosti cca 30 %. (Je zcela zřejmé, že s potenciálem biomasy tepelné elektrárny nahradit nelze, ale z uvedeného srovnání je téměř povinností státní energetické politiky, aby byla kogenerace z biomasy preferována zřetelněji než doposud.) Parní generátor je zde nahrazen olejovým kotlem a výparníkem. Olej ohřátý v tomto kotli je využíván jako teplotná látka, jenž přes výparník předává své teplo pracovní látce uzavřeného sekundárního okruhu ORC. Vzniklá sytá pára organických sloučenin je vedena na axiální turbínu, která je přímo spojena s generátorem elektrické energie. Teplo z kondenzátou, ve kterém náplň ORC okruhu mění své skupenství zpět do kapalně fáze, je vedeno k dalšímu využití (kogenerace). Při vhodném navržení tepelného oběhu lze toto teplo využít např. v systému CZT, případně k jiným účelům. Nabízí se využití u dřevozpracujících provozů k sušení řeziva, kde je kotelná přímo u zdroje paliva.

V současné době se ORC systémy dodávají většinou jako standardizované moduly o elektrických výkonech řádově od stovek kWe do několika MWe a to v aplikacích pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla z biomasy, pro zdroje s geotermální energií, ve spojení se solární technologií a při využití odpadního tepla. [7]

4.7 Dřevoplyn

V současné době se opět vrací pozornost mnoha firem k výrobě a využití dřevoplynu pro energetické účely. Zplyňování dřevní hmoty má opodstatnění v tom, že vyrobený plyn může být použit jako palivo pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Jedná se o využití v plynovém motoru, který představuje hnací agregát kogenerační jednotky. V praxi se pak jedná o následující hlavní možnosti využití dřevoplynu:

- U kotle instalovat plynový generátor a vyrobený dřevoplyn pak spalovat na daném kotli v hořáku.
- Vyrobený dřevoplyn použít jako palivo pro plynovou kogenerační jednotku se spalovacím motorem.
- Dřevoplyn je však možno použít i pro plynové zářiče v rámci systému vytápění. [1]

Chemické složení suchého dřevoplynu představuje cca následující složení:

- H₂ 7,85 %
- CO₂ 7,87
- O₂ 2,86
- CO 24,65
- N₂ 50,56
- CH₄ 1,81
- C_xH_y 0,52

Složení dřevoplynu není konstantní, ale závisí na druhu zplyňované dřevní hmoty, vlastní konstrukci provedení plynového generátoru, obsahu vody v dřevní hmotě atd.

Teplota dřevoplynu, který vystupuje z generátoru je cca 450 – 550 °C. Před další úpravou plynu se proto plyn chladí, aby provozní teploty navazujících zařízení nekladly zvýšené nároky na použité konstrukční materiály. Z prováděných zkoušek na zplyňovacích zařízeních vyplývá, že 1 kg dřeva může nahradit cca 0,12 kg motorové nafty pro pohon motoru. Optimální obsah vody obsažené ve zplyňované dřevní hmotě je $W_{opt} = 13 \%$ a maximální obsah vody $W_{max} = 25 \%$. Maximální

obsah vody je velice závislý od toho zda je plyn před vstupem do spalovacího motoru zbaven vodní páry, která je v plynu obsažena. Odstranění vodní páry z vyrobeného dřevoplynu se provádí jeho ochlazením pod teplotu rosného bodu, kdy se z plynu vysráží vodní pára a plyn se současně zbavuje dehtu, který rovněž vlivem jeho ochlazení kondenzuje. [1]

4.8 Energetické využití dřevoplynu

Jak vyplývá z předcházejících kapitol, představuje kombinovaná výroba tepla a elektrické energie opatření docilující úspory vstupního paliva. Docílená energetická úspora paliva s sebou přináší současně i snížení emisí škodlivých látek o hodnotu, která odpovídá úspoře (nеспáleného) paliva. Z tohoto důvodu je problematice energetického využití dřevoplynu v kogeneračních jednotkách věnována značná pozornost jak v zahraničí, tak v tuzemsku. Například firma Nitsche v Rakousku vyrábí toto zařízení pod označením BIO Kleinkraftwerk. Jako primární zdroj energie je u tohoto zařízení možno použít hobliny, piliny, kůru a slámu. V plynovém generátoru se část použitého paliva spaluje, čím se získává tepelná energie potřebná pro vlastní proces zplyňování. Vyrobený plyn se po vyčištění a ochlazení používá pro pohon plynového spalovacího motoru, který pohání elektrický generátor. Obecné uspořádání kogenerační jednotky společně se zplyňovací soustavou znázorňuje obrázek č. 7.:

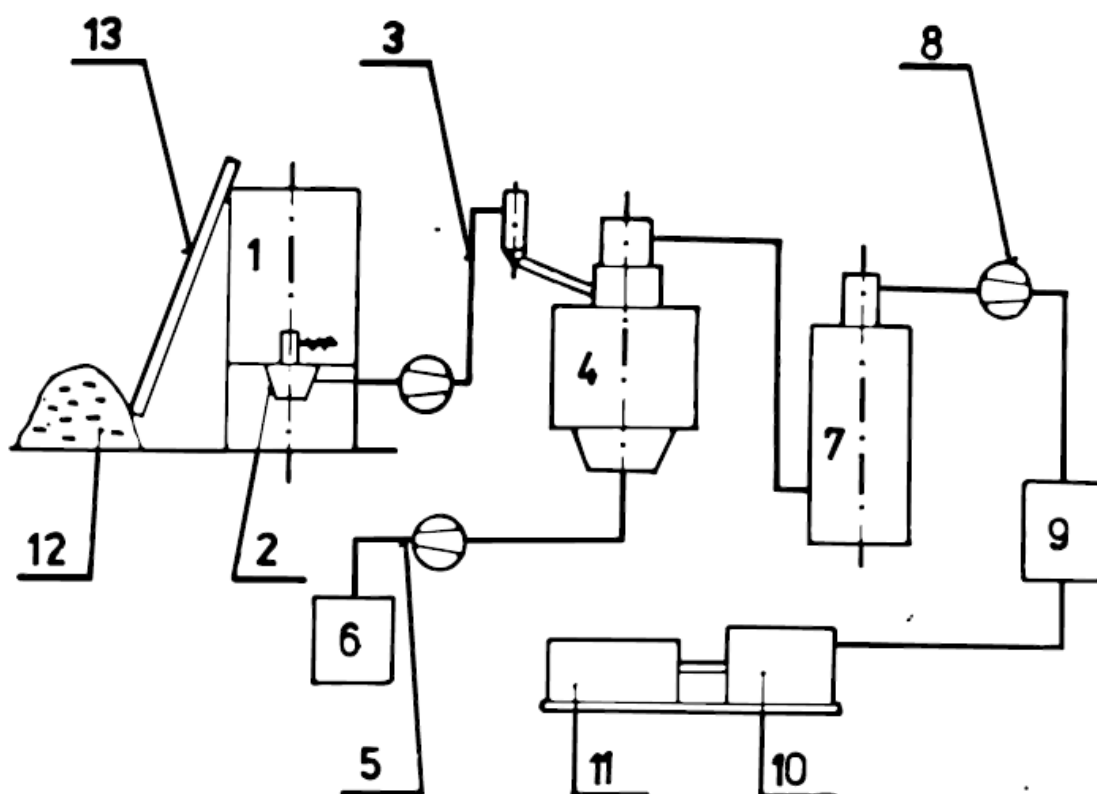
Zařízení se vyrábí v několika výkonových řadách, jak je patrné z tabulky 9. 1.

Tab.: Třídy produktů společnosti Nitsche

typ	el. výkon	tepelný výkon	spotřeba paliva	Obestavěný prostor
	kW	kW	m ³ /h	d x š x v /m/
ECU 0,25	250	278	1,25	10 x 10 x 5
ECU 0,5	500	556	2,5	10 x 15 x 5
ECU 1,0	1000	1112	5,0	12 x 15 x 5
ECU 2,0	2000	2224	10,0	15 x 20 x 5
ECU 4,0	4000	4444	20,0	20 x 20 x 5

Zdroj: [1]

Obr. 7.: Celkové uspořádání kogenerační jednotky společně se zplyňovací soustavou:



Zdroj: [1]

1. zásobník dřevního odpadu, 2. vyhrnovací šnekové zařízení, 3. doprava paliva do plynového generátoru, 4. plynový generátor, 5. doprava tuhých zbytků po zplyňování, 6. zásobník tuhých zbytků, 7. pračka vyrobeného plynu, 8. kompresor, 9. čistič plynu, 10. plynový motor, 11. elektrický generátor, 12. dřevní odpad ke zplyňování, 13. dopravník k plnění zásobníku.

V České republice bylo realizováno využití dřevoplynu v rámci demonstračního projektu v obci Moravská Nová Ves. K výrobě dřevoplynu je zde instalováno zařízení pod označením. Energoblok, který se skládá z následujících částí:

- otevřená mechanizovaná skládka na dřevní hmotu o objemu 20 m³
- transportní zařízení na dávkování paliva do plynového generátoru
- řízený plynový generátor, který mění výkon zplyňování dle odběru
- plynu
- vzduchový chladič surového plynu
- sestava suchých filtrů
- dopravní dmychadlo pro dopravu plynu ke spotřebičům
- řídicí a monitorovací systém celého zařízení.

Výrobcem a dodavatelem tohoto zařízení je firma MWG . Energy Brno. Dřevní odpad určený ke zplyňování je dopravován hrabicovým dopravníkem do násypky plynového generátoru. Z násypky pak padá dřevní hmota do generátoru v pravidelných cyklech. Vyrobený plyn je zbavován mechanických částic v cyklonovém odlučovači a dále pak pokračuje do trubkového chladiče, který je chlazen vzduchem. Ochlazený a předčištěný dřevoplyn je pak dále odsáván pomocí odstředivého dmyhadla do trojdílného suchého filtru, který je opatřen náplní z drčeného korku. Po těchto úpravách je dřevoplyn zaveden do rozvodného plynového potrubí.[1]

V případě, že je dřevoplyn využíván v kogenerační jednotce (motor + generátor) není nutno provozovat odstředivé dmychadlo. Sací účinek motoru pak sám zajistí potřebnou dopravu plynu k jeho pohonu. Zplyňovací zařízení poskytuje tepelný výkon cca 120 kW a průměrná výhřevnost vyrobeného dřevoplynu je 4,5 MJ/m³. Spotřeba dřevní hmoty o obsahu vody $W = 12.15\%$ činí cca 240 kg/h, což odpovídá produkci dřevoplynu cca 96 m³/h. Celkové uspořádání zplyňovacího zařízení je uvedeno na obrázku 9. 2. Při zplyňování 1 kg tvrdého dřeva, nebo 1,5 kg dřeva měkkého se vyvine cca 2,5 m³ dřevoplynu o výhřevnosti 4,5 MJ/m³. Pro snížení energetické náročnosti zplyňovacího zařízení

v důsledku vlastní spotřeby elektrické energie je možno použít i kusovou dřevní hmotu. Optimální velikost kusového dřeva je 50 x 50 x 100 mm. Při zplyňování kusového dřeva se sníží spotřeba elektrické energie oproti zplyňování štěpky, která je nejdříve drcena v odpovídajícím typu drtiče dřevní hmoty.[1]

5 Příklady kogeneračních elektráren v České republice

5.1 Elektrárna na spalování dřevní biomasy s využitím kogenerace – Čáslav

V roce 2009 společnost Less & Energy s.r.o. otevřela nedaleko Čáslavi první moderní elektrárnu spalující dřevní hmotu v České republice. Tato elektrárna dosahuje nejmodernější Evropské úrovně a paří mezi nejmodernější elektrárny svého typu na území Evropské unie. Tato kogenerační jednotka byla postavena v areálu dřevozpracujícího podniku Less & Timber, kde využívá jako palivo dřevní odpad vzniklý při zpracovávání dřeva. Celková výše investice se podle představitelů společnosti vyšplhala na celkových 1,8 miliardy Kč. O chod elektrárny se v současné době stará sedm lidí, společnost musela podle svých slov vytvořit vlastní know - how o chodu teplárny. Technologie této kogenerační jednotky pochází s Finska, v celé Evropě je instalováno zhruba 100 podobných. Získanou elektrickou energii společnost dodává do veřejné sítě, tepelná energie je využívána v sousední pile k vysoušení zpracovávaného dřeva. Ročně tato elektrárna spálí až 60 až 64 000 tun dřeva. Současný hodinový výkon se pohybuje okolo 20 megawattů. [9]

Na počátku čáslavského projektu holdingu LESS byla potřeba zdroje tepla, zajišťujícího sušení řeziva vyráběného v plánovaném novém dřevozpracujícím závodě. S postupným rozvojem záměru byl rozvíjen i návrh na stavbu zdroje pokrývajícího nejen dodávky tepla, ale schopného zároveň vyrábět i elektrickou energii.

Z možných řešení se nakonec jevila jako nejvýhodnější varianta kogenerační jednotky s kondenzační odběrovou turbínou. Nejen kvůli výkonovým parametrům, vysoké variabilitě v poměru vyráběné tepelné a elektrické energie, ale zejména kvůli

velmi vysoké efektivitě využití spalované biomasy. Parametry vybraného zařízení dosáhly následujících hodnot:

Kogenerační jednotka je vybavena parním kotlem o výkonu 18 MW/h , kde je vyráběna pára o teplotě 485°C a tlaku 63 barů, množství vyrobené páry je 21 tun/h. Parou je poháněna kondenzační turbína generátorem o maximálním svorkovém výkonu 5,5 MW/h.

-Výroba tepelné energie v rozsahu 0 – 10MW / h, topným médiem je horká voda 100°C

-Elektrická energie v rozsahu 5,5-4,3 MW /h, závisující na množství vyrobeného tepla.

Rozhodující pro správný provoz kogenerační jednotky je plynulé a rovnoměrné zásobování palivem. Padesátiprocentním dodavatelem paliva je sousedící dřevozpracující závod. Právě lokální dostupnost paliva a sousedství pily umožnily vytvořit vhodnou logistickou provázanost mezi oběma provozy, jež se výborně doplňují.

V současné době běží oba závody naplno a je možné porovnávat plánované ukazatele s běžným provozem. Tepelná energie je dodávána do sušáren řeziva, malé množství tepla je využíváno také na vytápění zázemí objektu pily a ohřev TUV. Veškerá vyrobená elektrická energie je dodávána do rozvodné sítě. Zkušenosti z prvního provozu, korekce na vstupní parametry.

Z prvních zkušeností lze jednoznačně říct, že většina očekávání je naplněna a příznivě vycházejí i hodnoty garantovaných parametrů. Kotel splňuje plánovaný stupeň účinnosti, který činí 88% v poměru vyrobené páry ke spotřebovanému palivu. V současné chvíli je zatím využívána jen malá část vyrobeného tepla, brzy však bude v rámci dřevozpracujícího závodu zprovozněna další část sušáren, čímž se zvýší objem využitého tepla a tím také efektivita celého provozu. Elektrickou energii dodávanou nyní do distribuční soustavy lze kdykoli okamžitě propojit přímo na zásobování dřevozpracujícího závodu.

Celý provoz kogenerační jednotky je plně automatizovaný. Systém kontrolních obchůzek je koncipován až na 72hodinovou periodicitu. Z hlediska tohoto parametru jde o první obdobné zařízení v ČR. V případě jakékoliv mimořádnosti dokáže řídicí systém kogenerační jednotku odstavit. Pro provoz je však mnohem efektivnější neustálá přítomnost vysoce kvalifikované obsluhy, která dokáže nejen zajistit údržbu,

ale zejména s předstihem řešit různé neočekávané provozní situace. Jejím včasným zásahem dosahujeme co nejefektivnějšího provozu.

Kromě vysoce kvalifikovaného řízení má rozhodující vliv na výkonnost zařízení zejména kvalita paliva. Základní zásadou je proto nutné striktně dodržovat jeho kvalitu a homogenitu. Oba parametry – kvalifikovaná obsluha a kvalitní palivo – se odrážejí na výkonu i na spolehlivosti a případném opotřebením jednotlivých částí zařízení.

V Čáslavi se podařilo postavit vzájemně provázaný areál dřevozpracujícího závodu a kogenerační jednotky. Pila produkuje značnou část paliva a kogenerační jednotka dodává teplo, které je ihned v areálu spotřebováváno. Výnosy z prodeje elektrické energie dodávané do distribuční soustavy jsou důležité pro efektivitu celého projektu.

Provoz kogenerační jednotky v Čáslavi potvrdil plný soulad s plánovaným záměrem. Zároveň se celý komplex stává vzorem pro moderní, vysoce efektivní energetické zařízení, které současně splňuje ekologické požadavky. Právě z pohledu využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie jde o vzorový případ ukazující správný směr v energetice. [11]

6 Závěr

Kogenerační využití dřevní hmoty v České republice má rostoucí trend a především v posledních letech se objevují nové technologie, které jsou v zahraničí již běžné. Krásně je tento trend vidět na portfoliu uvedené společnosti LESS s.r.o., která vlastní v holdingu lesy, dřevozpracující pilu a kogenerační jednotku na spalování odpadů vzniklých činnostmi se dřevem, přičemž vyprodukované teplo a energie je použito pro další činnost společnosti (v případě elektřiny jde o prodej do veřejné sítě).

Budoucnost kogenerace z dřevní hmoty je především v malých, lokálních decentralizovaných zdrojích, je ovšem potřeba snížení ceny mikrokogenerační technologie, aby se tím pádem stala atraktivnější pro malé koncové uživatele. O této technologii rozhodně v budoucnosti hodně uslyšíme.

7 Seznam použité literatury

- [1] Trnkobradský Karel a kol. Souhrnné podklady pro využití obnovitelných zdrojů energie pro energetickou koncepci regionů, měst a obcí, [Online]. Dostupné z: www.mpo-efekt.cz/dokument/008087.pdf
- [2] Ing. Křenek Vladimír.: Energetické využití a zneškodňování odpadu, ZČU, 2000
- [3] PASTOREK, Z. et al., Biomasa – obnovitelný zdroj energie Praha: FCC PUBLIC, 2004. 288s. ISBN 80-86534-06-5
- [4] Pavel Noskievič a kolektiv, Biomasa a její energetické využití, 68 stran, 1996,ISBN: 80-7078-367-2
- [5] Jaleček Josef, České sdružení pro kombinovanou výrobu energie a tepla, [cit. 20-03-10] [Online]. Dostupné z: www.cogen.cz/download/2/38/Kogeneracni-listy_1.pdf
- [6] Sdružení fytotechniky ISOZE, Obnovitelné zdroje v České republice,[cit. 1-04-10] [Online] Dostupné z: <http://www.vukoz.cz/vuoz/biomass.nsf/pages/oze.html>
- [7] TTS Kotle na biomasu, kolektiv, [cit. 15-04-10][Online], Dostupné z: <http://www.tts.cz/kotle-na-biomasu/orc.php>
- [8] TSS Kotle na biomasu, Virtualizace a video,[cit. 19-04-10] [Online] Dostupné z: <http://www.tts.cz/kotle-na-biomasu/kotel-vesko-b.php#video>
- [9] České noviny.cz [Online] 17. 02. 2010 [cit. 20-04-10] Dostupné z: <http://regiony.impuls.cz/stredocesky-kraj/zpravy/elektrarna-na-biomasu-holdingu-less-uz-jede-na-plny-provoz/436775>
- [10] ČTK, iRegiony.cz [Online] 02. 04. 2010 [cit. 21-04-10] Dostupné z: http://regiony.impuls.cz/tema/zpravy/zluticka-teplarna-na-biomasu-bude-uzivat-jako-palivo-sloni-travu/457957&id_seznam=391
- [11] Kučera Jiří, [Online] 6. 10. 2009 [cit. 20-04-10] Dostupné z: <http://stavitel.ihned.cz/c1-38503060-biomas-a-z-lesa-vyrabi-elektrinu-a-teplo>
- [12] Kára, J., Pastorek, Z., Hutla, P., Využití organických odpadů ze zemědělské výroby a venkovských sídel. Sběr, třídění a využití organických odpadů. Zařízení pro termické zpracování organických odpadů. VÚZT v. v. i., 2008, ISBN 978-80-86884-40-0

8 Seznam použitých tabulek

Tabulka č. 1.: Rozloha zemědělské a lesní půdy v ČR – Zdroj: [1]

Tabulka č. 2.: Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR – Zdroj: [1]

Tabulka č. 3.: Produkce CO₂ z 1t dřevních odpadů vzhledem k procentuální vlhkosti paliva – Zdroj: [1]

Tabulka č. 4.: Chemické složení hořlaviny dřevní hmoty – Zdroj: [1]

Tabulka č. 5.: Třídy produktů společnosti Nitsche – Zdroj: [1]