Souhrnné podklady pro využití obnovitelných zdrojů energie pro energetickou koncepci regionů, měst a obcí

Doc.Ing.Karel Trnobranský, CSc.
Marie Valentová
René Dufour

1. Úvod

Účelem zpracování předkládaného produktu je poskytnout v rámci České energetické agentury střediskům EKIS a odpovědným pracovníkům regionů, měst a obcí souhrnné podkladové materiály o obnovitelných zdrojích energie.

Obnovitelným zdrojům energie je věnována jak celosvětová pozornost, tak zvýšená pozornost v České republice v rámci Energetického programu ČR. Uvedený program v ČR uvažuje s tím, že do roku 2010 vzroste využití obnovitelných zdrojů energie na cca 6 % . V současné době představuje využití obnovitelných zdrojů energie cca 1,5 %.

Při zpracování energetických koncepcí regionů, měst a obcí se vždy vyskytuje alternativa využití obnovitelných zdrojů energie. Pro obnovitelné zdroje energie platí definice, že obnovitelný zdroj energie je takový zdroj, který je ve své podstatě nevyčerpatelný a jeho obnova je spojena s běžnou činností lidstva a umožňuje využívání trvale probíhajících přírodních dějů.

Předkládaný produkt je zaměřen především na využívání těch druhů obnovitelných a alternativních druhů energie, které lze realizovat především v podmínkách naší republiky.

Konkrétně se jedná o využití :

- biomasy
- sluneční energie
- energie větru.

Za primární obnovitelné zdroje, které představují téměř neustálý tok energie, je možno považovat energii sluneční a z jejího působení odvozenou energii větru, vodní energii, energii rostlinnou, energii moří a energii geotermální.

V celosvětovém měřítku představují obnovitelné zdroje energie významný energetický potenciál, který je navíc ekologicky čistý.

Význam obnovitelného (alternativního) zdroje energie poroste se zvyšujícími se cenami standardních druhů paliv a elektrické energie.

Mimo ceny paliv je však nutno mít na zřeteli i snižování ekologické zátěže lokalit, které využívají obnovitelných (a druhotných) zdrojů energie.

Z výčtu, který je uveden v seznamu obnovitelných zdrojů energie se jedná o využití :
sluneční energie, vodní energie a energie větru, kdy se v žádném případě nemůže jednat o negativní vliv na životní prostředí vlivem škodlivých emisí. Uvedený zdroj energie není zatížen doprovodným znečišťováním životního prostředí. Jeho praktické použití bude pouze souviset s reálnými podmínkami využití těchto energetických zdrojů a to jak z pohledu podmínek klimatických, tak podmínek ekonomických.

Jejich vhodnost pro reálné využití je nutno ověřit energetickou bilancí a současně i ekonomickým hodnocením realizace projektu. Bez těchto nezbytných rozborů není možno zodpovědně a jednoznačně rozhodnout o výhodnosti vynaložených investičních prostředků a době jejich návratnosti.

Uvedenou problematiku a někdy i dilema ve způsobu vhodného řešení této problematiky může objasnit zpracování energetického auditu, který se zabývá problematikou podrobně nejen po stránce energetické, ale zahrnuje i řešení různých realizačních variant a celkové ekonomické hodnocení zamýšleného projektu.
Bez zpracování energetického auditu, který ve svých závěrech uvádí výši dosažitelných energetických úspor a reálnou dobu návratnosti vynaložených investičních prostředků je lepší s realizací projektu posečkat.

Teprve na základě výsledků uvedeného energetického auditu je možno zodpovědně přistoupit k realizaci projektu a to na základě zvažovaných energetických a cenových bilancí, zvažovaných variant řešení a celkového ekonomického vyhodnocení ve formě reálné doby návratnosti vynaložených investičních prostředků.

Na základě uvedených a ověřených skutečností bychom rádi investora varovali před „ *zdánlivě vynikajícím projektem „ ,* který nebyl potvrzen závěry energetického auditu. Proto je vždy nutno počkat na výsledky celkového zhodnocení projektu, aby zbytečně nedošlo k nadměrnému „optimizmu“ , nebo „ pesimizmu „ jeho realizace.
Při použití obnovitelných zdrojů energie je rovněž nezbytné provést jejich bilanci, aby se ověřilo, že v dané lokalitě bude dostatečné množství vstupující energie pro realizaci projektu.

Autoři produktu .

2. Využití obnovitelného zdroje ve formě biomasy

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.

S ohledem na rozlohu zemědělské a lesní půdy, ve vztahu k celkové rozloze naší republiky (viz tabulka 2.1), vyplývá význam možného využití biomasy v ČR a to především ve formě dřevní hmoty.

Tabulka 2.1

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 %)

Při zpracování dřevní hmoty se stává určitý podíl této hmoty dřevním odpadem. Pochopitelnou snahou je snížit tento podíl na minimum pomocí lepších technologických postupů a dále pak využitím odpadů k dalšímu zpracování. V současné době se z dřevních odpadů vyrábí například brikety, dřevodesky apod. I přes veškerou snahu však zůstává část dřevní hmoty ve formě ztv. „*nezpracovatelných dřevních odpadů* „ , které je možno využívat jako palivo pro energetické účely.

Dále pak přistupují pro energetické využití v našich podmínkách další odpady, které pak představují následující celkové využití biomasy :

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

Základní zdroje energeticky využitelné biomasy jsou v podmínkách ČR cca následující (viz tabulka 2.2).

Tabulka 2.2 Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR

biopalivo	mil. t
odpadní a palivové dřevo	1,7
obilní a řepková sláma	2,7
rychlerostoucí dřeviny a ener.plodiny	1,0
spalitelný odpad z průmyslové výroby	1,0
C E L K E M	**6,4**

K uvedené bilanci biopaliv je nutno připočíst roční produkci bionafty ve výši cca 120 tisíc tun a bioplyn v roční produkci cca 22 milionů m^3.

Energetické využití biomasy sebou přináší nesporné výhody a to :

- nižší negativní dopad na životní prostředí vlivem emisí
- zdroj energie má obnovitelný charakter
- jde o tuzemský zdroj, který poskytuje další pracovní příležitosti.

Z ekologického pohledu má rozšíření produkce energetických dřevin vliv na zpomalování růstu koncentrace CO_2 v ovzduší vlivem přirozené asimilace rostlin. Nárůst přebytku zemědělské půdy se postupně stává celosvětovým problémem a proto je možno uvažovat s pěstováním energetických plodin.

Pro energetické účely je možno použít i tak zvané netradiční energetické plodiny. Jedná se o různé druhy travin jako je například „deltská“ či „sloní tráva“. Tyto traviny dosahují výšky až 7 m. Výhřevnost sušiny těchto travin je cca 18,5 MJ/kg, což je výhřevnost srovnatelná se sušinou dřevní hmoty.
V podmínkách Evropy je možno uvažovat s produkcí sušiny těchto travin cca 35 t/ha za rok. Proto se tyto traviny stávají velice perspektivní energetickou plodinou.

Vzhledem k tomu, že nejvíce využívanou biomasou pro energetické účely jsou dřevní odpady, je pro tento druh paliva provedena i bilance CO_2, který představuje plynnou emisi při průběhu spalování. Mimo skutečnost, že se jedná o obnovitelný zdroj energie je nutno dále upřednostnit i to, že energetické využití dřevní hmoty představuje palivo, které je bilančně neutrální s ohledem na emisi $C0_2$. Z vyvážené bilance vyplývá závěr, že využití biomasy pro energetické účely se nepříznivě nepodílí na vytváření skleníkového efektu.

Při spálení 1 tuny dřevní hmoty je spotřeba kyslíku 1,2 t a emise $C0_2$ 1,6 tuny.

Pro vzrůst 1 tuny dřevní hmoty na ploše cca 0,2 ha se rovněž spotřebuje 1,6 tuny CO_2 a tak se stává jeho bilance vůči spalování neutrální a vyrovnaná.

V závislosti na obsahu vody v dřevní hmotě / W % / je emise CO_2 při spálení 1 tuny této hmoty následující dle tabulky č.2.2.1.

Tabulka č. 2.2.1 Produkce CO_2 z 1 t dřevních odpadů

W / % /	CO_2 (kg/t)
10	1654
20	1562
30	1286

2.1 Vyjadřování obsahu vody v dřevní hmotě

V dřevozpracujícím průmyslu se obsah vody vztahuje k suchému vzorku. To znamená, že při hmotnosti vody 0,5 kg v 1 kg původního vzorku je v tomto případě vlhkost (dřevařská Wd) při hmotnosti vysušeného vzorku 0,5 kg :

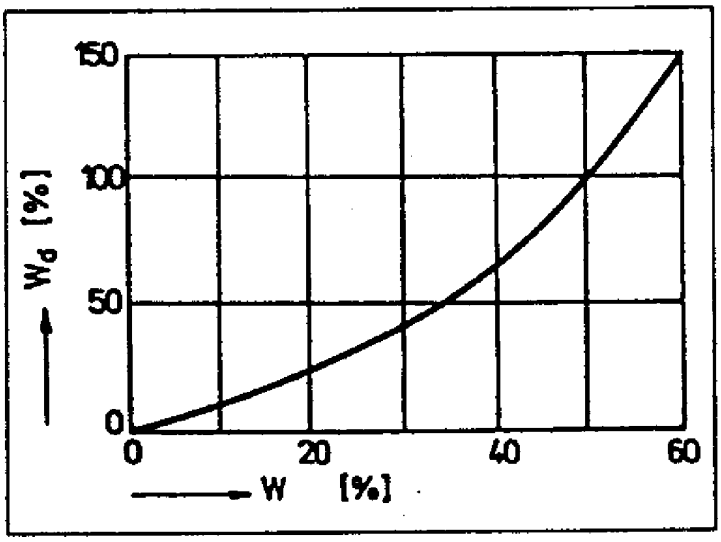
$$W_d = \frac{0,5}{0,5} \cdot 100 = 100\ \%.$$

V energetické praxi se však vztahuje obsah vody k původnímu vzorku. Při hmotnosti vody 0,5 kg v 1 kg původním vzorku bude energetická vlhkost:

$$W = \frac{0,5}{1,0} \cdot 100 = 50\ \%.$$

Tato rozdílnost ve vyjadřování vlhkosti paliva může vést při zpracování energetického auditu k velkým nesrovnalostem ve výhřevnosti paliva, měrné hmotnosti atd. Z tohoto důvodu na tuto skutečnost upozorňujeme hned v úvodu.

Vzájemné porovnání obou uváděných vlhkostí paliva je možno provést dle obrázku č.2.1.



Obr.č.2.1 Vzájemné porovnání energetického a dřevařského vyjadřování obsahu vody

V dalším textu budeme používat energetický způsob vyjadřování vlhkosti paliva W , pokud nebude výslovně uvedeno, že se jedná o jiný způsob.

Obsah vody se v dřevní hmotě a biomase všeobecně, pohybuje v širokém rozsahu. Konkrétně u dřevní hmoty se jedná o W = 8 % až 60 % . Nízká vlhkost se vyskytuje u dřevní hmoty, která prošla procesem umělého sušení řeziva. Hodnota 60 % pak odpovídá čerstvé vlhké kůře a čerstvé lesní štěpce.

V závislosti na vlhkosti se pak mění i výhřevnost paliva a další související hodnoty tepelné a hmotnostní bilance. Obdobně jako u běžných druhů paliv jsou u dřevních odpadů a biomasy ukazatelem kvality paliva následující hodnoty :

- vlhkost paliva
- chemické složení hořlaviny paliva
- obsah popelovin v palivu
- obsah prchavé hořlaviny
- výhřevnost paliva .

V porovnání například s hnědým uhlím je u dřevních odpadů podstatně větší rozsah vlhkosti paliva. U hnědého uhlí se jedná např.o vlhkost v rozmezí 25 – 30 %. Zvýšený obsah vody v dřevní hmotě bude klást zvýšené nároky na vhodnou konstrukci spalovacího zařízení a kotle. Se sníženou výhřevností paliva se zvýší potřebná hmotnost spalovaného paliva pro daný výkon kotle, tím se zvýší nároky na dopravu paliva do kotle, poklesne teplota nechlazeného plamene atd.

S ohledem na uvedené skutečnosti se proto spalovací zařízení na dřevní odpad dělí na dvě základní skupiny a to :

- spalovací zařízení na suchý dřevní odpad do W = 30 %
- spalovací zařízení na vlhký dřevní odpad do W = 55 % .

Konstrukce spalovacího zařízení se liší především v tom, že při spalování vlhkého paliva je nutno použít ohniště s keramickou vyzdívkou, která zajistí lepší podmínky pro dokonalé spalování paliva s ohledem na teplotu plamene a tím i koncentraci emisí škodlivých látek ve spalinách za kotlem .

Maximální vlhkost spalované dřevní hmoty je limitována požadavkem, aby teplota nechlazeného plamene ve spalovací komoře byla min. 900 ^{o}C s ohledem na zachování směru průběhu chemických reakcí. Tento požadavek je z toho důvodu, že při podkročení teploty 900 ^{o}C dochází při nevyhořené plynné složce paliva k reakci :

$$2\,CO \longrightarrow CO_2 + C \quad (\text{uhlík ve formě sazí}).$$

Tato skutečnost však představuje nežádoucí jev , kterému chceme vhodnou konstrukcí a provozních podmínek zabránit.

Pro hodnotu součinitele přebytku spalovacího vzduchu alfa = 1,5 a teplotu spalovacího vzduchu 20 ^{o}C pak vychází teplota nechlazeného plamene právě 900 ^{o}C při vlhkosti paliva W = 55 %.

Pokud by byla překročena uvedená limitní vlhkost paliva, bylo by nutno z provozního hlediska přikročit ke stabilizaci spalovacího procesu pomocí přídavného paliva, aby se eliminoval uvedený nepříznivý vliv.

2.2 Chemické složení hořlaviny paliva

Chemické složení hořlaviny různých druhů dřevní hmoty je uvedeno v tabulce 2.3. Pro možnost porovnání je v tabulce uvedeno i složení běžného hnědého uhlí a obsah popelovin v sušině A_s. Jak je z této tabulky patrno, je prvkové složení různých druhů dřevní hmoty a kůry prakticky shodné. Vzhledem k tomu bude i výhřevnost různých druhů dřevní hmoty pro danou vlhkost W prakticky shodná. Z tohoto důvodu je nutno odstranit i běžný názor, že tvrdé dřevo má vyšší výhřevnost než dřevo měkké. Při vložení stejného objemu paliva se pouze jedná o rozdílnou hmotnost přivedeného druhu dřeva.

Tabulka 2.3 Chemické složení hořlaviny dřevní hmoty

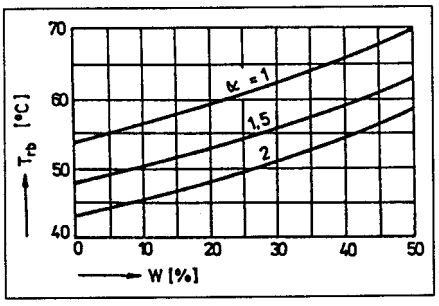
Složka %	dřevo			Kůra	Hnědé uhlí
	Jehličnaté	listnaté	smíšené		
C	51,0	50,0	50,5	51,4	69,5
H	6,2	6,15	6,2	6,1	5,5
O	42,2	43,25	42,7	42,2	23,0
S	--	--	--	--	1,0
N	0,6	0,6	0,6	0,3	1,0
A_s	1,0	1,0	1,0	2,3 – 5,0	25,0

Z uvedené tabulky je patrno, že při spalování dřevní hmoty prakticky nevzniká žádná emise SO_2 a obsah popelovin a dusíku je velmi nízký např. v porovnání s hnědým uhlím. Z tohoto důvodu jsou i emise NO_x při spalování dřevní hmoty na příznivě nízké koncentraci .

Pokud při spalování paliva nevzniká plynná emise SO_2 je teplota rosného bodu spalin pouze funkcí vlhkosti spalovaného paliva a hodnoty součinitele přebytku spalovacího vzduchu alfa. Výše teploty rosného bodu spalin pak ovlivňuje tepelnou účinnost kotle a to v důsledku tzv. *komínové ztráty.* Při spalování dřevní hmoty je teplota rosného bodu spalin poměrné nízká a to cca 60 ^oC, což pro porovnání s hnědým uhlím představuje snížení teploty rosného bodu minimálně o 50 %.

Průběh teploty rosného bodu spalin pro spalování dřevní hmoty ,v závislosti na vlhkosti W a součiniteli přebytku spalovacího vzduchu alfa, je uveden na obrázku č.2.2 .

Obrázek č.2.2 Teplota rosného bodu spalin při spalování dřevní hmoty



Z obrázku č.2.2 je patrno, že teplota rosného bodu spalin leží v oblasti poměrně nízkých teplot, které odpovídají cca spalování zemního plynu. Při dostatečném ochlazení spalin vystupujících z kotle je možno docílit i vyšší tepelnou účinnost kotle.

Složení další nejpoužívanější biomasy a to slámy je uvedeno v tabulce 2.4 . Výhledově se uvažuje o využívání celé obilní hmoty a to jak slámy, tak slámy se zrnem, jejíž přebytky v zemědělské výrobě se projevují v nabídkách i na palivovém trhu. Především se jedná jak o slámu obilovin tak i olejnin (řepka). Dále k nim možno zařadit i produkty označované jako nežádoucí plevele a to křídlatku, ale i nově zaváděné seté konopí.

Obsah vody se v době růstu pohybuje na hodnotě W = 80 %, která postupně klesá. V době zrání se již jedná o vlhkost 50 % a v době sklizně cca 20 %. Při dalším skladování poklesne vlhkost až na hodnotu cca 5 %.

Sláma je pro další využití lisována do balíků, nebo kvádrů. V závislosti na hodnotě použitého lisovacího tlaku se jedná o měrnou hmotnost v rozmezí 60 až 150 kg/m^3 . Obří balíky slámy dosahují hmotnosti až 500 kg/ks. Ze slámy se rovněž lisují brikety a peletky obdobně jako z dřevních odpadů (pilin a drcené kůry). Toto komerční provedení pak umožňuje použití tohoto druhu paliva i v domácnostech.

Tabulka 2.4 Základní chemické složení slámy

Složka	Jednotka	sláma obilní	sláma řepková
C	%	47,0	46,0
O_2	%	38,0	40,0
H	%	5,6	5,0
N	%	0,4	0,2
S	%	0,1	0,2
Cl	%	0,1	0,1
popel	%	3,8	3,7
voda	%	5,0	4,8
výhřevnost	MJ/kg	14,0	14,6
prchavá hořlavina	%	80	78

Jak je patrno z chemického složení nejpoužívanějších biopaliv, to je dřevní hmoty a slámy, mají tato paliva vysoký obsah prchavé hořlaviny. Tato prchavá hořlavina se z paliva uvolňuje ve formě plynů při jeho zahřátí na teplotu cca 160 ^{o}C.

Pro dokonalé vyhoření prchavé hořlaviny je nutno zajistit její optimální mísení se spalovacím vzduchem. Proto se celkový spalovací vzduch dělí na primární (přiváděný pod rošt) a sekundární vzduch (přiváděný nad roštem do prostoru ohniště kotle). Někdy se používá ještě terciální spalovací vzduch.

Pro dobré podmínky mísení sekundárního spalovacího vzduchu s prchavou hořlavinou a plynnými složkami spalin je přiváděn spalovací vzduch do zúženého průřezu ohniště.

2.3 Snížení ekologické zátěže ovzduší energetickým využitím biomasy

Jak je patrno z chemického složení dřevní hmoty a slámy jedná se o následující snížení emisí oproti běžným pevným palivům a to :

SO_2	s ohledem na nulový, nebo velmi nízký obsah síry v palivu
NO_x	vzhledem k nižšímu obsahu dusíku v palivu
tuhé látky	pro podstatně nižší obsah popelovin v palivu.
CO_2	vyrovnaná bilance mezi jeho spotřebou pro růst biomasy a jeho produkcí při spalovacím procesu.

Při spalování uvedených paliv (dřevní hmota a sláma) prakticky nevzniká emise SO_2 . Z tohoto důvodu je pak možno reálně uvažovat s dobou tepelnou účinností kotlů při spalování těchto paliv. Je to umožněno tím, že teplota rosného bodu spalin je cca 70 ^{o}C, což u kotlů dovoluje snížit tepelnou ztrátu „citelným teplem odcházejících spalin „ (ztrátu komínovou) .

Dále je možno uvažovat i s využitím kondenzačního tepla spalin u zdrojů, které spalují dřevní odpad a slámu. Tato cesta by vedla k dalšímu zvýšení tepelné účinnosti zdrojů tepla.

Pro získání rámcového přehledu o konstrukci těchto tepelných zdrojů je dále v textu proveden jejich základní popis.

3. Druhy zařízení a jednotlivé komponenty

3.1 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.
- Dohořívací 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.

3.2 Spalování drobné dřevní hmoty

Pod pojmem drobná dřevní hmota máme na mysli piliny, lesní štěpku, drcenou kůru apod.

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 až 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 (podsuvným) 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

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.

3.3 Spalování slámy

V současné době je upřednostňována technologie spalování slámy, která používá přívod paliva do kotle po menších částech a ne v celých balících. Balík slámy je nejdříve rozdružován (nebo odřezáván) a toto palivo pak pokračuje do kotle.

Především se jedná o roštové kotle, které jsou dodávány v teplovodním, horkovodním i parním provedení. Tepelný výkon kotlů se opět běžně pohybuje cca do 10 MW.

3.4 Zplyňování dřevní hmoty

Využití dřevoplynu ze zplyňované dřevní hmoty dává reálnou možnost použití dřevních odpadů pro plynové kogenerační jednotky s plynovým motorem. Jako palivo lze použít drobné kusové odřezky ale i proschlou štěpku do maximálního obsahu vody W = 30 %. Výhřevnost dřevoplynu se pohybuje v rozmezí 5 – 6 MJ/m^3 .

Na plynový generátor navazuje chlazení plynu, hrubé a jemné čištění plynu. Od dokonalosti uvedené úpravy vyrobeného dřevoplynu je odvislá i provozní spolehlivost použité plynové kogenerační jednotky. Proto se plyn ochlazuje pod jeho rosný bod, aby se z plynu odstranila vodní pára a dehet. V souvislosti s touto úpravou dřevoplynu je nutno řešit i způsob likvidace vznikajících odpadních vod.

Zadehtování plynového motoru může způsobit, při jeho startu ze studeného stavu, vážná mechanická poškození.

Výfukové plyny z kogenerační jednotky je možno použít k předsoušení paliva určeného ke zplyňování.

Vyrobený a upravený dřevoplyn je možno použít i pro plynové kotle (po nutné úpravě hořáku), nebo pro plynové sálavé zářiče.

3.5 Základní komponenty kotlů

Základní komponenty kotlů lze v kostce shrnout do následujících částí :

a) Spalovací komora kotle
   - se spodním přívodem paliva
   - se šikmým pevným, nebo mechanickým roštem (někdy vodou chlazeným)
b) Vlastní těleso použitého typu kotle , které představuje potřebnou teplosměnnou plochu.
c) Přívod a rozdělení spalovacího vzduchu
   - vzduchový ventilátor primárního spalovacího vzduchu
   - vzduchový ventilátor sekundárního spalovacího vzduchu.
d) 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.
e) Spalinový ventilátor pro odtah spalin do komína.
f) Automatická regulace výkonu kotle a dopravy paliva.
g) Provozní zásobník paliva s návaznou dopravou paliva do kotle.

3.6 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. Rovněž je nutno provést zastřešení (případně i boční zakrytí skládky) proti povětrnostním vlivům.

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.

3.7 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 m^3/h, což již představuje pohon el. motoru o výkonu 90 kW.

4. Praktické ukázky technického řešení zařízení pro energetické využití biomasy.

V této kapitole bychom rádi uvedli přehled základního konkrétního technického řešení jednotlivých způsobů využití biomasy, které byly stručně popsány v předcházející části produktu.

4.1. Kotle na kusovou dřevní hmotu.

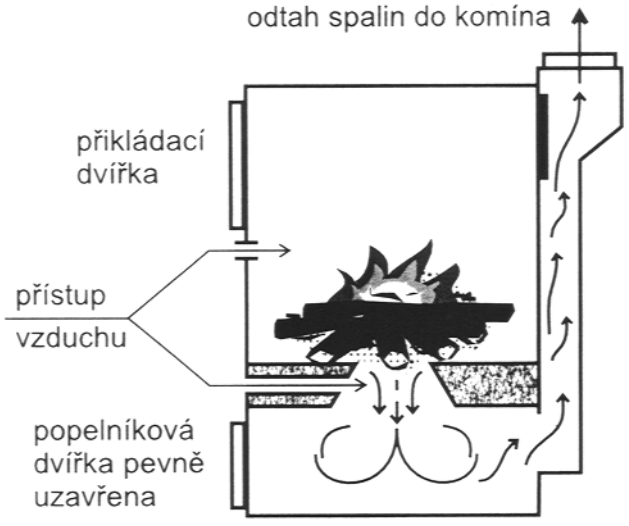
Tyto kotle s běžně vyrábí pouze v teplovodním provedení a to od 8 kW do 100 kW. S ohledem na jejich rozsah výkonu jsou tyto kotle vhodné pro ústřední vytápění rodinných domů až po kotle, které vytápí větší objekty.

Tepelná účinnost těchto kotlů se pohybuje v rozsahu 80 – 89 % v závislosti na tepelném zatížení kotle . Kotle je možno řídit pomocí elektronické regulace , kdy je kotel vybaven regulátorem s plynulou regulací výkonu ventilátoru podle nastavené teploty vody vystupující z kotle. Regulátor dále řeší problematiku náběhu kotle při zátopu a po přikládání paliva.

Garantované hodnoty kotle (tepelný výkon a tepelná účinnost) jsou platné pro spalování suchého kusového dřeva do maximálního obsahu vody W = 20 %.

Celkové provedení kotle je patrno z obrázku 4.1

Obrázek 4.1 Provedení kotle na spalování (zplyňování) kusového dřeva



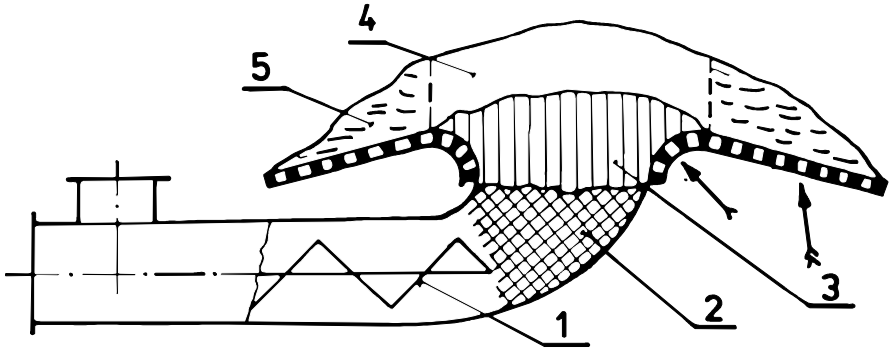
Přikládání paliva do těchto kotlů provádí obsluha ručně, což snižuje cenu kotle na cca 1000,- Kč/kW instalovaného tepelného výkonu kotle (včetně DPH). Tato cenová relace je srovnatelná s cenou teplovodních kotlů na zemní plyn, které jsou osazeny atmosferickými hořáky.

4.2 Kotle na spalování drobné dřevní hmoty

Tento druh kotlů se vyrábí v rozsahu tepelného výkonu cca 50 kW – 8 MW. Tyto kotle jsou využívány především v podnikatelské a průmyslové sféře, neboť drobný dřevní odpad není příliš vhodný pro použití v kategorii obyvatelstva.

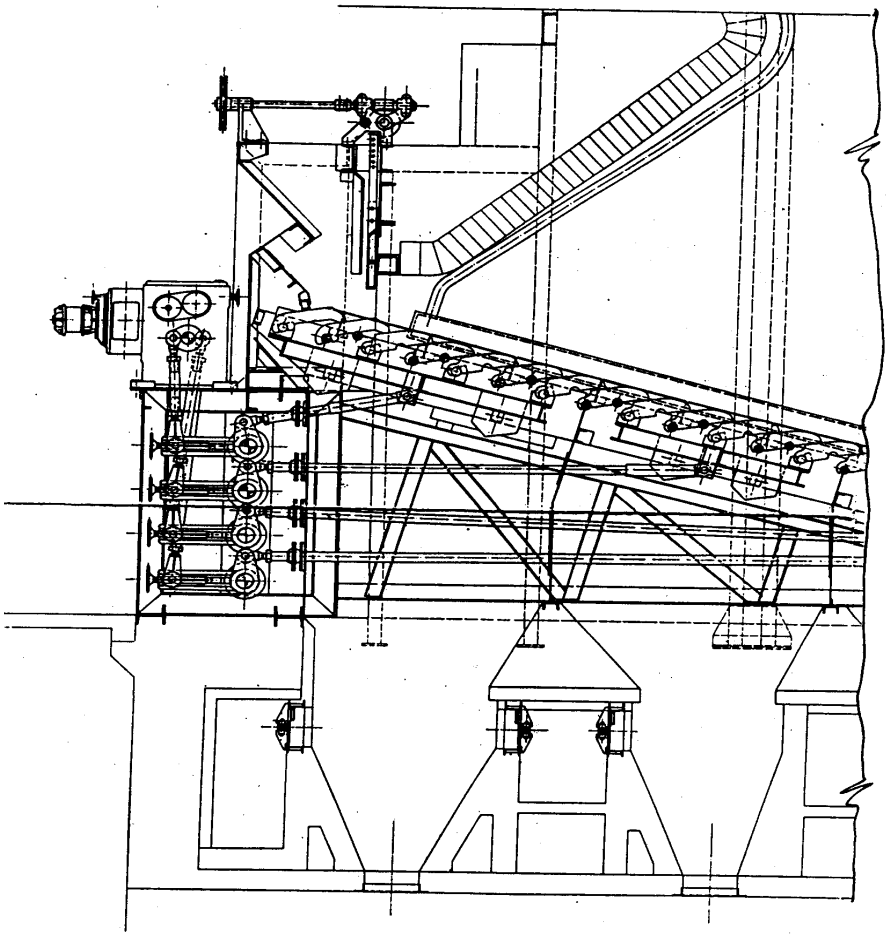
Kotle vyšších výkonů jsou dodávány jak v teplovodním, horkovodním tak i v parním provedení s přehřívákem páry. Kotle v zásadě používají dvou systémů spalovacího roštu a to rošt pro podsuvný přívod paliva (viz obrázek 4.2) , nebo rošt šikmý, který může být nepohyblivý nebo pohyblivý (viz obrázek 4.3).

Obrázek 4.2 Provedení kotle s podsuvným přívodem paliva



1 – přívod paliva, 2 – pásmo vysoušení, 3 – pásmo uvolňování prchavé hořlaviny, 4 – pásmo vyhořívání prchavé hořlaviny, 5 – pásmo vyhořívání koksového zbytku.

Obrázek 4.3 Provedení kotle se šikmým roštem



Obr. 95. Přesuvný rošt Seyboth s výky

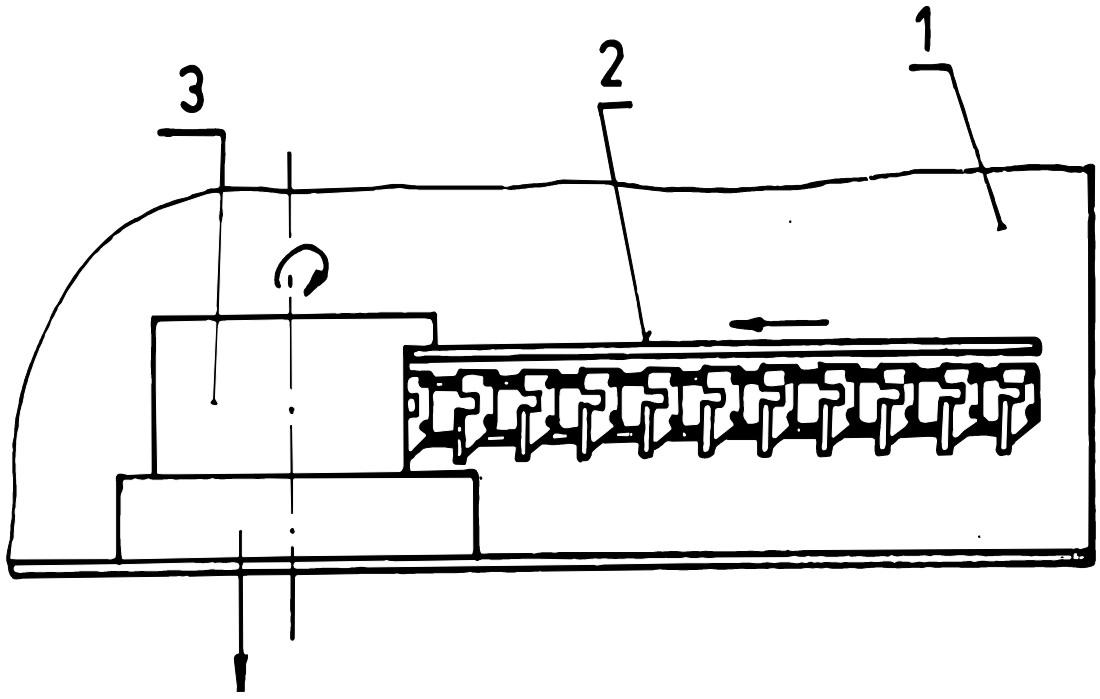
4.3 Doprava do kotle z centrálního zásobníku

Převážně se používají dva druhy centrálních zásobníků a to :

- kruhová „ Vítkovická „ sila, která jsou na dně opatřena vyhrnovací frézou, jejíž výkon vyhrnování je řízen variátorem, nebo frekvenčním měničem
- zásobník s hydraulickou vyhrnovací plošinou, který je řešen jak v nadzemním provedení, tak v provedení podpovrchového zásobníku.

Disposiční umístění vyhrnovací frézy na dně kruhového sila je patrno z obrázku 4.4 .

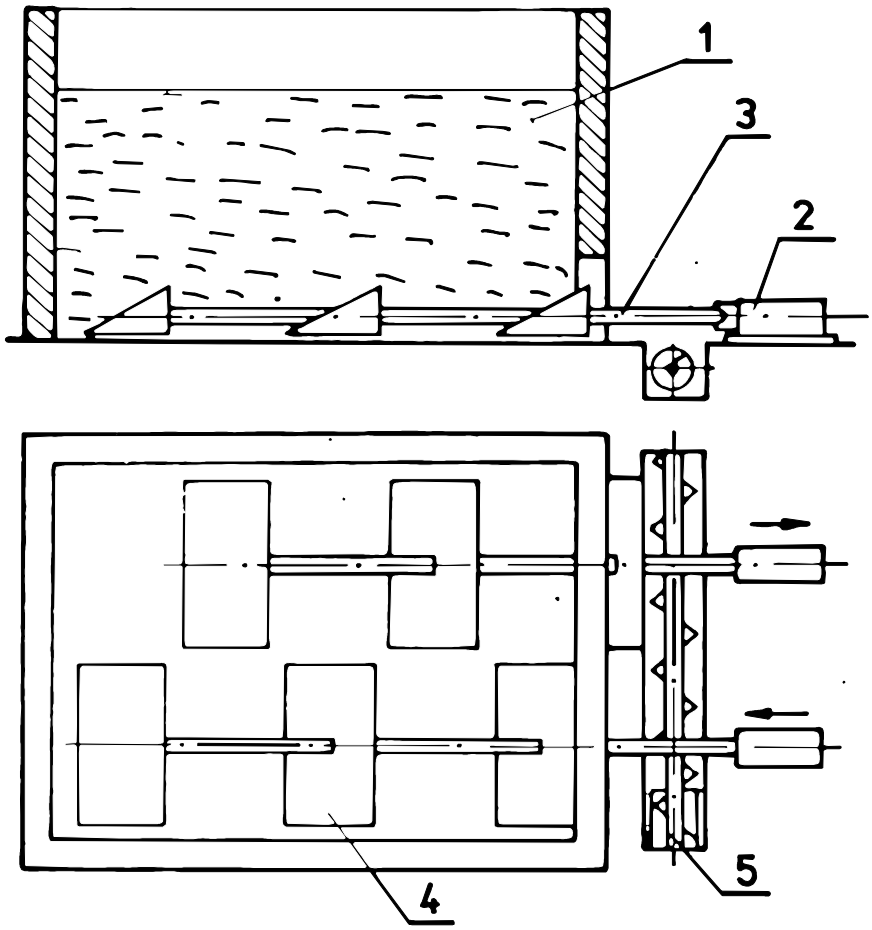
Obrázek 4.4 Umístění vyhrnovací frézy u kruhového sila



1 – kruhový zásobník paliva, 2 – vyhrnovací fréza, 3 – odvod vyhrnovaného paliva.

Provedení nadzemního zásobníku s hydraulickou vyhrnovací plošinou je uvedeno na obrázku 4.5 .

Obrázek 4.5 Nadzemní zásobník s vyhrnovací hydraulickou plošinou



1 – vrstva odpadů, 2 – hydraulický válec, 3 – vyhrnovací tyč, 4 – vyhrnovací hrablo, 5 – návazný šnekový nebo pásový dopravník

4.5 Kotle pro spalování slámy

V současné době se sláma při sklizni upravuje do balíků, které jsou lisovány při různém tlaku. Rovněž forma balíků je různá. Buď jsou ve formě válců, nebo hranatých balíků. Ze slámy se rovněž lisují brikety a peletky.

Hmotnost balíků slámy se závisí na lisovacím tlaku a rozměrech balíku. Měrná hmotnost balíků standard (vysokotlaké lisování) se pohybuje v rozmezí $\rho = 70$ až 120 kg/prm a hmotnost balíků je 8 – 25 kg/kus. Pro možnost porovnání uvádíme, že řezaná sláma má $\rho = 40 – 60$ kg/prm.

Obří balíky slámy mají $\rho = 60 – 120$ kg/prm a hmotnost :

- válcových balíků se pohybuje v rozmezí cca 300 – 400 kg/kus
- hranatých balíků se pohybuje cca 200 – 600 kg/kus.

Brikety a peletky vyrobené ze slámy mají $\rho = 300 – 600$ kg/prm.

Pro dobrý průběh spalovacího procesu (a současně dodržení emisních limitů) je nutno sladit poměr spalovaného paliva a potřebného spalovacího vzduchu. Z tohoto důvodu se docílí lepších spalovacích podmínek při kontinuálním přívodu paliva do kotle. Při jednorázovém přiložení celého balíku slámy je narušen poměr paliva a vzduchu, což vede ke zhoršení spalovacích poměrů a vzniku nárůstu emisí.

Konstrukce stávajících kotlů na slámu je proto řešena převážně následovně :

- balík slámy je rozdružován a následně řezán na jemnou frakci, která pak vstupuje do kotle
- balík slámy je mechanicky dělen na menší kusy, které jsou dopravovány do kotle
- balík slámy je postupně vtlačován do spalovací komory kotle – tak zvané cigárové odhořívání paliva.

Obrázek 4.6 podává přehled disposičního uspořádání a řešení kotle pro spalování rozdružené a nařezané slámy z balíků.

Balíky slámy obsluha pokládá na stůl rozdružovacího zařízení. Řetězových dopravníkem je sláma podávána do řezačky. Rozřezaná sláma se ventilátorem dopravuje do cyklonového odlučovače, kde dojde k odloučení transportního vzduchu. Sláma pak dále padá do turniketu a šnekovým dopravníkem je dopravována do spalovací komory kotle. Zapálení slámy v kotli je automatické pomocí elektrického zapalovacího systému.

Regulace výkonu kotle je prováděna změnou množství slámy přiváděné do spalovací komory kotle. Tuto změnu je možno provádět manuálně nebo automaticky dle volby nastavení na regulační skříni. Změna přívodu paliva je realizována změnou rychlosti posuvu dopravníku balíků slámy do rozdružovacího zařízení.

Výstup spalin z kotle je veden přes odlučovač popílku a spalinový ventilátor do komína. Popel ze spalovací komory kotle je vyhrnován šnekem do zásobníku, který je součástí dodávky zařízení.

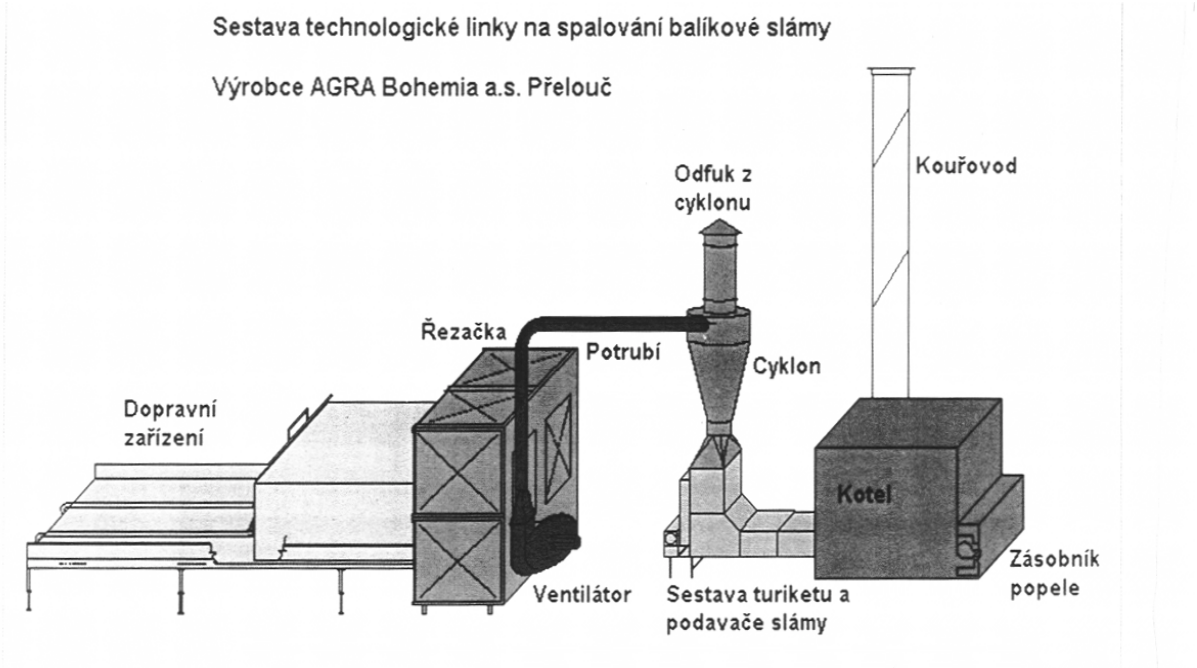
Zařízení uvedené na obrázku 4.6 je od tuzemského dodavatele a to :

- dodavatel stavby AGRA – Bohemia, a.s. , Přelouč
- dodavatel kotle Tractant Fabri , Kolín.

Jako zdroj tepla je použit teplovodní kotel na spalování obilní slámy do maximálního obsahu vody 30 % (vztaženo na sušinu). Maximální tepelný výkon kotle je 420 kW s parametry topného media 100/70 ^{o}C.

Vlastní kotel je ležatý, válcového provedení. Celé spalovací zařízení sestává ze šnekového dopravníku slámy do kotle, keramické vyzdívky plamence, hrablového roštu s pneumatickým pohonem , šnekového vyhrnovače popela, ventilátoru primárního spalovacího vzduchu a spalinového ventilátoru.

Obrázek 4.6 Sestava technologické linky na spalování slámy



Z ročního provozu zařízení dle obrázku 4.6 vyplynuly následující provozní údaje :

- množství tepla vyrobeného za rok 3 600 GJ
- množství spálených balíků slámy 1 500 kusů
- hmotnost balíku slámy cca 200 kg
- výhřevnost spalované slámy 15 MJ/kg
- tepelná účinnost kotle 80 %.

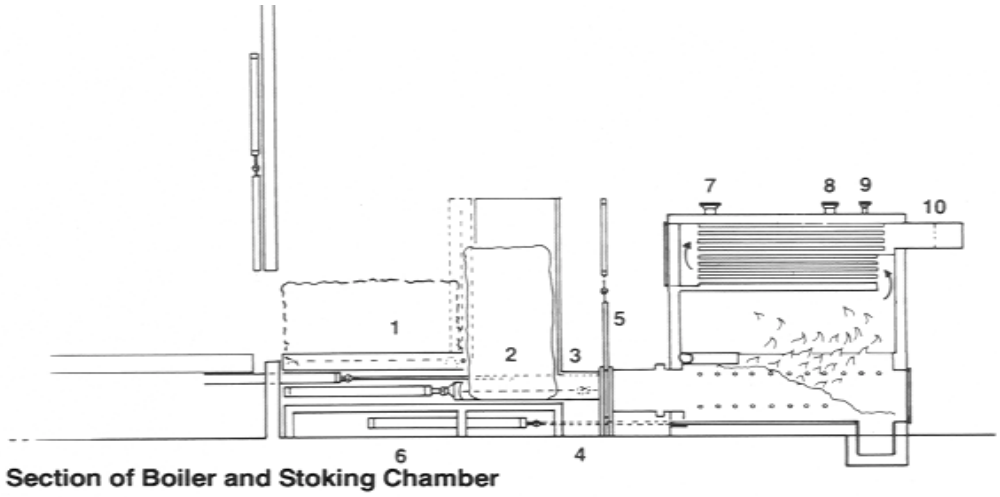
Další typ zařízení na spalování balíkové slámy, která je mechanicky dělena na menší kusy je od firmy LIN – KA Maskinfabrik, Dánsko. Vlastní kotel je od firmy Danstoker. Na obrázku 4.7 je přehled uspořádání zařízení referenčního kotle ve výtopně LOHALS v Dánsku. Na tuto výtopnu navazuje systém CZT, který zásobuje teplem lokalitu s cca 1000 obyvateli.

Výtopna je osazena plně automatickým kotlem na spalování slámy o jmenovitém tepelném výkonu 1,6 MW a dosažitelným špičkovým výkonem až 2,2 MW. Druhý kotel, který je ve výtopně instalován je na spalování oleje o jmenovitém tepelném výkonu 2 MW. Oba kotle jsou v horkovodním provedení.

Spalovací systém dodaný firmou LIN- KA se skládá ze dvou dopravníků slámy pro velké balíky typu Heston. Tyto dopravníky automaticky přemisťují balíky k řezačce, která balíky rozdělí na 6 až 10 plátků. Tyto plátky jsou pak pomocí hydraulického válce tlačeny jeden po druhém do kotle, rychlostí závisející na požadavku tepelného výkonu kotle.

Pro plynulý a spolehlivý provoz kotle na slámu je nezbytné, aby byla sláma suchá a homogenní. Obsah vody ve slámě se má proto pohybovat v rozmezí 10 až 15 %. Z tohoto důvodu byl u výtopny vybudován sklad slámy o rozměru cca 1500 m^2 . Velikost skládky je dimenzována tak, že postačuje pro zásobu slámy pro provoz kotle od srpna do února.

Obrázek 4.7 Kotel firmy LIN – KA ve výtopně LOHALS v Dánsku



1 – řezací nůž, 2 – zásoba paliva, 3 – zásobovací komora, 4 – odvod popelovin, 5 – vodou chlazená vrata, 6 – hydraulický válec, 7 – výstup media z kotle, 8 – vstup media do kotle, 9 - pojišťovací ventil, 10 – odvod spalin

Na uvedeném zařízení na spalování slámy ve výtopně Lohals bylo provedeno měření emisí s výsledky uvedenými v tabulce 4.1 .

Tabulka 4.1 výsledky měření emisí při spalování pšeničné a ovesné slámy

emise	jednotka	pšeničná sláma	Ovesná sláma
průtok spalin při 0°C	m^3/s	0,91	0,77
teplota spalin za kotlem °C	°C	110	115
obsah O_2	%	9,4	7,5
obsah CO při 10 % O_2	ppm	232	69
tuhé částice při 10 % O_2	mg/m^3	4,0	3,3

Pro dodržení emisního limitu koncentrace tuhých částic je kotel vybaven dvoustupňových čištěním. První stupeň představuje multicyklonový odlučovač a druhý stupeň textilní filtr. Této technologii pak odpovídají i velmi nízké koncentrace tuhých částic ve spalinách, jak je patrno z tabulky 4.1.

Vzhledem k tomu, že koncentrace emise CO ve spalinách je funkcí dokonalosti spalovacího procesu, to je mísení spalovacího vzduchu a produktů spalování je spalovací vzduch rozdělen na vzduch primární a sekundární. Za provozu je řízen přívod spalovacího vzduchu pomocí lambda sondy, která zajišťuje optimální přívod spalovacího vzduchu v závislosti na poměru paliva a vzduchu. Toto provedení zajišťuje dle měření (viz tabulka 4.1) koncentraci CO při 11 % obsahu kyslíku (referenční obsah kyslíku platný pro dané palivo v ČR) hodnotu CO = 232 mg/m^3 . Tato hodnota koncentrace leži dostatečně hluboko pod platným emisním limitem.

Rovněž emise SO_2 a NO_2 leží dostatečně nízko pod emisními limity. Obsah síry a dusíku v bezvodém vzorku slámy je velmi nízký (obdobně jako u dřevní hmoty) a to :

S = 0,1 % N = 0,7 % .

Z těchto důvodů je koncentrace uvedených škodlivin velmi nízká a dle měření provedených při spalování slámy v ČR pro referenční obsah kyslíku 11 % se pohybuje cca : SO_2 = 59 mg/m^3 a NO_2 = 360 mg/m^3.

Doprava balíků slámy ke kotli je řešena použitím ocelové konstrukce. Dopravu zajišťují ocelové posuvné řetězy v bezhlučném provedení. Pohon dopravníku je řešen převodovým motorem o výkonu 2,2 kW Dopravník je ukončen kompletním zvedacím stolem pro odběr balíků z dvouúrovňového pásu.

Do podávací komory je instalována sklápěcí deska vybavená řetězovým pohonem. Když je balík přisunut, je sklápěcí deska ve vodorovné poloze. Poté se uzavřou bezpečnostní dvířka a deska se obrátí do polohy svislé, čímž vytvoří se svislou stěnou zásobník slámy. Nahoře je zásobník vybaven zkrápěcí jednotkou, která je uvedena v činnost pokud se teplota nad zásobníkem zvýší na teplotu cca 50 ^oC. Poté je spuštěn alarm a otevře se vodní průtokový ventil.

Balík slámy stojí ve svislé poloze uvnitř zásobníku slámy. Nůž se odsune a balík propadne dolů. Jakmile balík pokročí kupředu ve vodorovné poloze, nůž odkrojí část balíku. Podávací válec pak přepraví kus balíku do spalovací trubice, podávací válec poté stlačí slámu ke dvířkům topeniště a tato dvířka se otevřou.

Zachycený popílek z odlučovačů a tuhé zbytky popelovin po spalování jsou dopravovány šnekovým dopravníkem do sběrného zásobníku.

5. Výroba a využití dřevoplynu pro energetické účely

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.

Chemické složení suchého dřevoplynu představuje cca následující složení :

H_2	7,85	%
CO_2	7,87	
O_2	2,86	
CO	24,65	
N_2	50,56	
CH_4	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 ^oC. 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.

6. Možnost využití kondenzačního tepla spalin při spalování dřevní hmoty

Jak již bylo dříve uvedeno je teplota rosného bodu spalin funkcí obsahu vody v dřevní hmotě a součiniteli přebytku spalovacího vzduchu α :

$$\mathbf{t_{rb} = f (W , \alpha)} \qquad / {}^{o}C /.$$

Při podkročení rosného bodu spalin začne docházet ke kondenzaci vodní páry, která je ve spalinách obsažena. Při kondenzaci určitého objemu vodní páry V^{k}_{H2O} z jejího celkové objemu V_{H2O} je poměr kondenzace definován :

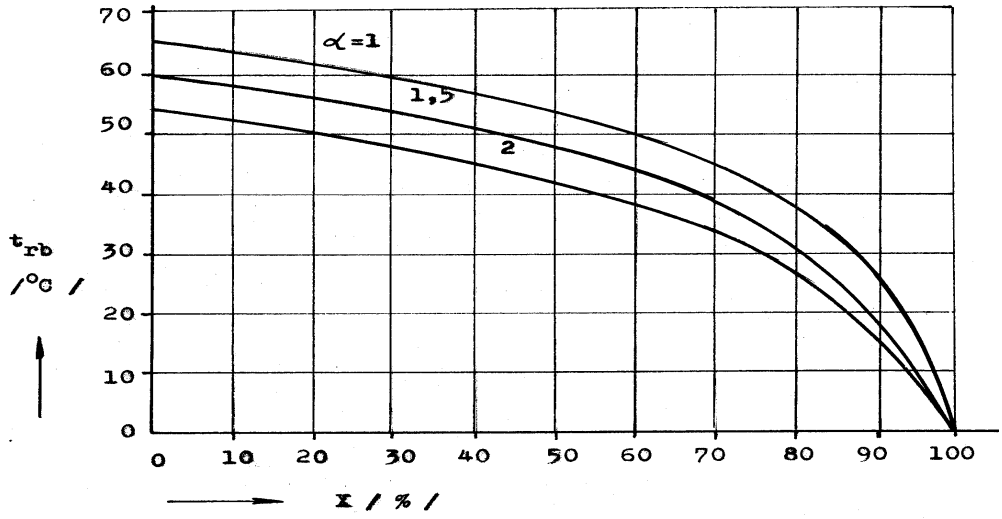
$$\mathbf{X = \frac{V^{k}_{H2O}}{V_{H2O}}} \qquad \mathbf{/ - /,}$$

kde X je součinitel podílu kondenzace a pohybuje se v rozmezí X = 0 až 1 . Při kondenzaci určitého podílu vodní páry (X) se změní objem vodní páry ve spalinách a tím i parciální tlak vodní páry dle vztahu :

$$p_{H2O} = \frac{V_{H2O} - V^{k}_{H2O}}{V_s - V^{k}_{H2O}} \quad p_c = \frac{V_{H2O} (1 - X)}{V_s - X . V_{H2O}} \; p_c \qquad / \text{MPa} /$$

Vlivem poklesu parciálního tlaku zbývající vodní páry ve spalinách poklesne i teplota rosného bodu spalin , spalovaného paliva při daném obsahu vody W a součiniteli přebytku spalovacího vzduchu α. V závislosti na stupni kondenzace ((X) je průběh teploty rosného bodu spalin patrný z obrázku 6.1 .

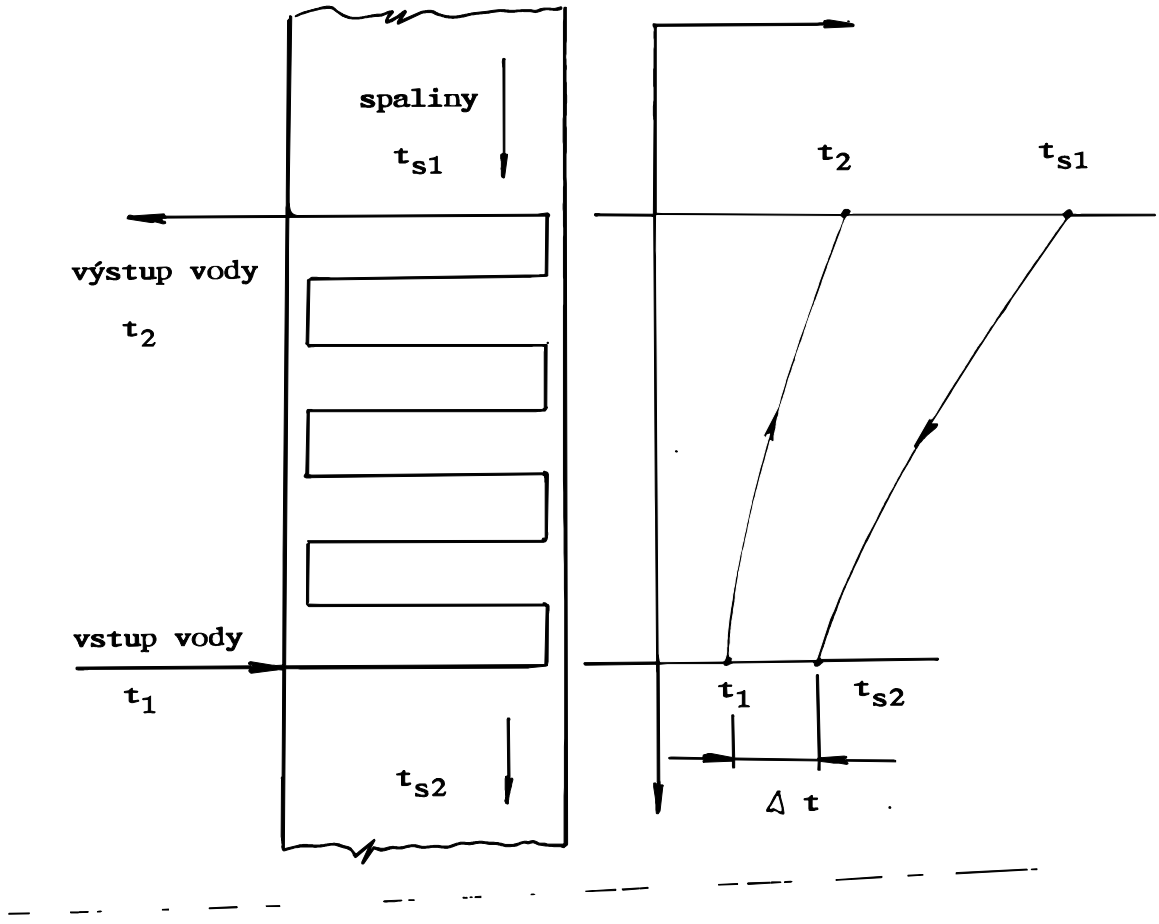
Obrázek 6.1 Průběh teploty rosného bodu spalin v závislosti na stupni kondenzace (X), součiniteli přebytku spalovacího vzduchu α pro dřevní hmotu s obsahem vody W = 40 %.



Z průběhu teploty rosného bodu spalin je patrno, že stupeň kondenzace X = 100 % je dosažitelný pouze při ochlazení spalin na 0 °C.

Stupeň využití kondenzačního tepla vodní páry ve spalinách bude záviset na stupni kondenzace (X). Pro X = 1 se bude jednat o teoreticky maximální stupeň využití a to 100 %. Vzhledem k tomu, že blokové schema využití kondenzačního tepla spalin (viz obrázek 6.2) zahrnuje i výměník tepla, je nutno uvažovat s teplotou pracovního media na vstupu do výměníku a nezbytným teplotovým spádem na výměníku Δ t / °C/ .

Obrázek 6.2 Blokové schema kondenzačního zařízení a průběh teplot spalin a pracovního media.



Pro běžné tepelné výměníky je nutno uvažovat alespoň s minimálním teplotovým spádem $\Delta t = 10\ ^{o}C$. Teplota spalin za výměníkem je pak dána vztahem :

$$t_{s2} = t_1 + \Delta t = t_1 + 10 \qquad / ^{o}C / .$$

Při použití vstupního media vody z vodovodního řádu je její průměrná roční teplota $t_1 = 7{,}5\ ^{o}C$ a tím vychází $t_{s2} = 17{,}5\ ^{o}C$. Této teplotě pak odpovídá dle

obrázku 6.2 provozní stupěň využití kondenzačního tepla spalin (X) pro součinitel přebytku spalovacího vzduchu $\alpha = 2,0$ … X = 88,66 % .

Ze stechiometrických výpočtů vychází pro dřevní odpad s obsahem vody W = 40 % a $\alpha = 2,0$ následující hodnoty, které jsou vztaženy na 1 kg paliva (viz tabulka 6.1).

Tabulka 6.1 Stechiometrické hodnoty pro spalování dřevní hmoty s W = 40 %

Dřevní odpad W = 40 %		m^3/kg
Spalovací vzduch pro $\alpha = 1$		
Min. objem suchého spalovacího vzduchu		2,79
Objem vodní páry ve vzduchu		0,044
Objem vlhkého spalovacího vzduchu		2,834
Spaliny pro $\alpha = 1$		
Složky spalin	CO_2	0,558
	N_2	2,18
	Ar	0,0256
Suché spaliny		2,764
Vodní pára ve spalinách		0,946
Objem vlhkých spalin		3,71
Spaliny pro $\alpha = 2,0$		
Celkový objem vodní páry ve spalinách		1,034
Celkový objem spalin		6,544
Entalpie spalin pro 150 °C		1347,8 kJ/kg
Entalpie spalin pro 25 °C		224,3 kJ/kg
Entalpie spalin pro 17,5 °C		157 kJ/kg

Při uvedeném využití kondenzačního tepla spalin se změní parametry kotle dle tabulky 6.2 .

Tabulka 6.2 Změna parametrů kotle při využití kondenzačního tepla spalin

Výkon kotle 100 kW		
Palivo : dřevní odpad	W = 40 %, α = 2,0	Q_n = 9,598 MJ/kg
Spotřeba paliva 0,0118 kg/s		
hodnota	**kotel bez kondenzace**	**kotel s kondenzací**
Teplota spalin za kotlem	150 ^oC	17,5 ^oC
Tepelná účinnost kotle	88,3 %	108,8 %
Užitečný tepelný výkon	100 kW	123,24 kW
Kondenzační výkon	--	23,24 kW
Součinitel kondenzace	--	90 %

Při využití kondenzačního tepla spalin vzroste tepelná účinnost nad 100 %, což je dáno tím, že tepelná účinnost kotle je definována vztahem:

$$\eta_k = \frac{Q_{už}}{M_p \cdot Q_n} \qquad / \text{-- /}$$

kde značí :

$Q_{už}$ užitečný tepelný výkon kotle / kW /
M_p hmotnost spalovaného paliva / kg/s /
Q_n výhřevnost paliva / kJ/kg /.

Vzhledem k tomu, že hodnota výhřevnosti paliva nezahrnuje kondenzaci vodní páry (ke které dochází u kondenzačního kotle) může tepelná účinnost kotle docílit hodnotu vyšší než 100 %.

Pokud by se pro výpočet tepelné účinnosti kotle použila místo výhřevnosti hodnota spalného tepla (zahrnuje kondenzaci vodní páry), bude tepelná účinnost kotle vždy menší než 100 %.

Pro využití kondenzačního tepla spalin je nutno provozně zajistit trvalý odběr tepla z kondenzačního výměníku. Jedině tak se docílí maximálního využití vynaložených investičních prostředků pro tuto realizaci.

S ohledem na dříve uvedenou teorii využití kondenzačního tepla spalin je optimálním způsobem řešení použít kondenzační teplo pro předehřev studené vody v systému přípravy TUV.

7. Energetické využití bioplynu

7.1 Vznik a vlastnosti bioplynu

Odpadní organické látky vznikají při potravinářské výrobě (jatka, mlékárny, lihovary) a dále pak v zemědělství, kde se jedná o rostlinné zbytky a odpady, tekutý hnůj z chovu prasat a skotu atd. Uvedené odpady velmi často způsobují ekologické škody, ale především se podílejí na devastaci životního prostředí na venkově. Při velkovýrobě zemědělských produktů živočišného původu je tento problém umocněn tím, že značné množství odpadů a hnoje je aplikováno na pole na relativně malém území, kde negativně ovlivňuje stav vodních zdrojů a ovzduší.

S ohledem na ekologické předpisy řeší průmyslové využití bioplynu, formou bioplynové stanice, jak problémy ekologické tak využití odpadů pro výrobu tepelné a elektrické energie. V současné době je výstavba bioplynových stanic opodstatněna ekologickým řešením problematiky odpadů v rámci platných ekologických předpisů. Energetický přínos, který doprovází jejich likvidaci je vždy vítanou úsporou ostatních druhů paliv. Právní legislativa totiž zavazuje každého většího producenta odpadů, které jsou uvedeny v katalogu odpadů, zpracovat „ Program odpadového hospodářství „.

Vítanou možností jak řešit tuto situaci je výstavba bioplynových stanic, které svojí technologií (fermentační procesy) zajistí zpracování organických látek do podstatně výhodnějších forem pro skladování a následné využití. Zároveň je produkován bioplyn, který je vstupním, plynným palivem pro kogenerační jednotky.

Podstata bioplynu.

Princip vzniku bioplynu je znám již z minulého století a byl dostatečně ověřen v rámci provozu čistíren odpadních vod a kalů.

Zelené rostliny obsahují listovou zeleň, která zachycuje sluneční záření. Z dopadající sluneční energie , z oxidu uhličitého (který je obsažen ve vzduchu) a z vody jsou vytvářeny cukry. Tento proces , který je zdrojem života se nazývá fotosyntéza a lze ho zjednodušeně vyjádřit chemickou rovnicí

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 - Q\ .$$

Při rozkladu organické hmoty za přístupu vzduchu (aerobní rozklad) probíhá chemický děj opačně a část energie získané při fotosyntéze se uvolňuje

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + Q\ .$$

Při dodávce tepelné energie za nepřístupu vzduchu vzniká bioplyn dle vztahu

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow \underset{\text{bioplyn}}{3\,CH_4 + 3\,CO_2}$$

Asi 90 % energie je při tomto procesu zachováno v metanu, který lze energeticky využít.

V přírodě vzniká bioplyn v bahnitých dnech rybníků, v bažinách a všude tam, kde nastává hnití bez přístupu vzduchu. Složení bioplynu není přesně definováno s ohledem na nestálost jeho chemického složení. Jeho skutečné složení je závislé na kvalitě a složení exkrementů, na teplotě anaerobního kvašení atd. V závislosti na chemickém složení se mění i výhřevnost bioplynu. Průměrné složení bioplynu a jeho základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 7.1.
.

Tabulka 7.1 Složení a vlastnosti bioplynu

Hodnota	metan	CO_2	H_2	H_2S	Bioplyn
objemový podíl %	55 - 70	27 - 44	1	3	100
výhřevnost MJ/m^3	35,8	-	10,8	22,8	21,5
hranice zápalnosti %	5 - 15	-	4 - 80	4 - 45	6 – 12
zápalná teplota ^oC	650 - 750	-	585	-	650 – 750
měrná hmotnost kg/m^3	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Složení bioplynu v tabulce je 60 % CH_4 a 40 % CO_2 .

Hlavní energetickou složkou bioplynu je metan CH_4 . Čím vyšší procento metanu bioplyn obsahuje, tím je vyšší jeho výhřevnost (MJ / m^3). Obecně je bioplyn považován za směs plynů, která obsahuje 60 - 70 % metanu a 30 - 40 % oxidu uhličitého. Se vzduchem tvoří metan explozivní směs již při 5 - 6 % objemu.

Oxid uhličitý CO_2 nemá v bioplynu energetický význam a tvoří pouze jeho balastní složku, jejíž přítomnost pouze snižuje výhřevnost bioplynu.

Vodík H_2 představuje z energetického hlediska žádoucí složku bioplynu. Jeho objemový podíl je však bohužel velmi nízký.

Sirovodík H_2S vzniká při rozkladu bílkovin, které jsou obsaženy v organické hmotě. Tento plyn je jedovatý a navíc způsobuje korozivní účinky na kovových plochách bioplynového zařízení i použitém spalovacím motoru.

V nepatrné koncentraci se do bioplynu může dostat i čpavek NH_3 , který vzniká při štěpení organické hmoty. I tento plyn má korozivní účinky jako sirovodík a napadá především mosazné armatury.

7.2 Surovina pro výrobu bioplynu

V tuzemských podmínkách představují základní surovinu pro výrobu bioplynu výkaly hospodářských zvířat. V menší míře mohou být použity i odpady jiného původu : jatečné odpady, piliny, lesní štěpka, mlékárenské odpadní vody a pod.

Sirovodík H_2S vzniká při rozkladu bílkovin, které jsou obsaženy v organické hmotě. Tento plyn je jedovatý a navíc způsobuje korozivní účinky na kovových plochách bioplynového zařízení i použitém spalovacím motoru.

V nepatrné koncentraci se do bioplynu může dostat i čpavek NH_3 , který vzniká při štěpení organické hmoty. I tento plyn má korozivní účinky jako sirovodík a napadá především mosazné armatury.

Pro bilanci vzniku bioplynu je nejdůležitější ta část organické hmoty, která se může anaerobním kvasným procesem přeměnit na bioplyn. Tato štěpitelná část organické hmoty pak představuje produkt pro výrobu bioplynu. Podíl štěpitelných organických látek ve výkalech je uveden v tabulce 7.2 . Laboratorně se organické látky stanovují jako rozdíl hmotnosti mezi sušinou při 105 ^oC a zbytkem po žíhání při teplotě 550 ^oC.

Tabulka 7.2 Podíl štěpitelných organických látek ve výkalech

substrát	štěpitelné organické látky %	produkce bioplynu ze štěp.látek m^3/kg	produkce bioplynu vztažena na celkovou org.hmotu m^3/kg
kejda skotu	48	0,96	0,46
kejda prasat	49	1,1	0,54
slepičí trus	61	0,6	0,37

Pro bilanci sušiny exkrementů hospodářských zvířat je možno použít tabulku 7.3. V této tabulce je uvedena i orientační produkce bioplynu, který vzniká při mezofilním vyhnívání při teplotě 40 ^{o}C.

Tabulka 7.3 Denní množství výkalů , jejich sušina a produkce bioplynu

	Průměrné množství výkalů kg/den	Sušina výkalů včetně moče kg/den	Množství bioplynu m^3/den
dojnice 550 kg	60	6	1,7
skot ve výkrmu 350 kg	30	3	1,2
jalovice 330 kg	35	3,5	0,9
telata 100 kg	12 – 15	1,25	0,3
prasnice 170 kg	14	1,0	0,3
prasnice se selaty	27	2,0	0,4
prasata ve výkrmu 70 kg	8,5	0,5	0,2
selata 10 kg	3	0,15	0,1
selata 23 kg	4	0,25	0,15
kanec 250 kg	18,5	1,3	0,3
nosnice 2,2 kg	0,15 – 0,30	0,04	0,016
kuřice 1,1 kg	-	0,025	0,009

Poznámka : uvedené denní množství výkalů je bez přidávané vody

Pro hrubou orientaci lze obecně předpokládat, že organické odpady obsahují 30 až 60 % fermentací rozložitelných látek. Z 1 kg rozložitelných látek pak lze získat cca 0,6 až 1 m^3 bioplynu.

Např. při produkci organické sušiny 4250 kg/den lze získat produkci bioplynu cca 3000 m^3/den.

V závislosti na obsahu metanu se pohybuje výhřevnost bioplynu v rozmezí 21 až 26 MJ/m^3. Pro porovnání uvádíme výhřevnost zemního plynu, která je cca 34 MJ/m^3. Výhřevnost bioplynu tedy dosahuje 62 až 76 % výhřevnosti zemního plynu.

Obsah sušiny v kejdě ovlivňuje bilanci produkce bioplynu. Obsah sušiny je omezen dvěma faktory a to :

- čerpatelností a uchováním pohyblivosti disperzních fází
- minimálním obsahem s ohledem na technologický průběh.

Horní hranice obsahu sušiny je v rozmezí 10 - 12 % a spodní hranice jsou 3 %.

7.3 Biochemie metanogeneze

Metanogeneze je složitý biochemický proces, kde se z velkých organických molekul získává přes řadu meziproduktů metan a oxid uhličitý. Biologický a chemický proces tvorby metanu se dělí následujících základních etap :

- hydrolýza - přeměna organických látek na nižší rozpustné organické sloučeniny
- acidogeneze - přeměna na mastné kyseliny
- metanogeneze - přeměna na metan, oxid uhličitý a další látky.

Anaerobní proces (fermentace) je proces, který probíhá za nepřítomnosti kyslíku ze vzduchu a jeho výsledným produktem je bioplyn. Fermentace je výsledkem společné činnosti bakterií při zabezpečení vhodných fermentačních podmínek.

Pro zajištění stabilnosti pochodů při anaerobním mechanizmu je nutno stanovit a dodržovat optimální podmínky (teplota, pH faktor) pro probíhající procesy v pracovním prostředí fermentoru.

Teplota - teplota prostředí je jedním z hlavních činitelů, které určují úroveň látkové přeměny, a tím i množení mikroorganizmů. Teplota proto ovlivňuje oba hlavní technologické parametry, tj. množství a složení bioplynu. Teplotový rozsah je poměrně široký a to od 10 do 60 ^{o}C. Bakteriální buňka má v celém svém rozsahu vždy stejnou teplotu jako je teplota prostředí, je s ním izotermální.

Optimální teplota pro různé skupiny bakterií :

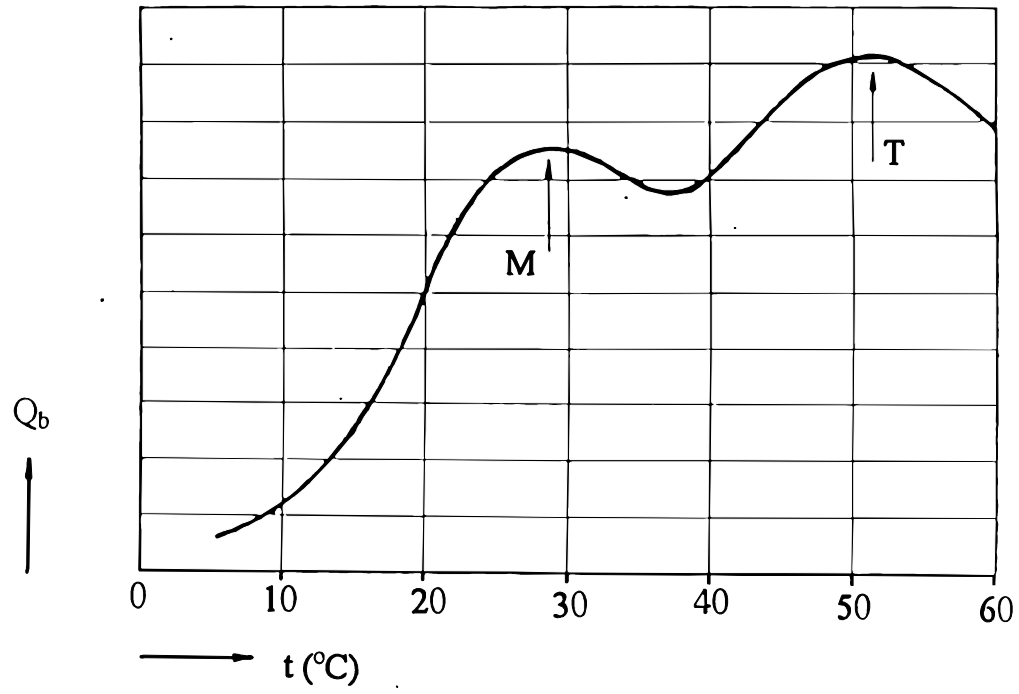
- bakterie psychrofilní 10 až 20 ^{o}C
- bakterie mezofilní 20 až 45 ^{o}C
- bakterie termofilní 50 až 55 ^{o}C.

Vliv provozní teploty na produkci bioplynu je patrný z obr.č.7.1. Z průběhu je patrno, že proces má dva vrcholy (M, T). V těchto teplotních oblastech se nejčastěji udržuje fermentační proces. Jde o proces mezofilní (kolem 30 ^{o}C) a proces termofilní (kolem 50 ^{o}C). Volba teploty kvasného procesu je z hlediska ekonomie provozu velmi důležitá, neboť obsah fermentoru je nutno na provozní teplotu vyhřívat určitým podílem vyrobeného bioplynu.

Budeme li uvažovat s venkovní , zimní teplotou - 15 ^{o}C bude pro výpočet tepelné ztráty nutno uvažovat s teplotových rozdílem :

mezofilní proces $\Delta t = 45\ ^{o}C$
termofilní proces $\Delta t = 65\ ^{o}C$.

Obr. 7.1 Závislost produkce bioplynu na teplotě fermentačního procesu



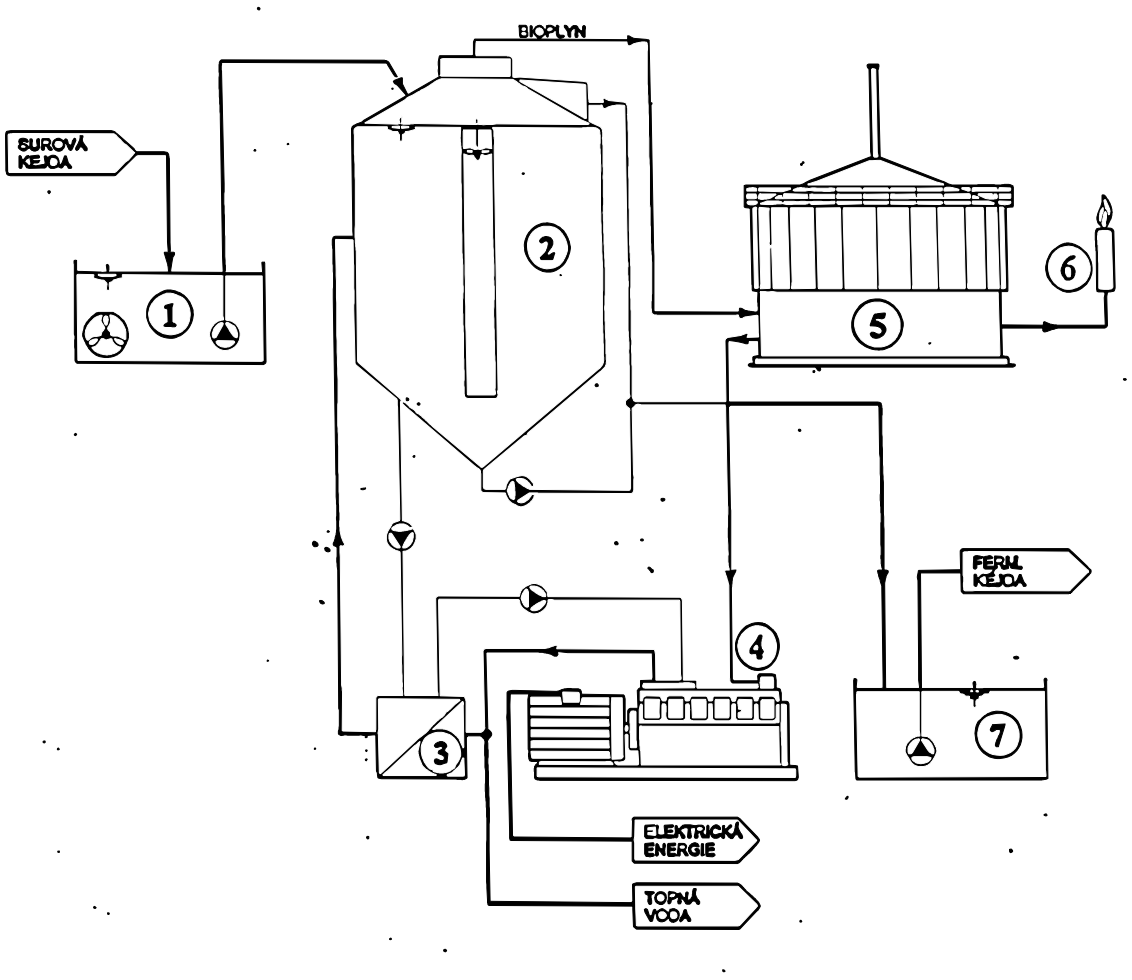
t - teplota ve fermentoru (^{o}C) , Q_b - relativní produkce bioplynu
M - vrchol mezofilního procesu, T - vrchol termofilního procesu.

V zařízeních pro zpracování zemědělské biomasy se používají nejčastěji mezofilní teplotové režimy. V menší míře se používají termofilní, nebo kombinované. Udržování provozní teploty na příslušné teplotové hladině v průběhu celého procesu je jedním z limitujících faktorů anaerobní fermentace.

Tento požadavek vychází z velké citlivosti metanogenních bakterií na prudké kolísání teplot.

Celkové provedení bioplynové stanice je patrno z obrázku 7.2 .

Obrázek 7.2 Celkové provedení bioplynové stanice



1 – zásobník surové kejdy, 2 – anaerobní reaktor (fermentor), 3 – tepelný výměník, 4 – kogenerační jednotka, 5 – plynojem, 6 – hořák zbytkového plynu, 7 – skladování kejdy po fermentaci

Základní technologický proces je takový, že surová kejda je čerpána z vyrovnávací nádrže (1) do anaerobního reaktoru (2). Reaktor se běžně v praxi nazývá fermentor. Před fermentorem je obvykle předřazena příjmová část pro kejdu. Ta je přizpůsobena celkové koncepci technologie. Z obr. 7.2 je patrno, že vyrovnávací nádrž je opatřena míchadlem, které zabraňuje nežádoucímu usazování kejdy. Míchadlo má své opodstatnění i pro případ, že se do vyrovnávací nádrže přidává organická hmota, kterou je nutno před procesem drtit. Z vyrovnávací nádrže je kejda dále dopravována čerpadlem do fermentoru.

Fermentory se dělí podle způsobu provozu na vsádkové (diskontinuální), do kterých je obsah vpravován najednou, a kontinuální, u kterých je fermentor stále, nebo v krátkých časových intervalech doplňován čerstvým substrátem.

Vsádkový systém se v praxi uplatňuje při zpracování slamnatého hnoje. Postup je takový, že koš, který je naplněn hnojem se zakryje zvonem s plynotěsným uzávěrem. Používá se větší počet vsádkových fermentorů, které jsou střídavě plněny. Po ukončení technologického procesu se zvony zvednou a připravují se na další použití.

Kontinuální systém se běžně používá u kejdy s čerpatelnou sušinou. Nátok kejdy do fermentoru má být řízen optimálním zatížením fermentoru. Tvar fermentoru je nutno volit tak, aby umožňoval provádění oprav při současném řešení dokonalé tepelné izolace pláště fermentoru. S ohledem na hydrodynamiku proudění se fermentory provádí převážně válcového tvaru.

V anaerobním reaktoru je kejda podrobena vlastnímu procesu při mezofilní teplotě cca 37 ^{o}C. Vzniklý bioplyn je odváděn do suchého plynojemu (5) odkud je plyn odebírán energoblokem (4) podle potřeby. V případě přebytku plynu je přebytečný plyn spalován v hořáku zbytkového plynu (6). Fermentovaná kejda je z reaktoru dopravována do skladovací nádrže (7).

Požadovaná teplota ve fermentoru je udržována cirkulací kejdy z reaktoru přes tepelný výměník (3), který je vytápěn topnou vodou. Topná voda je ohřívána odpadním teplem z motorgenerátoru. Teplo produkované z odpadního tepla se využije pro technologický proces ve fermentoru (ohřev reaktoru) a přebytek tepla je určen pro další tepelné spotřebiče.

Na základě současného stavu rozvoje anaerobní fermentace tekutých substrátů lze konstatovat, že tyto bioplynové stanice mají následující základní části :

1) Přípravná část
2) Fermentor (technologický reaktor)
3) Skladování bioplynu
4) Úprava a využití vyhnilého kalu
5) Využití bioplynu
6) Zabezpečovací a řídící systém.

Při použití kogenerační jednotky na bioplyn (plynový spalovací motor) je nutno provést odsíření bioplynu před jeho vstupem do motoru. Bioplyn má na výstupu z reaktoru poměrně vysokou koncentraci H_2S a to cca 5 g/m^3. Neodsířený bioplyn má velmi negativní vliv na provozní spolehlivost a vlastní životnost

motoru. Z tohoto důvodu požadují výrobci motorů na bioplyn odsíření plynu před jeho vstupem do motoru. Tímto opatřením se však zvyšují investiční náklady na realizaci zařízení.

Úprava a využití bioplynu je důležitou fází činnosti bioplynové stanice a spolu s využitím vyhnilého kalu je základním ekonomickým činitelem , ovlivňujícím efektivnost investic.

Elektrická energie, která vstupuje do procesu jako vlastní spotřeba k čerpání a míchání obsahu fermentoru, může být odebírána z rozvodné sítě nebo z vlastní výroby el. energie .

Kvalifikované stanovení plánované produkce bioplynu v závislosti na druhu a složení exkrementů je nezbytné k určení kapacitních možností bioplynové stanice a provozních ekonomických ukazatelů.

Bioplynové stanice na zpracování tekuté kejdy byly v ČR realizovány již na několika místech. V tabulce 7.4 jsou uvedeny některé informativní hodnoty provozovaných referenčních biostanic v ČR.

Tabulka 7.4 Referenční bioplynové stanice v ČR na zpracování tekuté kejdy

stanice	Třeboň	Kladruby	Skalice	Plevnice	Trhový Štěpánov
fermentov.materiál	Kejda prasat	kejda prasat	kejda prasat	kejda prasat	kejda prasat a jeteč.odpad
teplota fer.	40 ^{o}C	40 ^{o}C	37 ^{o}C	35 - 40 ^{o}C	35 - 40 ^{o}C
objem fermentoru	3000 m^3	1020 m^3	2160 m^3	500 m^3	700 m^3
počet fermentorů	2	2	2	4	1
doba zdržení	16 - 26 dní	26 dní	23dní	24 dní	26 dní
převládající konstrukční materiál	železobet.	železobeton	kov	kov	kov
denní produkce bioplynu	4200 m ^{3}	2500 m^3	2700 m^3	1800 m^3	1000 m^3
investiční náklady mil.Kč	42	36	48	11,5	17,7
zahájení provozu	1974	1989	1993	1994	1995
množství fermenov. materiálu	150 - 250 m^3/den	85 m^3/den	170 m^3/den	70 m^3/den	28 m^3/den

V tabulce 7.5 jsou uvedeny referenční stavby bioplynových stanic v ČR na zpracování slamnatého hnoje.

Tabulka 7.5 Referenční bioplynové stanice v ČR na zpracování slamnatého hnoje

Stanice	Hustopeče	Jindřichov	Výšovice
fermentovaný materiá	slamnatý hnůj	slamnatý hnůj	slamnatý hnůj
množství fermen.materiálu	44 t/den	21 t/den	11 t/den
teplota fermentace	35 - 40 ^{o}C	35 - 40 ^{o}C	35 - 40 ^{o}C
objem fermentoru	169 m^3	85 m^3	110 m^3
počet fermentorů	8	6	6
doba zdržení	32 dní	28 dní	30 dní
převlád.konstruk. materiál	kov	kov	kov
denní produkce bioplynu	1200 m^3/den	600 m^3/den	320 m^3/den
investiční náklady	8,5 mil. Kč	5,5 mil. Kč	3,5 mil. Kč
Zahájení provozu	1986	1989	1987

Z menších zařízení lze dále uvést bioplynovou stanici na soukromé farmě pana Jindráka, Radešín, okr. Příbram. Na této farmě je použit válcový, ležatý reaktor o objemu 70 m^3.

Dále se v ČR provozuje cca 100 ks bioplynových reaktorů na zpracování čistírenských kalů z čistíren odpadních vod instalovaných u větších měst. K největším zařízením tohoto typu patří ČOV Praha - Troja.

Z energetického hlediska je pohled na bioplynové stanice, které zpracovávají tekutou kejdu takový, že se jedná především o ekologickou likvidaci těchto bioodpadů. V zimním období, kdy je nejvyšší spotřeba tepla pro ohřev obsahu fermantační nádrže na provozní teplotu je produkce a spotřeba tepla z bioplynu prakticky vyrovnaná.

V letním období, kdy je vlastní technologická spotřeba tepla nižší je možno přebytek tepla využít např. k přípravě TUV. Elektrická energie vyrobená v kogenerační jednotce se využije pro krytí vlastní technologické spotřeby el. energie a částečně je možno uvažovat s její dodávkou do rozvodné el. sítě.

U čistíren odpadních vod je veškerá vyrobená el. energie použita pro vlastní spotřebu. Největší elektrické spotřebiče představují vzduchová dmychadla, která zajišťují provzdušňování kalových nádrží.

Co se týče odběru a technologické spotřeby tepla platí pro ČOV stejné závěry jako pro využití bioplynu z tekuté kejdy. Využití bioplynu z kejdy a kalů z ČOV představuje v současné době především přínos ekologický, neboť rozdíl ceny elektrické energie (Kč/kWh) odebírané a dodávané drobným výrobcem do rozvodné sítě je v neprospěch drobného dodavatele.

Doba návratnosti vynaložených investičních prostředků na realizaci kompletního technologického celku bioplynové stanice (pokud bude posuzována pouze na základě energetického využití bioplynu ve formě tepla a vyrobené elektrické energie) vychází poměrně dlouhá s ohledem na vysoké investiční náklady stavby.

Z technického pohledu se však jedná o zatím nejoptimálnější řešení dané problematiky jak z ekologického, tak energetického hlediska.

Problematice využití bioplynu byla v předloženém produktu věnována zvýšená pozornost z toho důvodu, že se vstupem ČR do Evropské unie bude nezbytné realizovat v ČR nové čistírny odpadních vod tam, kde není doposud tato problematika řešena.

Další perspektivní energetický potenciál představuje využití plynu, který vzniká ve skládkách odpadů. Jedná se o řízené skládky odpadů, které jsou technicky uzpůsobeny pro odběr a využití skládkového plynu a za tím účelem se provádí zhutňování vrstvy odpadů, jejich homogenizace atd.

8. Centrální energetický zdroj na dřevní hmotu a slámu s návazným systémem CZT

Centrální energetický zdroj, který bude využívat jako palivo dřevní hmotu, nebo slámu je možno technicky realizovat formou :

- výtopny - pouze dodávka tepla
- teplárny - kombinovaná výroba tepla a elektrické energie.

Technické řešení centrálního energetického zdroje formou teplárny představuje dodávku tepla do systému CZT a současně výrobu elektrické energie. Při spalování uvedených paliv (dřevní hmota a sláma) je možno realizovat pouze systém parní kogenerace a to :

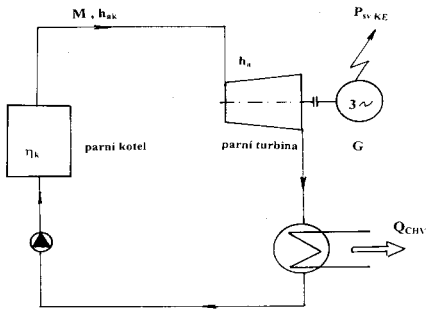
- parní kogeneraci s protitlakou parní turbinou
- parní kogeneraci s parním motorem.

Při realizaci centrálního zdroje tepla pro systém CZT stojí investor před problémem, která nabízená technická realizace bude v daném případě ta nejvhodnější. Pro možnost rozhodování proto uvádíme alespoň základní úvod do dané problematiky. Výrobu a rozvod tepla vždy doprovází i vlastní spotřeba elektrické energie pro pohon čerpadel, vzduchových ventilátorů pro přívod spalovacího vzduchu do kotle, větrání kotelny, osvětlení, provoz kouřového ventilátoru atd.

Vzhledem k tomu, že převážná část stávající výroby elektrické energie je zajišťována v kondenzačních elektrárnách, začneme touto technologií výroby elektrické energie.

8.1 Výroba elektrické energie v kondenzační elektrárně

Základní schema kondenzační elektrárny je uvedeno na obrázku 8.1.



Obrázek 8.1 Schema kondenzační elektrárny

Vysokotlaká a přehřátá pára je vyráběna v parním kotli, odkud je dále parovodem vedena na vstup do kondenzační parní turbiny. Kondenzační turbina pohání el. generátor, který zajišťuje výrobu elektrické energie.

Pára, která vystupuje z kondenzační turbiny má nízký tlak i teplotu a to z toho důvodu, že je nutno v turbině maximálně využít energetický potenciál páry mezi vstupem a výstupem z turbiny k výrobě elektrické energie. Z tohoto důvodu není pára na výstupu z turbiny použitelná pro vytápění . Pára je z výstupu turbiny vedena do kondenzátoru, který páru ochladí tak, že se z páry opět stává kapalina. Kondenzátor, který je chlazen vodou proto odvádí v chladící vodě velké množství tepla o nízkém teplotovém potenciálu. Účinnost výroby elektrické energie v kondenzační elektrárně je proto poměrně nízká a to v rozmezí (dle parametrů použité páry) η_{KE} = 33 až 38 %.

8.2 Výtopna jako centrální energetický zdroj

V případě výtopny je uvažováno s tím, že pro dosažení požadovaného tepelného výkonu Q_v na prahu výtopny je nutno dodat tepelný výkon v palivu Q_{UV} . Současně je však nutno uvažovat s tím, že pro zajištění provozu výtopny je nutno zajistit určitý el.příkon P_{vvs} na jehož výrobu je nutno vynaložit energii paliva Q_{uvs} .

Energetická účinnost výtopny je pak :

$$\eta_V = \frac{Q_V}{Q_{UV} + Q_{uvs}} \qquad \ldots \ (1)$$

Pro získání tepelného výkonu Q_v na prahu výtopny musí kotel dávat tepelný výkon Q_v' . Poměrem

$$\eta_{rg} = \frac{Q_v}{Q_v'} \qquad \ldots \ (2)$$

se přihlíží ke ztrátě tepla mezi kotlem a prahem výtopny včetně účinnosti na úpravu tepla na požadované parametry, včetně vlastní spotřeby tepla na vytápění, přípravu TUV a pod. Je li uvažováno s účinností kotle η_k , pak pro hodnotu Q_{uv} platí vztah

$$Q_{uv} = \frac{Q_v'}{\eta_k} = \frac{Q_v}{\eta_k \, . \, \eta_{rg}} \qquad \ldots (3)$$

Hodnota Q_{uvs} se určí z vlastní spotřeby el. energie P_{vvs} . Pokud budeme vycházet z toho, že el. výkon P_{vvs} bude kryt z kondenzační elektrárny, pak

$$Q_{uvs} = \frac{P_{vvs}}{\eta_{pe} \cdot \eta_{KE}} \quad / \text{kW} / \quad \ldots (4)$$

kde η_{pe} je účinnost přívodu el. energie do výtopny včetně transformace.

Dosazením použitých vztahů do výrazu pro vyjádření energetické účinnosti výtopny dostaneme :

$$\eta_v = \frac{Q_v \ \eta_k \ \eta_{rg} \ \eta_{pe} \ \eta_{KE}}{Q_v \ \eta_{pe} \ \boldsymbol{\eta_{KE}} + P_{vvs} \ \eta_k \ \eta_{rg}} \quad / - / \quad \ldots (5)$$

****

Z uvedeného vztahu je patrno, že energetickou účinnost výtopny zhoršuje energetická účinnost kondenzační elektrárny η_{KE} , která je uvažována v souvislosti s krytím vlastní spotřeby el. energie výtopny.

8.3 Základy kombinované výroby tepla a elektrické energie

Kombinované výrobě tepla a el. energie se cizím slovem říká „ kogenerace „ . Tato kogenerace představuje současně produkci dvou energetických komodit .

Energetická účinnost je definována vztahem

$$\eta_T = \frac{P_T + Q_T}{Q_{UT}} \quad / - / \quad \ldots (6)$$

kde P_T el. výkon z kombinované výroby / kW /
Q_T tepelný výkon z kombinované výroby / kW /
Q_{UT} tepelný příkon přiváděný v palivu / kW / .

Obdobně jako v předchozích případech lze použít následujících vztahů

$$P_T = P_{sv} \ . \ \eta_{re} (1 - k_{vs}) \quad / \text{kW} /$$

kde značí:

P_{sv} elektrický výkon na svorkách generátoru / kW /
η_{re} účinnost přenosu elektrické energie uvnitř elektrárny (zahrnuje ztráty transformací, vedení atd)
k_{vs} součinitel vlastní spotřeby el. energie

$$P_{sv} = M (h_a - h_e) \eta_m . \eta_g \quad / kW /$$

M průtok páry turbinou (kg/s)
h_a entalpie páry na vstupu do turbiny (kJ/kg)
h_e entalpie páry na výstupu z turbiny (kJ/kg)
η_m mechanická účinnost turbiny
η_g účinnost el. generátoru.

$$Q_{UT} = \frac{M (h_{ak} - h_n)}{\eta_k} \quad / kW /$$

Pro parní kogenereraci s protitlakou turbinou (viz obr.č.8.2) a použitá označení platí dále ,že

$$Q_T = M (h_e - h_T) \quad / kW / .$$

Jako pomocný ukazatel se při kombinované výrobě el.energie a tepla používá poměr (**modul teplárenské výroby el.energie**), který udává poměr vyrobené el.energie k tepelné energii, která je dodávána do sítě

$$e = \frac{P_{sv}}{Q_T} \quad / - / .$$

Dosazením použitých vztahů do výrazu (6) pro výpočet energetické účinnosti teplárny dostaneme konečný výraz

$$\eta_T = \frac{h_e - h_T}{h_{ak} - h_n} \eta_k / 1 + (1 - k_{vs}) \eta_m \eta_g \eta_{re} \frac{h_a - h_e}{h_e - h_T} / \quad ... (7)$$

****

Pro schema uvedené na obr.8.2 a provozní body na tomto schematu je pro ilustraci uveden číselný příklad vyhodnocení účinnosti dané kogenerační jednotky s parní protitlakou turbinou.

bod 1. 3,9 MPa / 460 ^{o} C ... h_{ak} = 3355,3 kJ/kg
2. 3,8 MPa / 450 ^{o} C ... h_a = 3333,9 kJ/kg
3. 0,12 MPa / 280 ^{o} C ... h_e = 3006 kJ/kg
4. 0,12 MPa / 100 ^{o} C ... h_T = 419 kJ/kg .

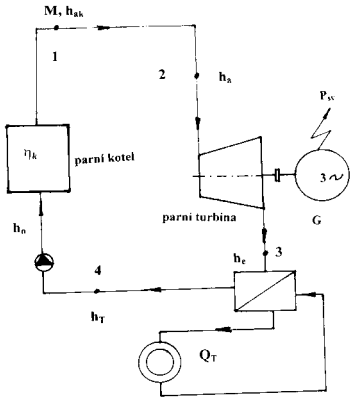
Dosazením uvedených hodnot dostaneme výsledek :

η_T = 88,7 % , e = 0,12 .

Čím je větší modul teplárenské výroby elektřiny (e), to je čím více elektřiny se vyrobí při současné výrobě daného množství tepla, tím méně elektřiny je třeba

vyrábět s nízkou účinností v kondenzačních elektrárnách. Proto úspora paliva kombinovanou výrobou elektřiny a tepla je větší.

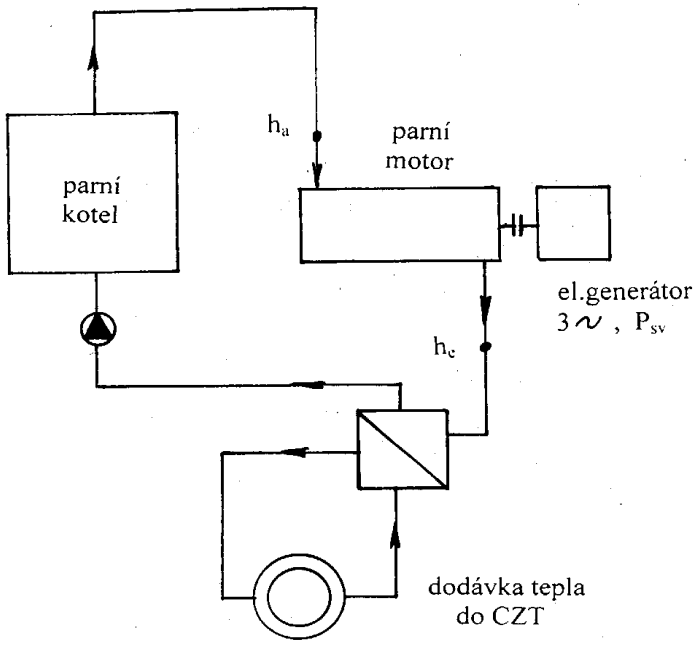
Obr. č. 8.2 Schema kogenerační jednotky s protitlakou parní turbinou



8.4 Kombinovaná výroba tepla a el. energie s využitím parního motoru

Celkové uspořádání parní kogenerace s použitím parního motoru je uvedeno na obrázku 8.3 .

Obrázek 8.3 Parní kogenerace s použitím parního motoru



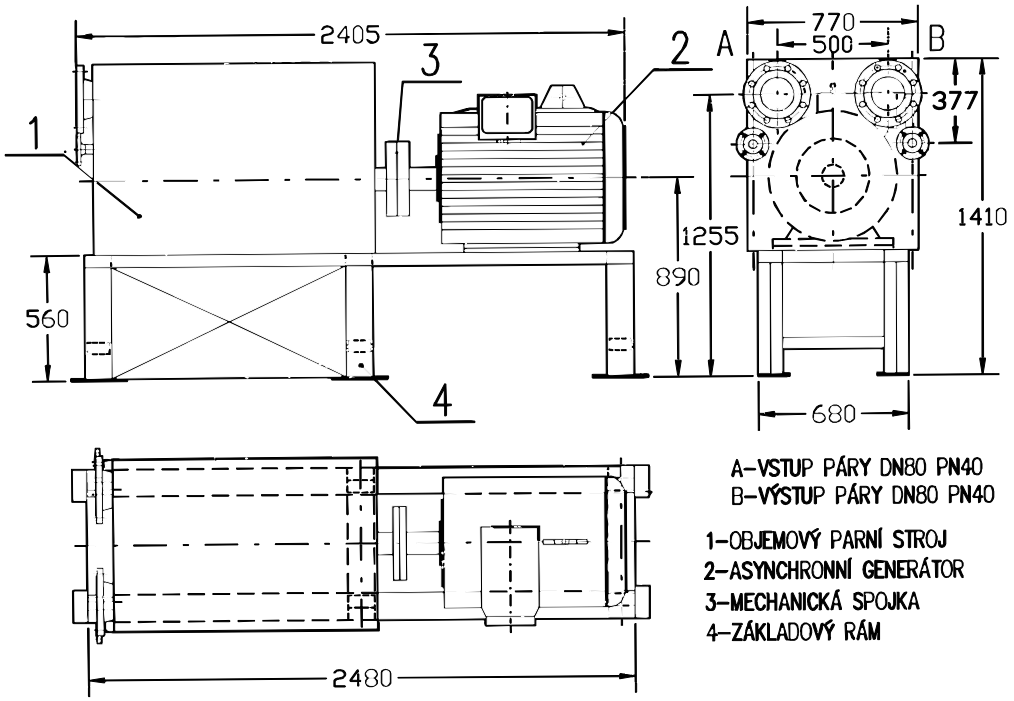
Parní motor má oproti parní turbině tu výhodu, že k jeho pohonu je možno použít sytou páru (to je páru bez jejího přehřátí nad mezní křivku).Tato skutečnost umožní snížit investiční náklady na parní kotel (kotel bez přehříváku páry a souvisejících zařízení), což částečně ovlivní i dobu návratnosti vynaložených investičních prostředků. Parní motor s elektrickým generátorem a související automatickou regulací je investičně méně náročný než protitlaká parní turbina s el. generátorem o stejném el. výkonu.

Parní turbina využívá páru přehřátou s ohledem na životnost lopatek oběžných kol turbiny. Vodní kapičky z vlhké páry totiž způsobují erozi lopatek, čímž se snižuje její životnost a v průběhu času i její účinnost změnou rychlostních trojúhelníků proudící páry na lopatkách turbiny.

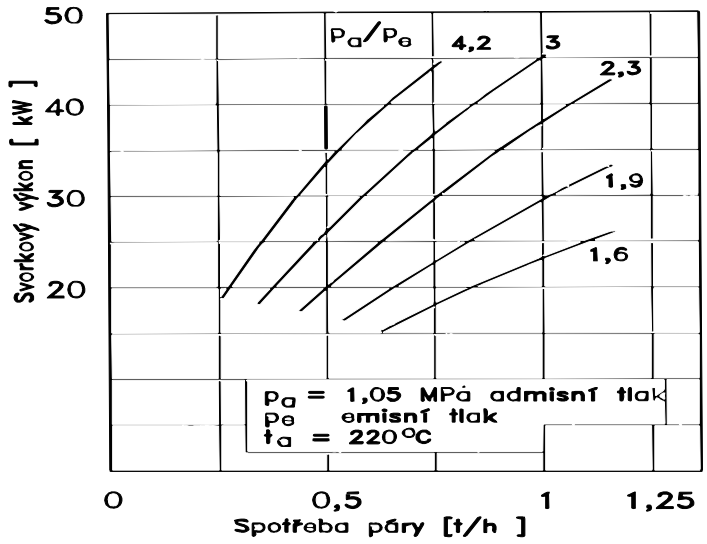
Parametry páry na výstupu z parního motoru jsou takové, že je možno vystupující páru využít pro vytápění a případnou další technologickou spotřebu.

Disposiční uspořádání parního motoru je uvedeno na obrázku 8.4 včetně základní provozní charakteristiky.

Obrázek 8.4 Disposiční uspořádání parního motoru a základní provozní charakteristika.



Provozní charakteristika parního motoru.



8.5 Úspora tepla ve vstupním palivu při kombinované výrobě tepla a elektrické energie

Jak již bylo uvedeno dosahuje výroba elektrické v kondenzační elektrárně účinnost η_{KE} = 33 až 38 % . Pro přepočet spotřeby elektrické energie na teplo platí fyzikální vztah, že 1 MWh = 3,6 GJ . Přihlédneme li však k účinnosti výroby elektrické energie v kondenzační elektrárně, dostaneme následující spotřebu tepla pro 1 MWh el. energie :

η_{KE} = 33 % Q = 3,6 : 0,33 = 10,90 GJ
η_{KE} = 38 % Q = 3,6 : 0,38 = 9,47 GJ .

Při kombinované výrobě tepla a elektrické energie dochází ke značné úspoře tepla ve vstupním palivu oproti oddělené výrobě tepla ve výtopně a elektrické energie v kondenzační elektrárně.

Budeme li uvažovat např. s případem, že do procesu vstupuje 100 % energie v palivu (Q_{pal}), 10 % činí ztráty tepelného zdroje, 18 % představuje vyrobenou elektrickou energii (P_T) a 72 % energii tepelnou (Q_T), dojdeme k následujícím závěrům.

Pro oddělenou výrobu el.energie v kondenzační elektrárně a tepla ve výtopně platí vztah pro výpočet spotřeby tepla v palivu

$$Q^{odd}_{pal} = \frac{P}{\eta_{KE}} + \frac{Q}{\eta_V} \qquad / kW /.$$

Pro výše uvedené hodnoty teplárny P = 18 %, Q = 72% dostaneme při uvažování oddělené výroby obou komodit spotřebu tepla v palivu

$$Q^{odd}_{pal} = \frac{18}{0,38} + \frac{72}{0,9} = 127,4 \ \% .$$

Při kombinované výrobě v teplárně nám však postačuje pro P = 18 %, Q = 72 % spotřeba paliva v teplárně:

$$Q^{tep}_{pal} = 100 \ \% .$$

Rozdíl spotřeby tepla v palivu je $\Delta Q_{pal} = 127,4 - 100 = 27,4$ % a poměrná úspora tepla proti oddělené výrobě bude:

$$\frac{\Delta Q_{pal}}{Q^{odd}_{pal}} = \frac{27,4}{127,4} = \mathbf{21,5 \ \%} \ .$$

Z uvedené úspory paliva vyplývá opodstatnění energetické výhodnosti kogeneračních jednotek. Současně s úsporou paliva je úzce spojena i otázka ekologie, neboť se sníží emise škodlivých látek odcházejících do ovzduší.

S rostoucí hodnotou modulu teplárenské výroby elektřiny roste i poměrná úspora tepla v palivu. Na př. pro e = 0,6 bude již poměrná úspora tepla v palivu činit 30 %.

Pro využívání bioplynu v kogenerační jednotce je možno použít pro mechanický pohon el. generátoru :

- plynový spalovací motor
- plynovou spalovací turbinu.

S ohledem na uvedené skutečnosti je nutno z energetického hlediska upřednostňovat kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Současně je však vždy nutno zvažovat reálnou možnost odběru tepla a elektrické energie, která je vyrobena v kogenerační jednotce. Na základě uvedeného technického rozboru je pak nutno doplnit technickou část o ekonomické zhodnocení. Na základě tohoto komplexního posouzení je pak teprve možno zodpovědně rozhodnout o optimální variantě řešení centrálního energetického zdroje.

9. Energetické využití dřevoplynu

Jak vyplynulo z předcházející kapitoly představuje kombinovaná výroba tepla a elektrické energie opatření docilující úsporu vstupního paliva. Docílená energetická úspora paliva sebou přináší současně i snížení emisí škodlivých látek o hodnotu, která odpovídá úspoře (nespáleného) 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, čímž 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. Zařízení se vyrábí v několika výkonových řadách , jak je patrno z tabulky 9.1 .

Tabulka 9.1 Výkonová řada zařízení BIO – Kleinkraftwerk

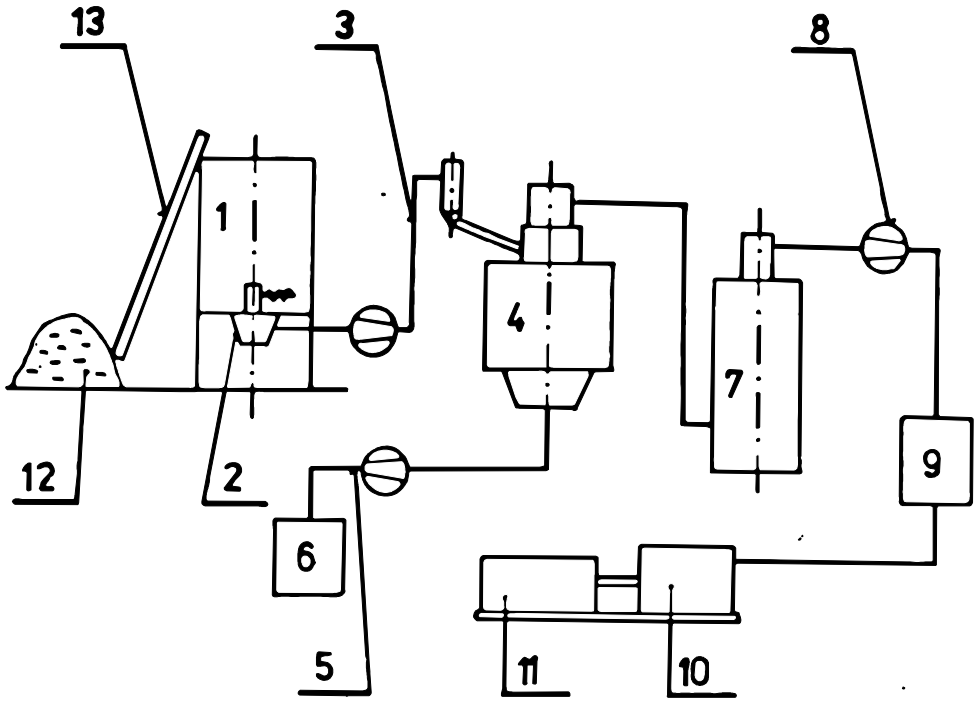
typ	el. výkon	tepelný výkon	spotřeba paliva	Obestavěný prostor
	kW	kW	m^3/h	d x š x v /m/
ECU 0,25	250	278	1,25	10 x 10 x 5
ECU 0,5	500	556	2,5	10 x 15 x 5
ECU 1,0	1000	1112	5,0	12 x 15 x 5
ECU 2,0	2000	2224	10,0	15 x 20 x 5
ECU 4,0	4000	4444	20,0	20 x 20 x 5

Celkové uspořádání zařízení je uvedeno na obrázku 9.1 , kde značí :

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 po zplyňování
7 pračka vyrobeného plynu
8 kompresor
9 čistič plynu
10 plynový motor
11 elektrický generátor
12 dřevní odpad ke zplyňování
13 dopravník paliva do zásobníku .

Obrázek 9.1 Celkové uspořádání zplyňovacího zařízení s kogenerační jednotkou.



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 „ , které se skládá z následujících částí :

- otevřená mechanizovaná skládka na dřevní hmotu o objemu 20 m^3
- 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
- řídící 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 dmychadla do trojdílného suchého filtru, který je opatřen náplní z drceného korku. Po těchto úpravách je dřevoplyn zaveden do rozvodného plynového potrubí.

Využití dřevoplynu je u daného projektu realizováno následovně :

- pro provoz teplovodního kotle ETI – 100 o jmenovitém tepelném výkonu 116 kW, který je osazen atmosferickým plynovým hořákem upraveným pro spalování dřevoplynu
- pro provoz tmavých plynových zářičů RADI – HEAT, typ RH – 25 kW
- pro provoz upraveného benzinového motoru na spalování dřevoplynu, který pohání elektrický generátor.

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/m^3. Spotřeba dřevní hmoty o obsahu vody W = 12 – 15 % činí cca 240 kg/h, což odpovídá produkci

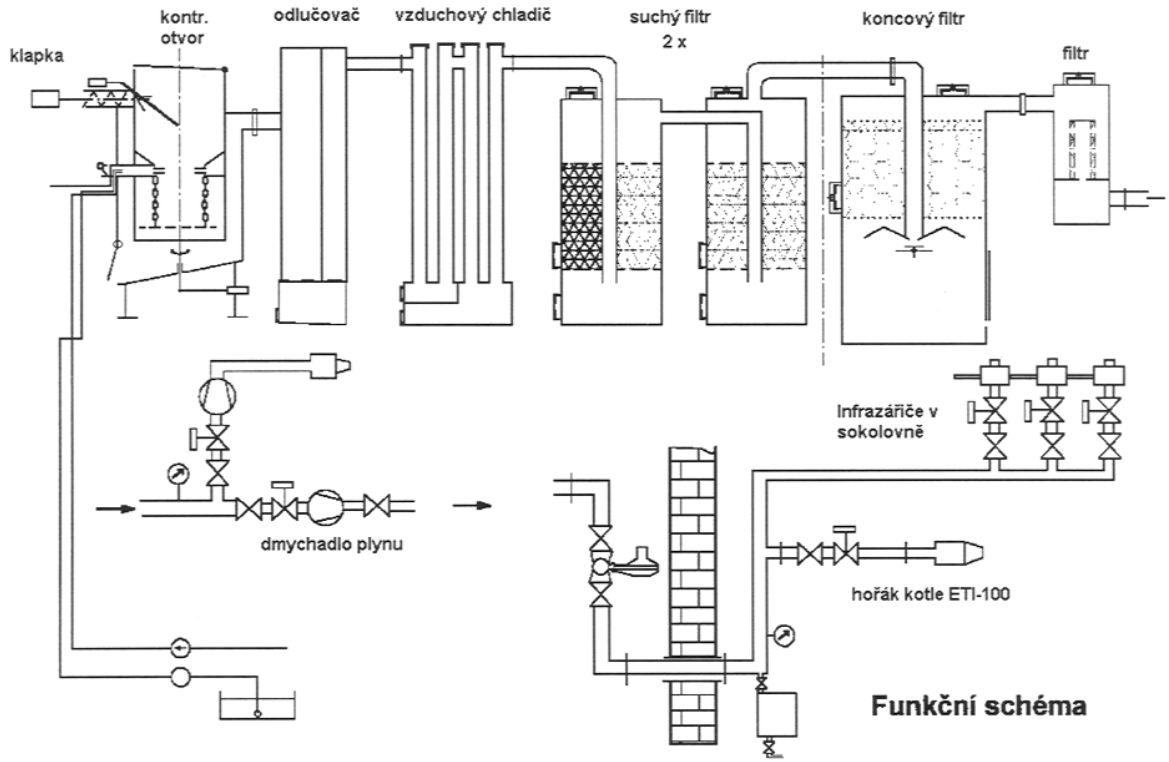
dřevoplynu cca 96 m^3/h. Celkové uspořádání zplyňovacího zařízení je uvedeno na obrázku 9.2 . Při zplyňování 1 kg tvrdého dřeva, nebo 1,5 kg dřeva měkkého se vyvine cca 2,5 m^3 dřevoplynu o výhřevnosti 4,5 MJ/m^3.

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.

Na obrázku 9.2 je rovněž vyznačeno použití dřevoplynu v rámci realizovaného projektu v obci Moravská Nové Ves.

V současné době je věnována značná pozornost i problematice zplyňování dřevní hmoty ve fluidní vrstvě. Za tímto účelem bylo realizováno pokusné zařízení, jehož tepelný výkon však zatím nedociluje výkonových hodnot pro praktické použití.

Obrázek 9.2 Zplyňovací zařízení v obci Moravská Nová Ves



10. Spotřeba paliva tepelného zdroje na biomasu.

Pro stanovení spotřeby paliva je nutno vycházet z výhřevnosti použité biomasy pro energetický zdroj a tepelné účinnosti zdroje za sledovaný časový úsek (topná sezóna, pokud se jedná pouze o vytápění bez dodávky TUV). Při bilančních výpočtech, navrhování skládek a objemové spotřeby paliva je nutno znát potřebné údaje. V praxi se používají následující označení viz tabulka č. 10.1.

Tabulka 10.1 Význam jednotlivých označení objemů

objemové označení dřeva	popis
1 plm	plnometr dřeva , 1m^3 skutečné dřevní hmoty
1 prm	prostorový metr dřeva 1 m^3 složeného štípaného nebo neštípaného dřeva
1 prm_s	prostorový metr dřeva volně sypaného (nezhutněného) ,drobného , nebo drceného dřeva

Vzájemné poměry uvedených označení jsou patrny z tabulky 10.2 .

Tabulka č. 10.2 Vzájemné objemové přepočtové poměry

dřevo	plm	prm	prm_s
1 plm	1	1,54	2,5 – 2,86
1 prm	0,65	1	1,61 – 1,86
1 prm_s	0,35 – 0,4	0,54 – 0,62	1

Vzhledem k tomu, že drobný dřevní odpad může mít rovněž různou formu, je možno v praxi použít hodnot z tabulky 10.3 až 10.7.

Tabulka 10.3 smrk a jedle, hmotnost sušiny 430 kg/plm

vlhkost W / % /	15	20	25	30	35	40	45	50
	1 plm							
měrná hmotnost kg/plm	470	485	512	548	590	640	698	768
výhřevnost kWh/plm	2034	1957	1914	1888	1859	1828	1788	1741
	1 prm							
měrná hmotnost kg/prm	306	315	333	356	384	416	454	499
výhřevnost kWh/prm	1325	1271	1245	1227	1210	1188	1163	1131
	1 prm_s							
měrná hmotnost kg/prm_s	165	170	180	192	207	224	244	269
výhřevnost kWh/prm_s	714	686	673	662	652	640	625	610

Tabulka č.10.4 Smrková kůra drcená, faktor drcení 1 plm = 3 prm_s

vlhkost W / % /	15	20	25	30	35	40	45	50
měrná hmotnost kg/prm_s	155	162	171	183	197	213	233	256
výhřevnost kWh/prm_s	666	649	635	626	616	604	592	575
	1 prm_s							

Tabulka č. 10.5 Modřín, hmotnost sušiny 550 kg/plm

vlhkost W %	15	20	25	30	35	40	45	50
	1 plm							
měrná hmotnost kg/plm	590	610	650	697	750	813	887	976
výhřevnost kWh/plm	2554	2461	2431	2402	2363	2322	2272	2212
	1 prm							
měrná hmotnost kg/prm	384	397	423	453	488	528	577	634
výhřevnost kWh/prm	1662	1602	1582	1561	1538	1508	1478	1437
	1 prm_s							
měrná hmotnost kg/prm_s	207	214	228	244	263	285	310	342
výhřevnost kWh/prm_s	896	863	853	841	829	814	794	775

Tabulka č. 10.6 Borovice, hmotnost sušiny 510 kg/plm.

vlhkost W %	15	20	25	30	35	40	45	50
	1 plm							
měrná hmotnost kg/plm	550	565	595	638	686	744	811	893
výhřevnost kWh/plm	2781	2280	2225	2198	2161	2125	2078	2024
	1 prm							
měrná hmotnost kg/prm	358	367	387	415	446	484	527	580
výhřevnost kWh/prm	1550	1481	1447	1430	1405	1382	1350	1315
	1 prm_s							
měrná hmotnost kg/prm_s	193	198	208	223	240	260	284	313
výhřevnost kWh/prm_s	835	799	778	768	756	743	728	710

Tabulka 10.7 Dub a buk, hmotnost sušiny 680 kg/plm.

vlhkost W %	15	20	25	30	35	40	45	50
	1 plm							
měrná hmotnost kg/plm	714	726	765	820	883	953	1043	1148
výhřevnost kWh/plm	2897	2743	2677	2642	2599	2547	2488	2419
	1 prm							
měrná hmotnost kg/prm	464	472	497	533	574	621	678	746
výhřevnost kWh/prm	1882	1784	1739	1717	1689	1654	1618	1572
	1 prm_s							
měrná hmotnost kg/prm_s	250	254	268	287	309	335	365	402
výhřevnost kWh/prm_s	1014	960	938	925	909	892	871	847

Jako vstupující energii je nutno dále zahrnout spotřebu elektrické energie hlavních částí tepelného zdroje a to :

- Dopravní palivová cesta včetně vyhrnovacího zařízení z centrálního zásobníku paliva
- Vzduchové ventilátory kotle pro přívod spalovacího vzduchu.
- Dopravník paliva do kotle (případně i pohon mechanického roštu).
- Spalinový ventilátor kotle.
- Teplovodní oběhová čerpadla.
- Osvětlení a větrání kotelny.
- Drtič paliva, pokud se drcení provádí u tepelného zdroje a je jeho součástí.

Jak je patrno z uvedeného výčtu spotřebičů el. energie u tepelného zdroje , který využívá drobnou dřevní hmotu, dojde k částečnému nárůstu spotřeby el. energie např. oproti uhelným kotlům. Je to způsobeno zvýšenými nároky na skladování, vyhrnování a návazné dopravní cesty paliva do kotle.

U kotlů, které využívají kusovou dřevní hmotu k nárůstu spotřeby el. energie nedojde, neboť palivo se do kotle přikládá ručně.

Tepelná účinnost pro garanční palivo se pohybuje u těchto zařízení cca následovně :

kotle na kusovou dřevní hmotu	účinnost kotle	81 – 89 %
kotle na drobnou dřevní hmotu		83 – 92 %.

10.1 Spotřeba dřevní hmoty.

Bilanci dřevní hmoty je nutno věnovat zvýšenou pozornost a to z toho důvodu, že se mnohdy projektově uvažuje s výstavbou tepelného zdroje o určitém výkonu a v závěru prací se zjistí, že pro daný zdroj bude v jeho okolí nedostatek paliva. Dovoz dřevních odpadů z větších vzdáleností pak zcela naruší předpokládané ekonomické úvahy a celé ekonomické hodnocení.

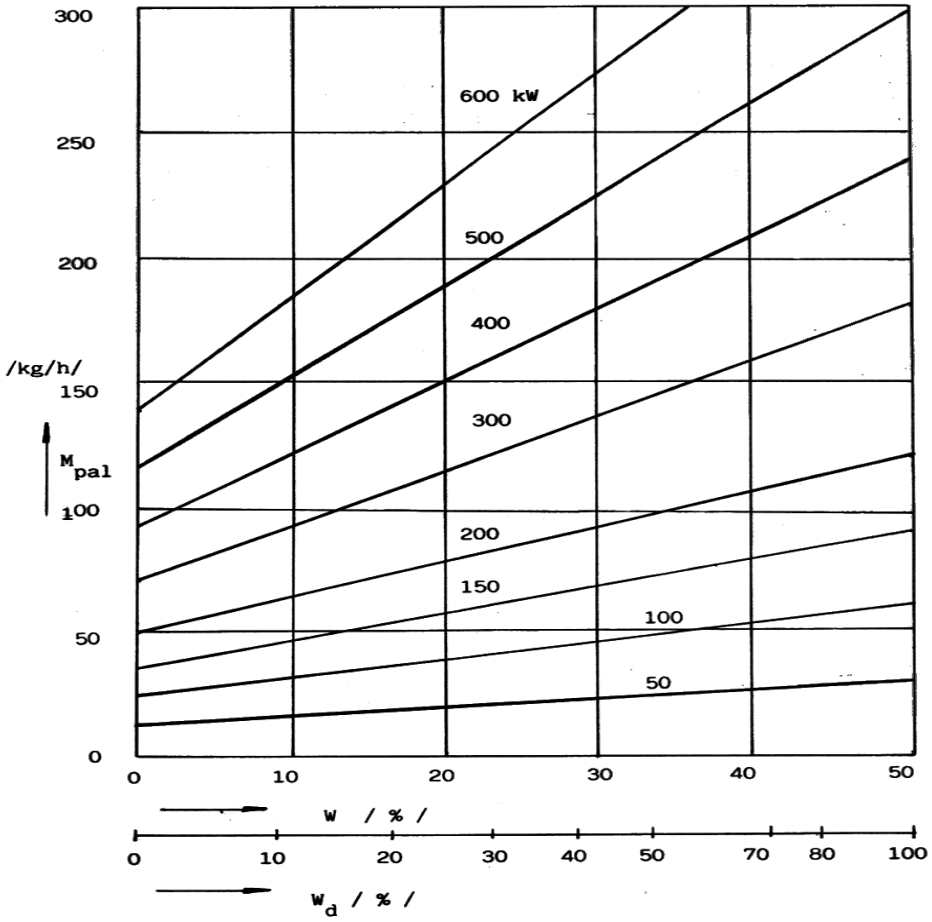
Spotřeba paliva tepelného zdroje je dána jednak jeho jmenovitým tepelným výkonem a jednak délkou topného období, klimatických podmínek atd. Rovněž je nutno vzít v úvahu zda tepelný zdroj zajišťuje i centrální přípravu a rozvod teplé užitkové vody (TUV) ke spotřebitelům.

V závislosti na jmenovitém tepelném výkonu zdroje, výhřevnosti paliva a tepelné účinnosti zdroje je pak možno stanovit spotřebu paliva dle vztahu :

$$M_{pal} = \frac{Q_t}{\eta_k \cdot Q_n} \; 3600 \qquad / \text{ kg/h } /$$

kde značí : Q_t tepelný výkon zdroje / MW /
η_k tepelná účinnost zdroje / - /
Q_n výhřevnost paliva / MJ/kg /

Pro dřevní hmotu o dané energetické vlhkosti / W /, nebo dřevařské vlhkosti / W_d / vyjádřené v procentech je hodinová spotřeba paliva v kg/h (při tepelné účinnosti zdroje 83 %) uvedena na obrázku 10.1 .



Obrázek 10.1 Hodinová spotřeba paliva pro jmenovitý výkon kotle

Pro vyšší tepelné výkony zdroje je uvažována i vyšší tepelná účinnost a to 85 % vzhledem k tomu, že se u zařízení vyšších výkonů používá předehřátý spalovací vzduch a v ekonomizéru se provádí předehřev vratné vody, která vstupuje zpět do kotle. Spotřeba paliva je uvedena v tabulce 10.8.

Tabulka 10.8 Hodinová spotřeba paliva pro jmenovitý výkon kotle v závislosti na vlhkosti použité dřevní hmoty při tepelné účinnosti 85 %.

tepelný výkon zdroje kW	vlhkost paliva W / % /				
	10	20	30	40	50
		spotřeba	paliva	kg/h	
1000	229,7	299,7	357,1	441,2	577,8
1500	344,5	449,6	535,7	661,7	866,7
2000	459,4	599,5	714,2	882,4	1155,6
3000	689,0	899,2	1071,3	1323,5	1733,4
5000	1148,4	1498,7	1785,5	2205,9	2889,0

Další důležitou hodnotou, mimo maximální spotřeby paliva pro jmenovitý tepelný výkon kotle, je roční spotřeba tepla (a tím i paliva) pro vytápění a přípravu TUV. Na základě vypočtené roční spotřeby tepla v GJ/rok je pak nutno provést bilanční kontrolu dostupnosti potřebného paliva z místních, nebo okolních zdrojů biomasy.

Roční spotřeba tepla pro vytápění je závislá na křivce ročního trvání teplot pro jednotlivá místa nebo oblasti. K orientačním výpočtům lze použít výpočtový vztah :

$$Q_{vytápění} = Q_T \frac{t_v - t_e}{t_v - t_{ev}} 24 \cdot n \qquad / \text{ kWh/rok /}$$

kde značí : Q_T tepelný výkon zdroje pro vytápění v / kW / pro krytí tepelných ztrát vytápěných objektů a tepelných ztrát rozvodů CZT pro nejnižší venkovní výpočtovou teplotu

t_v průměrná vnitřní teplota vzduchu ve vytápěných objektech ve / ^oC /

t_e průměrná teplota venkovního vzduchu v topném období dle dlouhodobých průměrů ve / ^oC /

t_{ev} nejnižší venkovní výpočtová teplota v topném období /^oC/

n počet dnů topného období dle dlouhodobých průměrů .

Vezmeme li pro ilustraci v úvahu případ, že :

$t_v = 20\ ^oC$, $t_e = 3{,}4\ ^oC$, $t_{ev} = -15\ ^oC$, $n = 220$ dnů

pak dostaneme pro potřebný tepelný výkon zdroje $Q_T = 1$ MW následující roční spotřebu tepla pro vytápění (bez přípravy TUV) :

$$Q_{vytápění} = 1 \frac{20 - 3{,}4}{20 - (-15)} \ 24 \,.\, 220 = 2504{,}23 \text{ MWh /rok}$$

$Q_{vytápění}$ = 9015,22 GJ/rok.

Při uvažované tepelné účinnosti zdroje $\eta = 85$ % pak bude roční spotřeba tepla pro vytápění ve vstupním palivu :

$$Q_{paliva} = \frac{Q_{vytápění}}{\eta} = \frac{9015{,}22}{0{,}85} = 10\,606{,}14 \text{ GJ/rok .}$$

V závislosti na výhřevnosti použité dřevní hmoty bude nutno zajistit ročně následující hmotnostní spotřebu paliva – viz tabulka 10.9 :

Tabulka 10.9 Roční spotřeba dřevní hmoty v závislosti na obsahu vody W / % / pro vytápění při požadovaném tepelném výkonu zdroje 1 MW

vlhkost paliva W / % /	roční spotřeba paliva t/rok	Výhřevnost paliva MJ/kg
10	646,72	16,4
20	750,61	14,13
30	893,52	11,87
40	1104,8	9,6
50	1446,95	7,33

Na základě hodnot uvedených v tabulce 10.9 je pak možno provést orientační přepočet roční spotřeby tepla a paliva pro jiný požadovaný tepelný výkon zdroje Q_T / MW /.

Pro roční objemovou spotřebu paliva je pak možno použít další výpočtový vztah a to :

$$V_{paliva} = \frac{M_{paliva}}{\rho} \quad / \ prm_s/rok \ /$$

kde : M_{paliva} roční spotřeba paliva / kg/rok /
ρ měrná hmotnost paliva / kg/prm_s / - na prostorový sypaný m^3.

Použijeme li například pro námi uvažovaný tepelný zdroj o výkonu 1 MW drcenou kůru o vlhkosti W = 40 % bude při ρ = 213 kg/prm_s její roční objemová spotřeba :

$$V_{paliva} = \frac{1104800}{213} = \mathbf{5\ 186,8\ \ prm_s/rok} \ .$$

Pro možnost porovnání vypočtené objemové spotřeby drcené kůry s hnědým a černým uhlím jsou v tabulce 10.10 uvedeny srovnávací hodnoty.

Tabulka 10.10 Porovnání objemové roční spotřeby paliva pro uvažovaný tepelný zdroj o jmenovitém výkonu 1 MW při roční spotřebě tepla v palivu Q_{palivo} = 10 606,14 GJ/rok.

palivo	výhřevnost MJ/kg	ρ kg/prm_s	roční spotřeba prm_s/rok	poměr ke kůře %
kůra	9,6	213	5 186,8	100
hnědé uhlí	17,0	730	854,6	16,47
černé uhlí	25,0	730	581,16	11,20

Z této tabulky jednoznačně vyplývá objemová náročnost na roční spotřebu paliva při energetickém využití biomasy a tím i zvýšené nároky na palivové cesty a skladovací prostor.

Objemovou náročnost spotřeby paliva je možno snížit použitím lisovaných peletek nebo briket, které se vyrábí i z kůry. Při použití například briket z kůry o parametrech :

výhřevnost	17 MJ/prm_s
měrná hmotnost	1100 kg/prm_s

poklesne objemová spotřeba paliva (pro námi uvažovaný případ) na hodnotu

$$V_{paliva} = 567,2 \ prm_s/rok..$$

Tato hodnota objemové spotřeby paliva je nižší než při použití černého uhlí. Pro praktické použití briket a peletek však bude rozhodující cena tohoto druhu paliva. Dle místní oblasti se pohybuje cena briket z kůry (včetně DPH) cca 2600 Kč/t.

Použitím briket z kůry poklesla objemová spotřeba paliva, oproti původní drcené kůře, v poměru objemů:

$$X = \frac{5\,186,8}{567,2} = 9,14 \text{ krát , to je na 10,93 \% původního objemu .}$$

Briketování biomasy je jednou z cest, která umožní její využití k účelům záměny paliva v systému ústředního vytápění v bytové sféře. Brikety se vyrábí z pilin, hoblin, kůry, slámy a pazdeří. Jejich širší využití by rovněž značnou měrou přispělo ke zlepšení čistoty ovzduší. Zůstává však fakt, že je nutno vždy zvažovat cenové relace těchto paliv v Kč/ GJ tepla ve vstupním palivu.

Briketování biomasy přináší jednak zvýšení výhřevnosti lisovaného paliva, neboť před vlastním briketováním dochází k vysoušení hmoty na cca W = 10 % a vlastním lisováním se pak podstatně zvyšuje měrná hmotnost původního stavu paliva.

10.2 Spotřeba slámy

Obdobně jako u dřevní hmoty bude při použití slámy jako paliva záviset maximální hodinová spotřeba paliva na jmenovitém tepelném výkonu kotle dle tabulky 10.11 .

V tabulce 10.11 je uvažováno s tepelnou účinností zdroje 85 % a výhřevností slámy :

obilní sláma 14,0 MJ/kg
řepková sláma 14,6 MJ/kg.

Tabulka 10.11 Hodinová spotřeba slámy pro uvedený tepelný výkon zdroje při jeho účinnosti 85 %

tepelný výkon zdroje / kW/	spotřeba obilní slámy / kg/h /	spotřeba řepkové slámy / kg/h /
500	151,26	145,04
1000	302,52	290,08
1500	453,78	435,13
2000	605,04	580,18
2500	756,30	725,22
3000	907,56	870,26

Pro stanovení roční spotřeby slámy budeme vycházet ze stejného příkladu, který byl uveden pro dřevní hmotu v kapitole 10.1 a to, že :

$$Q_{paliva} = 10\,606{,}14 \text{ GJ/rok.},$$

které odpovídá tepelnému výkonu zdroje pro krytí tepelných ztrát vytápěných objektů a tepelných ztrát rozvodů CZT v celkové výši 1 MW.

Uvedené roční spotřebě tepla pro vytápění odpovídá roční spotřeba slámy :

obilní sláma 757,58 t/rok
řepková sláma 726,45 t/rok.

Při uvažování hmotnosti balíků slámy 200 kg/balík bude činit roční spotřeba balíků slámy :

obilní sláma 3 788 balíků/rok
řepková sláma 3 632 balíků/rok.

Z uvedených čísel spotřeby slámy je patrno, jaké prostorové nároky budou kladeny na skládku paliva pro zajištění provozu kotle během topné sezóny, nebo při zajištění paliva na určitou dobu . Uvedená spotřeba slámy je uvažována pouze pro vytápění při instalovaném tepelném výkonu zdroje 1 MW. Pokud by centrální tepelný zdroj zajišťoval i dodávku TUV bude nutno k uvedené spotřebě paliva přičíst ještě spotřebu paliva na přípravu TUV.

11. Plošné regionální nároky na zdroje paliva

Pro další bilanční výpočty je nutno uvažovat s plošnými regionálními nároky pro zásobování tepelného zdroje použitých palivem ve formě biomasy.

11.1 Nároky na zdroje dřevní hmoty

Bilance produkce dřevní hmoty je věnována zvýšená pozornost a to z toho důvodu, že se mnohdy projektově uvažuje s výstavbou tepelného zdroje o určitém výkonu a v závěru prací se zjistí, že pro daný zdroj bude v jeho okolí nedostatek paliva. Dovoz dřevních odpadů z větších vzdáleností pak zcela naruší předpokládané ekonomické úvahy a celé ekonomické hodnocení.

Z prořezávek stromů lze obecně uvažovat s výtěžností dřevní hmoty (v lesních porostech) cca 5 – 10 plm z hektaru. Pro podrobnější bilanci je možno použít tabulku 11.1 , která uvádí koeficienty výtěžnosti složek nadzemní části stromů (dendromasy, podle Dejmala, 1986) pro průměrné vzrůstové poměry.

Tabulka 11.1 Koeficienty výtěžnosti složek nadzemní dendromasy

tloušťka stromu, resp.porostu v $d_{1,3}$											
	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50
smrk											
K_1	0,33	0,15	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
K_2	0,39	0,20	0,13	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
K_3	1,72	1,35	1,23	1,19	1,17	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14
jedle											
K_1	0,20	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
K_2	0,20	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
K_3	1,40	1,24	1,20	1,18	1,16	1,16	1,15	1,14	1,13	1,13	1,13

borovice

K_1	0,50	0,14	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
K_2	0,50	0,20	0,16	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14
K_3	2,00	1,34	1,25	1,21	1,19	1,18	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17

modřín

K_1	0,50	0,12	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
K_2	0,50	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
K_3	2,00	1,27	1,19	1,15	1,12	1,10	1,10	1,09	1,09	1,10	1,10

dub

K_1	0,33	0,11	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
K_2	0,37	0,29	0,24	0,20	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
K_3	1,70	1,40	1,29	1,23	1,20	1,18	1,18	1,17	1,17	1,17	1,17

buk

K_1	0,33	0,10	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
K_2	0,35	0,29	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20
K_3	1,68	1,39	1,30	1,26	1,24	1,22	1,21	1,21	1,21	1,21	1,22

Koeficienty v tabulce 11.1 mají následující význam :

K_1 … koeficient hmotnostní výtěžnosti jehličí (respektive listí)

K_2 … koeficient hmotnostní výtěžnosti dřeva z větví

K_3 … koeficient hmotnostní výtěžnosti nadzemní dendromasy.

Koeficienty výtěžnosti udávají poměr hmotnosti uvažovaných složek dendromasy k hmotnosti kmene ze kterého byly získány. Pro výpočet hmotnosti kmenů (v čerstvém stavu) byly uvažovány následující objemové hmotnosti dřeva :

smrk	740	kg/plm
jedle	1000	
borovice	700	
modřín	760	
dub	1000	
buk	990	

Pro ilustraci uvádíme příklad výpočtu. Pro výpočet hmotnostní výtěžnosti je potřeba znát ještě výšku stromu (pro výpočet výtěžnosti z jednoho stromu), nebo porostu, při výpočtech za celý porost. Postup výpočtu, např. hmotnostní výtěžnosti jehličí smrku o tloušťce 26 cm v $d_{1,3}$ a výšce 23 m je následující :

Kmen uvedených rozměrů má objem 0,6 m^3. Tomu odpovídá hmotnost kmene 0,6 m^3 x 740 kg/m^3 = 444 kg . Hmotnostní výtěžnost jehličí z tohoto stromu je pak 444 x K_1 = 444 x 0,07 = 31 kg. Obdobným způsobem je pak možno zjistit další složky výtěžnosti dendromasy.

Pro urychlení přehledu o složení nadzemní dendromasy uvádíme v tabulce 11.2 obsah základních komponentů.

Tabulka 11.2 Obsah základních komponentů v čerstvých štěpkách v procentech hmotnosti (Kocman, Neterda, 1984).

vstupní materiál	stromová zeleň	dřevní hmota	kůra	příměsi
Mýtní těžby				
Klest po mechanickém odvětvování smrku, 94 let	73 %	18 %	9 %	0,2 %
Klest po odvětvování JMP ruční snášení klestu, smrk 102 let	48 %	40 %	12 %	0,1 %
Klest po odvětvování JMP ruční snášení klestu, smrk 112 let	29 %	54 %	17 %	0,3 %
Klest po mechanickém odvětvování borovice, 97 let.	28 %	63 %	9 %	-
Výchovné zásahy				
Celé stromy, smrk 10 let	55 %	35 %	10 %	0,1 %
Tlouštka na pařezu do 4 cm Celé stromy, smrk 18 let	28 %	61 %	11 %	0,1 %
Tlouštka na pařezu do 6 cm Celé stromy borovice 18 let	19 %	68 %	13 %	-
Tlouštka na pařezu do 7 cm Celé stromy, smrk 40 let	15 %	71 %	14 %	-
Tlouštka na pařezu 13 cm				

Pro hmotnostní bilanci prořezávek celých stromků je možno použít tabulku 11.3

Tabulka 11.3 Objem a hmotnost celých stromků borovice z prořezávek a prvních probírek (Harstela – Kurvinen, 1980)

$d_{1,3}$ / cm /	výška stromu /m/	objem celého stromu / dm^3/	hmotnost celého stromu / kg /
3	5	3,5	3,3
4	6	6,8	6,3
5	6	11,2	10,3
6	7	17,2	15,9
7	7	24,2	22,2
8	8	33,3	30,6
9	9	44,3	40,4
10	9	55,8	50,9

11.1.1 Bilance produkce dřevní hmoty ze zpracování na pilách

Při stanovení množství vznikajícího dřevního odpadu je nutno vycházet ze zpracovávaného materiálu v / plm /. Dle dlouhodobých průměrů jsou jednotlivé druhy dřevního odpadu z 1 plm zpracovávaného materiálu následující – viz tabulka 11.4 .

V provozech, kde se kulatina odkorňuje na strojních odkorňovačích , připadne ze zpracovávané dřevní hmoty v / plm / na kůru cca 10 % . Při uvažování průměrné hmotnosti 600 kg/plm, připadne na 1 plm odkorněné kulatiny cca 60 kg kůry.

Tabulka 11.4 Množství odpadu v /% / ze zpracované hmoty v / plm /

druh materiálu	odpad celkem %	z toho			
		piliny %	užit. odpad %	kusový odpad %	prach a drobný odpad %
jehlič. kulatina	32,97	13,26	3,22	11,46	5,0
listnatá kulatina	39,71	15,60	4,25	14,18	5,67
jehlič. řezivo	48,04	14,41	2,49	14,41	16,72
listnaté řezivo	64,01	19,20	-	19,20	25,6
překližky	13,79	4,59	-	2,29	6,89
laťovky	11,82	3,44	-	-	8,37
dýhy	39,89	12,02	-	3,82	24,04
hranolky	62,57	18,86	6,28	6,28	31,13
přířezy	18,51	6,17	-	-	12,34

11.1.2 Náhrada ostatních druhů paliv

Jedna tuna dřevní hmoty na vstupu do tepelného zdroje (o daném obsahu vody W %) je schopna nahradit následující paliva, viz tabulka 11.5 .

Tabulka 11.5 Jedna tuna dřevní hmoty je schopna nahradit na vstupu do tepelného zdroje následující hmotnost vybraných paliv

Dřevní hmota W / % /	Výhřevnost dřevní hmoty MJ/kg	Náhrada hnědého uhlí v kg	Náhrada černého uhlí v kg	Náhrada LTO v kg	Náhrada zemního plynu v m^3
10	16,4	982,62	643,13	400	482,35
20	14,13	846,6	554,12	344,63	415,59
30	11,87	711,2	465,49	289,51	349,12
40	9,6	575,2	376,47	234,14	282,35
50	7,33	439,2	439,18	178,78	215,49

Výhřevnosti nahražovaných paliv byly uvažovány následující :

- hnědé uhlí Q_n = 16,69 MJ/kg
- černé uhlí 25,5
- LTO 41,0
- zemní plyn 34,0 MJ/m^3.

11.1.3 Limitní dopravní vzdálenost pro svoz dřevní hmoty k tepelnému zdroji

Pro praktický příklad použijeme stanovení limitní dopravní vzdálenosti pro dovoz dřevní štěpky o následujících hodnotách :

obsah vody W = 45 % , výhřevnost 8,46 MJ/kg , složení štěpky z 70 % smrk a z 30 % dub, nebo buk.. Tomuto složení odpovídá měrná hmotnost štěpky při daném obsahu vody 317 kg/prm_s.

Pro náhradu ostatních druhů paliv je uvažováno s následující jejich cenou (včetně DPH) :

- hnědé uhlí 1520,- Kč/t … 91,07 Kč/GJ ve vstupním palivu
- černé uhlí 2400,- Kč/t 94,12
- zemní plyn 5,40 Kč/m^3 158,82 při výhřevnosti 34 MJ/m^3
- dřevní štěpka 300,- Kč/t 35,46 Kč/GJ.

Cena dřevní štěpky je uvažována 300,- Kč/t , která tak vychází pro místního provozovatele , který provádí probírky a údržbu lesních porostů v blízkosti tepelného zdroje .

Pro dovoz dřevní štěpky je uvažováno s vozidlem LIAZ o nosnosti 5 t o odpovídajícím objemu štěpky V = 15,8 m^3 . Během jedné cesty bude dovezeno palivo o hmotnosti M_{paliva} = 5 / t / o tepelné energii ve vstupním palivu

Q_{paliva} = 42,3 GJ.

Jedna doprava paliva uvedeným vozidlem představuje rozdíl v ceně paliv :

- hnědé uhlí (91,07 – 35,46) Kč/GJ * 42,3 GJ = **2354,80 Kč**
- černé uhlí (94,12 – 35,46) Kč/GJ * 42,3 GJ = **2481,30 Kč**
- zemní plyn (158,82 – 35,46) Kč/GJ * 42,3 GJ = **5218,10 Kč.**

Pro stanovení limitní dopravní vzdálenosti vycházíme z předpokladu, že náhradou paliv nezískáme žádný finanční přínos vyplývající z rozdílnosti ceny paliv v Kč/GJ . Cena dopravy je uvažována dle průměrných , nabídkových cen dopravních společností a to 25,- Kč/km. To znamená, že pro cestu tam a zpět pak vychází cena dopravy 50,- Kč/km. Limitní dopravní vzdáleností je pak definována jako vzdálenost od zdroje tepla ke zdroji dřevní hmoty v /km/. Tato vzdálenost je pro vybrané druhy paliva uvedena v tabulce č. 11.6 .

Tabulka 11.6 Limitní dopravní vzdálenost v km pro svoz dřevní štěpky při náhradě uvedených druhů paliv.

nákupní cena dřevní štěpky Kč/t	náhrada hnědého uhlí km	náhrada černého uhlí km	náhrada zemního plynu km
300,-	47	49,6	104,3
600,-	17	19,6	74,4
900,-	0	0	44,4

Limitní dopravní vzdálenost dřevní štěpky je uvedena pro různé nákupní ceny, které odpovídají místním možnostem v závislosti na nabídce a poptávce.

Uvedená nákupní cena štěpky v tabulce 11.6 nezahrnuje náklady na dopravu. Obdobným způsobem je možno stanovit limitní dopravní vzdálenost pro jiný druh biomasy, různé ceny dopravy a paliva dle místních poměrů.

Při veškerých úvahách je však nutno respektovat vlhkost daného druhu biomasy, výhřevnost a měrnou hmotnost, která odpovídá dané vlhkosti. Při nízké měrné hmotnosti daného druhu použitého paliva se může stát, že plný objem vozidla určený pro přepravu nákladu ani nevyužije danou nosnost vozidla.

11.2 Nároky na zdroje slámy

U slámy je možno vycházet z hodnot, že výnos slámy na 1 ha osázené plochy činí :

obilní sláma	4	t/ha
řepková sláma	5,3	t/ha.

Vzhledem k tomu, že produkci slámy je nutno k dalšímu použití upravit lisováním do balíků, je dávána přednost slámě obilní. Řepková sláma se během lisování drolí a tím je její využitelná výtěžnost výtěžnost z 1 ha snížena na cca 60 %, což činí 3,2 t/ha lisované slámy.

11.2.1 Náhrada ostatních druhů paliv

Jedna tuna slámy na vstupu do tepelného zdroje je schopna nahradit následující paliva, viz tabulka 11.7 .

Tabulka 11.7 Jedna tuna slámy je schopna nahradit na vstupu do tepelného zdroje následující hmotnost vybraných paliv

druh slámy	výhřevnost MJ/kg	náhrada hnědého uhlí /kg/	náhrada černého uhlí /kg/	náhrada LTO /kg/	náhrada zemního plynu /m^3/
obilní	14,0	838,8	549,0	341,5	411,7
řepková	14,6	874,8	572,5	356,1	429,4

Pro výpočet náhrady uvedených paliv v tabulce 11.7 byly použity následující výhřevnosti :

hnědé uhlí	16,69	MJ/kg
černé uhlí	25,5	MJ/kg
LTO	41,0	MJ/kg
zemní plyn	34,0	MJ/m^3 .

11.2.2 Limitní dopravní vzdálenost pro svoz slámy k tepelnému zdroji

Pro stanovení limitní dopravní vzdálenosti pro svoz balíků obilní slámy byly použity stejné ceny pro náhradu porovnávaných paliv, jako tomu bylo pro svoz dřevní hmoty (viz kapitola 11.1.3 na straně 71).

Pro svoz obilní slámy je uvažováno s balíky slámy o hmotnosti 200 kg/kus a výhřevností slámy 14,0 MJ/kg. Cena slámy (včetně DPH) je uvažována v rozmezí :

270,- Kč/t	pro zemědělce, který sám produkci slámy energeticky využívá
900,- Kč/t	zvažovaná maximální cena bez dopravy při nákupu slámy.

Pro svoz slámy je opět uvažováno s vozidle LIAZ. Během jedné cesty bude dovezeno celkem 15 balíků slámy, čemuž odpovídá hmotnost dovezeného paliva

$$M_{paliva} = 15 \times 200 = 3000 \text{ kg} .$$

Jedna doprava paliva o hmotnosti 3000 kg představuje tepelnou energii ve vstupním palivu :

$$Q_{paliva} = 3000 \times 14,0 = 42 \text{ GJ} .$$

Pro cenu samozásobitele slámou 270,- Kč/t vychází cena tepla ve vstupním palivu, při uvedené výhřevnosti slámy 14,0 MJ/kg : **19,28 Kč/GJ .**

Jedna doprava obilní slámy uvedeným vozidlem představuje rozdíl v ceně paliv :

- hnědé uhlí (91,07 - 19,29) x 42 = 3 015,18 Kč
- černé uhlí (94,12 - 19,28) x 42 = 3 143,28 Kč
- zemní plyn (158,82 - 19,28) x 42 = 5 860,68 Kč.

Při ceně dopravy tam a zpět 2 x 25 Kč/km = 50,- Kč/km bude limitní dopravní vzdálenost pro svoz obilní slámy dle tabulky 11.8 .

Tabulka 11.8 Limitní dopravní vzdálenost pro svoz obilní slámy při náhradě uvedených paliv a uvedených cenách slámy

cena slámy Kč/t	náhrada hnědého uhlí / km /	náhrada černého uhlí / km /	náhrada zemního plynu / km /
270	60,3	62,8	117,2
600	40,5	43,0	97,4
900	22,5	25,0	79,4

Limitní dopravní vzdálenost pro svoz obilní slámy pro její různé ceny je opět definována jako vzdálenost od zdroje tepla ke zdroji slámy v / km / .

11.3 Plošné nároky na palivo pro jmenovitý tepelný výkon zdroje 1 MW, který v systému CZT zajišťuje pouze dodávku tepla pro vytápění bez přípravy TUV

Z uvedených příkladů pro centrální tepelný zdroj o jmenovitém tepelném výkonu 1 MW, který zajišťuje pouze dodávku tepla pro vytápění (bez přípravy TUV), se jedná o následující hodnoty – viz tabulka 11.9 .

Tabulka 11.9 Plošné nároky na zajištění paliva při použití dřevní hmoty z prořezávek lesních porostů, využití obilní slámy, nebo objem zpracované dřevní hmoty na pilách (tepelný zdroj 1 MW).

zdroj paliva	dřevní hmota W = 40 % Q_n = 9,6 MJ/kg	obilní sláma Q_n = 14,0 MJ/kg
prořezávky lesních porostů		
- pouze měkké dřevo	199,02 ha/rok	
- pouze tvrdé dřevo	148,77 ha/rok	
zpracování dřeva na pile		
- pouze měkké dřevo	4976 plm/rok	
- pouze tvrdé dřevo	3719 plm/rok	
sláma z pole		189,4 ha/rok

Hodnoty uvedené v tabulce 11.9 jsou uvedeny pro roční spotřebu tepla ve vstupním palivu Q_{paliva} = 10 604,14 GJ/rok , jmenovitý tepelný výkon zdroje 1 MW při tepelné účinnosti zdroje 85 %. Pro prořezávky lesních porostů bylo uvažováno s hodnotou produkce dřevní hmoty 7,5 plm/ha při měrné hmotnosti měkkého dřeva 740 kg/plm a tvrdého dřeva 990 kg/plm. Pro stanovení potřebného zpracování dřevní hmoty na pilách se vycházelo z hodnoty, že odpad dřevní hmoty činí 30 % (piliny a kůra) z celkové zpracované roční produkce pily v plm/rok.

Na základě uvedených hodnot je možno provádět potřebné bilance roční spotřeby paliva a získat přehled o plošné náročnosti lesních a polních ploch pro zajišťování dostatečného množství paliva pro centrální zdroj tepla.

12. Investiční náklady na realizaci centrálního tepelného zdroje na spalování dřevní hmoty a slámy

Pro zdroje tepla , které používají kusovou dřevní hmotu (teplovodní zplyňovací kotle) je jejich cena včetně DPH cca 1000,- Kč/kW instalovaného tepelného výkonu kotle. Tato cena je srovnatelná s plynovými kotli s atmosferickými hořáky. Maximální jmenovitý tepelný výkon těchto kotlů je do 100 kW . Pro vyšší tepelné výkony je nutno volit odpovídající počet kotlů, nebo použít kotle na spalování drobné dřevní hmoty.

Kotle na spalování drobné dřevní hmoty být jak od tuzemských, tak od zahraničních dodavatelů. Jejich cena tak bude záviset na „ *věhlasnosti* „ použité výrobní značky (jak je běžné v komerční sféře i u ostatního druhu zboží) , technické vybavenosti a použitém způsobu regulace provozu kotle.

Pro tuzemské dodávky kotlů na drobnou dřevní hmotu v rozsahu tepelného výkonu 50 – 500 kW je možno uvažovat s cenou (včetně DPH) cca 2000,- Kč/kW instalovaného tepelného výkonu kotle. V ceně je zahrnut i provozní zásobník paliva a doprava paliva z tohoto zásobníku do kotle. Uvedená cena nezahrnuje montáž a uvedení do provozu. Regulační rozsah výkonu těchto teplovodních kotlů je 10 – 100 % jmenovitého tepelného výkonu kotle. Tepelná účinnost kotle při jmenovitém výkonu je 86 %. Maximální vlhkost použité dřevní hmoty je do W = 40 %.

U teplovodních kotlů od zahraničních dodavatelů, o stejném rozsahu výkonů 50 – 500 kW , lze uvažovat s cenou (včetně DPH) cca 5000,- Kč/kW, což je oproti tuzemským dodavatelům cena cca 2,5 krát vyšší.

Pro kotle na spalování drobné dřevní hmoty vyšších tepelných výkonů , které jsou zatím převážně realizovány prostřednictvím zahraničních dodávek se cena kotlů pohybuje v rozmezí cca :

- horkovodní kotel o výkonu 6 MW
  cena zahrnuje dodávku, montáž a uvedení do provozu (bez cla a bez DPH)
  cena … 28 160 000,- Kč, což představuje
  4 693,- Kč/kW instalovaného výkonu kotle bez cla a bez DPH .

- teplovodní kotel 425 kW, 3,5 baru , 115 ^{o}C na drobnou dřevní hmotu do do max. W = 50 %
  cena zahrnuje dodávku, montáž a uvedení do provozu bez DPH
  cena … 4 486 980,- Kč , což činí na 1 kW instalovaného výkonu
  9 971,- Kč/kW .

Pro kotle s vyšším tepelným výkonem (jak pro spalování dřevní hmoty a slámy) nejsou běžně k disposici cenové listy, neboť se většinou jedná o kusovou dodávku zařízení. Z tohoto důvodu je vždy cena stanovena na základě konkrétní nabídky dodavatelské firmy.

Z uvedených konkrétních nabídkových cen je patrný značný rozsah ceny v Kč/kW instalovaného tepelného výkonu. Z tohoto důvodu není možno jednoznačně uvést měrnou hodnotu v Kč/kW.

V této souvislosti je nutno si uvědomit, že se vzrůstajícím tepelným výkonem zařízení klesají měrné investiční náklady v Kč/kW instalovaného výkonu.

Pro teplovodní kotel na spalování slámy o jmenovitém tepelném výkonu 420 kW, parametry topného media 100/70 ^{o}C … činí investiční náklady (tuzemská dodávka) … 1 200 000,- Kč , což je na 2 857,- Kč/kW instalovaného tepelného výkonu kotle.

Investiční náklady na zplyňování dřevní hmoty (bez nákladů na plynový motor s generátorem a bez nákladů na stavební práce) jsou pro tepelný výkon generátoru 120 kW … 558 000,- Kč, což představuje 4 650,- Kč/kW instalovaného výkonu plynového generátoru na dřevoplyn.

Shrneme li uvedené údaje do tabulky, jedná se pak o následující údaje – viz tabulka 12.1 .

Tabulka 12.1 Měrné investiční náklady

typ zdroje	tuzemský dodavatel	zahraniční dodavatel
teplovodní kotel na kusové dřevo do 100 kW bez montáže	1000,- Kč/kW	
teplovodní kotel na drobný dřevní odpad do 500 kW	2000,- Kč/kW bez montáže	5000,- Kč/kW včetně montáže
horkovodní kotel na drobný dřevní odpad o výkonu 6 MW		4693,- Kč/kW včetně montáže , bez cla a bez DPH
teplovodní kotel 425 kW		9971,- Kč/kW,včetně montáže a měření emisí
zplyňovací jednotka na dřevoplyn, tepelný výkon 120 kW	4650,- Kč/kW cena bez plynového motoru a el. generátoru	

13.Vliv obnovitelných zdrojů energie na zlepšení životního prostředí

13.1 Produkce škodlivin při spalování dřevních odpadů

Pro výpočty je možno použít následující emisní faktory, které vychází z provedených měření na tepelných zdrojích (středních zdrojích), které jsou vybaveny multicyklonovým odlučovačem tuhých částic.

Tabulka 13.1 Emisní faktory pro spalování dřevní hmoty (piliny, hobliny, kůra a drobné kusy dřeva) v kg/t spalované dřevní hmoty

CO	NO_x	SO_2	TL	C_xH_y
0,4207	0,1921	0,0079	0,1635	0,0318

Pro možnost porovnání s ostatními druhy paliv jsou v tabulce 13.2 uvedeny hodnoty hodnoty emisí, které jsou vztaženy na 1 GJ ve vstupním palivu.

Tabulka 13.2 Průměrné emise škodlivin uvedených druhů paliv na 1 GJ přivedený v palivu

palivo	emise kg/GJ		
	SO_2	CO_2	NO_x
hnědé uhlí	1,0	95,6	0,219
černé uhlí	0,4	92,7	0,250
zemní plyn	0,0	56,3	0,170
dřevní hmota	0,0	102,3	0,027

Jak je patrno z tabulky 13.2 je spalování dřevní hmoty z ekologického hlediska srovnatelné se spalováním zemního plynu. Emise NO_x je při využití dřevní hmoty ještě nižší než při spalování zemního plynu a to o hodnotu 0,143 kg/GJ. Zvýšená emise CO_2 je u biomasy v přírodě kompenzována bilanční rovnováhou mezi spotřebou CO_2 k růstu hmoty a produkcí CO_2 vznikajícího při spalování. Vyšší hodnota emise CO_2 pro dřevní hmotu (oproti porovnávaným fosilním palivům uvedeným v tabulce 13.2) je způsobena tím, že u dřevní hmoty převažuje jako spalitelná látka uhlík a vodík. U uhlí se na výhřevnosti paliva podílí ještě síra, která má u dřevní hmoty nulové zastoupení.

Z uvedených hodnot emisí vyplývá závěr, že energetické využití dřevní hmoty i slámy (která má obdobné chemické složení) přináší nejenom úsporu ostatních druhů paliv ale současně snižuje ekologickou zátěž životního prostředí.

14. Závěr produktu

V závěru předloženého produktu bychom rádi zdůraznili tu skutečnost, že dřevní odpady a sláma představují ***tuzemský zdroj energie, který sebou současně přináší i zlepšení čistoty ovzduší.*** Z tohoto důvodu je nutno posuzovat tato paliva jako ušlechtilý zdroj energie a podle toho s nimi nakládat.

Rovněž využití dřevoplynu v kogeneračních jednotkách představuje nejenom značnou úsporu tepla ve vstupním palivu, ale dává technickou možnost ke kombinované výrobě tepla a elektrické energie.

Kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie je možno realizovat pomocí parního cyklu, kdy se použije protitlaká parní turbina, nebo parní motor. Obě tyto cesty vedou k úspoře paliva ve výši cca 30 % oproti oddělené výrobě tepla a elektrické energie. Nespálené (ušetřené palivo) pak opět představuje odpovídají snížení ekologické zátěže ovzduší.

Cílem našeho produktu bylo ukázat na možné směry ve využití obnovitelných zdrojů energie v rámci energetických koncepcí regionů, měst a obcí . Pro případné doplnění podkladů je možno vycházet z použité literatury, která je dále uvedena .

Ekonomii provozu tepelných zařízení na využití dřevní hmoty a slámy je možno zlepšit tím, že v době přebytku tepelné energie (přechodné, nebo letní období) je možno využít doprovodných technologií jako je sušení řeziva apod. Oblast využití dřevní hmoty jako paliva současně předpokládá, že se v dané oblasti těží dřevní hmota, kterou je výhodné sušit s ohledem na další komerční účely.

Použitá literatura

- Využití a likvidace odpadů
  Doc.Ing: K. Trnobranský,CSc
  Doc.Ing. Ladislav Dvořák, CSc.
  Skripta ČVUT – FSI, Praha 1990

- Spalování bioodpadů s využitím fermentačního reaktoru
  a kogenerační jednotky
  Doc.Ing. K. Trnobranský, CSc.
  Marie Valentová
  René Dufour
  ČEA 1999

- Energetické využití dřevních odpadů
  Doc.Ing. K. Trnobranský, CSc.
  Marie Valentová
  René Dufour
  ČEA 1998

- Prospektové materiály firem, které se zabývají energetickým využitím obnovitelných zdrojů energie

Tuzemští výrobci zařízení pro energetické využití obnovitelných zdrojů energie (dřevní hmoty, slámy a dřevoplynu).

Využití dřevní hmoty

Tato zařízení jsou rozdělena do dvou skupin a to :

- Zařízení na spalování kusové dřevní hmoty
- Zařízení na spalování drobné dřevní hmoty.

Zařízení na spalování kusové dřevní hmoty

1) ATMOS – Jaroslav Cankář a syn
   Velenského 487
   294 21 Bělá pod Bezdězem
   tel. 0326/701404
   - pyrolýzní (zplyňovací) teplovodní kotle

2) ACEJKO Křenovský
   Polní 1
   792 01 Bruntál
   tel. 0646/711872
   - pyrolýzní (zplyňovací) teplovodní kotle

3) STS Jindřichův Hradec, s.r.o.
   Jarošovská 58
   377 82 Jindřichův Hradec
   tel. 0331/321272
   - pyrolýzní (zplyňovací) teplovodní kotle

4) Verner, a.s.
   Sokolovská 321
   549 41 Červený Kostelec
   tel. 0441/465024
   - pyrolýzní (zplyňovací) teplovodní kotle

Zařízení na spalování drobné dřevní hmoty

1) Clauhan, s.r.o.
   Štefánikova 5
   602 00 Brno
   tel. 05/41214092
   -teplovodní, horkovodní a parní kotle včetně dopravních cest a skládky paliva

2) BIOPAL Technologie, s.r.o.
   Zátiší 3249
   738 01 Frýdek – Místek
   tel. 0658/37353
   - výroba kotlů na biomasu ve výkonovém rozsahu 200 – 1000 kW

3) IMAVECO, s.r.o.
   Dělnická 54
   170 04 Praha 7
   tel. 02/805988
   - výroba kotlů na biomasu včetně dopravních cest a skládky paliva

4) Jan Šamata
   Vitějovice 87
   384 27 okr. Prachatice
   tel. 0338/328710
   -teplovodní kotle včetně zásobníku paliva v rozsahu výkonů 50 – 500 kW

5) Vyncke Praha, s.r.o.
   Pod Krocínkou 7
   190 00 Praha 9
   tel. 02/ 6978538
   - teplovodní, horkovodní a parní kotle v rozsahu výkonu 150 – 15000 kW

Zařízení pro spalování slámy

1) Clauhan, s.r.o.
   Štefánikova 5
   602 00 Brno
   tel. 05/41214092
   - dodávka a montáž zařízení na energetické využití slámy dle technologie Lin – ka z Dánska

2) Step Trutnov, a.s.
   Horská 289
   541 02 Trutnov 4
   tel. 0439/811892
   - dodávka kotelen na spalování slámy ve spolupráci s firmou Verner, a.s.

Zařízení pro zplyňování dřevní hmoty

1) ATEKO, a.s.
   Resslova 956
   500 10 Hradec králové
   tel. 049/5750315
   - zařízení pro zplyňování biomasy (sláma, štěpka, kůra)

2) MWG Energy, s.r.o.
   Marie Kudeříkové 19
   638 00 Brno Židenice
   tel. 05/20538

O B S A H

1. Úvod strana 2
2. Využití obnovitelného zdroje ve formě biomasy 4
   2.1 Vyjadřování obsahu vody v dřevní hmotě 6
   2.2 Chemické složení hořlaviny paliva 8
   2.3. Snížení ekologické zátěže ovzduší energetickým využitím biomasy 11
3. Druhy zařízení a jednotlivé komponenty 12
   3.1 Spalování kusové dřevní hmoty 12
   3.2 Spalování drobné dřevní hmoty 12
   3.3 Spalování slámy 13
   3.4 Zplyňování dřevní hmoty 13
   3.5 Základní komponenty kotlů 14
   3.6 Základní komponenty související dopravy a skládky paliva 14
   3.7 Drtiče dřevní hmoty 15
4. Praktické ukázky technického řešení zařízení pro energetické využití biomasy 16
   4.1 Kotle na kusovou dřevní hmotu 16
   4.2 Kotle na spalování drobné dřevní hmoty 17
   4.3 Doprava do kotle z centrálního zásobníku 19
   4.5 Kotle pro spalování slámy 20
5. Výroba a využití dřevoplynu pro energetické účely 26
6. Možnost využití kondenzačního tepla spalin při spalování dřevní hmoty 27
7. Energetické využití bioplynu 32
   7.1 Vznik a vlastnosti bioplynu 32
   7.2 Surovina pro výrobu bioplynu 34
   7.3 Biochemie metanogeneze 36
8. Centrální energetický zdroj na dřevní hmotu a slámu s návazným systémem CZT 42
   8.1 Výroba elektrické energie v kondenzační elektrárně 43
   8.2 Výtopna jako centrální energetický zdroj 44
   8.3 Základy kombinované výroby tepla a el. energie 45
   8.4 Kombinovaná výroba tepla a el. energie s využitím parního motoru 48
   8.5 Úspora tepla ve vstupním palivu při kombinované výrobě tepla a elektrické energie 50

9. Energetické využití dřevoplynu 52
10. Spotřeba paliva tepelného zdroje na biomasu 56
10.1 Spotřeba dřevní hmoty 59
10.2 Spotřeba slámy 65
11. Plošné regionální nároky na zdroje paliva 66
11.1 Nároky na zdroje dřevní hmoty 66
11.1.1 Bilance dřevní hmoty ze zpracování na pilách 69
11.1.2 Náhrada ostatních druhů paliv 70
11.1.3 Limitní dopravní vzdálenost pro svoz dřevní hmoty k tepelnému zdroji 71
11.2 Nároky na zdroje slámy 73
11.2.1 Náhrada ostatních druhů paliv 73
11.2.2 Limitní dopravní vzdálenost pro svoz slámy k tepelnému zdroji 73
11.3 Plošné nároky na palivo pro jmenovitý tepelný výkon zdroje 1 MW, který v systému CZT zajišťuje pouze dodávku tepla pro vytápění 75
12. Investiční náklady na realizaci centrálního zdroje tepla na spalování dřevní hmoty a slámy 76
13. Vliv obnovitelných zdrojů na zlepšení životního prostředí 78
13.1 Produkce škodlivin při spalování dřevních odpadů 78
14. Závěr produktu 79

Použitá literatura 80
Tuzemští výrobci zařízení pro energetické využití obnovitelných zdrojů energie (dřevní hmoty, slámy a dřevoplynu) 81

Zpracovatel:

EUPRI **Občanské sdružení pro nadnárodní spolupráci v oblasti životního prostředí**
Vršovická 51 , 101 01 Praha 10