



Řešení centrálních kotelen na biomasu do výkonu 10 MW



Česká energetická agentura 2007

Řešení centrálních kotelen na biomasu do výkonu 10 MW

Publikace obsahuje technické podklady o energetickém využití biomasy, návrh volby vhodného typu spalovacího zařízení, způsobu skladování a dopravy paliva do kotle, protipožární a blokovací zařízení, stanovení limitní dopravní vzdálenosti pro svoz biopaliva k tepelnému zdroji, zajištění potřebné plochy pro pěstování energetických plodin a vliv energetického využití biomasy na snížení emisí škodlivých látek odcházejících do ovzduší

Publikace je určena pro potřeby ČEA, poradenskou činnost v rámci EKIS při ČEA, projektanty kotelen, odborné pracovníky městských úřadů a pro vzdělávání studentů středních škol a širokou veřejnost.

Publikaci zpracoval:

Doc. Ing. Karel Trnobranský, CSc.

Bydliště : 273 43 Buštěhrad, Kladenská 223

IČ : 153 77 792

DIČ : CZ 441018109

Mobil : 739 948 276

e-mail : KarelTrnobransky@seznam.cz .

Spolupráce: Soňa Koudelková

Radek Trnobranský

Odborná korektura: Ing. Rostislav Kvarda

Tato publikace byla realizována z finančních prostředků poskytnutých ČEA.

Obsah

1. Úvod	5
2. Energetické využití biomasy	9
2.1 Vyjadřování obsahu vody v dřevní hmotě	14
2.2 Chemické složení hořlaviny paliva	16
2.3 Spalování kusové dřevní hmoty	18
2.4 Spalování drobné dřevní hmoty	18
2.5 Zplyňování dřevní hmoty	19
2.6 Základní komponenty kotlů	19
2.7 Základní komponenty související dopravy a skládky paliva	20
2.8 Drtiče dřevní hmoty	21
3. Praktické uplatnění a zasazení do komplexu CZT	22
3.1 Teplovodní a horkovodní kotle	22
3.2 Parní kotle	22
3.3 Základní energetická bilance celého komplexu	22
3.4 Bilance produkce dřevní hmoty z prořezávek a probírek lesních porostů	27
3.5 Bilance produkce dřevní hmoty ze zpracování na pilách	31
3.6 Náhrada ostatních druhů paliv	32
3.7 Limitní dopravní vzdálenost pro svoz dřevní hmoty k tepelnému zdroji	32
3.8 Produkce škodlivin při spalování dřevních odpadů	34
3.9 Investiční náklady kotlů na dřevní hmotu	35
4. Pěstování rychle rostoucích dřevin	36
4.1 Sortiment dřevin pro výmladkové plantáže RRD	37
5. Energetické využití slámy	42
5.1 Sláma jako palivo	44
6. Využití zemědělských energetických plodin a bylin	47
7. Tepelný výkon centrální kotelny na biomasu	61

8. Požadavky na kotle pro spalování biomasy	63
8.1 Vysoký obsah prchavé hořlaviny.....	63
8.2 Vliv obsahu vody ve spalovaném palivu.....	65
9. Konstrukce kotlů na biomasu	67
9.1 Spalovací zařízení se spodním přívodem paliva.....	67
9.2 Spalovací zařízení s pevným nebo přesuvným šikmým roštem	69
9.3 Kotle na spalování slámy.....	70
10. Skládky paliva a transportní cesty paliva do kotle	75
10.1 Skládka dřevní hmoty.....	75
10.2 Skládka paliva balíkové slámy.....	84
11. Porovnání emisí při spalování biomasy a běžných fosilních paliv.....	84
12. Přehled hlavních dodavatelů kotlů na biomasu a seznam vybraných instalací centrálních kotelen	87
13. Dotace na podporu pěstování a užití biomasy	89
14. Závěry a doporučení k řešení centrálních kotelen na biomasu.....	93
15. Seznam použité literatury.....	95

1. Úvod

Obnovitelný zdroj energie se dostává znovu do podvědomí lidstva po časové etapě, která představovala především energetické využívání fosilních paliv. Vzhledem k tomu, že zásoby fosilních paliv jsou vyčerpatelné, bude nezbytné, aby se lidstvo opět vrátilo k tomu co předcházelo, a to je právě využití obnovitelných zdrojů energie. První varovný signál o závislosti lidské společnosti pouze na fosilních zdrojích byla tzv. *ropná krize*. V tomto případě ještě nešlo o to, že zdroje ropy jsou již vyčerpány, ale o varování co může následovat až k vyčerpání fosilních zdrojů dojde. Reakce na tuto skutečnost byla realizována okamžitě například ve Švédsku tím, že teplovodní kotle pro ústřední vytápění rodinných domů byly dvoupalivové, kde jedno palivo vždy představovalo dřevo jako obnovitelný zdroj energie.

Návrat k vyššímu rozvoji využívání obnovitelných zdrojů energie je nezbytný s ohledem na udržitelný rozvoj lidské společnosti, snižování emisí skleníkových plynů, které mají za následek oteplování planety Země, což vede ke klimatickým změnám, které jsou doprovázeny živelnými pohromami, táním ledovců, úhynem ledních medvědů atd. Nejedná se proto o žádné moderní trendy v oblasti energetiky, ale o nezbytnost s ohledem na budoucnost lidstva.

Uvedenou problematiku je nutno podporovat i dalšími způsoby technických řešení, která povedou ke snižování stávající spotřeby energie a využívání nových způsobů výroby elektrické energie, včetně využití jaderné energetiky. Z uvedeného zkráceného výčtu problémů však jednoznačně vyplývá, že do budoucna je nutno řešit ***globální energetický a ekologický problém lidstva.***

Jaderná energetika představuje relativně nízké provozní náklady spojené s výrobou elektrické energie a nulové emise CO₂. Avšak vysoké jsou investiční náklady, což ovlivňuje dobu návratnosti. Rovněž je nutno brát v úvahu velký důraz na bezpečnost provozu jaderné elektrárny, likvidaci jaderného vyhořelého paliva a zabezpečení objektu proti možnosti teroristického útoku.

Obnovitelné zdroje energie jsou ve své podstatě spojeny se slunečním zářením. V podmínkách České republiky se jedná o energetické využití větru, biomasy, vody, slunečního záření, které umožňuje využití i tepla obsaženého ve vzduchu. Sluneční energie dopadající na Zemi je podstatně vyšší, než je lidstvo schopno spotřebovat. Přitom lze

z ekonomického pohledu konstatovat, že dopadající sluneční energie je zadarmo. Je nutno si však uvědomit, že využití slunečních kolektorů, větrných a vodních elektráren již však představuje mnohdy nemalé investiční prostředky. Po jejich výstavbě je však možno z nich dostávat lacinou energii.

Další přednost energetického využití obnovitelných zdrojů energie spočívá v tom, že se jedná o tuzemský zdroj energie, který poskytuje určitý stupeň nezávislosti na cizích zdrojích. Tato skutečnost je pak neocenitelná při vzniku energetických krizových situací. Například rodinný dům, který je osazen solárními fotovoltaickými články na výrobu elektrické energie, slunečními kolektory pro dodávku tepla a kotlem na dřevo, je v zásadě schopen při energeticky úsporném režimu přežít i když nic jiného nebude fungovat.

Z legislativního pohledu, dle zákona č. 458/2000Sb., jsou obnovitelnými zdroji energie:

- vodní energie do výkonu zdroje 10 MW
- sluneční energie
- větrná energie
- geotermální energie
- biomasa a bioplyn

Sluneční energie dopadající na Zemi je akumulována v našem okolí (zemská kůra, jezera, moře, oceány) a je velkou zásobárnou energie, bohužel však o nízké teplotě (nizkopotenciální energie). Pro přenos tepla, hmoty a elektrické energie je však vždy nezbytný určitý *spád*.

Pro objasnění je nejlépe využít podobnost s vodním tokem. Aby se voda v řece dala do pohybu je nezbytný určitý výškový spád ΔH / m / . Teoretický výkon vodního toku, který je pak k využití je dán vztahem $E = \Delta H \cdot V$ / kW / , kde značí V / kg . s⁻¹ / hmotností průtok vody. Zcela obdobně lze tuto teorii použít pro přenos tepla $Q = \Delta t \cdot q$ / kW / , kde Δt / °C / je teplotový spád z vyšší teploty k nižší a q / kJ . s⁻¹ °C / je tepelný tok. Další aplikace platí pro přenos elektrické energie $S = \Delta U \cdot I \cdot \cos \varphi$ / kW / , kde ΔU / kV / je spád napětí v kilo voltech , I / A. / je protékající elektrický proud a $\cos \varphi$ představuje fázový posun.

Energie, která nás obklopuje (nizkopotenciální energie) však bohužel nesplňuje naše požadavky pro přímé praktické využití. Jedná se o to, že například pro přenos tepla je nezbytný teplotový spád z vyšší na nižší teplotu. Konkrétně při použití vody o teplotě 10 °C

(z hlubinného vrtu) pro vytápění obytné místnosti na 20 °C se neobejdeme bez použití přídatného technického zařízení, kterým je tepelné čerpadlo. V elektrotechnice se neobejdeme bez transformátoru a u vody bez vodního čerpadla. Tato přídatná technická zařízení mají za účel zvýšit **energetický spád** (Δt , ΔU , ΔH) na takovou hodnotu aby bylo možno realizovat využití nízkopotenciálního zdroje energie.

Autoři předkládaného díla si kladou za cíl seznámit Vás s možnostmi a perspektivami využití obnovitelných zdrojů energie jak po stránce technické, environmentální tak i ekonomické, neboť otázku financování projektů nelze opominout.

Pro posuzování energetické hospodárnosti v systému zásobování teplem je možno použít ukazatel celkové účinnosti soustavy ve tvaru :

$$\eta_s = \eta_z \cdot \eta_R \quad / \% /$$

kde značí η_z účinnost energetického zdroje, η_R účinnost rozvodu energie od zdroje ke spotřebiteli.

V případě použití lokálního zdroje tepla a lokálního způsobu vytápění lze uvažovat s tím, že $\eta_R = \text{cca } 100 \%$. Je to dáno tím, že potrubní topné rozvody jsou vedeny uvnitř vytápěného objektu a tím tepelná ztráta rozvodem tepla představuje tepelný zisk z pohledu vytápěného objektu. Při použití teplovodních kotlů např. pro vytápění rodinného domu se pohybuje průměrná roční účinnost kotlů následovně :

- ♦ zplyňovací kotel na kusové dřevo $\eta_z = 75 \%$
- ♦ kotle na dřevěné peletky $\eta_z = 85 \%$.

Ukazatel celkové účinnosti soustavy se pak dle typu použitého teplovodního kotle bude pohybovat pro uvedený příklad v rozmezí $\eta_s = 75$ až 85% .

U centrálních kotelen na biomasu je možno uvažovat s tím, že při použití předizolovaného potrubí bude účinnost rozvodů $\eta_R = \text{cca } 95 \%$ a průměrná roční účinnost tepelného zdroje $\eta_z = \text{cca } 87 \%$. Dosazením hodnot do vztahu pro výpočet ukazatele celkové účinnosti soustavy dostaneme následující hodnoty :

zdroj energie	účinnost soustavy η_s / % /
centrální kotelná	82
lokální vytápění	75 - 85 .

Z uvedeného porovnání je patrné, že při daném hodnocení je centrální kotelná na biomasu srovnatelná s použitím teplovodních kotlů pro vytápění, které zajišťují dodávku tepla přímo v místě její spotřeby.

Použití centrální kotelny na biomasu poskytuje ještě další výhody a to:

- ♦ *Zlepšuje odběrateli tepla větší komfort bydlení, kdy mu odpadnou starosti s provozem a obsluhou kotle. Rovněž nelze opomenout objemovou náročnost na zásobu skladovaného paliva. Roční spotřeba proschlého kusového dřeva představuje např. u zplyňovacího kotle o výkonu 15 kW objem 15 prm.*
- ♦ *U centrální kotelny na biomasu je možno použít i levnější druh paliva (piliny, kůra, štěpka, sláma a pod..)*
- ♦ *Centrální kotelná na biomasu docílí snížení především emisí tuhých látek odcházejících do ovzduší vzhledem k tomu, že za tepelným zdrojem je použit systém čištění spalin, tepelné zdroje jsou sledovány (výkon nad 200 kW) z pohledu ochrany životního prostředí.*
- ♦ *Provoz centrální kotelny na biomasu poskytne v daném regionu i nové pracovní příležitosti a to již od zajišťování palivové základny (možnost pěstování energetických plodin, údržba krajiny) až po obsluhu kotelny, údržbu celého systému atd.*

2. Energetické využití biomasy

Obecně je biomasa definována jako substance organického 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 a podobně.

Z uvedené definice biomasy je patrné, že se jedná o velmi široký pojem. V základním dělení je možno biomasu členit na *suchou biomasu* (např. dřevo) a *mokrou biomasu* (např. prasečí kejda).

Pro kotelný , které jsou předmětem této publikace se jedná především o tuhá biopaliva. Současné návrhy na členění biomasy jsou zařadit pod pojem tuhá biopaliva následující biomasu :

- ♦ dřevní prach, piliny, hobliny
- ♦ polena a polínka
- ♦ brikety a peletky
- ♦ štěpka , kůra
- ♦ balíky

V současné době na celém světě roste zájem o využití rostlinné biomasy jako obnovitelného zdroje energie. V Evropě jsou nejdéle v energetickém využití fytomasy skandinávské státy (Finsko 23 %, Švédsko 18 %, Dánsko 7 %) a Rakousko 13 % podílu na celkové produkci energie. Česká republika si klade za cíl dosáhnout úrovně Rakouska v roce 2030. Ministerstvo životního prostředí ČR chce v souladu s plány EU do roku 2010 ztrojnásobit obnovitelné zdroje energie u nás ze současných 2 % na 6 %. V roce 2010 by mělo být z biomasy v ČR získáno 2200 GWh, tj. asi 40 % energie z obnovitelných zdrojů energie.)

České zemědělství je schopno v současnosti dodat na trh 8 – 10 mil. tun biomasy za rok. Do roku 2010 by to mělo být již 12 mil. tun a v roce 2020 téměř dvojnásobek současné produkce.

Při využívání biomasy k energetickým účelům existují některé výhody oproti konvenčním palivům. Zdroj energie má obnovitelný charakter. Jsou menší negativní dopady na životní prostředí (emise CO₂ jsou na úrovni množství CO₂ přijatého při fotosyntéze, zatímco u

fosilních paliv jsou emise CO₂, ale i dalších látek výrazně vyšší). Jelikož jde o místní zdroj energie, snižuje se potřeba dovozu energetických zdrojů. Zdroj biomasy není lokálně omezen a jeho řízená produkce přispívá k účelné údržbě krajiny a péči o ní.

Způsoby využívání fytomasy závisí na množství látek, na jejich skladovatelnosti, struktuře, látkovém složení a obsahu vody. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokřými a suchými procesy. Suché procesy zahrnují spalování, zplyňování a pyrolýzu fytomasy při sušině 50-80%. Největší využití mají při produkci tepla. Mokré procesy zahrnují především anaerobní fermentaci fytomasy s nízkým obsahem sušiny (5-35%) pomocí mikroorganismů uvolňujících metan. Ten je hlavní složkou bioplynu. Aerobní fermentace upravené fytomasy s vyšším obsahem cukru resp. škrobu je využívána k výrobě bioetanolu. V poslední době roste zájem o získávání alkoholu ze surovin obsahujících celulózu. Celulóza se chemicky hydrolyzuje kyselinami nebo louhy za zvýšeného tlaku a teploty. Protože je tento způsob nákladný, hledají se nové možnosti jako např. využití hub štěpících celulózu (např. *Trichoderma viride*) nebo se zkoušejí termofilní kmeny Clostridií, kde se celulóza kvasí na etanol. Mezi mokré procesy se řadí i esterifikace rostlinných olejů pomocí metanolu a výroba bionafty (MEŘO). Mokré procesy tedy slouží převážně k výrobě biopaliv pro motorová vozidla.

Při využívání rostlin jako energetických surovin bude v současnosti nejjednodušší využívat stávající a dosud málo využívané odpady z lesů nebo slámu stébelnin pro produkci tepla spalováním a zplyňováním, řepku pro výrobu bionafty a obilniny, omezeně brambory a řepu pro výrobu etanolu. Bioplyn bude produkován z odpadů a cíleně pěstované kukuřice. Následně, po vyzkoušení a výběru vhodných druhů bude možné začít pěstovat energetické rostliny. Ty budou tvořit v budoucnu téměř 50% cíleně pěstované fytomasy.

Pro produkci tepla se jeví nejefektivnějším spalování a zplyňování. Energetický zisk je nejvyšší, podíl vložené a získané energie je až 1: 10. Spalování biomasy má své kladné a záporné stránky. Při spalování biomasy nevzniká více CO₂ než bylo předtím rostlinami přijato. Biomasa neobsahuje téměř síru (ve slámě je asi 0,1 %, ve dřevě téměř není, nejvíce je v seně do 0,5 %, hnědé uhlí má min. 2 %). Tvorbu NO_x je možno kontrolovat udržováním optimální teploty plamene. Obsah těžkých kovů v biomase je velmi nízký a se spalinami se do ovzduší nedostane. Část může zůstat v popeli, kterého je oproti uhlí velmi málo (obsah popelovin slámy 5 %, dřeva 0,5 %). Negativním jevem je nebezpečí úletu jemného popílku (jsou používány odlučovače a filtry). Při spalování vlhké biomasy existuje nebezpečí vzniku

kouře (aromatické uhlovodíky). Proto musí být palivo suché, nebo musí mít čas aby proschlo než přijde k místu zapálení.

V současné době při předpokládaném využití čtvrtiny slámy obilnin a celého objemu řepkové a kukuřičné slámy je v energetice k dispozici přes 3,6 mil. tun slámy. Velký potenciál využití má řepková sláma s výhřevností 16 GJ/t, což se rovná dobrému hnědému uhlí. V Dánsku podíl slámy převažuje mírně nad energetickým dřevem, zatímco v Rakousku jen 3 % venkovských komunálních výtopen spaluje slámu, ostatní dřevo. V ČR je sláma spalována v několika obecních výtopnách (např. Žlutice, Dešná, Velký Karlov). Výhodou je, že lze získávat fytomasu pro energetické využití bez větších investic. Nevýhodou jsou velké objemy hmot, které je nutno přepravovat a skladovat, a spékavost popelu při nižších teplotách.

Vedle již uvedených zdrojů, které mohou sloužit k energetickému využití se v současné době začínají speciálně pěstovat rostliny za účelem produkce fytomasy. Za výhodné a konkurence schopné současným klasickým fosilním palivům se považují ty plodiny a rostliny pěstované na biomasu, z kterých získáme nejméně 10 jednotek energie na jednotku vloženou.

Při dosažení hranice 12 t.ha⁻¹ sušiny rostlinné biomasy lze již tyto plodiny považovat za „energeticky“ významné. Aby byly i ekonomicky efektivní, je nutné dosahovat alespoň produkce sušiny 15 t.ha⁻¹.

Při výběru energetických rostlin by se mělo přihlížet k několika základním faktorům. Ideální energetická rostlina by měla mít následující vlastnosti:

- a) Rychlý růst (i při nízkých teplotách)
- b) Tvorba nadzemní biomasy (ne plodiny s hlízy či bulvami). Nižší náklady na sklizeň a ochrana půdy.
- c) Nízký obsah popelovin, zvláště N, ve sklizených částech.
- d) Vytrvalost, víceletost. Není potřeba každoročně zakládat porost.
- e) Dobrá přezimovací schopnost.
- f) Vysoká odolnost proti chorobám.
- g) Vysoká konkurenceschopnost proti plevelům. Rychlý růst a dobrá pokrývnost půdy.
- h) Nízké požadavky na vodu, odolnost proti suchu.

Energetické rostliny dělíme do dvou základních skupin na dřeviny a byliny. Ty pak podle vytrvalosti na jednoleté a víceleté či vytrvalé. Obecně platí, že ekonomicky a energeticky efektivnější je pěstování rostlin víceletých a vytrvalých než tradičních jednoletých (pokud to není vedlejší produkt jako sláma obilovin či olejnin). Pěstováním netradičních vytrvalých plodin lze efektivně snížit celkové náklady na produkci jednotky biomasy a zásadně zvýšit poměr výstupu energie ke vstupu. Je to dáno tím, že při pěstování vytrvalých rostlin jsou nejvyšší náklady v prvním roce – tj. při založení plantáže (tyto náklady mohou být dokonce mnohem vyšší než u tradičních plodin). V následujících letech celkové náklady na pěstování vytrvalých rostlin klesají, neboť odpadají náklady na zpracování půdy a setí, snižují se náklady na hnojení a chemickou ochranu apod.

Vzhledem k tomu, že biomasa představuje obnovitelný zdroj energie je této problematice věnována celosvětová pozornost. Uvedený směr je proto plně v souladu s Energetickou politikou ČR i Evropské unie.

V podmínkách České republiky přichází především v úvahu energetické využití následujících druhů biomasy:

- dřevní odpady
- sláma ze zemědělské produkce
- kejda a chlévská mrva pro produkci a využití bioplynu
- využití bioplynu z řízených skládek odpadů (skládkový plyn)
- rychlerostoucí energetické plodiny

Energetické využití uvedených druhů biomasy může nahradit ostatní druhy paliv, která nepředstavují obnovitelný energetický zdroj. Základní zdroje roční produkce energeticky využitelné biomasy v ČR jsou uvedeny v následující tabulce.

Biopalivo	roční produkce / mil.t /
odpadní a palivové dřevo	2,6
obilní a řepková sláma	2,7
rychlerostoucí dřeviny a plodiny	1,0
celkem	6,3

K bilanci biopaliv uvedených v tabulce je nutno připočíst bionaftu v roční produkci cca 120 tisíc tun za rok a roční produkci bioplynu ve výši cca 22 milionů m³.

Nejvíce se využívá biomasa pro energetické účely v Dánsku a ve Švédsku. Zde představuje cca 10 % z celkové spotřeby energie v palivu. V ČR představuje současné využití biomasy cca 2,5 %, kdy se jedná především o energetické využití dřevních odpadů a slámy. Energetická politika ČR proto předpokládá v průběhu asi 10 let zvýšit podíl energetického využití biomasy na cca 8 %.

Energetické využití biomasy přispívá jak k náhradě ostatních druhů paliv, tak ke snížení ekologické zátěže ovzduší, jak vyplývá z dalšího textu.

Vzhledem k tomu, že nejvíce využívanou biomasou pro energetické účely jsou dřevní odpady, je pro tento druh paliva provedena i bilance CO₂, 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 CO₂. Z vyvážené bilance vyplývá závěr, že využití biomasy pro energetické účely se nepříznivě nepodílí na vytváření skleníkového efektu.

Při spalování 1 tuny dřevní hmoty je spotřeba kyslíku 1,2 t a emise CO₂ 1,6 tuny. Pro vzrůst 1 tuny dřevní hmoty na ploše cca 0,2 ha se rovněž spotřebuje 1,6 tuny CO₂ a tak se stává jeho bilance vůči spalování neutrální a vyrovnaná.

V závislosti na obsahu vody v dřevní hmotě / W % / je emise CO₂ při spalování 1 tuny této hmoty následující dle níže uvedené tabulky.

Produkce CO₂ 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 W_d) při hmotnosti vysušeného vzorku 0,5 kg :

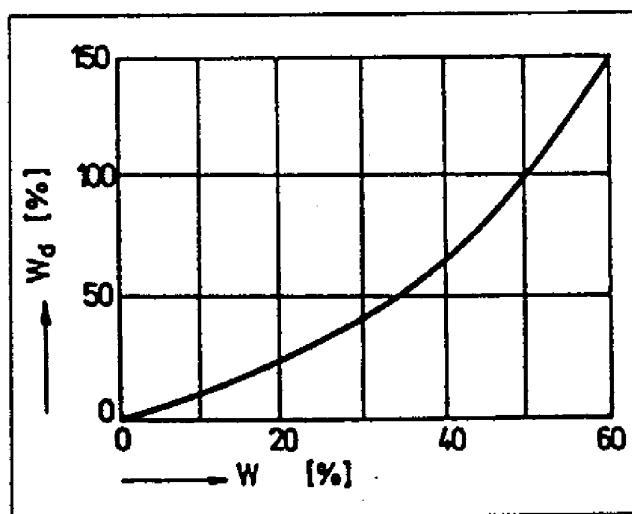
$$W_d = \frac{0,5}{0,5} 100 = 100 \%.$$

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:

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

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 následujícího obrázku.



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.

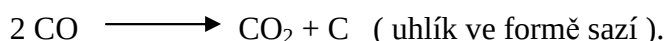
S ohledem na uvedené skutečnosti se proto spalovací zařízení na dřevní odpad dělí na dvě základní skupiny a to:

- 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 spalínách za kotlem .

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



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

Pro hodnotu součinitele přebytku spalovacího vzduchu $\alpha = 1,5$ a teplotu spalovacího vzduchu 20 °C pak vychází teplota nechlazeného plamene právě 900 °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 přídatného paliva, aby se eliminoval uvedený nepříznivý vliv.

2.2 Chemické složení hořlaviny paliva

Chemické složení hořlaviny různých druhů dřevní hmoty je uvedeno v tabulce níže. Pro možnost porovnání je v tabulce uvedeno i složení běžného hnědého uhlí a obsah popelovin v sušině A_s . Jak je z této tabulky patrné, 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. Tato domněnka je založena pouze na tom, že tvrdé dřevo má vyšší měrnou hmotnost než dřevo měkké, což v podstatě znamená, že při použití stejného objemu paliva jsme dodali např. do kotle rozdílnou energii ve vstupním palivu v poměru měrných hmotností porovnávaných paliv.

Chemické složení hořlaviny dřevní hmoty

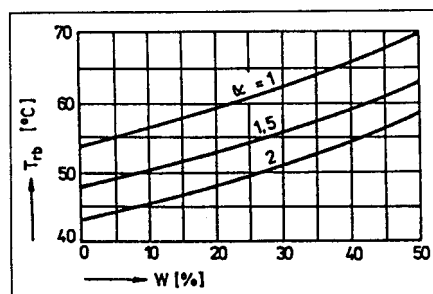
složka %	dřevo			kůra	hnědé uhlí
	jehličnaté	listnaté	smíšené		
C	51,0	50,0	50,5	51,4	69,5
H	6,2	6,15	6,2	6,1	5,5
O	42,2	43,25	42,7	42,2	23,0
S	--	--	--	--	1,0
N	0,6	0,6	0,6	0,3	1,0
A _s	1,0	1,0	1,0	2,3 – 5,0	25,0

Z uvedené tabulky je patrné, 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 α . 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 poměrně nízká a to cca 60 °C, 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 α , je uveden na obrázku.

Teplota rosného bodu spalin při spalování dřevní hmoty



Z obrázku výše je patrné, 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.

2.3 Spalování kusové dřevní hmoty

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

- Zásobník paliva, který je umístěn v horní části kotle. Do zásobníku se ručně přiloží palivo, které se zde zplyňuje za částečného přívodu vzduchu.
- Vyrobený dřevoplyn pak prochází v dolní části zásobníku paliva štěrbinou, která je opatřena tryskami pro přívod sekundárního spalovacího vzduchu. Vyrobený dřevoplyn je pak za štěrbinou spalován jako plynné palivo v další části kotle.
- Dohořivací spalovací komora je pod štěrbinou v dolní části kotle.

Kotel je celý chlazen vodním obsahem kotle a teplosměnných ploch. Přívod spalovacího vzduchu zajišťují malé vzduchové ventilátory, které jsou řízeny od regulačního systému kotle. Tyto teplovodní kotle jsou dodávány do maximálního tepelného výkonu 100 kW.

2.4 Spalování drobné dřevní hmoty

Pod pojmem drobná dřevní hmota máme na mysli piliny, lesní štěpku, drcenou kůru apod. Vzhledem k tomu, že tento druh paliva se používá převážně v průmyslové sféře, pohybuje se tepelný výkon těchto zařízení 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 roštěm, 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 roštěm 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 spalínách za kotlem.

2.5 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 $5 - 6 \text{ MJ/m}^3$.

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.

2.6 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.

2.7 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 zhasécím 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.

2.8 Drtiče dřevní hmoty

V závislosti na použitém typu spalovacího zařízení a typu dopravníků paliva je nutno palivo upravovat co do požadované velikosti částic. K tomu se používají drtiče dřevní hmoty, které jsou buď stacionární, nebo mobilní pro práci v terénu.

Mobilní drtiče jsou většinou napojeny na pohon traktoru a používají se k přípravě lesní štěpky při probírkách lesa, nebo údržby krajiny.

Používají se rovněž i stacionární drtiče na drcení celých kmenů, pařezů apod. Měrná spotřeba elektrické energie je proto pochopitelně rozdílná a cca činí :

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

Výkon dostupných drtičů se pohybuje v rozmezí od 0,5 – 20 m³/h, což již představuje pohon el. motoru o výkonu 90 kW.

3. Praktické uplatnění a zasazení do komplexu CZT

3.1 Teplovodní a horkovodní kotle

Uvedené kotle mohou v provozu nahradit stávající uhelné i plynové kotle bez zvláštních požadavků na jejich provoz a napojení na topný systém. Pouze je nutno vzít v úvahu zvýšené nároky na skladování paliva a palivové cesty. Tyto kotle jsou napojeny na topný systém běžným způsobem a nevyžadují proto žádné specifické zásahy.

3.2 Parní kotle

Parní kotle na spalování dřevních odpadů se vyrábí převážně ve středotlakém provedení na sytou, nebo přehřátou páru. Použití parního kotle tak dává možnost k využití kombinované výroby tepla a elektrické energie.

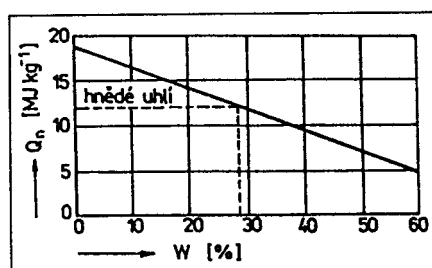
K tomuto účelu je možno použít protitlakou parní turbínu (případně i kondenzační), nebo parní motor, který je nabízen i tuzemskou firmou v ČR. Tlak páry na výstupu z protitlaké turbíny i parního motoru je postačující k dalšímu využití pro vytápění, nebo sušárny dřeva.

3.3 Základní energetická bilance celého komplexu

Pro stanovení energie vstupující ve vstupujícím palivu je nutno vycházet z hmotnosti spotřeby paliva energetického zdroje za sledovaný časový úsek a z jeho výhřevnosti, která odpovídá vlhkosti spalovaného paliva.

Výhřevnost dřevní hmoty v závislosti na energetickém obsahu vody W je uvedena na obrázku. Pro běžné výpočty je možno uvažovat s tím, že výhřevnost sušiny ($W = 0\%$) dřevní hmoty $Q_n = 18 \text{ MJ/kg} = 5 \text{ kWh/kg}$.

Pro praktické výpočty je možno použít hodnoty výhřevnosti uvedené na následujícím obrázku



Pokud není známa hmotnost paliva spáleného za časový úsek v tepelném zdroji je možno použít objemovou spotřebu paliva, nebo vycházet z měření množství vyrobeného tepla na výstupu z tepelného zdroje při jeho uvažované průměrné tepelné účinnosti za sledovaný časový interval.

Obdobně jako výhřevnost paliva tak i jeho měrná hmotnost je funkcí obsahu vody v palivu. Pro praktické použití jsou proto dále uváděny tyto hodnoty v tabulkové podobě.

Při bilančních výpočtech, navrhování skládek a objemové spotřeby paliva je nutno znát potřebné údaje. V praxi se používají následující označení viz tabulka

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 patrné z následující tabulky

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 následující tabulky.

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

Vlhkost	W / % /	15	20	25	30	35	40	45	50	55
		1 plm								
Měrná hmotnost		470	485	512	548	590	640	698	768	853
kg/plm										
Výhřevnost	kWh/plm	2034	1957	1914	1888	1859	1828	1788	1741	1683
		1 prm								
Měrná hmotnost		306	315	333	356	384	416	454	499	554
kg/prm										
Výhřevnost	kWh/prm	1325	1271	1245	1227	1210	1188	1163	1131	1093
		1 prm _s								
Měrná hmotnost		165	170	180	192	207	224	244	269	299
kg/prm _s										
Výhřevnost	kWh/prm _s	714	686	673	662	652	640	625	610	590

Tabulka - Smrková kůra drcená, faktor drcení 1 plm = 3 prm_s

Vlhkost W / % /	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Měrná hmotnost kg/prm _s	155	162	171	183	197	213	233	256	284
Výhřevnost kWh/prm _s	666	649	635	626	616	604	592	575	555
	1 prm _s								

Tabulka - Modřín, hmotnost sušiny 550 kg/plm

Vlhkost W %	15	20	25	30	35	40	45	50	55
	1 plm								
Měrná hmotn. kg/plm	590	610	650	697	750	813	887	976	1084
Výhřevnost kWh/plm	2554	2461	2431	2402	2363	2322	2272	2212	2139
	1 prm								
Měrná hmotnost kg/prm	384	397	423	453	488	528	577	634	705
Výhřevnost kWh/prm	1662	1602	1582	1561	1538	1508	1478	1437	1391
	1 prm_s								
Měrná hmotn. kg/prm _s	207	214	228	244	263	285	310	342	379
Výhřevnost kWh/prm _s	896	863	853	841	829	814	794	775	748

Tabulka - Borovice, hmotnost sušiny 510 kg/plm

Vlhkost W %	15	20	25	30	35	40	45	50	55
	1 plm								
Měrná hmotnost kg/plm	550	565	595	638	686	744	811	893	991
Výhřevnost kWh/plm	2781	2280	2225	2198	2161	2125	2078	2024	1957
	1 prm								
Měrná hmotnost kg/prm	358	367	387	415	446	484	527	580	645
Výhřevnost kWh/prm	1550	1481	1447	1430	1405	1382	1350	1315	1272
	1 prm_s								
Měrná hmot. kg/prm _s	193	198	208	223	240	260	284	313	347
Výhřevnost kWh/prm _s	835	799	778	768	756	743	728	710	685

Tabulka - Dub a buk, hmotnost sušiny 680 kg/plm

Vlhkost W %	15	20	25	30	35	40	45	50	55
	1 plm								
Měrná hmotnost kg/plm	714	726	765	820	883	953	1043	1148	1275
Výhřevnost kWh/plm	2897	2743	2677	2642	2599	2547	2488	2419	2332
	1 prm								
Měrná hmotnost kg/prm	464	472	497	533	574	621	678	746	829
Výhřevnost kWh/prm	1882	1784	1739	1717	1689	1654	1618	1572	1516

	1 prms								
Měrná hmotnost kg/prms	250	254	268	287	309	335	365	402	446
Výhřevnost kWh/prms	1014	960	938	925	909	892	871	847	816

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 patrné z uvedeného výčtu spotřebičů el. energie u tepelného zdroje , který využívá drobnou dřevní hmotu, dojde k částečnému nárůstu spotřeby el. energie např. oproti uhlíovým 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 %.

3.4 Bilance produkce dřevní hmoty z prořezávek a probírek lesních porostů

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 následující tabulku, která uvádí koeficienty výtěžnosti složek nadzemní části stromů (dendromasy, podle Dejmalá, 1986) pro průměrné vzrůstové poměry.

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 mají následující význam:

K₁ ... koeficient hmotnostní výtěžnosti jehličí (respektive listí)

K₂ ... koeficient hmotnostní výtěžnosti dřeva z větví

K₃ ... 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 $0,6 \text{ m}^3$. Tomu odpovídá hmotnost kmene $0,6 \text{ m}^3 \times 740 \text{ kg/m}^3 = 444 \text{ kg}$. Hmotnostní výtěžnost jehličí z tohoto stromu je pak $444 \times K_1 = 444 \times 0,07 = 31 \text{ kg}$. Obdobným způsobem je pak možno zjistit další složky výtěžnosti dendromasy.

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

Tabulka - 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				
Tloušťka na pařezu do 4 cm	55 %	35 %	10 %	0,1 %
Celé stromy, smrk 18 let				
Tloušťka na pařezu do 6 cm	28 %	61 %	11 %	0,1 %
Celé stromy borovice 18 let				
Tloušťka na pařezu do 7 cm	19 %	68 %	13 %	-
Celé stromy, smrk 40 let				
Tloušťka na pařezu 13 cm	15 %	71 %	14 %	-

Pro hmotnostní bilanci prořezávek celých stromků je možno použít níže uvedenou tabulku -
objem a hmotnost celých stromků borovice z prořezávek a prvních probírek
(Harstela – Kurvinen, 1980)

d_{1,3} / cm /	výška stromu /m/	objem celého stromu / dm³/	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

3.5 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

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					
Listnaté	48,04	14,41	2,49	14,41	16,72
řezivo					
Překližky	64,01	19,20	-	19,20	25,6
Laťovky	13,79	4,59	-	2,29	6,89
Dýhy	11,82	3,44	-	-	8,37
Hranolky	39,89	12,02	-	3,82	24,04
Přířezy	62,57	18,86	6,28	6,28	31,13
	18,51	6,17	-	-	12,34

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

3.6 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.

Tabulka - 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	34,05 MJ/m ³ .

3.7 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 1600,- Kč/t ... 96,- Kč/GJ ve vstupním palivu
- černé uhlí 3800,- Kč/t 149,-
- zemní plyn 10,3 Kč/m³ 302,- při výhřevnosti 34,05 MJ/m³
- dřevní štěpka 500,- Kč/t 59,- Kč/GJ.

Cena dřevní štěpky je uvažována od 500,- 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 $V = 15,8 \text{ m}^3$. Během jedné cesty bude dovezeno

palivo o hmotnosti $M_{\text{paliva}} = 5 \text{ t}$ / o tepelné energii ve vstupním palivu

$Q_{\text{paliva}} = 42,3 \text{ GJ}$.

Jedna doprava paliva uvedeným vozidlem představuje rozdíl v ceně paliv :

- hnědé uhlí (96 – 59) Kč/GJ * 42,3 GJ = 1565,- **Kč**
- černé uhlí (149 – 59) Kč/GJ * 42,3 GJ = 3807,- **Kč**
- zemní plyn (302 – 59) Kč/GJ * 42,3 GJ = **10279,- 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 30,- Kč/km. To znamená, že pro cestu tam a zpět pak vychází cena dopravy 60,- 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..

Tabulka - 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,-	42	79	187
500,-	26	63	171
600,-	17	55	163
900,-	0	30	138
1200,-	0	5	113

Limitní dopravní vzdálenost pro energetické využití dřevní štěpky je uvedena pro různé nákupní ceny, které odpovídají místním možnostem v závislosti na nabídce a poptávce. Uvedená nákupní cena štěpky v tabulce nezahrnuje náklady na dopravu.

Obdobným způsobem je možno stanovit limitní dopravní vzdálenost pro jiný druh biomasy, různé ceny dopravy a paliva dle místních poměrů.

3.8 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 - 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 _x H _y
0,4207	0,1921	0,0079	0,1635	0,0318

3.9 Investiční náklady kotlů na dřevní hmotu

U teplovodních kotlů na spalování (zplyňování) kusového dřeva ve formě polen, odřezků a pod . jsou investiční náklady na kotel srovnatelné s kotli na plyn a to cca 2000,- Kč na jeden kW instalovaného výkonu kotle. U kotlů na drobný dřevní odpad, které se převážně již používají pro tepelné zdroje vyššího výkonu, jsou náklady na kotel již vyšší a to s ohledem na:

- kontinuální automatickou dopravu paliva do kotle
- automatický regulační systém přívodu paliva a spalovacího vzduchu
- čištění spalín pomocí multicyklonu atd.

U teplovodního kotle o jmenovitém tepelném výkonu 2200 kW, v rozsahu dodávky dle uvedených bodů, pak vychází investiční náklady na jeden kW instalovaného výkonu cca 3 500,- Kč. K této částce bude nutno připočíst finanční náklady na centrální skládku paliva s vyhrnováním. Její cena bude záviset na dispozičním řešení, délce palivových cest a použitým způsobu skladování paliva. Z tohoto důvodu není uváděna cena této části zařízení.

Zvýšené investiční náklady na zařízení využívající dřevní odpad se pak musí vrátit během rozumné doby návratnosti vynaložených investičních prostředků v rozdílné ceně paliv. Pro hrubé kalkulace lze použít následujících cen tepla ve vstupním palivu dle tabulky níže.

Tabulka - orientační ceny tepla ve vstupním palivu dle druhů paliv

<i>palivo</i>	<i>cena paliva</i> <i>Kč/t</i> <i>(Kč/m³)</i>	<i>Výhřevnost</i> <i>MJ/kg</i> <i>(MJ/m³)</i>	<i>cena tepla ve</i> <i>vstupním palivu</i> <i>Kč/GJ</i>
lesní štěpka	500,-	8,46	59,10
kusové dřevo	900,- Kč/prm	11,8	76,30
hnědé uhlí	1600,-	16,69	95,80
černé uhlí	3800,-	25,5	149,00
zemní plyn	10,3 Kč/m ³	34,05 MJ/m ³	302,50
koks	4500,-	27,0	166,70

Z uvedené tabulky je patrné, že lesní štěpka představuje nejnižší náklady na 1 GJ ve vstupním palivu, avšak investiční náklady na tepelný zdroj budou vyšší, než u ostatních druhů paliv. Ekonomická část energetického auditu pak musí zhodnotit poměr ceny paliva a vynaložených investičních prostředků. S rostoucím výkonem tepelného zdroje bude spojen pokles měrných investičních nákladů na instalovaný výkon v kW.

4. Pěstování rychle rostoucích dřevin

Od ropné krize v roce 1971 a zejména pak v posledním desetiletí se z západní Evropy a také v některých oblastech Severní Ameriky začíná na stále větší rozloze zemědělské půdy využívat nový systém zemědělského hospodářství, jehož smyslem je produkce rostlinné hmoty – biomasy nebo přesněji fitomasy. Produkční porosty, které k tomuto účelu využívají takzvaných rychle rostoucích dřevin (RRD), jsou v češtině nejčastěji označovány jako výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin, případně energetické plantáže nebo energetický les. Nedílnou součástí produkčního systému jsou i reprodukční porosty určené k produkci sadebního materiálu označované jako matečnice RRD. Produktem plantáží je dřevní hmota nejčastěji používaná ve formě štěpky.

Hlavními důvody pro zavádění tohoto systému v hospodářsky vyspělých zemích jsou:

- ♦ využití zemědělské půdy pro nepotravinářskou produkci a zajištění mimoprodukčních funkcí v zemědělství
- ♦ rozvoj zemědělských oblastí (nová pracovní místa, posílení místní ekonomiky)
- ♦ snížení znečištění ovzduší náhradou fosilních paliv (nižší emise SO_2 , CO_2)
- ♦ strategické snížení závislosti na dovozu ostatních druhů paliv a zlepšení obchodní bilance státu.

Mimo uvedené důvody bylo v praxi ověřeno, že výmladkové plantáže mohou působit pozitivně na okolní krajinu a životní prostředí člověka (na regeneraci orné půdy, zvyšování biodiverzity krajiny, stabilizaci hydrologického režimu).

Z hlediska biologického je tato produkce dřevní hmoty založena na schopnostech některých dřevin a jejich klonů (např. topolů a vrb) růst v prvních letech po výsadbě velmi rychle. Roční výškové přírůstky dosahují i 2 – 3 metry . Rovněž jsou obdivuhodné regenerační výmladkové schopnosti po seříznutí nadzemní části (výškové přírůstky v prvním roce po seříznutí dosahují až 5 metrů.

Další důležitou vlastností je u většiny těchto dřevin, doporučených pro výmladkové plantáže, snadné vegetativní množení potomstev, které se provádí osními řízký produkovanými v dříve uvedených matečnicích RRD. Na rozdíl od lesnických lignikultur topolů, které jsou sklízeny po 15 – 30 letech růstu, výmladkové plantáže RRD na zemědělské půdě jsou sklízeny ve velmi krátkém obmýtí (tzv. minirotační) 3 – 7 let, kterou je možno opakovat několikrát po sobě bez nutnosti nové výsadby.

4.1 Sortiment dřevin pro výmladkové plantáže RRD.

Dřeviny využitelné pro výmladkové plantáže RRD lze podle úrovně vědeckého poznání v našich podmínkách rozdělit na následující skupiny:

- ♦ dřeviny ověřené jako vhodné : topoly, vrby (jejich povolené či doporučené klony)
- ♦ dřeviny v ověřování : pajasan, jilmy, olše, lísky a další klony topolů a vrb
- ♦ dřeviny perspektivní, ale neověřené : lípy, jeřáby .

Dalším zdrojem klonů topolů a vrb bude v budoucnu i zahraničí Například v Rakousku jsou rozsáhlé mateční plantáže , které mimo jiné obsahují i tak zvané Japany- klony topolů, které jsou u nás úspěšně pěstovány pod označením Jap – 104 a Jap 105. V zemích EU je dále pro výmladkové plantáže registrováno 7 klonů tak zvaných švédských vrb pod označením Tora a Rapp.

Některé základní hodnoty pro výmladkovou plantáž RRD jsou patrné z následující tabulky .

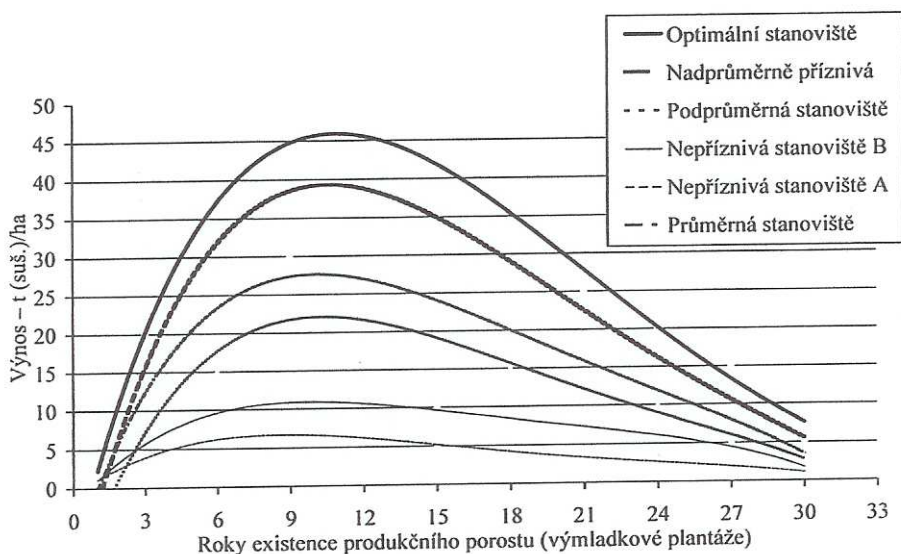
Tabulka - základní parametry RRD

	Výmladková plantáž RRD dle NV505/01
Obvyklé obmýtí	3 – 6 let
Opakování sklizně	ano 4 – 7 krát ve stejném porostu
Zakládání na půdě	zemědělská (orná i TTP)
Sortiment dřevin pro výsadbu	topoly, vrby a jiné dřeviny dle pokynů Mze, MŽP a ÚKZÚZ
Hustota výsadby	6000 - 15000 ks/ha
Cílový produkt	štěpka pro energetické využití
Výnos za celou existenci porostu	5 – 19 t /ha /r (sušiny)

Pro RRD se považuje za nadprůměrný výnos 8 – 10 t_{sušiny} / ha /r a za vynikající 15 t/ha/r. Výtežnosti se rozumí přepočtený výnos biomasy za celou dobu sklizně i na roky, kdy se daný porost nesklízel.

Průběh výnosů z výmladkové plantáže RRD v průběhu její existence je patrný z obrázku a to pro různé stanoviště.

Graf - výnosy výmladkových plantáží RRD podle příznivosti stanoviště.



Obrázek - Ukázka z plantáže RRD







Dělená sklizeň dřevin z plantáží – upravená sklízecí rezačka Jaguár



5. Energetické využití slámy

Sláma jako vedlejší zemědělský produkt není odpadem, a nalézá proto stále širší uplatnění. Je doplňujícím krmivem, stelivem pod hospodářská zvířata, stavebním , tepelně a zvukově izolujícím materiálem a konečně i energetickým palivovým zdrojem. Poslední využití se začíná uplatňovat i v ČR, i když v porovnání se skandinávskými zeměmi se značným zpožděním. Ukazuje se, že část každoročně vyprodukované slámy může představovat na českém venkově energetický zdroj, kterým lze nahradit spalované neekologické hnědé uhlí tam, kde se nepočítá se zavedením zemního plynu. Sláma a stébelniny však mají zcela odlišné vlastnosti od běžných fosilních paliv. Tato odlišnost proto musí být zohledněna při výběru vhodného typu kotle , který na uvedené odlišnosti bere ohled.

Již v roce 1992 pracovalo v Dánsku 60 venkovských výtopen na spalování slámy s tepelným výkonem od 2 – 10 MW. Rychlejšímu rozvoji energetického využití slámy přispěla v Dánsku i ta skutečnost, že fosilní paliva byla zdaněna tak, aby sláma a dřevo se staly nejlacinějšími palivy.

V celosvětovém průměru se odhaduje, že zemědělské vedlejší produkty , zejména sláma , kryjí asi 5 % potřeby energie. Slámu spaluje rovněž několik výtopen v sousedním Rakousku . Výhledově lze předpokládat, že s nutnou realizací energeticky úsporných opatření a snižováním emisí CO₂ , že se ve vyspělých zemích bude zvyšovat podíl spotřeby slámy pro energetické účely. Stále se však ještě řeší řada problémů spojených s jejím spalováním a to především :

- ◆ určení přípustného podílu z celkové úrody slámy tak, aby nebyla snižována úrodnost půdy, respektive obsah humusu v půdě,
- ◆ uplatnění nejvýhodnějších technologií pro sklizeň , dopravu, zpracování i samotné spalování slámy a stébelnin tak, aby účinnost byla co nejvyšší a emise co nejnižší,
- ◆ uplatnění nejvýhodnějších tržních forem slámy a stébelnin, umožňující nakládání jako s každým jiným tržním palivem (balíky, brikety, peletky),
- ◆ návrhy a ověření nejvhodnějších organizačních forem výroby standardních paliv ze slámy a tepelného využívání slámy v optimálních energetických podmínkách,
- ◆ stanovení stupně zájmu společnosti na využití tohoto obnovitelného zdroje domácího původu, který by měl být vyjádřen % finančního podílu státu na zavádění této technologie do komunální energetické politiky,
- ◆ výběr pro agroenergetiku vhodných stébelnin a jejich šlechtění na vysoký výnos.

Částečnou námitkou proti spalování slámy je, že veškerá sláma, která v daném roce na poli narostla, musí přijít zpátky do půdy jako hnojivo, protože „co z půdy narostlo, se musí do půdy vrátit“. Je nutno si však odpovědět na to jaká je skutečnost.

- Z půdy se do slámy dostává jen asi 5 – 6 % sušiny, kterou tvoří přijaté nerostné látky, které po jejím spálení představují popel. Hlavní prvky ve slámě – uhlík, kyslík a vodík – se do fytomasy slámy dostaly v procesu fotosyntézy ze vzduchu a vody. Vracíme-li do půdy popel po spálení, vracíme většinu živin, až na dusík, který uniká ve spalinách. Dusíku je však ve slámě méně než 1 %.
- Po sklizni zůstává na poli větší nebo menší kořenový systém, vysoké strniště a mezi strništěm drobný propad. Tento propad nejvíce patrný u řepkové slámy. U řepkové slámy se sklízí z hektaru kolem 3 tun, ale biologický výnos slámy se pohybuje v rozmezí 7–10 t/ha, rozdíl zůstává vždy na poli a zaorává se do půdy.
- Nikdo ze zastánců energetického využití slámy nepropaguje spálení veškeré slámy, v návrzích odborníků se hovoří o 25 % u obilovin, jen u řepky se počítá s větším podílem.
- Zaorání slámy za účelem obohacování půdy humusem má význam jedině na těžších půdách, jinde jen při současném hnojení kejdou nebo jiným dusíkatým hnojivem. Bakterie, které rozkládají slámu, si potřebný dusík jinak berou z půdní zásoby. Po jejich zániku mizí část dusíku v atmosféře, podobně jako CO_2 ze spálené nebo shnilé slámy.
- Zaorání samotné slámy, zejména řepkové, silně vysušuje půdu, vytváří nepříznivé lůžko pro následné osivo a ideální prostředí pro přemnožení hlodavců, a zvyšuje zaplevelenost polí, stejně jako ponechání slámy na povrchu pole. Rozkládající se sláma negativně ovlivňuje klíčivost a vzcházení následného osiva.

Proto přiměřené využití slámy jako paliva, výhledově zhruba do 30 % úrody, nemůže ohrozit úrodnost půdy, naopak cena slámy jako paliva je několikrát vyšší než cena slámy jako hnojiva. Vzhledem k tomu, že výhřevnost slámy je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí, je možno uvažovat s maximální limitní cenou slámy cca 1600,- Kč/t. Cena slámy jako hnojiva však nepřesahuje hodnotu 300,- Kč/t. Z uvedeného porovnání je patrné, že pokud sláma nahradí jiný druh fosilního paliva, bohatě si vydělá na použití vhodnějšího hnojiva na pole. Pro obohacení půdy organickými živinami, je jak známo, výhodnější zelené hnojení, chlévská mrva nebo komposty.

5.1 Sláma jako palivo

Sláma v přírodním stavu, jak se nachází na řádku po sklizni, je bezesporu *nešikovným* palivem v porovnání se zemním plynem, topnými oleji, ale i standardním uhlím a některými formami dřevní hmoty. Řezanka slámy jako nejsnadněji manipulovatelná forma má měrnou objemovou hmotnost jen 40 – 50 kg/m³, což je méně než cca dvacetkrát oproti uhlí. Tento značný nepoměr se projevuje negativně v náročnosti na skladovací prostor, dimenzování dopravy paliva do kotle atd. Tento objemový nepoměr je možno změnit briketováním, kdy vyrobena slaměná briketa se vyrovná briketě hnědouhelné.

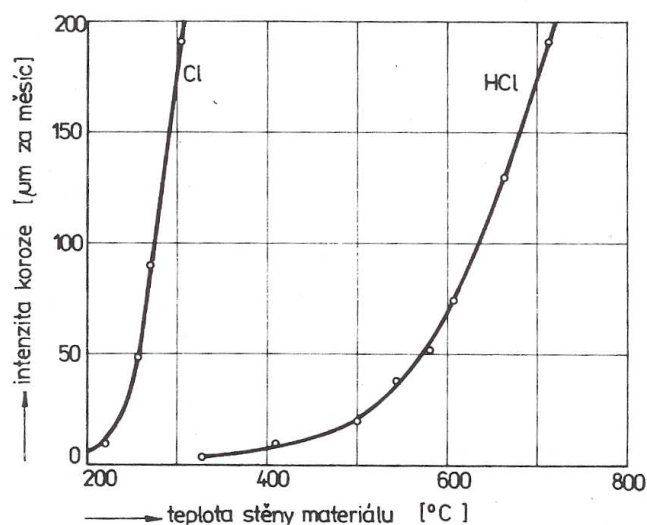
Výraznou vlastností slámy jako každého fytopaliva je ta skutečnost, že má vysoký obsah prchavé hořlaviny a to 70 – 80 %. Prchavá hořlavina se z paliva uvolňuje ve formě plynných látek při jejím ohřevu na poměrně nízkou teplotu a to cca 250 °C. Maximum průběhu uvolňování prchavé hořlaviny leží v oblasti nízkých teplot a probíhá velmi intenzivně. Vysoký obsah prchavé hořlaviny proto klade zvýšené nároky na vhodné rozmístění a dimenzování rozvodu spalovacího vzduchu ve spalovacím prostoru kotle.

Z uvedených důvodů není možno slámu spalovat v kotli, který je určen pro spalování uhlí nebo koksu.

Sláma v důsledku hnojení obilovin a ošetřování herbicidy obsahuje sloučeniny chloru, které se projevují korozí na teplosměnných plochách kotle v závislosti na povrchové teplotě. Koroze může být způsobena plynem ve formě *Cl*, nebo *HCl*. Intenzivní koroze se na kotli bude projevovat tam, kde je nejvyšší povrchová teplota teplosměnné plochy, to je na přehřívačích páry. U parních přehřívačů se jedná o teploty cca 550 °C.

Při nižších povrchových teplotách (teplovodní a horkovodní kotle) je tato koroze potlačena v důsledku nižší povrchové teploty kotlové stěny na straně spalin. Intenzita koroze je patrna z následujícího obrázku.

Obrázek - Intenzita koroze ocelové materiálu v závislosti na povrchové teplotě stěny



Pro stanovení velikosti potřebných pěstebních ploch, při energetickém využití slámy, je možno vycházet z následujících údajů uvedených v tabulce .

Tabulka - výnosy zrna a podíl slámy na hektar

Plodina	Výnos t/ha	Poměr zrno/sláma
Pšenice	3,74	1 : 0,80
Žito	3,71	1 : 1,2
Ječmen	3,29	1 : 0,7
Oves	2,94	1 : 1,05
Kukuřice na zrno	4,84	1 : 1,2
Triticale	3,39	1 : 1,3
Řepka olejná	2,29	1 : 0,8

Sláma zemědělských kulturních plodin, zejména obilovin a řepky , tvoří významný a nadějný zdroj biomasy pro energetické účely.

Řepka olejná patří z hlediska agroenergetiky k významným plodinám . Řepková sláma má vyšší výhřevnost sušiny a to $Q_n = 17,5 \text{ MJ/kg}$ oproti slámě obilné, kdy se jedná o výhřevnosti sušiny $Q_n = 15,7 \text{ MJ/kg}$. Z pohledu zemědělců je nutno brát v úvahu , která

pěstovaná plodina pro ně představuje perspektivní ekonomický přínos. Právě pěstování řepky olejné je pro zemědělce výhodné jak z agronomických hledisek , tak i vzhledem k příznivé ekonomii, která zajišťuje odbyt v cenách garantujících rentabilitu. Uvedenou skutečnost potvrzují i následující fotografie .



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 sušiny	MJ/kg	15,7	17,5
prchavá hořlavina	%	80	78

Objemové hmotnosti paliv ze slámy

Stav paliva	Měrná hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost kusu (kg/ks)	Způsob manipulace
Sláma řezaná	40 - 60	0,0	Mechanicky
Nízkotlaké balíky standardní	60 - 80	5	ručně i mechanicky
Vysokotlaké balíky standardní	80 - 120	10	ručně i mechanicky
Obří balíky válcové	60 - 90	350	jen mechanicky
Obří balíky kvádrové	80 – 160	400	jen mechanicky
Brikety (sypná hmotnost)	350 - 600	0,5 - 1	ručně i mechanicky
Pelety, granule (sypná.hmotnost)	300 - 550	0,01	ručně i mechanicky

6. Využití zemědělských energetických plodin a bylin

V současné době na celém světě roste zájem o využití rostlinné biomasy jako obnovitelného zdroje energie. V Evropě jsou nejdéle v energetickém využití fytomasy skandinávské státy (Finsko 23 %, Švédsko 18 %, Dánsko 7 %) a Rakousko s 13 % podílu na celkové produkci energie. Česká republika si klade za cíl dosáhnout úrovně Rakouska v roce 2030. Ministerstvo životního prostředí ČR chce v souladu s plány EU do roku 2010 ztrojnásobit obnovitelné zdroje energie u nás ze současných 2 % na 6 %. V roce 2010 by mělo být z biomasy v ČR získáno 2200 GWh, tj. asi 40 % energie z obnovitelných zdrojů energie.)

České zemědělství je schopno v současnosti dodat na trh 8 – 10 mil. tun biomasy za rok. Do roku 2010 by to mělo být již 12 mil. tun a v roce 2020 téměř dvojnásobek současné produkce.

Při využívání biomasy k energetickým účelům existují některé výhody oproti konvenčním palivům. Zdroj energie má obnovitelný charakter. Jsou menší negativní dopady na životní prostředí (emise CO₂ jsou na úrovni množství CO₂ přijatého při fotosyntéze, zatímco u fosilních paliv jsou emise CO₂, ale i dalších látek výrazně vyšší). Jelikož jde o místní zdroj

energie, snižuje se potřeba dovozu energetických zdrojů. Zdroj biomasy není lokálně omezen a jeho řízená produkce přispívá k účelné údržbě krajiny a péči o ní.

Způsoby využívání fytomasy závisí na množství látek, na jejich skladovatelnosti, struktuře, látkovém složení a obsahu vody. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokkými a suchými procesy. Suché procesy zahrnují spalování, zplyňování a pyrolýzu fytomasy při sušině 50-80%. Největší využití mají při produkci tepla. Mokré procesy zahrnují především anaerobní fermentaci fytomasy s nízkým obsahem sušiny (5-35%) pomocí mikroorganismů uvolňujících metan. Ten je hlavní složkou bioplynu. Aerobní fermentace upravené fytomasy s vyšším obsahem cukru resp. škrobu je využívána k výrobě bioetanolu. V poslední době roste zájem o získávání alkoholu ze surovin obsahujících celulózu. Celulóza se chemicky hydrolyzuje kyselinami nebo louhy za zvýšeného tlaku a teploty. Protože je tento způsob nákladný, hledají se nové možnosti jako např. využití hub štěpících celulózu (např. *Trichoderma viride*) nebo se zkoušejí termofilní kmeny Clostridií, kde se celulóza kvasí na etanol. Mezi mokré procesy se řadí i esterifikace rostlinných olejů pomocí metanolu a výroba bionafty (MEŘO). Mokré procesy tedy slouží převážně k výrobě biopaliv pro motorová vozidla.

Při využívání rostlin jako energetických surovin bude v současnosti nejjednodušší využívat stávající a dosud málo využívané odpady z lesů nebo slámu stébelnin pro produkci tepla spalováním a zplyňováním, řepku pro výrobu bionafty a obilniny, omezeně brambory a řepu pro výrobu etanolu. Bioplyn bude produkován z odpadů a cíleně pěstované kukuřice. Následně, po vyzkoušení a výběru vhodných druhů bude možné začít pěstovat energetické rostliny. Ty budou tvořit v budoucnu téměř 50% cíleně pěstované fytomasy.

Pro produkci tepla se jeví nejefektivnějším spalování a zplyňování. Energetický zisk je nejvyšší, podíl vložené a získané energie je až 1: 10. Spalování biomasy má své kladné a záporné stránky. Při spalování biomasy nevzniká více CO₂ než bylo předtím rostlinami přijato. Biomasa neobsahuje téměř síru (ve slámě je asi 0,1 %, ve dřevě téměř není, nejvíce je v seně do 0,5 %, hnědé uhlí má min. 2 %). Tvorbu NO_x je možno kontrolovat udržováním optimální teploty plamene. Obsah těžkých kovů v biomase je velmi nízký a se spaliny se do ovzduší nedostane. Část může zůstat v popeli, kterého je oproti uhlí velmi málo (obsah popelovin slámy 5 %, dřeva 0,5 %). Negativním jevem je nebezpečí úletu jemného popílku (jsou používány odlučovače a filtry). Při spalování vlhké biomasy existuje nebezpečí vzniku kouře (aromatické uhlovodíky). Proto musí být palivo suché, nebo musí mít čas aby proschlo než přijde k místu zapálení.

V současné době při předpokládaném využití čtvrtiny slámy obilnin a celého objemu řepkové a kukuřičné slámy je v energetice k dispozici přes 3,6 mil. tun slámy. Velký potenciál využití má řepková sláma s výhřevností 16 GJ/t, což se rovná dobrému hnědému uhlí. V Dánsku podíl slámy převažuje mírně nad energetickým dřevem, zatímco v Rakousku jen 3 % venkovských komunálních vytopen spaluje slámu, ostatní dřevo. ČR je sláma spalována v několika obecních výtopnách (např. Žlutice, Dešná, Velký Karlov). Výhodou je, že lze získávat fytomasu pro energetické využití bez větších investic. Nevýhodou jsou velké objemy hmot, které je nutno přepravovat a skladovat, a spékavost popelu při nižších teplotách.

Vedle již uvedených zdrojů, které mohou sloužit k energetickému využití se v současné době začínají speciálně pěstovat rostliny za účelem produkce fytomasy. Za výhodné a konkurence schopné současným klasickým fosilním palivům se považují ty plodiny a rostliny pěstované na biomasu, z kterých získáme nejméně 10 jednotek energie na jednotku vloženou.

Při dosažení hranice 12 t.ha⁻¹ sušiny rostlinné biomasy lze již tyto plodiny považovat za „energeticky“ významné. Aby byly i ekonomicky efektivní, je nutné dosahovat alespoň produkce sušiny 15 t.ha⁻¹.

Při výběru energetických rostlin by se mělo přihlížet k několika základním faktorům. Ideální energetická rostlina by měla mít následující vlastnosti:

- i) Rychlý růst (i při nízkých teplotách)
- j) Tvorba nadzemní biomasy (ne plodiny s hlízami či bulvami). Nižší náklady na sklizeň a ochrana půdy.
- k) Nízký obsah popelovin, zvláště N, ve sklizených částech.
- l) Vytrvalost, víceletost. Není potřeba každoročně zakládat porost.
- m) Dobrá přezimovací schopnost.
- n) Vysoká odolnost proti chorobám.
- o) Vysoká konkurenceschopnost proti plevelům. Rychlý růst a dobrá pokrývnost půdy.
- p) Nízké požadavky na vodu, odolnost proti suchu.

Energetické rostliny dělíme do dvou základních skupin na dřeviny a byliny. Ty pak podle vytrvalosti na jednoleté a víceleté či vytrvalé. Obecně platí, že ekonomicky a energeticky efektivnější je pěstování rostlin víceletých a vytrvalých než tradičních jednoletých (pokud to není vedlejší produkt jako sláma obilovin či olejnin). Pěstováním netradičních vytrvalých

plodin lze efektivně snížit celkové náklady na produkci jednotky biomasy a zásadně zvýšit poměr výstupu energie ke vstupu. Je to dáno tím, že při pěstování vytrvalých rostlin jsou nejvyšší náklady v prvním roce – tj. při založení plantáže (tyto náklady mohou být dokonce mnohem vyšší než u tradičních plodin). V následujících letech celkové náklady na pěstování vytrvalých rostlin klesají, neboť odpadají náklady na zpracování půdy a setí, snižují se náklady na hnojení a chemickou ochranu apod.

Energetická výtěžnost energetických rostlin (upraveno podle Petříkové)

Plodina	Průměrný výnos (t.ha⁻¹) (různé plochy)	Energetický obsah (MJ.kg⁻¹)	Energetická výtěžnost (GJ.ha⁻¹)
Konopí	10,52	18,06	190,0
Čirok Hyso	10,66	17,66	188,2
Sláma obilí	4,50	15,20	68,4
Řepka ozimá (sláma)	4,74	17,48	82,8
Slunečnice	8,31	16,70	138,8
Ovsík vyvýšený	4,31	15,43	66,5
Psineček velký	4,74	19,24	91,2
Lesknice rákosovitá	5,25	15,94	83,7
Šťovík krmný	14,2	18,17	258
Sléz kadeřavý	9,8	18,16	178
Křídlatka	20,43	19,44	397,2
Ozdobnice	15,00	17,89	268,3

Z tabulky je zřejmé, že je možné z hlediska energetického obsahu využít téměř všechny druhy kulturních rostlin. V praxi lze však zatím využít jen několik druhů rostlin. Důležitý je především výnos, pěstební náklady, náklady na úpravu produktu pro palivářské účely, logistika dopravy hotových biopaliv ke spotřebiteli atd.

V současnosti je v ČR nejrozšířenější víceletou energetickou rostlinou krmný šťovík (odrůda Uteuša). Při dodržení správných pěstitelských postupů zajistí tato plodina dostatek fytohmoty jako vhodného paliva po několik po sobě následujících let, a to hned od 2. roku po zasetí. Nový obrost při pěstování na energetické účely (koncem srpna nebo v září) lze efektivně využít stejně jako podzimní porost v prvním roce, do siláže či na zelené krmení. Možné je i využití zelené hmoty na výrobu bioplynu.

S ohledem na vysoké výnosy sušiny fytomasy z plochy, se uvažuje s křídlatkou jako alternativním obnovitelným zdrojem energie. Z Japonska jsou hlášeny výnosy sušiny 12 – 27 t/ha. Podobných výnosů lze dosáhnout i u nás. Ukazuje se však, že výnosy nejsou stabilní. Jelikož se jedná o potenciálně vysoce invazivní rostlinu, nebude křídlatka pravděpodobně v blízké budoucnosti povolena k pěstování.

Pro využití v bioplynových stanicích je vhodné používat zelenou travní hmotu s optimálním obsahem sušiny 25 – 40 %. Při jedné seči na konci vegetace dosahuje obsah sušiny 66 – 71 %, při první seči u dvousečných variant 39 – 48 % a při druhé seči průměrně 45 %. Psineček velký dosahuje ze skupiny kulturních trav nejvyššího výnosu sušiny a energetické hodnoty. Při pěstování trav pro výrobu semene lze využít vymláčeného sena (slámy) pro spalování. Lesknice je jednou z alternativních plodin, o jejímž rozšířeném pěstování pro průmyslové využití se uvažuje, a to hlavně v SRN, Dánsku ale i severských evropských státech jako je Finsko, Švédsko. Má sloužit jako potenciální energetický zdroj (spalné teplo sušiny celé plodiny je v průměru 17,52 GJ/t). V pokusech VÚRV bylo dosaženo výnosů sušiny nadzemní fytomasy v rozmezí od 5,3 do 12,6 t/ha. V současnosti se šlechtí nové odrůdy pro průmyslové využití, které by se měly lišit od krmných tím, že mají vysoký poměr stonků oproti listům a nízký obsah popele a prvků.

Ozdobnice čínská je vytrvalá tráva dosahující výšky až 4 m. V prvním roce (rok výsadby) se nesklízí, v druhém roce dává do 10 t/ha sušiny, ve třetím roce a dalších 20 – 25 t/ha sušiny, při intenzivním hospodaření i více než 30 t/ha. Převažuje sklizeň po zimě (únor, březen), neboť odpadne dosoušení. Při sklizni po zimě je však třeba počítat se ztrátami sušiny 30 – 40 %. Sklizeň je možno provádět pojízdnými samohodnými řezačkami na kukuřici od listopadu do března. Sklizenou slámu je možno lisovat nebo peletovat.

Z hlediska výnosů fytomasy i z dalších sledovaných ukazatelů pro energetické účely (spalování) jsou z uvedených plodin nejvhodnější ozdobnice čínská, chrastice rákosovitá a křídlatka česká. Produkce fytomasy všech sledovaných plodin je statisticky průkazně závislá na průběhu klimatických podmínek v jednotlivých letech a na daných stanovištích.

Vliv stupňovaných dávek dusíku na zvyšování výnosů fytomasy byl u většiny sledovaných plodin nejpatrnější na stanovištích s nižší půdní úrodností. Ze sledovaných plodin reagovaly v průměru nejlépe na rostoucí dávky dusíku čirok, kostřava a také křídlatka. Na stanovišti s

dobrou půdní úrodností postačily k dosažení nejvyšších výnosů u většiny plodin střední použité dávky dusíku (40 - 50 kg/ha). Je třeba pečlivě vážit výběr plodiny do jednotlivých oblastí, aby se dosahoval vysokých výnosů.

Při využití dosavadních zkušeností a znalostí s pěstováním a využitím energetických rostlin lze minimální cenu biomasy odhadnout ve výši 90 – 120 Kč/GJ za předpokladu mechanizované sklizně (náklady na sklizeň cca 600 Kč/t) a výnosu biomasy v rozmezí 110 – 160 GJ/ha/rok, při současné cenové úrovni ostatních požadovaných služeb. Je zřejmé, že s rostoucí poptávkou poroste též cena biopaliv, nicméně lze předpokládat, že neporoste tak rychle jako cena zemního plynu. Pravděpodobně dojde k vyrovnání cen s okolními zeměmi a k vyrovnání cen biopaliv z cíleně pěstovaných rostlin a biopaliv z dřevní biomasy.

Nejdůležitější jsou plodiny vysoce výnosné a dále víceleté a vytrvalé, z obilovin například tritikale, komonoce bílá, chrastice rákosovitá, energetické trávy, ovsík vyvýšený a jiné.

Největší význam má krmný – energetický šťovík Rumex OK 2 – Uteuša. Je to vsoce kvalitní krmná plodina, vyšlechtěná na Ukrajině křížením šťovíku zahradního a tjanšanského. V ČR se pěstuje pod názvem Uteuša (autor prof. Uteuš). Krmný šťovík Uteuša je vytrvalá plodina, může vydržet na svém stanovišti cca 10 let. V prvním roce po zasazení se sklízí, ale od druhého roku vždy na jaře obrůstá a poskytuje výnosy 7 až 12 t/ha suché energetické biomasy. Uteuša je řádná zemědělská plodina a nemá nic společného se známými plevelnými šťovíky. Nemnoží se vegetativně, je samosprašná takže se nemůže křížit s plevelnými druhy, nesnáší konkurenci jiných plodin a proto v případě vyklíčení nevydrží ve směsi s jinými rostlinami.

Postup při založení porostu Uteuši je následující.

Setí se provádí na jaře do odplevelené půdy, s výsevem cca 5 kg/ha. Ochrana proti plevelům se provádí pouze mechanicky odplevelování sečí – podle potřeby 2 až 3 krát do roka, posečenou hmotu lze ponechat namísto jako mulč.

Sklizeň „na zeleno“, nebo pastva koncem léta či na podzim pokud je již porost zapojen. V té době vytváří přízemní růžici listů s vysokou krmnou hodnotou. Lze jej sklízet na zeleno, nebo využít jako přídavek do fermentoru při výrobě bioplynu.

Druhý rok po zasetí představuje Uteuša první užitkový rok. Brzy na jaře rychle obrůstá, do konce května dosáhne výšky 1,5 až 2 m. Sklizeň se provádí běžnou mechanizací, například :

- ♦ jednofázová sklizeň silážní řezačkou – vznikne řezanka, která plně nahradí dřevní štěpku
- ♦ lisování do hranatých balíků
- ♦ lisování do kulatých balíků.

Uteuša má podobné energetické vlastnosti jako dřevní hmota. viz tabulka

Tabulka - Charakteristické hodnoty paliva Uteuša

Vzorek	Obsah vody %	Obsah popela %	Spalné teplo MJ/kg	Výhřevnost MJ/kg
původní	12,51	1,85	16,77	15,35
bezvodý	0,0	2,11	19,17	17,89

Pro konstrukci a provoz kotle s uvedeným druhem biomasy jako paliva jsou důležité hodnoty teplot tavitelnosti popelovin. Tyto hodnoty jsou pro dané palivo patrné z tabulky níže.

Teplota měknutí , tavení a tečení popelovin paliva Uteuša.

parametr	teplota °C
teplota měknutí	1191
teplota tavení	1500
teplota tečení	1550

Při porovnání uvedených hodnot, při použití paliva Uteuša, se slámou jsou uvedené teploty podstatně vyšší než u slámy (teplota měknutí již cca 750 °C), což snižuje provozní riziko kotle na zalepování roštnic, tvorbu nánosů na stěny kotle a tím snižování přenosu tepla do teplosměnných ploch kotle. Snížený přenos tepla do výhřevných ploch kotle může mít za následek zvýšení teploty komínových spalin a v důsledku toho pokles tepelné účinnosti kotle.

Prodejní cena biomasy Uteuša je rovněž příznivá a v současné době představuje hodnotu cca 130,- Kč/GJ ve vstupním palivu do kotle.

Palivem pro energetický zdroj je veškerá suchá biomasa produkovaná ve formě odpadů ze zemědělství, lesnictví, údržbě krajiny a záměrně pěstovaných energetických plodin.

Obilné a řepkové slámy:



Energeticky pěstované rostliny:



Biomasa je dopravovaná do prostor kotelny velkokapacitními dopravními prostředky ve formě velkoobjemových balíků a řezanky, popřípadě štěpky.

Sběr biomasy:

BiG Pack 1290 HDP (High – Density – Press)

Balíky jako briкеты.

Nejvyšší hustota lisování

Cca o 25% vyšší hmotnost balíku

Prodloužený lisovací kanál

Silný pohon

6 dvojitých uzlovačů na standardní motouz

Řezací zařízení X-Cut na přání

HDP (High-Density-Press) zní nová kouzelná formule pro velké balíky s vysokou hustotou od KRONE. Stroj KRONE BiG Pack 1290 HDP s rozměry kanálu 120 x 90 cm a prodlouženým lisovacím kanálem vstupuje se svou hustotou lisování do nové dimenze. Ve srovnání s konvenčními lisy na velké balíky dosahují velké balíky z HDP až o 25% vyšší hmotnosti.



Balení biohmoty:



Sběr biohmoty:



Odvoz biohmoty:



Odvoz biohmoty:



Skladování biohmoty:



Sběr řezanky:



Svoz řezanky:



Z klasických rostlin vhodných pro energetické plodiny se jeví zejména vojtěška, kukuřice, čirok Hyso.

Průměrné složení biomasy:

Složení látek v %	Dřevní štěpka	Sláma	Nedřevní biomasa
Voda	50,00	12,00	12,00
Popel	0,40	4,00	4,00
Uhlík	26,00	44,00	43,70
Vodík	3,00	4,00	4,80
Kyslík	20,30	34,70	34,30
Dusík	0,05	0,90	0,32
Síra	0,25	0,20	0,25
Chlor	0,00	0,20	0,13
Výhřevnost v MJ/kg	8,04	17,00	18,00
Hustota kg/m ³	180,00	130,00	150,00

Při záměrném pěstování energetických rostlin pro účely výroby tepla a elektrické energie je důležitým kritériem výnosnost rostliny.

Topinambur hlíznatý



Ozdobnice čínská



Chrastice rákosovitá



Seznam energetických bylin	
Jednoleté až dvouleté:	
Laskavec	<i>Amaranthus</i>
konopí seté	<i>Cannabis sativa</i>
světlíce barvířská - saflor	<i>Carthamus tinctorius</i>
sléz přeslenitý (krmný)	<i>Malva verticillata</i>
komonice bílá (jednoletá a dvouletá)	<i>Melilotus alba</i>
pupalka dvouletá	<i>Oenothera biennis</i>
hořčice sareptská	<i>Brasica juncea</i>
Víceleté a vytrvalé (dvouděložné)	
Mužák prorostlý	<i>Silphium perfoliatum</i>
jestřabina východní	<i>Galega orientalis</i>
Topinambur	<i>Helianthus tuberosus</i>
čičorka pestrá	<i>Coronilla varia</i>
Šťovík krmný	<i>Rumex tianshanicus x Rumex patientia</i>
sléz vytrvalý	<i>Kitaibelia</i>
oman pravý	<i>Inula helenkám</i>
bělotrň kulatohlavý	<i>Echinops sphaerocephalus</i>
Energetické trávy	
Sveřep bezbranný	<i>Bromus inermis</i>
Sveřep horský (samužníkovitý)	<i>Bromus cartharticus</i>
psineček veliký	<i>Agrostis gigantea</i>
lesknice (chrastice) rákosovitá	<i>Phalaris arundinacea</i>
košťava rákosovitá	<i>Festuca arundinacea</i>
ovsík vyvýšený	<i>Arrhenatherum elatius</i>
ozdobnice čínská (sloní tráva)	<i>Miscanthus sinensis</i>

Z uvedených energetických rostlin je dosud nejvíce propracován způsob pěstování krmného - energetického **šťovíku Rumex OK 2**. V současné době bylo již oseto v ČR celkem asi 1200 ha, což je zatím největší plocha ze všech rostlin pěstovaných pro energetické účely. Krmný **šťovík Uteuša - Rumex OK 2** je kříženec šťovíku zahradního a tjaňšanského, vyšlechtěného na Ukrajině.

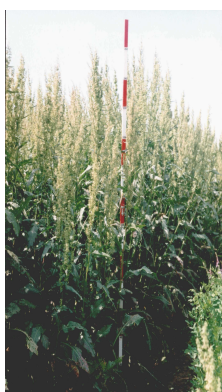
Má řadu výhod, zejména pak až 10letou vytrvalost, mohutný kořenový systém, který proniká hluboko do spodních vrstev ornice. Tím ji provzdušňuje a po odumírání kořenové hmoty tak dodává do půdy organické látky /humus/. Tím půdu zúrodňuje a to i ve spodních vrstvách.

Další výhodou je jeho protierozní působení. Obrůstá velmi brzy na jaře, rychle se zapojí a vytváří tak kompaktní porost, který spolehlivě fixuje ornici na svém stanovišti. Porost Rumexu OK 2 je po celý rok pod plnou vegetací plně zapojen, takže ani v podzimním období nehrozí žádné smyvy ornice.

Šťovík je proto podstatně vhodnější plodinou (též kvalitní píceinou), než např. tradiční kukuřice, u které je půdní eroze v období květnových či červnových přívalových dešťů velice častá. Běžně známé jsou případy, kdy smytá ornice zaplaví sousední polní kultury, cesty a někdy i domy.

Biomasa šťovíku byla hodnocena též z hlediska kvality paliva. **Laboratorní testy zjištěné v Ústavu pro využití paliv v Běchovicích prokázaly, že jsou v podstatě všechny parametry přibližně shodné s dřevní biomasou, včetně vysoké teploty tavitelnosti popelů** (na rozdíl např. od slámy). Odpovídající výhřevnost a emisní hodnoty byly zjištěny i v několika typech provozních kotlů, jako např. v kotlích Verner ve Žluticích a v Bouzově.

Šťovík



Topinambur



7. Tepelný výkon centrální kotelny na biomasu

S ohledem na počet vytápěných objektů systémem centralizovaného zásobování teplem (CZT) a součtem jejich tepelné ztráty ke které je nutno připočíst spotřebu tepla na přípravu teplé vody stanovíme jak celkový potřebný tepelný výkon, tak roční spotřebu tepla pro uvedené dodávky.

K takto zjištěné hodnotě je nutno ještě připočíst tepelnou ztrátu rozvody tepla. Konečný součet pak představuje požadovaný tepelný výkon centrální kotelny.

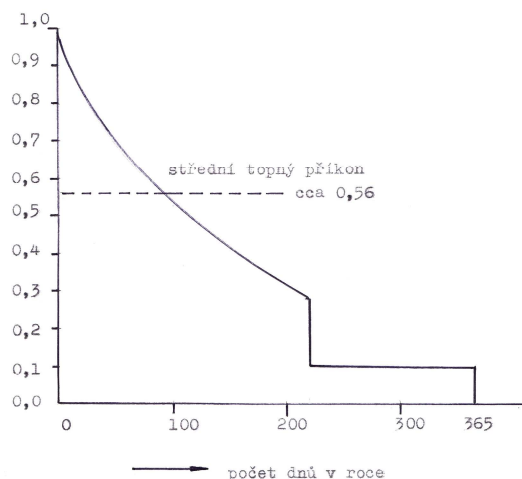
Veškeré přípravné výpočtové a projektové práce by měla provádět renomovaná firma, která bude poskytovat potřebné odborné znalosti. Dále je nezbytné, aby úvodní projektová dokumentace přihlížela k územní energetické koncepci, která se týká lokality ve které má být realizována centrální kotelna.

Celkový tepelný výkon centrální kotelny musí brát v úvahu požadavky jak výkonu, tak spotřeby tepla během:

- ♦ otopného období (vytápění + příprava teplé vody)
- ♦ mimotopného období (pouze příprava teplé vody).

S ohledem na rozdílnost spotřeby tepla v uvedených obdobích je pak nutno řešit výkonovou skladbu kotlů, které budou v kotelně instalovány. Roční průběh poměrného tepelného příkonu je patrný z obrázku .

Roční průběh využití tepelného výkonu zdroje



Z uvedeného obrázku je patrné, že využití maximálního instalovaného výkonu centrálního zdroje přichází v úvahu pouze několik dnů v roce. Každé zvýšení instalovaného tepelného výkonu kotelny však sebou přináší i zvýšení investičních nákladů na :

- ♦ stavební část kotelny (větší prostorové nároky)
- ♦ technologickou část (vyšší cena kotlů, čištění spalin, palivové cesty atd.).

Celá situace se může ještě komplikovat tím jaké stavební objekty budou systémem CZT zásobovány:

- ♦ Při nové zástavbě například rodinných domů se již při jejich projektování vychází z požadovaných , nebo doporučených tepelných ztrát. Proto se u těchto „spotřebitelů tepla „ nepředpokládá v nejbližší době realizace opatření k dalšímu snižování tepelných ztrát.
- ♦ Ve stávající starší zástavbě lze naopak očekávat, že s ohledem na rostoucí ceny energií (teplo, elektrická energie, zemní plyn atd.) bude docházet k opatřením, která budou snižovat roční spotřebu tepla a tím i potřebný výkon tepelného zdroje. Realizace uvedených opatření u spotřebitelů tepla pak může v součtu znamenat znatelný pokles maximálního instalovaného výkonu centrální kotelny.

Účelem je proto zvážit možnost využití akumulčních zásobníků tepla, které lze využít ke krytí skokového nárůstu odběru tepla. Jedná se například o zvýšenou spotřebu teplé vody v ranních a večerních hodinách. V závislosti na dimenzování akumulčních zásobníků však lze překlenout i nejchladnější dny v roce, kdy se k výkonům kotlů připočte výkon akumulčních zásobníků.

Dalším přínosem při realizaci akumulčních zásobníků je i ta skutečnost, že provoz kotlů může být řízen v rozmezí jejich optimálního výkonu a tím i dosažení nejlepší tepelné účinnosti.

Z uvedených důvodů doporučujeme věnovat této problematice zvýšenou pozornost při zpracování studie a projektu centrální kotelny na biomasu. Při navrhování velikosti akumulčních zásobníků je nutno si uvědomit, že nemalá akumulace tepla je i v potrubní rozvodné síti systému CZT.

Velmi důležitým bodem při rozhodování o realizaci centrální kotelny na biomasu je zajištění potřebné palivové základny představované biomasou. Tu je nutno zajistit potřebnými smluvními vztahy , nebo řešit vlastní dodávkou biomasy z plantáží rychle rostoucích dřevin. Rovněž je velice důležité zvážit, v závislosti na lokalitě realizace centrálního zdroje, osazení kotelny kotlem na dřevní hmotu a současně kotlem na slámu.

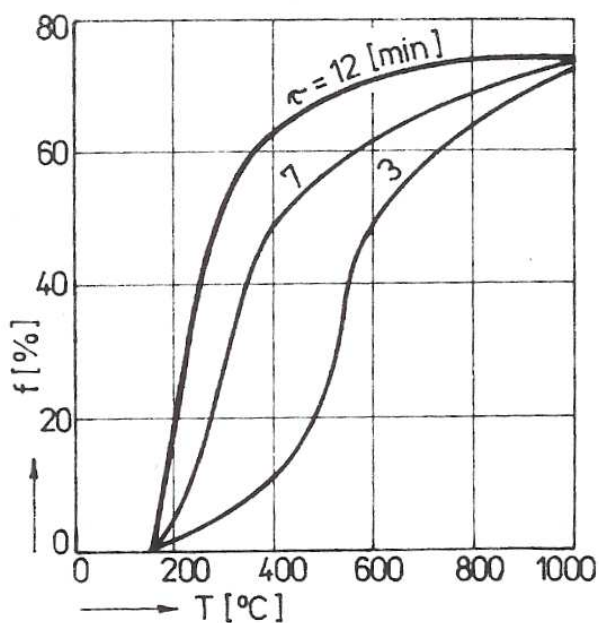
8. Požadavky na kotle pro spalování biomasy

Požadavky na konstrukci kotlů vychází z povahy biomasy jako paliva. Je nutno respektovat jejich odlišnosti od ostatních druhů pevných paliv, kterými jsou především hnědé a černé uhlí.

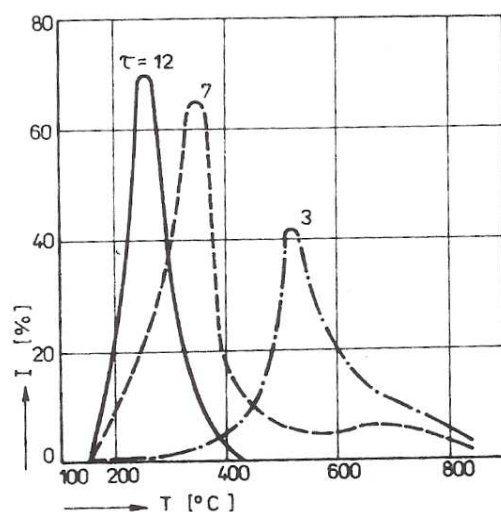
8.1 Vysoký obsah prchavé hořlaviny

Především se jedná o vysoký obsah prchavé hořlaviny, která se z paliva uvolňuje při jejím vstupu do spalovací komory kotle. Uvolněná prchavá hořlavina je v plynné fázi a pro její dokonalé vyhoření potřebuje odpovídající dimenzování a vhodné rozmístění přívodů spalovacího vzduchu. Následující obrázky ukazují laboratorní výsledky, při jaké teplotě začíná uvolňování prchavé hořlaviny f (%) například u smrkové kůry v závislosti na době žhání τ (min.). Další obrázek ilustruje intenzitu uvolňování prchavé hořlaviny I (%).

Uvolňování prchavé hořlaviny ze smrkové kůry v závislosti na teplotě a době žhání



Intenzita uvolňování prchavé hořlaviny



U dřevní hmoty a biomasy všeobecně je obsah prchavé hořlaviny cca 75 %. Provedeme li její přepočet na obsah popelovin v sušině $A_s = 2 \%$ a různý obsah vody $W (\%)$ dostaneme následující hodnoty uvedené v tabulce .

Tabulka – Obsah prchavé hořlaviny v závislosti na obsahu vody v biomase.

stav paliva	prchavá hořlavina %
hořlavina	75
vlhkost biomasy 10 %	66,15
vlhkost biomasy 30 %	51,45
vlhkost biomasy 50 %	36,75

Z uvedené tabulky je patrné, že čím bude spalovaná biomasa obsahovat nižší obsah vody, tím vyšší nároky budou kladeny na vhodné rozmístění přívodu spalovacího vzduchu. Pokud by prchavá hořlavina proudila do prostoru ohniště bez dokonalého mísení se spalovacím vzduchem, neproběhne dokonale její vyhoření, což může mít za následek vysokou tepelnou ztrátu kotle v důsledku chemické nedokonalosti spalování. V krajním případě může dojít i k tomu, že kotel bude splňovat platné emisní limity.

Rozmístění spalovacího vzduchu bývá následující :

- ♦ primární spalovací vzduch je přiváděn pod rošt
- ♦ sekundární spalovací vzduch je přiváděn nad vrstvu paliva
- ♦ terciární spalovací vzduch je přiváděn do zúženého průřezu na konci ohniště.

8.2 Vliv obsahu vody ve spalovaném palivu

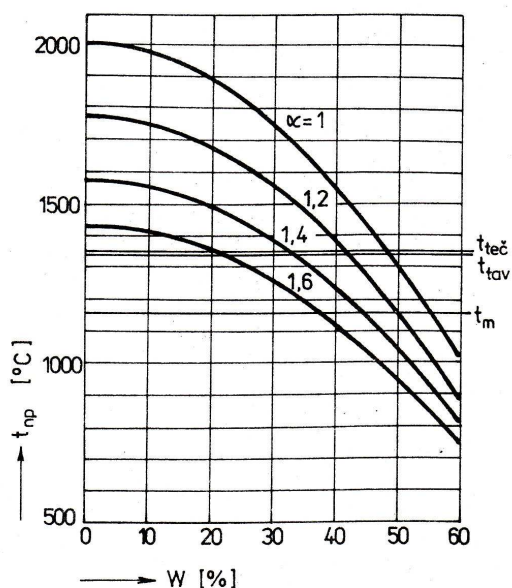
S ohledem na obsah vody ve spalovaném palivu klesá jeho výhřevnost a kotle na biomasu se člení na :

- ♦ kotle na suchou biomasu - do obsahu vody $W = 30 \%$
- ♦ kotle na vlhkou biomasu - do obsahu vody $W = 55 \%$.

Při této souvislosti je účelné opět připomenout, že při spalování biomasy s vyšším obsahem vody než 55 % by bylo nutno použít přídatné palivo vzhledem k tomu, aby byla dosažena potřebná spalovací teplota a to nad 900°C .

Průběh teploty nechlazeného plamene při spalování dřevní hmoty v závislosti na vlhkosti paliva W (%) a součiniteli přebytku spalovacího vzduchu α (-) je uveden na následujícím obrázku.

Teplota nechlazeného plamene



Pro názornost je v tomto obrázku vynesena teplota meknutí (t_m) , tavení (t_{tav}) a tečení ($t_{teč}$) vzniklých popelovin. Z grafického průběhu teploty plamene je patrné, že suché palivo dosahuje vysokou teplotu plamene ale současně vznikají problémy a provozní potíže spojené s překročením charakteristických teplot popelovin.

Snížení teploty nechlazeného plamene (což je adiabatická spalovací teplota bez uvažování přenosu tepla $dq = 0$) je možno docílit :

- ♦ Zvýšením součinitele přebytku spalovacího vzduchu α , což má však za následek zvětšení objemu spalin odcházejících do komína a v důsledku toho i zvýšení komínové ztráty kotle - nižší tepelná účinnost kotle. S ohledem na uvedené souvislosti je tato cesta energeticky nevhodná.
- ♦ Použití tak zvané recirkulace spalin, kdy je část spalin odcházejících z kotle zavedena zpět do jeho spalovací komory. Tím dojde k poklesu teploty plamene bez zvýšení komínové ztráty kotle. Tato cesta se proto v praxi běžně používá.

Uvedené závěry vychází z definice teploty nechlazeného plamene. V praxi však lze využít další konstrukční opatření při navrhování kotlů a to :

- ♦ U kotlů na suchou biomasu nepoužívat spalovací komoru s vyzdívkou. Naopak je nezbytné, aby plochy spalovací komory byly dostatečně ochlazovány za účelem odvodu tepla ze spalovací komory.
- ♦ U kotlů na vlhkou biomasu je vhodné vyzdívku naopak použít jako akumulátor tepla (pro případné zvýšení obsahu vody v palivu) a naopak ke snížení odvodu tepla ze spalovací komory.
- ♦ Aby nedocházelo k zanášení roštové plochy taveninou z popelovin používají se přesuvné mechanické rošty, které jsou v některých případech ještě chlazené vodou.

9. Konstrukce kotlů na biomasu

S ohledem na předchozí uvedené požadavky na kotle pro spalování biomasy je konstrukční řešení kotlů následující :

- ♦ spalovací zařízení se spodním přívodem paliva
- ♦ spalovací zařízení s pevným nebo přesuvným šikmým roštem.

Další členění kotlů je dle druhu spalované biomasy a to :

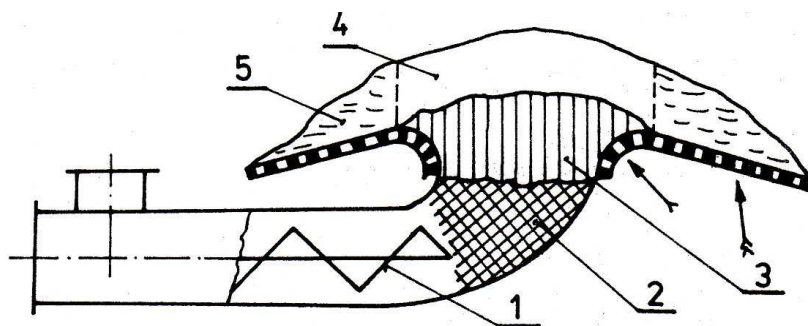
- ♦ kotle na spalování dřevní hmoty
- ♦ kotle na spalování slámy.

9.1 Spalovací zařízení se spodním přívodem paliva

Tento typ spalovacího zařízení plně respektuje vlastnosti dřevní hmoty jako paliva, to je vysoký obsah prchavé hořlaviny i vysoký obsah vody v palivu. Proto tato zařízení dosahují velmi dobrou tepelnou účinnost.

U spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva začíná pochod spalování již v rozváděcím žlabu, kde se dřevní hmota, postupně se pohybující k horním vrstvám s vysokou teplotou , prohřívá bez přístupu vzduchu a kde se z ní uvolňuje prchavá hořlavina. Prchavá hořlavina se pak v horní části vrstvy mísí se spalovacím vzduchem, vzněcuje se a hoří v kanálcích pásma dřevěného uhlí. Toto pásmo je v nejhořejší části vrstvy. Předpokládá se, že částice dřevní hmoty jsou v okamžiku výstupu na povrch vrstvy již většinou ve formě dřevěného uhlí, když předtím prošly stadiem uvolňování prchavé hořlaviny. Schéma spalovacího zařízení je uvedeno na obrázku.

Schéma spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva.



1 – přívod paliva , 2 – pásmo vysoušení, 3 - pásmo uvolňování prchavé hořlaviny, 4 – pásmo vyhořívání prchavé hořlaviny, 5 – pásmo vyhořívání koksového zbytku. Šipky vyznačují přívod spalovacího vzduchu.

Hořlavá směs, tvořená prchavou hořlavinou a spalovacím vzduchem, hoří mezi rozžhavenými částicemi horní vrstvy dřevěného uhlí asi tak, jak hoří plynná směs (dle principu bezplamenného spalování) v rozžhavené pórovité trysce hořáku. Proto probíhá hoření této plynné směsi velmi intenzivně s plamenem velmi zkráceným oproti délce plamene vznikajícího při spalování téhož druhu paliva například na pásovém roštu.

Intenzivní uvolňování tepla vznikajícího při hoření prchavé hořlaviny v pórech vrstvy dřevěného uhlí ležícího přímo nad rozváděcím žlabem, stabilizuje a udržuje pásmo vysokých teplot v této části vrstvy. To způsobuje, že se tímto teplem žhaví dřevěné uhlí, protože při dostatečném množství prchavé hořlaviny se všechen kyslík proudící tímto pásmem vrstvy spotřebuje na hoření prchavé hořlaviny.

Rozžhavené dřevěné uhlí nehoří a jen se částečně zplyňuje. Pod tlakem nových dávek přiváděného paliva je rozžhavené dřevěné uhlí odvaleno stranou na roštnice uspořádané po stranách , kde na něj působí proud čerstvého spalovacího vzduchu . Zatím je rozžhavením při vysokých teplotách tak aktivováno, že další vývoj pásma hoření dřevěného uhlí může být minimální. Prchavá hořlavina je podněcovatel pochodu hoření a je v tomto případě velmi důležitá, stejně jako primární vzduch, který se zde poněkud podmíněně odlišuje od sekundárního vzduchu podle pásma hoření prchavé hořlaviny a pásma hoření dřevěného uhlí.

Předpokladem dobrého provozu spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva je rovnoměrný pohyb paliva po celé ploše roštu rychlostí v rozmezí 0,6 až 0,8 m/h.

Odstraňování vyhořelé škváry se provádí u menších zařízení ručně cca 1x za 8 hodin. U větších výkonů je odpopelňování mechanické a to za provozu kotle.

9.2 Spalovací zařízení s pevným nebo přesuvným šikmým roštem

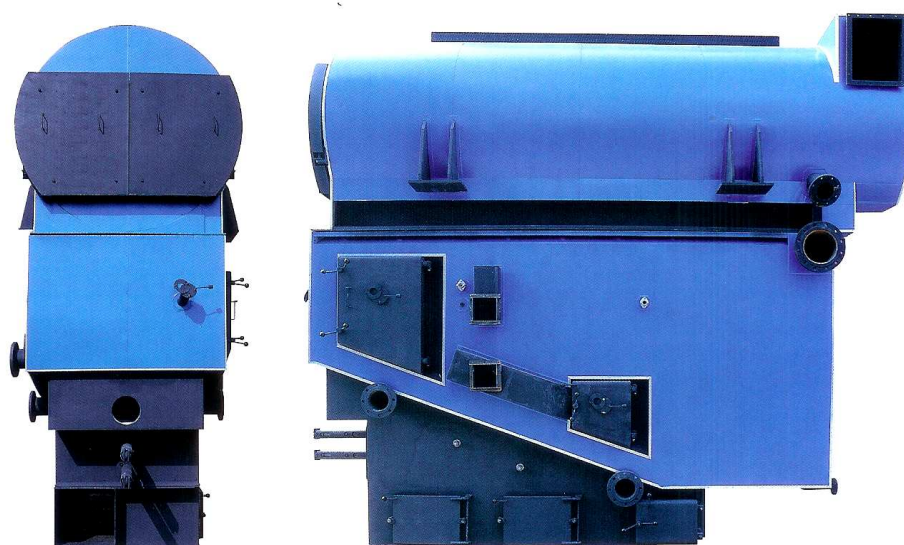
Nejvhodnějším řešením je přesuvný šikmý rošt chlazený vodou. Pohyb roštnic zajišťují většinou hydraulické válce. Pohyb roštu tak mechanicky narušuje případné kusy spékané škváry, které by zabraňovaly dostatečnému průchodu spalovacího vzduchu přiváděného pod rošt.

Hydraulický pohon umožňuje i dostatečně přesnou regulaci pohybu roštu bez ohledu na to, jak je rošt mechanicky zatížen. To umožňuje kontrolu pohybu paliva po roštu a tím i kvalitu spalování..

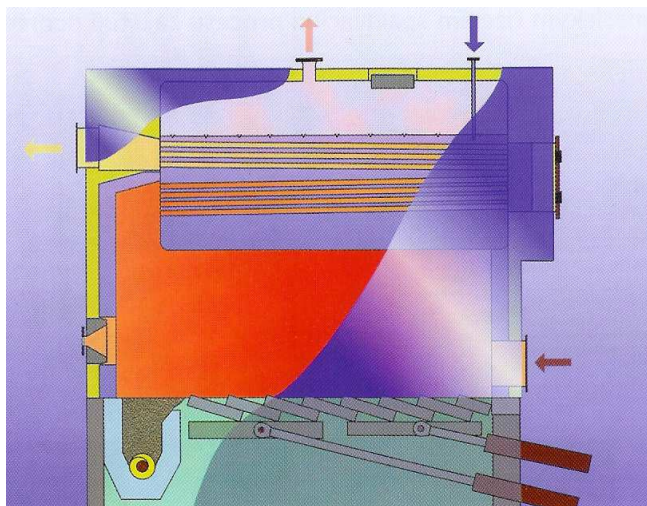
Minimální výkon roštového kotle je limitován minimálním průchodem spalovacího vzduchu roštem, který je nutný pro chlazení roštu. Při použití vodou chlazeného roštu je možno minimální výkon kotle snížit, neboť chlazení roštnic je prováděno jak spalovacím vzduchem, tak systémem vodního chlazení roštu.

Vnější pohled na kotel se šikmým, vodou chlazeným roštem je patrný z následujícího obrázku.

Pohled na roštový kotel



Provedení kotle s hydraulicky poháněným roštem



Vnější pohled na kotel s hydraulickým roštem



9.3 Kotle na spalování slámy

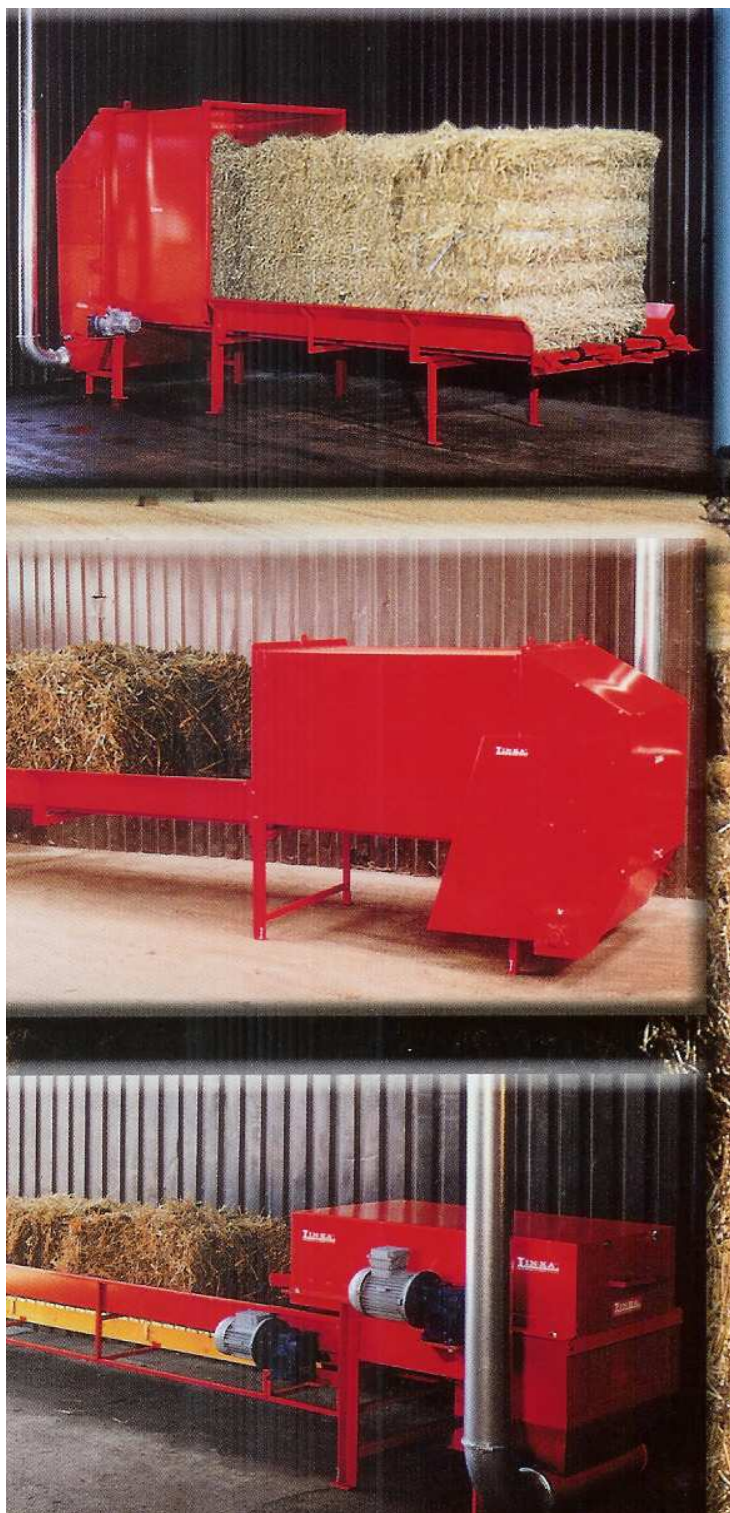
Kotle jsou řešeny převážně ve dvou provedeních a to jako kotle :

- ♦ Pro spalování rozdružené nebo řezané slámy. Kotle jsou realizovány do výkonu cca 4 MW.
- ♦ Pro spalování slámy v balících. Tyto kotle jsou používány pro vyšší výkony a to do výkonu cca 8 MW.

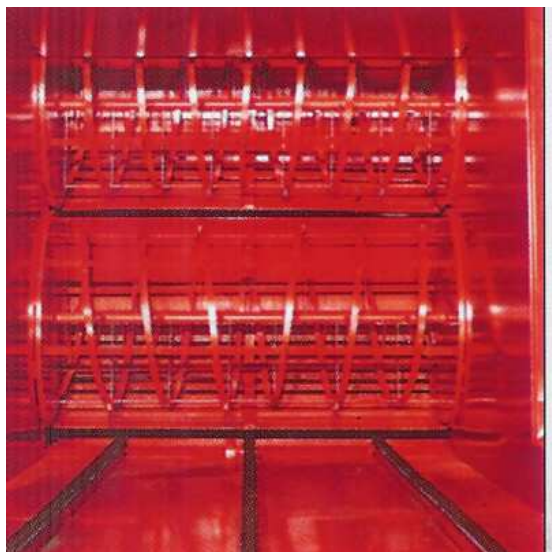
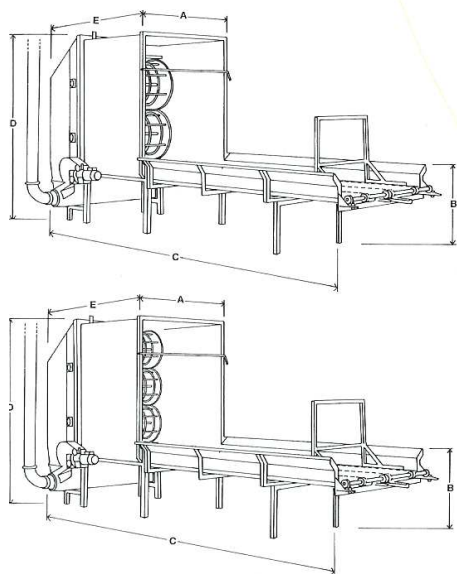
Přim rozdrůžování slámy je balík slámy dopravován vodorovným dopravníkem k rozdrůžovači. Rozdrůžovač vytváří z balíku slámy jemnou frakci, která je pak dopravována

do kotle. Rozdružovač slámy a tím i dopravníky jsou konstruovány pro velké, střední a malé balíky slámy jak je patrné z obrázku.

Doprava a rozdružování velkých, středních a malých balíků slámy.



Pohled na pracovní část rozdružovače.



Transport rozdružené slámy do kotle je dále ilustrován obrázkem.

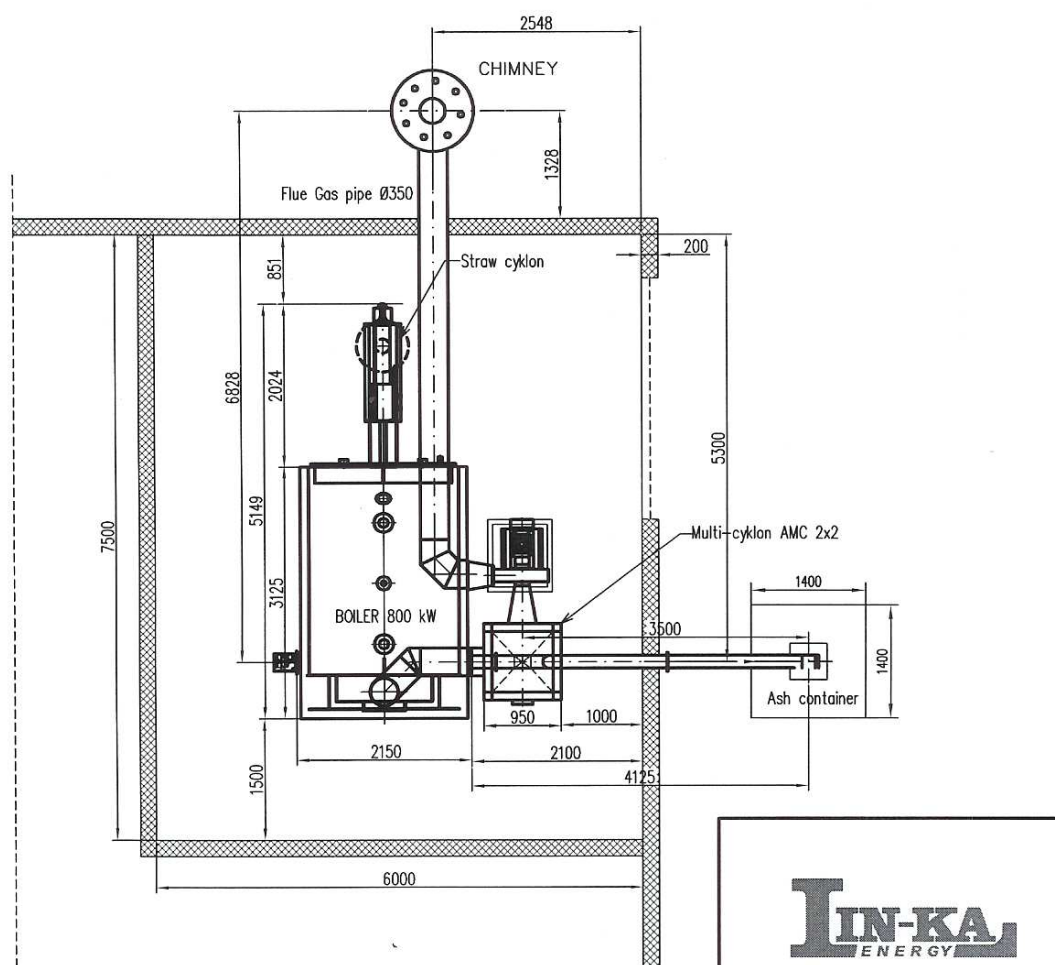


Celkové uspořádání kotelny na rozdrůženou slámu.

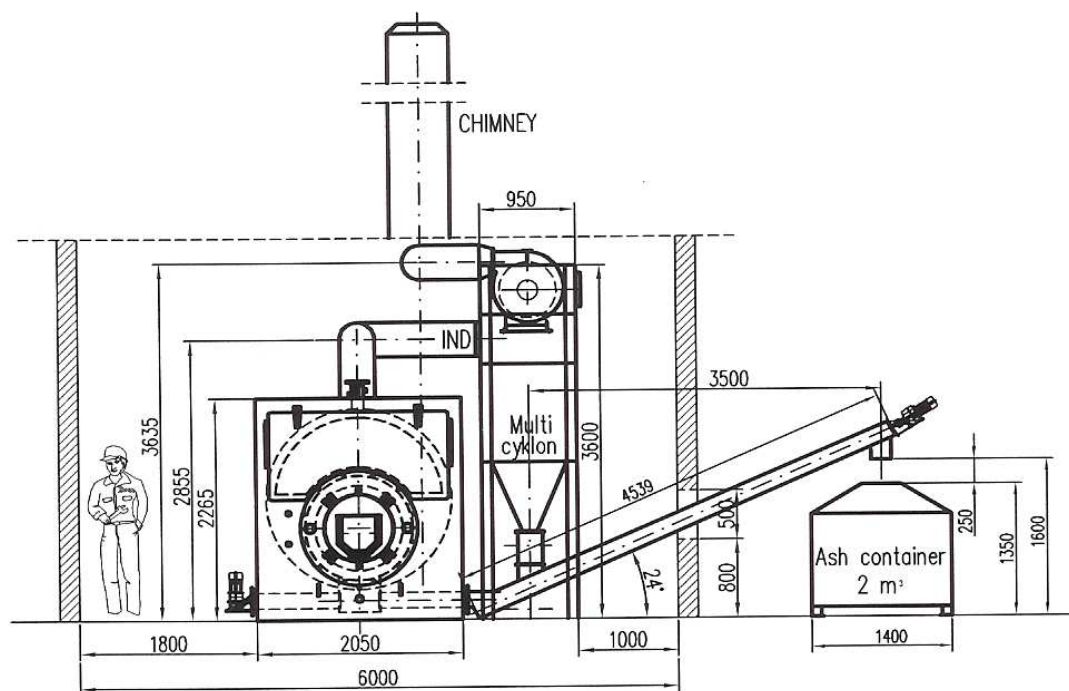


Nároky na prostorové uspořádání kotelny na rozdrůženou slámu (výkon kotle 800 kW) jsou patrný z obrázku .

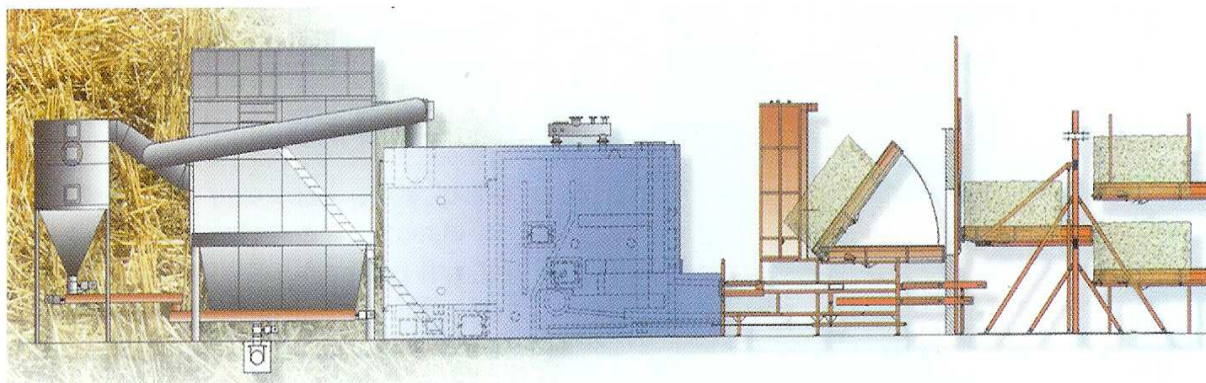
Půdorys uspořádání kotelny 800 kW na rozdrůženou slámu. a výškový řez kotelny.



Výškový řez kotelnou.



Provedení kotelny na spalování balíkové slámy je názorně uvedeno na obrázku.



Spalování slámy v balících je v ČR realizováno například v obci Roštín. Zde je instalován kotel o výkonu 4 MW od dánské firmy Lin-ka. Pohled na celkové provedení kotelny je na obrázku.

Uspořádání kotelny na balíkovou slámu v obci Roštín.



10. Sklárky paliva a transportní cesty paliva do kotle

V úvodu je nutno opět upozornit na to, že se bude jednat o dva druhy skladování biopaliva a to :

- ♦ dřevní hmoty (piliny, štěrka, drcená kůra, drcená frakce RRD apod.)
- ♦ balíky slámy, balíky energetických trav atd.

10.1 Sklárky dřevní hmoty

Hlavní způsoby , které se využívají pro skladování dřevní hmoty jsou dva a to :

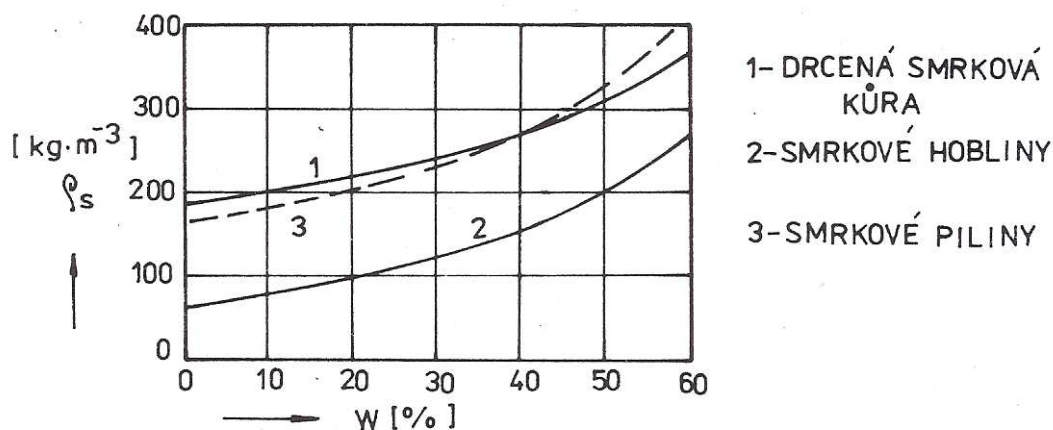
- ♦ skladování paliva v silu
- ♦ skladování paliva ve skládce.

Sila se používají jak kruhového, tak čtvercového nebo obdélníkového průřezu. Jsou buď zděná, betonová, nebo ocelová. Jsou vhodnější pro materiály s menším obsahem vody a s povahou menší frakce paliva (piliny, brusný prach apod.).

Skládky jsou většinou obdélníkové, s menší vrstvou skladovaného materiálu než je při skladování v silech. Skládky mají větší nárok na půdorysnou plochu. Jsou vhodnější pro materiál s větším obsahem vody a převahou větších částic paliva (drcená kůry, dřevní štěpka, stružiny apod.).

Při navrhování potřebných rozměrů skládek a sil se vychází z měrné sypné hmotnosti skladovaného materiálu. Pro tyto účely byly v předkládaném produktu již uvedený potřebné údaje v tabulkové formě. Pro nejběžnější dřevní hmotu je možno použít hodnot dle obrázku.

Měrná sypná hmotnost dřevní hmoty v závislosti na jejím obsahu vody.



Při navrhování tvaru skládek a sil je nutno mít již v této fázi na zřeteli návazný systém vyhrnování paliva a konstrukční řešení návazných dopravních cest paliva až do kotle. Během vyprazdňování skládek a sil může docházet ke tvorbě kleneb ve vrstvě skladovaného paliva . Tyto klenby se pak stávají při jejich ručním rozrušování obsluhou zdrojem úrazů a to nezřídka i smrtelných.

Vznik klenby je závislý jak na vlastnostech skladovaného materiálu tak na tvaru a sklonu bočních stěn skládky nebo sila.

Vzhledem ke specifickým vlastnostem dřevní hmoty se používá převážně následujících koncepcí vyhrnovacího zařízení ze skládky nebo sila :

- ♦ vyhrnovací frézy
- ♦ vyhrnovací hydraulické plošiny
- ♦ vyhrnovací šneky.

Základní požadavky na vyhrnovací zařízení jsou plynulost vyhrnování a možnost regulace vyhrnovaného množství. Možnost regulace a rozsah vyhrnovaného množství je nutno řešit s ohledem na rozsah tepelného zatížení zdroje , které je určeno minimálním a maximálním výkonem. Vyhrnovací zařízení musí splňovat uvedené základní požadavky a zároveň bezporuchový provoz, aby nebylo nutno odstavovat tepelný zdroj z provozu a tím přerušit dodávky tepla.

Vyhrnování pomocí šneků

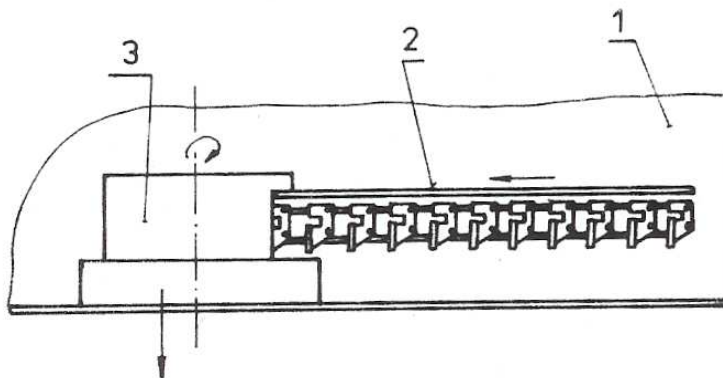
Je možno řešit v zásadě dvěma způsoby a to :

- šnekovnice je umístěna radiálně na dně skládky nebo sila , opisuje kružnici a shrnuje materiál ke středu k výstupnému otvoru
- šnekovnice je umístěna v kuželové výsypce a odvaluje se po jejích stěnách a shrnuje materiál k výsypnému otvoru v jejím středu.

Vyhrnovací frézy

Jsou vhodné především pro kruhová sila a pro nadrcený dřevní hmotu. Jsou určeny především pro rychlé vyprazdňování sila a proto je nutno je dodatečně vybavovat regulací vyhrnovaného množství. V ČR jsou známa pod označením *Vítkovická sila* , která jsou rozšířena v zemědělství. Ukázka provedení vyhrnovací frézy je patrna z obrázku.

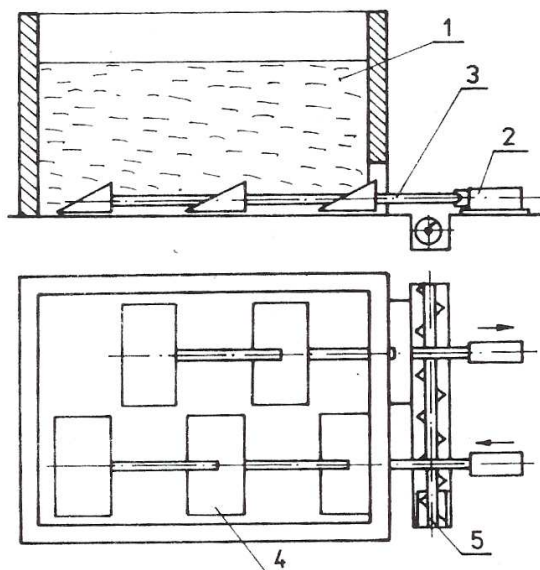
Uspořádání vyhrnovací frézy



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

Hydraulické vyhrnovací skládky

Pracovní princip a celkové uspořádání je patrné z následujícího obrázku.

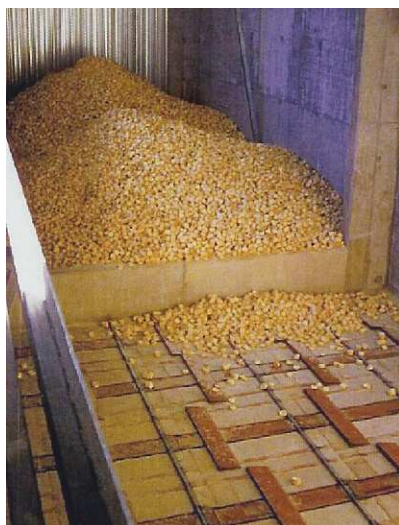


1 – vrstva skladovaného paliva, 2 – hydraulický válec, 3 - vyhrnovací tyč, 4 - vyhrnovací hrablo, 5 – návazný šnekový nebo pásový dopravník.

U těchto vyhrnovacích zařízení se po dně sila nebo skládky posouvají vratným přímočarým pohybem vyhrnovací tyče, opatřené vyhrnovacími hrably, které dopravují palivo k výstupnímu otvoru.

Skutečné provedení hydraulického vyhrnování je patrné z následujících obrázků.

Reálné provedení hydraulického vyhrnování



Pohled na upevnění hydraulických válců



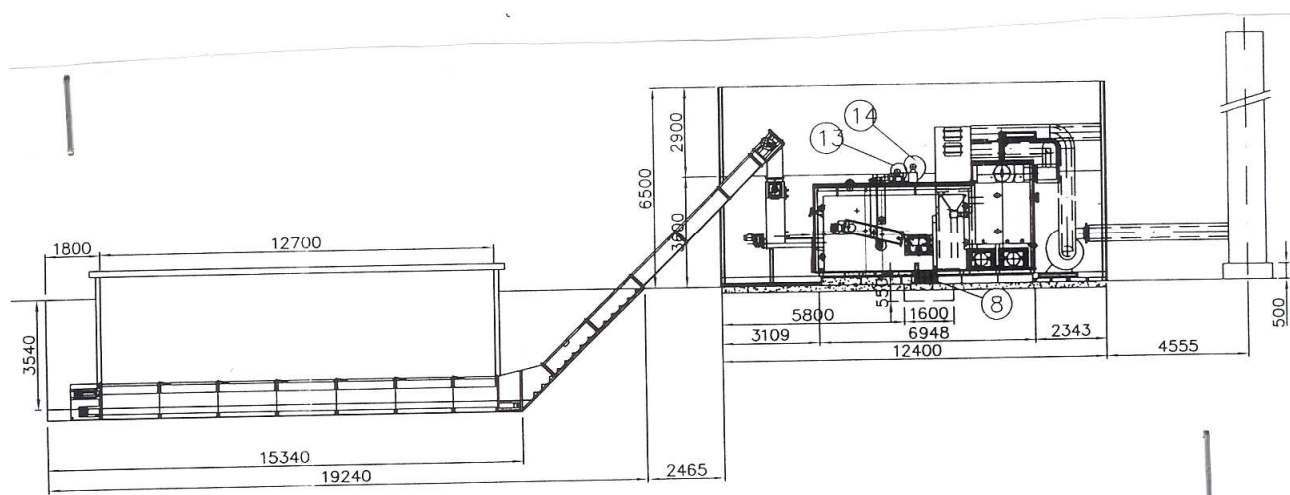
Podzemní zásobník paliva s hydraulicky uzavíratelnými poklopy



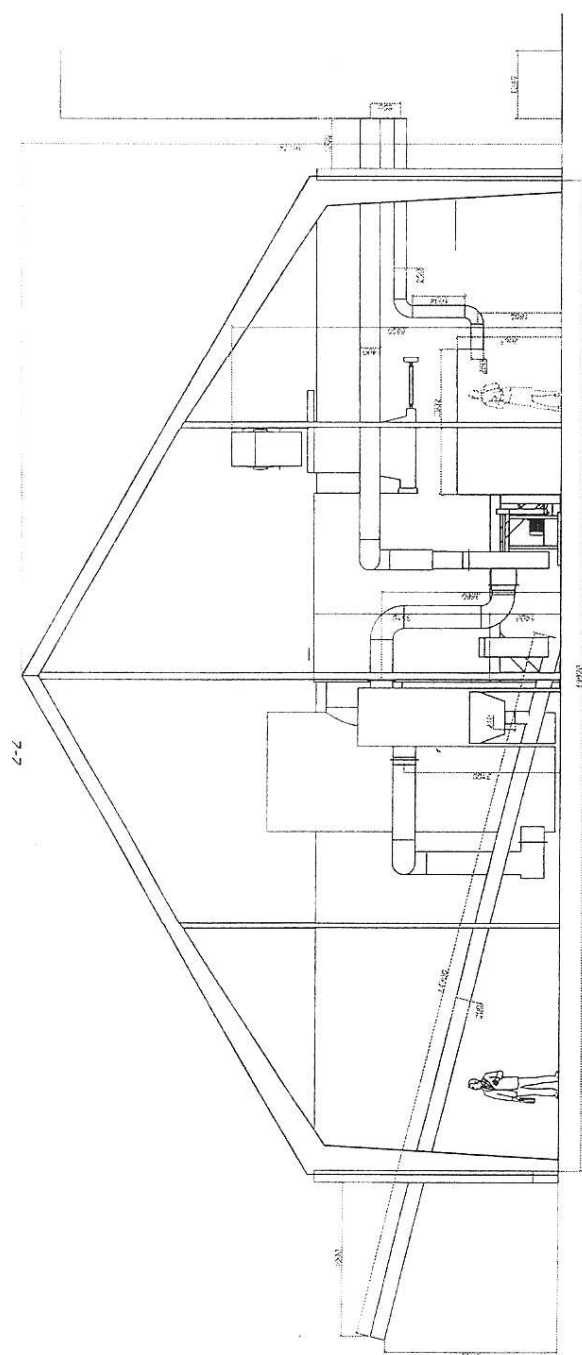
Návazný transport paliva do kotle



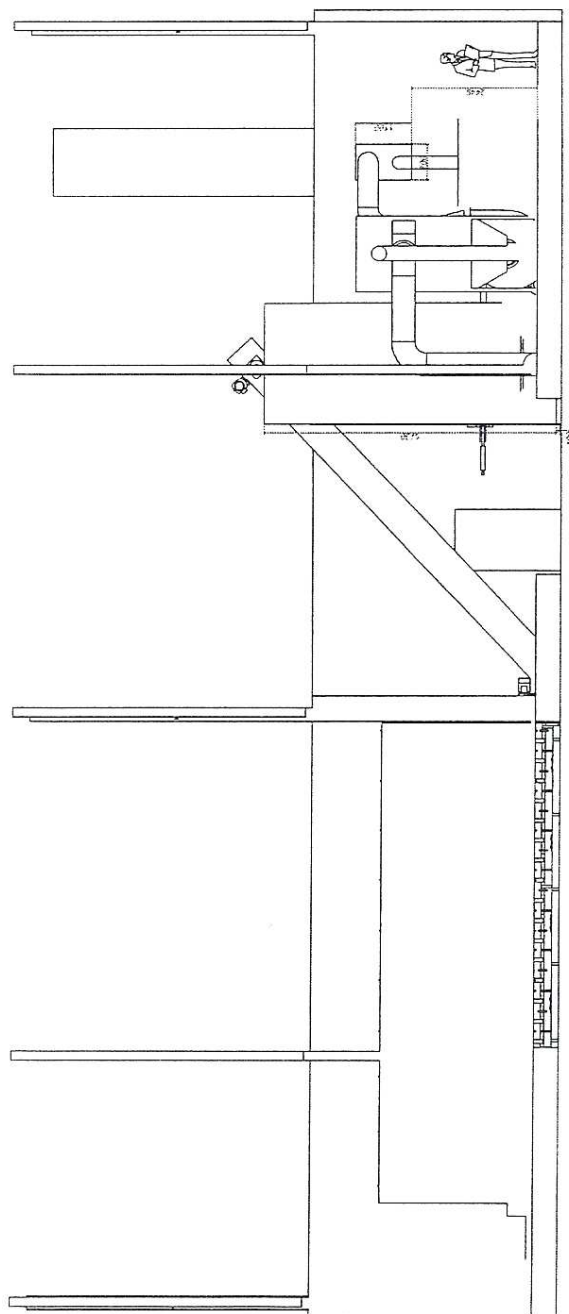
Dispoziční uspořádání od zásobníku paliva po kotel o výkonu 2 MW



Výškové uspořádání kotelny 2 MW



1-1

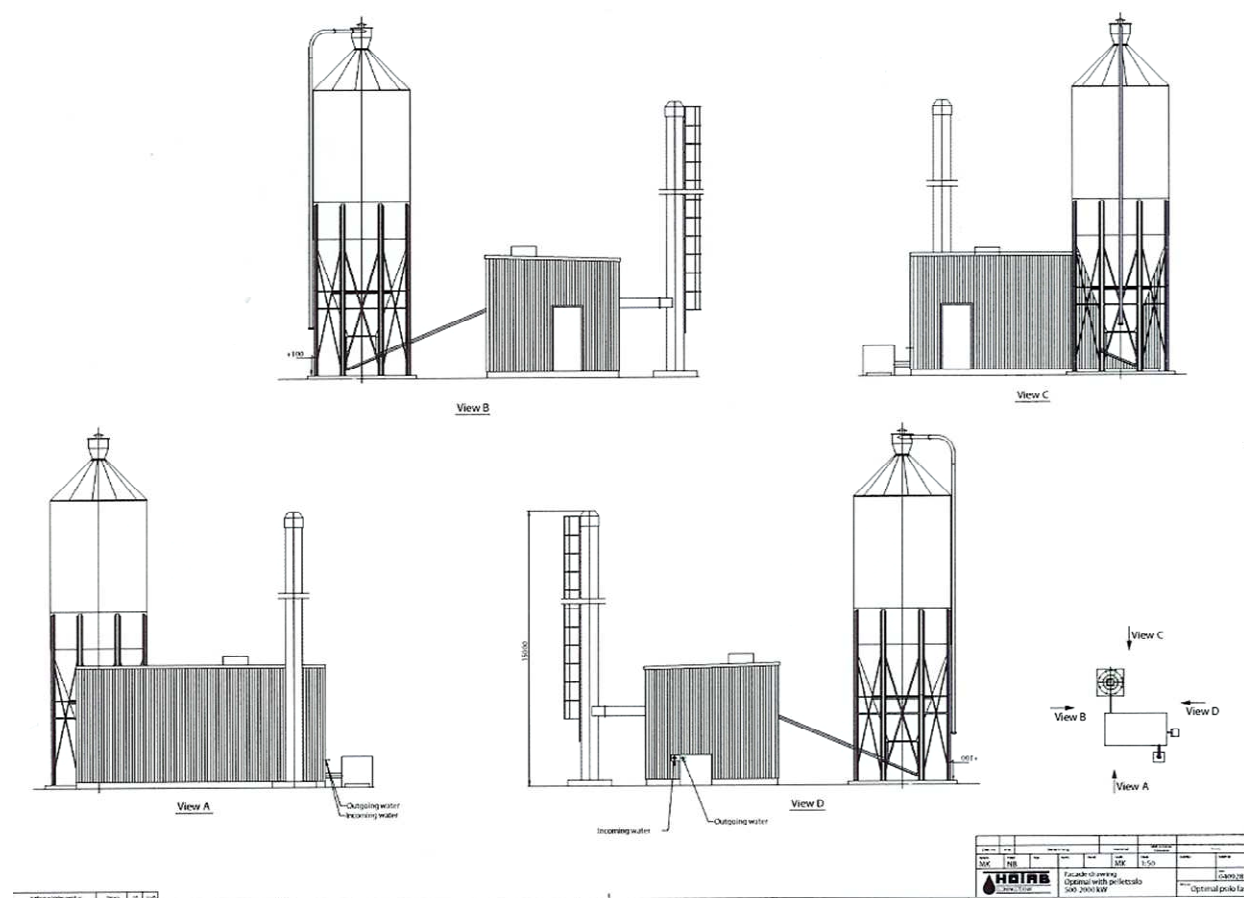


Hydraulická vyhrnovací zařízení splňují v nejširší míře veškeré požadavky, kladené na vyhrnování a osvědčila se pro všechny druhy dřevní hmoty. Princip dopravy spočívá v tom, že při pracovním pohybu vyhrnuje klínové hrablo čelní stranou materiál k vyhrnovacímu otvoru. Při zpětném pohybu hrabla klín skladovanou vrstvu podjíždí a zároveň narušuje případně vznikající klenby.

Vyhrnovací tyče jsou poháněny hydraulickými válci, čímž je možno zaručit dostatečnou vyhrnovací sílu i v případě, kdy dřevní hmota vzhledem k vysokému obsahu vody, v zimních měsících namrzá. Vhodným zapojením hydraulického rozvodu je možno docílit širokého rozmezí plynulé regulace vyhrnovaného množství paliva.

Vlastní provedení hydraulické skládky může být v provedení podzemním nebo nadzemním. Podzemní provedení lze snadněji plnit sklopením nákladu z dopravního prostředku. Vyhrnované palivo ze zásobníku je však nutno dalším dopravníkem vynášet na vyšší kótu dle dispozice kotle.

Ukázka použití kruhového sila u kotelný



Transport paliva do kotelny

Po vyhrnutí paliva ze sila nebo zásobníku se ve většině případů používá k dalšímu transportu paliva do kotelny následující řešení :

- ♦ pásové dopravníky
- ♦ redlerové dopravníky
- ♦ šnekové dopravníky
- ♦ pneumatická doprava.

Při volbě způsobu dopravy budou rozhodovat především dopravní vzdálenosti, dále pak možnost uspořádání transportních cest a druh dopravovaného biopaliva.

Při návrhu transportních cest paliva od zásobníku do spalovací komory kotle je nutno mít na zřeteli :

- ♦ blokování přívodu paliva při výpadku některého článku dopravní cesty
- ♦ protipožární zajištění , zabráňující možnému prohoření paliva směrem od spalovací komory kotle do zásobníku paliva.

Blokovací zařízení má zabránit ucpání dopravní cesty při poruše některé jeho části. Například při poruše šnekového dopravníku, který podsuvně přivádí palivo do spalovací komory, je nutno automaticky vypnout všechna dopravní zařízení směrem k zásobníku a to včetně vyhrnovacího zařízení. Vlastní provedení závisí pouze na vhodném propojení elektrické instalace.

Protipožární zajištění dopravní cesty paliva závisí na způsobu dopravy paliva do spalovací komory. Při použití pneumatické dopravy je možno do přívodního potrubí umístit v blízkosti kotle zpětnou klapku, která při vypnutí transportního vzduchového ventilátoru dopravní cestu automaticky uzavře. Při podsuvném přívodu paliva do kotle pomocí šnekového dopravníku je možno šnekový dopravník propojit potrubím s vodní zásobní nádrží. V horní části dopravníku je potrubí uzavřeno tavnou pojistkou, která se při dosažení nepřijatelné teploty roztaví a šnek se zaplaví vodou z nádrže. Rovněž se v praxi užívá rotačních turniketů, které mechanicky přehrazují dopravní cestu paliva.

10.2 Skládka paliva balíkové slámy

U balíkové slámy je řešena skládka balíků jejich narovnáním na vodorovném dopravníku, tak jak bylo patrné u ukázky rozdružovacího zařízení. Například u kotelny Roštín o výkonu kotle 4 MW je délka tohoto dopravníku cca 30 m. Dopravník postupně dopravuje balíky slámy do záběru rozdružovacího zařízení rychlostí posuvu, která odpovídá požadovanému tepelnému výkonu kotle. Balíky slámy, které je možno skladovat podél vodorovného dopravníku se tento dopravním nakládají například jeřábovou drážkou.

11. Porovnání emisí při spalování biomasy a běžných fosilních paliv

Pro možnost vzájemného porovnání emisí škodlivých látek odcházejících do ovzduší jsou hodnoty emisí vypočteny na základě emisních faktorů dle sbírky zákonů č. 352 / 2002 Sb.

Při výpočtu byly použity hodnoty pro tepelný výkon centrální kotelny na biomasu 10 MW. Pro porovnání bylo použito následující složení paliv, které je uvedeno v tabulce. Hodnoty emisí jsou stanoveny pro palivo vstupující do kotle.

Tabulka – Hodnoty použité pro výpočet emisí dle emisních faktorů.

palivo	hnědé uhlí	černé uhlí	dřevní hmota
výhřevnost MJ/kg	17,6	23,07	17,0
C %	47,6	62,4	45,9
S %	0,8	0,6	0,01
A %	9,8	13,5	1,0

Pro hodnoty uvedené v tabulce pak vychází výpočtem dle emisních faktorů následující emise škodlivých látek – viz další tabulka.

Tabulka – Emise škodlivých látek vypočtené dle emisních faktorů.

emise	hnědé uhlí		černé uhlí		dřevní hmota	
	kg / t	kg/ GJ	kg / t	kg / GJ	kg / t	kg / GJ
tuhé látky	18,62	1,06	23,0	0,99	15,0	0,88
SO ₂	15,2	0,86	11,4	0,49	1,5	0,09
NO _x (NO ₂)	3,0	0,17	7,5	0,32	3,0	0,17
CO	1,0	0,06	1,0	0,04	1,0	0,06
org.látky	0,43	0,02	0,43	0,02	0,89	0,05
CO ₂	1720	97,7	2284	99,0	0,0	0,0

Emise CO₂ je při spalování biomasy neutrální, proto se jedná o nulovou emisi.

Z uvedené tabulky je patrné, že dřevní hmota má nejnižší hodnoty emisí v kg/GJ z porovnávaných paliv u škodlivin : tuhé látky, SO₂ , CO₂ .Hodnoty jsou vyšší u organických látek a CO oproti černému uhlí.

Platné emisní limity pro spalování biomasy

Legislativní požadavky jsou uvedeny v Nařízení vlády č. 352 / 2002 Sb. Stanovují se emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.

Tabulka – Emisní limity pro spalovací zařízení spalující dřevo ⁽¹⁾ nebo biomasu

Jmenovitý tepelný výkon zdroje MW	Emisní limity v mg/m ³ spalin za normálních podmínek a suchý plyn					Referenční obsah kyslíku %
	Tuhé látky	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Org.látky jako suma uhlíku	
0,2 – 50	250	2500	650	650	50 ⁽²⁾	11

Odkazy : (1) rovněž tak nekontaminovaný dřevní odpad, kůru a podobné rostlinné látky

(2) emisní limit platí pro tepelný výkon nad 1 MW

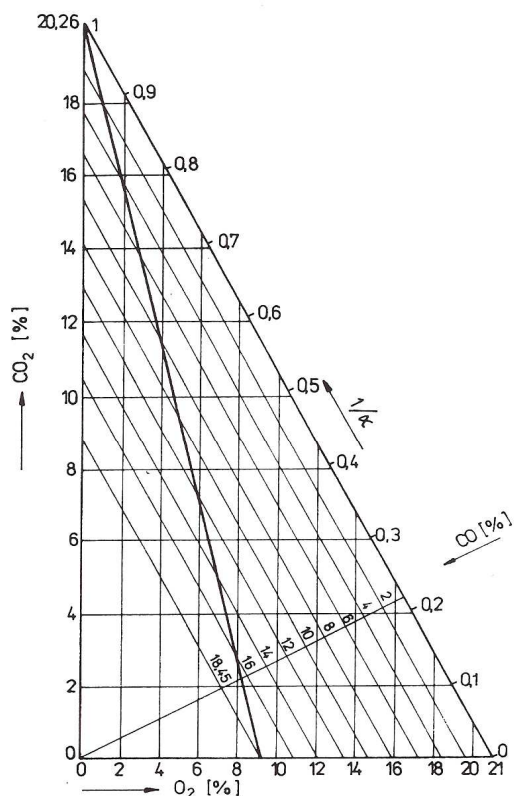
Z uvedených podkladů je patrné, že pro spalování slámy není žádná samostatná legislativní úprava, která by emisní limity upravovala.

Z výsledků měření emisí , která byla prováděna na kotlích spalujících biomasu jsou skutečné naměřené hodnoty emisí podstatně nižší, než vychází výpočtem dle uvedených emisních faktorů.

Moderní kotle jsou již běžně vybaveny kyslíkovou sondou (lambda sondou) , která měří obsah kyslíku ve spalínách. Na základě naměřené hodnoty pak automatická regulace kotle řídí spalovací proces.

Pro možnost provádění kontroly spalování je dále uveden Ostwaldův spalovací trojúhelník pro spalování dřevní hmoty. Z tohoto trojúhelníku lze na základě dvou naměřených veličin další dvě odečíst. Například při zjištění hodnoty koncentrace O_2 , CO_2 lze pomocí trojúhelníku stanovit koncentraci CO ve spalínách a součinitel přebytku spalovacího vzduchu α .

Ostwaldův spalovací trojúhelník pro kontrolu při spalování dřevní hmoty.



Obr. 7.2.16 Kontrolní Ostwaldův spalovací trojúhelník pro spalování dřevních odpadů

12. Přehled hlavních dodavatelů kotlů na biomasu a seznam vybraných instalací centrálních kotelen

Přehled hlavních dodavatelů

- 1) ATMOS Jaroslav Cankař a syn
Velenského 487
294 21 Bělá pod Bezdězem
Tel. 326 701 404
- 2) BIOPAL Technologie s.r.o.
Zátiší 3249
738 01 Frýdek – Místek
Tel. 558 437 353
- 3) Clauhan s.r.o.
Štefánkova 5
602 00 Brno
Tel. 541 214 092
- 4) DOTEK Energo INT. S.r.o.
Havlíčková 260
280 00 Kolín
Tel. 321 770 282
- 5) Libor Dlouhý – Dlouhý I.T.A.
Jinonická 805 / 57
150 00 Praha 5
Tel. 257 210 437
- 6) PolyComp a.s.
Kluk 22
290 01 Poděbrady
Tel. 325 604 500
- 7) SCHIESTL s.r.o.
K zámecké oboře 334
252 41 Dolní Břežany
Tel. 606 693 123
- 8) Step Trutnov a.s.
Horská 289
541 02 Trutnov 4
Tel. 499 811 892
- 9) TTS eko s.r.o.
Průmyslová 163
674 01 Třebíč
Tel. 568 837 611

10) Verner a.s.
Sokolská 321
549 41 Červený Kostelec
Tel. 491 465 024

11) Vyncke as.r.o.
Ul. Míru 3267
738 01 Frýdek – Místek
Tel. 558 441 951

Přehled vybraných instalací centrálních kotelen na biomasu

- 1) Nová Pec
- 2) Roštín
- 3) Žlutice
- 4) Hartmanice
- 5) Trhové Sviny
- 6) Dešná
- 7) Velký Karlov

13. Dotace na podporu pěstování a užití biomasy

Dotace, respektive další podpory jsou záměrně rozděleny do úseku pěstování a užití biomasy. Celý proces od pěstování až po užití biomasy jako prioritní, je systémově preferován (na začátku dotacemi, na konci výkupními cenami el. energie vyrobené z biomasy).

Pěstování biomasy

Důležitou změnou v legislativě dotýkající se pěstování energetické biomasy je zrušení povinnosti dočasného vynětí půdy pro pěstování RRD k energetickým účelům ze zemědělského půdního fondu (ZPF). Tato změna platí od 1.3.2007. Ke zrušení této povinnosti došlo v rámci novely vyhlášky Katastrálního úřadu č. 26/ 2007 Sb., kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb. a zákon č. 344/1992 Sb. V této nové vyhlášce je vytvořena nová kategorie využití pozemků „plantáž dřevin“ pro pěstování energetických dřevin, vánočních stromků, lignikultur aj.

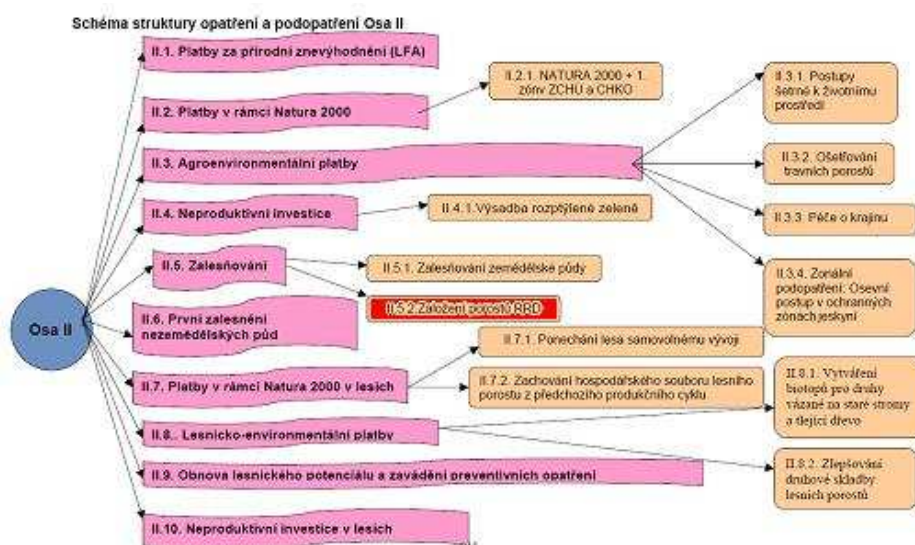
Dotace z fondu EAFRD (Evropský zemědělský fond pro rozvoj venkova) na období 2007-2013 (nařízení vlády č. 80 ze dne 11.4.2007, o stanovení některých podmínek poskytování platby na pěstování energetických plodin je uvedeno v příloze).

Výše podpory (každoroční dotace) 45€/ rok na 1 ha.

Uvedená suma stanovená v eurech se přepočítává dle aktuálního směnného kurzu. V současné době tato suma odpovídá částce cca 1300 Kč/ ha.

Podpora při založení porostů RRD pro energetické účely na zemědělské půdě.

Tato podpora je poskytována rovněž z fondu EAFRD program Osa II (dodatečně přerazeno do Osa II.1.1.)



Výše podpory

Podpora má charakter sazby na technickou jednotku. Příspěvek na založení činí maximálně 70% přijatelných nákladů - respektive 80% v LFA (méně příznivé oblasti).

Sazba	Produkční porost	Reprodukční porost
70% přijatelných výdajů	76 000 Kč/ ha	87 000 Kč/ ha
80% přijatelných výdajů	86 000 Kč/ ha	98 500 Kč/ ha

Poznámka:

Informace při postupu při uplatňování podpor pro pěstování energetických plodin. Forma žádosti a potřebné dokumenty jsou komplexně shrnuty v materiálu MŽP, který je v příloze této studie.

Užití biomasy

Užití biomasy pro energetické účely je podporováno na základě „Státního programu na podporu úspor energie a využívání OZE“.

Tento program má dvě části:

Část A - Garantem je MPO a administrátorem ČEA (Česká energetická agentura)

Česká energetická agentura

ul. Vinohradská 8

120 00 Praha 2

tel.: 257 099 011; fax: 257 530 478

e-mail: st.program@ceacr.cz

www.ceacr.cz



Část B - Garantem je MŽP a administrátorem SFŽP (Státní fond životního prostředí)

Státní fond životního prostředí

Kaplanova 1931/1

148 00 Praha 11

Tel.: 267 994 300 - 367, fax: 279 236 597

www.sfzp.cz

e-mail: kancelar@sfzp.cz



Část A - Program EFEKT

C. 2 Energetický zdroj využívající biomasu a bioplyn podpora pro podnikatele do výše 40% uznatelných nákladů maximálně 2 mil. Kč.

H. 4 Pilotní projekty v oblasti úspor energie a OZE pro podnikatele a školy - podpora do výše 80% uznatelných nákladů - maximálně 2,8 mil. Kč.

Část B - SFŽP

1.A Investiční podpora environmentálně šetrných způsobů vytápění a ohřevu TV pro byty a rodinné domy pro fyzické osoby, včetně ekologické výroby elektřiny pro vlastní spotřebu:

a) kotle na biomasu, b) solární systémy na teplou vodu,

c) solární systémy na přitápění a teplou vodu, d) systémy pro výrobu elektřiny

Dotace do 80% uznatelných nákladů, maximálně 50 tis. Kč

3. A Investiční podpora environmentálně šetrných způsobů vytápění a ohřevu teplé vody ve školství, zdravotnictví, a objektech sociální péče a objektech krajské a místní samosprávy. Podpora je určena pro podnikatele a veřejnou správu. Výše podpory do 90% maximálně 70 tis. Kč (pro podnikatele 40% max. 40 tis. Kč).

Podpora je určena pro veřejnou správu a podnikatele. Výše: podpora do 70% nákladů - maximálně 40 tis. Kč pro veřejnou správu a do 50% nákladů max. 25 tis. Kč pro podnikatele.

Podpora formou půjčky

7. A Investiční podpora výstavby zařízení pro společnou výrobu elektrické energie a tepla (KVET) z biomasy a z bioplynu. Veřejná správa: výše půjčky 70% úrok z úvěru 0,5% doba splatnosti 10 roků odklad splátky 2 roky.

Podnikatelé - výše půjčky 25%, úrok 2,0%, doba splatnosti 8 roků, odklad splátky 2 roky.

Forma preference výkupních cen z energetických zdrojů spalujících biomasu.

Tuto problematiku řeší zákon č. 180/ 2005 Sb. „O podpoře výroby elektřiny z OZE“. Zákon preferuje výkupní ceny elektřiny vyrobené z OZE a dodávané do rozvodné sítě. Aktuální výkupní ceny jsou dány „Cenovým rozhodnutím“ ERÚ (Energetický regulační úřad)

č. 8/2006. Cenový výměr stanovuje výkupní ceny pro zařízení uvedená do provozu v minulosti a pro zařízení nová, uvedená do provozu po 1.1.2006.

Pro nová zařízení (provoz od 1.1.2006) jsou výkupní ceny stanoveny následovně (ceny bez DPH).

Zařízení	Výkupní cena [Kč/ MWh]
MVE (malé vodní elektrárny)	2390
Biomasa (rozsah cen dle kategorie využívané biomasy)	3375 – 2340
Skládkový plyn	2270
Kalový plyn	2270
Bioplyn	3040
Důlní plyn (degazační)	2270
VE (větrné elektrárny)	2460
Geotermální energie	4500
Solární energie	13460

Dále jsou preferovány výkupní ceny elektřiny vyrobené zařízeními KVET (kombinované výroby elektřiny a tepla), se speciální podporou provozu KVET při využití OZE.

Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy

Kategorie spalování a druh biomasy	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1	3375	2255
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2	2890	1770
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3	2340	1220
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S1 a fosilních paliv	-	1275
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S2 a fosilních paliv	-	790
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S3 a fosilních paliv	-	240
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P1 a fosilních paliv	-	1530
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P2 a fosilních paliv	-	1045
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P3 a fosilních paliv	-	495

14. Závěry a doporučení k řešení centrálních kotelen na biomasu

S ohledem na stávající stav techniky v oblasti energetického využití biomasy je bez problémů, aby dodavatel zařízení dodržoval :

- ♦ jmenovité výkonové parametry kotlů a souvisejících technologických částí
- ♦ plnění platných emisních limitů
- ♦ termíny servisních prohlídek a oprav atd.

Na provozovateli centrálního zdroje pak spočívá, aby zajistil dostatečnou palivovou základnu biomasy pro krytí její spotřeby. Tento požadavek již nezajistí dodavatel zařízení a přitom se jedná o zásadní problém. Je nutno si uvědomit, že i ten nejlepší kotel nelze provozovat bez paliva.

Z tohoto důvodu se předkládaná publikace podrobněji zabývala právě touto problematikou s ohledem na její význam. Na základě uváděných hodnot výtěžnosti RRD, slámy, dřevní hmoty z údržby krajiny a dřevního odpadu vznikajícího při zpracování dřeva na pilách je pak možno stanovit v dané lokalitě tepelného zdroje zda bude docíleno zajištění potřebného množství biomasy. V případě, že bude nutno biomasu ještě dovážet z okolí tepelného zdroje je věnována pozornost i limitní dopravní vzdálenosti pro svoz paliva.

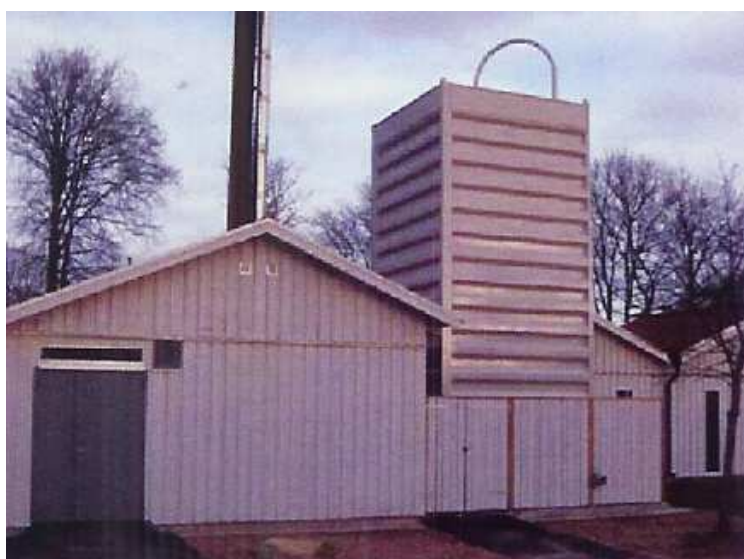
Již při zpracování návrhu projektu je nutno zodpovědně určit maximální tepelný výkon zdroje a uvažovat i s možností realizace :

- ♦ akumulčních zásobníků tepla
- ♦ případného doplnění zdroje o kogenerační jednotku, která bude využívat biomasu.

Energetické využívání biomasy je v současné době prozatím jediným řešením (mimo výzkumná a laboratorní zařízení) , které v praxi snižuje emise CO₂ .

Pro ilustraci je na následujících obrázcích uvedena ukázka jak jsou v zahraničí řešeny tyto centrální kotelny po stránce stavební architektury.

Obrázky - Ukázky řešení centrálních kotelen po stránce stavební architektury



15. Seznam použité literatury

- 1) ACTA PRUHONICIANA, 2006
Kamila Havlíčková, Jan Weger
VÚ Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví Průhonice
- 2) Využití a likvidace odpadů
Trnobranský, Dvořák
skripta ČVUT Praha, fakulta strojní, 1990
- 3) Sborník ze semináře Obnovitelné zdroje v energetice sídel
Vzdělávací agentura Z KLUB, 2007
- 4) Biomasa – obnovitelný zdroj energie v krajině
Jan Weger , Kamila Havlíčková a kol.
Průhonice 2003
- 5) Firemní prospekty společností, které se zabývají energetickým
využitím biomasy
- 6) Legislativní požadavky přípustných emisí při spalování dřevní hmoty a
biomasy
- 7) Tepelné výpočty kotlů a parních generátorů
Břetislav Janeba, Jan Karták
skripta ČVUT Praha, fakulta strojní, 1985