



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KOTLE NA BIOMASU BIOMASS BOILERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RICHARD JELEN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK BALÁŠ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Richard Jelen

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kotle na biomasu

v anglickém jazyce:

Biomass boilers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce si klade za cíl zmapování trhu s kotli na biomasu středních výkonů a porovnání vybraných typů.

Cíle bakalářské práce:

- 1/ zmapování možností energetického využití biomasy - vlastnosti, potenciál
- 2/ průzkum trhu kotlů na biomasu v ČR ve výkonech 100-500 kW
- 3/ porovnávací výpočet

Seznam odborné literatury:

Jandačka, J., Malcho, M., Mikulík, M.: Technologie pro využití biomasy, Žilina 2007, ISBN 978-80-969161-3-9

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Baláš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 27.10.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá kotli na biomasu. První část je věnována samotné biomase, jejímu rozdělení, vlastnostem a potenciálu. Druhá část popisuje proces spalování, dělení a konstrukci kotlů na biomasu. Poslední část této práce porovnává vybrané kotle na biomasu z hlediska pořizovacích a následujících nákladů.

KLÍČOVÁ SLOVA

biomasa, kotle na biomasu, spalování biomasy, potenciál biomasy, vlastnosti biomasy

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with biomass boilers. The first part is dedicated to biomass, its distribution, characteristics and potential. The second part describes a combustion process, construction and severance of biomass boilers. The last part of this thesis compares the selected biomass boilers from an economic perspective.

KEYWORDS

biomass, biomass boilers, biomass combustion, biomass potential, biomass characteristics

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JELEN, R. *Kotle na biomasu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Marka Baláše, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne 17.5.2011

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a podporu při vypracovávání této bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1. BIOMASA	10
1.1. Biomasa a její rozdělení	10
1.2. Energetické plodiny	11
1.2.1. Energetické byliny (stébelniny)	13
1.2.2. Rychle rostoucí dřeviny	15
1.3. Charakteristické vlastnosti biomasy	16
1.3.1. Vlhkost (obsah vody)	17
1.3.2. Výhřevnost	18
1.3.3. Chemické složení hořlavin	19
1.3.4. Obsah popelovin	20
1.4. Výhody a nevýhody biomasy	21
1.5. Potenciál biomasy	22
2. SPALOVÁNÍ BIOMASY	24
2.1. Rozdělení spalovacích zařízení	24
2.2. Kotle středních výkonů o 100 až 500 kW	24
2.2.1. Spodní přívod paliva	25
2.2.2. Posuvné rošty	25
2.2.3. Pásové a řetězové rošty	26
2.3. Úprava biomasy jako palivo pro kotle	27
2.3.1. Dřevní štěpka	27
2.3.2. Pelety	28
2.3.3. Dřevní brikety	29
3. POROVNÁNÍ VYBRANÝCH KOTLŮ	30
3.1. Přehled kotlů v ČR	30
3.1.1. Kotle Verner: GOLEM 225 a GOLEM 350	30
3.1.2. Kotel Step Trutnov: STEP - KS 350T	31
3.1.3. Kotel Step Trutnov: STEP - KB 350	32
3.1.4. Kotle Herz: BIOMATIC BIOCONTROL	33
3.1.5. Kotel Hamont: CATfire 250	35
3.2. Porovnávací výpočet	36
3.2.1. Kotel VERNER GOLEM 225 na dřevní štěpku	36
3.2.2. Kotel VERNER GOLEM 350 na pelety	37
3.2.3. Kotel STEP - KS 350T na slámu	38
3.2.4. Kotel STEP - KB 350 na piliny a dřevní štěpku	38
3.3. Vyhodnocení	39
ZÁVĚR	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	45

ÚVOD

Již před miliony let se z obrovského množství odumřelé biomasy (rostlin a těl živočichů), za nepřístupu vzduchu, vytvářela nerostná surovina tzv. fosilní paliva. V nichž jsou uloženy nezměrné zásoby energie, které se lidé naučili využívat poměrně nedávno. Do té doby bylo nejrozšířenějším palivem dřevo, které svými nedostatky a rychlým technickým pokrokem, nestačilo uspokojit stále náročnější požadavky vzrůstajícího počtu obyvatel a jejich rostoucími životními nároky.

Fosilní paliva jako uhlí, ropa a zemní plyn, patří do skupiny neobnovitelných zdrojů energie. Tyto neobnovitelné zdroje energie představují určitou zásobu, ložisko, které má konečnou velikost. V současné době tyto zdroje nevznikají, nebo je jejich vznik mnohem pomalejší než jejich těžba. To znamená, že pokud budeme stále zvyšovat jejich využití, tak ve velmi krátké době (oproti jejich vzniku) tyto zásoby nenávratně vyčerpáme.

V současnosti se snažíme od fosilních paliv ustupovat, a nahradit je obnovitelnými zdroji, které jsou méně ekologicky škodlivé vůči přírodě, a jejich zásoby jsou rovnoměrně rozloženy. Obnovitelné zdroje přijímáme ve formě: sluneční energie, biomasy, energie větru, energie vody a vln, a tepelné geotermální energie. Z lidského hlediska budou jejich zásoby stálé, není možné je vyčerpat, protože převážně vznikají energetickými přeměnami ze slunečního záření a dále se zase přeměňují.

Tato práce je zaměřena na biomasu, jako na jeden ze zástupců obnovitelných zdrojů energie. Obsahuje základní informace o biomase, dále jsou zde nastíněny způsoby spalování biomasy, stručný přehled kotlů o výkonech v rozmezí 100-500 kW. V závěru své práce se věnuji ekonomice a porovnávacímu výpočtu vybraných kotlů.

1. BIOMASA

Aktuálním tématem celosvětové úrovně je hledání alternativních zdrojů energie, které v poslední době vyvolaly neobvykle intenzivní, vášnivé a často kontroverzní diskuze. A takové diskuze jsou oprávněné a velmi žádoucí. Jednou z alternativ, která je schopna z části nahradit energii fosilních paliv, je biomasa. Z obnovitelných zdrojů energie je to právě biomasa, která má v sobě skrytý obrovský energetický potenciál. Potravinářský útlum produkce potravin zapříčinil nadbytek zemědělské půdy, které je možné využít k pěstování energetických plodin, jako jsou rychle rostoucí dřeviny atd. Pro pěstování energetických plodin se nabízí využít i oblasti s nadlimitně kontaminovanou půdou v těžebních oblastech nebo půdu s vysokým množstvím emisí, či hustou silniční sítí. [1, 4]

	tis. ha	%
výměra zemědělské půdy	4280	100
převod do jiných kategorií	80	2
výměra marginálních oblastí	1000	23
půda s produkcí potravin pro spotřebu v ČR	2700	63
„nadbytečná“ zemědělská půda	500	12

Tabulka 1.1: Předpokládaná struktura zemědělské půdy [5]

1.1. Biomasa a její rozdělení

Biomasa je definována jako biologický materiál rostlinného nebo živočišného původu. Podle typu organismu se dělí na: fytomasu (z rostlin), dendromasu (z dřevin) a zoomasu (ze živočichů). Je výsledkem výrobní činnosti (pěstování rostlin a chov živočichů) nebo ji získáváme jako odpad ze zemědělské, potravinářské a rozsáhlé lesní produkce, průmyslové činnosti, komunálního hospodářství a údržby krajiny. [1, 5]

Zdroje biomasy využitelné pro energetické účely lze rozdělit na dvě základní skupiny:

Záměrně pěstovaná biomasa

Nejčastěji se k pěstování používá půda, která není vhodná k zemědělské výrobě; např. půdu po těžební činnosti lze využít k pěstování energetických rostlin:

- pro výrobu etylalkoholu: cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina
- pro výrobu olejů a metylesterů: olejniny (řepka olejná, slunečnice, len)
- energetické dřeviny: rychle rostoucí dřeviny, křoviny a stromy (vrba, topol, olše, akát, platan, líska, pajasan, atd..)
- energetické stébelniny: nedřevnaté rychle rostoucí byliny (řepka, konopí, šťovík, seno, pšenice, atd..)

Odpadní biomasa

Je to biomasa, která byla nejdříve využita k jiným účelům než je výroba energie. Jde o odpady použité v mnoha různých odvětví zpracovávající biomasu, tvořenou zpravidla dřevem:

- rostlinné zbytky a odpady ze zemědělské výroby: obilná a řepková sláma, zbytky po likvidaci křovin, odpady ze sadů
- odpady z živočišné výroby: exkrementy hospodářských zvířat (hnůj, kejda), zbytky krmiv
- odpady z lesní těžby: kůra, větve, pařezy, kořeny
- komunální organické odpady: kaly z odpadních vod, organický komunální odpad, zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch, odpadky z jatek a mlékáren
- odpady z dřevozpracujícího průmyslu: kůry, odřezky, piliny, hobliny

Podle obsahu vody můžeme biomasu rozdělit na dvě části:

a) suchá

- s vlhkostí do 50 %
- lze ji spalovat přímo, nebo po mírném vysušení (dřevo, dřevní odpady, obilní sláma, odpady a jiné energetické plodiny)

b) mokrá

- s vlhkostí nad 50 %
- využívá se v bioplynových technologiích k výrobě bioplynu (tekuté odpady, kejda, hnůj)

1.2. Energetické plodiny

Tímto výrazem bývají označovány rostliny, které se výhradně pěstují k energetickým účelům. Mohou být využity k výrobě elektrické energie, tepla a nebo mohou sloužit k výrobě pohonných hmot. V České republice se některé druhy energetických rostlin pěstují už řadu let. [8]

Velmi často bývají označovány za něco nežádoucího (plevel), přitom jejich potenciál, který je ze všech obnovitelných zdrojů nejvyšší, není plně využit, tzn. cíleným pěstováním energetických rostlin je zajištěna necelá polovina (47,1 %) výroby energie z biomasy (Tab. 1.2). [8]

druh biomasy	energie celkem		z toho teplo	elektřina
	v %	PJ	PJ	GWh
dřevo a dřevní odpad	24	33,1	25,2	427
sláma obilnin a olejnin	11,7	15,7	11,9	224
energetické rostliny	47,1	63	47,7	945
bioplyn	16,3	21,8	15,6	535
celkem	100	133,6	100,4	2231

Tabulka 1.2: Možnosti zdrojů biomasy v ČR z obnovitelných zdrojů energie do r. 2010 [8]

K pěstování energetických plodin je možné využít neperspektivní zemědělskou půdu a další oblasti, které nelze použít pro potravinářskou výrobu. Z níže uvedeného přehledu je patrné, že k pěstování nepotravinářských plodin je možné využít téměř milion ha orné půdy, luk a pastvin. [10]

Zemědělská půda potřebná pro výrobu potravin	
Orná půda	2626 tis. ha
Louky a pastviny	422 tis. ha
Kultury na zemědělské půdě	75 tis. ha
Zemědělská půda celkem	3 123 tis. ha
Volné plochy pro další využití	
Orná půda	465 tis. ha
Louky a pastviny	523 tis. ha

Tabulka 1.3: Zemědělská půda (z roku 2000) [8]

Ideální energetickou plodinou je taková rostlina, která by měla splňovat určitá kritéria [14]:

- rychlý růst
- vysoká výhřevnost a nízký obsah popela
- velký obsah sušiny (tzn. malé procento vody) v období sklizně
- vysoká odolnost proti nejrůznějším chorobám a škůdcům
- nízké nároky na složení půdy a klimatické podmínky (nenáročnost na vodu a živiny)
- biomasa určená ke sklizni, by měla být v nadzemní části (snižuje cenu a chrání půdu)
- nízké náklady na pěstování rostlin, zejména do zakládání porostů

Jednou z výhod pěstování energetických plodin je to, že vyžaduje stejnou péči na ošetřování a hnojení jako každá jiná pěstitelná rostlina. Naopak nevýhodou je jejich nízká objemová hmotnost, z čehož plyne potřeba velkých prostor na uskladnění. [12]

Energetické plodiny se dělí na rostliny [15, 22]:

- ligno-celulózní
 - dřeviny: vrba, topol, olše
 - obiloviny: žitovec
 - travní porosty: sloní tráva (ozdobnice čínská), chrastivec
 - ostatní rostliny: šťovík, konopí, křídlatka
- olejnaté: řepka olejka, slunečnice, len
- škrobnaté nebo cukernaté: brambory, cukrová řepa, kukuřice

V poslední době se po vzoru biopaliv přechází k dalšímu rozdělení, a to na energetické plodiny 1. a 2. generace. [13]

I. generace

- původně jsem patří potravinářské, krmné a technické zemědělské plodiny, které jsou surovinou k výrobě kapalných a plyných biopaliv
- řepka a palma olejná (řepkový a palmový olej), pšenice (ethanol), žitovec (výroba pelet), kukuřice (bioplyn, bioethanol)

II. generace

- surovinou pro výrobu biopaliv druhé generace je nepotravinářská biomasa (jako je lesní biomasa), zemědělský odpad a energetické rostliny
- do této kategorie patří rostliny ligno-celulózní, které mají transformační potenciál mnohem vyšší než první generace
- jsou to zejména rychle rostoucí dřeviny, vytrvalé trávy a byliny
- spolu s rozvojem nových technologií se dá očekávat jejich uplatnění až během následujících deseti let
- topoly, vrby, energetický šťovík, proso dvojřadé

V současné době se začalo pracovat na vývoji třetí generace, které je založena na výrobě biopaliv z řas. Momentálně již také probíhají vědecké výzkumy s geneticky upravenými bakteriemi jako základ čtvrté generace. [10]

Rozlišují se dvě základní skupiny energetických plodin: energetické byliny (stébelniny), rychle rostoucí dřeviny (RRD).

1.2.1. Energetické byliny (stébelniny)

Energetické byliny jsou rostliny s nedřevnatým stonkem. Nemají příliš vysoký plošný energetický zisk. Např. při sklizni 8 t/ha a výhřevnosti kolem 15-18 MJ/kg suché biomasy je jejich energetický výnos 150-200 TJ/ha. Naopak velkou výhodou je jejich skladovatelnost. Pokud srovnáme energetické byliny s dřevinami, tak byliny mají velmi často horší kvalitu pro spalování. Vzniká pak u bylin vyšší obsah popela s horšími chemickými vlastnostmi. Jako energetické byliny je využívána celá řada jednoletých a víceletých rostlin (viz. Tab. 1.4). [7, 11]

Druh rostliny		Výsev [kg/ha]	Výnos suché hmoty [t/ha]
Jednoleté až dvouleté			
laskavec	<i>Amaranthus</i>	1,2 - 1,7	8 - 10
konopí seté	<i>Cannabis sativa</i>	32 - 65	8,5 - 16
světlíce barvířská	<i>Carthamus tinctorius</i>	15 - 30	4 - 5
sléz přeslenitý (krmný)	<i>Malva verticillata</i>	5 - 8 (10)	8 - 12
hořčice sareptská	<i>Brasica juncea</i>	5 - 6	6 - 8
komonice bílá (jednoletá a dvouletá)	<i>Melilotus alba</i>	18- 25	12 - 15
pupalka dvouletá	<i>Oenothera biennis</i>	4 - 5	4 - 5
Víceleté a vytrvalé			
mužák prorostlý	<i>Silphium perfoliatum</i>	12 - 15	12 - 15
jestřabina východní	<i>Galega orientalis</i>	15 - 25	cca 10
slunečnice topinambur	<i>Helianthus tuberosus</i>	50 - 55 tis.	8 - 10
čičorka pestrá	<i>Coronilla varia</i>	25	9 - 10
šťovík krmný	<i>Rumex tianshanicus</i> x <i>Rumex patientia</i>	5 - 8	15 - 25
bělotrň kulatohlavý	<i>Echinops sphaerocephalus</i>	18 - 22	14 - 16
Energetické trávy			
sveřep bezbranný	<i>Bromus inermis</i>	20 - 35	12 - 15
sveřep horský (samužníkovitý)	<i>Bromus cartharticus</i>	20 - 35	10 - 15
psineček veliký	<i>Agrostis gigantea</i>	10 - 12	7 - 8
kostřava rákosovitá	<i>Festuca arundinacea</i>	15 - 16	8 - 14
ovsík vyvýšený	<i>Arrhenatherum elatius</i>	27 - 30	7 - 9
ozdobnice čínská (sloní tráva)	<i>Miscanthus sinensis</i>	10 - 20 tis. sazenic	15 - 25
lesknice (chrastice) rákosovitá	<i>Phalaris arundinacea</i>	8 - 10 (20 - 25)	9 - 10 (15)

Tabulka 1.4: Seznam vybraných energetických bylin [6,7]

V České republice má největší tradici řepka olejná, která je vhodná pro výrobu pohonných hmot.



Obrázek 1.1: Miscanthus - sloní tráva [40]

1.2.2. Rychle rostoucí dřeviny (RRD)

Při cíleném pěstování energetických dřevin se využívá uvolněná zemědělská půda, na které vznikají tzv. energetické lesy. Tyto lesy bývají často označovány za výmladkové plantáže. Jedná se relativně o nový způsob pěstování, kde se využívá schopnosti dřevin opětovně vyrůstat z ponechaných pařezů. Z pravidla bývá výsadba stromů organizována do rovných řad v pravidelných vzdálenostech, což umožňuje použít jednoduché technologie při výsadbě, ošetřování a sklizni. Dalšími způsoby je výsadba jako stromořadí, jednotlivé stromy či stromové pásy. [2, 10]

Základním důvodem proč zakládat energetické lesy oproti jiným porostům je kratší časový interval mezi výsadbou a těžbou dřeva. Asi po 5 až 7 letech od výsadby se předpokládá první sklizeň. Další sklizně následují v horizontu 3 až 5 let. Životnost energetické plantáže bývá odhadována na 20 až 30 let, v ideálních případech pak nejvýše 50 let. Z výše uvedených časových údajů tedy vyplývá, že obvyklý počet sklizní činí 5 až 7, nejvýše asi 15. V České republice se výnosy optimálně pohybují okolo 12 až 15 t/ha, ovšem po 15 až 20 letech výnosy výrazně klesají. Prodloužíme-li interval mezi sklizněmi, lze výnosnost starší plantáže částečně zvýšit, ale obvykle je ekonomicky výhodnější plantáž obnovit. [9, 10]

Energetická produkce rychle rostoucích lesů je u nás hlavním cílem jejich pěstování. Pro české podmínky jsou vhodné především topoly a vrby, dále pak olše, akáty, břízy či jasany. [11]

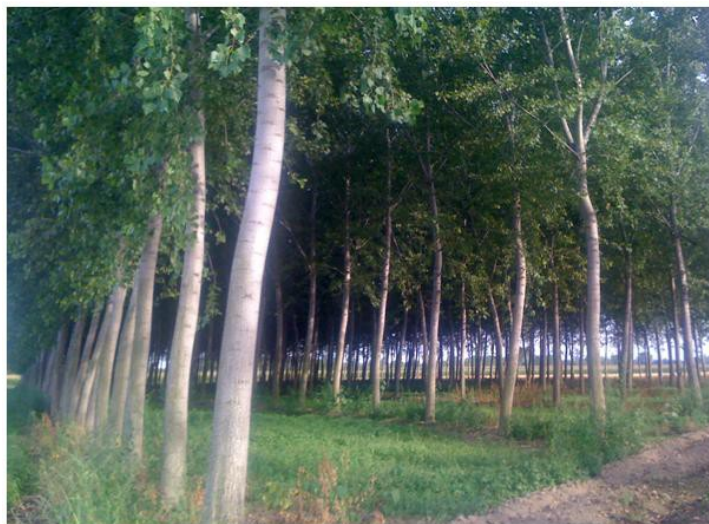
Druh dřeva	Výhřevnost [MJ/kg]	Výhřevnost [MJ/kg]	Třída tvrdosti dřeva
	(vlhkost 20 %)	(vlhkost 25 %)	
Vrba	16,9	12,8	velmi měkké
Olše	16,7	12,9	měkké
Akát	16,3	12,7	tvrdé
Jasan	15,7	12,7	tvrdé
Bříza	15,0	13,5	měkké
Topol	12,9	12,3	velmi měkké

Tabulka 1.5: Výhřevnost energetických dřevin [11]

Japonský topol - japan

V České republice se v současné době nejvíce prosazuje pěstování tzv. japanů. Japonský topol je výsledkem experimentu křížení topolu černého (*Populus nigra*) a topolu maximowiczova (*Populus maximowiczii*) probíhající v 80. letech minulého století v Japonsku. Vzniklo tak pět topolových klonů s různými klonovými označeními. U nás se nejvíce pěstuje japonský topol s kódem J-104 nebo J-105. [14]

Klony japanů preferují spíše teplé a slunečné podnebí, ale vyznačují se velmi dobrou adaptací na středoevropské podmínky. Do 5 let dorůstají až do výšky 25 metrů, nejsou náročné na kvalitu půdy a po pokácení (až 5 krát) jeho pařezy znovu vyraší. Značnou nevýhodou je, že v prvních dvou letech jsou náchylné na zaplavení. Díky vysokým nárůstkům hmoty a výhřevnosti, která je srovnatelná s hnědým uhlím, jsou japonské topoly ideální jako dřevo pro vytápění. Mezi jedny nejstarší výmlatkové plantáže u nás patří Unhošť u Prahy (vysazena v roce 1994) a Krejcárka u Temelína (1995). Obě byly několikrát sklizeny a jsou dodnes vitální. [16, 17]



Obrázek 1.2: Japonský topol - japan [41]

1.3. Charakteristické vlastnosti biomasy

Při využívání biomasy pro energetické účely dochází ke změnám, které poměrně vysoce ovlivňují kvalitu a vlastnosti biomasy. Tyto vlastnosti jednotlivých druhů biomasy jsou buď chemického nebo fyzikálního původu. V průběhu růstu biomasy se

utvářejí chemické vlastnosti, které mají vliv na proces spalování. Fyzikální vlastnosti jsou ovlivněny úpravou biomasy a charakterizují se mechanickými vlastnostmi. [18]

Parametry charakterizující proces spalování:

- Vlhkost
- Výhřevnost
- Chemické složení hořlavin
- Obsah popelovin
- Měknutí popelovin
- Přítomnost nežádoucích prvků

Parametry charakterizující mechanické vlastnosti:

- Sypná hmotnost
- Forma a velikost (granulometrie)
- Mechanická odolnost

Další kritéria hodnocení:

- Způsob skladování, kapacita skládky
- Možnosti dodávky
- Cena biomasy

1.3.1. Vlhkost (obsah vody)

Jednou z nejdůležitějších vlastností biomasy je vlhkost, nebo-li obsah vody, který slouží k určování kvality dřeva a má zásadní vliv na jeho výhřevnost. Ovlivňuje také schopnost hoření a výrazně snižuje účinnost spalovacího zařízení.

Obsah vody v biomase se pohybuje v širokém rozmezí od 7 do 60 % nebo i více. Například čerstvě pokácené dřevo může přesahovat i 60 % vlhkost. Při této hodnotě pak přestává probíhat spalovací proces a účinnost výrazně klesá. Ke spalování je proto výhodné používat co nejsušší biomasu, ale z hlediska procesu hoření není optimální dokonale suchá. Při jejím hoření pak velká část energie uniká v kouřových plynech. V poslední době se proto stále častěji setkáváme s tím, že se biomasa před použitím vysušuje. [18]

Umělé sušení je finančně velmi nákladné, proto se používá tzv. transpirační vysychání. Je založeno na ponechání pokácených stromů v lese až do úplného opadání jehličí nebo listů. Za ideálních podmínek pak vlhkost klesá až ke 20 %. Jako optimální vlhkost pro spalování se považuje hodnota okolo 30 % obsahu vody. [19]

K vyjádření vlhkosti dřeva se používají dva způsoby. V energetice se obsah vody spočítá jako hmotnostní procento vody k celkové hmotnosti vlhkého dřeva:

$$W = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100 \quad (\%),$$

v dřevařském průmyslu se vlhkost dřeva vyjadřuje jako hmotnostní procento vody k hmotnosti suchého dřeva:

$$W_D = \frac{H_1 - H_2}{H_2} \cdot 100 \quad (\%),$$

kde: H_1 je hmotnost vzorku surové dřevní hmoty (kg),
 H_2 je hmotnost vzorku po vysušení (kg).

Vybrané hodnoty vlhkosti vypočítané dřevařským a energetickým způsobem:

Energetická vlhkost W (%)	Dřevařské vlhkost W_D (%)
0	0
10	11
20	25
30	43
40	67
50	100
60	150
70	230
80	400

Tabulka 1.6: Vztah mezi dřevařským a energetickým vyjádřením vlhkosti [5]

1.3.2. Výhřevnost

Při hoření dřevní hmoty vzniká teplo, které se vyjadřuje jako spalné teplo nebo jako výhřevnost paliva. Spalné teplo je definováno jako množství tepla (v MJ/kg) uvolněného dokonalým spálením, přičemž se využije kondenzační teplo vodní páry ve spalinách. Výhřevnost paliva, je množství tepla (v MJ/kg) uvolněného dokonalým spálením, přičemž vodní pára ve spalinách nezkondenzuje. To znamená, že hodnota výhřevnosti paliva je nižší o měrné skupenské teplo páry obsažené ve spalinách, než spalné teplo. [18, 20]

Výhřevnost se vypočítá podle rovnice:

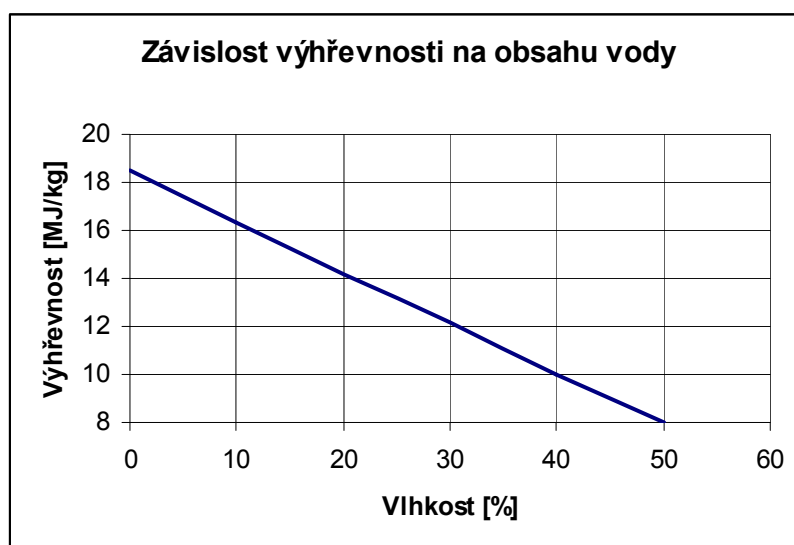
$$H_V = \frac{H_S \cdot (100 - W) - (r \cdot W)}{100} \quad (\text{MJ/kg}),$$

kde: H_V je výhřevnost paliva (MJ/kg),
 H_S je spalné teplo při konstantním tlaku v sušině vzorku (MJ/kg),
 W obsah vody v palivu (%),
 r teplo potřebné k odpaření 1kg vody (2,44 MJ).

Při spalovacích procesech je důležitým vlivem vlhkost a výhřevnost biomasy. Pro informaci jsou uvedeny následující příklady:

Druh biomasy	Obsah vody [%]	Výhřevnost [MJ/kg]	Objemová měrná hmotnost [kg/m ³]
Polena (měkké dřevo)			(volně ložená)
	0	18,56	355
	10	16,40	375
	20	14,28	400
	30	12,18	425
	40	10,10	450
	50	8,10	530
Dřevní štěpka	10	16,40	170
	20	14,28	190
	30	12,18	210
	40	10,10	225
Sláma (obiloviny)	10	15,50	120 (balíky)
Sláma (řepka)	10	16	100 (balíky)
Tříděný komunální odpad	20-38	19-14	

Tabulka 1.7: Charakteristika některých druhů biomasy [21]



Obrázek 1.3: Závislost výhřevnosti na obsahu vody [19]

1.3.3. Chemické složení hořlavin

Surové palivo, které je určené ke spalování, obsahuje tři základní složky: hořlaviny, popel a vodu. U tuhých paliv je hořlavina zastoupena chemickými prvky jako jsou uhlík, vodík, dusík a kyslík. Nejvíce se klade důraz na koncentrace chloru a síry, které mohou způsobovat poškození vnitřních prostor kotle při spalování biomasy. Významnou součástí hořlavin jsou také takzvané prchavé hořlaviny. Ty se uvolňují

v průběhu spalování a v jejich důsledku vzniká dlouhý plamen, který komplikuje konstrukci kotlů a topenišť. [5, 18, 19, 24]

Palivo	Prchavá hořlavina [%]
dřevo	75 - 85
sláma	70 - 82
travina	74 - 80
kůra	70 - 80
hnědé uhlí	31 - 48
koks	1,5 - 4

Tabulka 1.8: Obsah prchavé hořlaviny pro různá paliva [5]

1.3.4. Obsah popelovin

Další důležitou složku tuhého paliva tvoří popeloviny. Jsou to minerální látky, především křemičitany vápníku a hliníku, uhličitany hořčíku a železa, oxidy a sírany. Složení popela závisí také na způsobu pěstování, skladování a jiných vnějších vlivech. Jestliže porovnáme obsah popela v biomase například s hnědým nebo černým uhlím (viz Tab. 1.9), zjistíme relativně velký rozdíl ve prospěch biomasy, díky kterému se při spalování sníží emise pevných částic popílku. [5, 23, 24]

Charakteristickou vlastností popela je teplota. V její závislosti dochází k fyzikálním změnám popela (deformace nebo úplnému roztavení částic). Překročení těchto kritických teplot (Tab. 1.10) vede ke vzniku nánosů, které mohou trvale poškodit kotel nebo topeniště. [18]

Druh paliva	Teplota [°C]			
	deformace	měknutí	tavení	tečení
Ječná sláma	659	783	923	1118
Pšeničná sláma	612	767	1044	1257
Řepková sláma	633	665	1452	1460
Kukuřičná sláma	796	886	1036	1059
Pšeničné zrno	612	727	772	792
Smrkové dřevo	1041	1180	1265	1310
Hnědé uhlí	1260	1280	1360	1500

Tabulka 1.9: Kritické teploty vybraných paliv [18]

Palivo	Rozmezí	Výhřevnost (MJ/kg)	Podíl prchavé hořlaviny %	Obsah popelovin %	Vlhkost %	Elementární složení				
						C	H	O	N	S
						%	%	%	%	%
obilní sláma	min.	15	70	3,5	12	43,9	5,4	38	0,3	0,05
	max.	17,5	82	6,5	25	48	6,4	43,3	0,7	0,2
obiloviny	min.	15,5	76	3	12	45	6	39,5	1	0,09
sláma + zrna	max.	18,5	79	5,6	25	46,6	6,9	42,6	1,8	0,2
Miscantus	min.	15	74	2,5	12	45	5,5	36	0,5	0,05
sloní tráva	max.	17,6	79	8	40	49	6,4	41,3	1,7	0,3
seno	min.	13,5	70	4,2	15	45	6	38,8	0,8	0,08
	max.	17,7	75	5,8	25	48,6	6,6	44,3	1,1	1,12
dřevo	min.	16,9	70	0,2	10	45	5,3	41,4	0,1	0,02
	max.	19	85	3	60	52	6,5	46	1,7	0,3
hnědé uhlí	min.	14	20	3	10	27,5	2,5	12	0,3	0,5
	max.	23	55	33	30	64	5,8	33	1,5	6
černé uhlí	min.	27	10	3,7	10	65	2,8	5	0,9	0,5
	max.	32,5	40	17	30	84	5	9,1	2	1,5
koks	min.	30	4	3	5	65	1	1	0,1	0,1
	max.	32,5	13	15	15	90	2	2	0,5	0,5
řepkový olej	min.	35	100	0	do 0,5	77	12	11	0,1	0
etanol		27	100	0	do 2	52	13	25	0	0
LTO		42,7	100	do 0,5	do 0,5	86	13	0,25	0,25	0,3
zemní plyn	min.	32	100	0	do 0,5	19	80		0,2	0

Tabulka 1.10: Základní složení paliv a biopaliv [5]

1.4. Výhody a nevýhody biomasy

Závěrečné shrnutí využívání biomasy: převažují výhody či nevýhody? Jednoznačnou výhodou biomasy je, že se jedná o obnovitelný zdroj, který má v našich podmínkách největší potenciál. [25, 26]

Výhody:

- menší negativní dopady na životní prostředí
- poměrně nízká cena biomasy
- všeobecná dostupnost (nižší dopravní náklady)
- přispívá k rozvoji venkova a zemědělských oblastí
- využití odpadu (zbytek po spalování lze využít jako hnojivo)
- využití půdy nevhodné pro pěstování potravinářských plodin
- snižování emisí skleníkových plynů
- tvorba nových pracovních příležitostí
- možnost dotační podpory

Nevýhody:

- vysoké finanční a technologické nároky
- nižší výhřevnost než u fosilních paliv
- nedostatečná podpora státu
- velké nároky na skladovací prostory a složitá manipulace
- velký vliv vlhkosti a tudíž nízká účinnost
- při použití nevhodných technologií nebezpečí úniku škodlivých látek do ovzduší
- nutná úprava paliva (tvarování, sušení)
- nutnost likvidace popela

1.5. Potenciál biomasy

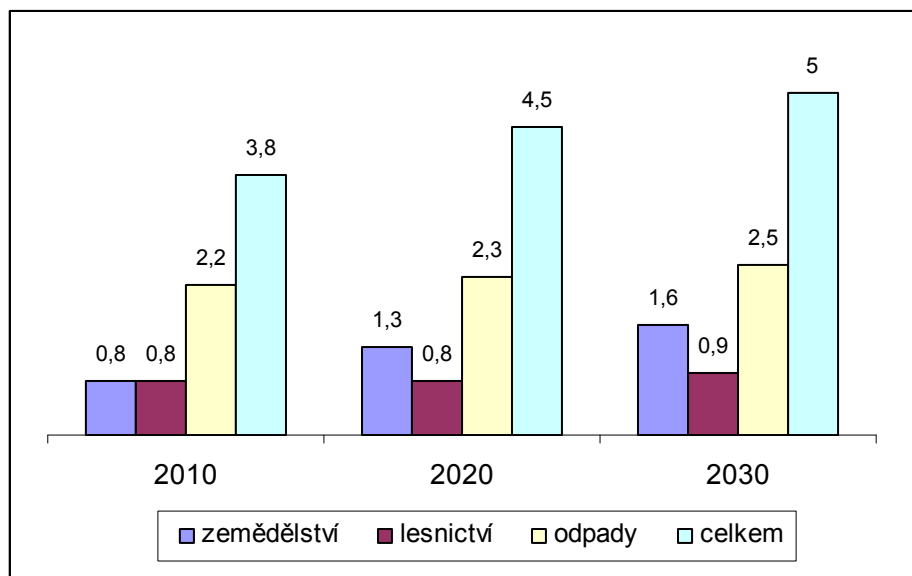
Biomasa je nejvýznamnější obnovitelný zdroj energie, který má v České republice největší potenciál. Jeho potenciál se dělí zejména mezi dřevní biomasu, která je již dnes hojně využívána, a zemědělskou, jejíž využití je zatím v počátcích (a to nejvíce u speciálně pěstovaných energetických plodin, ať už bylin nebo rychlerostoucích dřevin). [37]

Potenciál obnovitelných zdrojů je samozřejmě omezen. Například pokud bychom veškerou ornou půdu, lesy a další zemědělskou půdu využili pro energetické účely, mohli bychom získat až 700 PJ. Reálný potenciál biomasy je však odhadován na 276 PJ, tedy asi 40 % teoretického potenciálu. [39]

OZE		2010	2020	2030		2010	2020	2030
vodní	Výroba elektřiny [TWh]	2,14	2,43	2,48	Výroba tepla [PJ]			
větrná		0,6	2,55	4,71				
biomasa		1,62	5,26	8,02		62,36	93,48	105,52
geotermální		0	0,48	1,58		2,2	10,51	17,7
solární		0,15	0,98	5,67		0,28	2,25	4,12
celkem		4,51	11,7	22,46		64,84	106,24	127,34

Tabulka 1.11: Předpoklad využití obnovitelných zdrojů [39]

Potenciál ČR je zobrazen ve výši milionech tun olejového ekvivalentu (MtOE), společně s jednotlivými zdroji (zemědělství, lesnictví a odpady), na obrázku 1.2. Za povšimnutí stojí právě podíl odpadů. Podle mého názoru je nutné se při využívání biomasy zaměřit na využití odpadní biomasy a poté až na cílené pěstování energetických plodin. Později, kdy bude zajištěno účelné využívání odpadní biomasy, by se měl důraz přesunout na pěstování energetických plodin. [38]



Obrázek 1.4: Potenciál biomasy v ČR dle zdrojů původu (Mt o.e./rok) [38]

2. SPALOVÁNÍ BIOMASY

„Spalování je chemický proces rychlé oxidace, kterým se uvolňuje chemická energie vázaná ve spalovaném palivu na energii tepelnou. Jedná se o nejjednodušší metodu pro termickou přeměnu organických (fosilních i obnovitelných) paliv za dostatečného přístupu (zpravidla atmosférického) kyslíku na tepelnou energii.“ [27]

2.1. Rozdělení spalovacích zařízení

Výkony spalovacích zařízení na biomasu se pohybují v několika kW až v desítkách MW. S ohledem na tepelný výkon a určení se dělí na [26, 28]:

Malá (lokální) topeniště

- s tepelným výkonem od 5 do 100 kW
- jedná se především o klasická a krbová kamna do jednotlivých místností a malé dřevo-zplyňující kotle pro vytápění rodinných domků a budov
- palivo: kusové dřevo (polena), brikety, pelety, obiloviny, štěpky

Střední skupina kotlů

- s tepelným výkonem 100 až 1000 kW
- automatické kotle; jedná se obvykle o roštové kotle s posuvným roštem
- slouží k vytápění větších zdrojů ústředního vytápění a průmyslových objektů
- palivo: štěpky, sláma, pelety, brikety

Velké tepelné jednotky

- s tepelným výkonem od 1 MW do 10 MW
- používány ve velkých dřevozpracujících podnicích
- dále se pak používají k vytápění obecních budov, škol a obcí
- palivo: štěpky, sláma, pelety

Vysoce výkonné tepelné jednotky

- s tepelným výkonem přes 10 MW
- využívány na spalování dřevního odpadu
- palivo: piliny, sláma, štěpka, energetické rostliny, dřevní odpad

2.2. Kotle středních výkonů o 100 až 500 kW

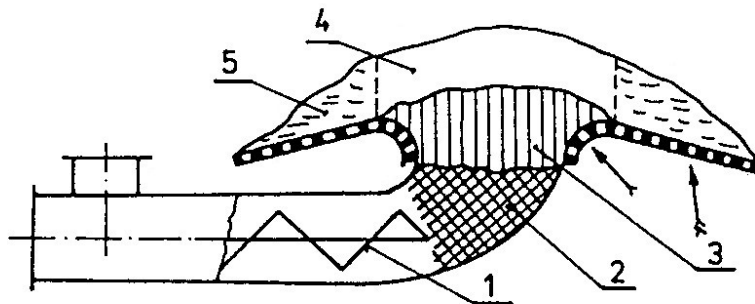
V této kategorii se nejvíce používají automatické kotle. Spalování u automatických kotlů je ovládáno prostřednictvím vlastní řídicí jednotky, která dokáže přiřkládat potřebné množství paliva. Výkon kotle je ovládán množstvím paliva, které je přiřkládáno do hořáku, takže mají vysokou účinnost (80 % až 90 %). Oproti klasickým kotlům je obsluha automatického kotle velmi příjemná tím, že obsluha kotle vyžaduje nanejvýš jedenkrát denně doplnit palivo do násypky a vysypat popel z popelníku, ale i to je možné u většiny automatických kotlů zcela zmechanizovat. Také čištění samotného kotle je u kotlů nové generace automatické nebo poloautomatické. [5, 29]

Nejčastěji se u automatických kotlů středních výkonů objevuje systém se spodním příívodem paliva a spalování na roštu.

2.2.1. Spodní přívod paliva

Vzhledem k automatizaci procesu spalování se vyžaduje u kotlů vyšších výkonů úprava paliva v podobě štěpky. Pokud se spaluje dřevní odpad, pak palivo je už předem připraveno v podobě odřezků, polen, pilin nebo hoblin. [5, 30]

Posléze je palivo pomocí šnekového dopravníku a podávacího zařízení dopraveno do spodní části vlastní spalovací komory, kde odhořívá shora. Šnekové podávací zařízení se používá k automatickému podávání paliva na rošt a zároveň funguje jako tlakový uzávěr mezi prostorem spalovací komory kotle a dopravním systémem paliva. [5, 30]

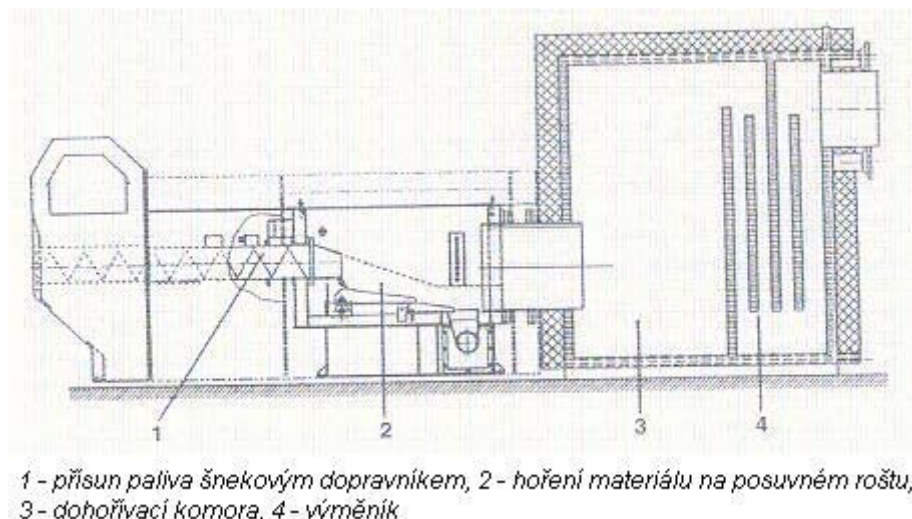


1 - přívod paliva, 2 - pásma sušení, 3 - pásma uvolňování prchavé hořlaviny,
4 - pásma vyhořívání prchavé hořlaviny, 5 - pásma vyhořívání koksového
zbytku

Obrázek 2.1: Schéma spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva [5]

2.2.2. Posuvné rošty

Jsou to šikmé roštové plochy sestavené z roštových lamel, které jsou podle výkonu kotle ovládané elektricky, pneumaticky nebo hydraulicky. Celý povrch roštu je skloněn pod úhlem 15 až 18°. Jednotlivé stupně roštu jsou upevněny na nosné tyči tak, že konce roštnic jednoho stupně se opírají o povrch roštnic stupně následujícího, po kterém při pohybu kloužou. Palivo vstupující na šikmý rošt se částečně převrací a smíchává se s palivem ještě nevzníceným. Aby došlo k důkladnému prohořívání paliva, je důležité mít dostatečný přísun kyslíku. Ten je ve formě vzduchu přiváděn jako primární vzduch pod rošt a sekundární, popř. terciární vzduch pak ve spalovací a dohořívací komoře. [5, 30]

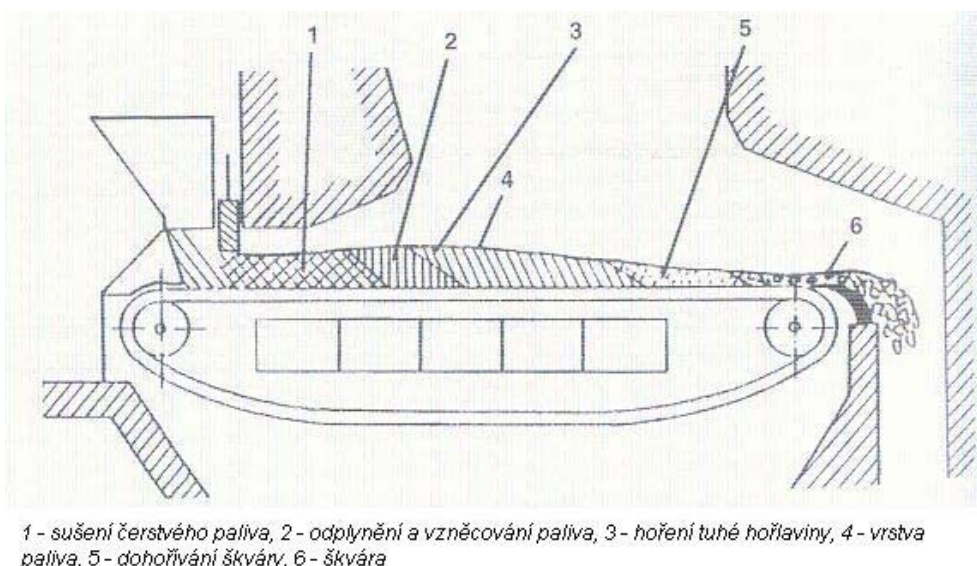


Obrázek 2.2: Kotel s posuvným roštem [5]

2.2.3. Pásové a řetězové rošty

Řetězový rošt je v podstatě nekonečná pás, jehož horní plocha tvoří roštovou plochu po které se pohybuje vrstva paliva. Roštový pás, tzv. roštnice je tvořena články plochých deskových roštniček Gallova řetězu. Jejich základní nevýhodou je nutnost rozebrat celý řetěz při poškození nebo výměně spálené roštnice. [5, 31]

Pásový rošt je jeden z nejrozšířenějších typů a vznikl jako modifikace roštu řetězového. Jeho roštnice jsou upevněny na příčných tyčích unášených dvěma postranními tažnými řetězy (Obr. 2.3). Rošt je tepelně namáhán pouze v horní části, zatímco spodní část je ochlazována přiváděným spalovacím vzduchem. Z tohoto důvodu je možné na pásovéch roštích spalovat výhřevnější palivo (suché dřevní odpady) než na posuvných roštích. [5, 31]



Obrázek 2.3: Spalování paliva na pásové roštu [5]

U kotlů středních výkonů jsou pásové a řetězové kotle méně obvyklé, neboť pořizovací cena je poněkud vyšší než u kotlů s posuvným roštem a kotlů se spodním přívodem paliva.

2.3. Úprava biomasy jako palivo pro kotle

Dřevo, jako palivo určené ke spalování, se před využitím ve spalovacích zařízeních musí mechanicky upravit. Kotle středních výkonů vyžadují úpravu paliva do formy dřevní štěpky, briket, pelet a slámy.

2.3.1. Dřevní štěpka

Dřevní štěpka je strojně nakráčená a nadrcená dřevní hmota na částice o délce od 3 do 250 mm. Je získávána z odpadů lesní těžby a průmyslového zpracování dřeva nebo rychle rostoucích dřevin. Obsah vody bezprostředně po těžbě dosahuje více než 55 %, objemová hmotnost se pohybuje okolo 300 kg/m^3 . Po přirozeném dosoušení klesá na vlhkost ke hranici 30 % při objemové hmotnosti kolem 250 kg/m^3 . Výhřevnost je vysoce závislá na obsahu vody a její hodnota se pohybuje v rozmezí 8 až 15 MJ/kg. Dřevní štěpku je možno zpracovat v kladivových drtičích (hrubší forma o nestejně frakci) nebo v nožových štěpkovačích (jemnější forma o stejné frakci). [42]

Podle kvality štěpky a dalších příměsí ji můžeme dělit na štěpku zelenou, hnědou a bílou.

Zelená štěpka (lesní)

- získaná ze zbytků po lesní těžbě
- lze v ní nalézt nejen části drobných větví, ale také listí, případně jehličí – proto zelená štěpka.
- z důvodu zpracování čerstvé hmoty je vlhkost této štěpky vysoká

Hnědá štěpka

- získaná ze zbytkových částí kmenů, pilařských odřezků apod.
- sjednocujícím prvkem je obsah kůry.
- dříví totiž nebylo před zpracováním odkorněno, lze tedy na jednotlivých štěpkách rozpoznat části kůry

Bílá štěpka

- získaná z odkorněného dříví, obvykle odřezků při pilařské výrobě
- ani na jednotlivých štěpkách se již nenachází kůra (narozdíl od štěpky hnědé) využívá se především pro výrobu dřevotřískových desek



Obrázek 2.6: Dřevní štěrka vyrobená kladivovým drtičem a nožovým štěpkovačem [42]

2.3.2. Pelety

Pelety jsou vysoce stlačené výlisky válcovitého tvaru, nejčastěji vyráběny v průměru 6 mm a různorodé délce 5 – 40 mm. Jsou vyráběny z dřevních zbytků, obvykle z pilin a hoblin. Kromě těchto dřevních pelet se také objevují pelety rostlinné, kůrové, rašelinové a pelety z dalších materiálů z biomasy a jejich vzájemných směsí. Dřevní pelety mohou dosahovat různé barvy v závislosti na použitém druhu dřeva, na kvalitě suroviny ovlivněné vlhkostí nebo příměsí kůry a použitém technologickém procesu výroby. Dřevní pelety mají stabilní a nízkou vlhkost kolem 8 %. Jsou vyráběny z dřevních nebo zemědělských zbytků silným stlačením, které se nazývá peletování. Na soudržnosti dřevěných pelet se podílí kromě vysokého tlaku také obsah ligninu ve dřevě. [44, 45]

Pelety rozdělujeme na [44]:

dřevní - vyrábí se lisováním suché dřevní hmoty (pilin, kůry a dřevní štěrky) a dělí se na:

- bílé
 - vyrábí se z čisté dřevní hmoty, především z pilin
- tmavé
 - vyrábí se z pilin smíchaných s kůrou

alternativní - vyrábí se lisováním rostlin nebo jejich částí a dále se dělí na:

- agropelety
 - vyrábí se lisováním zemědělských komodit - energetických rostlin, řepkové slámy, obilné slámy, odpadů po čištění obilnin a olejnin, sena apod.
 - mezi agropelety řadíme i pokrutiny, které vznikají při lisování řepkového a slunečnicového oleje
- ostatní
 - vyrábí se lisováním různých, jinak obtížně využitelných, materiálů (např. drceného starého papíru, uhelného prachu), případně se tyto materiály míchají se zmíněnými zemědělskými komoditami



Obrázek 2.7: Dřevěné pelety bez kůry a s kůrou [45]

2.3.3. Dřevní brikety

Brikety jsou vyráběny lisováním např. ze suchého dřevního prachu, drtě, pilin, kůry, jemných hoblin nebo rostlinných zbytků do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů, o průměru 40 až 100 mm a délky do 300 mm. Podle zvoleného typu materiálu se můžeme setkat s briketami ze dřeva, kůry, slámy, energetických plodin nebo a briketami vyrobených ze směsí těchto materiálů. Brikety mohou být různého zbarvení v závislosti na použitém druhu biomasy, na kvalitě suroviny ovlivněné vlhkostí nebo příměsí kůry a použitým technologickým procesem výroby. Brikety mají díky své vysoké objemové hmotnosti, která se pohybuje okolo 1000 až 1200 kg/m³, stabilní a nízkou vlhkost (obsah vody obvykle kolem 8 %) a nízký obsah popele (kolem 1 až 3 %). Výhřevnost briket se pohybuje v rozmezí 12 až 18 MJ/kg. Jsou vyráběny z dřevních nebo rostlinných zbytků silným stlačením, které se nazývá briketování. Vstupní vysušené suroviny se lisují ve speciálních briketovacích lisech bez dalších přídavných směsí, pojiv nebo lepidel. [43]



Obrázek 2.8: Dřevní brikety [43]

3. POROVNÁNÍ VYBRANÝCH KOTLŮ

V této podkapitole je uveden průzkum trhu kotlů na biomasu v České republice. Jsou zde uvedeni zástupci vybraných typů spalovacích zařízení o středních výkonech 100 až 500 kW. V závěru je provedeno jejich porovnání z hlediska pořizovacích nákladů, nákladů na provoz a vytápění.

3.1. Přehled kotlů v ČR

3.1.1. Kotle VERNER: GOLEM 225 A GOLEM 350

Kotle VERNER GOLEM o jmenovitém výkonu od 225 kW a 350 kW jsou určeny k ohřevu vody pro stávající vytápění a ohřevu teplé užitkové vody nebo k výrobě páry. Jsou určeny ke spalování dřevní hmoty ve formě pilin o vlhkosti maximálně 35 % a dřevní štěpky nebo zelené lesní štěpky o vlhkosti maximálně 50 % a rozměrech do 30 x 30 x 60 mm. Při použití stabilizačního paliva (peleta) se maximální hodnoty vlhkosti navyšují o 10 %. Spalování další biomasy (seno, obilí, rostliny, zbytky obilí a další) je možno konzultovat s výrobcem. [32]

Kotle mají automatické podávání paliva ze sila, jehož velikost závisí na provozních a stavebních podmínkách a může být navrženo pro denní až po několikaměsíční zásobu paliva. Kotle jsou konstruovány jako předtopeniště s výměníkem, což umožňuje postavit toto předtopeniště před stávající kotel. Jsou vybaveny automatickou regulací výkonu a celého procesu spalování. Dále jsou vybaveny automatickým zapalováním a automatickým odpopelněním, takže potřeba zásahu obsluhy je minimální. Je vyžadován pouze občasný dozor. [32]

Výhodně je lze používat pro vytápění škol, obecních úřadů, nemocnic nebo výrobních provozů. [32]



Obrázek 3.1: Kotel GOLEM 225 (GOLEM 350) [32]

Jmenovitý výkon [kW]	225	350
Účinnost [%]	86 - 90	86 - 90
Max. provozní přetlak vody v hořáku [MPa]	0,5	0,5
Přívodní napětí	3 x 400V / 50 Hz	3 x 400V / 50 Hz
Teplota spalin na výstupu z kotle [°C]	180 - 260	180 - 260
Min. teplota vratné vody ho hořáku [°C]	60	60
Celková provozní hmotnost [kg]	4000	4800
Elektrický příkon [kW]	14	16
CENA (včetně 20 % DPH)	1 761 600,- Kč	2 453 000,- Kč

Tabulka 3.1: Technické údaje kotlů GOLEM 225 a GOLEM 350 [32]

3.1.2. Kotel Step Trutnov: STEP - KS 350T

Kotel STEP-KS 350T se skládá z vodou chlazené spalovací komory, z přesuvného roštu a vertikálního spalinového výměníku. Spalovací komora rozdělena na dvě části vodou chlazenou příčkou. Přední část slouží pro umístění balíků sena ve svislé poloze. Součástí přední komory je chlazené sklápěcí víko, které slouží při přikládání k přemístění balíku z vodorovné polohy do svislé. Za příčkou je druhá zadní část komory, kde dochází ke spalování paliva. Spalovací komora je usazena na přesuvném hydraulicky ovládaném šikmém roštu. Dole na konci roštu je umístěn šnekový dopravník pro automatické vybírání popele. [33]

Automatická regulace výkonu je skoková s plynulým přejížděním a je určována hodnotou podtlaku v komoře a počtem cyklů pohybu roštu v závislosti na výstupní teplotě oběhové vody z kotle. Primární vzduch je přiváděn pod rošt otvory z obou boků topeniště, sekundární vzduch je vzduchovým ventilátorem přiváděn do spalovací komory, aby bylo dosaženo řádného vyhoření paliva. Spalinový ventilátor na odtahu spalin frekvenčním měničem otáček reguluje nastavený podtlak v komoře a nasává primární vzduch pod rošt. [33]

Jako palivo se používají balíky slámy max. rozměrů 1200 x 800 x 2300 mm o vlhkosti max. 20 %, které musí být celé svázané, středně slisované a nedeformované. Hmotnost jednoho balíku je cca 300 kg. [33]



Obrázek 3.2: Kotel STEP - KS 350T [33]

Jmenovitý výkon [kW]	350
Účinnost [%]	86 - 90
Konstrukční tlak kotle [MPa]	0,4
Max. celková tlaková ztráta na straně spalin [Pa]	550
Max. teplota oběhové vody [°C]	110
Teplota spalin na výstupu [°C]	180
Tlaková ztráta na straně vody [kPa]	25
Hmotnost [kg]	5920
Elektrický příkon [kW]	14
CENA	2 145 600,- Kč (včetně 20 % DPH)

Tabulka 3.2: Technické údaje kotle STEP - KS 350T [33]

3.1.3. Kotel Step Trutnov: STEP - KB 350

Spalovací zařízení se stává ze dvou samostatných celků. Z topeniště s pevným litinovým roštem a kotle STEP-KB. Nosnou část topeniště tvoří obvodový ocelový rám, který zároveň slouží jako základ pro spalínový výměník. Součástí topeniště je také rošt. Druhý celek se stává z horizontálního žárotrubného výměníku. Tento výměník je čtyřtahový se vstupní komorou pro spaliny vzadu ve spodní části a obrátovými komorami vpředu i vzadu. [34]

Automatická regulace výkonu je skoková s plynulým přejížděním a je určována hodnotou podtlaku v komoře a počtem dávek paliva do topeniště v závislosti na výstupní teplotě oběhové vody z kotle. Spalovací vzduch je přiveden do topeniště jedním ventilátorem. Odpopelnění a čištění kotle z topeniště je automatické pomocí příčného šnekového dopravníku umístěného v zadní části topeniště. [34]

Doprava paliva je zajišťována pomocí šnekového dopravníku nebo hydraulického podavače. Jako palivo se používá dřevní štěpka (směs pilin, odřezků, kůry, hoblin) nebo

zrno obilnin (pšenice, oves, ječmen, žito, kukuřice) do vlhkosti 40 % a velikosti max. 50 mm. [34]



Obrázek 3.3: Kotel STEP - KB 350 [34]

Jmenovitý výkon [kW]	350
Účinnost [%]	85 - 89
Max. přetlak vody v kotli [MPa]	0,8
Max. pracovní tlak [MPa]	0,6
Teplotní spád [°C]	130 / 100
Maximální teplota [°C]	110
Teplota spalin na výstupu z kotle [°C]	175
Hmotnost [kg]	3020
Elektrický příkon [kW]	12
CENA	2 524 600,- Kč (včetně 20 % DPH)

Tabulka 3.3: Technické údaje kotle STEP - KB 350 [34]

3.1.4. Kotle Herz: BIOMATIC BIOCONTROL

Kotle BioMatic BioControl se vyrábí v rozmezí výkonů od 220 kW do 500 kW a jsou vhodné na spalování dřevní štěpky nebo pelet. [35]

- těleso kotle s účinnou tepelnou izolací
- dvoustupňový posuvný rošt
- podávací šnek s řetězovým pohonem
- odtahový ventilátor s regulovatelnými otáčkami

- dmychadlo s regulovatelnými otáčkami pro primární a sekundární vzduch
- bezpečnostní omezovač teploty
- automatické čištění spalovacího prostoru a trubkového výměníku tepla
- retortový spalovací systém s automatickým čištěním hořáku
- ochrana proti zpětnému prohoření
- vyrovnávací zásobník s hlídáním úrovně naplnění
- automatické zapálení pomocí horkovzdušného ventilátoru
- automatické odběr popele pro modul prostoru hořáku
- automaticky řízenou klapku kouřových plynů (pro rychlou regulaci)
- integrovaná mikroprocesorem řízená ovládací jednotka
- možnost automatického odběru popela do externí nádoby na popel



Obrázek 3.4: Kotel BIOMATIC BIOCONTROL 250 [35]

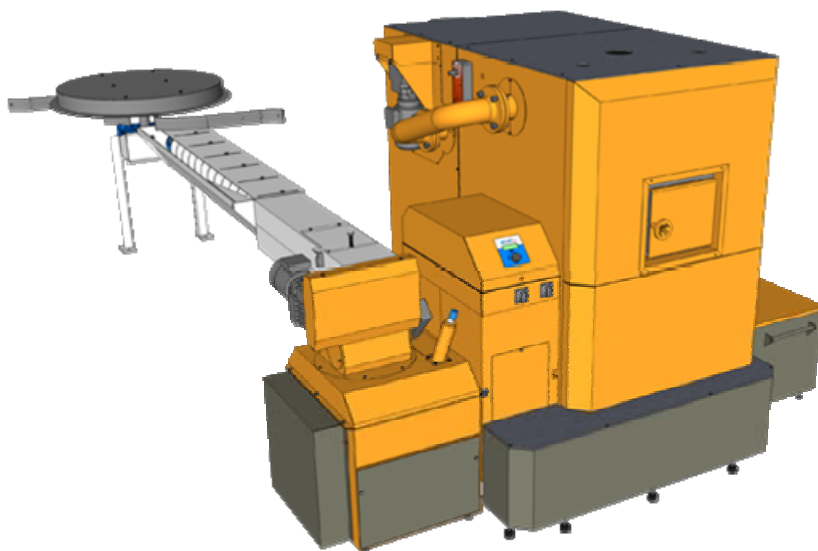
Jmenovitý výkon [kW]	250
Elektrické připojení	3 x 400V / 50 Hz
Min./max. přípustný tah [Pa]	5 / 15
Vodní objem [l]	500
Max. přípustný tlak [MPa]	0,3
Max. přípustná teplota přívodu [°C]	90
Hmotnost [kg]	2600

Tabulka 3.4: Technické údaje kotle BIOMATIC BIOCONTROL 250 [35]

3.1.5. Kotel Hamont: CATfire 250

Kotel je dodáván převážně s tzv. centrálním vynášecím zařízením paliva, které automaticky doplňuje palivo z centrálního skladu do mezizásobníku kotle. Dodávka paliva je zcela zautomatizovaná. Šnekovým dopravníkem je palivo přiváděno do spalovací komory, kde je zapalováno automaticky. Odhořívá na kruhovém hořáku za současného přivádění primárního vzduchu. Nad ním umístěný dvoudílný sekundární věnec přidavného spalování s přívodem sekundárního a terciárního vzduchu zajišťují dokonalé spalování vznikajících plynů. Dokonalé dohoření podporuje nad spalovací komorou umístěný deflektor, který zároveň vhodně usměřňuje spaliny před vstupem do tepelného výměníku. [36]

Optimální proudění spalin je zabezpečeno odtahovým ventilátorem s plynulou regulací v závislosti na aktuálním podtlaku ve spalovací komoře, který je kontinuálně snímán. Popel je po dohoření pomocí dvou šneků vynášen do zásobníku popela. Funkce celého kotle je kontrolována řídicí jednotkou, která umožňuje nastavení požadovaného režimu pro různá paliva. Řídicí jednotka optimalizuje spalovací proces v celém rozsahu výkonu kotle kontinuálním snímáním přebytku kyslíku lambda sondou ve spalinách. Tím je zabezpečena vysoká účinnost zařízení v celém rozsahu regulovatelnosti. Ke spalování je možno použít více druhů biomasy: dřevěná štěpka, pelety, brikety, piliny, hobliny. [36]



Obrázek 3.5: Kotel CATfire 250 [36]

Jmenovitý výkon [kW]	250
Účinnost [%]	95,3
Min. teplota vracející se vody [°C]	55
Max. pracovní tlak [kPa]	350
Vodní objem [l]	500
Teplota spalin [°C]	112
Teplota kotle [°C]	60 - 90
Teplota ohniště [°C]	900 - 1100
Elektrický příkon [kW]	4,3

Tabulka 3.5: Technické údaje kotle CATfire 250 [36]

3.2. Porovnávací výpočet

K porovnání celkových nákladů na vytápění byly použity pouze kotle od výrobců Verner a Step Trutnov. Ne všichni výrobci totiž byli schopni poskytnout důležité informace o svém výrobku. Jedná se zejména o pořizovací cenu, která je ve většině případech individuální.

Výpočty nákladů vybraných kotlů na vytápění jsou počítány pro určitý objekt o teoretické potřebě tepla 1755,1 GJ/rok = 487,5 MWh/rok pro lokalitu Přerov (potřeba tepla byla stanovena podle internetového serveru TZB-info).

3.2.1. Kotel VERNER GOLEM 225 na dřevní štěpku

Potřeba tepla na vytápění za rok	$Q_r = 1755,1 \text{ GJ/rok} = 487,5 \text{ MWh/rok}$
Účinnost	$\eta = 86\%$
Výkon	$P = 225 \text{ kW}$
Výhřevnost paliva (dřevní štěpka)	$Q_{DS} = 12,5 \text{ MJ/kg}$
Elektrický příkon	$P_0 = 14 \text{ kW}$
Prodejní cena paliva	$C_p = 2,50 \text{ Kč/kg}$
Cena elektrické energie (ČEZ Prodej s.r.o.)	$C_e = 4,65 \text{ Kč/kWh}$

Pořizovací náklady

Pořizovací cena kotle	$C_k = 1\,761\,600 \text{ Kč}$ (včetně 20 % DPH)
-----------------------	--------------------------------------------------

Roční spotřeba paliva

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \cdot Q_{DS}} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{0,86 \cdot 12,5 \cdot 10^6} = 163265 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo

$$N_p = S_p \cdot C_p = 163265 \cdot 2,50 = 408163 \text{ Kč}$$

Doba provozu

$$T = \frac{Q_r}{P} \cdot \frac{1}{3600} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{225 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2167h$$

Náklady na spotřebu elektrické energie

$$N_e = P_0 \cdot T \cdot C_e = 14 \cdot 2167 \cdot 4,65 = 141072Kč$$

Celkové náklady na vytápění na 1 rok

$$N_c = N_p + N_e = 408163 + 141072 = 549235Kč$$

3.2.2. Kotel VERNER GOLEM 350 na pelety

Potřeba tepla na vytápění za rok	$Q_r = 1755,1 \text{ GJ/rok} = 487,5 \text{ MWh/rok}$
Účinnost	$\eta = 86\%$
Výkon	$P = 350 \text{ kW}$
Výhřevnost paliva (dřevěné pelety)	$Q_{DP} = 17 \text{ MJ/kg}$
Elektrický příkon	$P_0 = 16 \text{ kW}$
Prodejní cena paliva	$C_p = 4,70 \text{ Kč/kg}$
Cena elektrické energie (ČEZ Prodej s.r.o.)	$C_e = 4,65 \text{ Kč/kWh}$

Požizovací náklady

$$C_k = 2453000Kč \text{ (včetně 20 \% DPH)}$$

Roční spotřeba paliva

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \cdot Q_{DP}} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{0,86 \cdot 17 \cdot 10^6} = 120048 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo

$$N_p = S_p \cdot C_p = 120048 \cdot 4,70 = 564226Kč$$

Doba provozu

$$T = \frac{Q_r}{P} \cdot \frac{1}{3600} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{350 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1393h$$

Náklady na spotřebu elektrické energie

$$N_e = P_0 \cdot T \cdot C_e = 16 \cdot 1393 \cdot 4,65 = 103640Kč$$

Celkové náklady na vytápění na 1 rok

$$N_c = N_p + N_e = 564226 + 103640 = 667866Kč$$

3.2.3. Kotel STEP - KS 350T na slámu

Potřeba tepla na vytápění za 1 rok	$Q_r = 1755,1 \text{ GJ/rok} = 487,5 \text{ MWh/rok}$
Účinnost	$\eta = 86\%$
Výkon	$P = 350 \text{ kW}$
Výhřevnost paliva (sláma)	$Q_s = 14,5 \text{ MJ/kg}$
Elektrický příkon	$P_0 = 14 \text{ kW}$
Prodejní cena paliva	$C_p = 0,95 \text{ Kč/kg}$
Cena elektrické energie (ČEZ Prodej s.r.o.)	$C_e = 4,65 \text{ Kč/kWh}$

Pořizovací náklady

Pořizovací cena kotle	$C_k = 2\,145\,600 \text{ Kč}$ (včetně 20 % DPH)
-----------------------	--------------------------------------------------

Roční spotřeba paliva

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \cdot Q_s} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{0,86 \cdot 14,5 \cdot 10^6} = 140746 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo

$$N_p = S_p \cdot C_p = 140746 \cdot 0,95 = 133709 \text{ Kč}$$

Doba provozu

$$T = \frac{Q_r}{P} \cdot \frac{1}{3600} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{350 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1393 \text{ h}$$

Náklady na spotřebu elektrické energie

$$N_e = P_0 \cdot T \cdot C_e = 14 \cdot 1393 \cdot 4,65 = 90685 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na vytápění na 1 rok

$$N_c = N_p + N_e = 133709 + 90685 = 224394 \text{ Kč}$$

3.2.4. Kotel STEP - KB 350 na piliny a dřevní štěpku

Potřeba tepla na vytápění za 1 rok	$Q_r = 1755,1 \text{ GJ/rok} = 487,5 \text{ MWh/rok}$
Účinnost	$\eta = 85\%$
Výkon	$P = 350 \text{ kW}$
Výhřevnost paliva (dřevní štěpka)	$Q_{DS} = 12,5 \text{ MJ/kg}$
Elektrický příkon	$P_0 = 12 \text{ kW}$
Prodejní cena paliva	$C_p = 2,50 \text{ Kč/kg}$
Cena elektrické energie (ČEZ Prodej s.r.o.)	$C_e = 4,65 \text{ Kč/kWh}$

Pořizovací náklady

Pořizovací cena kotle	$C_k = 2\,524\,600 \text{ Kč}$ (včetně 20 % DPH)
-----------------------	--------------------------------------------------

Roční spotřeba paliva

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \cdot Q_{DS}} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{0,85 \cdot 12,5 \cdot 10^6} = 165186 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo

$$N_p = S_p \cdot C_p = 165186 \cdot 2,50 = 412965 \text{ Kč}$$

Doba provozu

$$T = \frac{Q_r}{P} \cdot \frac{1}{3600} = \frac{1755,1 \cdot 10^9}{350 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1393 \text{ h}$$

Náklady na spotřebu elektrické energie

$$N_e = P_0 \cdot T \cdot C_e = 12 \cdot 1393 \cdot 4,65 = 77730 \text{ Kč}$$

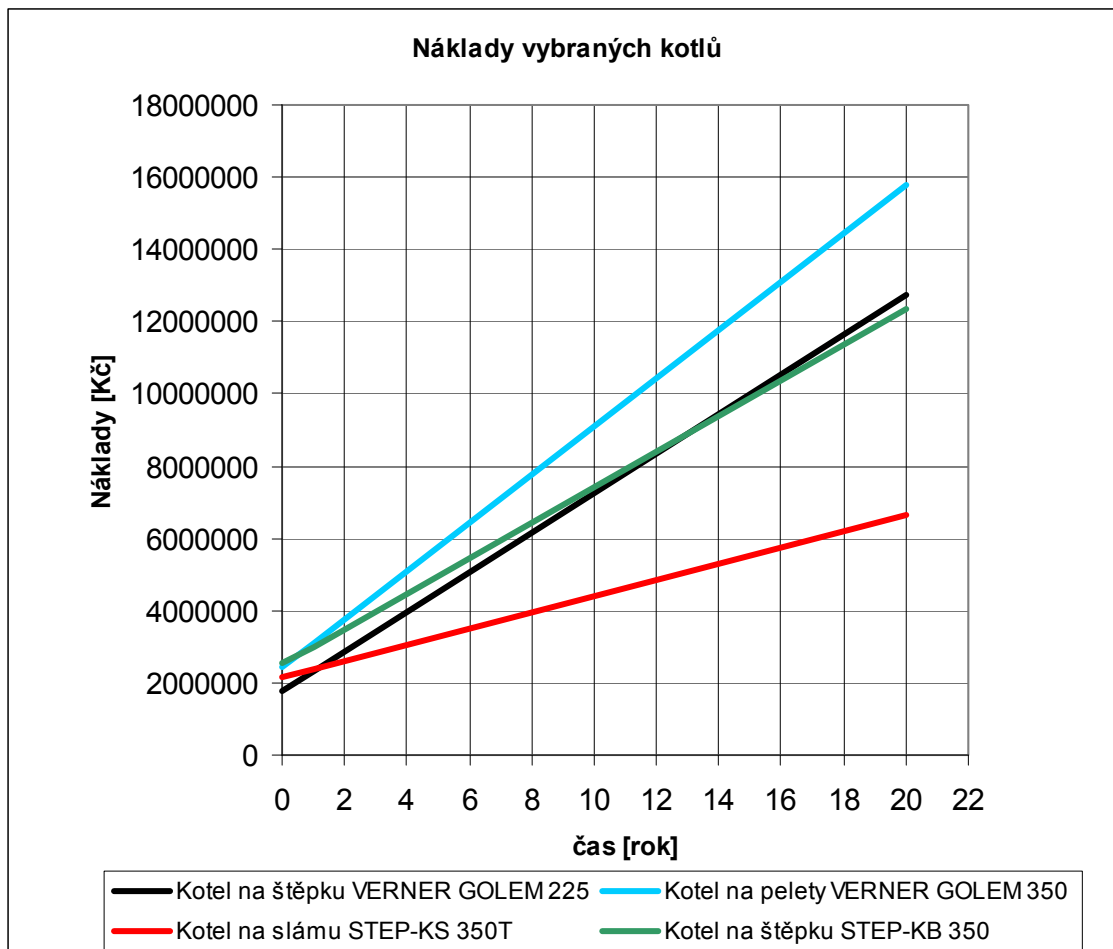
Celkové náklady na vytápění na 1 rok

$$N_c = N_p + N_e = 412965 + 77730 = 490695 \text{ Kč}$$

3.3. Vyhodnocení

Na obrázku 3.6 je znázorněn graf závislosti celkových nákladů na vytápění na čase pro vybrané typy kotlů. Na svislé ose v čase nula jsou vyneseny počáteční vstupní náklady. Tyto náklady by mohly být sníženy díky možnosti dotace Zelená úsporám (na kotle těchto výkonů se vztahuje jen ve výjimečných případech). V současné době je však tento program dočasně pozastaven. Do celkových nákladů se také promítají ceny paliv a energií. Náklady na obsluhu a servis zde nejsou započítány.

V porovnání nejlépe ekonomicky vychází kotel Step-KS. Důvodem je jednak druhá nejmenší pořizovací cena a pak cena paliva, která je pro slámu velmi příznivá. Díky těmto předpokladům se náklady na vytápění, oproti ostatním kotlům, výhledově (po dobu 20 let) snížili téměř na polovinu. Kdybychom však do celkových nákladů započítávali i náklady za obsluhu a servis (sláma je velmi náročné palivo na obsluhu), konečná výše nákladů by výrazně vzrostla. Druhým a třetím nejvíce výhodným zařízením jsou kotle na štěpku Step-KB a Verner Golem. Jejich náklady jsou téměř srovnatelné a to i přes výrazně vyšší vstupní náklady zařízení Step-KB, které se zhruba po třinácti letech vrátí díky úsporám za palivo. Ekonomicky nejméně výhodným zařízením na vytápění daného objektu se stal kotel Verner Golem na pelety. Důvodem pro to je velmi vysoká cena paliva, která se zásadně promítla do celkových nákladů. Výhodou tohoto kotle však je velmi malá náročnost pelet na doplňování zásobníku, díky které ušetříme finance za obsluhu.



Obrázek 3.6: Náklady vybraných kotlů

ZÁVĚR

Biomasa je nejvýznamnějším obnovitelný zdroj energie, který má v sobě ukrytý obrovský energetický potenciál. Je výsledkem výrobní, průmyslové a zemědělské činnosti. Energeticky využívaná biomasa je rozdělena na dvě základní skupiny, a to záměrně pěstovaná biomasa a odpadní biomasa. Do odpadní biomasy spadá mnoho různých odvětví jako dřevozpracující průmysl, potravinářský průmysl, komunální organický odpad, odpady ze zemědělství, atd. K záměrně pěstované biomase patří energetické byliny a rychle rostoucí dřeviny s dobrou výhřevností, které mohou být využity k výrobě elektrické energie a tepla. V České republice se v současné době nejvíce prosazuje pěstování japonských topolů (tzv. japanů). S využíváním biomasy pro energetické účely úzce souvisí jejich charakteristické vlastnosti, které mohou ovlivňovat schopnost hoření a výrazně snížit účinnost spalovacího zařízení.

Z hlediska energetiky se z biomasy získává za procesu spalování tepelná energie. Biomasa se spaluje ve spalovacích zařízeních, které se podle tepelného výkonu dělí na malé, střední, velké a vysoce výkonné tepelné jednotky. U kotlů středních výkonů (100 až 500 kW) se nejvíce používají automatické kotle. Spalování ovládá vlastní řídicí jednotka, která je schopna automaticky řídit i další funkce: doplnění paliva, odstranění popele či samočištění kotle. Automatické kotle k procesu spalování nejčastěji používají systém se spodním přívodem paliva a spalováním na roštu. Palivo určené ke spalování se ve většině případech upravuje do forem štěpky, briket, pelet nebo balíků slámy.

Hlavním cílem této práce bylo zmapovat trh s kotli na biomasu středních výkonů v České republice a provést ekonomické porovnání vybraných typů. Současný stav trhu s těmito kotli není příliš velký. Mezi výrobce, jejichž produkty patří do této výkonové kategorie, patří: Verner, Step Trutnov, Herz a Hamont. K porovnání celkových nákladů na vytápění byly použity pouze kotle od výrobců Verner a Step Trutnov. Další dva výrobci Herz a Hamont nebyli schopni poskytnout bližší technické údaje a pořizovací cenu výrobku. Při porovnání nákladů na teoretický provoz po dobu dvaceti let, nejvíce ekonomicky výhodný vychází kotel Step-KS na slámu. Největší nevýhodou tohoto kotle však je náročnost na obsluhu, jelikož by celkové náklady díky vynaloženým financím za obsluhu výrazně vzrostly. Dalšími nejvíce výhodnými jsou kotle na štěpku Step-KB a Verner Golem, jejichž náklady jsou téměř srovnatelné. Naopak nejméně ekonomicky výhodným zařízením se stal kotel na pelety Verner Golem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:

- [1] FUKSA, Pavel: Netradiční využití biomasy v praxi. *Biom.cz* [online]. 2009-07-15 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
- [2] CELJAK, Ivo: Biomasa je nezbytná součást lidského života. *Biom.cz* [online]. 2008-12-22 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>>. ISSN: 1801-2655.
- [3] JANÍČEK, František: Biomasa jako palivo. *Biom.cz* [online]. 2009-01-30 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-ako-palivo>>. ISSN: 1801-2655.
- [4] SRDEČNÝ, Karel; SLOVÁČKOVÁ, Petra.: Obnovitelné zdroje: energie budoucnosti. *Stary.biom.cz* [online]. [citováno 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://stary.biom.cz/mag/2.html>>.
- [5] PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr: Biomasa obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIC, 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5
- [6] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Možné zdroje energetické biomasy v ČR (II). *Tzb-info.cz* [online]. [citováno 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/3312-mozne-zdroje-energeticke-biomasy-v-cr-ii>>
- [7] WWW stránky: *cs.wikipedia.org* [online]. [citováno 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Energetick%C3%A9_byliny>
- [8] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Možné zdroje energetické biomasy v ČR (I). *Tzb-info.cz* [online]. [citováno 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/3265-mozne-zdroje-energeticke-biomasy-v-cr-i>>
- [9] BECHNÍK, Bronislav: Historie a perspektivy OZE - biomasa I. *Tzb-info.cz* [online]. [citováno 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/biomasa/5902-historie-a-perspektivy-oze-biomasa-i>>
- [10] WWW stránky: *Nazeleno.cz* [online]. [citováno 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/energeticke-plodiny.dic>>
- [11] KARPÍŠKOVÁ, Dana: Biomasa: Co je dobré vědět, než ji začneme spalovat. *Nazeleno.cz* [online]. [citováno 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/vytapeni-1/biomasa/biomasa-co-je-dobre-vedet-nez-ji-zacneme-spalovat.aspx>>
- [12] FUKSA, Pavel: Netradiční využití biomasy v praxi. *Agroweb.cz* [online]. [citováno 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <http://www.agroweb.cz/Netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi__s396x33873.html>
- [13] WEGER, Jan: Biomasa jako zdroj energie. *Biom.cz* [online]. 2009-02-02 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>>. ISSN: 1801-2655.
- [14] STRAŠIL, Zdeněk, ŠIMON, Josef: Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice ČR. *Biom.cz* [online]. 2009-04-20 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- [15] MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří: Energie z biomasy. Brno: ERA group, 2006. 94 s. ISBN 80-7366-071-7
- [16] WWW stránky: *mail.vukoz.cz* [online]. [citováno 2011-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://mail.vukoz.cz/vuoz/biomass.nsf/pages/japany.html>>
- [17] WWW stránky: *topoly.kaufen.cz* [online]. [citováno 2011-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://topoly.kaufen.cz/japonsky-topol/>>

- [18] WWW stránky: *vsb.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf>
- [19] MURTINGER, Karel: Dřevo a jeho spalování. *topenidrevem.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=212d32d1533aaeed26dd5792b1749b48&cid=4524cab599676>>
- [20] CityPlan: Příručka pro regionální využití biomasy. *mpo-efekt.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8080.pdf>
- [21] WWW stránky: *spvez.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.spvez.cz/pages/biomasa.htm>>
- [22] WWW stránky: *eso.vscht.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <http://eso.vscht.cz/cache_data/41/www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/aze/3_AZE_I.pdf>
- [23] KOČICA, Josef; BERKA, Jan; DOBRÝ, Jiří; GRUS, Jan: Vlastnosti biomasy jako paliva. *Silvarium.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/398/21/>>
- [24] VOLÁKOVÁ, Pavlína: Prvkové složení biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-09-08 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prvkove-slozeni-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [25] PONCAROVÁ, Jana: Biomasa v České republice: kolik vyrábíme elektřiny? *nalezno.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/energie/biomasa-v-ceske-republice-kolik-vyrabime-elektřiny.aspx>>
- [26] WWW stránky: *energetickyporadce.cz* [online]. [citováno 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.energetickyporadce.cz/usporu-ve-firmach/vyuziti-obnovitelnych-zdroju/biomasa>>
- [27] WWW stránky: *cs.wikipedia.org* [online]. [citováno 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Spalov%C3%A1n%C3%AD>>
- [28] SLADKÝ, Václav: Úpravy kotlů pro spalování biopaliv. *Biom.cz* [online]. 2002-01-07 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/upravy-kotlu-pro-spalovani-biopaliv>>. ISSN: 1801-2655.
- [29] WWW stránky: *estech.esel.cz* [online]. [citováno 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://estech.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=2652>>
- [30] WWW stránky: *tzb-info.cz* [online]. [citováno 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/677-kotle-na-tuha-paliva-nad-50-kw-iii-prehled-trhu-v-cr>>
- [31] WWW stránky: *fstroj.uniza.sk* [online]. [citováno 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <http://fstroj.uniza.sk/web/ket/subory/pre%20studentov/zt/Zdroje_teplo_3.pdf>
- [32] Firemní WWW stránky: *VERNER* [online]. [citováno 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.kotle-verner.cz/vyrobky/kotelny-na-biomasu/golem-225-compact>>
- [33] Firemní WWW stránky: *STEPTRUTNOV* [online]. [citováno 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.steptrutnov.cz/vyrobni-program/kotle-na-biomasu/kotle-na-spalovani-baliku-slamy-step-ks-175-600-kW.html>>

- [34] Firemní WWW stránky: *STEPTRUTNOV* [online]. [citováno 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.steptrutnov.cz/vyrobni-program/kotle-na-biomasu/kotle-na-drevni-stepku-step-kb-100-1000-kw.html>>
- [35] Firemní WWW stránky: *HERZ* [online]. [citováno 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.herz.cz/produkty/kotle-na-biomasu/>>
- [36] Firemní WWW stránky: *CATFIRE* [online]. [citováno 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.catfire-service.com/uploads/files/prospekty/katalog.pdf>>
- [37] HOLUB, Petr: Analýza Národního akčního plánu České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů a alternativní doporučení pro rozvoj sektoru. *Tzb-info.cz* [online]. [citováno 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/energeticka-politika/6973-analyza-narodniho-akcniho-planu-ceske-republiky-pro-energii-z-obnovitelnych-zdroju-a-alternativni-doporuceni-pro-rozvoj-sektoru>>
- [38] ZBOŘIL, Josef: OZE v EU do budoucna – motivační stimuly, nebo striktní závazky? . *Biom.cz* [online]. 2010-06-16 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/oze-v-eu-do-budoucna-motivacni-stimuly-nebo-striktni-zavazky>>. ISSN: 1801-2655.
- [39] WWW stránky: *mzp.cz* [online]. [citováno 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <http://www.mzp.cz/cz/potencial_oze>
- [40] WWW stránky: *ovocnaskolka.cz* [online]. [citováno 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <http://www.ovocnaskolka.cz/fotky10581/fotos/_vyrn_41giganteus.jpg>
- [41] WWW stránky: *plantazluzenice.cz* [online]. [citováno 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.plantazluzenice.estranky.cz/img/picture/79/o-topolech-2.-sklizen.jpg>>
- [42] STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655.
- [43] STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Brikety z biomasy - dřevěné, rostlinné, směsné brikety. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>>. ISSN: 1801-2655.
- [44] VERNER, Vladimír: Alternativní pelety. *Biom.cz* [online]. 2007-12-31 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/alternativni-pelety>>. ISSN: 1801-2655.
- [45] STUPAVSKÝ, Vladimír: Pelety z biomasy - dřevěné, rostlinné, kůrové pelety. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>>. ISSN: 1801-2655.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

W	[%]	energetická vlhkost (obsah vody)
W_D	[%]	dřevařská vlhkost (obsah vody)
H_1	[kg]	hmotnost vzorku surové dřevní hmoty
H_2	[kg]	hmotnost vzorku po vysušení
H_V	[MJ/kg]	výhřevnost
H_S	[MJ/kg]	spalné teplo
r	[MJ/kg]	teplo potřebné k odpaření vody
Q_r	[GJ/rok]	potřeba tepla na vytápění za rok
η	[%]	účinnost
P	[kW]	výkon
Q_{DS}	[MJ/kg]	výhřevnost dřevní štěpky
Q_S	[MJ/kg]	výhřevnost slámy
Q_{DP}	[MJ/kg]	výhřevnost dřevěných pelet
P_0	[kW]	příkon
C_p	[Kč/kg]	prodejní cena paliva
C_e	[Kč/kWh]	cena elektrické energie
C_k	[Kč]	pořizovací cena kotle
S_p	[kg]	roční spotřeba paliva
N_p	[Kč]	roční náklady na palivo
T	[h]	doba provozu
N_e	[Kč]	náklady na spotřebu elektrické energie
N_c	[Kč]	celkové náklady na vytápění na 1 rok