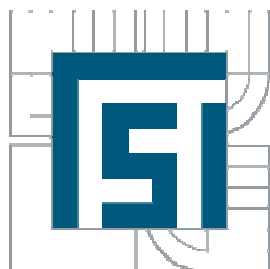




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KOTLE NA TUHÁ PALIVA

BIOMASS BOILERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FRANTIŠEK BEDNÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK BALÁŠ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): František Bednář

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 tuhá paliva

v anglickém jazyce:

Biomass boilers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce si klade za cíl zmapování trhu s kotli na tuhá paliva pro vytápění RD a porovnání vybraných typů

Cíle bakalářské práce:

- 1/ Porovnejte možná tuhá paliva, jejich vlastnosti a vhodnost použití pro vytápění v RD
- 2/ Proved'te zmapování trhu kotlů na tuhá paliva pro vytápění RD
- 3/ Proved'te základní porovnávací výpočet vybraných kotlů

Seznam odborné literatury:

Jandačka, J. a kol.: Biomasa ako zdroj energie. Žilina 2008, ISBN 978-80-969161-3-9

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 24.10.2011

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vytápěním rodinného domu kotli na tuhá paliva. Práce je rozdělena do několika částí. V první části jsou popsány jednotlivé druhy tuhých paliv, jejich rozdělení, vlastnosti, možnosti úprav a zpracování do konečné podoby vhodné pro spalování. Druhá část popisuje jednotlivé kotle na tuhá paliva pro domácí vytápění. V poslední části práce je proveden srovnávací výpočet předem vybraných kotlů z hlediska pořizovacích a provozních nákladů.

Klíčová slova

tuhá paliva, biomasa, pelety, štěpky, brikety, uhlí, fosilní paliva, vytápění, spalování, kotel na tuhá paliva

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with biomass boilers for heating family house. The thesis is divided into several parts. In the first part are characterized solid fuels, the individual kinds of solid fuels, properties, modifications and processing are described to finishing suitable form for burning. The second part describes individual biomass boilers for house heating. The last part of this thesis compares the selected biomass boilers from an economic perspective.

Key words

solid fuels, biomass, pellet, wood chips, briquette, coal, fossil fuels, heating, combustion, solid fuels boilers

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BEDNÁŘ, F. Kotle na tuhá paliva. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Kotle na tuhá paliva vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s užitím uvedené odborné literatury a podkladů.

V Brně dne 16.5.2012

Podpis:

.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracovávání této práce.

Obsah

Úvod.....	11
1 Tuhá paliva	12
1.1 ROZDĚLENÍ PALIV	12
1.1.1 Rozdělení podle skupenství.....	12
1.1.2 Rozdělení podle stáří.....	12
1.1.3 Rozdělení podle původu.....	12
1.1.4 Požadavky na palivo.....	12
1.1.3 Vlastnosti tuhých paliv	13
1.1.3.1 Složení tuhých paliv	13
1.1.3.2 Spalné teplo	14
1.1.3.3 Výhřevnost	14
1.1.3.4 Hořlavina v palivu	15
1.1.4.5 Měrná sirnatost	15
1.1.4.6 Popelovina v palivu	15
1.1.4.7 Prchavá hořlavina	16
1.1.4.8 Voda v palivu	16
1.1.4.9 Sušení tuhých paliv	17
1.3 BIOMASA.....	18
1.3.1 Rostlinná biomasa	19
1.3.2 Odpadní biomasa	19
1.3.3 Způsoby využívání biomasy pro energetické účely	19
1.3.4 Způsoby úpravy biomasy	20
1.3.4.1 Úprava dřeva	21
1.3.4.2 Úprava paliva na pelety a brikety.....	22
1.3.5 Vyhledky do budoucnosti	23
1.4 FOSILNÍ PALIVA.....	24
1.4.1 Černé uhlí	24
1.4.2 Hnědé uhlí	24
1.4.3 Rašelina	25
1.4.4 Vyhledky do budoucnosti	25
2 Kotle na tuhá paliva	26
2.1 LOKÁLNÍ TOPIDLA.....	26
2.2 TEPLOVODNÍ KOTLE	27
2.3 KOTLE NA UHLÍ.....	27
2.4 KOTEL NA PELETY	28
2.4.1 Peletový hořák.....	30
2.5 KOTEL NA ŠTĚPKY	31
3 Výpočtové porovnání kotlů	32
3.1 POPIS VYBRANÝCH KOTLŮ	32
3.1.1 Kotel na spalování kusového dřeva VIADRUS LIGNATOR	32
3.1.2 Automatický kotel na pelety VIADRUS HERCULES ECO	33
3.1.3 Zplyňovací kotel na černé uhlí VIADRUS EKORET.....	34

3.2 VÝPOČET NÁKLADŮ JEDNOTLIVÝCH KOTLŮ.....	35
3.2.1 Celkové náklady na vytápění kotlem VIADRUS LIGNATOR	36
3.2.2 Celkové náklady na vytápění kotlem VIADRUS HERCULES ECO.....	36
3.2.3 Celkové náklady na vytápění kotlem VIADRUS EKORET	37
3.3 ZÁVĚREČNÉ GRAFICKÉ POROVNÁNÍ	38
Závěr.....	39
Seznam použité literatury	40
Seznam použitých značek a symbolů.....	43

Úvod

Jedním ze základních faktorů ovlivňujících rozvoj společnosti je bezesporu energie. Existuje mnoho druhů energií, avšak tou nejzákladnější je tepelná energie, která udávala společně s elektrickou energií rozvoj lidstvu od prvopočátku. Po mnoha tisíciletí bylo jediným možným zdrojem tepelné energie spalování tuhých paliv.

Mezi tuhá paliva lze zařadit uhlí, biomasu a také odpady, které slouží k výrobě elektrické nebo již zmiňované tepelné energie. V posledních letech je stále více zmiňováno získávání energie z biomasy, která se na rozdíl od fosilních paliv řadí mezi obnovitelné zdroje. Její hlavní ekologickou výhodou je, že se při jejím spalování neuvolňuje takové množství škodlivin do ovzduší jako při spalování fosilních paliv. Proto bývá často dotována vládami vyspělých zemí, neboť „rostoucí význam biomasy jako zdroje energie je dán snahou využít všechny dostupné zdroje. Obvykle jde o domácí zdroje, takže produkce a zpracování vytváří nové pracovní příležitosti a podporuje rozvoj podnikání. Spalování biomasy, pokud je náhradou za fosilní paliva, přispívá ke snižování produkce skleníkových plynů.“ [8]

Vzhledem k neustálému zvyšování cen zemního plynu se stále více lidí, kteří mají možnost volby, vrací k vytápění rodinného domu tuhými palivy, a proto je cílem této práce popsat jednotlivé druhy tuhých paliv, jejich vlastnosti, ekologické a hlavně ekonomické dopady, při vytápění rodinného domu kotli na tuhá paliva.

1 Tuhá paliva

„Palivo je obecně každá látka, jejímž spalováním se za hospodářsky a hygienicky přijatelných podmínek uvolňuje teplo. Síru, hořčík, hliník a jiné podobné látky za paliva nepovažujeme, ačkoliv jejich spalováním vzniká teplo, neboť nevyhovují uvedené definici.“ [1]

Z této definice vyplývá to, že palivo je všeobecné označení pro chemický prvek, chemickou látku nebo směs těchto chemických látek, které mají schopnost za vhodných podmínek začít a dále pak udržovat chemickou reakci hořením. Jelikož je těchto látek velké množství je třeba je správně přiřadit do jednotlivých skupin.

1.1 ROZDĚLENÍ PALIV

1.1.1 Rozdělení podle skupenství

Jedná se o velice jednoduché přiřazení paliva do správného skupenství. K tomuto určení nám povětšinou stačí vizuální stránka zkoumaného druhu paliva.

Rozlišujeme tři základní skupenství:

- **pevné** (uhlí, koks, brikety, dřevo)
- **kapalné** (benzín, motorová nafta, petrolej, alkoholy)
- **plynné** (vodík, zemní plyn, svítiplyn, koksárenský, vysokopecní a generátorový plyn)

1.1.2 Rozdělení podle stáří

Rozlišujeme tři skupiny:

- **fosilní** - jsou nerostné suroviny, které vznikly v dávnějších geologických obdobích přeměnou odumřelých těl rostlin a živočichů za nepřístupu vzduchu, řadí se mezi ně uhlí, ropa a zemní plyn
- **recentní** – tyto druhy paliva vznikají v současnosti, jejich zástupcem je biomasa
- **přechodná** – tvoří přechod mezi fosilními a recentními palivy

1.1.3 Rozdělení podle původu

Rozlišujeme dvě skupiny:

- **přírodní** – do této skupiny patří fosilní a recentní paliva
- **umělá** – paliva, která jsou produkty průmyslové technologie, např. svítiplyn

1.1.4 Požadavky na palivo

Základní požadavky:

- vytvoření se vzduchem ideální zápalné směsi, jejímž spalováním se za hospodářsky a hygienicky přijatelných podmínek uvolňuje teplo
- zanechání co nejmenšího množství mechanicky nebo chemicky škodlivých látek po shoření
- maximální obsah aktivních látek, které hořením uvolňují teplo
- minimální obsah pasivních látek nebo látek, které spalování stěžují
- nízká cena, dostupnost, bezpečná doprava, skladovatelnost [9]

1.1.3 Vlastnosti tuhých paliv

Mezi tuhá paliva, zařazujeme jak fosilní, tak i recentní paliva. Do této skupiny řadíme všechny druhy uhlí a biomasu, ze které se nejvíce pro vytápění používá především dřevo, a z nich uměle vyrobená paliva, jako je například koks, pelety, brikety apod. Při nejjednodušším energetickém hodnocení tuhých paliv vycházíme z předpokladu, že jsou složena z hořlaviny, popeloviny a vody.

K aktivním složkám paliva řadíme hořlavinu, neboť je nositelkou chemicky vázané energie a je tvořena zejména uhlíkem, vodíkem a sírou. Ze spíše praktických důvodů se mezi hořlaviny zahrnuje také kyslík a dusík.

K pasivním složkám paliva řadíme především popelovinu a vodu, neboť tyto složky naopak snižují energetickou hodnotu paliva.

Rozdíl mezi těmito složkami lpí hlavně v tom, že popelovinu, která je rozmístěna v uhelné hmotě nelze tak snadno ovlivnit, jako např. obsah vody obsažené v palivu. Je zřejmé, že obsah vody v palivu se dá jednoduchým způsobem snížit sušením. Sušením se naopak zvyšuje výhřevnost paliva, viz **Tabulka 1**. Velký význam má sušení v případě dřeva.

Před vysušením	Po vysušení
0,3 kg vody	0,1 kg vody
0,2 kg popeloviny	0,27 kg popeloviny
0,5 hořlaviny	0,63 kg hořlaviny
Celkem 1 kg	Celkem 1 kg

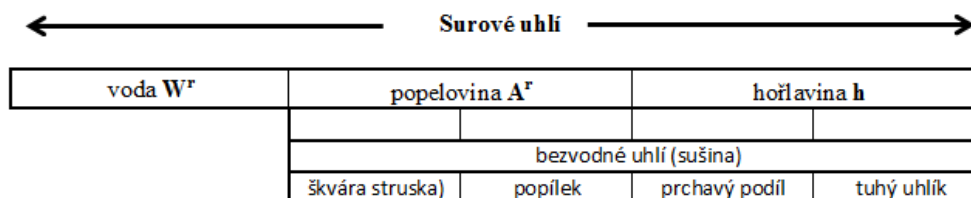
Tabulka 1: Složení paliv před a po vysušení [4]

Při sušení se zvyšuje obsah hořlaviny v palivu a tím se i ve stejném poměru zvyšuje jeho výhřevnost. Palivo s vyšší výhřevností a menším obsahem vody se lépe spaluje. Toto má hlavně význam jak ekonomický, tak i ekologický, neboť při tomto spalování nevzniká takové množství škodlivých látek.

1.1.3.1 Složení tuhých paliv

Základním tuhým palivem je uhlí, které se skládá ze tří složek: hořlaviny (**h**), popeloviny (**A^r**), a vody (**W^r**). Přičemž platí tento základní vztah, kde index **r** značí, že se jedná o hmotnostní obsahy v surovém palivu:

$$h + A^r + W^r = 100\%$$



Obrázek 1: Složení surového uhlí

Hořlavina se skládá z pěti elementárních prvků, patří mezi ně uhlík, vodík, síra, dusík a kyslík.

Určení složení tuhých paliv:

- hrubým rozborem – jedná se o stanovení poměrného obsahu popeloviny (**A^r**), a vody (**W^r**) a stanovuje se výhřevnost paliva
- elementárním obsahem hořlaviny – zde se navíc určují poměrné obsahy hořlaviny

Obsah popeloviny v palivu je běžně rovný obsahu tuhých zbytků po spálení, tj. škváry a popílku ze spalin. U paliv s větším obsahem argonu ($\text{Ar} > 10\%$) je nezbytné ve výpočtu počítat s tzv. popelovým faktorem (což je podíl popeloviny a tuhých zbytků), který nabývá hodnot v rozmezí $1,03 \div 1,10$. [2]

1.1.3.2 Spalné teplo

„Spalné teplo Q_s [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva na oxid uhličitý a oxid siřičitý a kapalnou vodu.“ [3]

Spalné teplo se liší od výhřevnosti tím, že voda po spálení zůstává v kapalném skupenství. Díky tomu jsou hodnoty spalného tepla větší nebo přinejmenším rovny hodnotám výhřevnosti.

Palivo	Spalné teplo [MJ/kg]
Hnědé uhlí (ořech)	19,6
Brikety	20,2
Koks	30
Borové dřevo (část vyschlé)	15,9

Tabulka 2: Hodnoty spalných tepel u pevných paliv [5]

Pro naši praxi je výhodnější počítat s výhřevností paliv, neboť z důvodů koroze mají spaliny většiny kotlů teplotu nad rosným bodem a vodu v plynné fázi.

1.1.3.3 Výhřevnost

„Výhřevnost Q_i [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$] je teplo uvolněné za stejných podmínek s tím rozdílem, že místo kapalně vody se uvolňuje pára. Výhřevnost se počítá ze spalného tepla odpočítáním výparného tepla vody Q_v , kde voda uvolňující se spalováním je součtem vody obsažené v palivu (jeho vlhkost) a vody vzniklé spálením paliva (odpovídající obsahu vodíku v palivu).“ [3]

Výhřevnost se určí vztahem:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (W + 9 \cdot H_2) \quad [\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}], \text{ kde:}$$

Q_s [kJ/kg] - změřené spalné teplo

W [-] - obsah vody v palivu

H_2 [-] - obsah vodíku v surovém palivu

Jelikož se v praxi spalují směsi různých látek, lze výhřevnost počítat i pomocí empirických vzorců jako funkci elementárních prvků v palivu:

$$Q_i^r = (Q_{i_1})^r \cdot m_1 + (Q_{i_2})^r \cdot m_2 + \dots + (Q_{i_n})^r \cdot m_n$$

kde: m_n [kg/kg] - hmotnostní podíl n-tého paliva $\sum m_n = 1$

Q_{in}^r [kJ/kg] - výhřevnost dílčího paliva

Při výpočtech výhřevností pevných paliv se používá přepočtu na tzv. měrné palivo.

Palivo	Výhřevnost [MJ/kg]
Měrné palivo	29,31
Dřevo palivové	14,62
Dřevěné brikety	16,21
HU tříděné - Most	17,18
ČU prachové - Ostrava	22,78
ČU energetické - Ostrava	29,21

Tabulka 3: Základní výhřevnosti tuhých paliv [10]

1.1.3.4 Hořlavina v palivu

Nejdůležitější složkou paliva je hořlavina, která je nositelkou tepelné energie. Skládá se z uhlíku, vodíku, síry, dusíku a kyslíku. Uhlík, vodík a síra jsou aktivní prvky hořlaviny, neboť jejich oxidací se uvolňuje teplo. Obecně platí, že čím je uhlí geologicky starší, tím má vyšší obsah uhlíku a nižší obsah kyslíku a vodíku.

1.1.4.5 Měrná sirnatost

Síra je v palivu nežádoucím prvkem z hlediska ekologie, neboť při jejím spalování se zvyšuje obsah SO₂ ve spalínách. Výrazně zvyšuje rosný bod spalin a způsobuje snížení charakteristických teplot popela, což vede ke snadnější korozi kotle.

Kromě procentuálního obsahu síry v palivu je názornějším ukazovatelem *měrná sirnatost* $\bar{S}$, udávající hmotnost síry na jednotku výhřevnosti. [2]

Je dána vztahem: $\bar{S} = \frac{10 \cdot S}{Q_i}$ [gS · MJ⁻¹], kde:

S [g · MJ⁻¹] – obsah síry v palivu

Q_i [MJ · kg⁻¹] – výhřevnost paliva

Palivo	Měrná sirnatost [gS/MJ]
Lignit	0,75
HU tříděné - Sokolov	1,33
HU tříděné - Most	1,25
ČU prachové - Ostrava	0,25

Tabulka 4: Měrná sirnatost v palivu

1.1.4.6 Popelovina v palivu

Mezi popeloviny řadíme následující minerální látky (křemičitany, uhličitany, sírany a další), které jsou obsaženy v tuhém palivu před jeho spálením. Po spálení vzniká z popeloviny tuhý zbytek, kterému říkáme popel. Při spalování dochází k emisím popílku a minerálních látek do ovzduší nebo tuhých zbytků.

Pro stavbu a provoz kotlů spalujících tuhá paliva jsou nezbytné znalosti charakteristických teplot popelů. Tyto charakteristické teploty nám určují chování popela při různých teplotách. Určují se laboratorně např. pomocí Segerovy metody jehlanů. [2]

Tyto charakteristické teploty jsou následující:

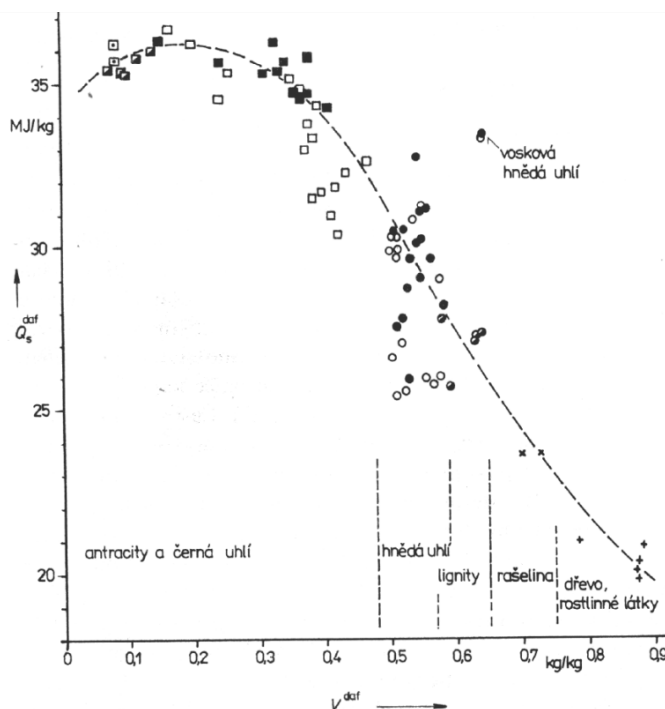
- a) T_a – teplota měknutí
- b) T_b – teplota tavení
- c) T_c – teplota tečení

1.1.4.7 Prchavá hořlavina

Významným parametrem tuhých paliv je průměrný obsah prchavé hořlaviny. Jedná se o část hořlaviny, která napomáhá vzněcování paliva v ohništi a také ke stabilizaci spalovacího procesu. [4]

Pod názvem prchavá hořlavina jsou označovány hořlavé plyny, které se z paliva uvolňují při zahřátí na teplotu cca. 850°C (postup stanovení podle ČSN 44 1351). Je zřejmé, že čím více prchavé hořlaviny palivo obsahuje, tím snáze se zapaluje, protože od hořících plynů se odplyněný tuhý zbytek paliva zapálí celkem spolehlivě. Paliva, která jsou geologicky mladší mají více prchavé hořlaviny (např. hnědé uhlí). Proto se snadněji zapalují, což také vede k tomu že mají nižší hodnotu spalovacích teplot. Naopak paliva geologicky starší mají méně prchavé hořlaviny, neboť jsou více prouhelněná a obsahují více uhlíku. Se stářím také roste jejich výhřevnost. [14]

Názorně to ukazuje graf na **Obrázek 2**. Obsah prchavé hořlaviny hraje důležitou roli při spalování uhlí v malých ohništích pro vytápění, viz dále v kapitole vlastnosti uhlí.



Obrázek 2: Energetický obsah paliva a prchavé hořlaviny [6]

1.1.4.8 Voda v palivu

Voda je obsažena skoro ve všech tuhých palivech. Obsah vody je důležitý z toho důvodu, že snižuje výhřevnost paliva, protože část tepla při spalování se spotřebuje na odpaření vody. Voda také při spalování přechází do spalin a zvětšuje jejich objem, přičemž také urychluje korozi kotle.

Voda také způsobuje nalepování uhlí na dopravních cestách, v zimě zamrzá a vede ke špatnému vyskladňování vagónů.

Hlavně pro biomasu je důležité dobré vysušení na daný obsah sušiny. Obsah vody v biomase je určen *relativní vlhkostí* vztahem:

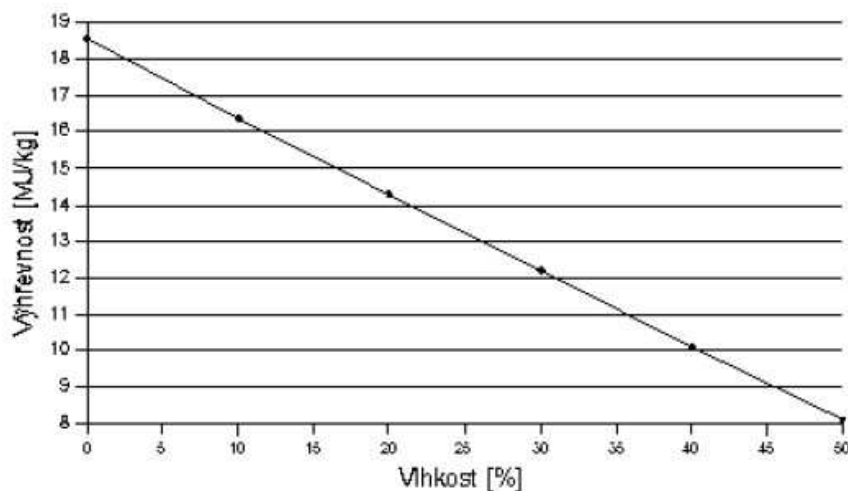
$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \text{ [%]}, \text{ kde:}$$

m_1 [kg] - hmotnost vzorku surové dřevěné hmoty

m_2 [kg] - hmotnost vzorku po vysušení

1.1.4.9 Sušení tuhých paliv

Před samotným použitím je třeba nechat dřevo řádně vysušit. Všeobecně se nedoporučuje spalovat biomasu s vlhkostí větší než 30 %. Optimální spalovací vlhkost se pohybuje okolo 20 %, což je vlhkost, které lze dosáhnout při normálním sušení pod přístřeškem. Z **Obrázek 23** je patrné, že čím nižší je vlhkost paliva tím vyšší je výhřevnost. Například při 50% vlhkosti využijeme necelou polovinu výhřevnosti vysušeného paliva.



Obrázek 23: Závislost výhřevnosti na obsahu vody [11]

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost	Měrné hmotnosti		
	[%]	[MJ/kg]	[kg/m ³]=[kg/plm]	[kg/prm]	[kg/prms]
Dřevo obecně	20	14,23			
Buk	15		670	469	275
Buk	50		1116	781	458
Borovice	15		517	362	212
Borovice	50		862	603	353
Smrk	15		455	319	187
Smrk	50		758	531	311
Listnaté dřevo	15	14,605	678	475	278
Listnaté dřevo	50	7,585	1130	791	463
Jehličnaté dřevo	15	15,584	486	340	199
Jehličnaté dřevo	50	8,161	810	567	332
Polena (měkké dřevo)	0	18,56		355	
Polena (měkké dřevo)	10	16,4		375	
Polena (měkké dřevo)	20	14,28		400	
Polena (měkké dřevo)	30	12,18		425	
Polena (měkké dřevo)	40	10,1		450	
Polena (měkké dřevo)	50	8,1		530	
Dřevní štěpka	10	16,4			170
Dřevní štěpka	20	14,28			190
Dřevní štěpka	30	12,18			210
Dřevní štěpka	40	10,1			225
Sláma obilovin	10	15,49		120	(balíky)
Sláma kukuřice	10	14,4		100	(balíky)
Lněné stonky	10	16,9		140	(balíky)
Sláma řepky	10	16		100	(balíky)

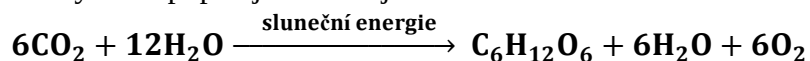
Tabulka 5: Srovnání výhřevností vybraných druhů biomasy podle obsahu vody [12]

1.3 BIOMASA

Pod pojmem biomasa se skrývá souhrn látek tvořících těla všech organismů, ať už se jedná o rostliny, bakterie, sinice, huby, nebo živočichy. Tyto látky pak lze použít jako palivo při výrobě elektrické a tepelné energie.

Energie z biomasy má svůj původ ve slunečním záření a fotosyntéze, tedy při procesu kdy rostliny využívají energii slunečního záření a barviva chlorofylu. Přeměňují oxid siřičitý obsažený v atmosféře na glukózu a jiné potřebné látky k životu a jako odpadní produkt uvolňují do atmosféry kyslík (ten však nepochází v oxidu uhličitěho, ale z vody což v roce 1941 dokázali chemici Sam Ruben a Martin Kamen).

Fotosyntézu popisuje následující rovnice:



Tímto způsobem je část sluneční energie zachycena v biomase, kterou poté můžeme spálením uvolnit a vhodně využít. Biomasu řadíme mezi obnovitelné zdroje energie. Do této skupiny zařazujeme všechny samovolně obnovující se formy energie, které jsou přímo nebo nepřímo spjaty se sluneční energií.

Jak již bylo dříve řečeno pěstování a využití biomasy již lidstvo doprovází po tisíciletí, avšak až v nedávné době došlo ke vzniku a rozvoji nových odvětví v energetice.

1.3.1 Rostlinná biomasa

Mezi tyto energetické plodiny zařazujeme rostliny celulózové, olejnaté, škrobno-cukernaté, a také rychlorostoucí dřeviny. Pěstování těchto plodin má v ČR dlouholetou tradici.

Rozdělení: - *celulózové rostliny*: dřeviny, obiloviny, travní porosty, konopí či méně tradiční ozdobnice čínská, která je mnohými odborníky označována za energetickou plodinu budoucnosti

- *olejnaté rostliny*: řepka olejka, dále pak slunečnice nebo len

- *škrobno-cukernaté rostliny*: brambory, cukrová řepy a kukuřice



a)



b)

Obrázek 3: a) Řepka olejka [7], b) Ozdobnice čínská [7]

1.3.2 Odpadní biomasa

Mezi odpadní biomasu patří zbytky rostlinného i živočišného původu z nejrůznějších odvětví a sektorů.

Rozdělení: - *rostlinný odpad*: zemědělská prvovýroba a údržba krajiny

- *dřevní zbytky*: lesní hospodářství a průmyslová výroba (papírenství, dřevařství, nábytkářství)

- *organický odpad*: z potravinářského průmyslu (cukrovary, mlékárny, lihovary)

- *živočišný odpad*: hnůj, kejda, popř. zbytky krmiv

1.3.3 Způsoby využívání biomasy pro energetické účely

Biomasa může být využita jak pro výrobu elektrické energie, tepla, tak i pro pohon vozidel. energii z biomasy lze získat mnoha způsoby např. chemickými, popř. bio-chemickými procesy, spalováním, zplyňováním, pyrolýzou, esterifikací, fermentací,

lisováním, atd. Vlastnosti biomasy jsou především dány obsahem vody. Dle vlhkosti (resp. dle obsahu sušiny) biomasy lze procesy dělit na mokré a suché. Jestliže je obsah sušiny do 50 % biomasa se zpracovává mokрыmi procesy, jestliže je obsah sušiny nad 50 % tak je výhodnější použít suché procesy.

Pro účely získávání energie z biomasy se využívá cílené pěstování rostlinné biomasy (tzv. energetické plodiny) a odpadů zemědělské, lesní, popř. potravinářské produkce.

Základní způsoby získávání energie z biomasy:

- termochemickou přeměnou biomasy,
- biochemickou přeměnou biomasy,
- fyzikálněchemickou přeměnou biomasy

Termochemická přeměna biomasy

Patří mezi suché metody získávání energie z biomasy, při kterých se dané přeměny dosahuje působením tepla.

Příklady termochemické přeměny:

- *pyrolýza* – vysoko teplotní rozklad, což způsobí, že jsou malé částice biomasy bez přístupu vzduchu rychle zahřáté, což způsobí rozklad biomasy na páry, aerosoly a uhlovodíky. Produkty pyrolýzy jsou dřevěné uhlí, bio-olej, plynné palivo
- *zplyňování* – přeměna výchozího materiálu na hořlavý plyn
- *spalování* – proces při, při kterém se uvolňuje rychlou oxidací energie vázaná v palivu a přeměňuje se na energii tepelnou

Biochemická přeměna biomasy

Biochemická přeměna biomasy využívá mokré procesy a to alkoholové kvašení a metanové kvašení.

- *alkoholové kvašení* – z rostlin obsahující cukry a škroby je možné fermentací v mokřém prostředí a následnou destilací získat vysokoprocenní alkohol (etanol), který se v současnosti používá jako palivo v automobilech
- *metanové kvašení* – produktem je metanol, který vzniká rozkladem organické hmoty bez přístupu vzduchu

Fyzikálněchemická přeměna biomasy

Hlavním cílem fyzikálněchemické přeměny je výroba rostlinného oleje, respektive bionafty, a to mechanicky (lisováním) a chemicky (esterifikací). [3]

1.3.4 Způsoby úpravy biomasy

Biomasu je třeba před samotným použitím správně upravit, vzhledem k velkému množství technologií zde budou jmenovány jen ty nejzákladnější.

1.3.4.1 Úprava dřeva

Stromy po skácení je třeba odvětvit a následně nařezat na požadovanou délku pro další zpracování. Následné úpravy se dějí na pile, kde se dřevo řeže na požadovanou tloušťku, délku nebo se štípe na špalíky pro pozdější vysušení a spalení.



Obrázek 4: Příklad uskladnění štípaného dřeva

Větve nebo těžební odpad, které v lese vznikají po odvětvění stromů je následně zpracováván štěpkováním. Vzniká tzv. štěrka, což je strojně nakrácená a nadrcená kusová dřevní hmota o délce od 3 do 250 mm. Jedná se o velice levné palivo určené pro vytápění větších budov, avšak hodně závislé na obsahu vody. Obsah vody štěrky se pohybuje okolo 50 %, ale při přirozeném vysušení přes léto na slunci obsah vody klesá k 30 %.



a)



b)

Obrázek 5: Příklad štěrky: a) Dřevní štěrka vyrobená nožovým štěpkovačem [44]
b) Dřevní štěrka vyrobená kladivovým drtičem [44]

Štěpkování se provádí v tzv. štěpkovačích, což je zařízení kde se pomocí nožů dřevní hmota rozemele na malé kousky. Štěpkovače se dělí buď na jednokotoučové, kde rotace nože probíhá příčně k posuvu materiálu. Nože jsou rozmístěny po obvodu rotujícího kotouče a samotný stříh materiálu probíhá mezi noži a ocilkou. Dalším druhem je štěpkovač dvouválcový, kde jsou nože umístěny na dvou válcích ležících nad sebou a to po směru pohybu materiálu.



Obrázek 6: Příklady štěpkovačů [13], [15]

1.3.4.2 Úprava paliva na pelety a brikety

Brikety a pelety jsou vyráběny z dřevních nebo rostlinných zbytků lisováním za vysokých tlaků. Používají se ke spalování ve speciálních kotlích. Většinou mají válečkovitý tvar různých průměrů a délek. Válečkovitý tvar zaručuje vyšší výhřevnost, nižší energetické náklady při výrobě, lepší a ekonomické skladování a snazší manipulaci.

Brikety se vyrábí lisováním vstupních dřevěných odpadů ve speciálních briketovacích lisech (tlak asi 31,5 MPa) za vysokých teplot a bez dalších přídavných pojiv, směsí a lepidel. Materiálem k přípravě briket může být dřevo, sláma nebo uhlí.

Pelety se stejně jako brikety vyrábí vysokotlakým lisováním, s tím rozdílem, že pelety se vyrábí výhradně z odpadového materiálu, jako jsou piliny, hobliny, a to bez přídavných pojících směsí.

Soudržnost pelet a briket je dána nejen vysokými tlaky při výrobě, ale i vysokými teplotami, kdy se lignin obsažený ve dřevě začne chovat jako pojivo.



Obrázek 7: a) Pelety [16], b) Brikety [17]

Distribuce briket se provádí buď v pytlích o hmotnosti nejčastěji 10 kg, nebo skládané na paletách ve fóliích o hmotnosti do 1000 kg

Distribuce pelet se provádí buď v pytlích o hmotnosti 10 – 25 kg, ve velkých textilních vacích (big-bag) o hmotnosti kolem 1000 kg, volně ložené pelety na valnících, nebo cisternovým automobilem s pneumatickou dodávkou pelet flexibilními hadicemi. [18]

Brikety mohou být používány jako palivo do kamen, zplyňovacích kotlů a pro vytápění rodinných domů. Pelety jsou určeny především pro spalování v automatizovaných kotlích pro vytápění rodinných domů, kde jsou uskladněny v zásobnících a průběžně dopravovány do kotle na spálení.

K výrobě pelet a briket z výchozího materiálu se používají briketovací a peletovací lisy. Lze je například dělit na:

- pístové lisy,
- šnekové lisy,
- protlačovací lisy



a)



b)



c)

Obrázek 8: a) Matrice peletovacího lisu s přítlačnými rolnami, které slouží k protlačování materiálu otvory, které svou velikostí odpovídají konečnému tvaru pelety [20], b) Briketovací lis [19], c) Peletovací lis [20]

1.3.5 Vyhlídky do budoucnosti

Otázka energetického potenciálu biomasy je v Evropské Unii předmětem velkého množství studií. Z těchto studií vyplývá, že nepříhodnější podmínky pro pěstování těchto obnovitelných zdrojů energie má podnebí střední Evropy. Jejich dalšímu rozvoji také přispívají legislativní směrnice EU týkající se elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a také směrnice, které se zabývají zvýšením podílu biopaliv v dopravě (tyto směrnice byly přijaty v letech 2001 a 2003). Stejně tak jak u většiny obnovitelných zdrojů, tak i pro výrobu a následné zpracování biomasy existují dotace financované EU, státem, městy a soukromými subjekty.

1.4 FOSILNÍ PALIVA

Tuhá fosilní paliva tvoří usazeniny ze zbytků odumřelých pravěkých rostlin a živočichů. Mezi fosilní paliva řadíme uhlí, ropu a zemní plyn. Z fosilních paliv se získává energie (elektrická, tepelná, světelná, atd...), bez které by lidstvo nebylo na takové úrovni na jaké je dnes. Samozřejmě, že každé pro, má i své proti. U fosilních paliv je hlavní nevýhodou znečišťování ovzduší při spalování a s tím spojené následné tvoření skleníkového efektu, znečišťování řek, moří a oceánů.

Tuhá fosilní paliva dělíme hlavně podle stáří jejich vzniku na:

- antracit,
- černé uhlí,
- hnědé uhlí,
- lignit,
- rašelinu

1.4.1 Černé uhlí

Černé uhlí je nejstarším a nejkvalitnějším druhem uhlí. Má vysokou výhřevnost, malé procento vody a prchavé hořlaviny. Od hnědého uhlí se liší větší výhřevností, barvou, tvrdostí a menším množstvím popela, které zbude po shoření. Obvykle mívá střídající se horizontální lesklé a matné pruhy. Při manipulaci černé uhlí špiní. Hoří velice horkým plamenem, vydává málo kouře, ale obtížně se zapaluje. Používá se nejen k vytápění, ale i např. k přípravě chemikálií. [21]



Obrázek 9: Černé uhlí [22]

1.4.2 Hnědé uhlí

Hnědé uhlí bývá uloženo těsně pod povrchem, dá se těžit skývkou a proto je těžba o mnoho levnější než tomu je u černého uhlí. Rozeznáváme několik druhů hnědého uhlí, které se liší svým prouhelněním, z toho plynoucí výhřevností a obsahem vody. Nejkvalitnější a nejstarší je tzv. hnědý antracit, nejméně kvalitní je lignit, který je z geologického hlediska nejmladší. Hnědé uhlí se těží na celém světě, nejvíce však ve střední Evropě. Používá se jako topivo v elektrárnách, teplárnách a také v domácnostech. Velké množství se koksuje (koks se následně používá jako redukční činidlo ve vysokých pecích) a současně se při koksování získává hnědouhelný dehet a z něho se následně vyrábí umělý benzín. Hnědé uhlí hoří dlouhým plamenem, více kouří a vydává méně tepla.



Obrázek 10: Hnědé uhlí [23]

1.4.3 Rašelina

Rašelina vzniká nahromaděním a částečným rozložením rostlinného materiálu v rašeliništích, které se často nazývají močály, bažiny, nebo také slatě. Rašelinu lze použít jako fosilní palivo jelikož obsahuje více než 50% podíl spalitelných látek. Využívá se především v průmyslu jako tuhé palivo. Největší zásoby jsou v Rusku, Bělorusku, Irsku. U nás se rašelina vyskytuje především na Šumavě.



Obrázek 11: Rašelina [24]

1.4.4 Vyhlídky do budoucnosti

Používání fosilních paliv v masové míře souviselo s počátkem průmyslové revoluce, kdy dřevo nestačilo požadavkům na výhřevnost a na dostupnost v takovém množství.

Vytápění pevnými fosilními palivy zaznamenalo v posledních desetiletích velký ústup. Důvody byly ekologické a především ekonomické, jelikož na vytápění byly poskytovány státní dotace, a proto hodně lidí přestoupilo k vytápění méně ekonomicky náročnými palivy jako je elektřina a zemní plyn. Nicméně stále se zvyšující ceny těchto zdrojů v posledních letech vedou domácnosti i podniky k návratu topením fosilními palivy.

„Díky moderním technologiím může být v současnosti vytápění uhlím ekologické, levné i pohodlné. Aby těchto vlastností bylo dosaženo, je třeba důkladného spalování.“[25]

2 Kotle na tuhá paliva

Pojem kotel lidstvo doprovází od počátku dějin. V dřívějších dobách byla pod tímto pojmem myšlena otevřená kovová nádoba na ohřev a vaření jídla, vody nebo jiných látek používaných v tehdejší době. Jak je vidět význam slova kotel se uchoval i do dneška.

Kotel je zařízení, ve kterém dochází ke spalování paliva (ať už se jedná o pevné, kapalné nebo plynné), čímž se z paliva uvolňuje tepelná energie, která ohřívá teplotonosnou látku. V našem případě bude teplotonosnou látkou voda. Kotle bývají často určeny ke spalování jen určitého druhu paliva. Aby mohlo spalování probíhat za nejlepších podmínek, u některých kotlů je i možnost palivo kombinovat. Pro kotle na tuhá paliva vyžadují dostatečný přísuv vzduchu a také prostory na uskladnění paliva.

Kotle dělíme do různých skupin. Zásadním rozdělením je dělení podle druhu použitého paliva, podle výhřevnosti a v neposlední řadě i podle ceny, která bývá mnohdy tou nejdůležitější. Mezi nejstarší kotle patří lokální topidla na dřevo, jejichž největším zástupcem je krb. O těchto topidlech bude pojednávat jen pár slov této práce. Následně bude hlavní zmínka patřit **teplovodním kotlům na dřevo, kotlům na pelety, štěpky a uhlí.**

2.1 LOKÁLNÍ TOPIDLA

Mezi nejstarší topidla určená k vytápění bytových prostor patří krby. Optimálním palivem pro ně je dřevo. Teplo se z krbu šíří sáláním a konvekcí. Krby nemají zrovna pověst úsporných tepelných spotřebičů. Otevřené krby mají totiž účinnost spalování jen do 10 %. U uzavřených teplovzdušných dvouplášťových sice vzrostla až na 70 %, u peletkových krbů až na 80 %, ty ale zase nejsou vhodné jako jediný zdroj tepla pro celý rodinný domek. Pro tento účel lze smysluplně využít pouze teplovodní krby, jenže ani u těch nejlepších zatím nepřesahuje tabulková účinnost při jmenovitém příkonu 82 %. Další nevýhodou je rovněž špatná regulace. [28]



a)



b)

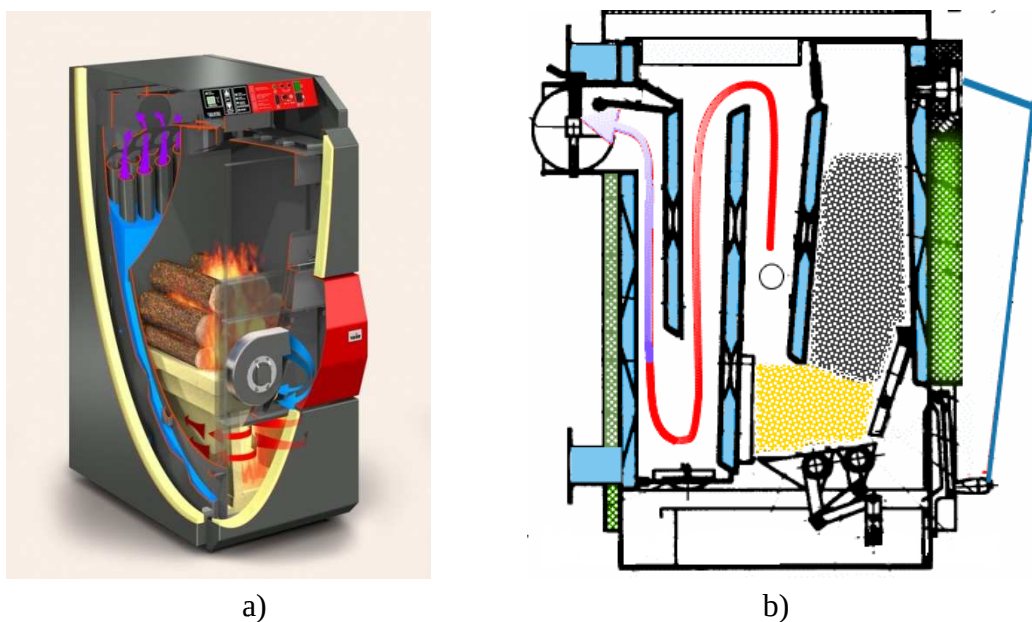
Obrázek 12: a) Otevřený krb [26], b) Uzavřený krb (krbová vložka) [27]

2.2 TEPLOVODNÍ KOTLE

Těchto kotlů existuje na trhu velké množství. Hodí se především pro vytápění rodinných domů, kde se dosahuje vyšších výkonů a tím i vyšších účinností hoření. Jedním z důvodů je i jednodušší řešení přívodu vzduchu. Tyto kotle jsou povětšinou určeny k manuálnímu přikládání v neobytných prostorách domu. Z toho plynou i další výhody, neboť při manipulaci s palivem nedochází k znečišťování obytných prostor. Zdrojem tepla zde bývají tuhá paliva, nejčastěji pak dřevo, uhlí a brikety (není zde potřeba důkladná úprava paliva). Teplonosným médiem je v mnoho případech voda, ale existují i kotle bezvodné pro teplovzdušné vytápění.

Dále tyto kotle můžeme dělit na:

- **zplyňovací** – u těchto kotlů dochází ke spalování předem zplyněné složky paliva, kde je palivo „v tepelně izolované násypce odhořívá s omezeným množstvím primárního vzduchu, takže vzniká převážně oxid uhelnatý, a různé plynné produkty rozkladu pryskyřic ve dřevě. Horké plyny jsou vedeny do keramické spalovací trysky v dolní části kotle, kam přichází predehřátý sekundární vzduch a zde se při vysoké teplotě spalují.“ [29] Díky tomu mají tyto kotle vysoké výkony a velmi malé emise škodlivých látek.
- **prohořivací** – u těchto kotlů dochází ke klasickému spalování dřeva, tyto kotle mají nižší účinnost než kotle zplyňovací



Obrázek 13: a) Řez zplyňovacím kotlem Verner V45 [30],
b) Řez prohořivacím kotlem Dakon DOR [31]

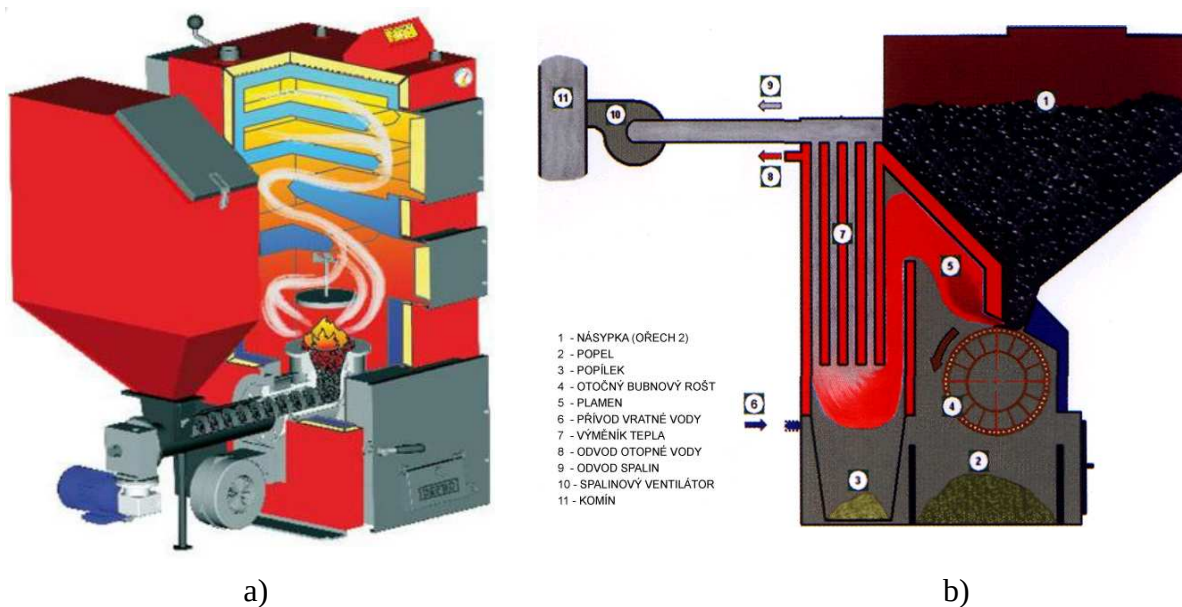
2.3 KOTLE NA UHLÍ

Tyto kotle jsou automatické nebo poloautomatické a fungují na klasickém prohořivacím způsobu. Palivem je zde koks, černé, hnědé uhlí a brikety. Využívají principu spodního odhořívání paliva, které je v násypce. Regulace výkonu je řešena přívodem sekundárního vzduchu pod rošt (otevíráním spodních dvířek) a také přimícháváním sekundárního vzduchu do plamene v zadní části topeniště. Toto vede ke spalování těkavé

složky uvolněné z uhlí a oxidu uhelnatého vzniklého ve vrstvě žhavého uhlí. Nevýhodou těchto kotlů je dehtování a s tím spojené prudké snížení účinnosti. Aby nedocházelo k dehtování je třeba tyto kotle provozovat jen v určitém rozmezí výkonů (od 40 do 110 % jmenovitého výkonu). Jejich účinnost bývá okolo 60 %. [29]

V současné době jsou využívány dva základní druhy kotlů:

- kotle s retortovým hořákem
- kotle s bubnovým hořákem



Obrázek 14: a) Kotel s retortovým hořákem Defro Komfort Eko [32]
b) Kotel s bubnovým hořákem CARBOROBOT [29]

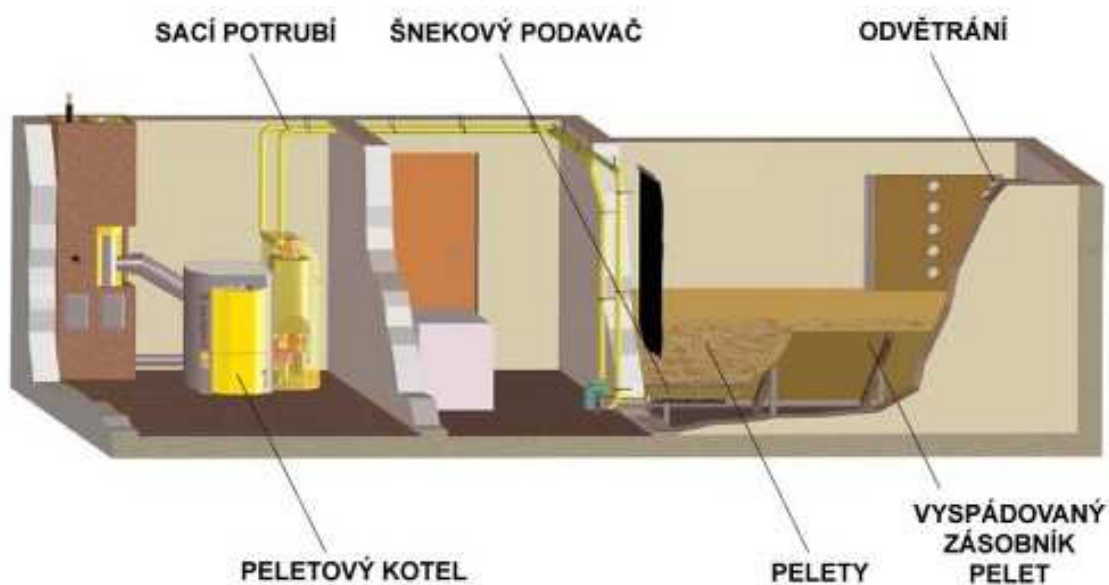
2.4 KOTEL NA PELETY

Peletové kotle jsou určeny především pro vytápění jednoho nebo více rodinných domů, kanceláří nebo dílen. Cena pelet je vyšší než cena kusového dřeva a je to dáno především náročností její výroby. Avšak tato nevýhoda je kompenzována komfortem při vytápění, který se blíží komfortu topení v plynovém kotli.

Pro rodinné domy se peletové kotle vyrábí v rozmezí výkonů od 10 do 30 kW. Mají též dobrou regulaci vháněného vzduchu, kterou lze dosahovat rozsahů teplot od 30 do 100 %. Výhodou těchto kotlů je, že odpadá příprava dřeva a nutnost velkého skladovacího prostoru. Pelety mají dobrou výhřevnost a dobře se též skladují. Uskladněny musí však být v suchu a poblíž kotle. Do kotle se pelety dopravují automaticky šnekovým dopravníkem, nebo je kotel vybaven zásobníkem, který se doplňuje ručně po několika dnech. Pelety se v kotli spalují přímo bez předchozího zplyňování. Podobně jak u většiny kotlů je zde teplonosnou látkou voda. Díky konstrukci se popel z některých kotlů může vybírat přímo za provozu, takže oheň může hořet nepřetržitě od podzimu do jara. [33]



Obrázek 15: Řez peletovým kotlem s integrovaným zásobníkem pelet, lze rozeznat:
 1) volitelná ovládací a indikační jednotka s displejem, 2) mikroprocesor řízeného spalovacího automatu, 3) spalovací komora z vysoce legované oceli, 4) dvířka spalovacího prostoru, 5) popelník, 6) volitelná komfortní technologie pro stlačování popela, 7) spalování se spodním příívodem s retortou z nerezové oceli, 8) opláštění kotle, 9) odhlučněný zásobník se sací turbínou, 10) tepelná izolace kotle, 11) čistící mechanizace, 12) opláštění kotle [34]

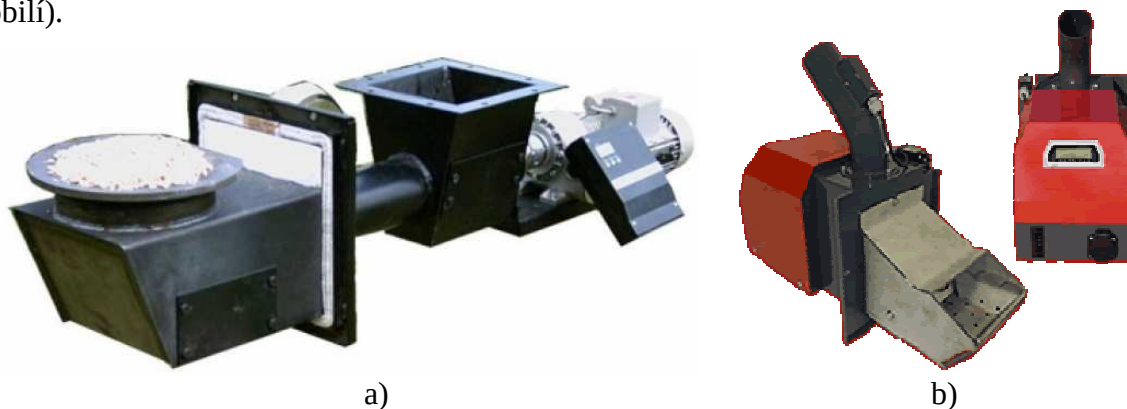


Obrázek 16: Příklad kotelny na pelety [34]

2.4.1 Peletový hořák

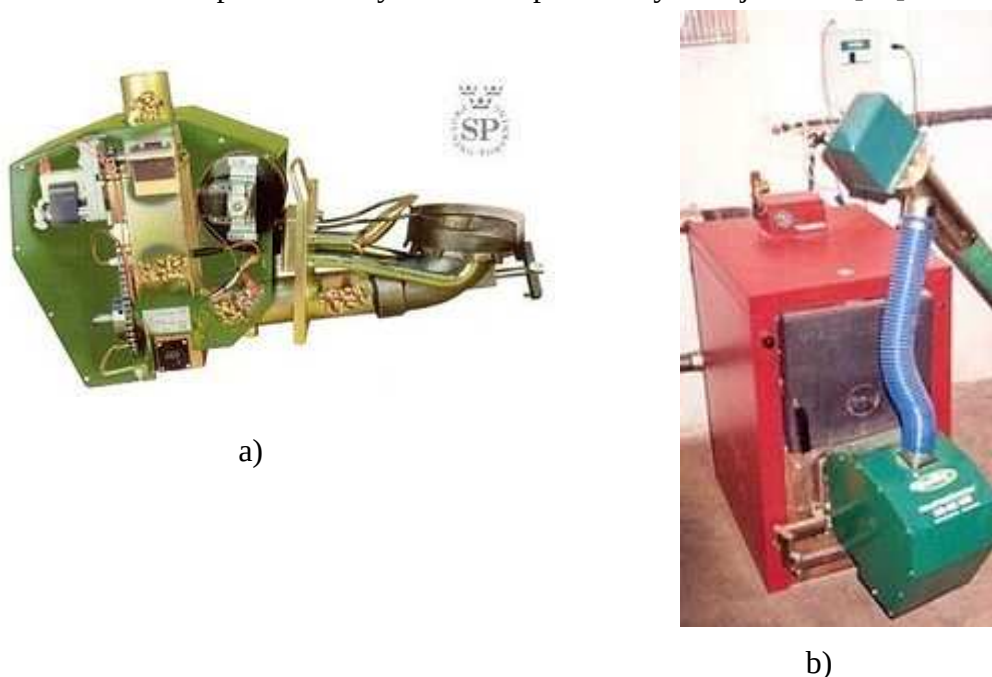
Je jednou z nejdůležitějších součástí kotle na pelety. Základem je jeho konstrukce, kterou se přímo ovlivňuje spotřeba paliva, účinnost zařízení, trvanlivost, tvorba emisí a také se od něj obvykle odvíjí celková cena zařízení. Při výběru kotle je také důležité, aby byl hořák snadno přístupný kvůli pravidelné údržbě nebo výměně. Díky zautomatizovaným hořákům dochází ke kontinuálnímu spalování pelet a k bezobsluhovému odvodu popele. [34]

Kotle mohou mít externí hořáky (jsou určeny ke spalování kvalitních pelet) nebo retortové hořáky (jsou určeny nejen ke spalování dřevních pelet, ale i ke spalování např. obilí).



Obrázek 17: a) Retortový hořák [36], b) Externí hořák firmy Atmos [35]

Za zmínku také stojí patent švédské firmy Sahlins EcoTec AB na peletový retortový hořák, který je možné přimontovat na běžný prohořivací kotel. Pro zkoušku byl vybrán univerzální litinový kotel Viadrus U22, ve kterém lze spalovat více druhů tuhých paliv. „Ve spojení s hořákem EcoTec A3 tak vzniklo zařízení, které svými parametry a kvalitou přispívá k ochraně životního prostředí a výrazně šetří peníze svým majitelům.“[37]



Obrázek 18 [37]: a) Patentovaný hořák na pelety Sahlins EcoTec A3, b) Ukázka přimontování hořáku Sahlins EcoTec A3 na kotel Viadrus U22

2.5 KOTEL NA ŠTĚPKY

Kotle na dřevní štěpku se používají především v automatických kotlích vyšších výkonů pro ústřední vytápění a ohřev vody větších obytných objektů nebo skupin budov. Lze je použít i pro vytápění rodinných domů kde potřebné výkony začínají na 15 kW. Avšak kotel na štěpky je především hospodárnější než kotel na pelety až při vysokých výkonech v řádech stovek kilowat. Spalování štěpky je celkově levnější než spalování pelety, protože u štěpky není potřeba složitá příprava a především dlouhodobé sušení, které cenu citelně zvyšují.



Obrázek 19: Automatický kotel na štěpky [38]

3 Výpočtové porovnání kotlů

Pro závěrečný výpočet byly vybrány kotle značky Viadrus. Kotle budou vybrány podle podobných výkonu a budou srovnávány z hlediska pořizovacích a provozních nákladů pro vytápění a ohřev teplé vody stejného rodinného dom.

3.1 POPIS VYBRANÝCH KOTLŮ

K porovnávacímu výpočtu byly vybrány tyto kotle:

- kotel na spalování kusového dřeva VIADRUS LIGNATOR
- automatický kotel na pelety VIADRUS HERCULES ECO
- zplyňovací kotel na černé uhlí VIADRUS EKORET

3.1.1 Kotel na spalování kusového dřeva VIADRUS LIGNATOR

Lignator je moderní kotel určený k ekologickému spalování kusového dřeva odhořovacím způsobem. Kotel splňuje nejprísnejší evropské ekologické normy a zároveň dosahuje vynikající účinnosti. Kotle je možno použít pouze pro uzavřené systémy s nuceným oběhem topné vody. Povinnou výbavou kotlů určených do uzavřených topných systémů je zabezpečovací zařízení proti přetopení. Výkon těchto kotlů je 13,5 – 34 kW. Jako palivo se používá kusové dřevo o průměru 100 mm s vlhkostí do 20 %.

Dalšími výhodami tohoto kotle jsou:

- vysoká účinnost spalování až 89,6 %
- kvalitní litinový výměník
- vodou chlazené pevné rošty
- jednoduchá obsluha a údržba
- výkon podle počtu článků a z toho plynoucí dodatečná změna výkonu [40]



Obrázek 20: Kotel na spalování kusového dřeva VIADRUS LIGNATOR [40]

Výkon	$P_1 = 25,5 \text{ kW}$
Účinnost	$\eta_1 = 87,7 \%$
Počet článků	8
Spotřeba paliva	$Sp_1 = 6,83 \text{ kg/h}$
Pořizovací cena	70 072,- Kč s DPH [39]

Tabulka 6: Charakteristika kotle Viadrus Lignator

Jako palivo bude použito měkké smrkové a borovicové dřevo délky 50 cm, výhřevnosti $Q_1 = 15,5 \text{ MJ/kg}$ a cenou 2,2 Kč/kg.

3.1.2 Automatický kotel na pelety VIADRUS HERCULES ECO

Kotel HERCULES ECO je určen k úspornému a ekologickému vytápění s požadavky na automatický provoz a minimálními nároky na obsluhu kotle. Díky nízkým emisím byla kotli HERCULES ECO udělena značka „Ekologicky šetrný výrobek“.

Těleso kotle je tvořeno litinovými články, které zaručují jeho vysokou kvalitu a životnost. Kotel má také mnoho bezpečnostních prvků, mezi které patří ohebná propadová hadice zabráňující prohořívání cest a také termostat zabráňující přehřátí otopného systému. Tento nový model obsahuje také automatické zapalování kotle a možnost propojení se solárními systémy. Výkon těchto kotlů je 7 – 42 kW. Jako palivo se používají dřevní pelety s maximální vlhkostí 12 %.

Dalšími výhodami tohoto kotle jsou:

- nízké provozní náklady
- možnost řízení provozu kotle pokojovým přístrojem
- dvě velikosti zásobníku [41]

**Obrázek 21:** Automatický kotel na pelety VIADRUS HERCULES ECO [41]

Výkon	$P_2 = 24 \text{ kW}$
Elektrický příkon	$P_{\text{Ř2}} = 150 \text{ kW}$
Účinnost	$\eta_2 = 83 \%$
Počet článků	5
Spotřeba paliva	$Sp_2 = 4,1 \text{ kg/h}$
Cena kotle	82 632,- Kč s DPH
Cena zásobníku	8 191,- Kč s DPH
Pořizovací cena	90 823,- Kč s DPH [39]

Tabulka 7: Charakteristika kotle Viadrus Hercules Eco

Jako palivo budou použity dřevěné pelety z borovice zrnitosti 6 – 8 mm, s vlhkostí 7,8 %, výhřevností $Q_2 = 18 \text{ MJ/kg}$ a cenou 5,4 Kč/kg.

3.1.3 Zplyňovací kotel na černé uhlí VIADRUS EKORET

Kotel EKORET je určen k úspornému vytápění, u něhož je kladen důraz na automatický provoz a minimální nároky na obsluhu. Hlavní částí kotle je litinový výměník zaručující vysokou životnost kotle. Přisun paliva do hořáku je proveden šnekovým podavačem ze zásobníku kotle přes retortu na litinový rošt. Kotel je chráněn proti prohoření teplotním čidlem v rouře šneku, bezpečnostním termostatem proti přehřátí otopného systému a také tavnou tepelnou pojistkou umístěnou v zásobníku kotle. Výkon těchto kotlů je 4,5– 25 kW. Jako palivo se používají dřevní pelety, černé uhlí, hnědé uhlí. Pro srovnávací výpočet je bráno jako palivo černé uhlí.

Dalšími výhodami tohoto kotle jsou:

- automatická regulace podavače paliva, čerpadla ohřívače vody, oběhového čerpadla, ventilátoru se škrtkovací klapkou
- nízké provozní náklady
- možnost regulace kotle pokojovým přístrojem
- dvě velikosti zásobníku [42]



Obrázek 22: Automatický kotel na pelety VIADRUS EKORET [42]

Výkon	$P_3 = 25 \text{ kW}$
Elektrický příkon	$P_{\text{Ř3}} = 230 \text{ kW}$
Účinnost	$\eta_3 = 86,4 \%$
Počet článků	4
Spotřeba paliva	$Sp_3 = 4,14 \text{ kg/h}$
Velikost zásobníku	528 l
Pořizovací cena	124 799,- Kč s DPH [39]

Tabulka 8: Charakteristika kotle Viadrus Ekoret

Jako palivo bude použito černé uhlí - hrášek (které má nízkou hodnotu popela a síry) zrnitosti 10 – 18 mm, s vlhkostí do 12 %, výhřevností $Q_3 = 26 \text{ MJ/kg}$ a cenou 4,9 Kč/kg.

3.2 VÝPOČET NÁKLADŮ JENDOTLIVÝCH KOTLŮ

Pro výpočet nákladů na vytápění a ohřev teplé vody byl podle internetového serveru „vytapani.tzb-info.cz“ [43] zvolen rodinný dům v Dolní Lhotě okres Blansko, kde:

- délka topného období je 241 dnů,
- průměrná teplota během otopného období $t_{\text{es}} = 3,7 \text{ °C}$,
- tepelné ztráty objektu $Q_z = 17,5 \text{ kW}$,
- průměrná vnitřní teplota $t_{\text{is}} = 19 \text{ °C}$,
- teplota studené vody $t_1 = 10 \text{ °C}$,
- teplota teplé vody $t_2 = 55 \text{ °C}$,

Potom celková roční spotřeba energie je $Q_{\text{rok}} = 168.7 \text{ GJ} = 46.9 \text{ MWh}$.

U každého kotle nejprve spočítáme provozní dobu $T_i = \frac{Q_{\text{rok}}}{P_i \cdot Ph} [\text{h}]$, kde $P_i [\text{W}]$ je výkon kotle a $T_o [\text{h}]$ je délka topného období v hodinách $T_o = 241 \cdot 24 = 5784 \text{ h}$.

Dále spočítáme spotřebu elektrické energie $S_{\text{Ei}} = P_{\text{Ři}} \cdot 10^{-3} \cdot T_i [\text{kWh}]$, kde $P_{\text{Ři}} [\text{W}]$ je příkon elektrické energie daného kotle. Danou spotřebu vynásobíme cenou elektrické energie $C_E [\text{Kč/kWh}]$, která se pohybuje v průměru okolo 5,2 Kč/kWh.

Dále určíme celkovou roční hmotnost spotřebovaného paliva a následně jeho cenu, budeme přitom vycházet z roční spotřeby energie Q_{rok} .

$$m_i = \frac{Q_{\text{rok}}}{Q_i \cdot \eta_i \cdot 10^{-2}} [\text{kg}], \text{ kde}$$

$m_i [\text{kg}]$ je celková roční hmotnost spotřebovaného paliva,

$Q_{\text{rok}} [\text{J}]$ je celková roční spotřeba energie,

$Q_i [\text{J/kg}]$ je výhřevnost daného paliva,

$\eta_i [\%]$ je účinnost daného kotle

3.2.1 Celkové náklady na vytápění kotlem VIADRUS LIGNATORZnamé hodnoty:

$$P_1 = 25,5 \cdot 10^3 \text{ W}$$

cena paliva: $C_{P1} = 2,20 \text{ Kč/kg}$

$$Q_{\text{rok}} = 16 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$Q_1 = 15,5 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$\eta_1 = 87,7 \%$$

$$T_o = 5784 \text{ h}$$

Výpočet roční spotřeby paliva:

$$m_1 = \frac{Q_{\text{rok}}}{Q_1 \cdot \eta_1 \cdot 10^{-2}} = \frac{168 \cdot 10^9}{15,5 \cdot 10^6 \cdot 87,7 \cdot 10^{-2}} = 12\,358 \text{ kg}$$

Výpočet ročních nákladů na palivo:

$$N_{P1} = m_1 \cdot C_{P1} = 12\,358 \cdot 2,20 = 27\,189,5 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na vytápění:

$$N_{C1} = N_{P1} = 27\,189 \text{ Kč}$$

3.2.2 Celkové náklady na vytápění kotlem VIADRUS HERCULES ECOZnamé hodnoty:

$$P_2 = 24 \cdot 10^3 \text{ W}$$

cena paliva: $C_{P2} = 5,40 \text{ Kč/kg}$

$$P_{\text{Ř2}} = 150 \text{ W}$$

cena elektrické energie: $C_E = 5,2 \text{ Kč/kWh}$

$$Q_{\text{rok}} = 168 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$Q_2 = 18 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$\eta_2 = 83 \%$$

$$T_o = 5784 \text{ h}$$

Provozní doba kotle:

$$T_2 = \frac{Q_{\text{rok}}}{P_2 \cdot T_o} = \frac{168 \cdot 10^9}{24 \cdot 10^3 \cdot 5784} = 1\,210 \text{ h}$$

Spotřeba elektrické energie:

$$S_{E2} = P_{\text{Ř2}} \cdot 10^{-3} \cdot T_2 = 150 \cdot 10^{-3} \cdot 1\,210 = 181,5 \text{ kWh}$$

Celkové roční náklady na elektrickou energii:

$$N_{E2} = S_{E2} \cdot C_E = 181,5 \cdot 5,2 = 983,8 \text{ Kč}$$

Výpočet roční spotřeby paliva:

$$m_2 = \frac{Q_{\text{rok}}}{Q_2 \cdot \eta_2 \cdot 10^{-2}} = \frac{168 \cdot 10^9}{18 \cdot 10^6 \cdot 83 \cdot 10^{-2}} = 11\,245 \text{ kg}$$

Výpočet ročních nákladů na palivo:

$$N_{P2} = m_2 \cdot C_{P2} = 11\,245 \cdot 5,40 = 60\,723 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na vytápění:

$$N_{C2} = N_{E2} + N_{P2} = 983,8 + 60\,723 = 61\,707 \text{ Kč}$$

3.2.3 Celkové náklady na vytápění kotlem VIADRUS EKORETZnamé hodnoty:

$$P_3 = 25 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$P_{\dot{R}3} = 230 \text{ W}$$

$$Q_{\text{rok}} = 168 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$Q_3 = 26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$\eta_3 = 86,4 \%$$

$$T_0 = 5784 \text{ h}$$

cena paliva: $C_{P3} = 4,90 \text{ Kč/kg}$ cena elektrické energie: $C_E = 5,2 \text{ Kč/kWh}$

Provozní doba kotle:

$$T_3 = \frac{Q_{\text{rok}}}{P_3 \cdot T_0} = \frac{168 \cdot 10^9}{25 \cdot 10^3 \cdot 5784} = 1\,162 \text{ h}$$

Spotřeba elektrické energie:

$$S_{E3} = P_{\dot{R}3} \cdot 10^{-3} \cdot T_3 = 230 \cdot 10^{-3} \cdot 1\,162 = 267,3 \text{ kWh}$$

Celkové roční náklady na elektrickou energii:

$$N_{E3} = S_{E3} \cdot C_E = 267,3 \cdot 5,2 = 1\,390 \text{ Kč}$$

Výpočet roční spotřeby paliva:

$$m_3 = \frac{Q_{\text{rok}}}{Q_3 \cdot \eta_3 \cdot 10^{-2}} = \frac{168 \cdot 10^9}{26 \cdot 10^6 \cdot 86,4 \cdot 10^{-2}} = 7\,479 \text{ kg}$$

Výpočet ročních nákladů na palivo:

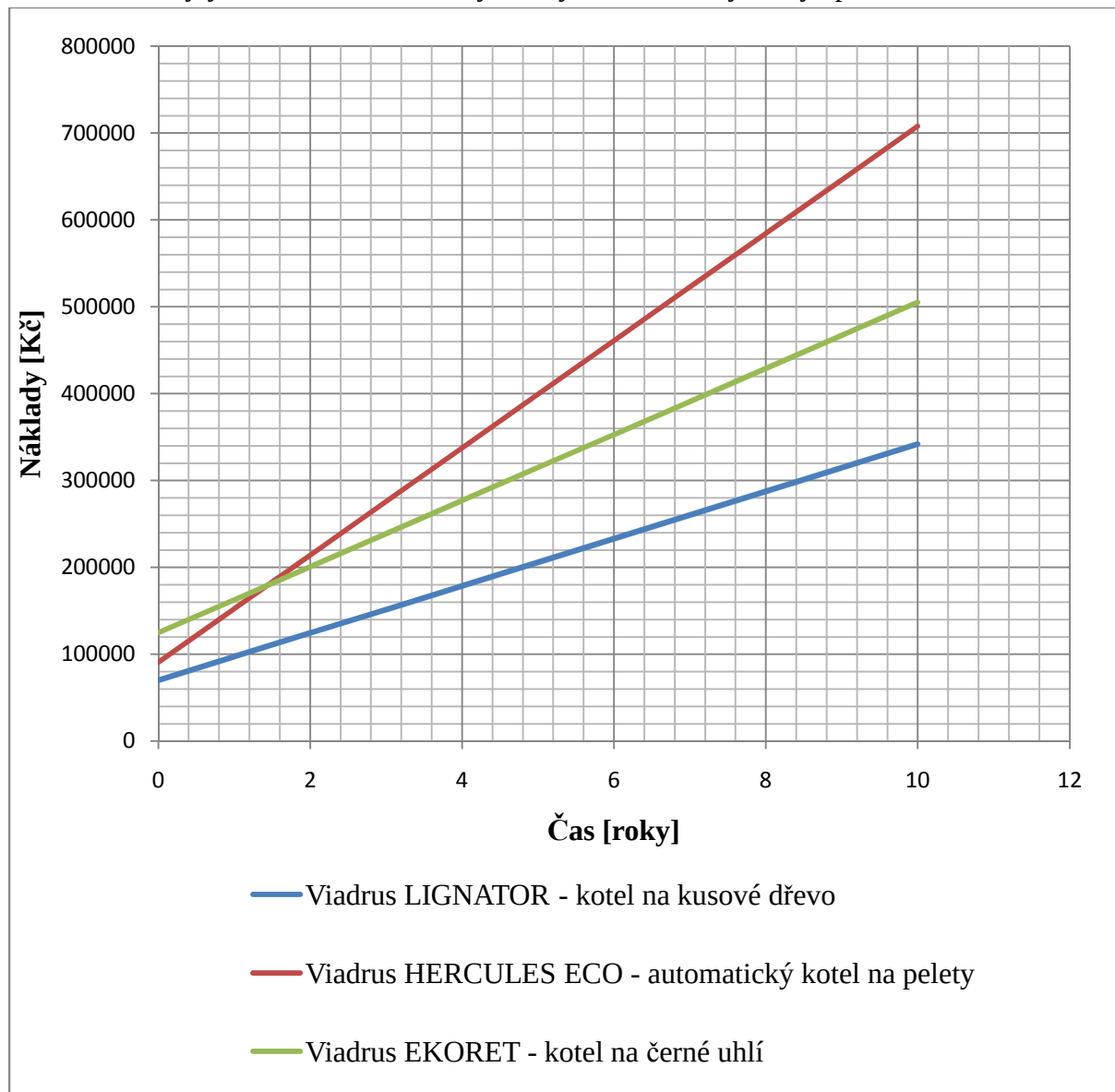
$$N_{P3} = m_3 \cdot C_{P3} = 7\,479 \cdot 4,9 = 36\,645 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na vytápění:

$$N_{C3} = N_{E3} + N_{P3} = 1\,390 + 36\,645 = 38\,035 \text{ Kč}$$

3.3 ZÁVĚREČNÉ GRAFICKÉ POROVNÁNÍ

Do závěrečného porovnávacího grafu byly vyneseny pořizovací náklady jednotlivých kotlů, k nimž byly také na dobu 10 let vyneseny roční náklady na vytápění.



Obrázek 24: Grafické znázornění ročních nákladů jednotlivých kotlů

Z grafu jednoznačně vyplývá, že nejnižší pořizovací a současně provozní náklady má kotel na spalování kusového dřeva Viadrus LIGNATOR, jehož náklady na koupi a desetiletý provoz jsou 341 962 Kč. Kotel na spalování černého uhlí Viadrus EKORET, jehož náklady na koupi a desetiletý provoz jsou 505 149 Kč, má z porovnávaných kotlů nejvyšší pořizovací náklady, avšak jak z grafu vyplývá po zhruba roce a půl začnou být celkové náklady na pořízení a na provoz nižší než u kotle na pelety Viadrus HERCULES ECO, jehož náklady na koupi a desetiletý provoz činí 707 893 Kč.

Závěr

Rostoucí význam biomasy jako paliva je dán snahou řady zemí využít veškerý její potenciál a hlavně zmírnit závislost evropských zemí na dovozu tuhých fosilních paliv, jejichž zásoby se nenávratně ztenčují. Pěstování a zpracování biomasy patří mezi nové a perspektivní obory podnikání, které přispívají ke zniku nových pracovních příležitostí. V současné době se velká pozornost věnuje pěstování rychlorostoucích energetických plodin, což jsou rostliny, která mají velké přírůstky hmoty za krátké časové období. Používání biomasy jako tuhé palivo má mnoho pozitivních vlastností, mezi které patří např. šetrnější chování k životnímu prostředí, snadná dostupnost a pěstování. Avšak pro vytápění rodinného domu vychází ekonomicky přijatelněji spalování tuhých fosilních paliv. Je to dáno také tím, že kotle na fosilní paliva mají jednodušší konstrukci a z toho plynoucí nižší cenu. Státní dotace mohou však počáteční náklady na koupi kotlů na biomasu viditelně snížit, čehož využilo mnoho současných majitelů těchto kotlů.

Ze závěrečného srovnání tří vybraných kotlů vychází jako nejekonomičtější kotel na spalování dřeva, jehož pořizovací i provozní náklady byly nejnižší. Z hlediska komfortu, ať už se jedná o četnost přikládání, vynášení popelu, automatické regulaci teploty, se jako nejlepší jeví automatické kotle na pelety a na černé uhlí. Kotel na černé uhlí však patří mezi velké znečišťovatele životního prostředí, jelikož se při spalování uhlí uvolňuje do ovzduší velké množství síry.

Konečný srovnávací graf je třeba brát s rezervou, obzvláště zjednodušený výpočet nákladů na provoz kotle na 10 let, protože ve výpočtu nebyly zohledněny stále se zvyšující ceny tuhých paliv a elektrické energie. Rovněž zde nebyly zahrnuty náklady na údržbu nebo případné opravy způsobené stárnutím kotle, které jsou však pro všechny kotle podobné.

Seznam použité literatury

- [1] LANDA, S.: Paliva a jejich použití. 2. rozš.vyd., Praha: SNTL, 1956, 362 s.
- [2] OCHRANA, L.: Kotle a výměníky tepla. 1. vyd., Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2004, 85 s. ISBN 80-214-2847-3
- [3] Jandačka, J. a kol.: Biomasa ako zdroj energie. Žilina 2008, ISBN 978-80-969161-3-9
- [4] KOLONIČNÝ, J., BOGOCZOVÁ, V., HORÁK, J.: Postupy správného topení, VŠB-TUO, Ostrava, 2010, 130 s.,[online], [cit. 2012-02-24], Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/Topeni.pdf>>, ISBN 978-80-248-2255-6
- [5] WWW stránky tzbinfo: Porovnání spalovacích vlastností jednotlivých druhů paliv a energií. tzb-info.cz [online].2004-05-26 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzbinfo.cz/prehled-cen-elektricke-energie>>
- [6] NOSKIEVIČ, P., KOLONIČNÝ, J., OCHODEK, T.: Malé zdroje znečišťování. ČEA, Praha 2004 120 str..
- [7] STRAŠIL, Zdeněk, ŠIMON, Josef: Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice ČR. Biom.cz [online]. 2009-04-20 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- [8] KOLONIČNÝ, Jan: Emise při spalování biomasy. Biom.cz [online]. 2010-06-07 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.
- [9] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Palivo [online]. [cit. 24. 02. 2012].Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Palivo&oldid=8177764>>
- [10] WWW stránky tzbinfo: Výhřevnosti paliv. tzb-info.cz [online]. [cit. 2012-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>>
- [11] BALÁŠ, Marek: Graf závislosti výhřevnosti biomasy na vlhkosti. Biom.cz. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/obrazek/graf-zavislosti-vyhrevnosti-biomasy-na-vlhkosti>>
- [12] WWW stránky tzbinfo.cz: Přehled energetických plodin, jejich vlastnosti a přepočty jednotek. Tzb-info.cz [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/98-prehled-energetickych-plodin-jejich-vlastnosti-a-prepocty-jednotek>
- [13] Firemní WWW stránky Ondřej Janovský - Zahradnické práce: Drcení, štěpkování. zahradnickepracejanovsky.cz. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <http://zahradnickepracejanovsky.cz/janovsky/cs/drceni-stepkovani.html>
- [14] ROUB94EK, V., BUCHTELE, J.: Uhlí Zdroje-Procesy-Užití. Ostrava: Montanex, 2002
- [15] Firemní WWW stránky Mikeš – Zahradní a komunální technika: Štěpkovač Jensen A 328. mikes-cz.eu. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <http://www.mikes-cz.eu/jensen/stepkovac-A-328.php>
- [16] Firemní WWW stránky Epellet: Pelety. epellet.com. [online]. [cit. 2012- 02-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.epellet.com/pelety/>>

- [17] Firemní WWW stránky JILOS HORKA, s.r.o.: Dřevěné brikety. <http://www.jilos.cz/>. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <http://www.jilos.cz/drevene-brikety>
- [18] STUPAVSKÝ, Vladimír: Pelety z biomasy - dřevěné, rostlinné, kůrové pelety. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] Firemní WWW stránky Skořupa: Briketovací lis AGROLIS Duo. akunradi.cz. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <http://www.akunradi.cz/briketovaci-lis-agrolis-duo/d-70599/>
- [20] Firemní WWW stránky Cronimo s.r.o.: Peletovací lisy. malotraktorysilesia.cz. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <http://www.malotraktorysilesia.cz/peletovaci-lisy>
- [21] WWW stránky Fosilní paliva. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://filip-sellner.byl.cz/sem>>
- [22] WWW stránky Černé uhlí. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.cerneuhli.cz/>>
- [23] JIRÁSEK, J.: Hnědé uhlí. geologie.vsb.cz. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/energysur/hnedé%20uhlí.html>>
- [24] WWW stránky Peat. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://www1.newark.ohiostate.edu/Professional/OSU/Faculty/jstjohn/Common%20rocks/Peat.htm>>
- [25] WWW stránky Vytápění rodinných domů. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.vytapeni-rodinnych-domu.cz/tuha-fosilni-paliva>>
- [26] Firemní WWW stránky Kamnářství Hunal: Galerie realizací - krb č. 03. krbyhunal.cz. [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.krbyhunal.cz/index.html>>
- [27] Firemní WWW stránky Krby komplet: Galerie. krbykomplet.cz. [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.krbykomplet.eu/galerie.html>>
- [28] MĚCHURA, Petr: Nejúčinnější ekologický zdroj tepla pro vytápění rodinných domků. Biom.cz [online]. 2010-08-04 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nejucinnejsi-ekologicky-zdroj-tepla-pro-vytapeni-rodinnych-domku>>. ISSN: 1801-2655.
- [29] WWW stránky Hestia energetika. Zdroje tepla pro vytápění. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/6.htm>>
- [30] STUPAVSKÝ, Vladimír: Zplynovací kotel na kusové dřevo, polena a dřevěné brikety. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovaci-kotel-na-kusove-drevo-polena-a-drevene-brikety>>. ISSN: 1801-2655.
- [31] WWW stránky Levné topení kvalitně. Kotel Dakon DOR. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://levne-topeni.kvalitne.cz/dakon/kotel-dor.php>>
- [32] Firemní WWW stránky Bohemia Solar s.r.o.: DEFRO automatické kotle. bohemia-solar.cz krbykomplet.cz. [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW:

- < <http://krby.bohemia-solar.cz/defro-kompakt-kompakt-max-automaticke-uhelne-kotle/>>
- [33] STUPAVSKÝ, Vladimír: Kotel na pelety - peletový kotel pro ústřední vytápění. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-pelety-peletovy-kotel-pro-ustredni-vytapeni>>. ISSN: 1801-2655.
- [34] STUPAVSKÝ, Vladimír: Peletové vytápěcí soustavy pro rodinné domy. Tzbinfo.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/peletky/6170-peletove-vytapeci-soustavy-pro-rodinne-domy>>
- [35] Firemní WWW stránky Atmos: Zplynovací kotle s hořákem na dřevěné pelety. atmos.cz. [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: < <http://www.atmos.cz/czech/kotle-009/>>
- [36] Firemní WWW stránky Boháč - Kotle, které hřejí: Hořák na pelety. automatickekotle.cz. [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: < http://www.automatickekotle.cz/_cz/>
- [37] JANEČEK, Josef: Švédské hořáky firmy Sahlins EcoTec AB na spalování dřevních pellet. tbzinfo.cz. [online]. 2002-04-23 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/962-svedske-horaky-firmy-sahlins-ecotec-ab-na-spalovani-drevnich-pelet>>
- [38] Firemní WWW stránky EkoWATT: Automatický kotel na štepku. ekowatt.cz [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z WWW: < <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>>
- [39] Firemní WWW stránky VIADRUS: Ceníky a dokumenty. viadrus.cz [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: http://www.viadrus.cz/web/document/cms_library/204.pdf>
- [40] Firemní WWW stránky VIADRUS: Kotle na tuhá paliva a plyn. viadrus.cz [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: < [http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-80.html?do\[loadData\]=1&itemKey=cz_16](http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-80.html?do[loadData]=1&itemKey=cz_16)>
- [41] Firemní WWW stránky VIADRUS: Kotle na tuhá paliva a plyn. viadrus.cz [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: < [http://www.viadrus.cz/web/structure/automaticky-provoz-69.html?do\[loadData\]=1&itemKey=cz_1](http://www.viadrus.cz/web/structure/automaticky-provoz-69.html?do[loadData]=1&itemKey=cz_1)>
- [42] Firemní WWW stránky VIADRUS: Kotle na tuhá paliva a plyn. viadrus.cz [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: < [http://www.viadrus.cz/web/structure/automaticky-provoz-69.html?do\[loadData\]=1&itemKey=cz_2](http://www.viadrus.cz/web/structure/automaticky-provoz-69.html?do[loadData]=1&itemKey=cz_2)>
- [43] WWW stránky tzbinfo: Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. tzbinfo.cz [online]. 2005-09-19 [cit. 2012-03-08]. Dostupné z WWW: < <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>>
- [44] STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655.

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Popis	Jednotka
A^r	Obsah popeloviny v palivu	[%]
W^r	Obsah vody v palivu	[%]
h	Obsah hořlaviny v palivu	[%]
Q_s	Spalné teplo	[MJ · kg ⁻¹]
Q_i	Výhřevnost paliva	[MJ · kg ⁻¹]
Q_v	Výparné teplo vody	[MJ · kg ⁻¹]
W	Obsah vody v palivu	[-]
H_2	Obsah vodíku v surovém palivu	[-]
m_n	Hmotnostní podíl n-tého paliva	[kg · kg ⁻¹]
Q_{in}^r	Výhřevnost dílčího paliva	[kJ · kg ⁻¹]
$\bar{S}$	Měrná sirnatost	[gS · MJ ⁻¹]
S	Obsah síry v palivu	[g · MJ ⁻¹]
m_1	Hmotnost vzorku surové dřevěné hmoty	[kg]
m_2	Hmotnost vzorku po vysušení	[kg]
P_1	Výkon kotle	[kW]
$P_{\check{R}i}$	Elektrický příkon kotle	[W]
η_i	Účinnost kotle	[%]
Sp_i	Spotřeba paliva	[kg · h ⁻¹]
T_o	Délka topného období	[h]
T_i	Provozní doba kotle	[h]
S_{Ei}	Spotřeba elektrické energie	[kWh]
C_E	Cena elektrické energie	[Kč · kWh ⁻¹]
m_i	Celková roční hmotnost spotřebovaného paliva	[kg]
Q_{rok}	Celková roční spotřeba energie	[GJ] = [MWh]
C_{Pi}	Cena paliva	[Kč · kg ⁻¹]
N_{Pi}	Roční palivové náklady	[Kč]
N_{Ei}	Roční náklady na elektrickou energii	[Kč]
N_{Ci}	Celkové roční náklady na vytápění	[Kč]
t_{es}	Průměrná teplota během otopného období	[°C]
t_{is}	Průměrná vnitřní teplota	[°C]
Q_z	Tepelné ztráty objektu	[kW]
t_1	Teplota studené vody	[°C]
t_2	Teplota teplé vody	[°C]