



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KOTLE NA TUHÁ PALIVA

SOLID FUELS BOILERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR ŠMEJKAL

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): Petr Šmejkal

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:

Solid fuels boilers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V devadesátých letech minulého století byla celá naše republika za bohaté státní podpory téměř zcela plynofikována. V poslední době se však, především díky ceně ZP, mnoho lidí vrací k využívání tuhých paliv pro vytápění RD. Práce si klade za cíl zmapovat možnosti vytápění tuhými palivy a jejich ekonomické a ekologické dopady.

Cíle bakalářské práce:

- 1/Provést rešerši o tuhých palivech - druhy, vlastnosti...
- 2/ zmapovat trh s kotli na tuhá paliva pro vytápění RD
- 3/ provést porovnávací výpočet mezi vybranými kotli

Seznam odborné literatury:

Baláš, M.: Kotle a výměníky tepla. VUT v Brně 2009

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

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

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá spalováním tuhých paliv v kotlích pro vytápění rodinných domů. V první kapitole jsou popsány jednotlivé druhy tuhých paliv z hlediska jejich složení, vlastností, způsobů využití k energetickým účelům a jejich úpravy do podoby vhodné ke spalování. Ve druhé kapitole jsou popsány jednotlivé druhy zařízení pro spalování tuhých paliv. Poslední kapitola se zabývá porovnáním vybraných kotlů z hlediska pořizovacích nákladů a nákladů na jejich provoz.

Klíčová slova

tuhá paliva, biomasa, fosilní paliva, štěpka, pelety, brikety, kotle na tuhá paliva, spalování

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with burning solid fuels in boilers used for house heating. In the first chapter, the individual kinds of solid fuels are described in light of their composition, properties, means of their energetical application and ways of adjusting them to a form proper for combustion. In the second chapter, the individual types of solid fuels boilers are described. The last chapter deals with comparison of several specific boilers in light of their purchase price and operating expenses.

Key words

solid fuels, biomass, fossil fuels, wood chips, pellet, briquet, solid fuels boilers, combustion

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠMEJKAL, P. *Kotle na tuhá paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 40 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 bakalářské práce a s užitím uvedených podkladů a odborné literatury.

V Brně dne 27.5.2011

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za přínosné rady a připomínky v průběhu tvorby této práce.

Obsah

ÚVOD.....	10
1 TUHÁ PALIVA.....	11
1.1 BIOMASA.....	11
1.1.1 Biomasa z energetických plodin.....	12
1.1.2 Biomasa odpadní.....	12
1.2 FOSILNÍ PALIVA.....	12
1.2.1 Rašelina.....	13
1.2.2 Hnědé uhlí.....	13
1.2.3 Černé uhlí.....	13
1.2.4 Koks.....	14
1.3 CHEMICKÉ SLOŽENÍ TUHÝCH PALIV.....	14
1.4 VLASTNOSTI TUHÝCH PALIV.....	14
1.4.1 Popis složek paliva a jejich vliv na spalování.....	14
1.4.2 Spalné teplo paliva.....	15
1.4.3 Výhřevnost paliva.....	15
1.4.4 Ostatní vlastnosti paliva.....	17
1.5 ZPŮSOBY VYUŽÍVÁNÍ TUHÝCH PALIV PRO ENERGETICKÉ ÚČELY.....	17
1.5.1 Termochemická přeměna biomasy.....	17
1.5.2 Biochemická přeměna biomasy.....	17
1.5.3 Fyzikálněchemická přeměna biomasy.....	17
1.5.4 Spalování fosilních paliv.....	18
1.6 ÚPRAVA TUHÝCH PALIV A JEJICH MECHANICKÉ ZPRACOVÁNÍ.....	18
1.6.1 Sušení.....	18
1.6.2 Úprava dřeva.....	19
1.6.3 Lisování stébelnin do balíků.....	20
1.6.4 Úprava paliva na pelety a brikety.....	21
1.7 EKOLOGIE SPALOVÁNÍ TUHÝCH PALIV.....	22
2 KOTLE NA TUHÁ PALIVA.....	24
2.1 TEPLOVODNÍ KOTLE NA DŘEVO A BRIKETY.....	24
2.2 KOTLE NA PELETY.....	26
2.3 KOTLE NA UHLÍ.....	28
2.4 KOTLE NA ŠTĚPKU.....	29
2.5 KOTLE NA SPALOVÁNÍ BALÍKŮ SLÁMY.....	29
3 POROVNÁVACÍ VÝPOČET KOTLŮ.....	30
3.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH POROVNÁVANÝCH KOTLŮ.....	30
3.1.1 Zplyňovací kotel na dřevěné brikety (příp. dřevo) ATMOS DC24RS.....	30
3.1.2 Kotel na pelety ATMOS D 45 P.....	31
3.1.3 Zplyňovací kotel na černé uhlí ATMOS AC25S.....	32
3.2 VÝPOČET CELKOVÝCH NÁKLADŮ JEDNOTLIVÝCH KOTLŮ.....	32
3.2.1 Celkové náklady na vytápění kotlem ATMOS DC24RS.....	33
3.2.2 Celkové náklady na vytápění kotlem ATMOS D 45 P.....	33
3.2.3 Celkové náklady na vytápění kotlem ATMOS AC25S.....	34
3.3 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ A ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ.....	35
ZÁVĚR.....	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY.....	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	40

Úvod

Mezi tuhá paliva lze řadit uhlí, biomasu a nebo různé odpady, které mohou být užívány k výrobě tepla nebo elektřiny. V poslední době se v této oblasti stává stále častěji zmiňovanou právě biomasa, která je považována, narozdíl od fosilních paliv, za ekologický a obnovitelný zdroj energie. Ekologičnost biomasy spočívá v její nulové bilanci kysličníku uhličitého uvolněného do ovzduší při jejím spalování. Může zde sice docházet i k uvolňování určitého množství škodlivin, ale jejich množství je řízeno způsobem spalování. Navíc u biomasy „obvykle jde o domácí zdroje, takže produkce a zpracování vytváří nové pracovní příležitosti a podporuje rozvoj podnikání.“ [10]

Lidé, kteří mají možnost volby způsobu vytápění svého domu se v poslední době, především z důvodu zvyšující se ceny zemního plynu, často vrací k využívání těchto tuhých paliv pro vytápění rodinných domů.

Cílem práce je popsat jednotlivé druhy tuhých paliv, jejich vlastnosti, ekonomické a ekologické dopady a možnosti vytápění těmito palivy v rodinných domech kotli na tuhá paliva.

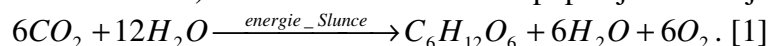
1 Tuhá paliva

Pro výrobu energie jsou využívány různé druhy paliv, které lze rozdělit na kapalná (např. benzín, motorová nafta), plynná (např. vodík, zemní plyn) a tuhá. Tuhá paliva jsou různé druhy pevných látek vhodného chemického složení, které jsou užívány jako prostředek k výrobě energie, k čemuž většinou dochází jejich spalováním. Dále budou blíže popsány různé formy biomasy (např. dřevo, zbytky rostlin, odpady) a fosilní paliva (uhlí, koks apod.).

Přestože fosilní paliva jsou vlastně stejného původu jako biomasa, nejsou za biomasu považovány, protože sluneční energie se v nich nahromadila již před miliony let a uhlík v nich obsažený tak velmi dlouhou dobu nebyl účasten koloběhu uhlíku v přírodě. Jeho uvolnění spalováním tedy negativně ovlivňuje složení atmosféry a zvyšuje účinky skleníkového efektu. Oproti tomu oxid uhličitý uvolněný při spalování biomasy životní prostředí nezatěžuje, protože se jedná pouze o množství, které rostlina nashromáždila za svého života v geologicky současné době a toto množství je tak spalováním pouze „navráceno“ zpět do ovzduší. Fosilní paliva také, narozdíl od biomasy, nejsou obnovitelným zdrojem energie a jejich zásoby jsou vyčerpateľné. Z těchto důvodů je v poslední době snahou alespoň částečně nahradit energii získávanou z fosilních paliv různými alternativními obnovitelnými zdroji energie, např. zmíněnou biomasou. [43]

1.1 Biomasa

Jako biomasa jsou označovány organické látky tvořící těla živých organismů, tedy jak především z pohledu energetiky významnějších rostlin, tak ale i živočichů, hub nebo bakterií, a pak také produkty živočišného původu nebo třeba odpady. Tyto látky pak lze použít jako palivo při výrobě elektřiny a tepla. Energie biomasy má svůj původ ve fotosyntéze, tedy procesu, při kterém rostliny za využití energie Slunečního záření a barviva chlorofilu přeměňují oxid uhličitý obsažený v atmosféře na glukózu a jiné organické látky potřebné ke svému životu a jako odpadní produkt uvolňují do atmosféry kyslík (ten však nepochází ze zmiňovaného oxidu uhličitého, ale z vody, což v roce 1941 dokázali chemici Sam Ruben a Martin Kamen). Tuto chemickou reakci popisuje následující rovnice:



Tímto je v biomase zachycena část Sluneční energie, kterou pak můžeme jejím spálením zase uvolnit a vhodně využít. Biomasa je považována za obnovitelný zdroj energie, což je kategorie, do které spadají všechny samovolně se obnovující formy energie, které jsou přímo nebo nepřímo spjaty s energií Slunce, a také se sem řadí energie geotermální.

Ačkoli pěstování biomasy je pro člověka známé již tisíce let, její energetické využití je relativně novým odvětvím.

Biomasu lze dělit podle různých kritérií. Např. dle původu se dělí na:

- rostlinnou,
- živočišnou,
- odpadní.

Dle zdroje vzniku lze biomasu dělit na:

- lesní biomasu – palivové dřevo, kořeny, kůra, piliny atd.,
- zemědělskou biomasu, kterou lze dále dělit na:
 1. fytomasu – např. obilná sláma, obilí, konopí atd.,
 2. živočišnou biomasu – např. exkrementy, odpady,
- průmyslové a komunální odpady.

Důležité však u biomasy bude dělení **dle energetického využití**, podle kterého biomasu dělíme na:

- biomasu pěstovanou záměrně k energetickému využití (energetické plodiny),
- biomasu odpadní.

1.1.1 Biomasa z energetických plodin

Energetické plodiny jsou pěstovány cíleně k produkci biomasy, která je určena k využití v energetickém průmyslu. K tomu, aby však rostliny bylo vůbec pro tento účel výhodné pěstovat, musí disponovat určitými specifickými vlastnostmi, které je činí z hlediska využitelnosti v energetice vhodnými. Těmito vlastnostmi jsou např. [1]:

- vysoká primární produkce,
- velký obsah sušiny (nízká vlhkost) v době sklizně,
- vysoká výhřevnost a nízký obsah popela,
- nenáročnost na vodu a živiny,
- odolnost proti chorobám a škůdcům atd.

Energetické plodiny se dělí na byliny a dřeviny. Energetické byliny jsou rostliny s nedřevnatým stonkem a dále se dělí na jednoleté (např. konopí seté, laskavec, sléz atd.), víceleté (slunečnice, čičorka apod.) a trávy. Energetické dřeviny jsou dřevnaté rostliny s významným hmotovým přírůstkem a krátkou obmětní dobou (doba od počátku růstu stromu k jeho pokácení). Jsou to např. vrby a topoly.

„Rostliny, které se u nás zatím nepěstovaly, je nutno schválit. Na pěstování vybraných energetických rostlin lze také získat dotace od MZe.“ [1]

1.1.2 Biomasa odpadní

„Jedná se o biomasu, která již byla člověkem nějak (jinak než energeticky) využita, nebo která slouží primárně k jiným účelům, než je produkce energie.“ [1] Jedná se např. o [1]:

- rostlinné odpady ze zemědělské výroby,
- odpady z údržby krajiny či sadů (prořezy, křoviny a náletové dřeviny) a odpady z údržby travnatých ploch,
- odpady po těžbě dříví (kůra, větve, šišky, pařezy, kořeny apod.),
- odpady z různých dřevozpracujících provozů (odřezky, piliny, hobliny),
- odpady z potravinářských výrob (cukrovary, jatka, mlékárny, lihovary),
- některé jinak nevyužité vedlejší produkty z živočišné výroby (např. hnůj),
- komunální organické odpady.

1.2 Fosilní paliva

Tuhá fosilní paliva jsou tvořena pozůstatky pravěkých usazenin z odumřelých organismů. Jedná se o různé druhy uhlí, jejichž spalováním se získává energie k výrobě elektřiny nebo k vytápění. Dochází při tom však ke znečišťování ovzduší, životního prostředí a zvyšování účinků skleníkového efektu, čímž je např. přispíváno ke globálnímu oteplování.

Fosilní paliva dělíme především **dle doby jejich vzniku** na (seřazeno sestupně dle stáří jejich vzniku):

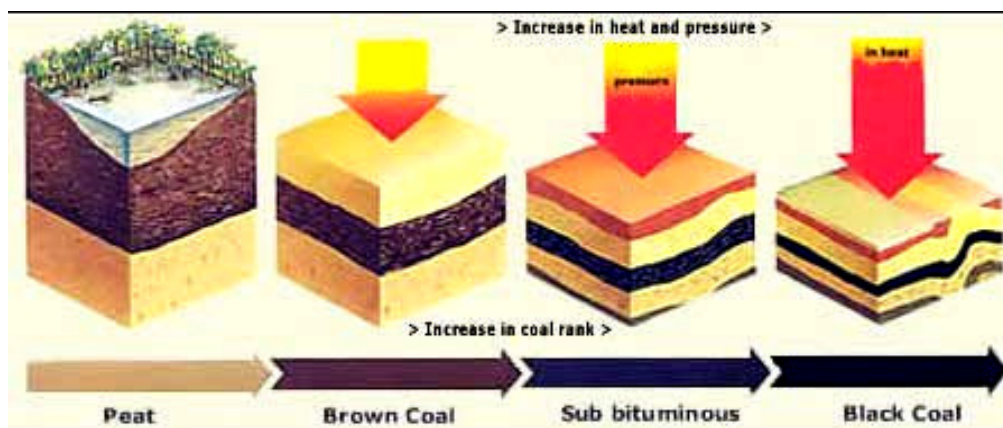
- rašelinu,
- lignit,
- hnědé uhlí,
- černé uhlí,
- antracit.

1.2.1 Rašelina

Rašelina má více než 50-ti procentní podíl spalitelných látek a lze ji tedy využít jako fosilní palivo. Její těžba má průmyslový význam například v Irsku, v Česku se nacházejí rašelinistiště např. na Šumavě. Vzniká nejčastěji v močálech a bažinách a skládá se především z organických látek. Jedná se v podstatě o částečně rozložené odumřelé rostliny.

1.2.2 Hnědé uhlí

Postupem času je rašelina zakrývána vrstvami horniny a „propadá“ se hlouběji do země, čímž dochází ke zvyšování tlaku a teploty, které na ni působí, a tím se z ní postupně stává uhlí (Obr. 1.1.). Hnědé uhlí je geologicky mladší než černé uhlí a z hlediska energetického využití je méně kvalitním uhlím. Nenachází se však v takových hloubkách jako černé uhlí, a tak je jeho těžba levnější a technologicky méně náročná. V Česku je těženo např. v Krušných Horách. Rozeznáváme několik druhů hnědého uhlí podle stupně jeho karbonizace, a to např. lignit, což je nejmladší a tudíž nejméně karbonizované hnědé uhlí. Tato „geologicky mladší paliva se snáze zapalují a hoří delším plamenem za relativně nižších spalovacích teplot.“ [9]



Obr. 1.1. Tvorba uhlí [11] (zleva – rašelina, hnědé uhlí, kamenné uhlí a černé uhlí)

1.2.3 Černé uhlí

Narozdíl od hnědého uhlí má černé uhlí větší výhřevnost, menší vlhkost, menší podíl prchavých látek, je tvrdší a tvoří méně popela a nachází se ve větších hloubkách. Nejstarším druhem černého uhlí a zároveň nejkvalitnějším z pohledu energetického využití je antracit, který má nevyšší obsah uhlíku a nejnižší obsah prchavých látek, hůře se však zapaluje. Používá se kromě vytápění i např. k přípravě chemikálií.

1.2.4 Koks

Uhlíkatý zbytek vytvořený z černého uhlí tím, že z něj odstraníme prchavou složku v peci za nepřístupu kyslíku při vysokých teplotách se nazývá koks. Používá se k vytápění nebo např. jako redukční činidlo vysoké pece.

1.3 Chemické složení tuhých paliv

Největší podíl na chemickém složení biomasy mají uhlík, vodík a kyslík. Oxidací uhlíku a vodíku pak dochází k uvolňování tepla. Nejdůležitější složka při uvolňování tepelné energie je uhlík, kyslík při chemických reakcích teplo neuvolňuje, jeho přítomnost je však zapotřebí.

Z energetického hlediska mezi nejvýznamnější chemické sloučeniny tvořící rostlinnou biomasu patří:

- celulóza – základní stavební materiál rostlinných buněčných stěn, stálá v suchém stavu, ale snadno vlhne, její výhřevnost je cca 18 MJ/kg,
- lignit – významná složka dřeva stromů, která zpevňuje buněčné stěny a tvoří součást kapilár vedoucích v rostlině vodu a živiny, není tak navlhavý jako celulóza a má i trochu větší výhřevnost (až 22 MJ/kg),
- oleje – představují výživu pro počáteční růst klíčící rostliny, mají relativně vysokou výhřevnost (kolem 37 MJ/kg),
- pryskyřice – je obsažena ve dřevě jehličnanů, má vyšší výhřevnost než celulóza nebo lignit,
- škrob – je obsažen převážně v semenech či hlízách, je snadno enzymaticky štěpitelný na jednoduché cukry, které lze dále např. kvašením přeměnit na etanol.

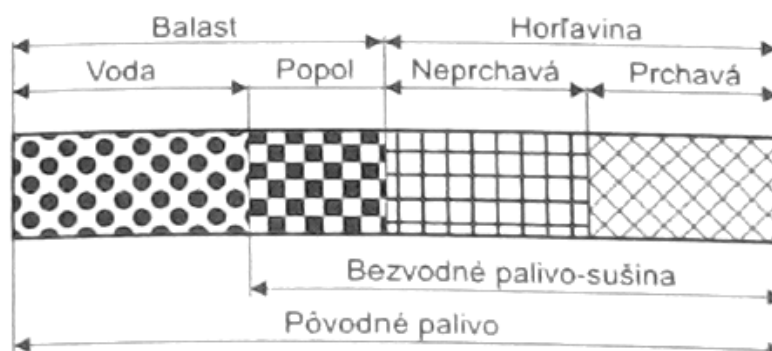
Fosilní paliva mají z chemického hlediska složení v podstatě stejné jako biomasa, obsahují však mnohem větší procentuální podíl uhlíku a mají mnohem nižší obsah vody.

1.4 Vlastnosti tuhých paliv

U tuhých paliv posuzujeme z energetického hlediska především jejich složení (podíl jednotlivých složek paliva) a jejich spalné teplo a výhřevnost.

1.4.1 Popis složek paliva a jejich vliv na spalování

Palivo se skládá, jak je uvedeno na obr. 1.2, z vody, popelu a hořlaviny. Od vzájemného poměru těchto látek se odvíjí účinnost spalování.



Obr. 1.2. Složení paliva [2]

Voda obsažená v palivu

Obsah vody je důležitý z toho důvodu, že výrazně snižuje výhřevnost paliva (část tepla spotřebuje voda pouze ke svému odpaření). Proto je nutno palivo z důvodu zvýšení účinnosti spalování nejdříve vysušit na přípustný obsah sušiny (platí především pro biomasu). Navíc voda „při poklesu teploty spalin pod hranici rosného bodu urychluje korozi kotle ze strany spalin.“ [9]

Obsah vody v dřevní hmotě je v energetice určen relativní vlhkostí, která je dána vztahem:

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

m_1 [kg] je hmotnost vzorku surové dřevěné hmoty,

m_2 [kg] je hmotnost vzorku po vysušení.

Popel obsažený v palivu

Vedle vody je další nežádoucí složkou paliva popel, který spolu s vodou tvoří v palivu podíl zvaný balast. Popel uvolňovaný při spalování je považován za látku škodící životnímu prostředí. Je tvořen nespalitelnými minerálními látkami (především oxidy anorganických prvků, jako např. draslíku, sodíku nebo vápníku) obsaženými v palivu. Teplota tavení popelovin je nezbytný údaj pro stavbu a spolehlivý provoz kotlů na biomasu. Obsah popela v palivu se vypočítá ze vztahu:

$$A = \frac{m_p}{m_d} \text{ [-]}, \text{ kde}$$

m_p [g] je hmotnost popelu,

m_d [g] je hmotnost suchého vzorku.

Hořlavina v palivu

Nejdůležitější část obsahu paliva, která je nositelem energie uvolňované ve formě tepla při oxidaci (spalování) je hořlavina. Hořlavina je tvořena neprchavým a prchavým podílem. Neprchavý podíl je tvořen tzv. aktivními látkami, tedy především uhlíkem a vodíkem, příp. i sírou, což jsou látky, které jsou oxidovány a dodávají teplo. Prchavá část je tvořena pasivními látkami, kyslíkem a dusíkem, které nedodávají teplo, naopak je jim teplo nutno dodat. Důležitý je pak ještě obsah síry, který by měl být co nejnižší, aby byla omezena tvorba znečišťujícího SO_2 a aby nedocházelo ke zvyšování rosného bodu spalin, protože pak nastává snáz koroze.

1.4.2 Spalné teplo paliva

„Spalné teplo Q_s [$MJ \cdot kg^{-1}$] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva na oxid uhličitý a oxid siřičitý a kapalnou vodu.“ [2]

1.4.3 Výhřevnost paliva

„Výhřevnost Q_i [$MJ \cdot kg^{-1}$] 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).“ [2] Určí se ze vztahu:

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

Q_s $[MJ \cdot kg^{-1}]$ je spalné teplo paliva,

W $[kg \cdot kg^{-1}]$ je relativní vlhkost paliva,

H_2 $[kg \cdot kg^{-1}]$ je obsah vodíku v palivu.

Jak již bylo uvedeno výše, vysoká vlhkost má negativní vliv na výhřevnost paliva, „zvýšení obsahu vody v dřevě z 20 na 40% způsobuje vyšší spotřebu paliva téměř o polovinu.“ [2] Suché dřevo má výhřevnost cca $18 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, u suchých obilovin se hodnota výhřevnosti pohybuje kolem $17 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, avšak ve skutečnosti má biomasa vždy alespoň 10 % vlhkost. Porovnání výhřevnosti některých paliv je znázorněno v tab. 1.1.

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost	[kg/m ³]=[kg/plm]	[kg/prm]	[kg/prms]
	[%]	[MJ/kg]			
Dřevo obecně	20	14,23	670	469	275
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)	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
Smrková kůra	15	15,47			
Smrková kůra	50	8,4			
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)
Koks		27,5			
Černé uhlí		25,1 (20,9-31,4)			
Hnědé uhlí		15,1 (10,5-17,2)			

Tab. 1.1. Porovnání výhřevnosti paliv [13]

1.4.4 Ostatní vlastnosti paliva

Dalšími vlastnostmi, kterými je palivo posuzováno, jsou např.:

- teplota tavení popela,
- hustota paliva,
- sypaná hmotnost (množství sypaného paliva v $1m^3$),
- spotřeba paliva pro vytápění,
- melitelnost – schopnost paliva dělit se na menší kousky,
- biologická stabilita,
- teplota samovznícení,
- abrazivita popela aj.

Palivo se posuzuje také podle ekonomických kritérií, jako jsou lokální dostupnost nebo náklady na získávání paliva a jeho dopravu.

1.5 Způsoby využívání tuhých paliv pro energetické účely

Energie z biomasy je získávána různými procesy, přičemž nejvhodnější proces je určen vlastnostmi biomasy, a to především obsahem vody. Dle vlhkosti (resp. obsahu sušiny) biomasy lze pak tyto procesy dělit na mokré a suché, kde 50 % obsah sušiny je právě onou hranicí mezi těmito procesy. Tedy při obsahu sušiny do 50 % je výhodné užití mokrých procesů, a při obsahu sušiny větším než 50 % je výhodné biomasu zpracovat suchými procesy.

Mezi způsoby získávání energie z biomasy řadíme:

- termochemickou přeměnu biomasy,
- fyzikálněchemickou přeměnu biomasy,
- biochemickou přeměnu biomasy.

1.5.1 Termochemická přeměna biomasy

Jedná se o suchý proces, při kterém se přeměny dociluje:

- spalováním, tedy procesem, který uvolňuje rychlou oxidací energii vázanou v palivu a přeměňuje ji na energii tepelnou,
- zplyňováním, což je proces přeměňující výchozí materiál na hořlavý plyn,
- pyrolýzou – termickým procesem umožňujícím rozklad organického materiálu na stále nízkomolekulární produkty (tedy plyny jako H_2 , CO_2 nebo CH_4) za nepřístupu kyslíku a za pomoci vysokých teplot přesahujících mez chemické stability daného materiálu.

1.5.2 Biochemická přeměna biomasy

Jedná se o mokré procesy, konkrétně pak:

- alkoholové kvašení, kde produktem je etanol,
- metanové kvašení, kde produktem je metanol.

1.5.3 Fyzikálněchemická přeměna biomasy

Tímto procesem se lisováním a chemickou úpravou vyrábí rostlinné oleje a bionafta.

1.5.4 Spalování fosilních paliv

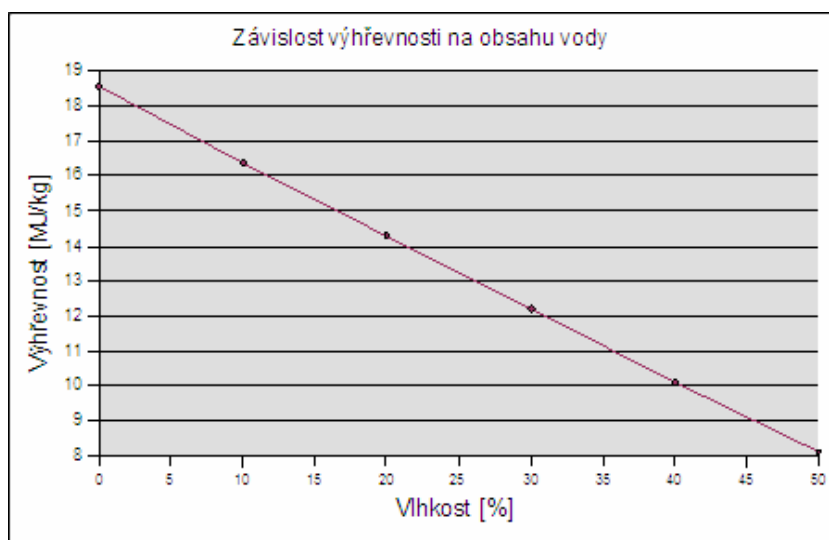
Fosilní paliva jsou nejpoužívanějším zdrojem k výrobě elektřiny, tepla nebo pohonu motorů. Energie je z nich získávána výhradně jejich spalováním, přičemž je snaha tento proces co nejvíce zefektivnit, třeba zdokonalováním konstrukce ohnišť. Místo roštových ohnišť se tak používají fluidní ohniště (se stacionární nebo cirkulující fluidní vrstvou) nebo prášková ohniště.

1.6 Úprava tuhých paliv a jejich mechanické zpracování

Jelikož se při mechanickém zpracování tuhých paliv nemění charakter paliva, neřadíme ho mezi přeměnné procesy (viz předchozí kapitola). Úpravu a zpracování provádíme za účelem usnadnění manipulace s palivem a jeho přepravy, zlepšení podmínek pro jeho skladování, dosažení výhodnějších vlastností při jeho spalování a zefektivnění jeho dávkování. Mezi tyto procesy lze zařadit např. třídění, snižování obsahu vody sušením (především u biomasy) nebo dosahování vhodného tvaru a velikosti zhutňováním paliva, tedy např. jeho zpracováním do pelet, balíků nebo štěpky. Dále sem můžeme zařadit ještě např. i vytlačování oleje z rostlin atd.

1.6.1 Sušení

Cílem sušení je docílit optimální vlhkosti paliva a zvýšit tak jeho výhřevnost a energetický výnos. Vliv výhřevnosti na obsahu vody zobrazuje obr. 1.3.



Obr. 1.3. Závislost výhřevnosti na obsahu vody [3]

Z grafu je patrné, že při použití paliva s vlhkostí 50 % využijeme jen asi polovinu potenciálu energie uskladněné v palivu. Všeobecně se nedoporučuje spalovat biomasu s vlhkostí větší než 30 %, optimální je vlhkost menší než 20 %. Těchto hodnot lze stále ještě docílit obyčejným sušením v zastřešeném objektu. Pokud má ale být biomasa dále upravována, např. na pelety, je potřeba, aby vlhkost byla ještě nižší. Toho se docílí např. skladováním za zvýšené teploty, což znamená vyšší energetické nároky při úpravě paliva, lze však ale také využít odpadní teplo, solární energii (skleník nebo prosklená šikmá stěna) atd.

1.6.2 Úprava dřeva

Kusové dřevo je před spalováním potřeba zmenšit na požadovanou velikost jednotlivých kusů. To se děje především řezáním (řetězová pila, kotoučová pila) a štípaním. Množství dřeva se udává v různých jednotkách, jak je znázorněno v tab. 1.2

Jednotka	Název	Přepočet	Význam
plm	plnometr = m ³		krychle o hraně 1 m vyplněná dřevem bez mezer, 1 m ³ skutečné dřevní hmoty („bez děr“)
prm	prostorový metr = m ³ p. o. (tedy „prostorového objemu“)	1 prm = 0,6 až 0,7 plm	krychle o hraně 1 m vyplněná částečně dřevem s mezerami, čili 1 m ³ složeného dřeva štípaného nebo neštípaného („s dírami“), např. dřevo v lese složené do „metrů“
prms	prostorový metr sypaný	1 prms = cca 0,4 plm	1 m ³ volně loženého sypaného (nezhutňovaného) drobného nebo drceného dřeva

Jednotky a termíny pro objemové značení dřevní hmoty. V praxi používaný výraz „kubík“ většinou znamená plm. Zdroj: EkoWATT

Tab. 1.2. Jednotky objemového značení dřevní hmoty [4]

Větve nebo těžební odpad se pak většinou zpracovávají štěpkováním (lze však štěpkovat i celý kmen stromu) na tzv. štěpku, tedy jemně rozdrčené kusové dřevo o velikosti řádově několik jednotek cm s nižším obsahem vody, které je vhodnější ke skladování.



Obr. 1.4. Štěpka [5]

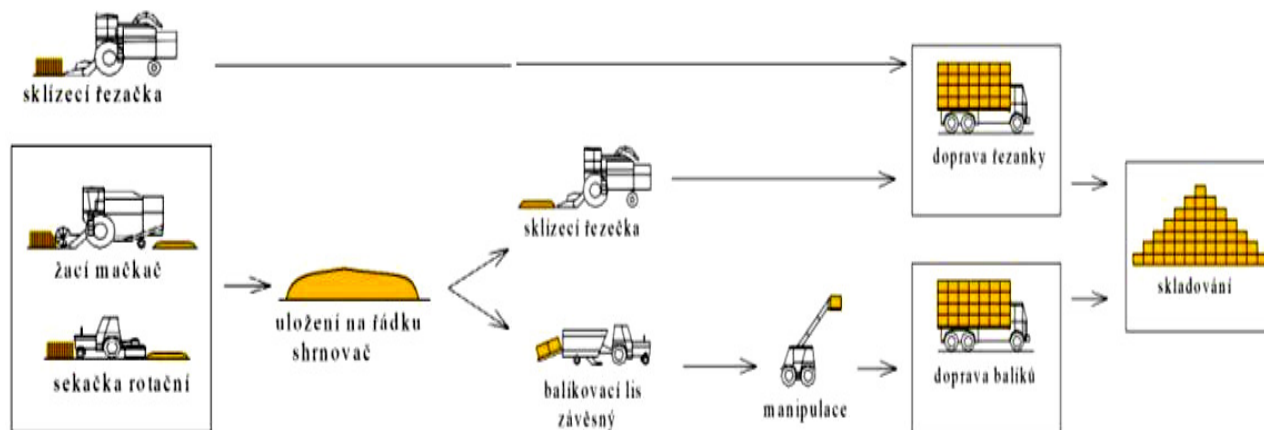
Štěpkování je proces zpracování dřeva za pomoci stroje zvaného štěpkovač (obr. 1.5). Tyto stroje jsou většinou snadno přepravitelné, a tak mohou být užity rovnou na místě těžby. K drcení dřeva v nich dochází buďto působením sekacích nožů rozmístěných uvnitř po obvodu rotoru nebo se větve lámou mezi dvěma drážkovanými válci z vysokolegované oceli. Štěpka je jako palivo využitelná především pro velká automatizovaná spalovací zařízení.



Obr. 1.5. Štěpkovač [6]

1.6.3 Lisování stébelnin do balíků

Do balíků se lisuje především sláma, seno a jiné traviny. Pro sklizeň stébelnin určených k energetickému využití lze využít různých technologií, které se využívají např. i ke sklizni plodin používaných jako krmivo nebo k potravinářským účelům. Tyto technologie jsou znázorněny na obr. 1.6.



Obr. 1.6. Způsoby sklizně stébelnin [15]

Stroje používané ke sklizni jsou:

- sekačky – mohou být diskové nebo bubnové, které sekají byliny rotujícím bubnem (diskem) osazeným sekacími noži,
- řezáčky – sklízí rostliny ve formě řezanky,
- žací mlátičky a mačkače – jsou určeny pro sklizeň zrna obilovin, luštěnin atd.,
- shrnovače – shrnují biomasu do řádku,
- lisy - lisují slámu a seno a tvoří buďto hranaté nebo válcové balíky,
- kombajny – oddělují podzemní část rostliny od nadzemní a od hlíny a kamení, a následně hlízy dopravují do zásobníku nebo na dopravní prostředek.

„Balíky se spalují ve velkých topeništích speciálních kotlů. Tato zařízení mají ovšem velké výkony, a jsou tedy určena především k centrálnímu vytápění“. [1]

1.6.4 Úprava paliva na pelety a brikety

Brikety a pelety jsou palivem zhotoveným lisováním za vysokých tlaků, určeným ke spalování ve speciálních kotlích. Většinou mají tvar válečků různých průměrů a délek. Takto upravený materiál má potom větší výhřevnost. Jejich kompaktní tvar je navíc číni vhodnějšími ke skladování, přepravě a manipulaci. Materiál k přípravě briket může být dřevo, sláma nebo uhlí, u pelet se jedná např. o piliny nebo jiný dřevní odpad. Pelety lze vyrábět i ze slámy, avšak při spalování slaměných pelet vzniká mnohem více škodlivin v porovnání s dřevěnými peletami a mají také poměrně nízkou teplotu tavení popela. „Uhelné brikety se považují za méně škodlivé než obyčejné uhlí. Také po spálení nevytvářejí strusku.“ [12]



Obr. 1.7. Pelety [8]



Obr. 1.8. Dřevěné brikety [44]

Pelety jsou určeny ke spalování především v automatizovaných kotlích pro vytápění rodinných domů, kde jsou uskladněny v zásobníku, odkud jsou průběžně dopravovány ke spalování do hořáku. Brikety mohou být používány jako palivo do kamen, zplyňovacích kotlů nebo např. i v kotelnách pro ústřední vytápění.

K úpravě výchozího materiálu na brikety a pelety se používají briketovací a peletovací lisy. Ty lze dělit na:

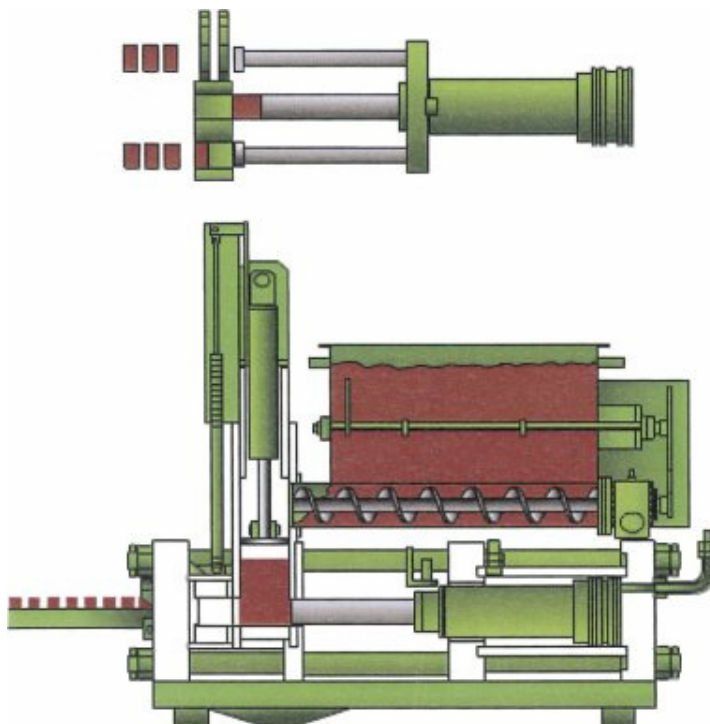
- pístové lisy (hydraulické nebo mechanické),
- šnekové lisy,
- protlačovací lisy (granulační).



Obr. 1.9. Matrice peletovacího lisu s přítlačnými rolnami [18], které zpracovávaný materiál protlačují otvory v matici. Velikost otvorů v matici udává konečný rozměr pelet



Obr. 1.10. Peletovací lis [16]



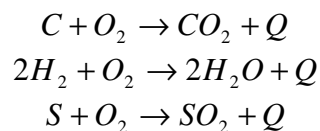
Obr. 1.11. Schéma briketovacího lisu [17]

Látka zodpovědná za soudržnost zhuštěného produktu je lignit. Ten je ve větším množství obsažen především v dřevní biomase, která je tak vhodnější k této úpravě než třeba stébelniny. V případě potřeby se pro lepší soudržnost přidávají pojiva, např. kukuřičná mouka nebo škrob.

1.7 Ekologie spalování tuhých paliv

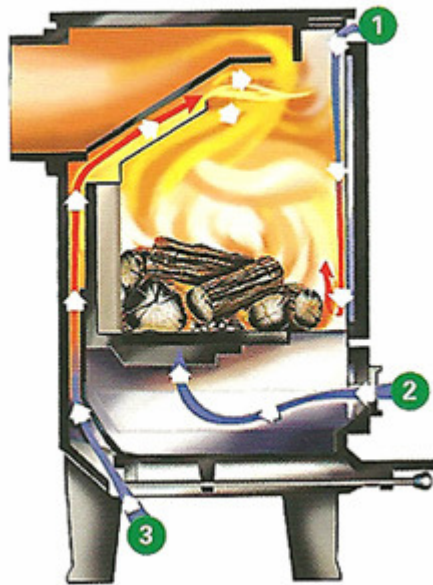
Spalování je exotermická reakce, ke které dochází okysličováním aktivních prvků (především uhlíku a vodíku) v palivu. Při této reakci se uvolňuje tepelná energie. Na průběh spalování má vliv několik faktorů, a to především dostatečný přívod vzduchu a jeho promísení s palivem a také konstrukce spalovacího zařízení. Biomasa má oproti fosilním palivům velký podíl tzv. prchavé hořlaviny a při jejím ohřátí nad 200°C je tento podíl zplyňován, což má za následek dlouhý plamen. V biomase je také obsaženo vyšší množství vody. Tomuto musí být spalovací zařízení na biomasu konstrukčně uzpůsobena.

Při dokonalém spalování paliva se uhlík oxiduje na oxid uhličitý, vodík na vodní páru a síra na oxid siřičitý, což je znázorněno v následujících chemických rovnicích:



Jak již bylo zmíněno, emise **oxidu uhličitého** u biomasy mají nulovou bilanci, u fosilních paliv tomu tak však není a dochází zde ke znečišťování ovzduší. Škodlivý produkt těchto reakcí je dále poslední zmíněný **oxid siřičitý**, který např. škodí rostlinám tím, že reakcí s chlorofilem narušuje fotosyntézu. Vzniká především spalováním méně kvalitního hnědého uhlí, v biomase je obsah síry většinou zanedbatelný, a tak i emise SO_2 jsou zde mnohem nižší.

V případě, že nedochází k oxidaci paliva až na konečné produkty chemických reakcí a kouřové plyny tak obsahují nespálené hořlavé látky, jedná se o spalování nedokonalé. Produktem takové reakce je pak především **oxid uhelnatý**, vysoce toxický plyn, „jehož maximální koncentrace ve spalinách je limitována emisními limity“. [9] Nedokonalým spalováním navíc získáme jen zlomek energie získané spalováním dokonalým. Z těchto důvodů je tedy snaha se mu vyhnout, k čemuž je za potřebí správné konstrukce kotle a dostatečného přívodu vzduchu (Obr. 1.12.).



Obr.1.12. Přívod vzduchu ke spalování [14]

1 – přívod sekundárního vzduchu, 2 – přívod primárního vzduchu,
3 – přívod předehřátého terciálního vzduchu pro dokonalé spalování

K dalším škodlivinám uvolňovaným při spalování tuhých paliv pak patří např. jedovaté **oxidy dusíku** (NO_x). Ty vznikají při spalování všech paliv za přívodu atmosférického vzduchu při teplotách nad $1100^\circ C$. Zabránit jejich vzniku se dá konstrukčními úpravami spalovacího zařízení (řízení přívodu vzduchu, snížení teplot v ohništi).

2 Kotle na tuhá paliva

V kotli dochází ke spalování paliva (kusové dřevo, brikety, uhlí, pelety atd.) a uvolňování tepelné energie, která může být akumulována a poté rozváděna teplotním médiem, tedy např. vodou. Aby spalování probíhalo za optimálních podmínek, musí být kotel konstrukčně upraven pro daný druh paliva, musí např. docházet k dostatečnému přívodu vzduchu. Kotle na tuhá paliva obvykle vyžadují prostory pro skladování paliva.

Jedním z nejstarších zařízení určených k vytápění obytných prostor je krb, který je vhodný především ke spalování kusového dřeva. Ke sdílení tepla zde dochází především sáláním, v omezené míře i konvekcí. U otevřených krbů (obr. 2.1) je obtížná regulace a poměrně nízká účinnost (kolem 20 %), proto se dnes používají spíše uzavřené krby (obr. 2.2), které dosahují účinnosti až 70 %. Krby jsou užívány především jako doplňkový zdroj tepla nebo např. z estetických důvodů, bývají také používány ve sporadicky obývaných objektech (např. chaty), kde lze jejich pomocí rychle navodit pocit tepla.



Obr. 2.1. Otevřený krb [19]

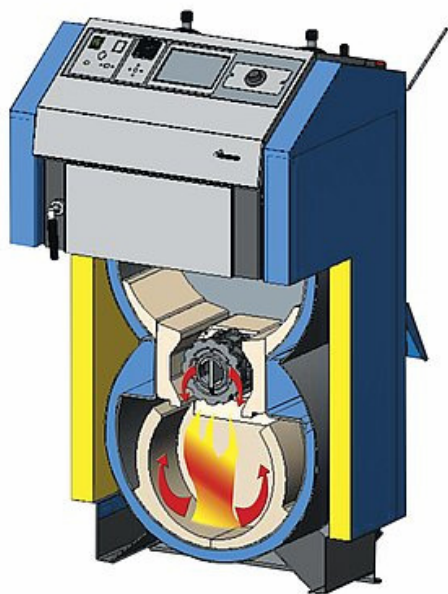


Obr. 2.2. Uzavřený krb (krbová vložka) [20]

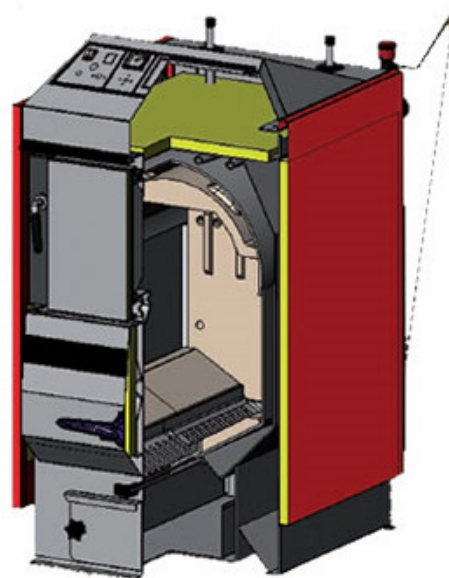
U modernějších zařízení pro vytápění rodinných domů tuhými palivy už nedochází k přednostnímu sdílení tepla sáláním do jedné místnosti, nýbrž je teplo za pomoci vhodného rozváděcího média přenášeno po celém domě. Zmínka bude hlavně o **teplovodních kotlích na dřevo, kotlích na pelety, kotlích na uhlí** a dále pak např. ještě o kotlích ke spalování štěpky nebo kotlích na spalování balíků slámy. Kotle bývají často určeny svou konstrukcí ke spalování pouze jednoho určitého druhu paliva, některé kotle však umožňují i kombinovaný provoz s využitím dvou nebo více druhů paliv najednou.

2.1 Teplovodní kotle na dřevo a brikety

Jedná se o kotle s manuálním příkládáním, kde jako palivo lze používat kusové dřevo, dřevní odpad, brikety nebo štěpku. Teplonosným médiem je většinou voda, můžou však být konstruovány i pro teplotovzdušné vytápění. Kotel lze využít, narozdíl od krbu nebo kamen, k vytápění celého domu. Zařízení tak má vyšší výkon, což je výhodné, protože „topidla na dřevo se lépe konstruují pro větší výkony“. [1] Mezi další výhody pak patří např. menší nároky na úpravu paliva, nedochází ke znečišťování obytných prostor domu (s palivem není manipulováno a není skladováno v místnosti), řešení přívodu vzduchu je také jednodušší. Dochází zde většinou k pyrolytickému spalování (spalování předtím zplyněné složky paliva, viz 1.5.1), takovým kotlům se potom říká **zplyňovací** (obr.2.3). Kvůli levné pořizovací ceně se však stále ještě vyrábějí i kotle založené na klasickém spalování dřeva bez ventilátoru, které však mají nižší účinnost. Těmto kotlům se říká **prohořivací** (obr. 2.4).



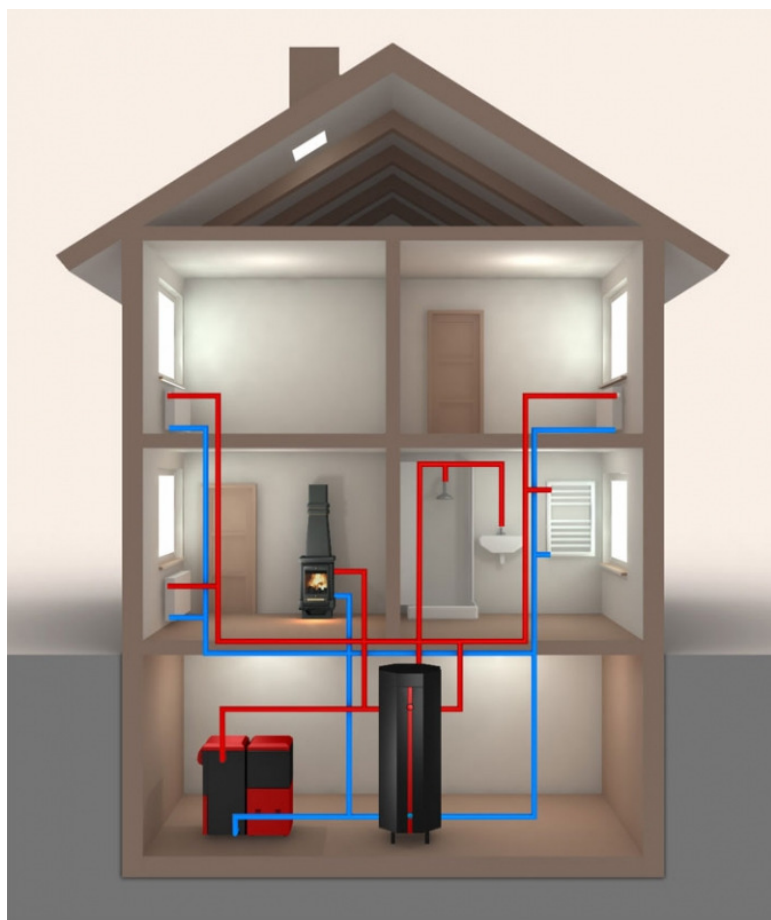
Obr. 2.3. Řez zplyňovacím kotlem [21]



ATMOS D 15, D 20

Obr. 2.4. Řez prohořivací kotlem [30]

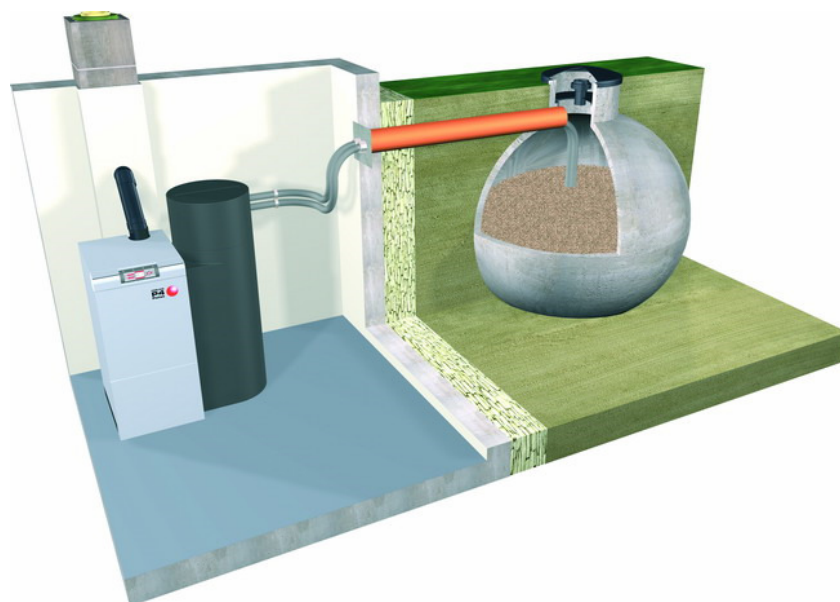
Kvůli horší regulaci bývají kotle opatřeny akumulčními nádržemi, které přebytečné teplo odeberou a „uskladní“ na pozdější dobu. Zvyšuje se tím účinnost spalování, a protože není nutno výkon průběžně snižovat, klesá tak i objem škodlivých emisí.



Obr. 2.5. Schéma propojení kotle, krbových kamen a akumulční nádrže pro přípravu TUV a vytápění v RD [22]

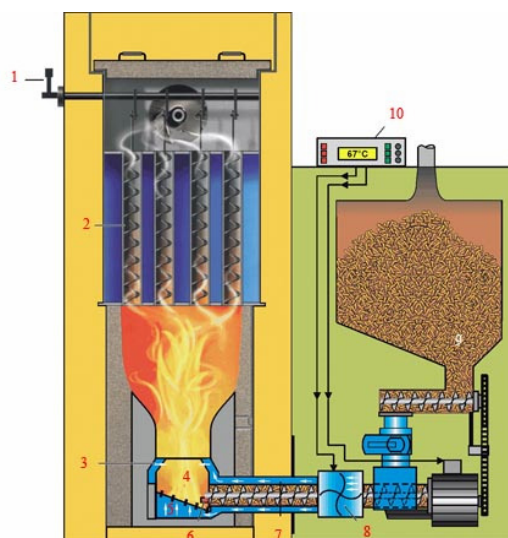
2.2 Kotle na pelety

V těchto kotlích se vytápí peletami, tedy mechanicky zhutněnou biomasou se sníženým obsahem vody a vyšší výhřevností. Cena pelet bývá, kvůli náročnosti jejich výroby, vyšší než cena kusového dřeva, tato nevýhoda je však vyvážena zvýšeným komfortem při vytápění oproti kotlům na kusové dřevo a brikety, kde toto zařízení je v daném ohledu na srovnatelné úrovni s plynovým kotlem. Zařízení totiž bývají automatizována po stránce regulace výkonu při spalování a je u nich zajištěna průběžná doprava pelet ze zásobníku do hořáku. Palivo navíc může být dováženo přímo do domu, např. do podzemní nádrže (ta svým umístěním šetří místo v domě) (obr. 2.6). Tyto kotle také všeobecně dosahují vyšší účinnosti, která má kompenzovat i jejich vyšší pořizovací náklady. Kotle na pelety mohou být konstruovány i pro menší výkony a jsou tak vhodnější pro vytápění nízkoenergetických domů.



Obr. 2.6. Podzemní nádrž na pelety a sací systém [23]

Hoření pelet probíhá v hořácích, kam jsou pelety dopravovány šnekovým mechanismem (obr.2.7).



Obr. 2.7. Schéma automatického kotle na pelety: 1. regulační klapka, 2. trubkový výměník, 3. sekundární vzduch, 4. hořák, 5. primární vzduch, 6. zapalovací tryska, 7. přívod sek. vzduchu, 8. ventilátor, 9. zásobník pelet, 10. řídicí panel [24]

„Konstrukce hořáků má značný vliv na účinnost spalování pelet a bývá poměrně sofistikovaná“. [1]



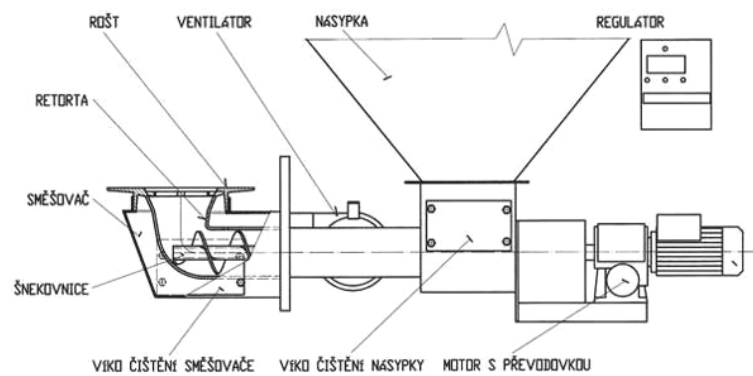
Obr. 2.8. Hořák na pelety [25]

Podle konstrukce hořáků lze kotle dělit na:

- kotle s externím hořákem - jsou určeny pouze pro spalování kvalitních pelet z měkkého dřeva bez kůry (obr. 2.9),
- kotle s posuvným hořákem - jsou určeny pro spalování jak dřevních, tak alternativních pelet nebo obilí,
- kotle s retortovým hořákem - jsou určeny pro spalování dřevních a alternativních pelet, případně obilí (obr. 2.10).



Obr. 2.9. Hořák ATMOS ERATO GP 20 [28]



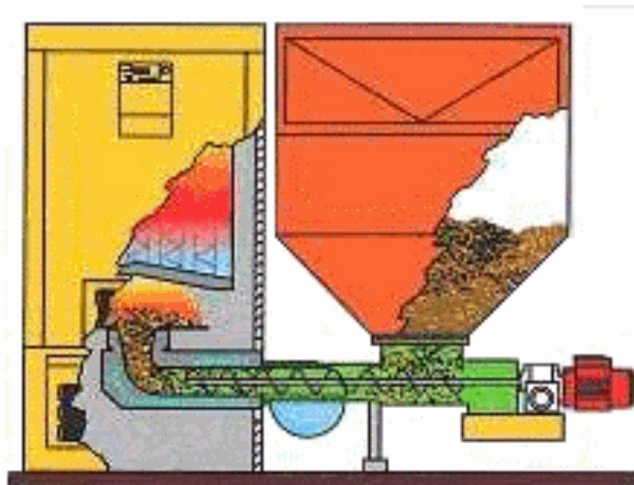
Obr. 2.10. Schéma retortového hořáku [26]

2.3 Kotle na uhlí

Jedná se o automatické kotle, které lze využít ke spalování různých druhů uhlí. Součástí těchto kotlů je řídicí jednotka, která zodpovídá za správný přísun paliva a hlídá správný průběh spalování. Dle konstrukce se dělí na:

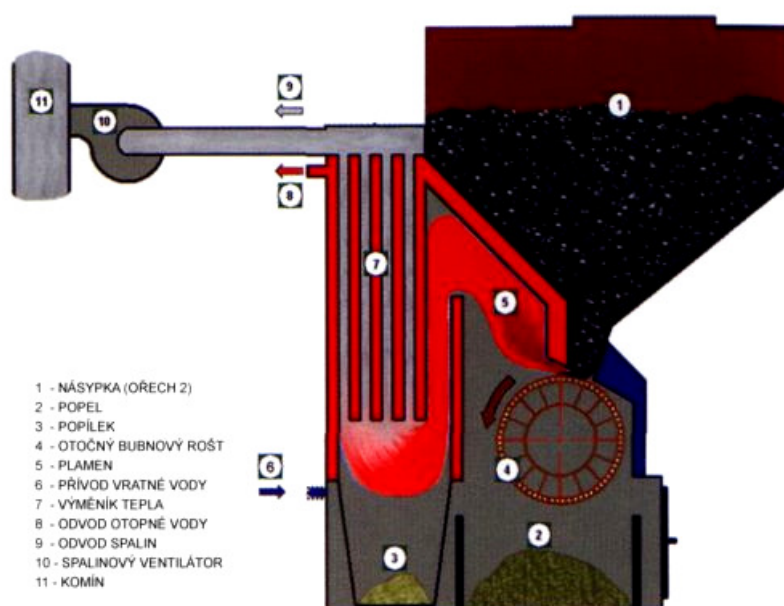
- kotle s retortovým hořákem (obr. 2.11),
- kotle s bubnovým hořákem (obr. 2.12).

U kotlů s retortovým hořákem se uhlí uložené v násypce vlastní vahou sesouvá ke šnekovému dopravníku, který ho dále přesouvá do hořáku ke spalování. Dostatečný přísun vzduchu je zajišťován ventilátorem.



Obr. 2.11. Kotel na uhlí s retortovým hořákem [29]

U kotlů s bubnovým hořákem je násypka umístěna nad otočným bubnovým roštem, kam se uhlí vlastní vahou posouvá a je dále dopravováno do odhořivací části, odkud po odhoření odpadáva popel do popelníku. Kotel má menší rozměry než předchozí zmíněný a lze zde spalovat i méně kvalitní a vlhčí uhlí.



Obr.2.12. Kotel na uhlí s bubnovým hořákem [29]

2.4 Kotle na štěpku

Štěpka se používá především v automatických kotlích větších výkonů vhodných např. k centrálnímu vytápění. Ke spalování je zde štěpka, podobně jako u kotlů na pelety, dopravována šnekovým dopravníkem. Štěpka se většinou zpracovává z dřevního odpadu, a to většinou čerstvá, přímo na místě těžby, mívá tedy větší vlhkost než pelety. Je však mnohem levnější, a tak se vyplatí ji spalovat i bez předchozího sušení. Tyto kotle většinou umožňují i spalování pilin.



Obr. 2.13. Automatický kotel na štěpku [27]

2.5 Kotle na spalování balíků slámy

Jedná se o automatizované kotle vyšších výkonů vhodné spíše k centrálnímu vytápění několika obytných objektů. V těchto kotlích je hranolovitý balík slámy umístěný naležato automaticky přepraven podávacím systémem do předkomory, ve které je přesunut do vertikální polohy a dále pak pokračuje do spalovací komory.



Obr. 2.14. Doprava balíku ke spalování do předkomory [7]

Pro dokonalé spalování (bez oxidu uhelnatého) jsou ve spalovací komoře otvory pro přívod sekundárního vzduchu. Obě komory jsou chlazené vodou. „Posuvný rošt na dně obou komor posouvá slámu ze spodní části balíku a ta postupně dohořívá.“ [7]

3 Porovnávací výpočet kotlů

Vybrané kotle budou porovnány z hlediska pořizovacích a provozních nákladů pro vytápění stejného vzorového rodinného domu.

3.1 Popis jednotlivých porovnávaných kotlů

K porovnání byly vybrány následující kotle:

- Zplyňovací kotel na dřevěné brikety, příp. dřevo ATMOS DC24RS (obr. 3.1),
- Kotel na pelety ATMOS D 45 P (obr. 3.2),
- Zplyňovací kotel na černé uhlí ATMOS AC25S (obr. 3.3).

3.1.1 Zplyňovací kotel na dřevěné brikety (příp. dřevo) ATMOS DC24RS

„Ekologické teplovodní kotle **ATMOS DC30RS** jsou určeny pro vytápění rodinných domků, chat, chalup a jiných obdobných objektů o tepelných ztrátách 15-32 kW. Kotle jsou konstruovány výhradně pro spalování kvalitních dřevěných briket a kusového dřeva. Kotel není určen pro spalování hnědého a černého uhlí, pilin a drobného dřevního odpadu. Jako náhradní palivo pro případ nouze je možné použít uhelné brikety. Kotle svou mohutnou násypkou umožňují vkládání celých balíčků briket a velkých dřevěných špalků.“ [31]

Kotle jsou vybaveny sacím ventilátorem a předepsaným palivem jsou brikety o průměru 75 – 100 mm a délce 200 – 300 mm. Jako náhradní palivo lze použít kusové dřevo.



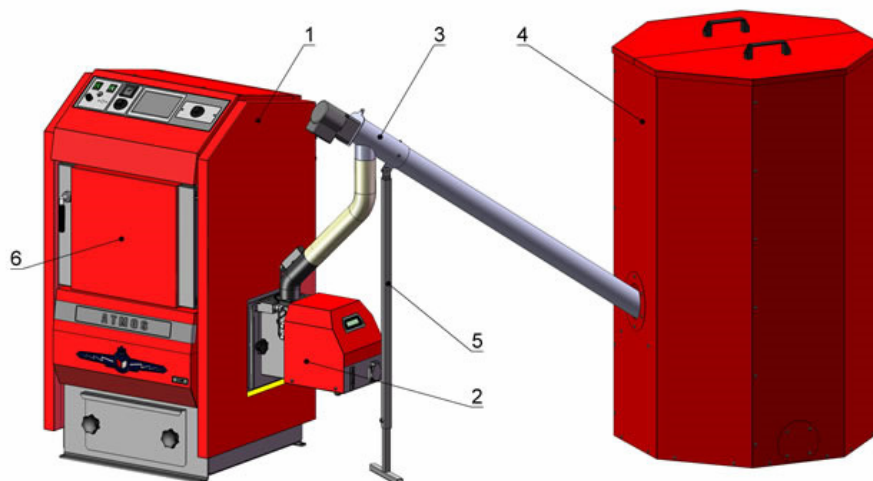
Obr. 3.1. Zplyňovací kotel na dřevo a dřevěné brikety ATMOS DC24RS [31]

Výkon	$P_1 = 26kW$
Elektrický příkon	odhadnuto: $P_{\dot{r}_1} = 50W$
Účinnost	$\eta_1 = 86,6\%$
Požizovací cena	32 736,- Kč [34]

Jako palivo budou použity dřevěné brikety o průměru 90 mm a délce 270 mm s výhřevností $Q_1 = 18,8MJ / kg$ a cenou 5,50 Kč/kg [39]

3.1.2 Kotel na pelety ATMOS D 45 P

„Jsou konstruovány pro dokonalé spalování pelet, tak že do levé či pravé strany kotle, podle potřeby zákazníka, je zabudován hořák na pelety, který si plně automaticky, za pomoci šnekového dopravníku odebírá pelety ze zásobníku. Zásobník paliva bývá umístěn vedle kotle, nebo ve vedlejší místnosti a může mít libovolnou velikost.“ [32]



Obr. 3.2. Kotel na pelety ATMOS D 45 P. 1 – Vlastní kotel, 2 – hořák na pelety ATMOS A50, 3 – dopravník ATMOS DRA50 – 2,5m, 4 – zásobník na pelety, 5 – noha dopravníku, 6 – dvířka [32]

Zásobník na pelety není dodáván přímo s kotlem, jedná se o samostatné příslušenství, které je potřeba přikoupit. Ke kotli byl tedy vybrán zásobník na pelety ROJEK s kapacitou 600 l (obr. 3.3).



Obr 3.3. Zásobník na pelety ROJEK 600 l [37]

Výkon	$P_2 = 10 - 48kW$
Elektrický příkon	$P_{\check{r}_2} = 120W$
Účinnost	$\eta_2 = 92\%$
Požizovací cena kotle	126 865,- Kč [35]
Požizovací cena zásobníku	12 498,- Kč [37]
Celková pořizovací cena	139 363,- Kč

Jako palivo budou použity dřevěné pelety s výhřevností $Q_2 = 18,8MJ / kg$ a cenou 5,00 Kč/kg (v ceně není zahrnuta cena dopravy paliva, od 4 tun je však doprava zdarma). [38]

3.1.3 Zplyňovací kotel na černé uhlí ATMOS AC25S

„Jsou konstruovány pro spalování dřeva a černého uhlí na principu generátorového zplyňování s použitím odtahového ventilátoru, který odsává spaliny z kotle. Těleso kotlů je vyrobeno jako svařenec z kvalitních ocelových plechů o tloušťce 6 až 3 mm. Je tvořeno dvěma nad sebou posazenými komorami, vrchní slouží jako zásobník paliva, spodní jako spalovací komora a popelník. Mezi nimi je umístěn nový, patentem chráněný nerezový otočný rošt, který umožňuje dokonalé zplyňování uhlí a dřeva jednotlivě nebo dohromady a snadné odstraňování popela.“ [33]



Obr. 3.4. Zplyňovací kotel na černé uhlí ATMOS AC25S [36]

Výkon	$P_3 = 20 - 26kW$
Elektrický příkon	$P\check{r}_3 = 50W$
Účinnost	$\eta_3 = 84\%$
Pořizovací cena	27 306,- Kč [36]

Jako palivo bude použito černé uhlí s výhřevností $Q_3 = 23,5MJ / kg$ a cenou 3,6 Kč/kg. [40]

3.2 Výpočet celkových nákladů jednotlivých kotlů

Kotle budou použity k vytápění rodinného domu s tepelnými ztrátami $Q_z = 18kW$. Budeme předpokládat, že kotel vytápí 150 dní v roce a že průměrná vnitřní teplota je $22^\circ C$. Potom lze teplo spotřebované k vytápění domu na 1 rok dle výpočtu na internetovém serveru vytapeni.tzb-info.cz [42] stanovit na $Q_{rok} = 28,6MWh = 102,9GJ$

Ve výpočtu vždy nejdříve vypočítáme z provozní doby kotle $T_i = \frac{Q_{rok}}{P_i \cdot 3600}$ spotřebu elektrické energie ze vztahu $E_i = P\check{r}_i \cdot 10^{-3} \cdot T_i$ a následně určíme její cenu. Cena elektřiny pro tento výpočet byla stanovena na 5,27 Kč/MWh. [41]

Dále z výhřevnosti paliva zjistíme roční spotřebu paliva a následně jeho cenu. Budeme přitom vycházet ze vztahu:

$Q_{rok} = Q_i \cdot M_{pi} \cdot \eta_i$, který dále upravíme na:

$$M_{pi} = \frac{Q_{rok}}{Q_i \cdot \eta_i} \text{ [kg], kde}$$

Q_{rok} [J] je teplo potřebné k vytápění domu po dobu jednoho roku,

Q_i [J/kg] je výhřevnost daného paliva,

M_{pi} [kg] je hmotnost spotřebovaného paliva při vytápění během jednoho roku,

η_i [%] je účinnost daného kotle.

3.2.1 Celkové náklady na vytápění kotlem ATMOS DC24RS

Zadané hodnoty (viz 3.1.1):

$$P_1 = 26kW$$

cena paliva: 5,50 Kč/kg

$$P\check{r}_1 = 50W$$

cena elektřiny: 5,27 Kč/MWh

$$\eta_1 = 86,6\%$$

$$Q_1 = 18,8MJ / kg$$

Provozní doba kotle:

$$T_1 = \frac{Q_{rok}}{P_1 \cdot 3600} = \frac{102,9 \cdot 10^9}{26 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1100h$$

Výpočet roční spotřeby elektrické energie:

$$E_1 = P\check{r}_1 \cdot 10^{-3} \cdot T_1 = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 1100 = 55kWh$$

Výpočet ročních nákladů na elektrickou energii:

$$N_{e1} = E_1 \cdot 5,27 = 55 \cdot 5,27 = 289,85Kč$$

Výpočet roční spotřeby paliva:

$$M_{p1} = \frac{Q_{rok}}{Q_1 \cdot \eta_1} = \frac{102,9 \cdot 10^9}{18,8 \cdot 10^6 \cdot 0,866} = 6320,33kg$$

Výpočet nákladů na palivo pro roční vytápění:

$$N_{p1} = M_{p1} \cdot 5,50 = 6320,33 \cdot 5,50 = 34761,8Kč$$

Výpočet celkových ročních nákladů na vytápění:

$$N_{c1} = N_{e1} + N_{p1} = 289,85 + 34761,8 = 35051,65Kč$$

3.2.2 Celkové náklady na vytápění kotlem ATMOS D 45 P

Zadané hodnoty (viz 3.1.2):

$$P_2 = 30kW$$

cena paliva: 5,00 Kč/kg

$$P\check{r}_2 = 120W$$

cena elektřiny: 5,27 Kč/MWh

$$\eta_2 = 92\%$$

$$Q_2 = 18,8MJ / kg$$

Provozní doba kotle:

$$T_2 = \frac{Q_{rok}}{P_2 \cdot 3600} = \frac{102,9 \cdot 10^9}{30 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 952,8h$$

Výpočet roční spotřeby elektrické energie:

$$E_2 = P\check{r}_2 \cdot 10^{-3} \cdot T_2 = 120 \cdot 10^{-3} \cdot 952,8 = 114,34kWh$$

Výpočet ročních nákladů na elektrickou energii:

$$N_{e2} = E_2 \cdot 5,27 = 114,34 \cdot 5,27 = 602,57K\check{c}$$

Výpočet roční spotřeby paliva:

$$M_{p2} = \frac{Q_{rok}}{Q_2 \cdot \eta_2} = \frac{102,9 \cdot 10^9}{18,8 \cdot 10^6 \cdot 0,92} = 5949,4kg$$

Výpočet nákladů na palivo pro roční vytápění:

$$N_{p2} = M_{p2} \cdot 5,00 = 5949,4 \cdot 5,00 = 29747K\check{c}$$

Výpočet celkových ročních nákladů na vytápění:

$$N_{c2} = N_{e2} + N_{p2} = 602,57 + 29747 = 30349,57K\check{c}$$

3.2.3 Celkové náklady na vytápění kotlem ATMOS AC25S

Zadané hodnoty (viz 3.1.3):

$$P_3 = 23kW$$

cena paliva: 3,6 K\check{c}/kg

$$P\check{r}_3 = 50W$$

cena elektřiny: 5,27 K\check{c}/MWh

$$\eta_3 = 84\%$$

$$Q_3 = 23,5MJ/kg$$

Provozní doba kotle:

$$T_3 = \frac{Q_{rok}}{P_3 \cdot 3600} = \frac{102,9 \cdot 10^9}{23 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1242,75h$$

Výpočet roční spotřeby elektrické energie:

$$E_3 = P\check{r}_3 \cdot 10^{-3} \cdot T_3 = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 1242,75 = 62,14kWh$$

Výpočet ročních nákladů na elektrickou energii:

$$N_{e3} = E_3 \cdot 5,27 = 62,14 \cdot 5,27 = 327,5K\check{c}$$

Výpočet roční spotřeby paliva:

$$M_{p3} = \frac{Q_{rok}}{Q_3 \cdot \eta_3} = \frac{102,9 \cdot 10^9}{23,5 \cdot 10^6 \cdot 0,84} = 5212,77kg$$

Výpočet nákladů na palivo pro roční vytápění:

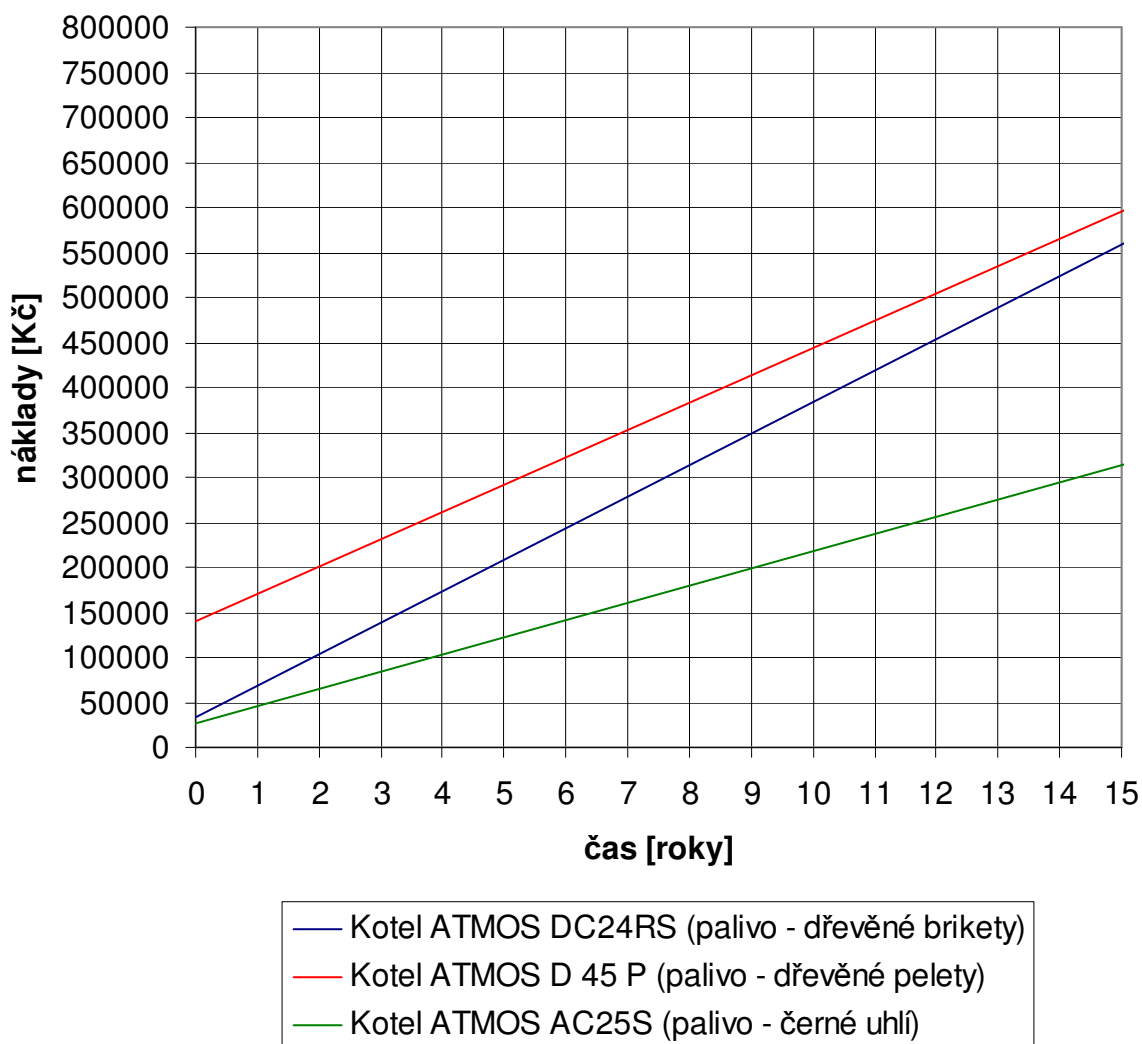
$$N_{p3} = M_{p3} \cdot 3,60 = 5212,77 \cdot 3,60 = 18766K\check{c}$$

Výpočet celkových ročních nákladů na vytápění:

$$N_{c3} = N_{e3} + N_{p3} = 327,5 + 18766 = 19093,5K\check{c}$$

3.3 Grafické znázornění výsledků a závěrečné zhodnocení

Pořizovací náklady a náklady na roční provoz jednotlivých kotlů byly porovnány a shrnuty do grafu (obr. 3.5), který je pro názornost sestrojen pro provoz kotlů po dobu 15 let.



Obr. 3.5. Graf znázorňující nárůst ročních nákladů na provoz kotlů

Z grafu je patrné, že finančně nejvýhodněji vychází provoz kotle na černé uhlí. Pořizovací cena je také nejnižší právě u tohoto kotle. Dále můžeme říci, že provozní náklady automatického kotle na dřevěné pelety se časem plynule přibližují nákladům na provoz zplyňovacího kotle na dřevěné brikety, ačkoli jeho pořizovací cena je vůči kotli na brikety několikanásobně vyšší. Toto je dáno především vyšší účinností kotle na pelety. U kotle na pelety je navíc výhodou pohodlnější obsluha a snadnější regulace výkonu.

Závěr

Biomasa je perspektivním ekologickým palivem, která má do budoucna potenciál v energetice dále nahrazovat spalování stále se ztenčujících zásob fosilních paliv pro vytápění rodinných domů nebo centrální vytápění. Ačkoli má však biomasa mnoho pozitiv, tedy je např. šetrnějším palivem pro životní prostředí, je relativně snadno dostupná a jedná se o obnovitelný zdroj energie, ekonomicky výhodnějším pro vytápění RD se zatím stále jeví kotel na černé uhlí. Navíc i pořizovací cena spalovacího zařízení na biomasu vychází často v porovnání s kotli na uhlí o něco draž, také kvůli jeho složité konstrukci navíc většinou uzpůsobené ke spalování pouze jednoho typu paliva. Tyto podmínky však mohou být zlepšeny dotacemi.

Nutno ještě říci, že graf vyvozený z porovnávacího výpočtu kotlů (obr. 3.5) je třeba brát poněkud s rezervou, protože např. předpokládá po celou dobu provozu kotlů stálé neměnné ceny jednotlivých paliv. Ty se však, zejména v případě fosilních paliv, mohou v průběhu času rapidně měnit a nyní vyvozený závěr pak nemusí být zcela pravdivý. Navíc v něm nejsou zahrnuty náklady na údržbu či případné opravy vlivem poruchovosti kotlů. U těchto nákladů ale na druhou stranu lze předpokládat, že budou pro jednotlivé kotle přibližně srovnatelné.

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] Murtinger, K. – Beranovský, J.: *Energie z Biomasy*, Vydavatelství ERA, 2008
- [2] Jandačka, J. – Malcho, M.: *Biomasa ako zdroj energie*, 2007
- [3] MURTINGER KAREL: Dřevo a jeho spalování. Topenifremem.cz [online]. 05.10.2006 [cit. 2011-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=5359ebbbca94bf171c951f2614090d88&cid=4524cab599676> >
- [4] Ministerstvo životního prostředí: Využívání pevné biomasy. mzp.cz [online]. 2008 [cit. 2011-03-02]. Dostupné z WWW: <http://www.mzp.cz/cz/vyuzivani_ pevne_biomasy>
- [5] Firemní WWW stránky Jilos: Dřevní štěpka. jilos.cz [online]. [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.jilos.cz/drevni-stepka>>
- [6] Firemní WWW stránky Biber s.r.o.: Štěpkovací stroj. biber.cz [online]. [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <http://www.biber.cz/default.asp?key=23_&lng=cz>
- [7] STUPAVSKÝ, Vladimír: Automatické kotelny na balíkovou slámu. *Biom.cz* [online]. 2010-09-22 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/automaticke-kotelny-na-balikovou-slamu>>
- [8] Firemní WWW stránky Poulík EKOPALIVA: Pelety. ekopaliva.poulik.cz [online]. [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <http://ekopaliva.poulik.cz/index.php?main_page=product_info&products_id=13>
- [9] Baláš, M.: *Kotle a výměníky tepla*, Akademické nakladatelství CERM, 2009
- [10] KOLONIČNÝ, Jan: Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>
- [11] WWW stránky ActewAGL: Tvorba uhlí. actewagl.com [online]. 2009-06-11 [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.actewagl.com.au/education/energy/nonrenewableenergy/Coal/whereDoesCoalComeFrom.aspx>>
- [12] WWW stránky Koumák: Uhlí a uhelné brikety. koumak.cz [online]. [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.koumak.cz/krby/uhli-brikety/>>
- [13] WWW stránky EKOBIOENERGO: Výhřevnost paliv. ekobioenergo.cz [online]. [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://ekobioenergo.cz/eko-bio-zajimavosti-vyhrevnosti-paliv.html>>
- [14] Firemní WWW stránky DEFRA: Přívod vzduchu při spalování. defrawoodstoves.com [online]. [cit. 2011-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.defrawoodstoves.com/wood.htm>>
- [15] WWW stránky Podpora lokálního vytápění biomasou: Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy. biomasa-info.cz [online]. [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/techpros.htm>>
- [16] Firemní WWW stránky ELKOTEX: Peletovací lis. eshop.elkotec.cz [online]. [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://eshop.elkotex.cz/zbozi/3645/Peletovaci-lis.htm>>

- [17] WWW stránky Brikettieren: Briketovací lis. brikettieren.de [online]. [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <http://www.brikettieren.de/bri_index.php?newlang=cz>
- [18] Firemní WWW Peletovací lisy: Matrice peletovacího lisu. peletovaci-lisy.cz [online]. [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.peletovaci-lisy.cz/lisy/eshop/0/2/5/1-Peletovaci-lis-KV-120>>
- [19] WWW stránky Kamnářství: Otevřený krb. kamnarstvi.net [online]. [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.kamnarstvi.net/index.php?me=2g>>
- [20] Firemní WWW Semaco: Krbová vložka. krby-kamna-pece.cz [online]. [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.krby-kamna-pece.cz/krby-fotogalerie/?pos=36&cnt=104>>
- [21] WWW stránky stavebnictví: Zplyňovací kotel na dřevo. stavebnictvi3000.cz [online]. [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zplynovaci-kotle-na-drevo-a-drevene-brikety/>>
- [22] WWW stránky Biom: Schéma propojení automatického kotle a krbových kamen s teplovodním výměníkem a akumulací nádrží. Biom.cz [online]. [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/obrazek/zapojeni-krbovych-kamen-s-teplovodnim-vymenikem-v-rodinnem-dome>>
- [23] Firemní WWW stránky Rioni: Kotel na pelety. rioni.cz [online]. [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <http://www.rioni.cz/kotel_na_pelety_P4.htm>
- [24] WWW stránky Dům a byt: Šnekový dopravník kotle na pelety. dumabyt.cz [online]. [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <http://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/bydlimi/inteligentni-kotle-a-ciste-teplo_19713.html>
- [25] WWW stránky Svět bydlení: hořák na pelety. svet-bydleni.cz [online]. [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.svet-bydleni.cz/bydleni-1/ImageHandler.aspx?method=GetImage&galID=347&photoID=2680&Don tParse=true>>
- [26] Firemní WWW stránky LING: Schéma retortového hořáku. rathan.sweb.cz [online]. [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://rathan.sweb.cz/ling.html>>
- [27] Firemní WWW stránky EkoWATT: Automatický kotel na štěpku. ekowatt.cz [online]. [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>>
- [28] Firemní WWW stránky Tricer Top: Externí hořák na pelety. tricer.cz [online]. [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.tricer.cz/kotle-na-pelety>>
- [29] Firemní WWW stránky Biomasa s.r.o.: Kotle na uhlí. biomasa-sro.cz [online]. [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-sro.cz/cz/kotle-uhli/>>
- [30] Firemní WWW stránky ATMOS: Prohořivací kotle na dřevo. atmos.cz [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.atmos.cz/czech/kotle-008-prohorivaci-kotle-na-drevo>>
- [31] Firemní WWW stránky ATMOS: Zplyňovací kotle na dřevo a dřevěné brikety. atmos.cz [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.atmos.cz/czech/kotle-007-zplynovaci-kotle-na-drevene-brikety>>

- [32] Firemní WWW stránky ATMOS: Kotle na pelety. [atmos.cz](http://www.atmos.cz) [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.atmos.cz/czech/kotle-004>>
- [33] Firemní WWW stránky ATMOS: Zplyňovací kotle nauhli a dřevo. [atmos.cz](http://www.atmos.cz) [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.atmos.cz/czech/kotle-002-zplynovaci-kotle-na-uhli-drevo>>
- [34] Firemní WWW stránky StavbaEU: Kotel ATMOS DC 24 RS. [stavbaeu.cz](http://www.stavbaeu.cz) [online]. [cit. 2011-03-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.stavbaeu.cz/kotle/s-rucnim-podavanim/drevene-brikety-a-drevo/atmos/atmos-dc-24-rs-kotel-na-drevo>>
- [35] Firemní WWW stránky AQUASTORE: Kotel ATMOS D 30P. eshop.aquastore.cz [online]. [cit. 2011-03-26]. Dostupné z WWW: <<http://eshop.aquastore.cz/kotle/na-tuha-paliva/na-pelety/kotel-atmos-d-30p>>
- [36] Firemní WWW stránky Topení-koupelny: Kotel ATMOS AC 25 S. topeni-koupelny.cz [online]. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.topeni-koupelny.cz/kotle/kotle-na-tuha-paliva/atmos/zplynovaci-kotle-na-cerne-uhli/atmos-ac-25-s-zplynovaci-kotel-na-cerne-uhli>>
- [37] Firemní WWW stránky Vše pro dřevo: ROEJK zásobník na pelety. vseprodrevo.cz [online]. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.vseprodrevo.cz/rojek-zasobnik-na-pelety-600-l/>>
- [38] Firemní WWW stránky CDP: Dřevěné pelety. cdp-ekopaliva.cz [online]. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.cdp-ekopaliva.cz/detail/4-Drevene-pelety-normovane-%28cisternou%29>>
- [39] Firemní WWW stránky Dřevěné brikety – pelety: brikety ENERGO HARD. drevenebrikety-pelety.cz [online]. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.drevenebrikety-pelety.cz/special.html>>
- [40] Firemní WWW stránky Prodejuhli: Černé uhlí KUZBAS. prodejuhli.cz [online]. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.prodejuhli.cz/kategorie.php?kategorie=26>>
- [41] WWW stránky tzbinfo: Přehled cen elektrické energie. tzb-info.cz [online]. 2011-01-01 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-elektricke-energie>>
- [42] WWW stránky tzbinfo: Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. [tzb-info.cz](http://vytapani.tzb-info.cz) [online]. 2011-01-01 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>>
- [43] KOČICA, J., BERKA, J., DOBRÝ, J., GRUS, J.: Vlastnosti biomasy jako paliva. lesprace.silvarium.cz [online]. 2004 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/398/21/>>
- [44] Firemní WWW stránky ALDA-MONT s.r.o.: Dřevěné brikety. alda-mont.cz [online]. [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.alda-mont.cz/?m=brikety>>

Seznam použitých zkratek a symbolů

Symbol	Popis	Jednotka
A	Obsah popela v palivu	[-]
W	Relativní vlhkost dřevní hmoty	[%]
η_i	Účinnost kotle	[%]
N_{ei}	Náklady na elektrickou energii při ročním provozu kotle	[Kč]
N_{pi}	Náklady na palivo při ročním provozu kotle	[Kč]
N_{ci}	Celkové roční náklady na provoz kotle	[Kč]
m_1	Hmotnost vzorku surové dřevěné hmoty	[kg]
m_2	Hmotnost vzorku po vysušení	[kg]
M_{pi}	Roční spotřeba paliva	[kg]
m_p	Hmotnost popelu	[g]
m_d	Hmotnost suchého vzorku	[g]
H_2	Obsah vodíku v palivu	[kg · kg ⁻¹]
Q_s	Spalné teplo	[MJ · kg ⁻¹]
Q_i	Výhřevnost	[MJ · kg ⁻¹]
Q_v	Výparné teplo vody	[MJ · kg ⁻¹]
$Př_i$	Elektrický příkon kotle	[W]
P_i	Výkon kotle	[kW]
Q_z	Tepelné ztráty domu	[kW]
Q_{rok}	Teplo spotřebované k vytápění domu na 1 rok	[MWh] = [GJ]
E_i	Roční spotřeba energie daného kotle	[kWh]
T_i	Provozní doba kotle	[h]