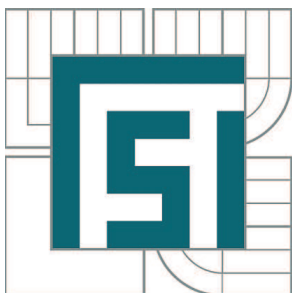


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KOTLE NA TUHÁ PALIVA

SOLID FUEL BOILERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ SKOČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MAREK BALÁŠ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Skočík

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 Fuel Boilers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je popsat v ČR dostupná pevná paliva vhodná pro vytápění RD.

Dále zmapovat trh kotlů na tato paliva.

Vybrané kotle porovnat po ekonomické stránce.

Cíle bakalářské práce:

1/ Popište tuhá fosilní paliva dostupná v ČR

2/ Proved'te průzkum trhu kotlů na tuhá paliva vhodná pro vytápění RD.

3/ Porovnejte návratnost investice do vybraných kotlů.

Seznam odborné literatury:

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

Jandačka, J., Mikulík, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9

Quaschninh Volker: Obnovitelné zdroje energií. Praha, Grada 2010, ISBN: 978-80-247-3250-3

Malatřák, J., Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1810-6

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá vytápěním rodinného domu kotli na tuhá paliva, a to jak na fosilní paliva, tak i na moderní formy biomasy. V první části jsou popsány a vysvětleny vlastnosti, složení a důležité charakteristické veličiny těchto paliv. Dále se věnuje členění, popisu, možnostem zpracování a úpravy jednotlivých tuhých fosilních paliv a posléze biomasy. Poté jsou krátce popsány principy spalování kotlů na tato paliva spolu s jejich vlastnostmi, výhodami a nevýhodami. V poslední části se zaměřuje na výběr vhodného kotle a paliva pro zvolený referenční dům.

KLÍČOVÁ SLOVA

Trendy, vytápění, kotel, uhlí, fosilní paliva, biomasa, energetické ztráty, návratnost.

ABSTRACT

This thesis is engaged in heating of the family house by solid fuel boilers, both fossil fuels and the modern forms of biomass. The first section describes and explains the properties, composition and important characteristic quantities of these fuels. It also discusses the classification, description and processing options of solid fossil fuels and biomass. Then they are briefly described the principles of combustion boilers for these fuels along with their properties, advantages and disadvantages. The last section focuses on the selection of a suitable boiler fuel for the selected reference house.

KEYWORDS

Trends, heating, boiler, coal, fossil fuels, biomass, energy loss, return.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SKOČÍK, L. *Kotle na tuhá paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma: Kotle na tuhá paliva, jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Markovi Balášovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	15
1 ZDROJE ENERGIE A TEPLA V PRŮBĚHU STALETÍ	17
2 VLASTNOSTI TUHÝCH PALIV	18
2.1 Složení	18
2.2 Prchavý podíl	19
2.3 Výhřevnost a spalné teplo	19
2.4 Obsah vody	20
2.5 Měrná sirnatost	22
2.6 Vyjádření množství paliva	23
3 PEVNÁ FOSILNÍ PALIVA	24
Antracit	24
3.1 Černé uhlí	24
3.2 Hnědé uhlí	25
3.3 Rašelina	25
3.4 Uměle zpracovaná paliva	25
3.4.1 Koks	26
3.4.2 Uhelné brikety	26
3.4.3 Rašelinové brikety	26
4 BIOMASA	27
4.1 Rozdělení biomasy	27
4.2 Biomasa energetických plodin	28
4.3 Odpadní biomasa	28
4.4 Vlastnosti dřeva	28
4.5 Úprava dřevní biomasy	29
4.6 Fytomasa a její úprava	30
5 KOTLE NA TUHÁ PALIVA	31
5.1 Teplovodní kotle na dřevo a brikety	32
5.2 Kotle na pelety	32
5.3 Kotle na štěpku a piliny	32
5.4 Kotle na balíky slámy	32
5.5 Kotle na uhlí	33
6 POROVNÁVACÍ VÝPOČTY KOTLŮ	34
6.1 Zplynovací kotel na dřevěné brikety a dřevo ATMOS DC 24 RS	35
6.2 Automatický kotel na pelety ATMOS D 25 P	36

6.3 Zplynovací kotel na černé uhlí ATMOS AC 35 S	37
6.4 Výsledné porovnání.....	38
ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	44
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	46

ÚVOD

Problematika vytápění rodinných domů se poslední dobou stává stále více diskutovaným tématem, probíraným při realizaci novostaveb, rekonstrukcí nebo u staveb stávajících. Je to dáno hned několika faktory. Především je to postupný rozmach nových způsobů vytápění, které dříve nebyly tolik přístupné, ať už technologicky či ekonomicky. Tento rozmach je spojen s všeobecně větším důrazem na menší ekologický dopad jednotlivých druhů vytápění, s čímž souvisí i podpora těchto šetrnějších technologií využívajících obnovitelné zdroje energií (OZE) státem. S vytápěním je úzce spjat i ohřev teplé užitkové vody. Obojí lze realizovat jedním z dostupných zdrojů energie, ale i jejich kombinací. Namátkou uvedme solární kolektory, solární fotovoltaické články, které jsou ale méně účinné. „*Malé větrné elektrárny od 2,5 do 10 kW sloužící hlavně pro vytápění domů či ohřev vody.*“ Tyto ale najdou v ČR uplatnění pouze v horských oblastech. [1] Výše uvedené zdroje ve většině případů, tj. u starých nezateplených budov s velkými tepelnými ztrátami (vyjma nízkoenergetických domů) nelze jednoznačně doporučit kvůli nedostatečnému výkonu a spolehlivosti jako jediný zdroj pro vytápění, ovšem jejich potenciál skýtá v již zmíněném ohřevu TUV a v některých případech i k vaření spojeným s kombinovaným vytápěním s dalším primárním zdrojem. Neméně často také nachází využití pro pohon domácích elektrospotřebičů, ať už částečně či celoplošně. Pro samotné vytápění jsou uzpůsobena tepelná čerpadla, jež zažívají progresivní vývoj, a konvenční způsoby jako plynové kotle či elektrické přímotopy.

V oblasti spalování pevných paliv, kterou se práce zabývá, je výběr ovlivněn rozmanitějším trhem s kotly s proměnlivou účinností, rozšiřujícími se druhy paliv různých kvalit, cen a jejich dostupností, komfortem při doplňování paliva, v neposlední řadě pak množstvím produkováných škodlivin. Nakonec již výše zmíněná podpora státu formou dotací na kotle spalující biomasu hraje nemalou roli při rozhodování, který otopný systém konkrétní domácnost využije.

Program Zelená úsporám byl představen ministerstvem životního prostředí (MŽP) v roce 2009, avšak přes enormní zájem byl kvůli vyčerpání vymezených finančních prostředků ke konci roku 2010 pozastaven. Podle Stupavského to má za následek vyčkávání domácností při pořízení nových kotlů na pelety a tím velice ovlivňuje prodeje, přičemž právě dotace dopomohly k většímu rozšíření těchto kotlů. Současně věří, že se znovuzavedením podpor trh opět poroste. [2] V listopadu 2012 byl MŽP předložen návrh programu Nová zelená úsporám a v únoru 2013 schválen vládou. Dle oficiální tiskové zprávy Státního fondu životního prostředí lze žádosti podávat od poloviny roku 2013, v první fázi je podpora zaměřena výhradně na komplexní rekonstrukce rodinných domů „*s podmínkou výměny nevyhovujících zdrojů vytápění na tuhá fosilní paliva.*“ Později dojde i na dotace domů již zateplených na požadovanou úroveň, či instalaci solárních systémů na ohřev teplé vody. Program by přitom měl běžet do roku 2020. [3], [4]

Do ekologických požadavků kotlů na dřevo a uhlí nejvyšší měrou promlouvá Novela zákona o ochraně ovzduší s účinností od 1. 9. 2012. Ta zavádí povinné revize nově i u kotlů na tuhá paliva a krbová kamna o jmenovitém výkonu od 10 do 300 kW s teplovodním okruhem, první revize musí být provedena do 31. 12. 2016. Novela vymezuje limity minimální účinnosti a maximálních emisí CO dané aktualizovanou normou ČSN EN 303-5, která rozřazuje spalovací zařízení do tříd. Stupavský udává, že za posledních 5 let tvoří prodej kotlů na pevná paliva v ČR objem cca 40 tisíc kotlů, „*z toho cca 75 % jsou kotle z 1. nebo 2. třídy.*“

(účinnost minimálně 55 %), které jsou dle nové vyhlášky nevyhovující. Dále odhaduje, že by se to mělo dotknout odhadem půl milionu domácností. „*Od 1. 1. 2014 bude povoleno prodávat kotle 3. třídy a vyšší*“ (minimální účinnost 73 %) a od 1. 1. 2018 to budou pouze kotle 4. a vyšších tříd s alespoň 82 % účinností. V současné době specifikace 4. a 5. třídy splňují všechny automatické kotle na pelety, u kotlů na uhlí je situace prozatím méně optimistická. „*Předpokládá se, že z trhu mohou zcela zmizet kotle na uhlí s ručním přikládáním.*“ Naopak výrobci zplyňovacích kotlů na kusové dřevo s ručním přidáváním by měli splnit parametry 4. třídy. Porovnáním uvolněných škodlivin jednotlivých tříd si lze celkem jasně udělat představu, jak se těmito opatřeními sníží zatěžování životního prostředí. Nejrozšířenější kotle na uhlí 1. tříd emitují CO na úrovni okolo 9 tisíc $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, kdežto zařízení 4. tříd mají tento limit nastaven na 1 tisíc $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. [2] V ideálním případě by tedy mělo dojít ke snížení emisí CO zhruba na méně než pětinu oproti současnému stavu.

1 ZDROJE ENERGIE A TEPLA V PRŮBĚHU STALETÍ

K objevu ohně jeskynním člověkem došlo již před 790 000 lety. Není proto žádným překvapením, že právě biomasa je ve své přirozené nezpracované podobě ve formě palivového dřeva nejdéle používaným zdrojem tepla. [5]

„Prvními zařízeními pro vytápění byla otevřená ohniště“ bez komínů, komíny se začaly používat až ve 14. století. [7] Koncem středověku byla ohniště nahrazena jejich vylepšenou formou - krbem. Ve století šestnáctém byla ve větší míře používána kamna, nejdříve kachlová, později litinová a ocelová. [7] Do 18. století bylo dřevo nejdůležitějším zdrojem energie vůbec. Taktéž pracovní zvířata obrovskou měrou pokrývaly tehdejší energetické nároky. [5]

Zužitkování obnovitelných zdrojů energie nikterak není výmyslem dnešního světa, naopak se v hojné míře jejich využití rozšířilo ke konci 17. století, kdy pouze na tehdejší území sjednoceného Nizozemí bylo v provozu okolo 8 000 větrných mlýnů. O století později v celé Evropě stálo na 500 000 až 600 000 vodních mlýnů produkujících energii. OZE našly velké využití až do počátku 20. století. [5]

Myšlenka ústředního vytápění se realizovala už ve starověku. Princip tzv. hypocaustového vytápění (kombinované podlahové a teplovzdušné vytápění kouřovými plyny) tehdy používali Římané pro zásobování paláců a domů bohatých patricijů teplem a vyhřívání lázní. Tento systém se však nerozšířil až na ojedinělé výskyty v Malé Asii či Sýrii. Na podobném principu fungovalo čínské vytápění Kang, které ovšem bylo vyvinuto nezávisle. [7] Rovněž to byla Čína, která už okolo roku 200 př. n. l. dokázala využít zemní plyn ke spalování v kotli na získávání soli ze solanky, později tuto znalost využili i na vytápění domácností a chrámů. [8]

Uhlí coby známý zdroj tepla bylo zpočátku odmítáno, až otevřením nalezišť kvůli většímu nedostatku dřeva v některých oblastech Evropy našlo uplatnění. Kolem roku 1800 bylo 60 % vytěženého uhlí využito v domácnostech k vytápění, o 50 let později už drtivou většinu spotřebovaného objemu zaujímal průmysl, především při spalování ve vysokých pecích při výrobě oceli a pro pohon parních strojů. [5]

“Teplovzdušné vytápění bylo nejrozšířenějším způsobem ústředního vytápění do roku 1870, poté bylo vytlačováno modernějším parním vytápěním.“ V USA se během této doby rozšířilo teplovodní vytápění, zároveň zde došlo k *“mnoha důležitým vynálezům, byly to radiátory jako otopná tělesa, litinové článkové kotle se svisle stavěnými články, různé druhy regulátorů atd. Byla také užívána teplovodní otopná soustava, kdy každé otopné těleso mělo samostatné přívodní a vratné potrubí, což umožňovalo účinnou individuální regulaci výkonu.“* [7] Právě vynález žebrových radiátorů zapříčinil rozšíření ústředního vytápění teplovodního. [6]

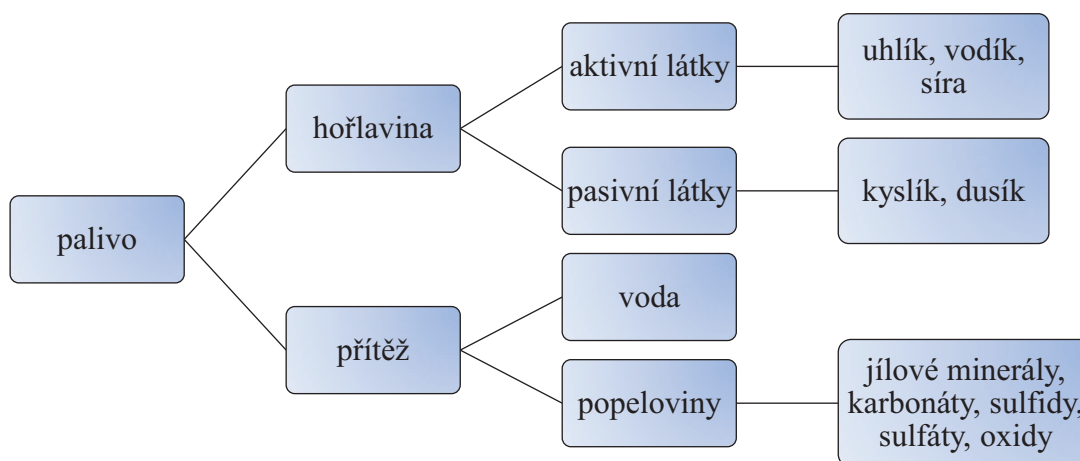
Ve 20. století se pak ke slovu dostávají kotle na tuhá paliva, zemní plyn, později na propan-butan, topné oleje a elektrické kotle. [7] Vzhledem k ropné krizi v 70. a 80. letech a stoupajících cenách klasických fosilních paliv lidé hledají nové možnosti dodávky tepla. V té době se rozroste počet instalovaných tepelných čerpadel, která zažívají v dnešní době opětovný boom. [9] Trh se rovněž začíná orientovat na zařízení spalující původní zdroje tepla – biomasu ve formě polenového dříví, pelet, briket atd. Dále lze využít kogeneračních jednotek ke společné výrobě elektřiny a tepla, dálkového vytápění CZT, sálavých infrapanelů apod. [10]

2 VLASTNOSTI TUHÝCH PALIV

2.1 Složení

„Každé palivo se skládá z hořlaviny a z přítěže.“ [7] Okysličováním hořlaviny se uvolňují aktivní látky, tj. uhlík, vodík a síra, tyto prvky tvoří chemicky vázané teplo v palivu. Přítomné pasivní prvky (kyslík, dusík) potom podporují samotné hoření, ale je nutné jim teplo dodat. Přítěží rozumíme popeloviny a vodu, s jejichž rostoucím podílem klesá spalné teplo, resp. výhřevnost a tedy i cena, jinak taky řečeno, čím větší podíl přítěže, tím méně tepla palivo dodá. Některé z těchto prvků mají velký vliv na produkci škodlivých látek, jedná se o síru, dusík, chlór, ale i popel. Síra navíc „výrazně zvyšuje rosný bod spalin a způsobuje snížení charakteristických teplot popela.“ Také stopové množství dalších anorganických prvků nepřímo ovlivňuje proces spalování, vznik škodlivin, tvorbu sazí apod. Obecně lze říci, že vyšší množství těchto prvků negativně přispívá ke znečištění ovzduší. [7], [11]

Jednotlivé složky paliva znázorňuje následující obrázek:



Obr. 2-1 Složení pevných paliv

Složení pevných paliv lze popsat následujícím vztahem:

$$h + A^r + W^r = 1, \quad (2.1)$$

kde h – hmotnostní podíl hořlaviny $[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$,
 A^r – hmotnostní podíl popelovin $[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$,
 W^r – hmotnostní podíl vody $[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$.

Horní index „ r “ zde vyjadřuje hmotnostní obsahy v surovém palivu. [7]

Obsah popela je vyjádřen následovně:

$$A = \frac{m_p}{m_d} \quad [-], \quad (2.2)$$

kde m_p – hmotnost popela [kg],
 m_d – hmotnost absolutně suchého vzorku paliva [kg].

2.2 Prchavý podíl

Důležitým pojmem je tzv. **prchavý podíl h^{daf}** , což je část hořlaviny uvolněná do plynné formy po ohřátí paliva, zbylou část hořlaviny zaujímá koksový zbytek. Podíl prchavé hořlaviny „*podstatně napomáhá vzněcování paliva v ohništi a stabilizuje spalovací proces.*“ [7] Hořlavinu lze popsat pomocí již zavedených veličin:

$$h^{daf} = \frac{h}{1-A-W} = C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + N^{daf} + O^{daf} = 1, \quad (2.3)$$

kde C^{daf} , H^{daf} , S^{daf} , N^{daf} , O^{daf} jsou hmotnostní podíly prvků v hořlavině [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$]. Úpravou této rovnice získáme vztah mezi hmotnostním podílem prvku v palivu a v hořlavině:

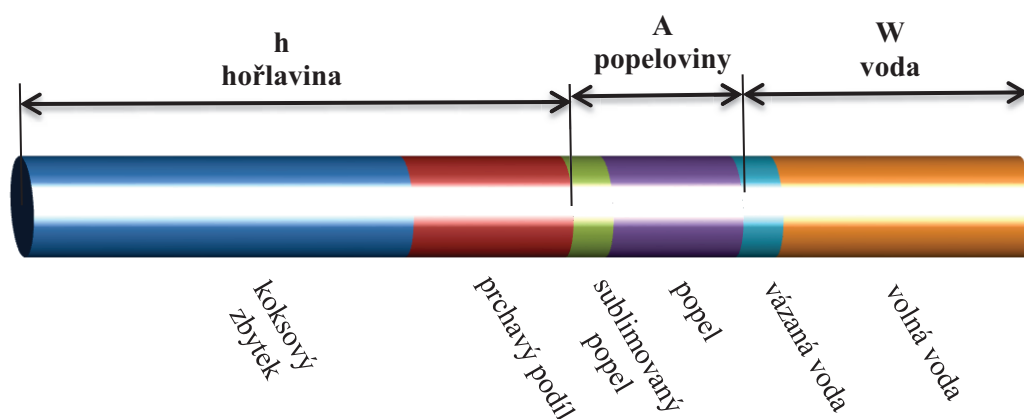
$$C = C^{daf} * (1 - A - W) \quad [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}], \quad (2.4)$$

podobně můžeme za veličiny C a C^{daf} dosadit prvky H , H^{daf} , atd.

„*Hmotnostní podíl popelovin v sušině a hmotnostní podíl popelovin v palivu obsahujícím vodu*“ na sobě závisí vztahem

$$A^d = A * \frac{1}{1-W} \quad [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}], \quad (2.5)$$

kde podobně jako v rovnici 2.4 můžeme A a A^d zaměnit za libovolný prvek obsažený v palivu. Přibližné zastoupení složek u uhlí ukazuje obrázek 2-2:



Obr. 2-2 Zjednodušené schéma složení uhlí

Při spalování se část hořlaviny, resp. část popeloviny mění na plynnou formu, tj. prchavý podíl. Zbývá část hořlaviny – koksový zbytek, resp. popeloviny hoří v pevném stavu, resp. zůstane v pevném stavu ve formě popela. Popel vzniká reakcí přítomných minerálních látek s kyslíkem. Popel a škvára – tuhé zbytky po spalování, zaujímají přibližně obsah popelovin v palivu. Obsažená voda má část volnou (voda hrubá) a část chemicky vázanou v palivu (voda zbytková). Poměr těchto složek pak ovlivňuje účinnost spalování. [11]

2.3 Výhřevnost a spalné teplo

„*Výhřevnost paliva Q_i [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$, $\text{kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$ nebo $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}$] je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením 1 kg (či 1 m^3) paliva při ochlazení spalin na standardní výchozí teplotu 20 °C, přičemž vzniklá voda zůstane ve formě páry. Spalné teplo Q_s [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, atd.] je*

celkové latentní chemicky vázané teplo v palivu, tedy včetně kondenzačního tepla vodní páry ve spalínách z paliva.“ [7]

Z definice je zřejmé, že energie získaná ze spalování velkou měrou závisí na množství vody v palivu obsaženém, jelikož část energie se spotřebuje právě na její odpaření a část energie na přeměnu vodíku na vodu, zbytek je chtěné teplo pro vytápění. Vlhkost paliva velmi ovlivňuje jeho výhřevnost především u biomasy, proto je třeba ji sušit, aby se její energetická hodnota neznechodňovala. Tyto dva pojmy tak popisují nejdůležitější vlastnosti paliva z hlediska energetického využití. Následující vztah udává relaci mezi spalným teplem a výhřevností:

$$Q_i = Q_s - 2453 * (W + 9 * H), \quad (2.6)$$

kde W – obsah vody v palivu $[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$,
 H – obsah vodíku v palivu $[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$. [7]

Tabulka 2-1 ukazuje zastoupení jednotlivých prvků v hořlavině a hodnoty spalného tepla u vybraných druhů paliv a zejména pak jejich hodnoty **prchavého podílu hořlaviny** h^{daf} , označovaný též V^{daf} .

Palivo		Složení hořlaviny				Spalné teplo	Typ plamene
Druh	Popis	$V^{daf} [\%]$	$C^{daf} [\%]$	$H^{daf} [\%]$	$O^{daf} [\%]$	$Q_s^{daf} [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$	
dřevo	na otop	cca 85	40-50	6,0-5,0	45-30	21800	dlouhý - svítivý
rašelina	sušená	cca 60	35-50	6,2-3,5	35-20	20400	dlouhý - svítivý
lignit	hodonín.	cca 55	50-60	6,0-5,0	30-20	26500	dlouhý - svítivý
hnědé	severoč.	53-54	74-69	6,0-5,9	24-19	31700-28400	dlouhý - svítivý
černé	karvin.	39-32	81-85	5,8-5,6	14-10	35800-33000	dlouhý a silně svítivý
antracit	OKD	10-16	90-91	4,0-3,7	6,0-4,5	36600-35600	krátký a málo svítivý

Tab. 2-1: Podíl prvků v hořlavině pevných paliv [7]

2.4 Obsah vody

Je definován dvěma způsoby. Dřevozpracující průmysl uvádí hodnoty absolutní vlhkosti:

$$w_{dr} = (m_1 - m_2) / m_2 * 100 = \Delta m / m_2 * 100 \quad [\%], \quad (2.7)$$

kde m_1 – hmotnost syrové dřevěné hmoty $[\text{kg}]$,
 m_2 – hmotnost po vysušení $[\text{kg}]$,
 Δm – změna (úbytek) hmotnosti vlivem vysušení $[\text{kg}]$.

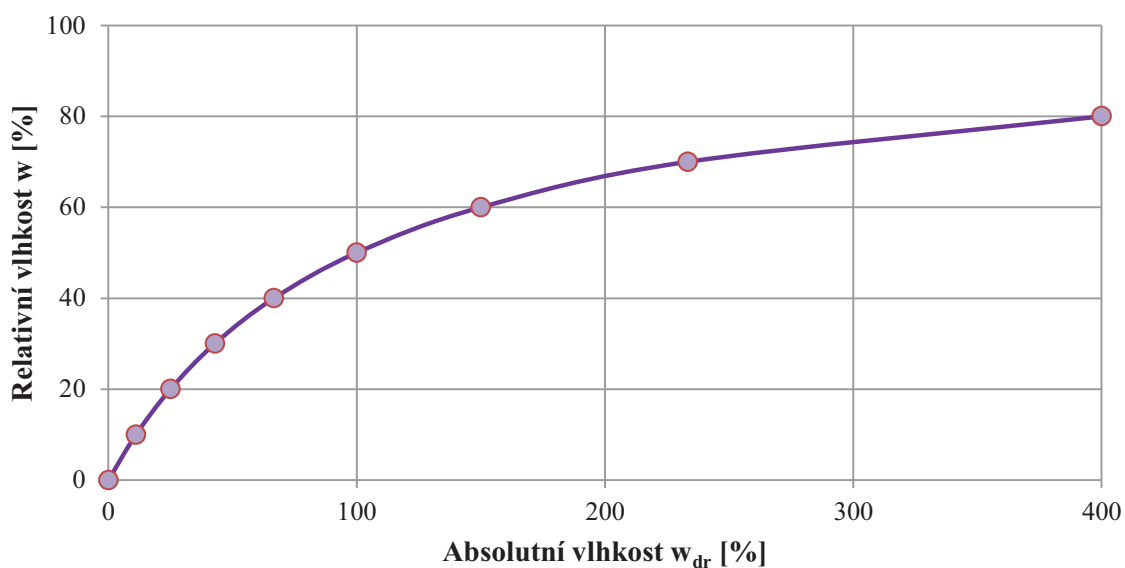
Naproti tomu v energetice je určující relativní vlhkost:

$$w = (m_1 - m_2) / m_1 * 100 = \Delta m / m_1 * 100 \quad [\%]. \quad (2.8)$$

Pro přepočet absolutní vlhkosti na relativní použijeme vztah:

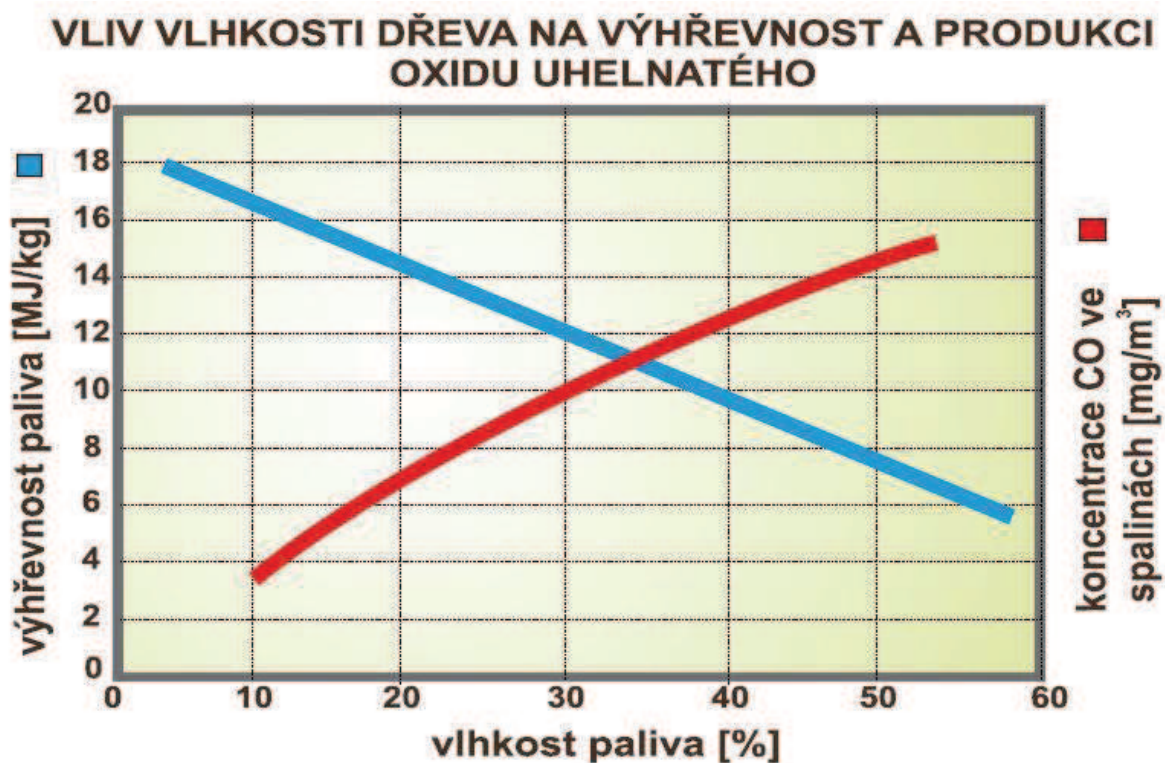
$$w = \frac{w_{dr} * 100}{100 + w_{dr}} \quad [\%], \quad (2.9)$$

nebo lze využít grafu:



Graf 2-1:: Závislost relativní a absolutní vlhkosti [11]

Vlhkost paliva neovlivňuje pouze jeho výhřevnost, nýbrž i emise CO, a to velkou měrou, jak lze vidět v následujícím grafu:



Graf 2-2: Závislost výhřevnosti a produkce CO na vlhkosti [12]

Mezi další negativa spojená s vyšším obsahem vody patří horší zápalnost, potíže při přepravě v zimním období (horší vyskladnění vagónů) a v případě „podkročení rosného bodu též

k urychlení koroze ze strany spalín.“ Zároveň platí, že „čím je uhlí geologicky starší, tím méně vody obsahuje.“ [7]

2.5 Měrná sirnatost

Udává hmotnost síry na jednotku výhřevnosti (definováno níže). Tato veličina má tudíž větší vypovídající hodnotu než samotná poměrná hmotnost síry:

$$\bar{S} = \frac{10S^r}{Q_i^r} \quad [\text{gS} \cdot \text{MJ}^{-1}], \quad (2.10)$$

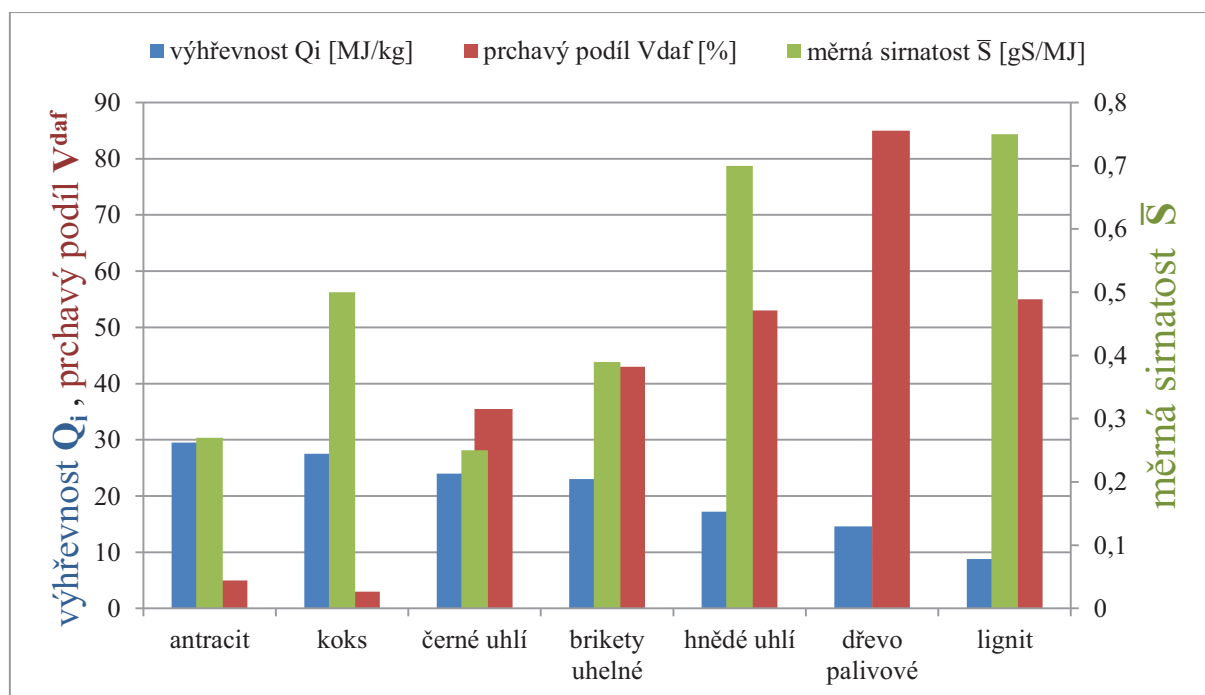
kde S^r - obsah síry v palivu $[\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}]$,
 Q_i^r – výhřevnost paliva.

Následující tabulka porovnává obsah síry v tuhých palivech a jejich výhřevnost se zemním plynem a těžkým topným olejem:

Palivo	Poměrný obsah S^r [%]	Výhřevnost Q_i^r [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]	Měrná sirnatost $\bar{S}$ [MJ^{-1}]
Černé uhlí (Ostrava)	0,6	22-29	0,25
Hnědé uhlí (Most)	1,2	9,6	1,25
Hnědé uhlí (Sokolov)	1,2	9,0	1,33
Lignit	0,6	7,6	0,75
Koks otopný	0,5-2	23-28	0,50
Hnědouhelné brikety	0,8-0,9	21-22	0,39
Topný olej těžký	3,0	41,0	0,73
Zemní plyn	0	44,0	0

Tab. 2-2: Výhřevnost a měrná sirnatost tuhých paliv [7]

Pokud si do grafu vyneseme hodnoty nejdůležitějších veličin charakterizujících paliva z předchozích dvou tabulek, získáme jasnou představu, jak na sobě tyto veličiny závisí:



Graf 2-3: Výhřevnost, prchavý podíl a měrná sirnatost tuhých paliv

Paliva jsou v grafu seřazena sestupně od nejvíce výhřevných a můžeme říci, že vodorovná osa zároveň zachovává pořadí dle geologického stáří jednotlivých paliv. Přitom koks a hnědohelné brikety jakožto uměle zpracovaná paliva mají výhřevnost podobnou černému uhlí. Určitou pravidelnost můžeme vysledovat i u rostoucího prchavého podílu a současného poklesu výhřevnosti, větší výjimkou je pouze dřevo, které má největší prchavý podíl ze všech paliv. Menší prchavý podíl má za následek horší zápalnost paliva. Až na umělý koks, kde je vysoká měrná sirnatost, a dřevo se zanedbatelným poměrem síry, můžeme říci, že mladší paliva mají větší poměr síry na vydané teplo. Platí tedy, že čím je palivo geologicky mladší, tím je méně kvalitní a více zatěžuje ovzduší.

2.6 Vyjádření množství paliva

Hustota paliva ρ je hmotnost jednotkového objemu paliva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]. Především u biomasy závisí na vlhkosti a může tedy nabývat různých hodnot u stejného druhu paliva. Nepřímo určuje požadavky na prostor pro skladování.

Ty jsou jednoznačně dány *sypnou hmotností paliva* ρ_s [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], která definuje poměr hmotnosti částic sypké biomasové hmoty m a objemu V_s , který tato hmota zaujme při volném sypání:

$$\rho_s = \frac{m}{V_s}, \quad (2.11)$$

kde m – hmotnost částic sypké hmoty,
 V_s – objem zaujímající sypká hmota.

Sypná hmotnost je závislá na vlastnostech paliva, především zrnitosti, vlhkosti, způsobu sypání či případného zhuštění, kterého se dosahuje setřásáním, vibracemi nebo stlačováním. [11]

Jiným vyjádřením u biomasy je stanovení **objemu**, který má 3 formy:

- 1 plm – *plnometr*, objem 1 m³ dřevní hmoty (tento objem zaujímá pouze dřevní hmota)
- 1 prm – *prostorový metr*, objem 1 m³ uloženého dřeva (dřevní hmota a vzduchové mezery)
- 1 prms – *sypný metr*, objem 1 m³ volně sypaného dřeva (nezhutněného – štěpky, pelety, piliny)

Jednotka	<i>plm</i>	<i>prm</i>	<i>prms</i>
<i>plm</i>	1,00	1,43	2,43
<i>prm</i>	0,70	1,00	1,70
<i>prms</i>	0,41	0,59	1,00

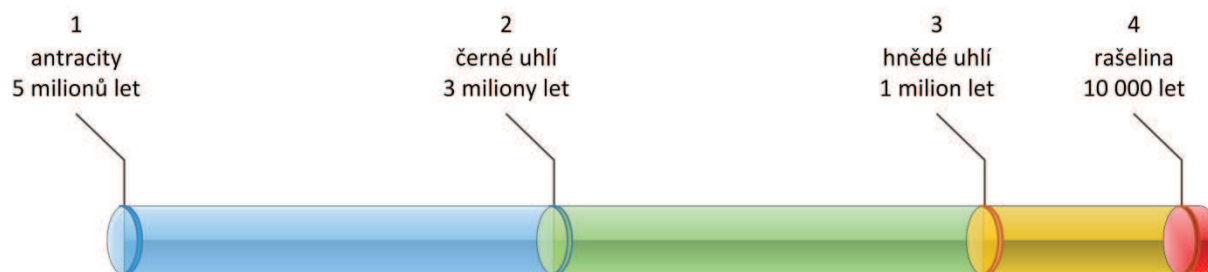
Tab. 2-3: Přepočty mezi vyjádřeními objemu dřevní hmoty [11]

3 PEVNÁ FOSILNÍ PALIVA

Fosilní paliva vznikly přeměnou pravěkých živočišných a rostlinných látek, tedy biomasy, za pomoci nashromážděné sluneční energie. Na dně mořských pánví se vlivem velkého tlaku a nedostatečného množství kyslíku zabránilo rozpadu přítomného planktonu a dalších jednobuněčných organismů. Tímto stlačováním došlo k chemické přeměně na koncentrované zásoby energie, jak je známe dnes: ropu, zemní plyn, černé a hnědé uhlí a rašelinu. Z pohledu chemie se jedná o organické uhlíkaté sloučeniny, které při spalování s kyslíkem uvolňují po miliony let nasbíranou energii ve formě tepla. Výsledkem reakce je oxid uhličitý, svítiplyn a další produkty hoření. [5]

„Přírodní fosilní paliva jsou základem pro výrobu paliv umělých, tzn. koksu, topného oleje, svítiplynu nebo zkapalněných plynů.“ [7]

Jelikož má práce pojednávat o tuhých palivech, dále se bude zaměřovat na černé uhlí, hnědé uhlí, rašelinu a jejich formy, ať už přírodní či umělé.



Obr. 3-1 Stáří tuhých fosilních paliv (přírodních)

Antracit

Antracit je nejstarší a nejkvalitnější formou černého uhlí, s nejnižším obsahem prchavých látek, vysokým obsahem uhlíku (nad 90 %) a velkou výhřevností. Má větší hustotu než ostatní uhelná paliva a tím pádem i nejmenší nároky na skladovací prostor. Vyznačuje se stáložárností, a proto stačí dle druhu kotle přikládat i jednou denně. Hoří krátkým a málo svítivým plamenem. Při spalování méně kouří a netvoří dehet, nespéká se a méně se zanáší kotel.

Dostupný je v několika třídách zrnitosti od 8 až 80 mm, přičemž s větší zrnitostí většinou roste výhřevnost a klesá podíl popela, vody a prchavých látek. Lze tedy doporučit méně sypký antracit, jedinou větší nevýhodou je pak vyšší objem paliva, výhody však převažují. Na našem území se antracit těží v ostravsko-karvinském revíru, dovozními zeměmi jsou Ukrajina a Rusko. [14]

3.1 Černé uhlí

Černé uhlí je druhé geologicky nejstarší a také má největší jakost hned po antracitu, s nímž má podobné vlastnosti: obsah uhlíku 80-90 %, měrnou símatost okolo $0,25 \text{ gS} \cdot \text{MJ}^{-1}$, vysokou výhřevnost $22\text{-}29 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Prchavý podíl je 32-39 %. Rozlišujeme černé uhlí koksovatelné pro další úpravu na otop a uhlí energetické pro výrobu elektrické energie. U nás se stejně jako antracit těží v ostravsko-karvinském revíru a dováží se z Polska a Ruska. [15]

3.2 Hnědé uhlí

Je mladší než černé uhlí a také méně kvalitní. Jeho nejmeně karbonizovanou formou je lignit. Vykazuje velké hodnoty měrné sirnatosti a prchavého podílu. Z toho plyne snazší zápalnost a delší plamen při hoření „za relativně nižších spalovacích teplot.“ [16] Nachází se v nižších hloubkách než černé uhlí, a tedy se snáze a levněji těží. U nás v oblasti Mostecka a dovoz z Polska. Dále se z něj zpracovává koks a uhelné brikety, tyto umělé formy zvyšují výhřevnost a snižují podíl síry. [15]



Obr. 3-2 Antracit 25–80 mm [14]



Obr. 3-3 Hnědé uhlí 9×7 cm [29]

3.3 Rašelina

"Rašelina je nahromaděný, částečně rozložený rostlinný materiál." Vzniká v rašeliništích, často označovaných také jako močály, bažiny či slatě. Rašelina obsahuje více než 50 % spalitelných látek a po usušení může být využita jako palivo. V průmyslovém měřítku je těžena v Irsku a Finsku, u nás se nachází např. na Šumavě. Zpracovává se na rašelinové brikety. [17]



Obr. 3-4 Vysušená rašelina. 10×8 cm [30]



Obr. 3-5 Otopový koks [18]

3.4 Uměle zpracovaná paliva

Umělá paliva jsou vyráběna za účelem snížení produkovaných škodlivin v domovních podmínkách a kvůli relativně menšímu nároku na skladovací prostory. Jelikož jde o zpracované těžené uhlí, na které je třeba vynaložit nemálo tepelné energie, jsou umělá paliva dražší, ale mají dobrou výhřevnost. [7]

3.4.1 Koks

Je vyráběn z černého uhlí „*vysokoteplotní karbonizací, tj. zahříváním uhlí na 1000 °C bez přístupu vzduchu.*“ Vedlejšími produkty při výrobě jsou surový dehet, čpavek, surový benzol, koksárenský plyn a sulfan. *"Koks vzniká i přirozeným způsobem, zejména tam, kde uhelné sloje přišly v průběhu geologického vývoje do styku se žhavým magmatem."* Má velmi vysokou výhřevnost okolo $28 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. [18]

3.4.2 Uhelné brikety

Vyrábí se lisováním rozemletého předsušeného hnědého či černého uhlí. Při výrobě se nepřidávají žádné chemické ani pojivové látky. Jsou stáložárné, bez zápachu a vytváří málo kouře. Hoří až 3krát déle než uhlí a zanechávají málo popela. [19]

3.4.3 Rašelinové brikety

„Brikety jsou vyráběny z vytěžené rašeliny a bez jakýchkoliv pojiv jsou slisovány do tvaru brikety a následně usušeny. Velkou výhodou rašelinových briket je pomalý a rovnoměrný žár s dlouhou dobou žhnutí. Díky této vlastnosti jsou velice vhodným palivem nejen pro krby a krbová kamna, ale i pro klasická kamna (aby nevyhaslo) a lze je použít i do kotlů.“ [17]



Obr. 3-6 Uhelné brikety [19]



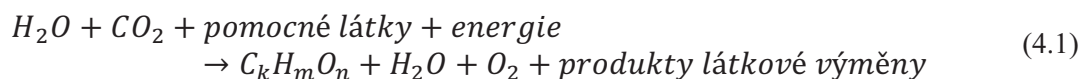
Obr. 3-7 Rašelinové brikety [31]

4 BIOMASA

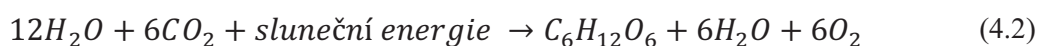
„*Biomasa je hmota organického původu.*“ Pod tímto pojmem se rozumí jak živé organismy, tak i odumřelé organismy a organické produkty látkové výměny. Evropská směrnice 2001/77/ES definuje biomasu jako „*biologicky rozložitelnou část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, a rovněž biologicky rozložitelnou část průmyslového a komunálního odpadu.*“ [13], [5] Je to součást obnovitelných zdrojů energie, proto se mezi biomasu nepočítají fosilní zdroje.

Biomasa vzniká fotosyntézou rostlin ve formě uhlovodíků, tedy přeměnou sluneční energie na energii chemických vazeb. Původem živočišné biomasy jsou opět rostliny, kterými se živočichové živí, jelikož mohou vytvářet biomasu jen její přeměnou. [5]

„*Fotosyntéza v rostlinách mění oxid uhličitý CO_2 , vodu H_2O a pomocné látky, jako jsou různé nerosty, na biomasu $C_kH_mO_n$ a kyslík O_2 .*“



Nejjednodušší přeměnou při kyslíkové fotosyntéze je vznik glukózy (hroznového cukru) $C_6H_{12}O_6$:



Kyslík je zde vedlejším produktem, avšak právě fotosyntéza vytvořila téměř veškerý kyslík na Zemi. [5] Při spalování biomasy se navíc uvolní stejné množství CO_2 , jaké rostliny za svůj život přeměnily fotosyntézou, můžeme tedy říci, že biomasa má nulovou bilanci oxidu uhličitého. [7]

4.1 Rozdělení biomasy

Biomasu lze třídit dle několika kritérií:

- 1) z hlediska původu:
 - dendromasa (dřevní biomasa - pelety, štěpka, brikety)
 - fytomasa (zemědělská biomasa – obilniny, konopí, jednoleté a víceleté rostliny)
 - zoomasa (živočišná – exkrementy, odpady)
 - komunální a průmyslové odpady
- 2) dle zdroje vzniku:
 - lesní (větvě, pařezy, piliny, kůra, kořeny, palivové dřevo),
 - zemědělskou:
 - fytomasu (sláma, obilí, konopí),
 - zoomasu (exkrementy, odpady),
 - průmyslové a komunální odpady
- 3) dle **energetického** využití:
 - energetické plodiny
 - odpadní biomasa [20]

4.2 Biomasa energetických plodin

Energetickými plodinami se rozumí biomasa pěstovaná především pro energetické využití. Proto jsou na ně kladeny určité požadavky:

- „dobrá účinnost přeměny CO_2 na biomasu pomocí slunečního záření,
- velký obsah sušiny v době sklizně,
- vysoká výhřevnost a nízký obsah popela,
- nenáročnost na vodu a živiny,
- odolnost proti chorobám a škůdcům.“

Mezi energetické plodiny zahrnujeme dřeviny a rostliny. Z **dřevin** jsou to převážně rychle rostoucí „s krátkou dobou obrůstání a s hmotným přírůstkem významně převyšující průměrný přírůstek ostatním dřevin.“ Doba mezi výsadbou a těžbou je 2 až 5 let, přitom výsadba se obnovuje až po 20 až 30 letech. Jde např. o vrby, topoly, jilmy atd. Energetické **rostliny** mají nedřevěný stonek a rozlišujeme je na jednoleté a víceleté. [20]

4.3 Odpadní biomasa

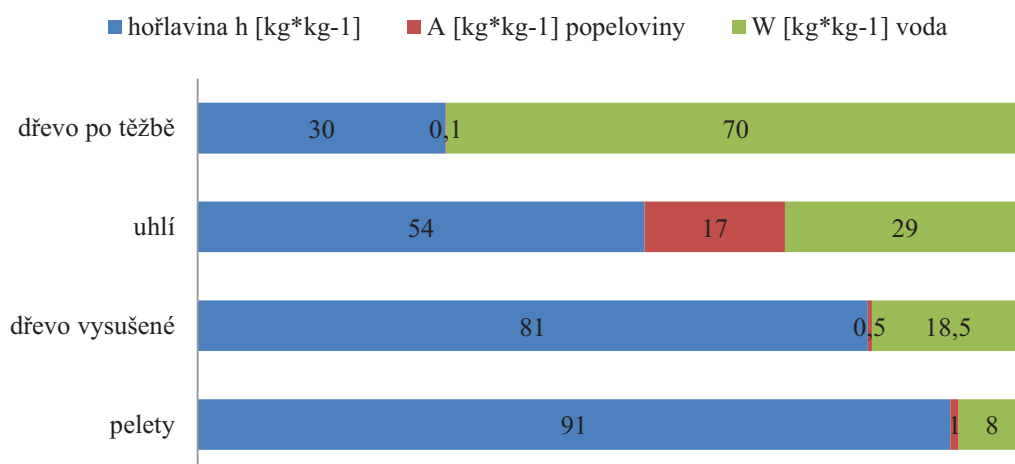
Jde o již využitou biomasu sloužící primárně k jiným účelům než k získávání energie, tedy „odpady z odvětví, která nějak využívají a zpracovávají biomasu:

- rostlinné odpady ze zemědělské výroby (řepková, kukuřičná nebo obilná sláma, seno);
- odpady z údržby krajiny či sadů a travnatých ploch (křoviny, prořezy);
- odpady po těžbě dřeva (kůra, větve, šišky, kořeny, pařezy);
- odpady z dřezozpracujícího průmyslu (odřezky, piliny, hobliny);
- odpady z potravinářských výrob (cukrovary, jatka, mlékárny, lihovary);
- odpady z živočišné výroby (hnuj, kejda, zbytky krmiv);
- komunální organické odpady.“ [20]

4.4 Vlastnosti dřeva

Dřevo se lehce zapaluje a při správném spalování a optimální vlhkosti hoří téměř bez dýmu. Zbylý popel zaujímá kolem 1 % původní hmotnosti. Optimální vlhkost pro spalování je okolo 15 až 20 %, to odpovídá době sušení 12 až 18 měsíců u naštipaného dřeva. [11]

Přibližné zastoupení složek u biomasy



Graf 4-1: Poměr hořlaviny, vody a popelovin u biomasy [11]

4.5 Úprava dřevní biomasy

Biomasa se dá energeticky využít ve formě nezpracované či upravené (zušlechtěné). Při těžbě však neupravené odpadní zbytky biomasy zaujímají velký sypný objem. Proto se přistupuje k úpravě biomasy za účelem snížení sypného objemu a tím i nákladů na dopravu, skladování a pro hospodárnější využití energie. Touto úpravou se rozumí drcení na štěpku a následné lisování na pelety a brikety.

Výhodou **štěpky** je rychlejší vysoušení a možnost automatického provozu při použití zásobníku a dopravníku paliva. Nevýhodou je naopak nutnost štěpku poměrně rychle spotřebovat, jelikož při delším skladování dochází ke zvyšování vlhkosti a postupnému rozkladu a tedy ztrátě objemu. „Doporučenou dobou pro spotřebování štěpky je 15 dní od výroby, za nejdelší dobu se považují tři měsíce.“ [11]

Brikety se lisují za vysokého tlaku do různých tvarů. Úpravou se docílí výhřevnosti okolo $19 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, snížením obsahu síry na asi 0,07 % a podílem popela do 0,5 %. Není u nich omezena doba skladování. Vyrábí se nejen ze dřeva, ale i z listů, slámy, papíru.



Obr. 4-1 Dřevní štěpka [32]



Obr. 4-2 Válcová dřevní briketa [25]

Pelety se vyrábí výhradně z odpadového materiálu (pilin či hoblin) bez dalších chemických přísad za tlaku 31,5 MPa (stejně jako u briket). Jejich výroba spočívá ve vysušení, homogenizaci (třízení) a drcení na vhodnou velikost a konečném lisování. Mají výhřevnost 17 až $18 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a nízký obsah vlhkosti 8 až 10 %. Jejich granulovitý tvar umožňuje částečný či plný automatický provoz.



Obr. 4-3 Dřevěné pelety [26]



Obr. 4-4 Balíky slámy [35]

4.6 Fytomasa a její úprava

Zemědělská biomasa neboli fytomasa se dělí do tří skupin dle její vhodnosti:

- „vhodná na spalování:
 - a) sláma (obilná, řepková, kukuřičná, slunečnicová),
 - b) dřevěný odpad (z vinohradů a sadů)
- na výrobu bioplynu:
 - a) exkrementy hospodářských zvířat,
 - b) zelená hmota,
 - c) odpad z potravinářských provozů
- na výrobu kapalných biopaliv
 - a) metylester řepkového oleje,
 - b) bioetanol“ [11]

Faktory při rozhodování pro výsadbu energetických rostlin jsou tzv. *energetický výnos* [$\text{GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$], výsledné náklady na biomasu [$\text{Kč} \cdot \text{t}^{-1}$] a teplo obsažené v biomase [$\text{Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$]. Energetické náklady na pěstování zaujímají přinejlepším 10 % z energetického výnosu.

Fytomasa se zpracovává do následujících forem:

Pelety lisované z vysušených drcených stébel dosahují výhřevnosti $16,5$ až $17,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, u slámy olejin pak až $19 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Obsah popela je 5 až 6 %, sypná hmotnost 550 až $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Dle Jandačky (2008) jsou vhodným palivem pro automatické kotle s tepelným výkonem nad 25 kW.

Brikety různých tvarů se vyrábějí podobně jako pelety a také mají velmi podobné vlastnosti. Rovněž jsou určeny pro kotle na 25 kW s tím rozdílem, že je potřeba ručního přikládání.

Balíky slámy se lisují do válců či kvádrů různých velikostí a hmotností za rozdílných tlaků, které ovlivňují výslednou měrnou hmotnost. [11]

5 KOTLE NA TUHÁ PALIVA

Kotel je zařízení pro transformaci energie paliv spalováním na tepelnou energii pracovního média, kterým může být voda či pára. V případě, kdy pracovní látkou je pára označujeme tyto kotle jako *teplotovzdušné*; kotle používající jako teplotonosnou látku vodu nazýváme *teplovodní*. Teplovodní kotle jsou v ČR nejrozšířenější, proto se práce zaměří na tyto kotle.

Kotle jsou používány pro ústřední vytápění, oproti lokálnímu vytápění – typicky kamna – mají velkou řadu výhod. V první řadě mají větší výkon i větší účinnost, přináší větší komfort při obsluze, snadnější regulaci, při instalaci nemusíme řešit přívod vzduchu do každé otopné místnosti s kamny a zároveň je neznečišťujeme palivem. Také pořizovací cena jednoho kotle je nižší než v případě několika kamen.

Pro správné spalování musí být kotel konstrukčně uzpůsoben konkrétnímu druhu paliva, některé kotle však dosahují vyšší účinnosti při kombinování dvou paliv. Dále musí být zajištěn dostatečný přísun vzduchu a určité požadavky jsou kladeny na skladovací prostory pro tuhá paliva. Jelikož je někdy potřeba dodat méně tepla (např. při vytápění pouze části domu), než umí kotel vyprodukovat, je důležitým prvkem kotlů zapojení **akumulační nádrže** pro správnou regulaci a nezanášení kotle. [20]

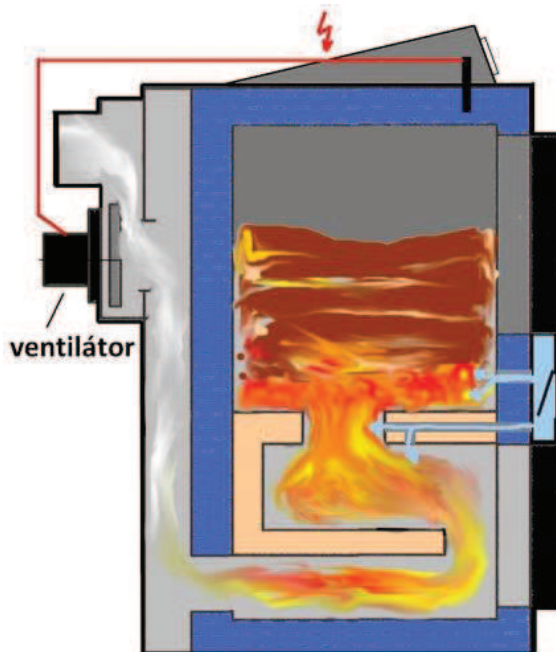
Dle druhu spalování můžeme kotle dělit na:

Prohořivací – klasické spalování dřeva bez ventilátoru, mají nižší účinnost a více se zanáší

Zplyňovací – kvalitnější a také rozšířenější, obsahují odtahový ventilátor pro odsání spalin z kotle. „Dřevo 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 předehřátý sekundární vzduch a zde při vysoké teplotě spalují.“ [10]



Obr. 5-1 Prohořivací kotel [33]



Obr. 5-2 Zplyňovací kotel [33]

5.1 Teplovodní kotle na dřevo a brikety

Tyto kotle mají manuální přikládání, a jelikož se snáze konstruuují pro větší výkony začínající na 18 – 20 kW, je jejich použití vhodné pro ústřední vytápění pro celý dům. V takovém případě můžeme přikládat i větší kusy dřeva, „*což snižuje pracnost při úpravě paliva.*“ Do těchto kotlů je možno přiložit i dřevní odpad a štěpku, avšak pouze v omezené kombinaci s kusovým dřevem, není možno v nich spalovat samotnou štěpku či piliny. Jedná se o nejlevnější palivo. Také kotle na tato paliva patří k nejlevnějším.

Pokud topíme dřevem s vlhkostí do 20 %, lze výkon snižovat na 40 % jmenovitého výkonu. Menšího výkonu už nejsou kotle na dřevo schopny, resp. vlivem zhroucení pyrolytického procesu dochází k prudkému snížení účinnosti, začne se tvořit velké množství sazí a zvyšovat emise. V jarních a podzimních měsících je potřeba tepla menší a zároveň nemůžeme snižovat výkon kotle pod určitou mez, proto se do oběhu instaluje akumulární (též pufrční) nádrž, kde se uchovává teplo pro pozdější použití, když je kotel vypnutý. [10]

5.2 Kotle na pelety

Kotle na pelety jsou nabízeny v široké škále výkonů začínajících už na 2 kW. Málo výkonné kotle pro nízkoenergetické domy lze regulovat v rozsahu 2 – 8 kW. Účinnost kotle je dána především *peletovým hořákem*, udávaná hodnota je kolem 90 %. Hořák lze v některých případech montovat do stávajícího kotle. Některé kotle nabízí duální provoz, tj. mají dvě horní komory na spalování dřeva a spodní komoru na pelety, tyto komory se navzájem neovlivňují. Vhodným střídáním paliva tak lze dosáhnout ekonomické úspory, jelikož pelety mají díky své energetické náročnosti na výrobu vyšší cenu než kusové dřevo, která ani tak není dána surovinami pro výrobu jakožto právě náklady na výrobu. Cena je ovšem stále nižší než u ostatních plyných či kapalných paliv. Pelety mají výhodu ve velmi nízké vlhkosti pod 10 % a vysokou účinnost kotlů. Ty jsou oproti kotlům na dřevo až 4krát dražší, můžeme však dosáhnout vysokého komfortu při automatickém dávkování. Lze například instalovat plnicí otvor na venkovní zeď kotelný a dopravit tak pelety cisternou přímo k podávacímu mechanismu. V případě ručního plnění stačí doplnit jednou za pár dní. [10]

5.3 Kotle na štěpku a piliny

Jsou konstruovány na vyšší výkony pro vytápění větších objektů, jako jsou farmy apod. s automatickým přikládáním. Takové kotle jsou schopné spalovat i piliny, některé jsou vyráběny přímo ke spalování pilin.

Štěpka je mnohdy zpracovávána přímo v místě dřevního odpadu, náklady na drcení nejsou velké a cena štěpky je tak určena spíše její dopravou. Oproti peletám má velkou vlhkost, a zaujímá větší objem (sypná hmotnost je vyšší), ale je podstatně levnější. Kvůli tomu se mnohdy nevyplatí štěpku dále sušit a rovnou ji spalovat. [10]

5.4 Kotle na balíky slámy

Obdobně jako kotle na štěpku jsou i kotle na slámu určeny spíše pro vytápění několika objektů. Spalování kvádrového či válcového balíku probíhá automatickým dopravením do předkomory, přesuvný pohyblivý rošt pak dopraví balík dále do spalovací komory, přičemž rychlost je regulována podle aktuální potřeby. „*Spalovací komora je opatřena otvory pro přívody sekundárních vzduchů za účelem dokonalého spalování s nízkým obsahem CO.*“ [21]



Obr. 5-3 Automatický kotel na štěpku [34]



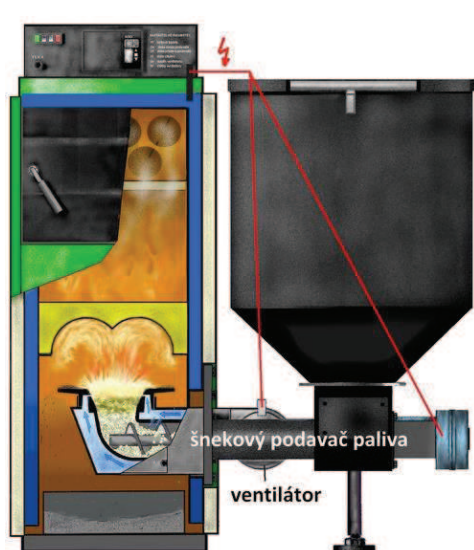
Obr. 5-4 Kotel na balíky slámy [21]

5.5 Kotle na uhlí

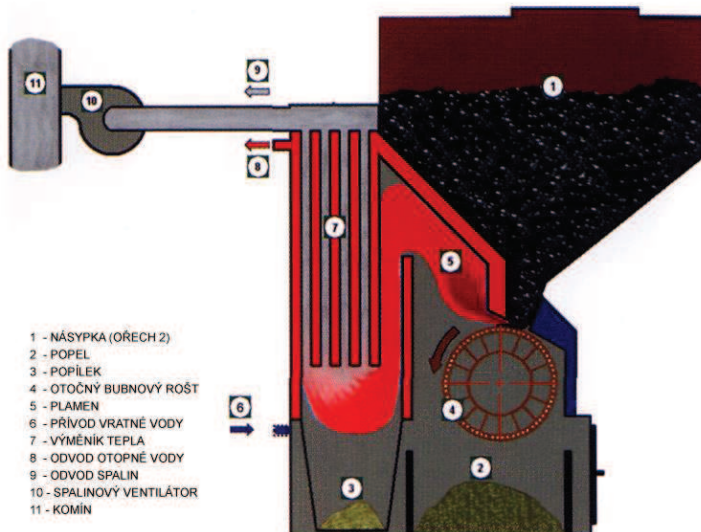
Jsou většinou automatické či poloautomatické a lze v nich topit kromě černého a hnědého uhlí i uhelnými briketami či koksem. Pracují na principu spodního **odhořívání** paliva v případě spalování **uhlí**, kdy se „v zadní části topeniště přimíchává do plamene sekundární vzduch, který zajišťuje spalování těkavých složek“ a oxidu uhelnatého. Regulace se provádí přívodem sekundárního vzduchu pod rošt. Pokud jako palivo použijeme **koks**, který neobsahuje těkavou hořlavinu, spalujeme jednodušším **prohořívacím** způsobem. Režim spalování volíme klapkou. [10]

Dle konstrukce se kotle dělí na:

- kotle s **retortovým** hořákem – uhlí se v násypce vlastní vahou sesouvá na šnekový dopravník, který ho přesune k hořáku
- kotle s **bubnovým** hořákem – otočný bubnový rošt pod násypkou zajišťuje dopravu uhlí do spalovacího prostoru.



Obr. 5-5 Retortový hořák [33]



Obr. 5-6 Bubnový hořák [10]

6 POROVNÁVACÍ VÝPOČTY KOTLŮ

Pro porovnávací výpočet kotlů byl zvolen rodinný dům v Ratíškovicích v okrese Hodonín. Délka topného období v této lokalitě je 215 dnů a průměrná teplota během otopného období $t_{es} = 4,2$ °C. Současný stav odpovídá zapojení plynového kotle Destila DP25Z pro vytápění. Ohřev TUV je řešen nezávisle Elektrickým ohřívačem vody 160K o výkonu 3,26kW. Dům byl v roce 2010 částečně zateplen a proběhla výměna oken. Z faktur dodavatele plynu za poslední 2 roky byla vypočtena průměrná roční spotřeba energie **40,3 MWh** neboli **145,1 GJ·rok⁻¹**. Tato hodnota uvádí celkovou spotřebu plynu na vytápění bez ohřevu vody (náklady na vaření jsme nezapočítali, jelikož v daném domě jsou elektrické vařiče). Dle kalkulačky na stránkách TZB-info [28] jsme z tohoto údaje spočetli přibližné tepelné ztráty domu $Q_C = 19,3$ kW. [28]

Pro další výpočty byly použity následující vztahy:

$$T_i = \frac{Q_{VYT,r}}{P_i \cdot 3600} \quad (6.1)$$

$$E_i = P_{0i} \cdot 10^{-3} \cdot T_i \quad (6.2)$$

$$N_{ei} = E_i \cdot C_e \quad (6.3)$$

$$Q_{VYT,r} = Q_i \cdot M_{pi} \cdot \eta_i \quad (6.4)$$

$$M_{pi} = \frac{Q_{VYT,r}}{Q_i \cdot \eta_i} \quad (6.5)$$

$$N_{pi} = M_{pi} \cdot C_{pi} \quad (6.6)$$

$$N_{ci} = N_{ei} + N_{pi} \quad (6.7)$$

kde T_i – provozní doba kotle [h]
 $Q_{VYT,r}$ – roční spotřeba na vytápění [GJ·rok⁻¹]
 P_i – výkon kotle [kW]
 P_{0i} – příkon kotle [W]
 E_i – roční spotřeba elektřiny [kWh]
 C_e – cena za kWh [Kč·kWh⁻¹]
 Q_i – výhřevnost paliva [MJ·kg⁻¹]
 M_{pi} – hmotnost paliva spotřebovaného za rok [kg]
 η_i – účinnost kotle [-]
 C_{pi} – cena paliva za kg [Kč·kg⁻¹]
 N_{ei} – roční náklady na elektřinu [Kč]
 N_{pi} – roční náklady na palivo [Kč]
 N_{ci} – celkové roční náklady na provoz kotle [Kč]. [11]

Pro porovnání byly vybrány následující kotle třetích tříd:

- Zplynovací kotel na dřevěné brikety a dřevo ATMOS DC 24 RS
- Automatický kotel na pelety ATMOS D 25 P
- Zplynovací kotel na černé uhlí ATMOS AC 35 S

6.1 Zplynovací kotel na dřevěné brikety a dřevo ATMOS DC 24 RS

„Kotel svou mohutnou násypkou umožňuje vkládání celých balíků briket a velkých dřevěných špalků. Jako náhradní palivo pro případ nouze je možné použít uhelné brikety.

- kotel vybaven sacím ventilátorem
- předepsané palivo - DŘEVĚNÉ BRIKETY $\varnothing$ 75 -100 mm, délka 200 - 300 mm
- náhradní palivo - KUSOVÉ DŘEVO
- topeniště s otočným litinovým roštem s přívodem předehřátého sekundárního vzduchu - dobré spalování už od zátopy a rychlé dosažení výkonu kotle
- uspořádání představuje nový způsob zplynování dřevěných briket - rošt vsazen do keramické komůrky
- snadné čištění topeniště za provozu“ [22]

Jako palivo budou použity válcové brikety premium výrobce CDP s výhřevností $18,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a cenou $5,50 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. [25]



Obr. 6-1 Atmos DC24RS na dřevěné brikety [22]

Kotel		Palivo	
Výkon	26 kW	Výhřevnost	$18,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Elektrický příkon	50 W	Cena za kg	$5,50 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$
Účinnost	86,6 %		
Pořizovací cena	33 432 Kč		

Tab. 6-1: Parametry kotle DC24RS

Doba provozu kotle:	$T_1 = \frac{Q_{VYT,r}}{P_1 \cdot 3600} = \frac{145,1 \cdot 10^9}{26 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1550 \text{ h}$
Roční spotřeba el.:	$E_1 = P_{01} \cdot 10^{-3} \cdot T_1 = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 1550 = 77,5 \text{ kWh}$
Cena za elektřinu:	$N_{e1} = E_1 \cdot C_e = 77,5 \cdot 5,72 = 443 \text{ Kč}$
Spotřeba paliva:	$M_{p1} = \frac{Q_{VYT,r}}{Q_1 \cdot \eta_1} = \frac{145,1 \cdot 10^3}{18,8 \cdot 0,866} = 8912 \text{ kg}$
Cena za palivo:	$N_{p1} = M_{p1} \cdot C_{p1} = 8912 \cdot 5,50 = 49018 \text{ Kč}$
Celkové roční náklady:	$N_{c1} = N_{e1} + N_{p1} = 443 + 49018 = 49461 \text{ Kč}$

6.2 Automatický kotel na pelety ATMOS D 25 P

Kotel umožňuje instalaci hořáku dle potřeby na levou či pravou stranu. Je plně automatický včetně dodávky paliva z dokoupeného zásobníku.

- Předepsané palivo: kvalitní dřevěné pelety (bílé) o průměru 6 až 8 mm, délce 5 až 25 mm a výhřevnosti $16 - 19 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Elektronická regulace ovládá chod externího dopravníku, dvou zapalovacích spirál a ventilátoru dle požadavků kotle a topného systému
- Automatické vybírání popela při zabudovaném odpopelnění. [23]

Jako palivo budou použity dřevěné pelety normované výrobce CDP s výhřevností $18,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a cenou $5,80 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. [26]



Obr. 6-2 Atmos D25P na pelety [23]

Kotel		Palivo		Položky kotle	Cena [Kč]
Výkon	7 – 24 kW	Výhřevnost	$18,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	kotel D25P + hořák A25 + dopravník DA2000 2 m	55800
Elektrický příkon	42 W	Cena za kg	$5,80 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$	textilní zásobník TZ5 5 m3	25713
Účinnost	90,2 %	Sypná hmot.	$650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	popelník 135 l	5383
Pořizovací cena	98 873 Kč			Odpopelňovací zařízení S0578	11977
				Celková pořizovací cena	98873

Tab. 6-1: Parametry kotle D25P

Doba provozu kotle:	$T_2 = \frac{Q_{VYT,r}}{P_2 \cdot 3600} = \frac{145,1 \cdot 10^9}{24 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1679 \text{ h}$
Roční spotřeba el.:	$E_2 = P_{02} \cdot 10^{-3} \cdot T_2 = 42 \cdot 10^{-3} \cdot 1679 = 70,5 \text{ kWh}$
Cena za elektřinu:	$N_{e2} = E_2 \cdot C_e = 70,5 \cdot 5,72 = 403 \text{ Kč}$
Spotřeba paliva:	$M_{p2} = \frac{Q_{VYT,r}}{Q_2 \cdot \eta_2} = \frac{145,1 \cdot 10^3}{18,8 \cdot 0,902} = 8557 \text{ kg}$
Cena za palivo:	$N_{p2} = M_{p2} \cdot C_{p2} = 8557 \cdot 5,80 = 49628 \text{ Kč}$
Celkové roční náklady:	$N_{c2} = N_{e2} + N_{p2} = 403 + 49628 = 50032 \text{ Kč}$

6.3 Zplynovací kotel na černé uhlí ATMOS AC 35 S

„Těleso je tvořeno dvěma nad sebou posazenými komorami, vrchní slouží jako zásobník paliva, spodní jako spalovací komora a popelník. Mezi nimi je umístěn nerezový otočný rošt, který umožňuje dokonalé zplynování uhlí a dřeva jednotlivě nebo dohromady a snadné odstraňování popela.“

- Předepsané palivo - černé uhlí OŘECH 1
- Náhradní palivo - kusové dřevo o délce 330, nebo hnědé a černé uhlí o větší velikosti (KOSTKA), hnědouhelné a dřevěné brikety
- Odtahový ventilátor - bezprašné vybírání popela, kotelna bez kouře
- Pohodlné vybírání popela – velký keramický spalovací prostor pro popel (u dřeva vybíráme jednou za týden u uhlí jednou denně)
- Kotel bez trubkovnice - snazší čištění“ [24]

Jako palivo bude použito černé uhlí ořech 1 výrobce OKD s výhřevností $30,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a cenou $5,05 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. [27]



Kotel		Palivo	
Výkon	25 - 35 kW	Výhřevnost	$30,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Elektrický příkon	50 W	Cena za kg	$5,05 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$
Účinnost	85 %		
Pořizovací cena	32 918 Kč		

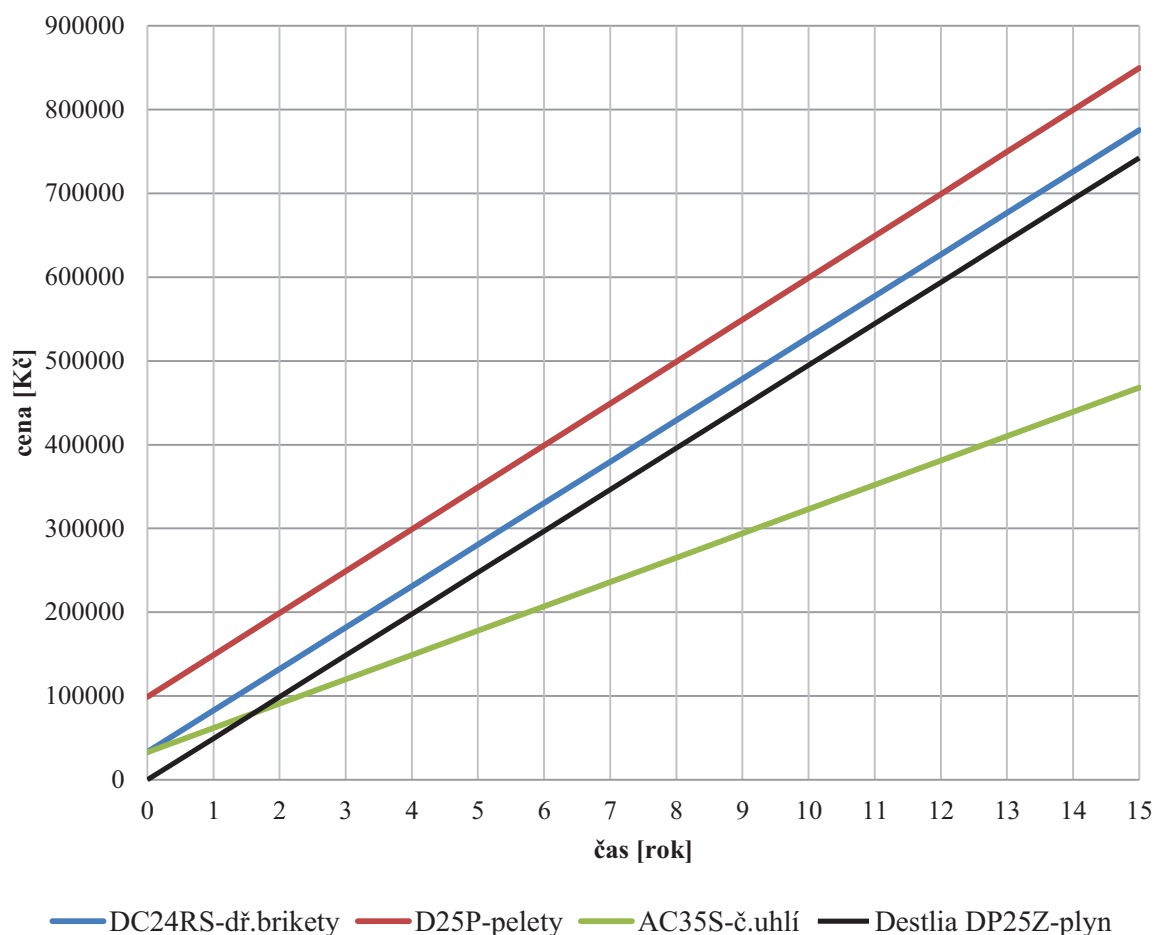
Tab. 6-3: Parametry kotle AC35S

Obr. 6-3 Atmos AC35S na černé uhlí [24]

Doba provozu kotle:	$T_3 = \frac{Q_{VYT,r}}{P_3 \cdot 3600} = \frac{145,1 \cdot 10^9}{25 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1612 \text{ h}$
Roční spotřeba el.:	$E_3 = P_{03} \cdot 10^{-3} \cdot T_3 = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 1612 = 80,6 \text{ kWh}$
Cena za elektřinu:	$N_{e3} = E_3 \cdot C_e = 80,6 \cdot 5,72 = 461 \text{ Kč}$
Spotřeba paliva:	$M_{p3} = \frac{Q_{VYT,r}}{Q_3 \cdot \eta_3} = \frac{145,1 \cdot 10^3}{30,2 \cdot 0,85} = 5653 \text{ kg}$
Cena za palivo:	$N_{p3} = M_{p3} \cdot C_{p3} = 5653 \cdot 5,05 = 28545 \text{ Kč}$
Celkové roční náklady:	$N_{c3} = N_{e3} + N_{p3} = 461 + 28545 = 29006 \text{ Kč}$

6.4 Výsledné porovnání

Do grafu byly zaneseny v počátku vodorovné osy pořizovací ceny vybraných kotlů a dále hodnoty nákladů na jejich provoz spolu s náklady na paliva v průběhu 15 let. Pro srovnání byl doplněn stávající kotel na zemní plyn o podobném jmenovitém výkonu jako výše uvedené, u kterého jsme nezapočítávali jeho pořizovací cenu.



Graf 6-1: Porovnání kotlů

Z grafu lze vypočítat zajímavý jev, a to že průběhy provozů kotlů na pelety, dřevěné brikety a plyn mají téměř stejnou směrnici přímk. Jinými slovy, jejich provoz je stejně nákladný. Z velké části to lze přisoudit optimálnímu výběru kotlů pro daný dům a hlavně podobným cenám zvolených druhů paliv, byly totiž vybírány po topné sezoně a díky slevám zaujímaly podobnou cenovou hladinu při stejné výhřevnosti.

Největší rozdíly nákladů u těchto tří kotlů jsou tedy dány převážně jejich pořizovací cenou. Pokud bychom kupovali nový plynový kotel se stejným výkonem, pořizovací cena by byla podobná ceně zvolených kotlů na brikety a černé uhlí. Přírůstek provozních nákladů nově pořizovaného plynového kotle by pak byla shodná s přírůstkem provozních nákladů kotle na dřevěné brikety.

U uhlí byly ceny ještě zhruba o 10 % nižší než u pelet a briket, a zároveň mělo 1,5 násobně větší výhřevnost a logicky vyšel provoz tohoto kotle nejlevněji. Během 15 let bychom uspořili 40 % nákladů oproti kotlům na brikety a plyn, oproti kotli na pelety dokonce 45 %. Z pohledu

ekologie je to však nejhorší palivo z výše vybraných. Nutné ruční přikládání i čištění navíc značně snižuje komfort, což platí i u kotle na dřevěné brikety.

Pořizovací cena kotle na pelety je oproti zbylým kotlům trojnásobná, avšak to je dáno započítáním volitelného příslušenství pro pohodlný a téměř bezúdržbový provoz. Počítá se s dopravou cisternou 3x ročně do zásobníku s automatickým odběrem, u takto velkých dodávek je většinou doprava zdarma. Přikoupeno bylo rovněž odpopelňovací zařízení, tudíž nemusíme kotel čistit ručně, ale stačí jednou za 2 až 4 týdny vynést popel nashromážděný v popelníku. Pokud bychom oželili tento komfort, lze se dostat na 2/3 cenu. V takovém případě by byl kotel zhruba o 20 tisíc korun dražší než ostatní vybrané kotle. V horizontu životnosti kotlů by to však nebyla tolik výrazná položka, uvážíme-li, že bychom spalovali biomasu, tedy obnovitelný zdroj energie s minimem emisí. Z těchto důvodů bych doporučil instalaci právě kotle na pelety.

ZÁVĚR

Stále větší propagace biomasy jako paliva pro vytápění způsobilo její větší dostupnost a nižší cenu. Ruku v ruce klesá i cena kotlů na spalování biomasy, což je dáno snahou výrobců prosadit se na trhu s perspektivní budoucností. Její směr je určován státem, který přijal Novelu zákona o ochraně ovzduší, jež určuje nová pravidla pro trh s kotly a zpřísňuje podmínky pro jejich prodej. Novela vymezuje limity minimální účinnosti a maximálních emisí CO dané aktualizovanou normou ČSN EN 303-5, která rozřazuje spalovací zařízení do tříd. Od roku 2014 bude povolen prodej kotlů pouze 3. a vyšších tříd a od roku 2018 4. a vyšších, to nutí výrobce přizpůsobit se budoucí poptávce. Stát prosazuje obnovitelná paliva také znovuzavedením programu Nová zelená úsporám, tedy dotace na relativně dražší kotle spalující biomasu, což vede ke zvýšené poptávce těchto paliv a následně klesající ceně. Zdá se, že snaha státu potlačit používání kotlů na pevná fosilní paliva, tedy uhlí a uhelné produkty, se vyplatí, jelikož pro výrobce bude obtížné vyrobit kotle na uhlí splňující přísné emisní limity 4. tříd.

Z oblasti paliv se z ekologického i ekonomického hlediska jeví jako nejperspektivnější upravená rostlinná biomasa (fytomasa) převážně do formy pelet, posléze briket a v případě větších provozů i do balíků. Pelety ze slámy olejnin dosahují podobné výhřevnosti jako dřevní pelety. Rostlinná biomasa má dobrý poměr energetického výnosu k energetickým nákladům na pěstování, který je až desetinásobný. Další výhodou je zajisté i to, že plodiny pro zpracování jsou rychle rostoucí.

Při porovnávacím výpočtu vyšlo najevo, že cenově se zatím stále zdaleka nejvíc vyplatí kotel na černé uhlí. To je dáno nejen nižší cenou paliva na jednotku výhřevnosti, která se však může a jistě i bude měnit, ale částečně i cenou kotle, jehož konstrukce je jednodušší. Stejně jako kotle na dřevěné brikety, které jsou však ekologicky mnohem šetrnější, mají i kotle na uhlí pro někoho obrovskou nevýhodu v častém ručním přikládání, čištění, vynášení popela apod. Zde cena ustupuje pohodlí. Vzhledem k plné automatizaci kotle na pelety a nesrovnatelně větším komfortem při vytápění jej i přes vyšší cenu doporučuji.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Malá větrná elektrárna v praxi. Kolik vydělá?. *Nazeleno* [online]. 2008 [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vetrna-energie/mala-vetrna-elektrarna-v-praxi-kolik-vydela.aspx>
- [2] Prodej kotlů na tuhá paliva třídy 1. a 2. končí příští rok. BECHYNĚ, Milan. *Tzbinfo* [online]. 14.6.2012 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/zdroje-tepla/8701-prodej-kotlu-na-tuha-paliva-tridy-1-a-2-konci-pristi-rok>
- [3] Nová zelená úsporám: Miliardy na úspory pro české domácnosti. Zelená úsporám [online]. 27.11.2012 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.zelenausporam.cz/clanek/193/1213/nova-zelena-usporam-miliardy-na-uspory-pro-ceske-domacnosti/>
- [4] Ministr Tomáš Chalupa představil vládě ČR program Nová zelená úsporám. Zelená úsporám [online]. 20.02.2013 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.zelenausporam.cz/clanek/193/1218/ministr-tomas-chalupa-predstavil-vlade-cr-program-nova-zelena-usporam/>
- [5] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Václav Bartoš. Jitka Hrubá. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [6] Encyklopedie energie. SIMOPT. Energyweb [online]. 1999 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.2.1
- [7] BAŠTA, J. a kol. *Topenářská příručka: Svazek 1. 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 2432 s. ISBN 80-861-7682-7.
- [8] Výskyt ropy ve starověku. *Petroleum* [online]. [200-] [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/ropa/vyskyt-ropy-starovek.aspx>
- [9] Historie a vývoj tepelných čerpadel v ČR a EU. *ASB* [online]. 15.12.2009 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/vytapieni/historie-a-vyvoj-tepelných-čerpadel-v-cr-a-eu-1651.html>
- [10] Zdroje tepla pro vytápění. *Hestia 5.0 VIVID: Encyklopedie* [online]. 2008 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/6.htm#6>
- [11] JANDAČKA, Jozef a Milan MALCHO. *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina: GEORG, 2008. ISBN 978-80-969161-4-6.
- [12] Jak můžete ovlivnit to, co vychází z vašeho komína: Informace o tom, jak správně (ne)topit. *Česká peleta* [online]. [201-] [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://ceska-peleta.cz/komfortni-teplisko/jak-muzete-ovlivnit-to-co-vychazi-z-vaseho-komina/>
- [13] Definice a členění. *Biomasa 2010: Občanské sdružení* [online]. [2010] [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.biomasa2010.cz/co-je-to/>
- [14] Prodej antracitu. *SH STREAM* [online]. [2009?] [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.shstream.cz/antracit>

- [15] Druhy pevných paliv. *MEIXNER & HANUŠ a.s.* [online]. [201-] [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.mhas.cz/pevna-paliva-druhy.php>
- [16] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 80-214-3955-6.
- [17] Brikety rašelinové. *Webareal* [online]. [201-] [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.webareal.cz/brikety/eshop/13-1-Brikety-raselinove>
- [18] Co je koks a jak vzniká. *OKK* [online]. [201-] [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.koksozny.cz/cs/vyrabime-koks/co-je-koks-a-jak-vznika>
- [19] Uhelné brikety. *Brikety* [online]. [2012] [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://brikety.org/uhelne-brikety/>
- [20] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: ERA, 2006, vi, 94 s. ISBN 8073660717.
- [21] Využití univerzálního kotle na spalování celých balíků sena. *Biom* [online]. 18.5.2009, 19.5.2009 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-univerzalniho-kotle-na-spalovani-celych-baliku-sena>
- [22] Zplynovací kotle na dřevěné brikety a dřevo. *ATMOS* [online]. [201-] [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.atmos.cz/czech/kotle-007-zplynovaci-kotle-na-drevene-brikety>
- [23] Kotle na pelety. *ATMOS* [online]. [201-] [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.atmos.cz/czech/kotle-004>
- [24] Zplynovací kotle na uhlí a dřevo. *ATMOS* [online]. [201-] [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.atmos.cz/czech/kotle-002-zplynovaci-kotle-na-uhli-drevo>
- [25] Briketa válcová PREMIUM. *CDP* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://cdp.cz/detail/briketa-premium-valec/>
- [26] Dřevěné pelety normované. *CDP* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://cdp.cz/detail/drevene-pelety-normovane-cisternou-akce-morava/>
- [27] Výběr pevných paliv. *Ridera* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.ridera.cz/index.php?sec=objednavka_palivo&stat=1&oblast=1&sklad=1&kate=1
- [28] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. 14.2.2003, 19.9.2005 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [29] Hnědé uhlí. *Energetické suroviny* [online]. 2006 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/energysur/hn%C4%9Bd%C3%A9%20uhl%C3%AD.html>
- [30] Rašelina. *Energetické suroviny* [online]. 2006 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/energysur/ra%C5%A1elina.html>
- [31] Prodej dřevních briket. *Prodej pelet* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.prodej-pelet.cz/?page=brikety>

- [32] Biomasa. *Beran velkoobchod* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://beranvelkoobchod.cz/img/biomasa.htm>
- [33] Jak vybírat nový kotel na pevná paliva. *TZB-info* [online]. 22.4.2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>
- [34] Energie biomasy. *EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [35] Tepelné izolace: Sláma a zkušenosti z praxe. *Nazeleno* [online]. 05.01.2011 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/tepelne-izolace-slama-a-zkusenosti-z-praxe.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Význam	Jednotka
$\bar{S}$	měrná sirnatost	$[\text{gS} \cdot \text{MJ}^{-1}]$
A	hmotnostní podíl popelovin v palivu obsahující vodu	$[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$
A^d	hmotnostní podíl popelovin v sušině	$[-]$
C_e	cena za kWh	$[\text{Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}]$
C_{pi}	cena paliva za kg	$[\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}]$
CZT	centrální zdroj tepla nebo také centralizované zásobování teplem	$[-]$
E_i	roční spotřeba elektřiny	$[\text{kWh}]$
H	hmotnostní podíl vodíku	$[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$
h	hmotnostní podíl hořlaviny	$[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$
h^{daf}	prchavý podíl hořlaviny	$[-]$
m_d	hmotnost absolutně suchého vzorku paliva	$[\text{kg}]$
m_p	hmotnost popela	$[\text{kg}]$
M_{pi}	hmotnost paliva spotřebovaného za rok	$[\text{kg}]$
MŽP	ministerstvo životního prostředí	$[-]$
N_{ci}	celkové roční náklady na provoz kotle	$[\text{Kč}]$
N_{ei}	roční náklady na elektřinu	$[\text{Kč}]$
N_{pi}	roční náklady na palivo	$[\text{Kč}]$
OZE	obnovitelné zdroje energie	$[-]$
P_{0i}	příkon kotle	$[\text{W}]$
P_i	výkon kotle	$[\text{kW}]$
plm	plnometr	$[\text{m}^3]$
prm	prostorový metr	$[\text{m}^3]$
prms	sypný metr	$[\text{m}^3]$
Q_i	výhřevnost paliva	$[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$
Q_s	spalné teplo	$[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$
$Q_{\text{VYT},r}$	roční spotřeba na vytápění	$[\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}]$
S^r	obsah síry v palivu	$[\text{gS} \cdot \text{kg}^{-1}]$
T_i	provozní doba kotle	$[\text{h}]$
TUV	teplá užitková voda	$[-]$
V_s	objem zaujímající sypká hmota	$[\text{m}^3]$
w	relativní vlhkost	$[\%]$
W	hmotnostní podíl vody	$[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$

w_{dr}	absolutní vlhkost	[%]
η_i	účinnost kotle	[-]
ρ	hustota	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
ρ_s	sypná hmotnost paliva	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Složení pevných paliv</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2-2 Zjednodušené schéma složení uhlí.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3-1 Stáří tuhých fosilních paliv (přírodních)</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3-2 Antracit 25–80 mm [14]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-3 Hnědé uhlí 9×7 cm [29]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-4 Vysušená rašelina. 10×8 cm [30]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-5 Otopový koks [18]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-6 Uhelné brikety [19]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 3-7 Rašelinové brikety [31]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4-1 Dřevní štěrka [32].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4-2 Válcová dřevní briketa [25]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4-3 Dřevěné pelety [26].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4-4 Balíky slámy [35]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 5-1 Prohořivací kotel [33].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5-2 Zplyňovací kotel [33]</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5-3 Automatický kotel na štěrku [34]</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-4 Kotel na balíky slámy [21]</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-5 Retortový hořák [33].....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-6 Bubnový hořák [10].....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 6-1 Atmos DC24RS na dřevěné brikety [22]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 6-2 Atmos D25P na pelety [23]</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 6-3 Atmos AC35S na černé uhlí [24].....</i>	<i>37</i>