



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## KOTLE NA TUHÁ PALIVA

BOILERS FOR SOLID FUEL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Patrik Zezulka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2018



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: Patrik Zezulka  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.  
Akademický rok: 2017/18

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

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Domovní vytápění tuhými palivy zažívá díky nízkým cenám paliva svoji reinkarnaci a to i přes velkou snahu snižování negativních ekologických vlivů tohoto zdroje.

Náplní práce je porovnání různých kotlů na tuhá paliva vhodných pro vytápění rodinných domů. Student se bude věnovat hodným palivům a jejich vlastnostem, dále provede průzkum trhu s kotli na tuhá paliva a v závěru práce provede základní ekonomické posouzení vybraných typů kotlů.

#### Cíle bakalářské práce:

- rešerše dostupných druhů tuhých paliv a jejich úprav pro domovní vytápění
- vlastnosti paliv
- přehled kotlů na tuhá paliva
- ekonomické posouzení vhodnosti vybraných druhů kotlů pro modelový dům

#### Seznam doporučené literatury:

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 27. 10. 2017



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katoňický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá vytápěním domu pomocí kotlů na tuhá paliva. Práce je rozdělena do několika částí. První část pojednává o nejčastěji využívaných tuhých palivech, popisuje jejich vlastnosti, složení a nejběžnější úpravy pro domovní vytápění. Druhá část je zaměřena na kotle na tuhá paliva, jsou v ní uvedeny vybrané typy kotlů, jejich činnost a také jejich výhody a nevýhody. V poslední části je ekonomicky posouzena vhodnost vybraných druhů kotlů pro vytápění modelového domu.

### **Klíčová slova**

Kotel, vytápění, tuhá paliva, biomasa, fosilní paliva.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the heating of houses with boilers for solid fuels. Thesis is divided into several parts. In the first part is dealt with most common solid fuels, their characteristics, composition and modifications for house heating. The second part is focused on solid fuel boilers, describes chosen boilers, their operation, their advantages and disadvantages. In the last part is economically assessed the suitability of selected solid fuel boilers for heating the model house.

### **Key words**

Boiler, heating, solid fuels, biomass, fossil fuels.



## **Bibliografická citace**

ZEZULKA, P. *Kotle na tuhá paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D..





## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Kotle na tuhá paliva** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
Patrik Zezulka



## **Poděkování**

Děkuji tímto doc. Ing. Markovi Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.



# Obsah

Úvod .....	15
1 Paliva .....	16
1.1 Rozdělení paliv .....	16
2 Tuhá paliva .....	17
2.1 Černé uhlí .....	17
2.2 Hnědé uhlí .....	18
2.3 Rašelina .....	19
2.4 Biomasa .....	19
2.4.1 Rozdělení biomasy .....	20
2.4.2 Záměrně pěstovaná biomasa .....	20
2.4.3 Odpadní biomasa .....	21
2.4.4 Úpravy biomasy pro vytápění .....	21
2.5 Složení paliv .....	23
2.5.1 Hořlavina .....	24
2.5.2 Popelovina .....	24
2.5.3 Voda v palivu .....	24
2.6 Vlastnosti paliv .....	25
2.6.1 Spalné teplo .....	25
2.6.2 Výhřevnost .....	25
2.6.3 Měrná sirnatost .....	26
3 Kotle na tuhá paliva .....	28
3.1 Lokální topidla .....	28
3.2 Teplovodní kotle .....	28
3.3 Kotle na pelety .....	29
3.4 Kotle na štěpku .....	30
3.5 Kotle na uhlí .....	31
4 Porovnávací výpočty kotlů .....	33
4.1 Zplynovací kotel na dřevo ATMOS DC18S .....	34
4.2 Zplynovací kotel na hnědé uhlí ATMOS C18S .....	35
4.3 Automatický kotel na pelety ATMOS D25P .....	36
4.4 Automatický kotel na černé uhlí DAKON DOR N 20 Automat .....	37
4.5 Kotel na hnědé uhlí DAKON DOR F 24 .....	38
4.6 Výsledné porovnání vybraných kotlů .....	39
Závěr .....	41

Seznam použitých zdrojů .....	42
Seznam použitých symbolů a zkratk .....	45
Seznam obrázků .....	46
Seznam tabulek .....	47

## Úvod

Lidé už od nepaměti poznávali různé zdroje energie. Jedním z těchto základních druhů energie byla energie tepelná. Od primitivních ohnišť, které lidé zprvu používali, např. pro přípravu potravy, jednoduchých pecí, až po dnešní moderní krby a kamna, všechny tyto vynálezy mají jeden společný aspekt – tepelnou energii, která se z nich získává. S vývojem získávání tepelné energie se také vyvíjela paliva, která se dala na tepelnou energii přeměnit. Od té nezákladnější biomasy (dřevo), kterou pravěcí lidé „živili“ svá ohniště, přes fosilní paliva jako třeba hnědé a černé uhlí až po různé odpady, které lze využívat pro výrobu tepelné či jiné energie.

Právě otevřená ohniště živena dřevem byla prvním způsobem získávání tepelné energie. Tento způsob získávání tepla nebyl však ideální kvůli úniku tepla do okolí. Postupem času se začaly objevovat první uzavřená ohniště, problémem však bylo nedostatečné větrání škodlivých látek uvolněných při spalování. První uzavřená ohniště s komínem se začaly objevovat až ve 14. století. Následně začaly vznikat první krby, a poté začátkem 16. století kamna. [1] Až do 18. století bylo dřevo nejpoužívanějším zdrojem energie. Ve 20. století přicházejí kotle na tuhá paliva, plyn a také elektrické kotle. Velkou oblibou bylo používat ve velkém fosilní paliva. [1]

Se snižujícími se zásobami fosilních paliv na Zemi stoupá poptávka po tuhých palivech, a to i díky jejich příznivé ceně. Domovní vytápění tuhými palivy tedy zažívá svou reinkarnaci i přes snahu snižování negativních dopadů na životní prostředí. Tato práce se zabývá porovnáváním dostupných druhů tuhých paliv, jejich vlastnostmi a jejich dopadem na životní prostředí.

# 1 Paliva

Pojem palivo je všeobecné označení pro jakoukoli chemickou látku, chemický prvek či jejich směs, které mají za určitých vhodných podmínek začít a udržovat chemickou reakci hořením. Spalováním těchto látek za správných hospodářských a hygienických podmínek dochází k přeměně chemické energie na energii tepelnou, kterou dále využíváme pro naše potřeby. [2]

Základní všeobecné požadavky na palivo: [2]

- vytvoření se vzduchem takové zápalné směsi, která při spalování za hospodářských a hygienických podmínek uvolňuje teplo
- co nejnižší cena, dobrá dostupnost, skladovatelnost
- zanechání co nejmenšího množství, ať mechanicky či chemicky, škodlivých látek po shoření
- maximální množství aktivních látek, které při hoření uvolňují teplo
- minimální množství pasivních látek, které spalování jakkoli sťažují

## 1.1 Rozdělení paliv

Paliva lze dělit z mnoha hledisek, jedny z těch základních jsou následující: [3]

### Rozdělení podle skupenství

K rozdělení paliv podle skupenství nám většinou stačí vizuální stránka paliva. Právě proto je to jedno z nejjednodušších rozdělení. Rozlišujeme tři základní druhy skupenství:

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

### Rozdělení podle stáří

Podle stáří rozlišujeme tři skupiny:

- fosilní – nerostné suroviny, které vznikly v dávných geologických dobách přeměnou odumřelých těl rostlin a živočichů za nepřístupu vzduchu, řadí se mezi ně například uhlí, ropa a zemní plyn
- současná – paliva vznikající v současnosti, jejich zástupcem je biomasa
- přechodná – tvoří přechod mezi fosilními a současnými palivy

### Rozdělení podle původu

Podle původu rozlišujeme dvě skupiny:

- přírodní – do této skupiny patří fosilní a recentní paliva
- vyrobená – paliva, která jsou produkty průmyslové technologie, např. svítíplyn

Tato bakalářská práce se zabývá pouze tuhými palivy, která jsou dále více specifikována.



## 2 Tuhá paliva

Mezi jedny z nejčastějších druhů paliv, kterými jsou domy vytápěny, jsou kromě plyných paliv paliva tuhá. Mezi tuhá paliva řadíme obnovitelná paliva souhrnně nazývána biomasa a neobnovitelná fosilní paliva jako například uhlí a koks. V následující tabulce můžeme vidět způsoby vytápění a používané energie k vytápění obydlých bytů.

	Obydlené byty celkem	z toho podle způsobu vytápění			z toho podle energie používané k vytápění				
		ústřední	etážové (s kotlem v bytě)	kamna	z kotelny mimo dům	uhlí, koks, uhelné brikety	plyn	elektrina	dřevo
<b>ČR celkem k 26. 3. 2011</b>	<b>4 104 635</b>	<b>3 301 760</b>	<b>292 222</b>	<b>357 039</b>	<b>1 365 060</b>	<b>336 076</b>	<b>1 419 633</b>	<b>255 019</b>	<b>285 386</b>
v tom velikostní skupina obce podle počtu obyvatel:									
do 199	70 143	52 609	2 481	10 979	772	24 343	10 114	6 434	21 804
200 - 499	232 659	182 133	8 884	30 368	4 304	66 679	60 614	24 269	54 335
500 - 999	329 927	264 431	13 833	37 956	6 836	75 158	118 826	36 861	61 817
1 000 - 1 999	354 451	287 536	18 316	35 461	15 516	56 229	164 205	35 061	50 352
2 000 - 4 999	452 510	366 689	29 457	41 098	64 572	45 932	215 259	38 822	44 195
5 000 - 9 999	360 274	290 154	28 164	30 283	95 597	28 060	151 796	28 374	21 748
10 000 - 19 999	385 218	313 657	34 054	26 488	162 557	13 480	141 609	18 257	10 705
20 000 - 49 999	554 237	459 621	45 984	31 678	287 720	13 871	164 882	18 260	10 618
50 000 - 99 999	372 904	330 345	18 322	15 325	228 875	4 862	86 482	8 554	4 134
100 000 a více	992 312	754 585	92 727	97 403	498 311	7 462	305 846	40 127	5 678
v tom:									
Hlavní město Praha	542 168	391 685	52 436	67 319	253 524	2 876	170 890	28 653	1 709
Středočeský kraj	482 860	390 657	26 539	46 514	105 235	78 826	158 583	51 360	33 275
Jihočeský kraj	247 608	205 497	11 266	22 431	78 661	32 671	56 043	19 954	36 677
Píseňský kraj	226 298	179 901	17 933	19 964	67 607	29 242	73 139	11 111	22 227
Karlovarský kraj	119 403	97 827	8 759	7 528	53 329	9 597	27 749	5 194	6 162
Ústecký kraj	330 981	273 844	20 853	23 078	148 912	27 086	82 265	16 689	13 282
Liberecký kraj	171 328	129 486	16 568	17 365	52 949	20 896	48 801	14 920	13 507
Královéhradecký kraj	215 277	160 337	19 069	26 898	56 722	28 494	68 484	23 051	17 757
Pardubický kraj	196 288	153 859	18 996	17 204	47 222	21 066	81 267	10 926	18 478
Kraj Vysočina	188 191	152 264	14 449	15 841	38 501	27 485	73 008	11 917	23 370
Jihomoravský kraj	443 358	352 641	36 354	39 389	120 678	7 887	229 446	20 984	22 789
Olomoucký kraj	243 624	198 998	18 882	18 752	69 753	12 455	102 515	13 381	25 263
Zlínský kraj	217 093	188 005	9 391	14 517	57 287	8 820	96 078	11 987	25 241
Moravskoslezský kraj	480 158	426 759	20 727	20 239	214 680	28 675	151 365	14 892	25 649

Tabulka 1: Obydlené byty podle způsobu vytápění a používané energie k vytápění [4]

### 2.1 Černé uhlí

Černé uhlí patří mezi jedno z geologicky nejstarších a nejdůležitějších fosilních paliv využíváno už od pradávna. Má vysokou výhřevnost, malé procento vody a prchavé hořlaviny. Při hoření má velmi horký plamen, vydává málo kouře, jeho nevýhodou je obtížnější zapalování. Černé uhlí je těženo v podzemí, u nás se těží v Ostravsko-karvinských dolech, mezi země s největší zásobou černého uhlí patří USA, Čína a například Rusko. V dnešní době je černé uhlí jedna z hlavních surovin pro výrobu elektrické energie. [10]

Nejstarší a nejkvalitnější uhlí se nazývá Antracit. Antracit se vyznačuje nejnižším obsahem prchavých látek, nejvyšším obsahem uhlíku a má ze všech druhů uhlí nejvyšší výhřevnost. Vznikal za současného působení vysokého tlaku a teploty. Antracit má větší hustotu než ostatní druhy uhlí, a tudíž mu stačí menší skladovací prostory. Vyznačuje se svou stáložárností, a díky malému obsahu prchavých látek při hoření méně kouří a nevytváří dehet. Používá se k vytápění, výrobě vápna a v chemickém průmyslu. [9]

Černé uhlí se může dále zpracovávat na koks. Koks vzniká z černého uhlí tzv. vysokoteplotní karbonizací, to znamená zahřívání uhlí na vysoké teploty kolem 1000 °C bez přístupu vzduchu. Vedlejšími produkty tohoto procesu jsou čpavek, surový dehet, benzol, síra a koksárenský plyn. V přírodě koks vznikal hlavně tam, kde uhelné sloje přišly do kontaktu s žhavým magmatem. Koks je svou výhřevností podobný černému uhlí, kdy je buď srovnatelný, nebo má výhřevnost lehce vyšší. Používá se jako palivo či redukční prostředek. Vzhledem

ke složitějším technologickým postupům při jeho výrobě, je koks jedno z dražších tuhých paliv. [8]



Obrázek 1: Černé uhlí [11]



Obrázek 2: Antracit [12]

## 2.2 Hnědé uhlí

Hnědé uhlí je oproti černému uhlí mladší, a tudíž i méně kvalitní, méně kvalitní je také proto, obsahuje velké množství příměsí jako popelovinu, síru a vodu. Jelikož není uloženo moc hluboko pod zemí, těží se především povrchově, z toho se také odvíjí nižší cena než u černého uhlí. Hnědé uhlí má při hoření dlouhý plamen, více kouří a má menší výhřevnost. Jeho nejméně karbonizovanou formou je lignit, naopak jeho nejstarší a nejvíce karbonizovanou formou je tzv. hnědý antracit. [2] Stejně jako černé uhlí, se hnědé uhlí hlavně používá k výrobě elektrické energie. V České republice je největším zdrojem tohoto uhlí Důl Nástup v Tušimicích. V Evropě se dále těží v Německu a Polsku. [6]

Hnědé uhlí se stejně jako černé uhlí zpracovává na koks, dále se zpracovává na uhelné brikety, zpracováním se zvyšuje výhřevnost a snižuje se podíl síry.

Uhelné brikety se vyrábí lisováním uhelného prachu pod velkým tlakem v briketovacím lisu. Při tomto procesu se nepřidávají žádné pojivové ani chemické látky. Brikety se vyznačují svou stáložárností, při hoření nevytvářejí tolik kouře a jsou bez zápachu, navíc při jejich spalování nevznikají jiskry. [5]



Obrázek 3: Hnědé uhlí [13]



Obrázek 4: Uhelné brikety [5]

## 2.3 Rašelina

Rašelina je ze všech fosilních paliv nejmladší. Vzniká nahromaděním a částečným rozložením rostlinného materiálu v rašelinistích (bažinách, močálech apod.). Vysušená rašelina může být využita jako palivo, jelikož obsahuje více jako 50 % hořlavých látek. Její výhřevnost je srovnatelná s hnědým uhlím, se kterým ji můžeme společně spalovat. Přednosti rašeliny jsou dlouhá doba žhnutí, neabsorpce vzdušné vlhkosti, naopak její nevýhoda je tvorba většího množství popela. V České republice je rašelina získávána v menší míře na Šumavě, mezi největší země využívající rašelinu patří Irsko a Finsko.

Pro domovní vytápění se rašelina zpracovává do briket a pelet. [14]

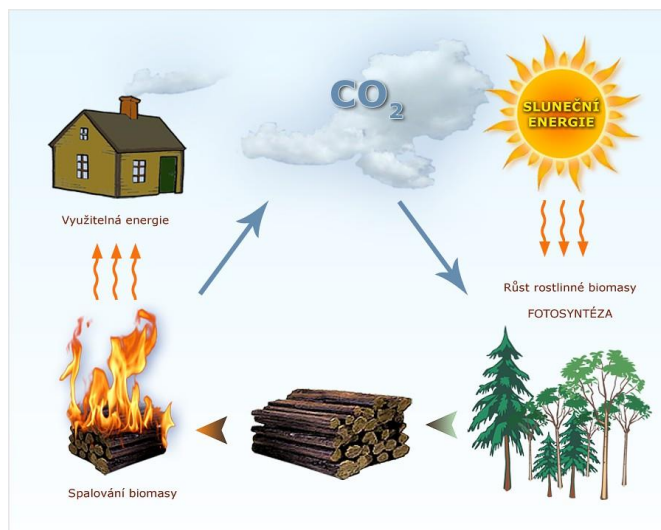
## 2.4 Biomasa

Biomasa je souhrnné označení pro veškerou organickou hmotu na této planetě. Patří sem všechny organismy – živočichové, rostliny, houby, bakterie a sinice, ať už živé či odumřelé. Biomasa je na rozdíl od fosilních paliv považována za obnovitelný zdroj energie, jelikož se jejím spalováním do ovzduší uvolňuje tolik oxidu uhličitého, kolik ho daná rostlina dokáže během růstu vstřebat. Zdroje biomasy nalezneme všude na Zemi. Je to jeden z nejstarších druhů zdrojů energie, které lidstvo využívá. Až do poloviny 18. století bylo hlavním zdrojem získávání tepelné energie dřevo. Snahou snížení vydávaných emisí, a vzhledem k životnímu prostředí patří dnes biomasa opět mezi významné zdroje obnovitelné energie. [15]

K jejímu vzniku je potřeba sluneční energie, oxid uhličitý a voda. Fotosyntéza mění v rostlinách vodu, oxid uhličitý a pomocné látky na biomasu a kyslík.

$H_2O + CO_2 + \text{pomocné látky} + \text{sluneční energie} \rightarrow C_kH_mO_n + H_2O + O_2 + \text{produkty látkové výměny}$

Z rovnice výše lze usoudit, že kyslík je při této reakci vedlejším produktem, i tak je ale fotosyntéza hlavním zdrojem kyslíku na Zemi. [16]



Obrázek 5: Schéma uhlíkového cyklu při spalování biomasy [17]

### 2.4.1 Rozdělení biomasy

Biomasu můžeme rozdělit podle několika kritérií:

1) Podle zdroje vzniku:

- lesní
  - dendromasa (dřevní biomasa – větve, pařezy, piliny apod.)
- zemědělská
  - zoomasa (živočišná biomasa – exkrementy, živočišné odpady apod.)
  - fytomasa (zemědělská biomasa – obilí, sláma apod.)
- průmyslové a komunální odpady

2) Podle vlastností:

- suchá
  - přímo spalovatelná
- vlhká
  - nelze přímo spalovat, tekuté odpady
- speciální
  - různé olejoviny a cukernaté plodiny používané k získávání bionafty, líhu

3) Podle energetického využití

- záměrně pěstovaná biomasa
- odpadní biomasa

### 2.4.2 Záměrně pěstovaná biomasa

Záměrně pěstovanou biomasou myslíme energetické plodiny, které jsou určeny hlavně na energetické využití. Převážně jsou to rychle rostoucí dřeviny a rostliny bylinného původu, které se vyznačují snadným výsevem, krátkým obdobím vegetace a lze je využít i na neenergetické účely. [15] Na energetické plodiny jsou kladeny následující požadavky: [18]

- vysoká účinnost přeměny CO<sub>2</sub> na biomasu pomocí slunečního záření
- vysoký obsah sušiny v době sběru
- vysoká výhřevnost a zároveň nízký obsah popela
- menší náročnost na vodu a živiny
- vysoká obrana proti škůdcům

V případě dřevin se využívají různé druhy stromů, jako topoly, smrky, jedle a další viz tabulka níže. Z tabulky lze také vyčíst, že výhřevnost dřeva z 1 kg je u všech druhů velmi podobná, rozdíl je pouze v objemu spalovaného dřeva.

Typ dřeva	kWh/PRM	kW/kg
javor	1900	4,1
bříza	1900	4,3
dub	2100	4,2
olše	1500	4,1
jasan	2100	4,2
smrk	1600	4,4
borovice	1700	4,4
modřín	1700	4,4
topol	1400	4,2
buk	2100	4,2
habr	2200	4,2
jedle	1500	4,4

Tabulka 2: Výhřevnost dřeva [19]

### 2.4.3 Odpadní biomasa

Za odpadní biomasu se považuje biomasa, která již byla využita k jiným účelům jako získávání energie. Patří sem zbytky a odpady z následujících odvětví: [15]

- z rostlinné výroby
  - odpady ze sadů a vinic, zbytky ze zemědělské prvovýroby, kukuřičná sláma apod.
- z živočišné výroby
  - exkrementy hospodářských zvířat, zbytky krmiv, hnůj apod.
- z těžby a zpracování dřeva a lesní odpady
  - větve, pařezy, odřezky, piliny apod.
- biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO)
  - zbytky potravin, papírové obaly apod.
- biologicky rozložitelný průmyslový odpad (BRPO)
  - odpady z jatek, zbytky z výroby cukru, mouky apod.
- splašky z kanalizace

### 2.4.4 Úpravy biomasy pro vytápění

Dřevní biomasu lze využít v nezpracovaném stavu, to je však ekologicky a ekonomicky nevýhodné, jelikož nezpracovaná dřevní biomasa zaujímá velký skladovací objem a nemá takovou výhřevnost jak biomasa zpracovaná. Dřevní biomasa se zpracovává za účelem snížení jejího skladovacího prostoru, zvýšením výhřevnosti a např. snížením nákladů na přepravu. Zpracováním se myslí její úprava na požadovanou velikost, štěpkováním odřezaných větví a dalšího dřevního odpadu, výrobou briket či pelet.

#### 2.4.4.1 Štěpka

Odřezané větve a další dřevní odpad, který vzniká při těžbě dřeva, jsou zpracovány na dřevní štěpku tzv. štěpkováním. Štěpka je strojně zpracovaná, nadrcená dřevní hmota o délce 10–150 mm. Její výhodou je hlavně cena, která je velmi nízká, naopak její nevýhodou je vyšší obsah vlhkosti, který se pohybuje v rozmezí 30 % (na slunci v létě, při teplém počasí)

až 50 % (za normálních podmínek). Štěpku je také potřeba relativně rychle spotřebovat, protože při dlouhém skladování se její vlhkost ještě zvyšuje, a mohlo by se stát, že by byla dále nepoužitelná. Její výhřevnost je závislá na obsahu vody, a pohybuje se v rozmezí 8–12 MJ/kg. [20]

Štěpka se vyrábí na tzv. štěpkovačích, což jsou mechanické stroje, které dokážou dřevo nasekat a nadrtit na požadovanou délku a šířku. Štěpkovače se vyrábí v mnoha provedeních a konstrukcích, existují štěpkovače stacionární či mobilní, s mechanickým či ručním podavačem, jednokotoučové či vícekotoučové. [21]



Obrázek 6: Mobilní štěpkovač [22]



Obrázek 7: Štěpka [20]

#### 2.4.4.2 Pelety

Pelety jsou podobně jako štěpka vyráběny z odpadového materiálu jako jsou piliny a hobliny. Vyrábí se lisováním za vysokých tlaků bez jakýchkoli přidaných chemických látek a pojiv. Pelety mají granulovitý tvar o průměru 5–20 mm. Výhoda pelet spočívá v nízkém obsahu vlhkosti 8–10 %, a vyšší výhřevnosti 16–18 MJ/kg. Díky lisování mají daleko menší skladovací objem než štěpka, ale jejich cena je o něco vyšší než cena štěpky. Kvůli svému granulovitému tvaru se mohou spalovat částečně či plně automaticky. [23]

#### 2.4.4.3 Brikety

Brikety se stejně jako pelety vyrábějí z dřevních odpadů (vhodných pilin a hoblin), které jsou slisovány za vysokých tlaků dosahujících 32 MPa. V briketovacích lisech bez přidání jakýchkoliv pojiv. Díky lisování se zvyšuje jejich hustota a tím se snižuje jejich objem, což způsobuje lepší skladování a převoz. Brikety mají nízký obsah síry (asi 0,07 %) a podíl popela (do 0,5 %). Na rozdíl od štěpky u nich není omezena doba skladování. Zpracovávají se do různých tvarů, nejčastěji však válců a různých průměrech a délkách. Výhřevnost briket je o něco vyšší než u pelet, a to cca 19 MJ/kg. [23]



Obrázek 8: Pelety [25]



Obrázek 9: Brikety [24]

#### 2.4.4.4 Úprava fytomasy

Fytomasu lze také využívat pro domovní vytápění. Zemědělskou biomasu neboli fytomasu můžeme rozdělit do následujících skupin: [23]

- fytomasa vhodná na spalování
  - sláma (obilná, kukuřičná, slunečnicová, řepková)
  - dřevěný odpad (z vinohradů a sadů)
- fytomasa na výrobu bioplynů
  - exkrementy hospodářských zvířat
  - zelená hmota
  - odpad z potravinářských provozů
- fytomasa na výrobu kapalných biopaliv
  - metylester řepkového oleje
  - bioetanol

Fytomasu z vyprodukovaných energetických plodin lze využívat buď v nezpracované podobě nebo v podobě zpracované jako jsou pelety, brikety a balíky slámy.

Pelety jsou vyráběny lisováním vysušených drcených stébel energetických plodin. Podle druhu rostliny dosahují výhřevnosti 16,5 – 19 MJ/kg, obsah popela je 5–6 %. Tyto pelety jsou vhodným palivem pro automatické kotle s výkonem nad 25 kW.

Brikety se podobně jako pelety vyrábějí lisováním suchých stébel energetických rostlin. Mají také velmi podobné vlastnosti. Jediným rozdílem je to, že brikety nejsou vhodné pro automatické kotle, zatímco pelety jsou.

Balíky slámy jsou slisovány různými tlaky do kvádrů a válců různých rozměrů, tyto rozdílnosti ovlivňují výslednou hustotu a hmotnost balíku. Balíky jsou vhodné pro přímé spalování a následnou výrobu tepla. [23]

## 2.5 Složení paliv

Tuhá paliva se skládají z hořlaviny a přítěže. Hořlavinou rozumíme aktivní a pasivní látky v palivu, které podporují samotné hoření, přítěží rozumíme popelovinu a vodu. Složení tuhých paliv lze určit dvěma způsoby, a to pomocí elementárního obsahu hořlaviny, při kterém se určují poměrné obsahy jednotlivých prvků (C – uhlík, H – vodík, N – dusík, O – kyslík, S – síra). V běžné praxi se však používá hrubý rozbor, který určuje hmotnostní poměr mezi hořlavinou (h), popelovinou (A) a vodou (W).

Lze ho popsat následujícím vztahem:

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

horní index  $r$  v tomto vztahu vyjadřuje hmotnostní obsahy v surovém palivu. [26] [1]

### 2.5.1 Hořlavina

Hořlavina je důležitou složkou paliva, jelikož je to nositelka tepelné energie. Označuje podíl spalitelných látek v palivu a skládá se z pěti základních prvků: uhlíku, vodíku, dusíku, kyslíku a síry. Z těchto pěti prvků jsou uhlík a síra aktivními prvky, jelikož se při jejich oxidaci uvolňuje teplo.

Hořlavina se dělí na prchavou hořlavinu a tuhý zbytek. Prchavá hořlavina se uvolňuje na začátku spalování při vysokých teplotách, napomáhá vznětu paliva a stabilizuje jeho spalovací proces. Tuhý zbytek je zbylá část hořlaviny, která se skládá hlavně z uhlíku a popelovin. [26]

	Prchavá hořlavina [%]	Popelovina [%]
dřevo	78,6	1,5
rašelina	68,0	12,0
hnědé uhlí	40,8	5,2
černé uhlí	40,2	9,1
antracit	6,4	10,5

Tabulka 3: Podíl prchavé hořlaviny a popeloviny v palivech [26]

### 2.5.2 Popelovina

Popelovina jsou tuhé zbytky, které zůstanou po palivu po jeho spálení – popel. Před jeho spálením jsou v palivu obsaženy jako minerální látky (křemičitany, sírany, uhličitaný apod.) či různé nečistoty, které se do paliva dostaly během těžby. Je to nežádoucí složka paliva, jelikož se nijak nepodílí na vzniku energie.

Popel může vznikat v podobě škváry či strusky. Jeho podoba záleží na podmínkách spalování jako dosažená teplota při spalování, či chemickému složení paliva. [26]

Množství popela v palivě můžeme zjistit pomocí následujícího vztahu:

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

kde:  $m_p$  [g] je hmotnost vzniklého popela,  
 $m_d$  [g] je hmotnost vysušeného vzorku.

### 2.5.3 Voda v palivu

Voda je obsažena v téměř každém tuhém palivu. Podobně jako popelovina je i voda v palivu nežádoucí, jelikož snižuje výhřevnost paliva, může způsobit problémy s jeho spalováním a zvětšuje objem paliva což je nežádoucí hlavně při jeho převozu a skladování. Obsah vody v palivě lze efektivně snižovat vysoušením. [26]

Voda je palivu uložena v několika podobách. Povrchová voda je voda zachycena na povrchu paliva. Při těžbě a po ní se do paliva dostává voda přimísená. Hrubá voda je označení pro množství vody, které je schopno se z paliva samovolně vypařit, naopak zbytková voda je voda uložena v malých škvírkách a puklinách a uvolní se až při vysušování za vyšších teplot. [27]



Množství vody v palivě lze určit relativní vlhkostí pomocí vztahu:

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

kde:  $m_1$  [kg] je hmotnost vzorku surového paliva,  
 $m_2$  [kg] je hmotnost vzorku paliva po vysušení.

## 2.6 Vlastnosti paliv

Základní vlastnosti tuhých paliv jsou spalné teplo, výhřevnost a měrná sirnatost. Podrobněji jsou rozebrány níže.

### 2.6.1 Spalné teplo

Spalné teplo  $Q_s$  [ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] je teplo, které se uvolní při dokonalém spalování 1 kg paliva na oxid uhličitý, oxid siřičitý a vodu.

Na rozdíl od výhřevnosti, voda po spálení zůstává v kapalném stavu, a proto jsou hodnoty spalného tepla zpravidla vyšší nebo stejné jako hodnoty výhřevnosti. Většina kotlů má z důvodu omezení koroze spaliny nad rosným bodem a tím pádem vodu v plynném stavu, proto se v praxi převážně počítá právě s výhřevností. [26]

Palivo	Vlhkost paliva	Výhřevnost	Spalné teplo	O kolik je spalné teplo větší než výhřevnost
	[%]			[%]
Koks	4,75	27,84	28,02	0,6
Dřevo (buk)	10	16,06	16,96	5,6
	20	14,00	15,08	7,7
	30	11,94	13,19	10,5
	40	9,89	11,31	14,4
HU	10	25,61	26,97	5,3
	20	22,49	23,97	6,6
	30	19,37	20,97	8,3
	40	16,26	17,98	10,6
ČU	10	27,56	28,79	4,5
	20	24,23	25,59	5,6
	30	20,89	22,39	7,2
	40	17,56	19,19	9,3
ZP	-	34,41	38,23	11,1
PB	-	46,60	50,70	8,8

Tabulka 4: Srovnání spalného tepla a výhřevnosti [28]

### 2.6.2 Výhřevnost

Výhřevnost  $Q_i$  [ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] je teplo uvolněné dokonalým spalováním 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C na rozdíl od spalného tepla. U výhřevnosti zůstává voda v plynném stavu. Výhřevnost lze vypočítat ze spalného tepla pomocí následujícího vztahu: [26]

$$Q_i = Q_s - r \cdot (W + 8,94 \cdot H_2) [\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

kde:  $Q_i$  [ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] je výhřevnost,  
 $Q_s$  [ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] je spalné teplo,  
 $r$  [ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] je měrné skupenské teplo vypařování vody (při běžných podmínkách asi 2,453  $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),

$W$  [-] je poměrný obsah vody v palivu,  
 $H_2$  [-] je poměrný obsah vodíku v palivu.

V praxi však často dochází k míšení různých druhů paliv. Při spalování směsi různých paliv platí pro výhřevnost následující vztah: [26]

$$Q_i^r = Q_{i_1}^r \cdot m_1 + Q_{i_2}^r \cdot m_2 + \dots + Q_{i_n}^r \cdot m_n \text{ [MJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

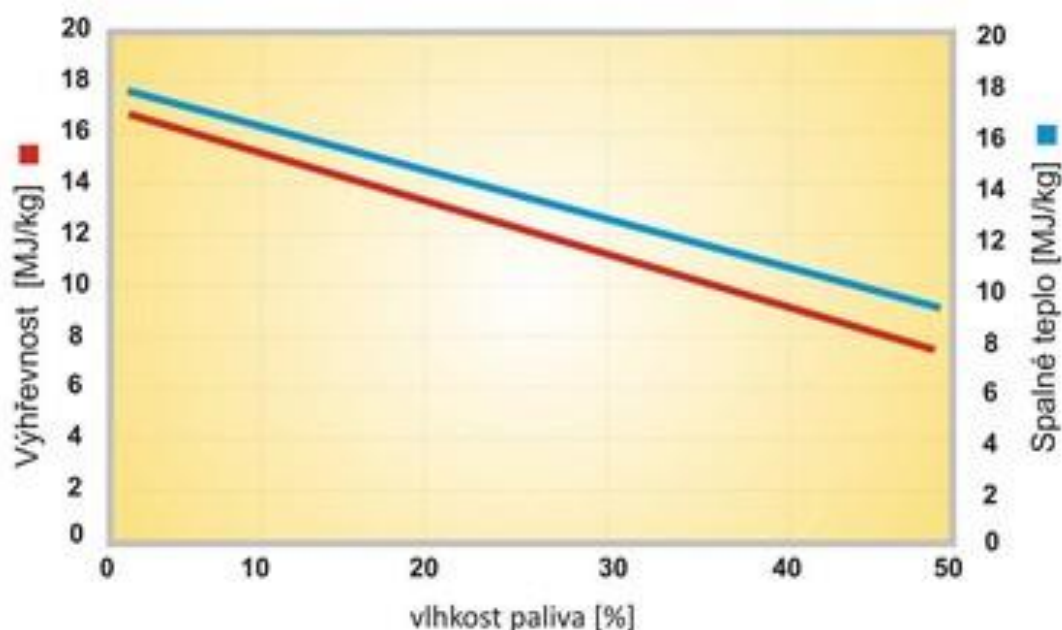
kde:  $Q_i^r$  [MJ·kg<sup>-1</sup>] je celková výhřevnost,  
 $Q_{in}^r$  [MJ·kg<sup>-1</sup>] je výhřevnost jednotlivého paliva,  
 $m_n$  [kg] je hmotnostní podíl jednotlivého paliva.

Pokud známe elementární složení hořlaviny. Lze výhřevnost přibližně zjistit pomocí empirického vztahu: [29]

$$Q_i = \frac{18,5 \cdot (100 - W) - 2,44 \cdot W}{100} \text{ [MJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

kde:  $W$  [%] je množství vody v palivu.

Na následujícím grafu můžeme vidět závislost obsahu vody v palivě na výhřevnosti a spalném teple. Z grafu je patrný nežádoucí účinek velké vlhkosti paliva.



Obrázek 10: Vliv vlhkosti dřeva na výhřevnosti a spalném teple [28]

### 2.6.3 Měrná sirnatost

Síra sice při spalování uvolňuje teplo, ale z ekologického hlediska je nežádoucí, jelikož uvolňuje při spalování do ovzduší také SO<sub>2</sub>, což přispívá ke vzniku kyselých dešťů. Síra také zvyšuje rosný bod spalin, což usnadňuje korozi kotle. Vysokou sirnatost má uhlí, proto se v něm před jeho spalováním obsah síry snižuje, nebo se odsiřují vycházející spaliny. [7]

Měrnou sirnatost, která udává hmotnost síry na jednotku výhřevnosti, lze vypočítat pomocí následujícího vztahu: [7]

$$\bar{S} = \frac{10 \cdot S}{Q_i} [gS \cdot MJ^{-1}]$$

kde: S [g·MJ<sup>-1</sup>] je obsah síry v palivu,  
Q<sub>i</sub> [MJ·kg<sup>-1</sup>] je výhřevnost paliva.

Palivo	Poměrný obsah síry [%]	Výhřevnost [MJ/kg]	Měrná sirnatost [g/MJ]
Mazut	3	41	0,731
Černé uhlí	0,9 až 2,5	17,6 až 27,2	0,331 až 0,682
Hnědé uhlí	0,8 až 1,2	9,2 až 13,4	0,597 až 1,869
Lignit	0,6	7,6	0,754

Tabulka 5: Příklady sirnatosti [30]

Zásoby fosilních paliv na naší planetě se čím dál více zužují, a proto je potřeba najít nějakou alternativu jako je třeba biomasa. Obě tato řešení mají své výhody a nevýhody. Biomasa je dobře dostupná, a hlavně na rozdíl od fosilních paliv, je to obnovitelný zdroj energie. Fosilní paliva mají zase větší výhřevnost a nemusí se skladovat v suchu jako například dřevo. Z ekologického hlediska má biomasa do budoucna velký potenciál.

### 3 Kotle na tuhá paliva

Kotel se dá definovat jako zařízení, ve kterém dochází ke spalování paliva (dřevo, uhlí apod.) za účelem uvolňování tepelné energie, která je v palivech obsažena, a následném ohřívání teplotnosného média. U kotlů určených na vyhřívání rozlišujeme dva druhy tohoto média – vzduch a vodu. Pokud je teplotnosné médium vzduch, jedná se o kotle teplotovzdušné, naopak pokud je to voda, jsou to kotle teplotvodní. Teplotvodní kotle se primárně používají k vyhřevu domácnosti.

Každý kotel musí být podle daného typu paliva upraven tak, aby docházelo k jeho optimálnímu spalování. Musí být zajištěn dostatečný přísun vzduchu, a k většině kotlů na tuhá paliva jsou potřeba skladovací prostory pro palivo.

Kotle můžeme dále dělit do různých skupin. Rozdělují se podle druhu použitého paliva, podle výkonu a vyhřevnosti, podle technologie spalování či podle nákladů potřebných na koupi a používání daného kotle. Dále jsou rozebrány nejběžnější kotle používané pro vytápění domácnosti, a to lokálními topidly, teplotvodním kotlům, kotlům na pelety, kotle na štěpku a v neposlední řadě kotle na uhlí.

#### 3.1 Lokální topidla

Mezi jedny z nejstarších druhů vytápění budov patří bezesporu lokální topidla jako krby, kamna apod. Krby jsou určeny především k spalování dřeva. Teplo se z krbů získává hlavně sáláním či konvekcí. Existují dva základní typy krbů, a to krby otevřené a uzavřené. Otevřené krby se špatně regulují a nedosahují velké účinnosti (jen asi do 20 %), právě proto se dnes převážně používají krby uzavřené. Tyto krby mohou dosahovat účinnosti až 70–80 %. Lokální topidla jako krby nejsou vhodné pro vytápění celého domu, ale spíše jako doplňkový zdroj tepla, pro vyhřátí určité místnosti, či vyhřátí chat. [31]



Obrázek 11: Otevřený krb [32]



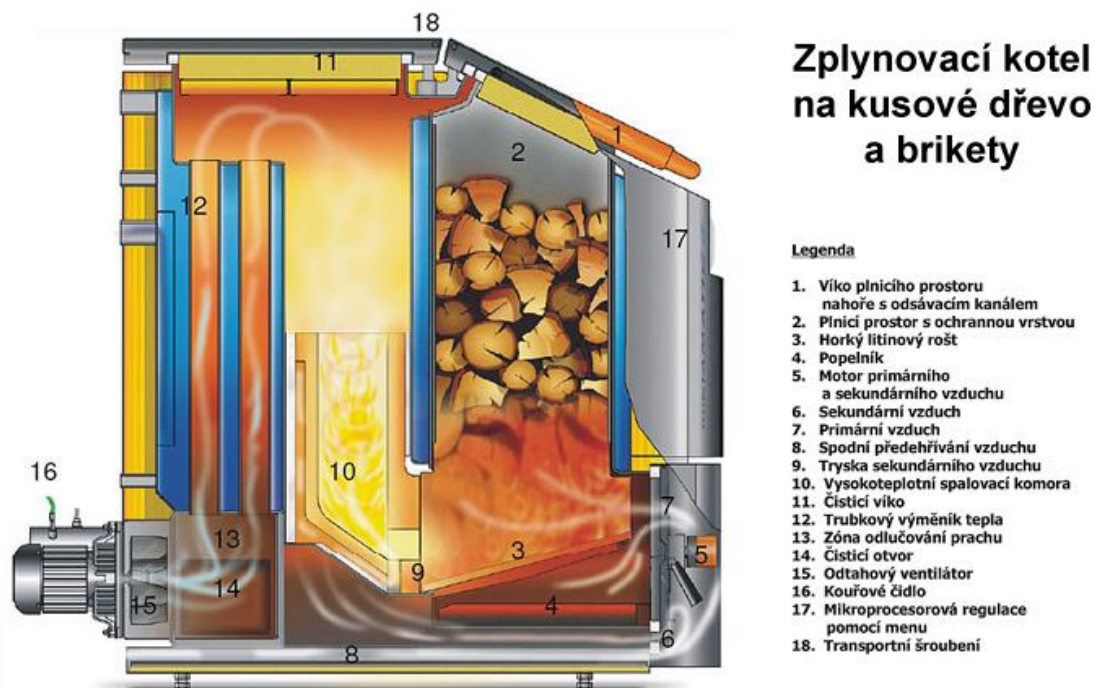
Obrázek 12: Uzavřený krb s krbovou vložkou [33]

#### 3.2 Teplotvodní kotle

Teplotvodní kotle se na rozdíl od lokálních topidel hodí k vytápění celého domu, jelikož se u nich dosahuje vyšších výkonů a vyšších účinnostech hoření. Jsou to kotle s manuálním příkládáním, u kterých se jako palivo používá dřevo, brikety nebo štěpka. Lze použít i větší kusy dřeva, takže není nutnost palivo jakkoli důkladně upravovat. Mezi výhody těchto kotlů patří jednodušší řešení přívodu vzduchu, relativně nízká pořizovací cena, a také díky nim nedochází k znečištění obytných prostor domu, jelikož je kotel umístěn v neobytných prostorách. Teplotnosným médiem je ve většině případů voda. Rozlišují se dva základní typy teplotvodních kotlů, a to kotle zplyňovací a kotle prohořivací.

U zplyňovacích kotlů dochází k tzv. pyrolytickému spalování, což znamená, že se spalují předem zplyněné složky paliva. Díky tomu mají zplyňovací kotle vysoké výkony a nízký negativní ekologický dopad, jelikož nevypouští do ovzduší tolik škodlivých látek.

Prohořivací kotle spalují dřevo klasickým způsobem. Na rozdíl od zplyňovacích kotlů dosahují nižších účinností, a nižší je také jejich pořizovací cena. [34]



Obrázek 13: Zplyňovací kotel na dřevo Guntamatic Synchron [35]

### 3.3 Kotle na pelety

Kotle na pelety jsou plně automatické kotle, které jako palivo používají pelety. Některé druhy peletových kotlů jsou případně schopny používat střídavě pelety a kusové dřevo. Pelety jsou hlavně kvůli technologii jejich výroby dražší než surové dřevo. Nehledě na vyšší cenu mnoho lidí tyto kotle preferuje právě kvůli jejich automatickému provozu. Pelety se dobře skladují, obsahují nízkou vlhkost, proto musí být skladovány v suchu, mají také dobrou výhřevnost. Mezi další výhody těchto kotlů lze považovat to, že oproti teplovodním kotlům není potřeba takových skladovacích prostor a odpadá i nutnost přepravy dřeva. Teplonosným médiem je podobně jako u ostatních kotlů voda.

Pelety jsou umístěny v zásobníku, z kterého jsou podle potřeby přepravovány šnekovým dopravníkem přímo k peletovému hořáku kotle. Zásobníky jsou různě dimenzované, většinou vydrží pro provoz kotle na několik dnů, poté je potřeba je doplnit. Peletové zásobníky mohou být součástí kotle, či instalovány zvlášť. Poté, co jsou pelety dopraveny na peletový hořák, jsou spalovány přímo. Regulace dopravníku je automatická, stejně jako kontrola činnosti kotle pomocí termostatu. Vzduch je dodáván pomocí ventilátoru, který také zajišťuje správný přívod vzduchu. [36]

Nedílnou součástí každého kotle na pelety je peletový hořák. Konstrukce tohoto hořáku ovlivňuje velké množství faktorů jako spotřebu paliva, účinnost kotle, tvorbu emisí a také se podle něj liší pořizovací cena kotle. [37]



### Automatický kotel na pelety se zásobníkem

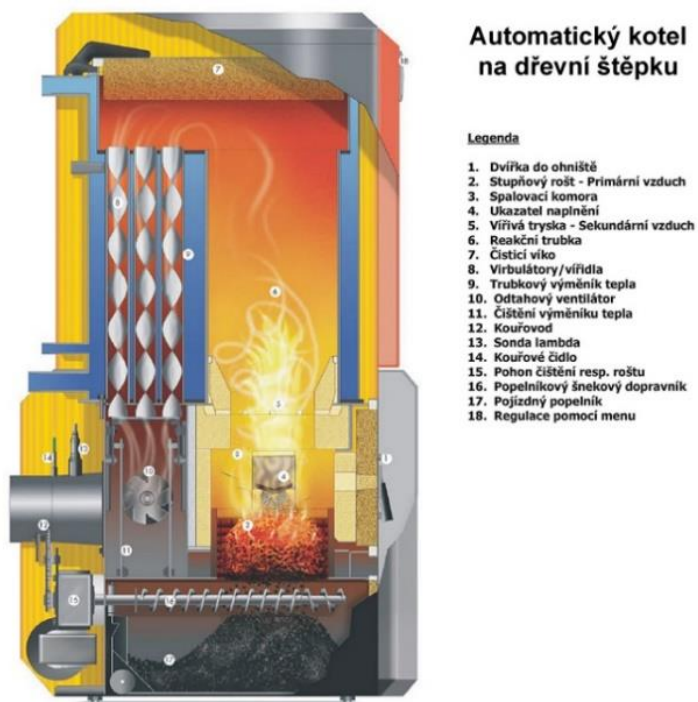
#### Legenda

1. Dvířka popelníku
2. Deska pro čištění roštu
3. Primární vzduch
4. Samočisticí rošt
5. Sekundární vzduch
6. Deska vytvářející turbulenci spalin
7. Padací šachta odolná proti zpětnému zahoření
8. Zklidňovací zóna
9. Táhla čištění výměníku
10. Servomotor pro čištění roštu
11. Automatické podpalování
12. Keramická izolace
13. Izolace
14. Vířulátory/ vířidla
15. Trubkový výměník tepla
16. Odtahový ventilátor
17. Sonda lambda
18. Kouřové čidlo
19. Ovládání s komfortním uživatelským programem
20. Senzor pro ukazatel naplnění
21. Motor
22. Převodovka
23. Sací turbína
24. Zásobník
25. Šnekový dopravník pelet
26. Kontrolní senzor
27. Dávkovač

Obrázek 14: Automatický kotel na pelety se zásobníkem Guntamatic Biostar [38]

### 3.4 Kotle na štěpku

Kotle na štěpku jsou stejně jako kotle na pelety plně automatické a používají se pro vytápění větších budov nebo skupiny budov a také k ohřívání teplé vody. Kotle s nižším výkonem (15–20 kW) jsou určeny k vytápění rodinných domů či menších budov. Na rozdíl od kotlů na pelety jsou kotle na štěpku hospodárnější až při větších výkonech v řádech stovek kilowat. Štěpka je obecně levnější než pelety, jelikož se nemusí důkladně vysušovat a dá se spalovat i bez vysušení. Štěpka může být uložena v zásobnících a do kotle se dopravuje pomocí šnekových dopravníků. [39]



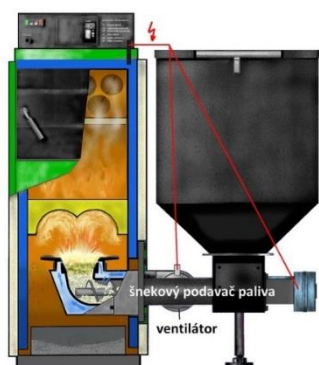
Obrázek 15: Kotel na dřevní štěpku Guntamatic Powerchip [40]

### 3.5 Kotle na uhlí

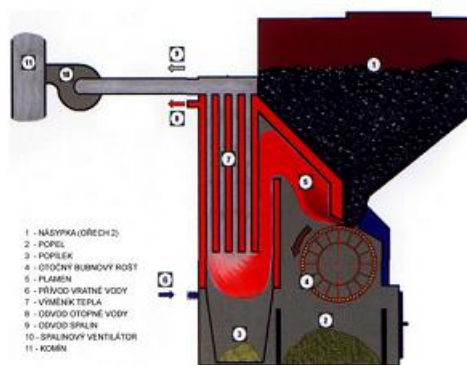
Kotle na uhlí jsou plně automatické nebo poloautomatické, a jak už název napovídá, dá se v nich topit černým uhlím, hnědým uhlím a uhelnými briketami či koksem. Spalování uhlí funguje na principu spodního odhořívání paliva z násypky. Výkon je regulován pomocí přívodu sekundárního vzduchu pod rošt otevíráním spodních dvířek, a přimícháváním sekundárního vzduchu do plamene v zadní části topeniště. Sekundární vzduch zajišťuje spalování těkavých látek obsažených v uhlí a oxidu uhelnatého. V současné době rozlišujeme kotle na uhlí s retortovým hořákem a s bubnovým hořákem.

U kotlů s retortovým hořákem se uhlí v násypce sesouvá vlastní vahou na šnekový dopravník, který ho potom dopraví k hořáku.

Kotle s bubnovým hořákem mají pod násypkou otočný bubnový rošt, na který se uhlí vlastní vahou posouvá a dále je dopraveno k hořáku. [41]



Obrázek 16: Kotel s retortovým hořákem [42]



Obrázek 17: Kotel s bubnovým hořákem [43]

Z hlediska komfortu používání jsou na tom nejlépe automatické kotle, které nevyžadují časté přikládání. Mnohdy stačí naplnit zásobník palivem a kotel si vystačí sám na několik dní. Následují kotle zplyňovací, které jsou na tom podobně. Na posledním místě jsou kotle na ruční přikládání, které nenabízí automatický provoz. Mohou však nabídnout nižší pořizovací cenu.



## 4 Porovnávací výpočty kotlů

Pro porovnávací výpočty kotlů je zvolen rodinný dům ve Valašském Meziříčí v okrese Vsetín ve Zlínském kraji. Délka topného období je v této lokalitě 220 dnů a průměrná teplota během tohoto období je 3,6 °C. Jako venkovní výpočtovou teplotu budeme brát hodnotu - 15 °C a průměrnou vnitřní teplotu v domě 20 °C. Z faktur dodavatele za poslední 2 roky byla zjištěna průměrná roční spotřeba tepla 46,8 MWh, tato hodnota je celková spotřeba za vytápění i ohřev teplé vody. Pomocí kalkulačky na webu TZB-info byla zjištěna přibližná tepelná ztráta tohoto rodinného domu - 18,5 kW. [44]

Pro výpočty bylo zvoleno 5 kotlů na různá paliva od výrobců ATMOS a DAKON. Kotle jsou vybrány podle podobných výkonů a jsou srovnány z hlediska pořizovací ceny a provozních nákladů pro vytápění modelového domu. Pro výpočet všech potřebných parametrů jsou použity následující vzorce: [46]

U každého kotle spočteme jeho provozní dobu pomocí vztahu:

$$T_i = \frac{Q_{rok}}{P_i \cdot 3600} [h]$$

kde:  $Q_{rok}$  [GJ·rok<sup>-1</sup>] je roční spotřeba tepla (v našem případě 168,7 GJ·rok<sup>-1</sup>),  
 $P_i$  [W] je výkon kotle.

Dále vypočteme celkovou spotřebu elektrické energie daného kotle:

$$E_i = \frac{T_i \cdot P_{ei}}{1000} [kWh]$$

kde:  $P_{ei}$  [W] je elektrický příkon daného kotle.

Jeho náklady na elektrickou energii za rok:

$$N_{ei} = E_i \cdot C_e [Kč]$$

kde:  $C_e$  [Kč·kWh<sup>-1</sup>] je aktuální cena elektrické energie za kWh (aktuálně 4,99 Kč·kWh<sup>-1</sup> [45])

Hmotnost paliva, které daný kotel spotřebuje za rok:

$$m_i = \frac{Q_{rok}}{H_i \cdot \eta_i} [kg]$$

kde:  $H_i$  [MJ·kg<sup>-1</sup>] je výhřevnost paliva, které kotel používá,  
 $\eta_i$  [-] je účinnost daného kotle.

Náklady na roční spotřebu paliva:

$$N_{pi} = m_i \cdot C_{pi} [Kč]$$

kde:  $C_{pi}$  [Kč·kg<sup>-1</sup>] je cena za kilogram daného paliva.

Nakonec vypočteme celkové roční náklady na provoz daného kotle:

$$N_i = N_{ei} + N_{pi} [Kč]$$

#### 4.1 Zplynovací kotel na dřevo ATMOS DC18S

„Kotle konstruovány pro spalování dřeva, na principu generátorového zplynování s použitím odťahového ventilátoru, který odsává spaliny z kotle, nebo s použitím tlačného ventilátoru, který vhání spalovací vzduch do kotle.

Výhody zplynovacích kotlů na kusové dřevo ATMOS:

- Možnost spalovat velké kusy dřeva (kusové dřevo)
- Velký zásobník paliva – dlouhá doba hoření
- Ekologické spalování – kotel dle ČSN EN 303-5 třídy 3, 4, 5, EKODESIGN 2015/1189
- Odtahový ventilátor – bezprašné vybírání popela, kotelna bez kouře
- Chladicí smyčka proti přetopení – bez rizika poškození kotle
- Automatické vypnutí kotle po dohoření paliva – spalinový termostat
- Pohodlné vybírání popela – velký keramický spalovací prostor pro popel (u dřeva vybíráme jednou za týden)
- Kotel bez trubkovnice – snazší čištění“ [47]

Jako palivo použijeme palivové dřevo dub o vlhkosti do 20 % a výhřevnosti  $17,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Cena tohoto paliva je  $4,01 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ . [48]



##### Parametry kotle

Výkon:  $P_1 = 20 \text{ kW}$

Elektrický příkon:  $P_{e1} = 50 \text{ W}$

Účinnost:  $\eta_1 = 83,3 \%$

Pořizovací cena: 37600 Kč

##### Parametry paliva

Výhřevnost:  $H_1 = 17,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Cena za kg:  $C_{p1} = 4,01 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$

Obrázek 18: ATMOS zplynovací kotel na dřevo [47]

#### Výpočet nákladů kotle:

Doba provozu kotle: 
$$T_1 = \frac{Q_{rok}}{P_1 \cdot 3600} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2343,1 \text{ h}$$

Roční spotřeba elektřiny: 
$$E_1 = \frac{T_1 \cdot P_{e1}}{1000} = \frac{2343 \cdot 50}{1000} = 117,2 \text{ kWh}$$

Cena za elektřinu: 
$$N_{e1} = E_1 \cdot C_e = 117,15 \cdot 4,99 = 584,6 \text{ Kč}$$

Spotřeba paliva: 
$$m_1 = \frac{Q_{rok}}{H_1 \cdot \eta_1} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{17,5 \cdot 10^6 \cdot 0,833} = 11572,6 \text{ kg}$$

Cena za palivo: 
$$N_{p1} = m_1 \cdot C_{p1} = 11572,6 \cdot 4,01 = 46406,1 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady: 
$$N_1 = N_{e1} + N_{p1} = 584,6 + 46406,1 = 46990,7 \text{ Kč}$$

## 4.2 Zplynovací kotel na hnědé uhlí ATMOS C18S

„Jsou konstruovány pro spalování hnědého uhlí a dřeva jako náhradního paliva (na zátop), na principu generátorového zplynování s použitím odtahového ventilátoru, který odsává spaliny z kotle.

Výhody zplynovacích kotlů na hnědé uhlí ATMOS:

- Možnost spalovat kvalitně hnědé uhlí a dřeva jako náhradního paliva
- Velký zásobník paliva – dlouhá doba hoření
- Ekologicky šetrnější spalování – kotel dle ČSN EN 303-5 třídy 4 a 5, EKODESIGN2015/1189
- Odtahový ventilátor – bezprašné vybírání popela, kotelna bez kouře
- Chladicí smyčka proti přetopení – bez rizika poškození kotle
- Automatické vypnutí kotle po dohoření paliva – spalínový termostat
- Pohodlné vybírání popela – velký keramický spalovací prostor pro popel
- Malé rozměry a nízká hmotnost“ [49]

Jako palivo použijeme hnědé uhlí Bílinský ořech 1 o výhřevnosti  $17,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  s průměrnou cenou  $3,60 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ . [50]



### Parametry kotle

Výkon:  $P_2 = 20 \text{ kW}$

Elektrický příkon:  $P_{e2} = 50 \text{ W}$

Účinnost:  $\eta_2 = 88,9 \%$

Pořizovací cena: 37800 Kč

### Parametry paliva

Výhřevnost:  $H_2 = 17,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Cena za kg:  $C_{p2} = 3,60 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$

Obrázek 19: ATMOS zplynovací kotel na hnědé uhlí [49]

### Výpočet nákladů kotle:

Doba provozu kotle: 
$$T_2 = \frac{Q_{rok}}{P_2 \cdot 3600} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2343,1 \text{ h}$$

Roční spotřeba elektřiny: 
$$E_2 = \frac{T_2 \cdot P_{e2}}{1000} = \frac{2343 \cdot 50}{1000} = 117,2 \text{ kWh}$$

Cena za elektřinu: 
$$N_{e2} = E_2 \cdot C_e = 117,15 \cdot 4,99 = 584,6 \text{ Kč}$$

Spotřeba paliva: 
$$m_2 = \frac{Q_{rok}}{H_2 \cdot \eta_2} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{17,6 \cdot 10^6 \cdot 0,889} = 10782,1 \text{ kg}$$

Cena za palivo: 
$$N_{p2} = m_2 \cdot C_{p2} = 10782 \cdot 3,6 = 38815,3 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady: 
$$N_2 = N_{e2} + N_{p2} = 584,6 + 38815,3 = 39399,9 \text{ Kč}$$

### 4.3 Automatický kotel na pelety ATMOS D25P

„Jsou konstruovány pro dokonalé spalování pelet, tak, že do levé či pravé strany kotle, 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. Často bývá i jako zásobník paliva použita část kotelný, která pak vystačí na celou topnou sezonu.

Výhody automatických kotlů na pelety ATMOS:

- Velký komfort vytápění
- Vysoká účinnost 90 až 93 % podle typu – malá spotřeba paliva
- Ekologické spalování – kotel dle ČSN EN 303-5 třídy 5 a EKODESIGN 2015/1189
- Automatický provoz a vypnutí kotle po dohoření paliva
- Automatické vybírání popela – při zabudovaném odpopelnění“ [51]

Jako palivo použijeme certifikované dřevěné pelety ENplus A1 s výhřevností  $18 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  a cenou  $6,69 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ . [52]



#### Parametry kotle

Výkon:  $P_3 = 7\text{--}24 \text{ kW}$

Elektrický příkon:  $P_{e3} = 42 \text{ W}$

Účinnost:  $\eta_3 = 90,2 \%$

Celková pořizovací cena (kotel + hořák + podavač + nádrž na pelety): 77198 Kč

#### Parametry paliva

Výhřevnost:  $H_3 = 18 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Cena za kg:  $C_{p3} = 6,69 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$

Obrázek 20: ATMOS automatický kotel na pelety [51]

#### Výpočet nákladů kotle:

Doba provozu kotle: 
$$T_3 = \frac{Q_{rok}}{P_3 \cdot 3600} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{24 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1952,5 \text{ h}$$

Roční spotřeba elektřiny: 
$$E_3 = \frac{T_3 \cdot P_{e3}}{1000} = \frac{1952,5 \cdot 42}{1000} = 82,0 \text{ kWh}$$

Cena za elektřinu: 
$$N_{e3} = E_3 \cdot C_e = 82 \cdot 4,99 = 409,2 \text{ Kč}$$

Spotřeba paliva: 
$$m_3 = \frac{Q_{rok}}{H_3 \cdot \eta_3} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{18 \cdot 10^6 \cdot 0,902} = 10390,5 \text{ kg}$$

Cena za palivo: 
$$N_{p3} = m_3 \cdot C_{p3} = 10390,5 \cdot 6,69 = 69512,4 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady: 
$$N_3 = N_{e3} + N_{p3} = 409,2 + 69512,4 = 69921,6 \text{ Kč}$$

#### 4.4 Automatický kotel na černé uhlí DAKON DOR N 20 Automat

„Ocelový kotel s automatickým doplňováním paliva je určen pro spalování uhlí a dřevěných pelet. Jedná se o první výrobek, u kterého bylo použito zcela speciální kotlové těleso prvotřídní kvality a bezpečnosti. Kotel je dodáván ve 3 jmenovitých výkonech – 15, 20 a 25 kW, je tedy vhodný i pro domy s nízkými tepelnými ztrátami, z možnosti kotlů byl vybrán kotel s jmenovitým výkonem 20 kW.

Výhody automatických kotlů DAKON:

- ekologicky šetrné kotle s minimálními nároky na obsluhu
- účinnost spalování 90 %
- libovolné umístění zásobníku paliva
- jednoduchá údržba a čištění i během provozu
- komfortní provoz bez nutnosti častého přikládání“ [53]

Jako palivo použijeme černé uhlí ořech 1 s výhřevností  $28,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  a cenou za jeden kilogram  $6,01 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ . [54]



##### Parametry kotle

Výkon:  $P_4 = 20 \text{ kW}$

Elektrický příkon:  $P_{e4} = 45 \text{ W}$

Účinnost:  $\eta_4 = 88 \%$

Celková pořizovací cena: 71148 Kč

##### Parametry paliva

Výhřevnost:  $H_4 = 28,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Cena za kg:  $C_{p4} = 6,01 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$

Obrázek 21: DAKON automatický kotel [53]

#### Výpočet nákladů kotle:

$$\text{Doba provozu kotle: } T_4 = \frac{Q_{rok}}{P_4 \cdot 3600} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2343,1 \text{ h}$$

$$\text{Roční spotřeba elektřiny: } E_4 = \frac{T_4 \cdot P_{e4}}{1000} = \frac{2343 \cdot 45}{1000} = 105,4 \text{ kWh}$$

$$\text{Cena za elektřinu: } N_{e4} = E_4 \cdot C_e = 105,4 \cdot 4,99 = 526,1 \text{ Kč}$$

$$\text{Spotřeba paliva: } m_4 = \frac{Q_{rok}}{H_4 \cdot \eta_4} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{28,5 \cdot 10^6 \cdot 0,88} = 6726,5 \text{ kg}$$

$$\text{Cena za palivo: } N_{p4} = m_4 \cdot C_{p4} = 6726,5 \cdot 6,01 = 40426,1 \text{ Kč}$$

$$\text{Celkové roční náklady: } N_4 = N_{e4} + N_{p4} = 526,1 + 40426,1 = 40952,2 \text{ Kč}$$

#### 4.5 Kotel na hnědé uhlí DAKON DOR F 24

„Ocelový kotel DOR F se speciální konstrukcí pro spalování hnědého uhlí vyniká jednoduchou manipulací při přikládání a vysokou bezpečností díky bezazbestové izolaci. Kromě hnědého uhlí a hnědouhelných briket zvládne spalovat i dřevo, brikety, černé uhlí a krátkodobě i koks. Jedná se o výjimečně kvalitní český kotel na tuhá paliva s vysokou spolehlivostí a životností. Při spalování hnědého uhlí typu ořech 1 splňuje přísné emisní limity třídy 3 podle normy ČSN EN 303-5.

Výhody kotle DAKON DOR F:

- splňuje vysoké nároky na směrnice Evropské rady (třída 3)
- jednoduchá náhrada za starý kotel DOR (stejně připojovací rozměry)
- velká násypná šachta pro pohodlné přikládání shora
- automatická regulace výkonu tepelným regulátorem tahu
- vysoká účinnost spalování díky nastavení doplňkového (terciárního) vstupu vzduchu pro různé druhy paliva
- nezávislý na elektrické energii (nepotřebuje spalínový ventilátor)“ [55]

Jako palivo použijeme stejně jako u předchozího kotle na hnědé uhlí Bílinský ořech 1 o výhřevnosti  $17,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  s průměrnou cenou  $3,60 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ . [50]



Obrázek 22: DAKON kotel na hnědé uhlí [55]

##### Parametry kotle

Výkon:  $P_5 = 24 \text{ kW}$

Elektrický příkon:  $P_{e5} = 0 \text{ W}$

Účinnost:  $\eta_5 = 78 \%$

Celková pořizovací cena: 22766 Kč

##### Parametry paliva

Výhřevnost:  $H_5 = 17,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Cena za kg:  $C_{p5} = 3,60 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$

#### Výpočet nákladů kotle:

$$\text{Doba provozu kotle: } T_5 = \frac{Q_{rok}}{P_5 \cdot 3600} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{24 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 1952,5 \text{ h}$$

$$\text{Roční spotřeba elektřiny: } E_5 = \frac{T_5 \cdot P_{e5}}{1000} = \frac{1952,5 \cdot 0}{1000} = 0 \text{ kWh}$$

$$\text{Cena za elektřinu: } N_{e5} = E_5 \cdot C_e = 0 \cdot 4,99 = 0 \text{ Kč}$$

$$\text{Spotřeba paliva: } m_5 = \frac{Q_{rok}}{H_5 \cdot \eta_5} = \frac{168,7 \cdot 10^9}{17,6 \cdot 10^6 \cdot 0,78} = 12288,8 \text{ kg}$$

$$\text{Cena za palivo: } N_{p5} = m_5 \cdot C_{p5} = 12288,8 \cdot 3,6 = 44239,5 \text{ Kč}$$

$$\text{Celkové roční náklady: } N_5 = N_{p5} = 44239,5 \text{ Kč}$$

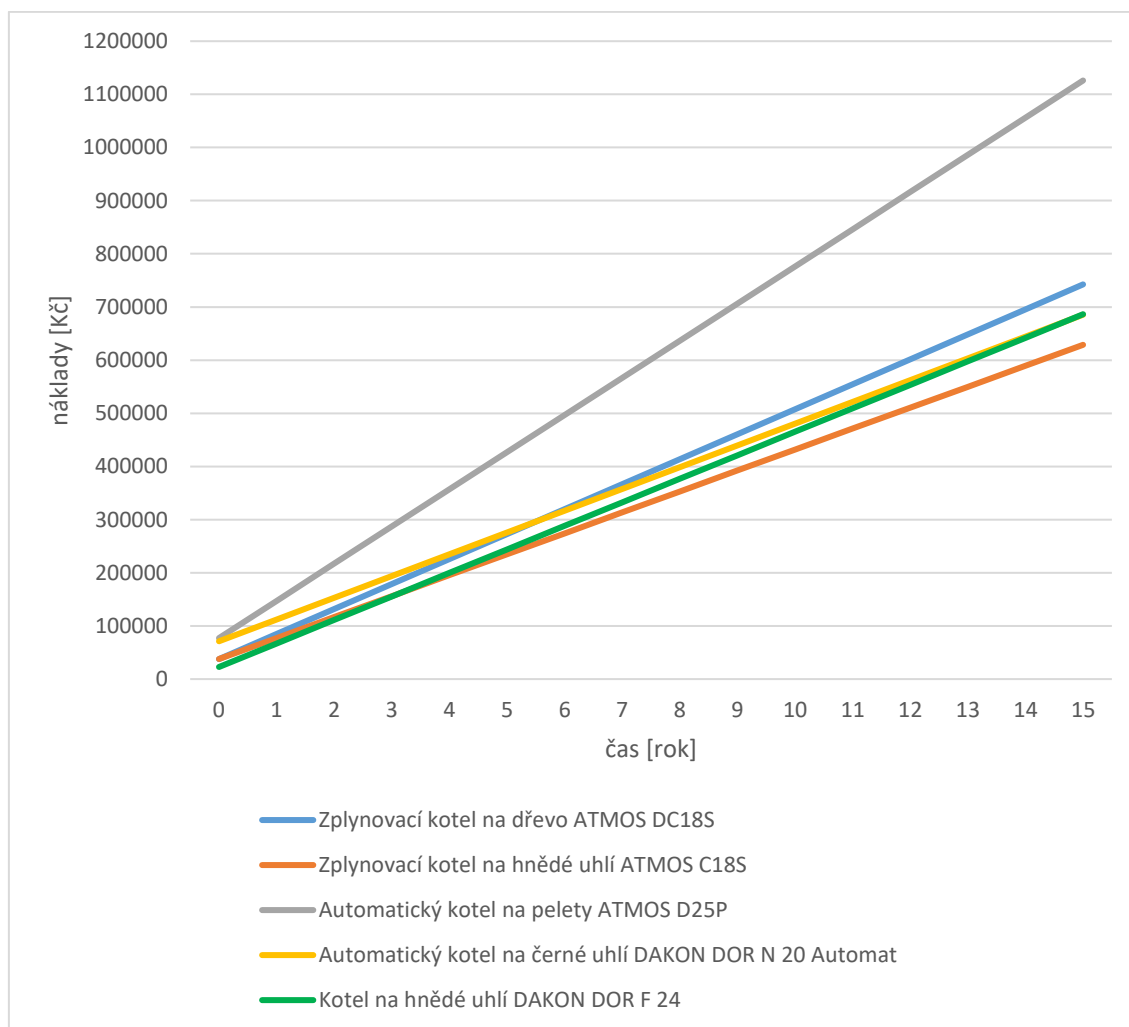
#### 4.6 Výsledné porovnání vybraných kotlů

Pro větší přehlednost jsou potřebné a vypočtené hodnoty všech kotlů uspořádány do tabulky níže.

		A. DC18S	A. C18S	A. D25P	D. DOR N 20	D. DOR F 24
výkon	[kW]	20	20	7–24	20	24
účinnost	[%]	83,3	88,9	90,2	88	78
pořizovací cena	[Kč]	37600	37800	77198	71148	22766
cena paliva za kg	[Kč·kg <sup>-1</sup> ]	4,01	3,60	6,69	6,01	3,60
cena za elektřinu	[Kč]	585	585	409	526	0
spotřeba paliva	[Kg]	11573	10782	10391	6727	12289
cena za palivo	[Kč]	46406	38815	69512	40426	44240
roční náklady	[Kč]	46991	39400	69922	40952	44240

Tabulka 6: Porovnání kotlů.

Pro grafickou názornost je vyneseno graf závislosti pořizovací ceny a nákladů na roční provoz v závislosti na době užívání kotle (15 let).



Na první pohled je z grafu patrné, že automatický kotel na pelety ATMOS D25P s největší pořizovací cenou (77 198 Kč) je zároveň i nejvíce nákladný na roční provoz. V průběhu 15 let svými náklady vzroste o statisíce korun oproti ostatním kotlům. Tato odchylka

je pravděpodobně způsobena příliš vysokou cenou zvolených pelet ( $6,69 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Vysokou cenu nákladů může u některých lidí vynahradit nenáročnost provozu automatického kotle, kdy stačí do zásobníku kotle jednou za čas přiložit pelety a dále se není potřeba o kotel nijak výjimečně starat.

U ostatních kotlů vidíme zprvu relativně podobný průběh nákladů, který se začne patrněji odlišovat až přibližně po 6 letech provozu. Kotel na černé uhlí DAKON DOR N 20, s druhou nejvyšší pořizovací cenou (71 148 Kč), má po 15 letech provozu přibližně stejné náklady na provoz jako nejlevnější kotel na hnědé uhlí DAKON DOR F 24 s pořizovací cenou 22 766 Kč. V tomto případě musíme brát v úvahu, že vyšší pořizovací cena automatického kotle se nám vrátí, byť už jen ve větším komfortu jeho užívání.

Nejnižší cenu za patnáctiletý provoz můžeme pozorovat u zplynovacího kotle na hnědé uhlí ATMOS C18S, která činí 628 799 Kč, což je oproti nejdražšímu (1 126 022 Kč) skoro polovina.



## Závěr

Cílem práce je provést rešerši možností vytápění rodinného domu. Tato bakalářská práce je rozdělena do třech základních částí. První z nich pojednává o tuhých palivech vhodných pro vytápění rodinného domu. Druhá část popisuje vybrané druhy kotlů na různá tuhá paliva, a stručně popsán jejich princip. V poslední části jsou vybrány konkrétní kotle od konkrétních výrobců a vypočteny jejich pořizovací náklady a roční náklady v průběhu patnácti let. Výsledky jsou nakonec vyneseny do tabulky a grafu a zhodnoceny.

Jak již bylo zmíněno, v první části jsou rozebrána tuhá paliva, jejich složení a vlastnosti, včetně možnosti jejich úprav pro komfortnější vytápění domácnosti. Rostoucí význam biomasy je způsoben nejen svým ekologickým dopadem, který má v dnešní době velký význam, ale také nenáročností a rychlostí jeho produkce či zužování zásob fosilních paliv na naší planetě. Na rozdíl právě od fosilních paliv je biomasa obnovitelným zdrojem energie, který má do budoucna velký potenciál. V současné době je velmi populární pěstování tzv. energetických plodin, což jsou rychle rostoucí rostliny, které za relativně krátký čas mají velký přírůstek hmoty. Zpracovává se především do formy pelet či briket, které mají velmi dobré hodnoty výhřevnosti.

Pro vytápění rodinného domu začínají být kotle na biomasu čím dál dostupnější a atraktivnější, hlavně díky podporám státu jako například kotlíková dotace. Kotle na biomasu jsou svou cenou stále o něco vyšší než kotle na fosilní paliva, a to hlavně díky jejich náročnějším konstrukcím a úpravám. Jak již bylo zmíněno, ekologický dopad nabývá čím dál většího významu, proto na něj hodně lidí bere ohled při pořizování nového kotle.

V závěrečné části práce jsou porovnány různé kotle na tuhá paliva výrobců Atmos a Dakon. Náklady na provoz kotle po dobu patnácti let (tj. předpokládaná životnost kotle) jsou u kotlů na fosilní paliva stále o něco nižší než u kotlů na biomasu. Z ekonomického hlediska jsou tedy cenově dostupnější právě kotle na fosilní paliva. Musíme však brát v úvahu, že při porovnávání nebyly zohledněny žádné dotace státu např. kotlíková dotace, které by mohly ovlivnit závěrečné srovnání kotlů. Výhřevnost a cena různých druhů paliv se liší. Závěrečné zhodnocení by také mohlo ovlivnit zvolení jiných dodavatelů paliv. Ve výpočtech nebyl zahrnut vývoj ceny paliv a elektřiny a ani náklady na údržbu a případnou opravu kotlů. Automatické kotle nabízí největší komfort provozu, a proto jsou vhodné pro všechny, kteří chtějí nenáročný provoz. Z ekologického hlediska mají kotle na biomasu do budoucna velký potenciál.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-861-7682-7.
- [2] LANDA, Stanislav. *Paliva a jejich použití: celostátní vysokoškolská učebnice*. 2., rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. Řada chemické literatury.
- [3] BENEŠ, Pavel, Jiří BANÝR a Václav PUMPR. *Základy chemie: pro 2. stupeň základní školy, nižší ročníky víceletých gymnázií a střední školy*. Vyd. 3. Praha: Fortuna, 2001. ISBN 80-716-8748-0.
- [4] Obydlené byty podle způsobu vytápění a používané energie k vytápění a podle velikostních skupin obcí a krajů. *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20534544/zvcr026.pdf/c7d3e32d-f9bb-436f-9cd2-cb9f27fae6b3?version=1.0>
- [5] Uhelné brikety. *Brikety.org* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://brikety.org/uhelne-brikety/>
- [6] *Coalmap* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.coalmap.eu/#/>
- [7] ČERNÝ, Václav, Břetislav JANEBA a Jiří TEYSSLER. *Parní kotle*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [8] Úvodem o koksu. *Koksovny.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/uvodem-o-koksu>
- [9] Prodej antracitu. *Shstream.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.shstream.cz/antracit>
- [10] Černé uhlí [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.cerneuhli.cz/>
- [11] Black natural coal. *Indiamart.com* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/black-natural-coal-13541048812.html>
- [12] Antracit. *Geologie.vsb.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/energysur/antracit.html>
- [13] Bílinské hnědé uhlí - OŘECH 1. *Palivazdemar.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.palivazdemar.cz/ledvicke-hnede-uhli-orech-1-volne>
- [14] Rašelinové brikety. *Brikety.org* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://brikety.org/raselinove-brikety>
- [15] Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [16] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [17] Energie z biomasy. *Vitejtenazemi.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energie\\_z\\_biomasy&site=energie](http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energie_z_biomasy&site=energie)
- [18] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-736-6071-7.
- [19] Výhřevnost dřeva. *Avydon.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.avydon.cz/vyhrevnost-dreva>
- [20] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 01-01-2010 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>.
- [21] Dřevní štěpka. *Biomtrade.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.biomtrade.cz/drevni-stepka.html>

- [22] Mobilní štěpkovače ELIET. *Agrocar.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.agrocar.cz/lesni-hospodarstvi/drtice-a-stepkovace-dreva/mobilni-stepkovace-eliet/>
- [23] JANDAČKA, Jozef a Marian MIKULÍK. *Technológie pre zvyšovanie energetického potenciálu biomasy*. Žilina: Jozef Bulejčík, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.
- [24] Válcové brikety. *Briketyvakci.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [http://www.briketyvakci.cz/brikety\\_valcove.php](http://www.briketyvakci.cz/brikety_valcove.php)
- [25] Dřevní pelety s kůrou. *Ceska-peleta.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/pelety-brikety-drevo-informace-pro-experty/attachment/drevni-pelety-s-kurou/>
- [26] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [27] ROUBÍČEK, Václav. *Uhlí: zdroje, procesy, užití*. Ostrava: Montanex, 2002. Odborné publikace. ISBN 80-7225-063-9.
- [28] o spalování tuhých paliv v lokálních topeništích. *Energetika.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>
- [29] JIROUŠ, František. *Efektivní spalování paliv*. Vyd. 1. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, c2013. ISBN 978-80-260-5393-4.
- [30] Spalování tuhých paliv. *Spalovaci-procesy.wz.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://spalovaci-procesy.wz.cz/TP.html>
- [31] MĚCHURA, Petr. Nejúčinnější ekologický zdroj tepla pro vytápění rodinných domků. *Biom.cz* [online]. 04-08-2010 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/nejucinnejsi-ekologicky-zdroj-tepla-pro-vytapeni-rodinnych-domku>
- [32] Otevřený krb. *Krbyhunal.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [http://www.krbyhunal.cz/krb\\_03.html](http://www.krbyhunal.cz/krb_03.html)
- [33] Krby včera, dnes a zítra. *Intop-construct.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.intop-construct.cz/index.php?page=krby-vcera-dnes-zitra>
- [34] LYČKA, Zdeněk. *Malé teplovodní kotle na pevná paliva: spalování pevných paliv po roce 2013* [online]. Krnov: LING Vydavatelství, 2012 [cit. 2018-05-18]. ISBN 978-80-904914-2-7. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2207-ling-vydavatelstvi-kotle.pdf>
- [35] Zplynovací kotel na dřevo Guntamatic Synchron. *Biom.cz*[online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/obrazek/zplynovaci-kotel-na-drevo-guntamatic-synchro>
- [36] STUPAVSKÝ, Vladimír. Kotel na pelety - peletový kotel pro ústřední vytápění. *Biom.cz* [online]. 01-01-2010 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-pelety-peletovy-kotel-pro-ustredni-vytapeni>
- [37] Peletové vytápěcí soustavy pro rodinné domy. *Oze.tzb-info.cz*[online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/6170-peletove-vytapeci-soustavy-pro-rodinne-domy>
- [38] Automatický kotel na pelety se zásobníkem Guntamatic Biostar. *Biom.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/obrazek/automaticky-kotel-na-pelety-se-zasobnikem-guntamatic-biostar>
- [39] STUPAVSKÝ, Vladimír. Kotel na dřevní štěpku. *Biom.cz*[online]. 01-01-2010 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-drevni-stepku>

- [40] Automatický kotel na dřevní štěpku Guntamatic Powerchip. *Biom.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/obrazek/automaticky-kotel-na-drevni-stepku-guntamatic-powerchip>
- [41] KOLONIČNÝ, Jan, Jiří HORÁK a Silvie PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ. *Kotle malých výkonů na pevná paliva*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2542-7.
- [42] Jak vybírat nový kotel na pevná paliva (1). *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>
- [43] Automatické kotle EKOEFEKT. *Topenar-sejk.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.topenar-sejk.cz/automaticke-kotle-ekoefekt-str-68-1-68-2.html>
- [44] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>
- [45] Přehled cen elektrické energie. *Tzb-info.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie>
- [46] JANDAČKA, Jozef a Milan MALCHO. *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina: Juraj Štefuň - GEORG, 2007. ISBN 978-80-969161-4-6.
- [47] Zplynovací kotle na dřevo. *Atmos.eu* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/zplynovaci-kotle-na-drevo/>
- [48] Palivové dřevo SUCHÝ BUK. *Drvostep.eu* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://drvostep.eu/produkt/palivove-drevo-suchy-buk-skladany-vlhkost-pod-20-delka-25cm-1-prmr/>
- [49] Zplynovací kotle na uhlí (dřevo). *Atmos.eu* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/zplynovaci-kotle-na-uhli-drevo/>
- [50] Bílinský ořech 1 - Ledvice. *Havelka.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.havelka.cz/bilinsky-orech-1-ledvice/>
- [51] Kotle na pelety. *Atmos.eu* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/kotle-na-pelety/>
- [52] Certifikované dřevěné pelety ENplus A1. *Drvostep.eu* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://drvostep.eu/produkt/certifikovane-drevene-pelety-enplus-a1-1-tuna-cena-za-1kg-669-kc/>
- [53] Kotle DAKON DOR N Automat. *Dakon.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.dakon.cz/produkty/dor-n/>
- [54] Černé uhlí - ořech 1. *Havelka.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.havelka.cz/cerne-uhli-orech-1-30-60-mm/>
- [55] Kotle DAKON DOR F. *Dakon.cz* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.dakon.cz/produkty/dor-f/>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Popis	Jednotka
A	obsah popeloviny v palivu	[-, %]
$C_e$	cena elektrické energie	[Kč·kWh <sup>-1</sup> ]
$C_{pi}$	cena za kilogram daného paliva	[Kč·kg <sup>-1</sup> ]
$E_i$	celková spotřebovaná elektrická energie daného kotle	[kWh]
h	obsah hořlaviny v palivu	[-, %]
$H_2$	obsah vodíku v palivu	[-, %]
$H_i$	výhřevnost paliva pro daný kotel	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]
$H_T$	měrná ztráta domu prostupem tepla	[W·K <sup>-1</sup> ]
$m_0$	hmotnost vlhkého vzorku	[kg]
$m_i$	hmotnost spotřebovaného paliva pro daný kotel za rok	[kg]
$N_{ei}$	náklady za elektrickou energii daného kotle	[Kč]
$N_i$	celkové roční náklady na provoz daného kotle	[Kč]
$N_{pi}$	náklady za palivo pro daný kotel	[Kč]
$P_{ei}$	elektrický příkon daného kotle	[W]
$P_i$	výkon daného kotle	[W]
plm	plnometr	[m <sup>3</sup> ]
prm	prostorový metr rovnáný	[m <sup>3</sup> ]
prms	prostorový metr sypaný	[m <sup>3</sup> ]
$Q_C$	energie uvolněná spálením uhlíku	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]
$Q_{H_2}$	energie uvolněná spálením vodíku	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]
$Q_i$	výhřevnost	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]
$Q_{rok}$	roční energie potřebná pro vytápění	[kWh, GJ]
$Q_s$	spalné teplo	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]
$Q_S$	energie uvolněná spálením síry	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]
$Q_Z$	tepelné ztráty domu	[kWh]
r	měrné skupenské teplo vypařování vody	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]
S	obsah síry v palivu	[-, %]
$\bar{S}$	měrná síratost	[g·MJ <sup>-1</sup> ]
$T_i$	roční doba provozu daného kotle	[h]
W	obsah vody v palivu, vlhkost	[-, %]
$\eta_i$	účinnost daného kotle	[-, %]

**Seznam obrázků**

Obrázek 1: Černé uhlí [11].....	18
Obrázek 2: Antracit [12] .....	18
Obrázek 3: Hnědé uhlí [13].....	18
Obrázek 4: Uhelné brikety [5] .....	18
Obrázek 5: Schéma uhlíkového cyklu při spalování biomasy [17] .....	19
Obrázek 6: Mobilní štěpkovač [22] .....	22
Obrázek 7: Štěpka [20] .....	22
Obrázek 8: Pelety [25] .....	23
Obrázek 9: Brikety [24] .....	23
Obrázek 10: Vliv vlhkosti dřeva na výhřevnosti a spalném teple [28].....	26
Obrázek 11: Otevřený krb [32] .....	28
Obrázek 12: Uzavřený krb s krbovou vložkou [33].....	28
Obrázek 13: Zplyňovací kotel na dřevo Guntamatic Synchron [35] .....	29
Obrázek 14: Automatický kotel na pelety se zásobníkem Guntamatic Biostar [38] .....	30
Obrázek 15: Kotel na dřevní štěpku Guntamatic Powerchip [40] .....	31
Obrázek 16: Kotel s retortovým hořákem [42] .....	31
Obrázek 17: Kotel s bubnovým hořákem [43].....	31
Obrázek 18: ATMOS zplyňovací kotel na dřevo [47].....	34
Obrázek 19: ATMOS zplyňovací kotel na hnědé uhlí [49] .....	35
Obrázek 20: ATMOS automatický kotel na pelety [51] .....	36
Obrázek 21: DAKON automatický kotel [53] .....	37
Obrázek 22: DAKON kotel na hnědé uhlí [55] .....	38

**Seznam tabulek**

Tabulka 1: Obydlené byty podle způsobu vytápění a používané energie k vytápění [4].....	17
Tabulka 2: Výhřevnost dřeva [19].....	21
Tabulka 3: Podíl prchavé hořlaviny a popeloviny v palivech [26].....	24
Tabulka 4: Srovnání spalného tepla a výhřevnosti [28] .....	25
Tabulka 5: Příklady sirtatosti [30].....	27
Tabulka 6: Porovnání kotlů. ....	39