



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## **KOTLE NA BIOMASU**

BIOMASS BOILERS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**VÍTĚZSLAV ŠTĚRBA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MAREK BALÁŠ, Ph.D.**

BRNO 2012



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá kotli na biomasu. První část je věnována samotné biomase, jejímu rozdělení, vlastnostech, potenciálu a možnostech energetického využití. Ve druhé části je popsán domácí trh s kotli na biomasu malých výkonů pro vytápění objektů a jejich funkce. Poslední část se zabývá ekonomickým porovnáním vybraných kotlů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

biomasa, potenciál biomasy, vlastnosti biomasy, kotle na biomasu, ekonomické porovnání kotlů

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with biomass boilers. The first part is dedicated to the biomass, its distribution, characteristics, potential and the possibility of energy recovery. The second part describes domestic market with biomass boilers low power for heating buildings and their functions. The last part deals economic comparison of selected boilers.

## **KEYWORDS**

biomass, biomass potential, biomass characteristics, biomass boilers, economic comparison of boilers

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŠTĚRBA, V. *Kotle na biomasu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 45 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Marka Baláše, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 02. května 2012

.....

Vítězslav Štěřba

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji panu Ing. Markovi Balášovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a rady při jejím zpracování.

## OBSAH

|   |    |
|---|----|
| Úvod.....   | 10 |
| 1 Biomasa .....   | 11 |
| 1.1 Rozdělení biomasy .....                               | 11 |
| 1.2 Vlastnosti biomasy .....                              | 12 |
| 1.2.1 Vlhkost.....  | 13 |
| 1.2.2 Výhřevnost.....                                     | 13 |
| 1.2.3 Prchavá hořlavina .....                             | 14 |
| 1.2.4 Obsah popele.....                                   | 14 |
| 1.2.5 Charakteristické teploty popele .....               | 15 |
| 1.2.6 Prvkové složení.....                                | 15 |
| 1.3 Potenciál biomasy .....                               | 16 |
| 1.3.1 Potenciál biomasy v Moravskoslezském kraji.....     | 17 |
| 1.3.2 Globální potenciál biomasy .....                    | 18 |
| 1.3.3 Potenciál biomasy v EU.....                         | 18 |
| 1.4 Energetické využití biomasy .....                     | 18 |
| 1.4.1 Způsoby využití biomasy pro energetické účely ..... | 19 |
| 1.4.2 Dřevní štěrka .....                                 | 19 |
| 1.4.3 Brikety .....                                       | 20 |
| 1.4.4 Pelety .....  | 20 |
| 2 Kotle na biomasu .....                                  | 21 |
| 2.1 Rozdělení kotlů na biomasu .....                      | 21 |
| 2.1.1 Zplyňovací kotle na dřevo a brikety .....           | 23 |
| 2.1.2 Automatické kotle na pelety .....                   | 23 |
| 2.1.3 Kotle na dřevní štěrku .....                        | 24 |
| 2.2 Přehled kotlů na biomasu do 25 kW .....               | 25 |
| 2.2.1 Zplyňovací kotle na kusové dřevo .....              | 25 |
| 2.2.2 Automatické kotle na pelety .....                   | 27 |
| 2.2.3 Klasické prohořivací kotle .....                    | 29 |
| 3 Ekonomické porovnání vybraných druhů kotlů.....         | 32 |
| Závěr .....   | 41 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů.....                    | 45 |

## ÚVOD

Již od pradávna, kdy se člověk naučil využívat oheň, byla biomasa v podobě dřeva hlavním zdrojem tepla v primitivních ohništích. Po staletí, kdy si člověk začínal podmaňovat planetu a dokázal stavět svá obydlí, vesnice a města, ho nenapadlo topit v kamnech či krbech ničím jiným než dřevem. Změna nastala teprve v 19. století, kdy byla objevena ložiska fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn), což by se dalo taktéž nazvat biomasou, avšak po milionech let přeměn už odumřelou. S rostoucím technickým pokrokem civilizace využívání dřeva pro potřeby velkého nárůstu obyvatel nestačilo. A proto masivní těžba nově objevených fosilních paliv s vysokou výhřevností odsunula na několik desítek let biomasu do pozadí. Až v šedesátých letech minulého století si lidstvo uvědomilo, že fosilní paliva dříve nebo později dojdou. A proto je třeba hledat energetické využití tzv. obnovitelných zdrojů energie.

Obnovitelné zdroje energie, jak nám napovídá název, jsou nevyčerpatelné zásoby energie, kterou můžeme neustále obnovovat. Vedle biomasy zde patří např. energie větru, solární, vodní nebo geotermální energie. Nespornou výhodou oproti fosilním palivům, které v současné době již nevznikají, je jejich ekologický charakter, kdy jejich využívání nezatěžuje nijak významně životní prostředí.

V této bakalářské práci budou popsány vlastnosti biomasy. Především nízký obsah popele, absence síry v palivu a tím pádem i emise  $\text{SO}_2$ , dělá z biomasy ekologické palivo. Při spalování biomasy samozřejmě vzniká i oxid uhličitý, avšak při jejím růstu se ho stejné množství spotřebuje a proto nezatěžuje životní prostředí a nepřispívá ke skleníkovému efektu. Proto je v dnešní době biomasa čím dál více prosazována. Dále bude nastíněno energetické využití biomasy a její potenciál v ČR i ve světě.

Stěžejním bodem jsou možnosti spalování biomasy v kotlích malých výkonů pro vytápění objektů. Bude zpracován přehled těchto zařízení dle jednotlivých kategorií, dostupných na našem trhu, a popsány jejich klady a zápory. Jako hlavní tři kategorie budou zvoleny zplyňovací kotle na kusové dřevo, automatické kotle na pelety, které jsou v oblíbenosti u zákazníků na vzestupu a u nás stále nejoblíbenější klasické prohořivací kotle. Zmíněny budou také emisní třídy škodlivin, do kterých jednotlivá zařízení patří a budoucnost jednotlivých kategorií vzhledem k těmto třídám.

V poslední části bude provedeno ekonomické porovnání vybraných druhů kotlů z hlediska jejich pořizovací ceny a každoročních nákladů na vytápění s kotlem na zemní plyn. Cílem bude vybrat z každé kategorie takové zástupce, aby bylo jasné, který je ekonomicky nejvýhodnější, popřípadě zda se vyšší pořizovací cena za několik let vrátí anebo budou vyšší náklady spojeny v podobě automatického provozu se snazší a komfortnější obsluhou.

# 1 BIOMASA

Biomasou rozumíme hmotu organického původu, ať už živočišného nebo rostlinného. Na rozdíl od energií z fosilních paliv jako ropa, zemní plyn nebo hnědé a černé uhlí ji můžeme neustále obnovovat. Proto biomasa patří do takzvaných obnovitelných zdrojů energie. Původ energie v biomase pochází ze slunečního záření. [1]

## 1.1 ROZDĚLENÍ BIOMASY

Klasifikovat biomasu je poměrně složitým problémem, jelikož ji můžeme rozdělit dle různých hledisek. Vybráno bylo pár nejdůležitějších.

1. Podle původu: [2]
  - a) Odpadní:
    - Rostlinné odpady ze zemědělské prvovýroby (řepková a kukuřičná sláma, seno, odpady ze sadů a vinic...)
    - Lesní odpady (pařezy, kořeny, kůra, větve, šišky...)
    - Organické odpady z průmyslových výrob (piliny, hobliny, kůra, odpady z cukrovarů, jatek, mlékáren, lihovarů...)
    - Odpady ze živočišné výroby (hnůj, zbytky krmiv...)
    - Komunální organické odpady (kaly)
  - b) Záměrně produkovaná k energetickým účelům:
    - Dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty...)
    - Obiloviny (celé rostliny)
    - Travní porosty
    - Ostatní rostliny (konopí, čirok, šťovík...)
    - Olejnaté rostliny (řepka olejná, slunečnice, len...)
    - Škrobo-cukernaté rostliny (brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice...)
2. Podle obsahu vody: [3]
  - a) Suchá (dřevo a dřevní odpady, sláma, suché zbytky z pěstování zemědělských plodin)
  - b) Mokrá (tekuté odpady jako kejda, tekuté komunální odpady)
  - c) Speciální (olejniny, škrobové a cukernaté plodiny)
3. Podle původu hmoty: [4]
  - a) Lesní (palivové dřevo, zbytky z dřevozpracujícího průmyslu...)
  - b) Zemědělská (obiloviny, olejniny, travní porosty, rychle rostoucí dřeviny...)
  - c) Zbytková (průmysl papíru, dřevovýroba, zpracování masa, třídění komunálního odpadu, exkrementy chovných zvířat)
4. Podle majoritních komponent (lignin, celulóza, hemicelulóza): [4]
  - a) Primární (sláma, cereálie, mouka)
  - b) Sekundární (piliny, slupky, odpady z papírenského průmyslu, z výroby nápojů)
  - c) Terciální (vedlejší produkty z biomasy použité jako výrobky – dřevo z demolic)
  - d) Energetické plodiny

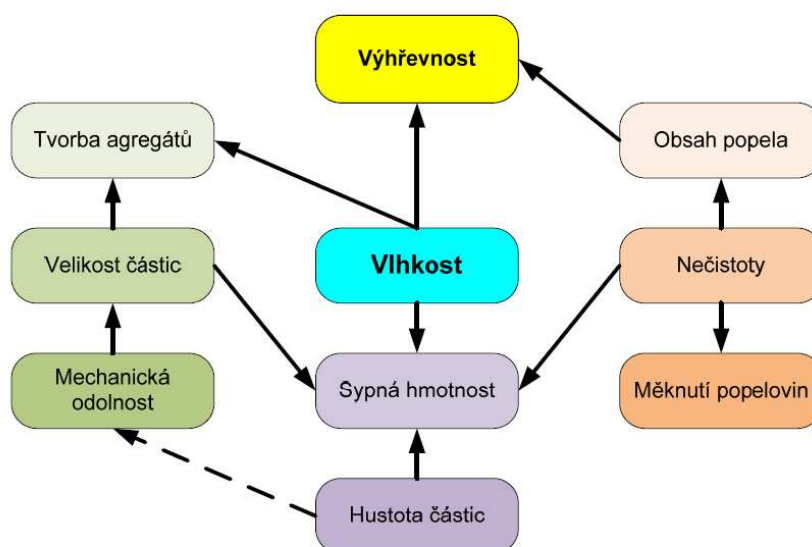
## 1.2 VLASTNOSTI BIOMASY

Pokud považujeme biomasu za palivo, můžeme ji charakterizovat stejnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi jako tuhá paliva. Využití biomasy pro energetické účely je spojeno s velkým kolísáním její kvality. Chemické vlastnosti ovlivňují její růst či pokles a fyzikální vlastnosti ovlivňují fázi úpravy vyrobených produktů. Tyto vlastnosti můžeme zahrnout ve dvou základních parametrech: [4]

1. Parametry charakterizující proces spalování: [4]
  - Vlhkost
  - Výhřevnost
  - Prchavá hořlavina
  - Obsah popele
  - Měknutí popelovin
  
2. Parametry charakterizující mechanické vlastnosti: [4]
  - Sypná hmotnost
  - Velikost
  - Mechanická odolnost

Ostatní vlastnosti: [4]

- Dopravitelnost paliva
- Obsah spor hub
- Mísitelnost, roztříditelnost
- Skladovatelnost
- Granulometrie (zrnitost, viskozita)
- Dostupnost



Obr. 1 Závislost mezi mechanickými a fyzikálními vlastnostmi biomasy [4]

### 1.2.1 VLHKOST

Vlhkost je nejdůležitější vlastností biomasy, která se liší od běžně užívaných paliv. Biomasu je nutné před spalováním vysušit, nejlépe při skladování. Jinak při vlastním spalování spotřebovává velký podíl spalného tepla. Tento jev je nežádoucí, neboť snižuje výhřevnost, což může způsobit nestabilitu spalování. Při spalování vlhkého paliva se snižuje účinnost kotle a vede ke zkracování jeho životnosti. [5]

S bezvodou biomasou se v přírodě prakticky vůbec nesetkáváme. Obsah vody v biomase ovlivňuje i přítomnost hub, které se podílejí na procesech samovznícení biomasy.

Čerstvě pokácené dřevo obsahuje mnohdy i přes 60 % vody. Při takto vysoké hodnotě výhřevnost nepostačuje ani pro udržení spalovacího procesu. Na druhou stranu při spalování dokonale suchého dřeva není spalovací proces optimální. Toto palivo hoří příliš explozivně, a proto velká část energie uniká v kouřových plynech. Optimální relativní vlhkost se pro spalování považuje okolo 20 % [4]

Tab. 1 Závislost výhřevnosti paliva na vlhkosti u dřeva a kůry [4]

| Vlhkost [%] | Dřevo [MJ/kg] | Kůra [MJ/kg] |
|-------------|---------------|--------------|
| 0           | 18,5          | 18,8         |
| 10          | 16,4          | 16,7         |
| 20          | 14,3          | 14,6         |
| 30          | 12,2          | 12,5         |
| 40          | 10,1          | 10,5         |
| 50          | 8,0           | 8,4          |
| 60          | 6,0           | 6,3          |

### 1.2.2 VÝHŘEVNOST

Výhřevnost považujeme za hlavní ukazatel kvality paliva. U biomasy je výhřevnost závislá na množství vlhkosti obsažené v palivu. Výhřevnost u dřeva, nejčastěji ve formě štěrky, můžeme považovat za přibližně stejnou jako u hnědého uhlí. [3]

Při spalování paliva se uvolněné teplo určuje jako spalné teplo nebo výhřevnost paliva.

Spalné teplo  $Q_s$  [kJ/kg] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách z kondenzuje, je v kapalně fázi.

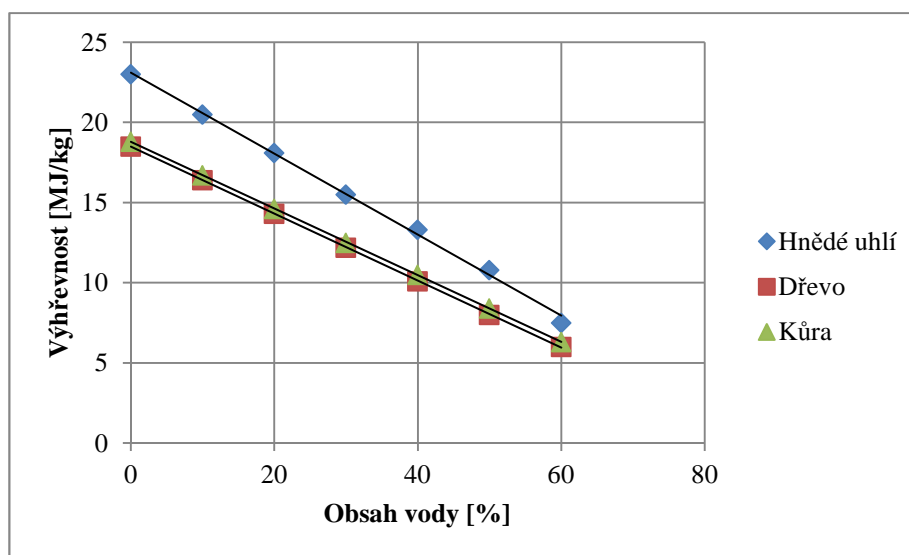
Výhřevnost  $Q_r^i$  [kJ/kg] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zůstane v plynné fázi.

V praxi se počítá s výhřevností, protože kvůli korozi mají spaliny většiny kotlů teplotu nad rosným bodem a vodu v plynné fázi. [6]

Tab. 2 Výhřevnosti vybraných paliv v závislosti na vlhkosti [3, 5]

| Druh paliva      | Výhřevnost [MJ/kg] | Vlhkost [%] |
|------------------|--------------------|-------------|
| Listnaté dřevo   | 14,60              | 15,00       |
| Jehličnaté dřevo | 15,58              | 15,00       |

|                     |       |       |
|---------------------|-------|-------|
| Brikety             | 17,54 | 7,42  |
| Pelety              | 17,54 | 7,42  |
| Štěpka              | 9,84  | 41,74 |
| Papír               | 11,98 | 4,61  |
| Sláma obilní        | 15,46 | 10,00 |
| Slunečnicové slupky | 24,05 | 5,22  |



Graf IV Výhřevnosti vybraných paliv v závislosti na vlhkosti

### 1.2.3 PRCHAVÁ HOŘLAVINA

Biomasa obsahuje poměrně značné množství prchavé hořlaviny. Jedná se o část hořlaviny, která se při začátku spalování začíná uvolňovat, čímž napomáhá vznícování paliva v ohništi a pomáhá stabilizovat spalovací proces. Kvůli tomu, že prchavá hořlavina hoří v horní části spalovací komory, je potřeba přivést sekundární vzduch a zajistit jeho dobré promíchání s plynným prchavým podílem. Vysoký podíl prchavé hořlaviny velmi výrazně ovlivňuje tvorbu emisí. [6]

Množství prchavé hořlaviny se z praktických důvodů doporučuje určovat jako podíl vztažený na množství hořlaviny, protože se velmi obtížně porovnávají relativní obsahy k různým relativním vlhkostem. [7]

Tab. 3 Obsah prchavé hořlaviny (vztaženo na zdánlivé množství hořlaviny) [7]

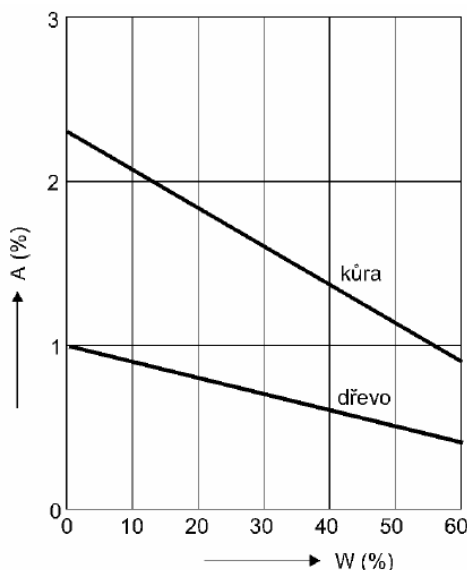
| Palivo                        | Rašelina | Řepková sláma | Obilní sláma | Jehličnaté dřevo |
|-------------------------------|----------|---------------|--------------|------------------|
| $V_{daf}$ [% <sub>hm.</sub> ] | 70       | 80-86         | 88           | 84               |

### 1.2.4 OBSAH POPELE

Množství popelovin je u biomasy podstatně nižší než u pevných fosilních paliv. Díky tomu odpadá potřeba kontinuálního odvodu tuhých zbytků po spalování, což vede k finančním úsporám. [6]

Tab. 4 Obsah popele u některých druhů biomasy [6]

| Druh biomasy     | Popel v sušině [%] | Popel v palivu [%] |
|------------------|--------------------|--------------------|
| Jehličnaté dřevo | 1,00               | 0,70               |
| Listnaté dřevo   | 1,00               | 0,70               |
| Kůra             | 2,30               | 0,30               |
| Obilná sláma     | 5,84               | 5,08               |
| Šťovík           | 7,29               | 7,29               |



Graf 2 Závislost množství popele na vlhkosti [8]

### 1.2.5 CHARAKTERISTICKÉ TEPLoty POPELE

Charakteristické teploty popele u biomasy jsou hlavně u stébelnin podstatně nižší než u uhlí. Kvůli nízké teplotě měknutí hrozí nebezpečí nalepování a spékání popelovin na roštu ve spalovací komoře. Tyto usazeniny mohou vést k různým poruchám provozu a změnám v přívodu spalovacího vzduchu. Proto musí být tyto nečistoty mechanicky odstraňovány. [4]

Tab. 5 Charakteristické teploty popele některých druhů paliv [4]

| Druh paliva    | Měknutí [°C] | Tavení [°C] | Tečení [°C] |
|----------------|--------------|-------------|-------------|
| Pšeničná sláma | 767          | 1044        | 1257        |
| Řepková sláma  | 665          | 1452        | 1460        |
| Smrkové dřevo  | 1180         | 1265        | 1310        |
| Hnědé uhlí     | 1280         | 1360        | 1500        |

### 1.2.6 PRVKOVÉ SLOŽENÍ

Obecně obsahuje biomasa asi 50 % uhlíku, 43 % kyslíku a 6 % vodíku v hořlavině. Téměř vůbec však neobsahuje síru, na rozdíl od chlóru, flóru, draslíku a těžkých kovů, které mohou způsobovat korozi částí kotle a nepříznivě působí na životní prostředí. [5]

Tab. 6 Prvkové složení biomasy [5]

| Prvek | Hm. % sušiny | Prvek | Hm. % sušiny |
|-------|--------------|-------|--------------|
| C     | 40-46        | S     | 0,05-0,8     |
| H     | 6            | Ca    | 0,3-5        |
| O     | 40-44        | Si    | 0,05-3       |
| N     | 1-5          | Mg    | 0,05-1       |
| P     | 0,05-0,8     | B     | 0,005-0,01   |
| K     | 0,3-5        | Cl    | 0,02-1       |
| Na    | 0,02-0,5     | Fe    | 0,005-0,1    |

### 1.3 POTENCIÁL BIOMASY

V současné době zůstává velké množství dostupné biomasy nevyužito (obilná a řepková sláma nebo dřevní odpad po těžbě v lesích). Jako o využití potenciálu můžeme uvažovat zatrávněné a sečené plochy, které nejsou využívány pro produkci potravin. Dalším vhodným zdrojem pro energetické účely by mohly být vysoké porosty suchých plevelů, které přes zimu zaujímají rozsáhlé plochy našeho území.

Po roce 1990 došlo k nárůstu neobdělávaných půd, které by bylo možné využít k záměrnému pěstování energetických plodin. Dále můžeme využívat pro pěstování těchto plodin plochy, které nejsou vhodné pro potravinářskou produkci. Navíc po ničivých záplavách v letech 1997 a 2002 se vyskytla možnost pro zakládání rychle rostoucích dřevin na nově vzniklých náplavách a sedimentech, které nejsou taktéž pro klasickou rostlinnou výrobu vhodné. [9]

Při zkoumání potenciálu biomasy by mělo být počítáno s těmito zdroji biomasy: [9]

- Obilnou a řepkovou slámou
- Lesními těžebními zbytky
- Cíleně pěstovanou biomasou z plantáží rychle rostoucích dřevin
- Trvalými travními porosty, pokud je jich vysoké zastoupení
- Dřevní odpad z oblasti dřevařských provozů

Tab. 7 Potenciál biomasy v ČR v roce 2011 [10]

| Potenciál        |                    | [PJ/rok] |
|------------------|--------------------|----------|
| Teoretický       |                    | 700      |
| Dostupný         | zemědělská biomasa | 194      |
|                  | lesní biomasa      | 50       |
|                  | zbytková biomasa   | 32       |
| Současné využití |                    | 100      |

Při energetickém využívání biomasy musíme analyzovat potenciál biomasy pro jednotlivá území, například krajů České republiky. Rozdíly v potenciálu a nákladech mezi jednotlivými regiony jsou způsobeny odlišnou výnosností půdy, hornatostí terénu, dřevozpracujícími závody atd.

I kvůli těmto faktorům nemůžeme v České republice popsat ideální model využívání biomasy. Navíc ceny biomasy a ceny tepla se mohou lišit mezi jednotlivými kraji až trojnásobně.

Rozdíl v ekonomické efektivnosti totožného projektu může být právě z důvodů odlišných lokalit až desetinásobný. Nemůžeme zanedbat ani dostupnost a cenu jednotlivých druhů paliv. [11]

Klíčové faktory charakterizující úspěšné projekty využívání biomasy: [11]

- Garance dlouhodobých dodávek paliva
- Cena paliva v nižším cenovém pásmu
- Existující poptávka po ekonomicky efektivním uplatnění biomasy pro výrobu tepla
- Relativně vysoká současná cena tepla
- Technologie, která má být nahrazena, je zastaralá a škodlivá životnímu prostředí

### 1.3.1 POTENCIÁL BIOMASY V MORAVSKOSLEZSKÉM KRAJI

Jak už bylo zmíněno výše, potenciál biomasy musíme analyzovat pro jednotlivé kraje České republiky. Z důvodu mého bydliště v Moravskoslezském kraji, bude popsána tato problematika právě zde.

V Moravskoslezském regionu spotřeba primárních zdrojů energie (PEZ) spočívá v drtivé většině na černém uhlí (97,4 %) kvůli velkým zdrojům elektrické i tepelné energie (nad 5 MW) jako elektrárna Dětmarovice, hutní a strojírenské podniky Vítkovice, Mittal Steel, ŽD Bohumín nebo Třinecké železárny. Naopak menší zdroje do 3 MW spalují výhradně zemní plyn (93,1 %). Biomasa tudíž nehraje téměř žádnou roli v těchto kategoriích (u obou přibližně 1 %), přitom je nejvhodnější náhradou především za pevná fosilní paliva v kotlích všech výkonů. [12]

Dostupnost biomasy v Moravskoslezském kraji se řídí těmito závěry: [12]

- Využití biomasy je vhodné realizovat v blízkosti pěstování a sklizně biomasy
- Využití biomasy je určeno dostupností ploch pro pěstování energetických rostlin, obilovin nebo dřevin. Přichází v úvahu velké rekultivované plochy po těžbě
- U dřeva je využití dáno rozsahem těžby. Lesní odpad není ve větší míře možný

Ze všech obnovitelných zdrojů energie v Moravskoslezském kraji potenciál biomasy tvoří až do roku 2022 okolo 70 % zdrojů energie pro spalování. [5]

Tab. 8 Potenciál OZE v Moravskoslezském kraji při optimálních podmínkách [5]

| Obnovitelný zdroj   |                         | GJ/rok   | Podíl [%] |
|---------------------|-------------------------|----------|-----------|
| Geotermální energie |                         | 630000   | 5         |
| Energie biomasy     | dřevo                   | 3226860  | 71        |
|                     | obiloviny               | 1567160  |           |
|                     | rychlerostoucí rostliny | 2704800  |           |
|                     | biodpad                 | 629000   |           |
| Energie bioplynu    |                         | 1593195  | 13        |
| Energie slunce      |                         | 1000000  | 8         |
| Vodní energie       |                         | 300000   | 2         |
| Energie větru       |                         | 100000   | 1         |
| Celkem              |                         | 11751015 | 100       |

### 1.3.2 GLOBÁLNÍ POTENCIÁL BIOMASY

Při mnoha mezinárodních výzkumech se odhaduje celosvětový potenciál biomasy k energetickému využití. Podle analýzy v časopise „Mitigation and Adaption Strategies for Global Change” se výše vykazovaného potenciálu výrazně liší. Podle studie činí mezi 0 až 1550 EJ za rok, tedy přibližně 431 biliónů kWh.

Rozhodujícím kritériem pro výši potenciálu biomasy je odhad plochy, která je vhodná pro pěstování energetických rostlin. Odhady se pohybují mezi 0 až 7000 miliónů hektarů.

Největší potenciály biomasy jsou ve státech Asie, Afriky a Jižní Ameriky. Naopak nejmenší podíl globálního potenciálu mají státy Pacifiku. [13]

### 1.3.3 POTENCIÁL BIOMASY V EU

Využití biomasy v členských státech Evropské Unie se výrazně liší především kvůli výskytu biomasy, hustotě obyvatelstva, stupně rozvoje energetiky a efektivitě podpory.

Nejvyšší podíl využití biomasy má Lotyšsko, následováno Skandinávskými zeměmi a to skoro 30 % (=4,4 Mt<sub>oe</sub>, milion tun ropného ekvivalentu), z celkové spotřeby země. Nejvíce energie z celkové produkce biomasy EU má Francie, a to 16,5 %.

Využití biomasy je limitováno dostupností půdy. Platí obecné pravidlo, které udává, že pro zajištění potravinových potřeb každé osoby v EU je požadováno 0,16 ha. Celková rozloha orné půdy v Evropě je téměř 110 mil ha, což poskytuje potraviny pro 490 miliónů obyvatel. (Evropská unie má 500 miliónů obyvatel). [14]

Tab. 9 Potenciál biomasy v EU [15]

| Mt <sub>oe</sub>   | Spotřeba biomasy<br>v roce 2003 | Potenciál pro<br>rok 2020 | Potenciál pro rok<br>2030 |
|--|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Lesní biomasa  |                                 | 39-45                     | 39-72                     |
| Organické odpady, zbytky<br>dřevozpracujícího průmyslu,<br>hnůj, zbytky ze zemědělství a<br>potravinářství |                                 | 100                       | 102                       |
| Energetické plodiny ze<br>zemědělství  | 2                               | 76-79                     | 102-142                   |
| Celkem   | 69                              | 215-239                   | 243-316                   |

## 1.4 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY

Teoretické propočty udávají roční celosvětovou produkci biomasy na úrovni 100 miliard tun, s energetickým potenciálem okolo 400 EJ. To odpovídá téměř pětinasobku roční světové spotřebě fosilních paliv (300 EJ). Energetické využití biomasy vede k vyřešení jednoho z globálních problémů lidstva. V České republice můžeme využít k energetickým účelům přibližně 8 mil. tun biomasy ročně. [16]

Tab. 10 Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR [16]

| Biopalivo                                    | Mil. tun |
|--|----------|
| Odpadní a palivové dřevo                     | 1,7      |
| Obilná a řepková sláma                       | 2,7      |
| Rychlerostoucí dřeviny a energetické plodiny | 1,0      |
| Komunální odpad                              | 1,5      |
| Spalitelný odpad z průmyslové výroby         | 1,0      |
| Celkem                                       | 7,9      |

Výhody využití biomasy k energetickým účelům: [16]

- Podstatně menší negativní dopady na životní prostředí
- Biomasa je obnovitelným zdrojem energie

Hlavní důvody odmítání využití biomasy k energetickým účelům: [16]

- Produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům jejího využití (potravinářství, krmivářské účely...)
- Nutnost rozšiřovat produkční plochy pro pěstování biomasy či zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což vede k zvyšování investic do výroby biomasy
- Energie z biomasy obtížně ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů. Toto však může být postupně měněno tlakem ekologické legislativy

Hlavním významem energetického využívání biomasy je význam ekologický. Jakákoliv vegetace totiž přispívá k úbytku skleníkových plynů, jejichž nárůst je v současné době obrovskou hrozbou existence naší planety. Situace se zhoršuje především kácením deštných pralesů a ostatní vegetace, čímž se zmenšuje pohlcování skleníkového plynu CO<sub>2</sub>, který je nezbytnou podmínkou pro fotosyntézu rostlin.

Přímým spalováním fosilních paliv je CO<sub>2</sub> uvolňován a stále více se hromadí v ovzduší. Při spalování biomasy se CO<sub>2</sub> sice také uvolňuje, ale jeho bilance je fotosyntézou rostlin vyrovnávána. [17]

#### 1.4.1 ZPŮSOBY VYUŽITÍ BIOMASY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY

Rozdělení biomasy pro energetické účely: [5]

- Výroba tepla přímým spalováním v topeništích (dřevo, dřevní odpad, sláma...)
- Zpracování nebo zušlechtění na kvalitnější paliva, tzv. fytopaliva (pelety, brikety, bioplyn, etanol, bionafta)
- Výroba elektřiny (kombinovaná výroba elektrické energie a tepla)

#### 1.4.2 DŘEVNÍ ŠTĚPKA

Dřevní, také označována jako lesní štěpka je strojně nadrcená a nakráčená dřevní hmota na částice o délce od 3 do 250 mm. Získává se z odpadů lesní těžby a dřevozpracujícího průmyslu nebo rychle rostoucích dřevin. Jedná se o velmi levné biopalivo, které je vhodné zejména pro vytápění větších budov. [18]

Podle kvality štěpky ji můžeme dělit na: [18]

- Zelenou (zbytky po lesní těžbě – drobné větvičky, listí, jehličí)
- Hnědou (zbytkové části kmenů, pilařských odřezků – obsahují kůru)

- Bílou (již odkorněné dříví)



Obr. 2 Dřevní štěpka vyrobená nožovým štěpkovačem [18]

### 1.4.3 BRIKETY

Brikety se vyrábějí lisováním ze suchého dřevního prachu, drtě, pilin, kůry, jemných hoblin nebo rostlinných zbytků do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů. Průměr bývá od 40 do 100 mm a délka do 300 mm.

Dle různých typů materiálu je na trhu rozličné množství briket ze dřeva, kůry, slámy, energetických plodin nebo vyrobených ze směsí těchto materiálů (směsné brikety). [19]



Obr. 3 Dřevěné brikety balené ve folii [19]

### 1.4.4 PELETY

Pelety se vyrábějí z dřevních zbytků, nejčastěji z pilin a hoblin vysokým stlačením do formy výlisků válcovitého tvaru. Nejčastější průměr je 6 mm o různorodé délce 5-40 mm. Dřevní pelety mají nízkou vlhkost (kolem 8 %) a nízký obsah popele (asi 1 %).

Kromě těchto dřevních pelet se můžeme setkat i s peletami rostlinnými, kůrovými nebo rašelinovými. [20]



Obr. 4 Dřevěné pelety s kůrou [20]

## 2 KOTLE NA BIOMASU

Díky různorodosti paliv z biomasy jsou kotle na biomasu na českém trhu, a to především pro užití v domácnostech, velmi oblíbené. Tyto kotle můžeme zařadit do skupiny kotlů na tuhá paliva, kde kromě uhlí řadíme také pelety, štěpku, obilí a především kusové dřevo, v ČR nejoblíbenější. Biomasa patří mezi obnovitelné zdroje energie, ale také hlavně mezi ekologické zdroje vytápění. [21]

Kvůli tomu byly kotle na biomasu více či méně zvýhodněny v dotačních programech, jako například Zelená úsporám. Nicméně v současnosti jsou veškeré dotace pozastaveny a probíhá finanční analýza projektu, na jejímž základě se rozhodne, zda bude projekt dále pokračovat.

V České republice existují emisní limity škodlivin pro kotle zaznamenané v normě ČSN EN 303-5. Hlavní sledovanou látkou je oxid uhelnatý a dále pak prach a uhlovodíky. Prozatím máme 3 třídy seřazené od největších hodnot škodlivin po nejmenší. V současné době se připravuje aktualizace normy, která zruší třídu 1 a 2 a místo nich zavede dvě nové, 4 a 5. A právě pro kotle z těchto tříd, které mají vyšší pořizovací cenu, by měly být dotace určeny. [22]

Tab. 11 Hodnoty emisí CO pro kotle na biomasu [22]

| přikládání paliva | jmenovitý tepelný výkon [kW] | mezí hodnoty emisí [mg/m <sup>3</sup> ] |         |         |         |         |
|-------------------|------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
|                   |                              | CO                                      |         |         |         |         |
|                   |                              | třída 1                                 | třída 2 | třída 3 | třída 4 | třída 5 |
| ruční             | do 50 KW                     | 25000                                   | 8000    | 5000    | 1200    | 700     |
| automatické       | do 50 KW                     | 15000                                   | 5000    | 3000    | 1000    | 500     |

### 2.1 ROZDĚLENÍ KOTLŮ NA BIOMASU

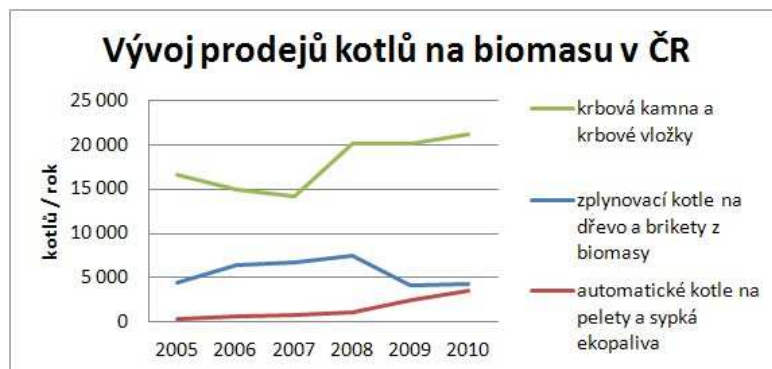
Rozdělení kotlů na biomasu může být provedeno znovu pomocí několika kritérií, která se v některých bodech liší a naopak v některých jsou stejná. Je zřejmé, že jednotné dělení není možné i kvůli výrobcům, kteří preferují jiné hodnoty rozdělení. Přesto se dají kotle rozdělit podle základního dělení dle základní funkce. Navíc je uvedeno i jednodušší dělení pro ukázkou překrývání těchto dělení se základním.

1. Základní rozdělení kotlů:
  - Zplyňovací kotle na dřevo a brikety
  - Automatické kotle na pelety a dřevní štěpku
  - Prohořivací kotle
  - Krbová kamna a krbové vložky
2. Podle paliva:
  - Jednodruhové (např. pelety – vysoká účinnost)
  - Více druhů (univerzálnější, výběr paliva podle momentální dostupnosti, ceny)
3. Podle přidávání paliva:
  - Automatické
  - Ruční přidávání

#### 4. Podle výkonů

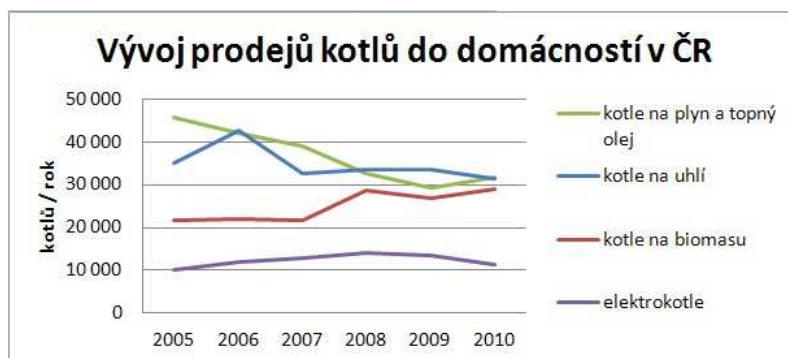
- Lokální topeniště (několik kW)
- Malé kotle (20-100 kW)
- Střední kotle (nad 100 kW)
- Kotelny velkých výkonů (MW)

Na následujících grafech je vidět podíl prodeje jednotlivých druhů kotlů na biomasu do 50 kW pro domácnosti v ČR v období mezi roky 2005 až 2010. Pro porovnání je přidáno srovnání s ostatními nejčastěji používanými kotli na jiná paliva, než je biomasa.



Graf 3 Vývoj prodeje kotlů na biomasu v ČR [23]

Z grafu vyplývá, že nejoblíbenější, a na stálém vzestupu od roku 2007 jsou křbová kamna a křbové vložky, které ve většině případů neslouží k vytápění celého domu, ale jen jedné místnosti a zabudovávána jsou také jako doplněk interiéru. Při pohledu na kotle na biomasu pro vytápění rodinných domů, lze vidět, že zhruba od roku 2008 nastal zlom v oblíbenosti zplyňovacích kotlů a kotlů na pelety. I přes vyšší pořizovací cenu, ale díky snazší obsluze a automatickému provozu, jsou kotle na pelety na vzestupu a dnes už kotle s nutným každodenním přikládáním v oblíbenosti předčily.



Graf 4 Vývoj prodeje kotlů do domácností v ČR [23]

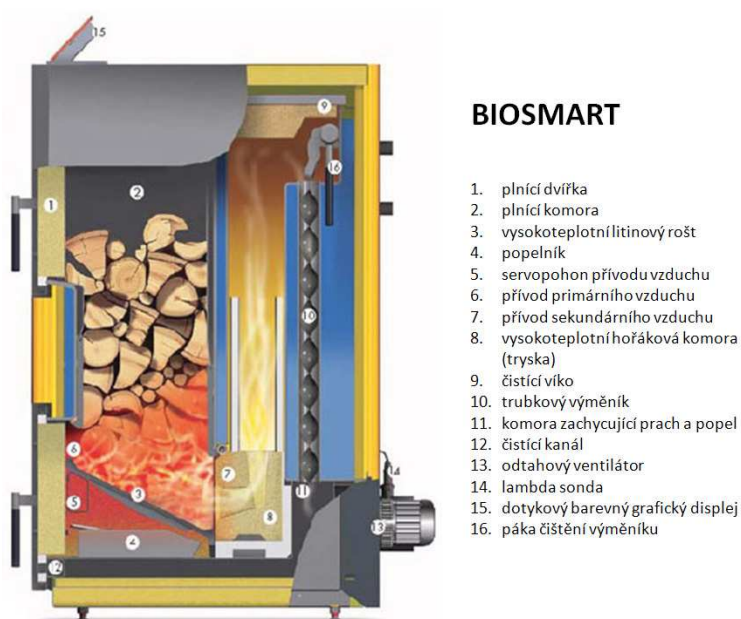
Jedinými kotli, které si udržují svou průměrnou prodejnost, jsou elektrokotle. Naproti tomu kotle na zemní plyn a uhlí jsou v poklesu. Důvodem mohou být neustále se zvyšující ceny za palivo a také zvyšující se oblíbenost kotlů na biomasu, také díky dotačním programům na výměnu starých kotlů na uhlí. A právě u kotlů na biomasu se dá očekávat neustále se zvyšující zájem o tato zařízení.

### 2.1.1 ZPLYŇOVACÍ KOTLE NA DŘEVO A BRIKETY

Hlavní výhodou těchto zařízení je jejich pořizovací cena. Zplyňovací kotel na dřevo a brikety lze pořídit od 20 do 60 tisíc Kč. Na druhou stranu se však musí počítat s pravidelnou obsluhou (přikládání, čištění). Jsou vhodné pro vytápění rodinných domů a ohřevu teplé užitkové vody.

Regulovatelný výkon se pohybuje v rozmezí 10 až 100 kW s účinností 88 až 92 %. Nejvhodnějším a také nejrozšířenějším způsobem hoření paliva je spodní odhořívání. Vhodným palivem je veškeré palivové dříví, ať už jehličnaté nebo listnaté, neopracované, opracované nebo různé druhy briket.

Při výkonech do 50 kW je ideálním místem pro instalaci kotle sklep s blízkým uskladněním paliva. Je totiž potřeba do kotle několikrát denně přikládat. [24]



Obr. 5 Zplyňovací kotel od společnosti Guntamatic [25]

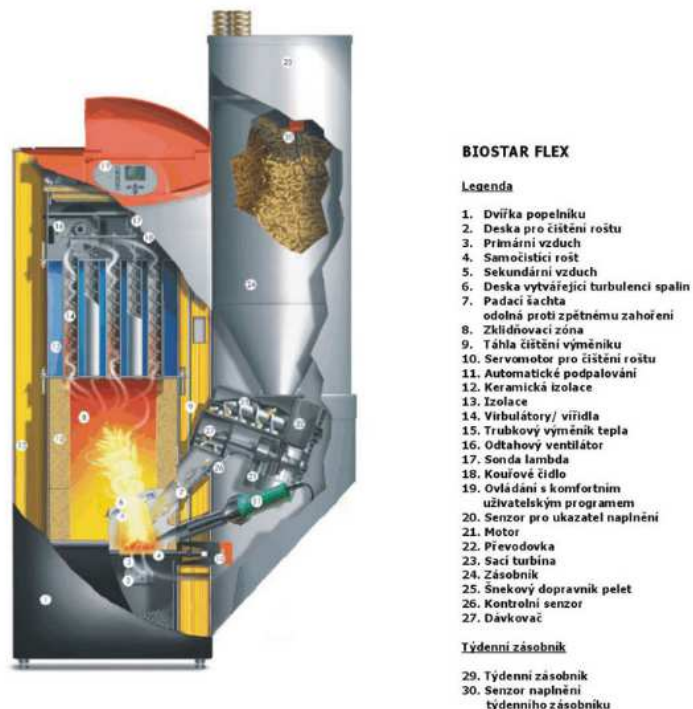
### 2.1.2 AUTOMATICKÉ KOTLE NA PELETY

Při koupi automatického kotle na pelety se musí počítat s vyšší pořizovací cenou pohybující se od 50 tisíc Kč u nejlacinějších modelů, až řádově 500 tisíc u těch nejdražších. Vyšší investice se však vrátí v podobě automatického provozu. Jsou vhodné pro vytápění rodinných domů, kanceláří a ohřevu teplé užitkové vody.

Výkon je regulovatelný přísunem paliva od 10 do 30 kW s účinností až 94 %. Jednou z hlavních komponent peletového kotle je hořák (podsvuvný nebo hrncový). K zapálení paliva dochází automaticky horkým vzduchem. Pelety mohou být dávkovány přímo na odhořívací talíř anebo pomocí šnekového dopravníku, který je přivede přímo do odhořívacího hrnce. Nejvhodnějším palivem jsou pelety dřevěné, ale u některých kotlů lze použít i rostlinné, slámové či kůrové. U těchto pelet je nutné se vždy informovat u výrobce kotle, zda je lze použít (hrozí poškození kotle).

Stejně jako u zplyňovacího kotle na dřevo a brikety lze tento kotel umístit ve sklepě s blízkým skladem pelet, ze kterého jsou pelety přikládány do kotle pomocí šnekového nebo

pneumatického dopravníku. Nejvýhodnější sklad na pelety je uvnitř vytápěné budovy. Je však možnost vybudovat sklad i mimo budovu, a to pod zemí, popřípadě využít vyřazené nádrže na zemní plyn nebo topný olej. [26]



Obr. 6 Automatický kotel na pelety od společnosti Guntamatic [26]

### 2.1.3 KOTLE NA DŘEVNÍ ŠTĚPKU

Tyto kotle jsou nejdražší na trhu. Pořizovací cena se pohybuje od 80 tisíc až k 700 tisíc Kč. Vysoká cena se později kompenzuje nejlevnějším palivem na trhu s biomasou, dřevní štěpkou. Štěpkové kotle nejnižších výkonů jsou taktéž vhodné pro vytápění rodinných domů a ohřev teplé užitkové vody. Tyto kotle jsou stejně jako kotle na pelety automatizované a dokážou spalovat i méně kvalitní palivo (štěpka má vyšší vlhkost).

Moderní kotle se vyrábějí od 5 kW s účinností 80 až 90 %. Podobně jako u kotlů na pelety jsou i zde důležitou součástí hořáky (horizontální, s podsuvným plněním, retortové). Palivem je dřevní štěpka zpracovaná na drobně vhodným štěpkovačem nebo drtičem z dřevních zbytků z lesní těžby a pil. Ve většině těchto kotlů je možnost spalovat také pelety, což je ale ekonomicky nevýhodné.

U rodinných domů se kotel opět umísťuje ve sklepě s blízkým skladem, který musí být důkladně odvětráván z důvodu plesnivění a zapařování štěpky, které by mohlo vést až k samovznícení. [27]



Obr. 7 Automatický kotel na dřevní štěpku od společnosti Guntamatic [27]

## 2.2 PŘEHLED KOTLŮ NA BIOMASU DO 25 kW

Při průzkumu českého trhu s kotli na biomasu malých výkonů bylo nalezeno mnoho výrobců. V tomto přehledu jsou kotle rozděleny do tří kategorií: zplyňovací kotle na kusové dřevo, automatické kotle na pelety a klasické kotle prohořivací. S automatickými kotli na dřevní štěpku malých výkonů do 25 kW se moc nesetkáme. Výrobci preferují kotle na štěpku až od vyšších výkonů. Nalezen byl pouze jeden od firmy Benekov a proto není tato kategorie v přehledu zahrnuta. U každé z těchto kategorií by bylo možné uvést spoustu kotlů různých výrobců a odlišných výkonů od 10 kW až po 25 kW a jednotlivé typy podrobně technicky popsat. Nicméně jsou uvedeni nejznámější výrobci a jeden jejich typ kotle na biomasu podobných výkonů do společné tabulky a vyhodnoceny klady a zápory jednotlivých zařízení.

### 2.2.1 ZPLYŇOVACÍ KOTLE NA KUSOVÉ DŘEVO

U této kategorie byla snaha vybrat kotle přibližně se stejným výkonem a parametry, aby je bylo možno mezi sebou porovnat. V tomto byl trochu problém, protože každý výrobce udává jiné charakteristické parametry. Nejčastěji se na trhu můžeme setkat s kotli se jmenovitým výkonem 25 kW. Proto byla vybrána zařízení pohybující se kolem této hodnoty. Jsou to tyto kotle: ATMOS - DC 22 S, VERNER - V25D, OPOP - ECOMAX 25, BENEKOV - D25 a VIADRUS - LIGNATOR.

Tab. 12 Charakteristické parametry zplyňovacích kotlů [28, 29, 30, 31, 32 - stránky firmy Atmos, Verner, OPOP, Benekov, Viadrus]

| Výrobce                              | ATMOS        | VERNER         | OPOP         | BENEKOV       | VIADRUS             |
|--------------------------------------|--------------|----------------|--------------|---------------|---------------------|
| Typ kotle                            | DC 22 S      | V25D           | ECOMAX 25    | D 25          | LIGNATOR (7 článků) |
| Třída kotle dle ČSN EN 303-5         | 3            | 3              | 3            | 3             | 3                   |
| Jmenovitý výkon [kW]                 | 22           | 25             | 25           | 25            | 22,5                |
| Rozsah výkonu [kW]                   | 15 - 22      | 12,5 - 25      | 20 -25       | 20 -25        | 13,7 – 22,5         |
| Účinnost [%]                         | 81 - 90      | 90             | 77 - 80      | 88,4          | 89,4                |
| Hmotnost [kg]                        | 326          | 445            | 320          | 410           | 472                 |
| Rozměry: ŠxVxH [mm]                  | 590x1180x970 | 648x1195x1100  | 647x1130x970 | 759x1347x1079 | 600x1221x1355       |
| Rozměry příkladacího otvoru [mm]     | -            | -              | 262x442      | 400x300       | 310x236             |
| Hloubka spalovací komory [mm]        | -            | 500            | 396          | -             | 480                 |
| Objem vodního prostoru [l]           | 58           | 70             | 60           | 75            | 50,4                |
| Objem násypky [l]                    | 100          | 125            | 120          | 140           | -                   |
| Předepsaný tah komína [Pa]           | 23           | 15             | 20 - 25      | 15 - 25       | 15                  |
| Průměr kouřového hrdla [mm]          | 150          | 160            | 160          | 145           | 160                 |
| Max. teplota spalin [°C]             | -            | 140 - 220      | 215          | 180           | 160                 |
| Předepsané palivo                    | dřevo        | dřevo, brikety | dřevo        | dřevo         | dřevo               |
| Max. délka dřevěných špalků [mm]     | 530          | 500            | 385          | 500           | 470                 |
| Max. průměr dřevěných špalků [mm]    | 80 -150      | 100            | 220          | 50 - 150      | 100                 |
| Max. vlhkost paliva [%]              | 12 -20       | 20             | 20           | 20            | 20                  |
| Průměrná spotřeba paliva [kg/hod]    | -            | 7,5            | 7,8          | -             | 6,04                |
| Doba hoření plné vsázky paliva [hod] | -            | 4,5            | -            | 2,5           | 2                   |
| Min. teplota vratné vody [°C]        | 65           | 60             | 65           | 60            | 60                  |
| Provozní přetlak vody [kPa]          | 300          | -              | 200          | 200           | 50 - 400            |
| Doporučená teplota topné vody [°C]   | 70 -90       | -              | 90           | 65 -85        | 60 - 85             |
| Max. hladina hluku [dB]              | 54           | 54             | -            | 54            | 65                  |
| Připojovací napětí [Hz/V]            | 50/230       | 50/230         | 50/230       | 50/230        | 50/230              |

Všechny tyto kotle pracují na principu generátorového zplyňování paliva a spodního odhořívání, ale i přesto se liší v určitých konstrukčních ohledech. Už od pohledu poznáme, že jsou vyrobeny z jiných materiálů. Kotel Viadrus Lignator z litiny, což umožňuje vysokou životnost díky odolnosti vůči kyselinám vznikajících při zplyňování, Verner V25D z kotlových plechů třídy 11, což potlačuje nebezpečí prorezivění stěn, které princip zplyňování doprovází nebo Atmos DC 22 S, což je svařenec z ocelových plechů o tloušťce 8 mm. Typ použitého materiálu samozřejmě souvisí s hmotností kotle a s jeho rozměry při instalaci v kotelně. Litinový kotel je nejtěžší, naopak nejkompaktnější rozměry má kotel firmy Atmos. Výrobci doporučují spalovat palivové dříví s maximální vlhkostí 20 %, u kotle Verner V25D i brikety, neboť při nedodržení kvality paliva hrozí negativní ovlivnění výkonu. S intervalem přikládání a délkou hoření jedné plné vsázky paliva souvisí objem plnicího otvoru. Čím je větší, tím se interval samozřejmě prodlužuje a palivo déle hoří. V tomto ohledu je na tom nejlépe kotel Verner V25D s dobou hoření plné vsázky okolo 4 hodin, což umožňuje přikládat pouze 2 až 3 krát za den. Naopak u kotle Lignator palivo shoří již za 2 hodiny. Rozměr příkladacího otvoru a hloubka spalovací komory nám umožňuje spalovat polena o určité délce a průměru. Třída kotle 3 znamená, že kotle splnily nejpřísnější ekologické normy a jejich provoz je tedy nezávadný. Výkon u kotle Verner V25D je řízen elektronickým regulátorem, snímajícím teplotu spalin a kotlové vody a díky těmto údajům řídí proces spalování. U kotle Viadrus Lignator je výkon určen podle počtu článků, a díky tomu může být změněn jejich přidáním nebo odebráním. Odtahovým ventilátorem, který odsává spaliny z kotle, a díky tomu je vybírání popele bezprašné, jsou vybaveny kotle Atmos, Benekov a OPOP. Havarijní termostat a dochlazovací smyčka, zabráňující přehřátí kotle, jsou instalovány na kotlech Benekov a Atmos, který má navíc spalinový termostat, vypínající kotel po dohoření paliva. Výměník je u kotle Benekov D 25 snadno přístupný, a proto ho lze snadno čistit, navíc můžeme kotel vybavit poloautomatickým čištěním výměníku. Kotel Atmos DC 22 S je dodáván bez trubkovnice, což umožňuje opět snazší čištění. Největších účinností dosahují zařízení firmy Atmos a Verner. U kotle Atmos DC 22 S je to dáno předehřevem primárního i sekundárního vzduchu na vysokou teplotu, kotel Verner V25D můžeme vybavit závěsnými turbulátory.



Obr. 8 Zplyňovací kotle na kusové dřevo, zleva Atmos, Verner, OPOP, Benekov a Viadrus [28 - 32]

## 2.2.2 AUTOMATICKÉ KOTLE NA PELETY

Mezi automatickými kotli na pelety byla opět vybrána zařízení se jmenovitým výkonem pohybujícím se okolo 25 kW. Z mnoha výrobců byla vybrána tato: ATMOS - D 25 P, VERNER - A251, BENEKOV - C 25 P, VIADRUS - HERCULES ECO a PONAŠT - KP20.

Tab. 13 Charakteristické parametry automatických kotlů na pelety [33, 34, 35, 36, 37 – stránky firmy Atmos, Verner, Benekov, Viadrus a Ponast]

| Výrobce                           | ATMOS         | VERNER                   | BENEKOV       | VIADRUS              | PONAST        |
|-----------------------------------|---------------|--------------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Typ kotle                         | D 25 P        | A251                     | C 25 P        | HERCULES ECO (5 čl.) | KP20          |
| Třída kotle dle ČSN EN 303-5      | 3             | 3                        | 3             | 3                    | 3             |
| Jmenovitý výkon [kW]              | 25            | 25                       | 25            | 24                   | 25            |
| Rozsah výkonu [kW]                | 7 - 24        | 7,5 - 25                 | 7,5 - 25      | 7 - 24               | 7,5 - 25      |
| Účinnost [%]                      | 90,2          | 91                       | 90,8          | 83                   | 85 - 88       |
| Hmotnost [kg]                     | 254           | 575                      | 402           | 555                  | 270           |
| Rozměry: ŠxVxH [mm]               | 620x1207x868  | 670x1430x1460            | 1165x1475x990 | 1321x1164x1128       | 497x1420x1065 |
| Výhřevná plocha [m <sup>2</sup> ] | 2             | -                        | 2,84          | -                    | 2,1           |
| Objem vodního prostoru [l]        | 62            | 85                       | 89            | 40,9                 | 87            |
| Kapacita zásobníku paliva [l]     | 250           | 240                      | 370           | 344                  | 100           |
| Předepsaný tah komína [Pa]        | 22            | 15 - 30                  | 15 - 20       | 15 - 25              | 10 - 20       |
| Průměr kouřového hrdla [mm]       | 152           | 160                      | 145           | 156                  | 145           |
| Max. teplota spalin [°C]          | 151           | 160                      | 169           | 170                  | 205           |
| Hmotnostní průtok spalin [kg/s]   | 0,018         | 0,016                    | -             | -                    | 0,016         |
| Předepsané palivo                 | dřevní pelety | dřevní pelety (obilniny) | dřevní pelety | dřevní pelety        | dřevní pelety |
| Průměr pelet [mm]                 | 6 - 8         | 6 - 14 (-)               | 6 - 14        | 6 - 10               | 4 - 10        |
| Délka pelet [mm]                  | 10 - 25       | -                        | max 30        | -                    | max 50        |
| Výhřevnost paliva [MJ/kg]         | 17 - 19       | -                        | 17            | 17                   | 18            |
| Max. vlhkost paliva [%]           | -             | -                        | 22            | 12                   | 12            |
| Průměrná spotřeba paliva [kg/hod] | 5,4           | 5,6 (6,2)                | 1,8 - 5,7     | 1,8 - 5,9            | 1,61 - 6,25   |
| Doba hoření stand. násypky [dní]  | -             | 5,5 (5)                  | 2 - 4         | 3                    | -             |
| Min. teplota vratné vody [°C]     | -             | 60                       | 60            | 40                   | 55            |
| Provozní přetlak vody [kPa]       | 250           | 300                      | 200           | -                    | 100 - 200     |
| Doporučená teplota top. vody [°C] | -             | 65 - 90                  | 65 - 80       | 60 - 90              | 60 - 80       |
| Připojovací napětí [Hz/V]         | 50/250        | 50/230                   | 50/230        | 50/230               | 50/230        |

Největší výhodou těchto kotlů je jejich komfortní, plně automatický provoz, od dopravy paliva, přes jeho zapálení, až po odvod popele (při dokoupení automatického odpopelnění) s minimálními nároky na obsluhu. Hlavní komponentou je hořák, který ústí do spalovací komory a je do něj dopravováno palivo pomocí šnekového dopravníku s vlastní převodovkou a elektromotorem ze zásobníku pelet. Hořák u kotle Atmos a Verner výrobce dle potřeby zákazníka umístí na levou či pravou stranu, naopak u kotlů Benekov, Viadrus a Ponast je hořák přiveden do spalovací komory ze zadní části. Provoz hořáku pracuje plně automaticky, při startu kotle nasype dopravník pelety přímo do hořáku, kde dojde k jejich zapálení. Po rozhoření pelet najede hořák na nastavený výkon, až do doby než je dům vytopen. Velikost zásobníku pelet souvisí s nutností příkládání. Čím větší, tím větší interval příkládání. V tabulce jsou uvedeny standardní velikosti zásobníku, ale například u kotle Atmos D 25 P lze použít zásobník až o velikosti 1000 l nebo u Ponast KP 20 dokonce 1400 l. Bývá umístěn z levé nebo pravé strany od kotle nebo ve vedlejší místnosti, až na kotel Verner A251, který má zásobník v zadní části. Výrobci zvolili jiné materiály, z čeho jsou kotle vyrobeny. Kotel Viadrus Hercules Eco z litiny, což mu předpovídá vysokou životnost, kotel Verner A251 z jakostní ocele a speciální žáruvzdorné keramiky a kotle Atmos D 25 P, Benekov C 25 P a Ponast KP20 ze svařených ocelových kotlových plechů, což umožňuje účinně vychlazovat spaliny. Nejobtížnější manipulace při instalaci kotle v kotelně bude kvůli velkým rozměrům a hmotnosti s kotlem Hercules Eco. Předepsaným palivem u všech zařízení jsou dřevní pelety, kromě kotle Verner A251, který umožňuje spalovat i obilniny (vyšší podíl spékavého popela), celkově až 60 druhů paliv. Výkon u všech těchto zařízení je řízen řídicí jednotkou s elektronickou regulací, díky které můžeme kotel přizpůsobit potřebným podmínkám v systému. Bezpečnostním termostatem, který chrání otopný systém proti přehřátí, jsou vybaveny kotle Hercules Eco a Benekov C 25 P, který má navíc navíc poloautomatické čištění výměníku, kdy pomocí vnější páky 1x týdně výměník očistíme a dochlazovací smyčku. Zařízení lze napojit i na další topné okruhy, např. Benekov nebo Viadrus Hercules Eco se solárními systémy. Díky vysoké účinnosti těchto zařízení se dosáhne poměrně malé spotřeby paliva. Největší účinnost má kotel Verner A251, díky přesnému poměru paliva a spalovacího vzduchu a silnou izolací všech částí kotle. Navíc je možnost dovybavit ho lambda sondou, která řídí otáčky ventilátoru a spalování probíhá s optimálním množstvím vzduchu, což účinnost taktéž zvyšuje.



Obr. 9 Automatické kotle na pelety, zleva Atmos, Verner, Benekov, Viadrus a Ponast [33 - 37]

### 2.2.3 KLASICKÉ PROHOŘIVACÍ KOTLE

Poslední kategorií tohoto přehledu jsou klasické prohořivací kotle. V porovnání s ostatními zařízeními nejsou zrovna nejekologičtější, a proto jsou na ústupu i u výrobců. Vybrány byly tyto kotle se jmenovitým výkonem okolo 20 kW: ATMOS – D20, OPOP - UNI 4, VIADRUS - U26, DAKON - FB 26 D a THERMONA - THERM 20DU, i když výroba tohoto kotle byla zastavena, nicméně stále se ještě prodávají zbylé kusy.

Tab. 14 Charakteristické parametry prohřívacích kotlů [38, 39, 40, 41, 42 – stránky firmy Atmos, OPOP, Viadrus, Dakon a Thermona]

| Výrobce                            | ATMOS        | OPOP             | VIADRUS          | DAKON        | THERMONA     |
|------------------------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|--------------|
| Typ kotle                          | D20          | UNI 4            | U26              | FB 26 D      | THERM 20DU   |
| Třída kotle dle ČSN EN 303-5       | 1            | 1                | 1                | 1            | 1            |
| Jmenovitý výkon pro dřevo [kW]     | 20           | 20               | 15,8             | 20           | 15           |
| Rozsah výkonu [kW]                 | 10 – 20      | 19,5 - 20        | 20 - 24          | 10 - 20      | 9 - 24,7     |
| Počet článků [ks]                  | -            | 4                | 4                | 5            | 4            |
| Účinnost pro dřevo [%]             | 71 - 83      | 62 - 67,5        | 75               | 78           | 78           |
| Hmotnost [kg]                      | 250          | 235              | 258              | 265          | 218          |
| Rozměry: ŠxVxH [mm]                | 590x1150x690 | 520x1070x537     | 600x1160x755     | 490x1033x940 | 470x1080x667 |
| Rozměry příkladacího otvoru [mm]   | -            | 360x220          | 300x320          | 310x230      | 310x230      |
| Objem spalovací komory [l]         | -            | 51,6             | 37               | 34           | 25,5         |
| Objem vodního prostoru [l]         | -            | 28               | 33,3             | 31           | 27           |
| Předepsaný tah komína [Pa]         | 19           | 15 -22           | 15               | 12 - 22      | 12 - 20      |
| Průměr kouřového hrdla [mm]        | 152          | 160              | 156              | -            | 150          |
| Hmotnostní průtok spalin [g/s]     | -            | -                | 5,99             | 13,7         | 9,55         |
| Max. teplota spalin pro dřevo [°C] | -            | 300              | 300              | 250          | 240          |
| Předepsané palivo                  | dřevo        | dřevo (ČU)       | dřevo (ČU; koks) | dřevo (ČU)   | dřevo (ČU)   |
| Max. délka polen [mm]              | 510          | 310              | 300              | 380          | 280          |
| Max. průměr dřevěných špalků [mm]  | 60 - 150     | 100              | 100              | 150          | 150          |
| Výhřevnost paliva [MJ/kg]          | 15 -18       | 14 - 18 (26 -28) | 14 -18           | 13           | 15           |
| Max. vlhkost paliva [%]            | 20           | 20 (15)          | 20               | 20           | 10           |
| Průměrná spotřeba paliva [kg/hod]  | -            | -                | 5 (2,8; 3,6)     | 6,11 (3,3)   | 4,8 (3,6)    |
| Doba hoření [hod]                  | -            | 2 - 4 (4 - 6)    | 2 (4; 4)         | 2 (4)        | 2 (4)        |
| Min. teplota vratné vody [°C]      | 65           | 60               | 60               | 40           | 40           |
| Provozní přetlak vody [kPa]        | -            | 300              | 400              | 400          | 300          |
| Doporučená teplota topné vody [°C] | -            | 60 - 90          | 60 - 85          | 50 - 90      | 80           |

Prohořívací kotle na pevná paliva jsou nejjednodušší zařízení na trhu. Pracují na principu klasického spalování na roštu bez ventilátoru. Obsluha i údržba kotlů je velmi jednoduchá, avšak náročnější na čas. Přikládat do kotle se musí několikrát denně a po dohoření vybírat popel z popelníku ve spodní části. Tento koncept kotlů je zastaralý a neekologický, ale stále ještě splňující alespoň první emisní třídu, určující limity škodlivin. Až na kotel Atmos D20, který je vyroben jako svařenec z ocelových plechů, jsou uvedené kotle vyrobeny z litiny, což zaručuje dlouhodobou životnost. Proto také výrobci dávají záruku na kotlové těleso až 5 let, např. firma OPOP. Stejně tak i výměník je vyroben z litiny, která zvyšuje korozní odolnost. Rozměry i hmotnost jsou u všech zařízení přibližně stejné a oproti zplyňovacím kotlům nebo kotlům na pelety méně váží a jsou menší. Předepsaným palivem pro kotel Atmos D20 je pouze dřevo. Ostatní mohou spalovat i černé uhlí. U kotlů Viadrus U26, OPOP UNI 4 a Dakon FB 26 může být náhradním palivem koks. Není tajemstvím, že jsou tyto kotle u lidí oblíbené také proto, že v nich mohou spalovat prakticky vše, od odpadků až po PET lahve. Prohořívací kotle mohou spalovat palivo o vyšší vlhkosti, až kolem 20 %. Při topení dřevem, lze použít poměrně velké kusy polen. Výkon je u kotle Atmos D20 řízen regulátorem tahu, který ovládá vzduchovou klapku. U ostatních kotlů je výkon dán počtem článků. Odtahové hrdlo se škrtkou pro připojení na komín je v zadní části kotle. Kotel Dakon FB 26 D je vybaven chladicí smyčkou, zajišťující bezpečný odvod přebytečného tepla z kotle. Lze je použít v systémech s nuceným i samotížným oběhem topné vody, popřípadě jako druhý kotel ke kotli na zemní plyn.



Obr. 10 Klasické prohořívací kotle, zleva Atmos, OPOP, Viadrus, Dakon a Thermona [38 – 42]

### 3 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ VYBRANÝCH DRUHŮ KOTLŮ

V této části bakalářské práce bylo úkolem porovnat vybrané druhy kotlů na různé druhy biomasy s referenčním kotlem na zemní plyn. Z přehledu každé kategorie byly vybrány 2 kotle a jeden kotel na dřevní štěpku a spočítány roční náklady na vytápění pro rodinný dům na Ostravsku (při venkovní výpočtové teplotě  $t_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) s celkovou tepelnou ztrátou  $Q_C = 16 \text{ kW}$ . Ze serveru TZB-info byla pro tuto oblast stanovena celková potřeba tepla na vytápění (bez ohřevu teplé vody)  $Q_r = 118,4 \text{ GJ/rok} = 32,9 \text{ MWh/rok}$ .

#### Zplyňovací kotle na kusové dřevo

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Vstupní data: Potřeba tepla na vytápění: | $Q_r = 118,4 \text{ GJ/rok}$ |
| Výhřevnost paliva:                       | $Q_r^i = 14,6 \text{ MJ/kg}$ |
| Cena paliva:                             | $C_p = 3 \text{ Kč/kg}$      |
| Cena el. energie (ČEZ, D02d):            | $C_e = 4,83 \text{ Kč/kWh}$  |

#### **VERNER V25D**

|                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| Parametry: Účinnost kotle: | $\eta = 90 \%$                     |
| Maximální výkon kotle:     | $P_{max} = 25 \text{ kW}$          |
| Minimální výkon kotle:     | $P_{min} = 12,5 \text{ kW}$        |
| Příkon kotle:              | $P_p = 35 \text{ W}$               |
| Cena kotle:                | <b>92 280 Kč</b> (včetně 20 % DPH) |

Roční spotřeba paliva:

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,9 \times 14,6 \times 10^6} = 9011 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo:

$$N_p = S_p \times C_p = 9011 \times 3 = 27\,033 \text{ Kč}$$

Provozní hodiny při minimálním výkonu:

$$T_{p_{min}} = \frac{Q_r}{P_{min}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{12,5 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 2631 \text{ h}$$

Provozní hodiny při maximálním výkonu:

$$T_{p_{max}} = \frac{Q_r}{P_{max}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{25 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1316 \text{ h}$$

Provozní hodiny při výkonu 20 kW:

$$T_{p_{20}} = \frac{Q_r}{P_{20}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{20 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1645 \text{ h}$$

Roční náklady na spotřebu el. energie:

$$N_e = P_p \times T_{p_{20}} \times C_e = 35 \times 10^{-3} \times 1645 \times 4,83 = 278 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na provoz kotle:

$$N_c = N_p + N_e = 27033 + 278 = \mathbf{27\ 311\ Kč}$$

### **OPOP ECOMAX 25**

|            |                        |                                    |
|------------|------------------------|------------------------------------|
| Parametry: | Účinnost kotle:        | $\eta = 80\ %$                     |
|            | Maximální výkon kotle: | $P_{max} = 25\ kW$                 |
|            | Minimální výkon kotle: | $P_{min} = 20\ kW$                 |
|            | Příkon kotle:          | $P_p = 30\ W$                      |
|            | Cena kotle:            | <b>44 297 Kč</b> (včetně 20 % DPH) |

Roční spotřeba paliva:

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,8 \times 14,6 \times 10^6} = 10\ 137\ kg$$

Roční náklady na palivo:

$$N_p = S_p \times C_p = 10137 \times 3 = 30\ 411\ Kč$$

Provozní hodiny při minimálním výkonu:

$$T_{p_{min}} = \frac{Q_r}{P_{min}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{20 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1645\ h$$

Provozní hodiny při maximálním výkonu:

$$T_{p_{max}} = \frac{Q_r}{P_{max}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{25 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1316\ h$$

Provozní hodiny při výkonu 20 kW:

$$T_{p_{20}} = \frac{Q_r}{P_{20}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{20 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1645\ h$$

Roční náklady na spotřebu el. energie:

$$N_e = P_p \times T_{p_{20}} \times C_e = 30 \times 10^{-3} \times 1645 \times 4,83 = 239\ Kč$$

Celkové roční náklady na provoz kotle:

$$N_c = N_p + N_e = 30411 + 239 = \mathbf{30\ 650\ Kč}$$

### **Automatické kotle na pelety**

|               |                               |                       |
|---------------|-------------------------------|-----------------------|
| Vstupní data: | Potřeba tepla na vytápění:    | $Q_r = 118,4\ GJ/rok$ |
|               | Výhřevnost paliva:            | $Q_r^i = 17\ MJ/kg$   |
|               | Cena paliva:                  | $C_p = 4,70\ Kč/kg$   |
|               | Cena el. energie (ČEZ, D02d): | $C_e = 4,83\ Kč/kWh$  |

**BENEKOV C 25 P**

|            |                        |                                     |
|------------|------------------------|-------------------------------------|
| Parametry: | Účinnost kotle:        | $\eta = 90,8 \%$                    |
|            | Maximální výkon kotle: | $P_{max} = 25 \text{ kW}$           |
|            | Minimální výkon kotle: | $P_{min} = 7,5 \text{ kW}$          |
|            | Příkon kotle:          | $P_p = 84 \text{ W}$                |
|            | Cena kotle:            | <b>107 880 Kč</b> (včetně 20 % DPH) |

Roční spotřeba paliva:

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,908 \times 17 \times 10^6} = 7671 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo:

$$N_p = S_p \times C_p = 7671 \times 4,70 = 36\,054 \text{ Kč}$$

Provozní hodiny při minimálním výkonu:

$$T_{p_{min}} = \frac{Q_r}{P_{min}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{7,5 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 4385 \text{ h}$$

Provozní hodiny při maximálním výkonu:

$$T_{p_{max}} = \frac{Q_r}{P_{max}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{25 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1316 \text{ h}$$

Provozní hodiny při výkonu 20 kW:

$$T_{p_{20}} = \frac{Q_r}{P_{20}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{20 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1645 \text{ h}$$

Roční náklady na spotřebu el. energie:

$$N_e = P_p \times T_{p_{20}} \times C_e = 84 \times 10^{-3} \times 1645 \times 4,83 = 668 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na provoz kotle:

$$N_c = N_p + N_e = 36054 + 668 = \mathbf{36\,722 \text{ Kč}}$$

**VIADRUS HERCULES ECO**

|            |                        |                                    |
|------------|------------------------|------------------------------------|
| Parametry: | Účinnost kotle:        | $\eta = 83 \%$                     |
|            | Maximální výkon kotle: | $P_{max} = 24 \text{ kW}$          |
|            | Minimální výkon kotle: | $P_{min} = 7 \text{ kW}$           |
|            | Příkon kotle:          | $P_p = 230 \text{ W}$              |
|            | Cena kotle:            | <b>90 823 Kč</b> (včetně 20 % DPH) |

Roční spotřeba paliva:

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,83 \times 17 \times 10^6} = 8392 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo:

$$N_p = S_p \times C_p = 7915 \times 4,70 = 39\,443 \text{ Kč}$$

Provozní hodiny při minimálním výkonu:

$$T_{p_{min}} = \frac{Q_r}{P_{min}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{7 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 4699 \text{ h}$$

Provozní hodiny při maximálním výkonu:

$$T_{p_{max}} = \frac{Q_r}{P_{max}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{24 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1371 \text{ h}$$

Provozní hodiny při výkonu 20 kW:

$$T_{p_{20}} = \frac{Q_r}{P_{20}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{20 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1645 \text{ h}$$

Roční náklady na spotřebu el. energie:

$$N_e = P_p \times T_{p_{20}} \times C_e = 230 \times 10^{-3} \times 1645 \times 4,83 = 1828 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na provoz kotle:

$$N_c = N_p + N_e = 37201 + 1431 = \mathbf{41\,271 \text{ Kč}}$$

### Prohořivací kotle

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Vstupní data: Potřeba tepla na vytápění: | $Q_r = 118,4 \text{ GJ/rok}$ |
| Výhřevnost paliva (dřevo):               | $Q_r^i = 14,6 \text{ MJ/kg}$ |
| Cena paliva (dřevo):                     | $C_p = 3 \text{ Kč/kg}$      |
| Výhřevnost paliva (černé uhlí):          | $Q_r^i = 23,1 \text{ MJ/kg}$ |
| Cena paliva (černé uhlí):                | $C_p = 4,80 \text{ Kč/kg}$   |

### **OPOP UNI 4**

|                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| Parametry: Účinnost kotle: | $\eta = 67,5 \%$ (dřevo)           |
|                            | $\eta = 76,6 \%$ (černé uhlí)      |
| Cena kotle:                | <b>26 988 Kč</b> (včetně 20 % DPH) |

Roční spotřeba paliva (dřevo):

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,675 \times 14,6 \times 10^6} = 12\,014 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo (dřevo):

$$N_p = S_p \times C_p = 10813 \times 3 = \mathbf{36\ 042\ Kč}$$

Roční spotřeba paliva (černé uhlí):

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,766 \times 23,1 \times 10^6} = 6692\ kg$$

Roční náklady na palivo (černé uhlí):

$$N_p = S_p \times C_p = 6692 \times 4,80 = \mathbf{32\ 122\ Kč}$$

### **Dakon FB 26 D**

Parametry: Účinnost kotle:  $\eta = 82\ %$  (černé uhlí)  
Cena kotle:  $\mathbf{32\ 028\ Kč}$  (včetně 20 % DPH)

Roční spotřeba paliva (černé uhlí):

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,82 \times 23,1 \times 10^6} = 6251\ kg$$

Roční náklady na palivo (černé uhlí):

$$N_p = S_p \times C_p = 6251 \times 4,80 = \mathbf{30\ 005\ Kč}$$

### **ATMOS D 20**

Parametry: Účinnost kotle:  $\eta = 83\ %$  (dřevo)  
Cena kotle:  $\mathbf{25\ 900\ Kč}$  (včetně 20 % DPH)

Roční spotřeba paliva (dřevo):

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,83 \times 14,6 \times 10^6} = 9771\ kg$$

Roční náklady na palivo (dřevo):

$$N_p = S_p \times C_p = 9771 \times 3 = \mathbf{29\ 313\ Kč}$$

### **Automatický kotel na dřevní štěpku**

Vstupní data: Potřeba tepla na vytápění:  $Q_r = 118,4\ GJ/rok$   
Výhřevnost paliva:  $Q_r^i = 12,5\ MJ/kg$   
Cena paliva:  $C_p = 2\ Kč/kg$   
Cena el. energie (ČEZ, D02d):  $C_e = 4,83\ Kč/kWh$

### **BENEKOV S 25**

Parametry: Účinnost kotle:  $\eta = 90,1\ %$

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| Maximální výkon kotle: | $P_{max} = 24 \text{ kW}$           |
| Minimální výkon kotle: | $P_{min} = 7 \text{ kW}$            |
| Příkon kotle:          | $P_p = 541 \text{ W}$               |
| Cena kotle:            | <b>156 000 Kč</b> (včetně 20 % DPH) |

Roční spotřeba paliva:

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,901 \times 12,5 \times 10^6} = 10\,513 \text{ kg}$$

Roční náklady na palivo:

$$N_p = S_p \times C_p = 10\,513 \times 2 = 21\,026 \text{ Kč}$$

Provozní hodiny při minimálním výkonu:

$$T_{p_{min}} = \frac{Q_r}{P_{min}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{7 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 4699 \text{ h}$$

Provozní hodiny při maximálním výkonu:

$$T_{p_{max}} = \frac{Q_r}{P_{max}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{24 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1371 \text{ h}$$

Provozní hodiny při výkonu 20 kW:

$$T_{p_{20}} = \frac{Q_r}{P_{20}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{20 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1645 \text{ h}$$

Roční náklady na spotřebu el. energie:

$$N_e = P_p \times T_{p_{20}} \times C_e = 541 \times 10^{-3} \times 1645 \times 4,83 = 4299 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na provoz kotle:

$$N_c = N_p + N_e = 21026 + 4299 = \mathbf{25\,325 \text{ Kč}}$$

### Kotel na zemní plyn

|  |  |
|--|--|
| Vstupní data: Potřeba tepla na vytápění: | $Q_r = 118,4 \text{ GJ/rok} = 32,9 \text{ MWh/rok}$  |
| Výhřevnost paliva:                       | $Q_r^i = 34 \text{ MJ/m}^3$  |
| Cena paliva:                             | $C_p = 16,06 \text{ Kč/m}^3 + 354,55 \text{ Kč/měsíc}$<br>(Severomoravská plynárenská, a.s.) |
| Cena el. energie (ČEZ, D02d):            | $C_e = 4,83 \text{ Kč/kWh}$  |

### **PROTHERM 25 KOO 19**

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Parametry: Účinnost kotle: | $\eta = 91,8 \%$            |
| Maximální výkon kotle:     | $P_{max} = 24,6 \text{ kW}$ |
| Minimální výkon kotle:     | $P_{min} = 8,4 \text{ kW}$  |
| Příkon kotle:              | $P_p = 92 \text{ W}$        |

Cena kotle: **24 000 Kč** (včetně 20 % DPH)

Roční spotřeba paliva:

$$S_p = \frac{Q_r}{\eta \times Q_r^i} = \frac{118,4 \times 10^9}{0,918 \times 34 \times 10^6} = 3794 \text{ m}^3$$

Roční náklady na palivo:

$$N_p = S_p \times C_p + 12 \times 354,55 = 3794 \times 16,06 + 12 \times 354,55 = 65\,187 \text{ Kč}$$

Provozní hodiny při minimálním výkonu:

$$T_{p_{min}} = \frac{Q_r}{P_{min}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{8,4 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 3916 \text{ h}$$

Provozní hodiny při maximálním výkonu:

$$T_{p_{max}} = \frac{Q_r}{P_{max}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{24,6 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1337 \text{ h}$$

Provozní hodiny při výkonu 20 kW:

$$T_{p_{20}} = \frac{Q_r}{P_{20}} \times \frac{1}{3600} = \frac{118,4 \times 10^9}{20 \times 10^3} \times \frac{1}{3600} = 1645 \text{ h}$$

Roční náklady na spotřebu el. energie:

$$N_e = P_p \times T_{p_{20}} \times C_e = 92 \times 10^{-3} \times 1645 \times 4,83 = 731 \text{ Kč}$$

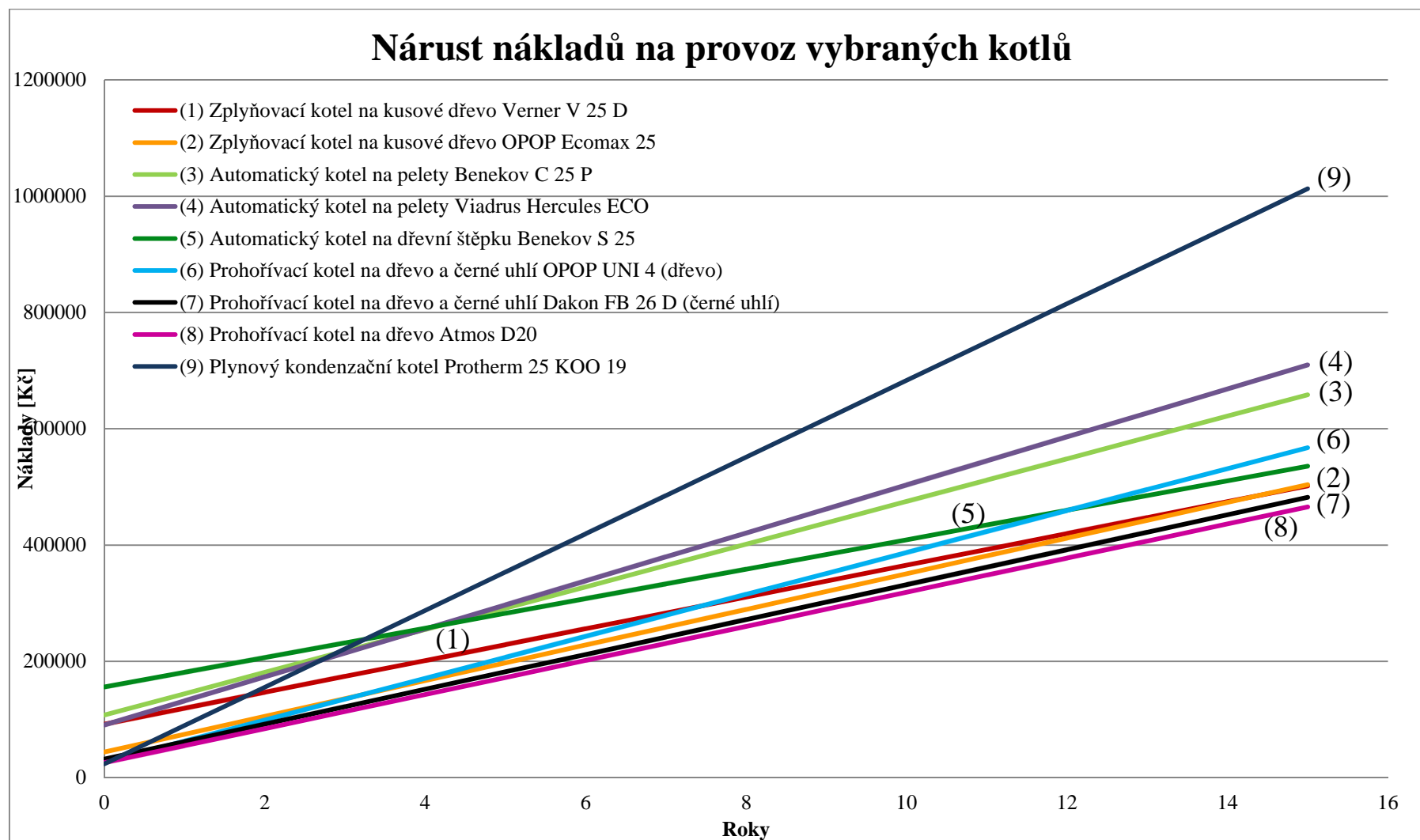
Celkové roční náklady na provoz kotle:

$$N_c = N_p + N_e = 65187 + 731 = \mathbf{65\,918 \text{ Kč}}$$

### **Vyhodnocení:**

Výsledkem těchto výpočtů, pořizovací ceny kotle a celkových ročních nákladů na provoz, je graf závislosti nárůstu nákladů na provoz vybraných kotlů během 15 let. Do těchto nákladů je zahrnuta cena paliva a elektrické energie. Ceny služeb, jako revize, či servis kotle, nejsou uvedeny z toho důvodu, že u všech typů zařízení jsou velmi podobné, někdy až stejné. Je samozřejmé, že tyto ceny neustále kolísají, a proto je uvedená závislost v horizontu 15 - ti let podstatně zkreslena. Dá se očekávat, že ceny paliv budou neustále růst, a to především u paliv z biomasy, u kterých se očekává nárůst oproti fosilním palivům i díky dotacím na kotle na biomasu.

Do tohoto přehledu byly z každé kategorie vybrány kotle pohybující se v odlišných cenových relacích, což souvisí především s jejich účinností, aby bylo možné jejich porovnání z hlediska pořizovacích nákladů a následného provozu. Pořizovací ceny všech kotlů jsou zde uvedeny tak, jak je uvádějí výrobci na svých internetových stránkách.



Graf 5 Nárůst nákladů na provoz vybraných kotlů

Zplyňovací kotel Verner V25D (1) má pořizovací cenu oproti zplyňovacímu kotli OPOP Ecomax 25 (2) více jak dvojnásobnou. Je to dáno podstatně větší účinností související s vysokým komfortem obsluhy a delší dobou hoření, navíc může spalovat větší kusy polen a především také dřevěné brikety. Pořizovací náklady spolu s každoročním provozem se vyrovnají přibližně okolo 14. roku a potom už bude provoz kotle Verner V25D (1) levnější.

Nejnižší pořizovací náklady na automatické kotle na pelety se pohybují okolo 100 tisíc Kč. Dalo by se říci, že se vyplatí investovat do kotle Benekov C 25 P (3) o nějakých 20 tisíc Kč více oproti kotli Viadrus Hercules ECO (4). Z grafu lze vidět, že se náklady vyrovnají už přibližně po 4 letech. Benekov C 25 P (3) má vyšší účinnost, navíc má menší spotřebu paliva při stejném výkonu, a také zásobník na pelety je větší, což umožňuje větší interval doplňování paliva. Nejdražším zařízením tohoto přehledu je automatický kotel na dřevní štěpku Benekov S 25 (5), jehož pořizovací cena je 156 tisíc Kč. Avšak každoroční náklady na vytápění jsou suverénně ze všech zmíněných kotlů nejnižší. Proto se celkové náklady vyrovnají u obou kotlů na pelety už přibližně po 4 letech.

U klasických prohořivacích kotlů byly uvedeny 3 zařízení. Pořizovací cena kotle Atmos D20 (8) je nejnižší z toho důvodu, že předepsaným palivem je pouze dřevo. Účinnost je však velmi dobrá oproti kotle OPOP UNI 4 (6), který může dle výrobce spalovat i černé uhlí. Přesto tento kotel není z pohledu každoročních nákladů moc výhodný, a například v porovnání se zplyňovacím kotlem OPOP Ecomax 25 (2), který je dražší, ale komfortnější na obsluhu, se náklady vyrovnají už po 3 letech a jeho další provoz bude stále dražší. Ke srovnání byl uveden kotel Dakon FB 26 D (7) a jeho spalování černého uhlí. V porovnání s kotlem Atmos D20 (8) jsou zatím jeho náklady přibližně stejné, ale spalování dřeva je ekologičtější.

Hlavním úkolem bylo porovnat kotle na biomasu, které byly z velkého množství na našem trhu vybrány, s kotlem na zemní plyn (9). Jak ukazují výpočty i graf, pořizovací cena tohoto zařízení je nejnižší, ale oproti ostatním jsou jeho roční náklady na provoz naopak největší. Celkové náklady se s ostatními kotli vyrovnají během pár let. Například provoz nejdražšího kotle tohoto přehledu, a to na štěpku (5), s pořizovací cenou 156 tisíc, bude už přibližně po 3 letech levnější.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je věnována kotlům na biomasu. V první části je popsána samotná biomasa, která patří do tzv. obnovitelných zdrojů energie. Biomasou můžeme nazvat veškerou organickou hmotu rostlinného nebo živočišného původu. Jednotné dělení biomasy neexistuje, proto bylo vybráno alespoň pár dělení dle různých hledisek a faktorů. Dále jsou uvedeny její vlastnosti, a to především takové, které charakterizují samotný proces spalování. Nejdůležitějšími parametry jakéhokoliv paliva, tedy i biomasy, jsou vlhkost a výhřevnost, které jsou na sobě navzájem závislé. Proto je uveden graf této závislosti dřeva a kůry v porovnání s hnědým uhlím. Dalšími parametry, které byly popisovány, jsou prchavá hořlavina, obsah a charakteristické teploty popele a její prvkové složení. Stěžejním bodem první části bakalářské práce bylo zjištění jejího potenciálu. Dohledat údaje o současném potenciálu biomasy v České republice bylo docela obtížné. Nakonec se podařilo nalézt údaj z roku 2011, který udává dostupný potenciál téměř 280 PJ při současném využití 100 PJ. Tyto údaje se však musí zvlášť analyzovat pro jednotlivé kraje. Z důvodu mého bydliště byl vybrán Moravskoslezský kraj a popsána situace v něm. Je známo, že tento kraj má obrovské hutní a ocelářské závody, a tím trpí ovzduší, a s ním obyvatelé. Proto je právě zde nejdůležitější rozvoj obnovitelných zdrojů energie, ze kterých má biomasu až do roku 2022 největší potenciál, a to 70 %. K energetickým účelům může být v našem státě využito až 8 milionu tun biomasy. Pro potřeby vytápění v kotlích malých výkonů se používá dřevo, dřevní brikety, pelety a štěpka.

Druhá část zadání spočívala v průzkumu trhu kotlů na biomasu do 25 kW. Nejprve byla zmíněna problematika emisních limitů škodlivin a jednotlivých tříd kotlů. Dále jsou uvedeny 2 grafy s vývojem prodeje kotlů na biomasu i ostatních paliv do roku 2010. Dá se očekávat, že právě kotle na biomasu se stanou v nejbližších letech nejčastějším zdrojem vytápění. Na našem trhu se můžeme setkat s kotli zplyňovacími na kusové dřevo, automatickými na pelety nebo dřevní štěpku a klasickými prohřívacími na tuhá paliva. Z každé kategorie, kromě kotlů na dřevní štěpku, bylo vybráno pět zástupců kotlů různých firem působících na českém trhu a v celkovém přehledu byly mezi sebou porovnány.

Hlavním úkolem poslední části bylo ekonomické porovnání vybraných druhů kotlů. Jako objekt, který bude vytápěn, byl náhodně zvolen rodinný dům na Ostravsku. Tepelná ztráta objektu a venkovní výpočtová teplota byla zadána pomocí serveru TZB-info, a následně vypočítána celková potřeba tepla na vytápění. Byly spočítány celkové roční náklady na provoz kotle (spotřeba paliva a elektrické energie) a spolu s pořizovacími náklady vykreslen uvedený graf. Záleží už jen na zákazníkovi, kolik času chce obsluze kotle věnovat a kolik za to chce zaplatit. Nejjednodušší obsluhu, téměř žádnou, má samozřejmě kotel na zemní plyn, kdy však uživatel musí počítat s největšími náklady na palivo. Stojí za zvážení, zda si pořídit komfortní automatický kotel na pelety, jehož obsluha denně trvá okolo 10 minut. Musí se však pamatovat na nutnost uskladnění pelet, a tudíž mít k dispozici blízký sklad paliva. Kdo chce však topit dřevem, měl by si uvědomit, že prohořívací kotle nemají budoucnost, i když je jejich provoz nejlevnější. Jak už bylo zmíněno, emisní třída do které tyto kotle patří, bude zrušena. Proto se nabízí zplyňovací kotle na kusové dřevo, u kterých se však musí počítat s náročnější obsluhou na provoz, jako například vybírání popele. Graf ještě ukazuje, že automatický kotel na dřevní štěpku dopadl ze všech nejlépe. Nicméně výrobci v České republice kotle na dřevní štěpku malých výkonů nevyrobějí, k dispozici je na našem trhu pouze tento. Jako nejlepší kotel, který byl vybrán k porovnání, vyšel zplyňovací kotel na kusové dřevo Verner V25D.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Biomasa. In: *Nazeleno.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/biomasa.dic>
- [2] Czech RE Agency - Biomasa. In: *Czech RE Agency* [online]. 2009 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/biomasa>
- [3] Energetika.cz. In: *Energetika.cz* [online]. 2007 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.energetika.cz/index.php?id=171>
- [4] JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Energetické využití biomasy* [online]. 2009 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Index.html](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Index.html)
- [5] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy* [online]. 2006 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf>
- [6] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*, Brno 2009. ISBN 978-80-214-3955-9
- [7] KUBÍČEK, Jiří. *Vlastnosti biopaliv ve vztahu k jejich spalování a zplyňování*. In: *Energie z biomasy* [online]. 2003 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa/Kubicek.pdf>
- [8] BALÁŠ, Marek. *Energetické využití biomasy v zásobování teplem: Obsah popele* [online]. 2008 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://oei.fme.vutbr.cz/teplarenstvi/papers/balas/energ-vyuz-biomasy.pdf>
- [9] Potenciál biomasy. In: *www.cenia.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.cenia.cz/C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ78D GTDJA&cat=goals>
- [10] *Biomasa: Potenciál pro biomasu v ČR* [online]. 2011 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/OZE/3OZEpu.pdf>
- [11] SZOMOLÁNYIOVÁ, Jana. Náklady a potenciál využití biomasy v České republice. In: *www.biom.cz* [online]. 2005 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/naklady-a-potencial-vyuziti-biomasy-v-ceske-republice>
- [12] BRANC, Michal. Potenciál biomasy v Moravskoslezském regionu. In: *Energie z biomasy* [online]. 2006 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: [http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa\\_v/papers/07-Branc.pdf](http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_v/papers/07-Branc.pdf)
- [13] Globální potenciál biomasy. In: *www.biom.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/globalni-potencial-biomasy>
- [14] HABART, Jan. Statistika využití biomasy v Evropě. In: *www.biom.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/statistika-vyuziti-biomasy-v-evrope>

- [15] ŠAFARŤÍK, Miroslav, Vladimír STUPAVSKÝ a Jan HABART. Návrh akčního plánu pro biomasu pro ČR na období 2008 - 2010. In: *Ministerstvo zemědělství* [online]. 2007 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: [http://biom.cz/appb/AP\\_biomasa\\_12-10-07.pdf](http://biom.cz/appb/AP_biomasa_12-10-07.pdf)
- [16] Biomasa: Způsoby využití biomasy k energetickým účelům. In: <http://forestgamp.eu/> [online]. 2008 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://forestgamp.eu/biomasa.html>
- [17] PETŘÍKOVÁ, Vlasta. Energetické využití biomasy a rekultivace. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 2001 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-biomasy-a-rekultivace>
- [18] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Dřevní štěpka. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 2010 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [19] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Brikety z biomasy. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 2010 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>
- [20] STUPAVSKÝ, Vladimír. Pelety z biomasy. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 2010 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>
- [21] Kotel na biomasu. In: [www.nazeleno.cz](http://www.nazeleno.cz) [online]. 2008 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/kotel-na-biomasu.dic>
- [22] KRPEC, K., J. HORÁK a F. HOPAN. Měření emisí znečišťujících látek z kotlů malých výkonů. In: [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. 16.1.2012 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/ochrana-ovzdusi/8200-mereni-emisi-znecistujicich-latek-z-kotlu-malych-vykonu>
- [23] STUPAVSKÝ, Vladimír. Biomasa na vzestupu, ostatní stagnují. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 23. 01. 2012 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-na-vzestupu-ostatni-stagnuji>
- [24] STUPAVSKÝ, Vladimír. Zplynovací kotel na kusové dřevo, polena a dřevěné brikety. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 01.01.2010 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovaci-kotel-na-kusove-drevo-polena-a-drevene-brikety>
- [25] Firemní WWW stránky. *Guntamatic* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://guntamatic.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=2268>
- [26] STUPAVSKÝ, Vladimír. Kotel na pelety - peletový kotel pro ústřední vytápění. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 01.01.2010 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-pelety-peletovy-kotel-pro-ustredni-vytapani>
- [27] STUPAVSKÝ, Vladimír. Kotel na dřevní štěpku. In: [www.biom.cz](http://www.biom.cz) [online]. 01.01.2010 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-drevni-stepku>

- 
- [28] Firemní WWW stránky. *Atmos* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.atmos.cz/czech/kotle-001-kotle-na-drevo>
- [29] Firemní WWW stránky. *Verner* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.kotle-verner.cz/produkty/kotle-na-kusove-drevo/verner-v25d>
- [30] Firemní WWW stránky. *OPOP* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.opop.cz/kotle-zplynovaci-ecomax.php>
- [31] Firemní WWW stránky. *Benekov* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.benekov.cz/cs/produkty/benekov-d-25>
- [32] Firemní WWW stránky. *Viadrus* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: [http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-80.html?do\[loadData\]=1&itemKey=cz\\_16](http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-80.html?do[loadData]=1&itemKey=cz_16)
- [33] Firemní WWW stránky. *Atmos* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.atmos.cz/czech/kotle-004>
- [34] Firemní WWW stránky. *Verner* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.kotle-verner.cz/vyrobky/automaticke-kotle/verner-a251-verner-a251ls>
- [35] Firemní WWW stránky. *Benekov* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.benekov.cz/cs/produkty/benekov-c-25-p>
- [36] Firemní WWW stránky. *Viadrus* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: [http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-69.html?do\[loadData\]=1&itemKey=cz\\_1](http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-69.html?do[loadData]=1&itemKey=cz_1)
- [37] Firemní WWW stránky. *Ponast* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: [http://www.ponast.cz/autom\\_kotel\\_na\\_pelety\\_kp\\_20.php](http://www.ponast.cz/autom_kotel_na_pelety_kp_20.php)
- [38] Firemní WWW stránky. *Atmos* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.atmos.cz/czech/kotle-008-prohorivaci-kotle-na-drevo>
- [39] Firemní WWW stránky. *OPOP* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.opop.cz/litinove-kotle-uni.php>
- [40] Firemní WWW stránky. *Viadrus* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: [http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-80.html?do\[loadData\]=1&itemKey=cz\\_10](http://www.viadrus.cz/web/structure/kotle-na-tuha-paliva-80.html?do[loadData]=1&itemKey=cz_10)
- [41] Firemní WWW stránky. *Dakon* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.dakon.cz/cs/FB.html>
- [42] Firemní WWW stránky. *Thermona* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.thermona.cz/kotel-therm-20-25-30-35-40-du>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|              |                    |  |
|--------------|--------------------|--|
| $A$          | [%]                | množství popele                              |
| $C_e$        | [Kč/kWh]           | cena elektrické energie                      |
| $C_p$        | [Kč/kg]            | cena paliva                                  |
| $N_c$        | [Kč]               | celkové roční náklady na provoz kotle        |
| $N_e$        | [Kč]               | roční náklady na spotřebu elektrické energie |
| $N_p$        | [Kč]               | roční náklady na palivo                      |
| $P_{max}$    | [kW]               | maximální výkon kotle                        |
| $P_{min}$    | [kW]               | minimální výkon kotle                        |
| $P_p$        | [W]                | příkon kotle                                 |
| $Q_c$        | [kW]               | tepelná ztráta                               |
| $Q_r$        | [GJ/rok]           | potřeba tepla na vytápění                    |
| $Q_r^i$      | [MJ/kg]            | výhřevnost paliva                            |
| $Q_s$        | [MJ/kg]            | spalné teplo                                 |
| $S_p$        | [kg]               | roční spotřeba paliva                        |
| $T_{p, 20}$  | [h]                | provozní hodiny při výkonu 20 kW             |
| $T_{p, max}$ | [h]                | provozní hodiny při maximálním výkonu        |
| $T_{p, min}$ | [h]                | provozní hodiny při minimálním výkonu        |
| $V_{daf}$    | [% <sub>hm</sub> ] | obsah prchavé hořlaviny                      |
| $W$          | [%]                | vlhkost paliva                               |
| $\eta$       | [%]                | účinnost kotle                               |