



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

AUTOMATICKÉ KOTLE NA PELETY

AUTOMATIC PELLETS BOILERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Bureš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **David Bureš**
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:

Automatické kotle na pelety

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.

Hlavní náplní práce je porovnání kvality spalování různých paliv v jednom kotli.

Cíle bakalářské práce:

- druhy a vlastnosti biomasových pelet
- popis principu technologie peletových kotlů
- experimentální ověření kvality spalování pelet o různých průměrech
- vyhodnocení experimentů

Seznam doporučené literatury:

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

MALATĚK, 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.

JANDAČKA, Jozef. Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. 1. Žilina, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce je rozdělena do 2 hlavních částí. První část se zabývá rešeršní studií o peletách jako palivu a o automatických kotlích na pelety. Druhá část popisuje experimentální měření na kotli Verner A251.1, následný výpočet účinnosti a porovnání emisí při použití dřevních pelet o 2 různých průměrech.

Klíčová slova

Kotle, pelety, účinnost, emise

ABSTRACT

The thesis is divided into two main parts. The first one deals with the research study about pellets used as a fuel, and about automatic pellet boilers. The second part describes experimental measurements on the boiler Verner A251.1, followed by calculation of the efficiency and a comparison of emission, using wood pellets of different diameters.

Key words

Boilers, pellets, efficiency, emission

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BUREŠ, D. *Automatické kotle na pelety*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

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

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu doc. Ing. Markovi Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Otakarovi Štelcovi za pomoc při experimentálním měření.

Obsah

Úvod	11
1 Biomasoné pelety	12
1.1 Vlastnosti	12
1.2 Výroba	13
1.3 Doprava Způsoby dopravy pelet jsou:	14
1.3.1 Doprava cisternou	15
1.4 Typy pelet	15
1.5 Cena	15
1.5.1 návratnost	16
1.6 Výhody a nevýhody vytápění peletami.....	17
2 Automatické kotle na pelety	18
2.1 Vlastnosti	18
2.2 Technologie	18
2.3 Peletový hořák	19
2.4 Výběr kotle	20
2.5 Výrobci	20
2.6 Přizpůsobení kotle domu	21
3 Experimentální měření	22
3.1 Průběh	22
3.2 Měřicí přístroje	22
3.2.1 Vybraný kotel	22
3.2.2 Analyzátor plynů	23
3.2.3 Teploměr	24
4 Stanovení účinnosti	25
4.1 Přímá metoda	25
4.2 Nepřímá metoda.....	26
5 Výpočet účinnosti z naměřených hodnot.....	29
5.1 Výpočet objemu spalin:	29
5.2 Výpočet ztráty Z_k :	29

5.3	Výpočet ztráty Z_{co} :	29
5.4	Výpočet ztráty Z_{sv} :	31
5.5	Výpočet celkové ztráty	32
5.6	Výpočet účinnosti	32
6	Výstupy z měření	33
6.1	Zastoupení O_2 ve spalinách	33
6.2	Výskyt CO ve spalinách	34
6.3	Výskyt NO ve spalinách	35
6.4	Přepočet	36
6.4.1	CO	36
6.4.2	NO	36
	Závěr	38
	Seznam použitých symbolů	39
	Použité zdroje:	40

Úvod

Již před miliony lety patřil oheň k tomu nejdůležitějšímu, co člověk k životu potřeboval. Na prostých ohništích ho mohl udržovat pomocí surového dřeva, které si sám dokázal vytěžit. Jak šel čas dál, dřevo přestalo člověku svými vlastnostmi dostačovat nárokům a požadavkům. Lidé se naučili těžit tzv. fosilní paliva vzniklá odumřením a následným rozkladem živočichů a rostlin za nepřístupu vzduchu, která svými parametry převyšovala surové dřevo.

Všechna fosilní paliva jsou neobnovitelnými zdroji energie. To znamená, že na světě jsou určitá ložiska, naleziště těchto surovin, která však jednou zcela jistě dojdou. A vzhledem k tomu, v jaké míře probíhá těžba, to nebude dlouho trvat.

Lidé se tak opět musí obracet k obnovitelným zdrojům energie, což však už dávno není pouze surové dřevo. Stále větší oblibě se těší biomasa, což je jakýkoliv dřevní nebo rostlinný odpad. Nejen, že se jedná o obnovitelné zdroje energie, ale jsou také mnohem šetrnější k přírodě a jejich výhřevnost se může rovnat s fosilními palivy.

Tato práce je zaměřena na automatické kotle na pelety a biomasové pelety. První část práce je rešeršní, kde jsou shrnuty teoretické poznatky k peletám a kotlům na pelety. Druhá část je věnována experimentálnímu měření na kotli Verner A251.1, výpočtu jeho účinnosti a porovnání emisí při spalování pelet o 2 různých průměrech.

1 Biomasoné pelety

Jedná se o čistě ekologické palivo, které se vyrábí z dřevního a rostlinného odpadu do tvaru drobných válečků o různých délkách a průměrech.

1.1 Vlastnosti

Biomasoné pelety jsou na rozdíl od fosilních paliv obnovitelným zdrojem energie. Dodávají se ve formě slisovaných granulí kruhového průřezu. Neobsahují žádné chemické pojiva a jiné znečišťující látky. Díky lisování obsahují minimální podíl vody a popele, proto hoří velmi dlouho a během spalování nevzniká téměř žádný kouř. Vzniklý popel lze navíc po vychladnutí využít jako účinné přírodní hnojivo.

Výhřevnost pelet se pohybuje kolem 18 MJ/kg (což je více než některé druhy uhlí). K vytápění průměrného rodinného domku je ročně potřeba 4 – 5 tun. Obecně platí, že čím je peleta světlejší, tím je kvalitnější. S tmavnoucí barvou totiž roste podíl příměsí. [1]



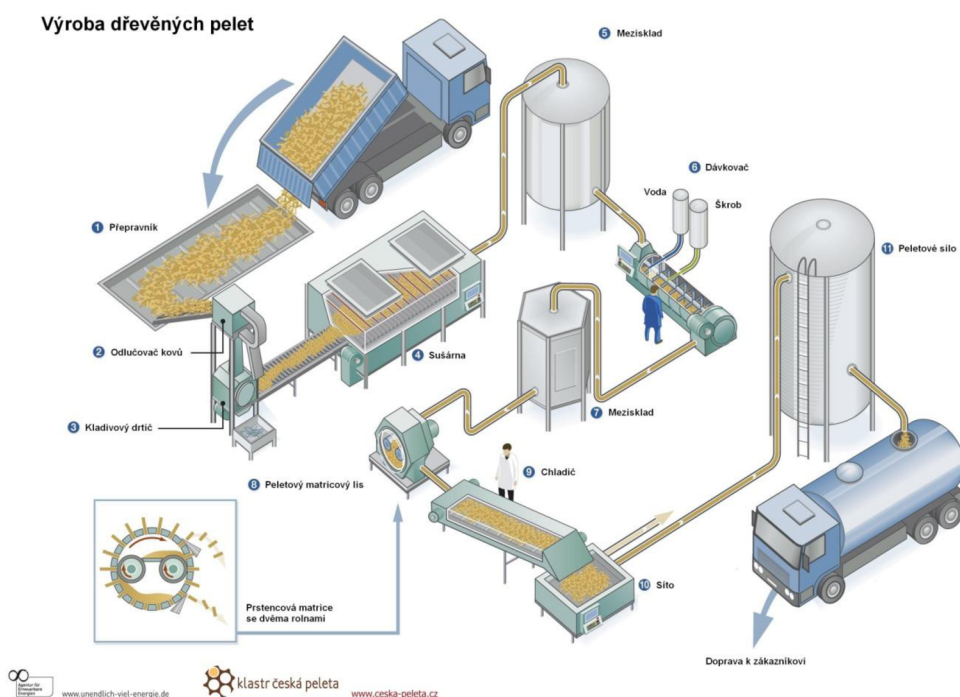
Obr. 1: Světlé pelety [2]



Obr. 2 Tmavé pelety [3]

1.2 Výroba

Pelety se vyrábí lisováním. Než však k samotnému lisování dojde, musí vstupní surovina (nejčastěji pilina) projít sušením na suchost 10 – 15 %. Pilina se rozloží na tenkou vrstvu na pás, který projíždí sušárnou, kde je pilina vysušována horkým vzduchem. Horký vzduch má maximální teplotu 120 °C a je ohříván přes výměníky pomocí páry nebo horké vody. Za sušárnou dochází k oddělení piliny od horkého vzduchu. Následuje míchací zařízení, kde pilina získá stabilní vlhkost, poté se piliny drtí, jelikož má každá pilina jinou velikost a před lisováním je potřeba dosáhnout určité zrnitosti. Poté přichází na řadu vlhčení, kdy dřevní hmota získá určitou vlhkost na svém povrchu, díky čemuž se změkčí a je zajištěno lepší spojení, lepší prostupnost maticí a tím i energeticky méně náročnější lisování. Pokud se přidávají organická pojiva, je vlhčení spojeno i mísením s kukuřičným škrobem nebo krmné mouky. Poslední operací je již zmiňované lisování v protlačovacím matricovém lisu, který je buď deskový, nebo prstencový. Materiál, který získáme po lisování, je zahřát na teplotu cca 100 °C a je potřeba jej okamžitě zchladit pomocí protiproudého chladiče na teplotu kolem 40 °C. Vzniklé pelety následně putují do síta, kde se pelety zbaví odrolu, který putuje zpět do lisu. Nevzniká tedy žádný odpad. [4]



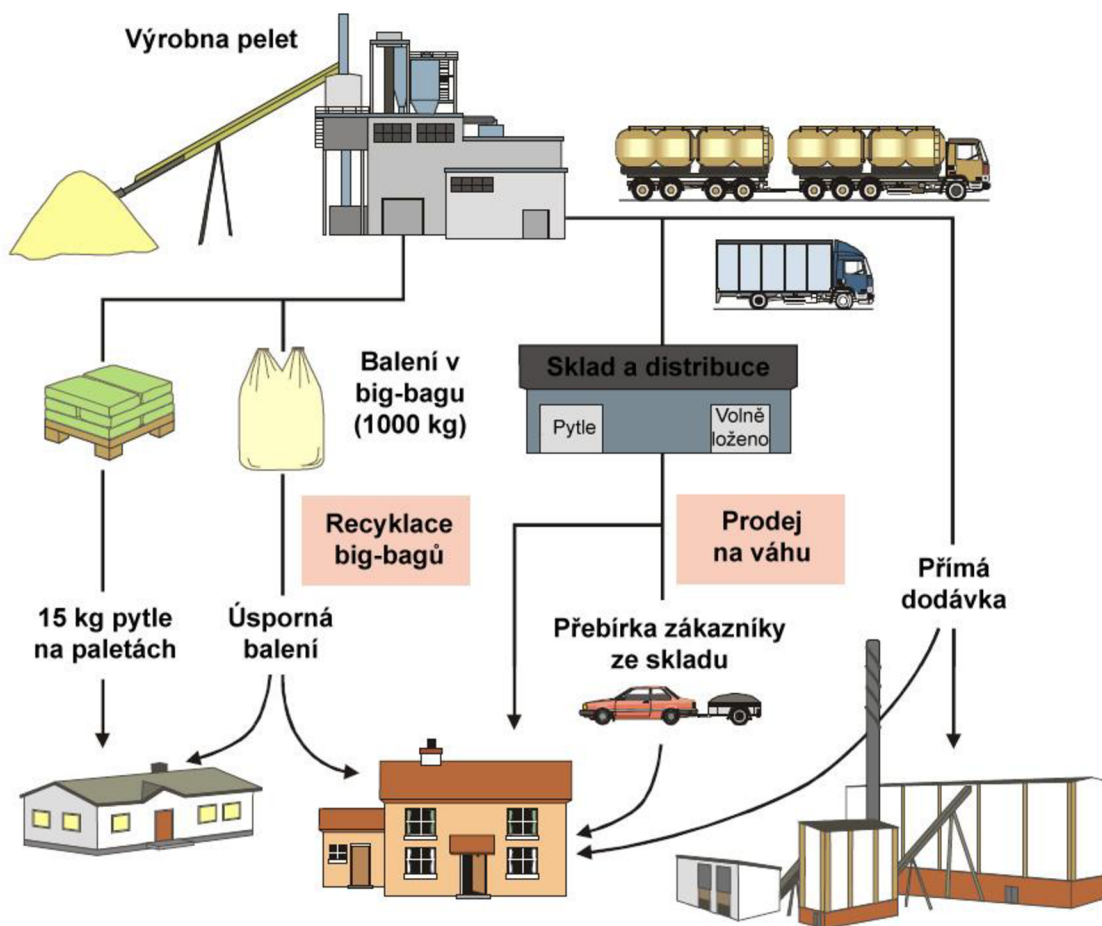
Obr. 3: Schéma výrobní peletovací linky [5]

1.3 Doprava

Způsoby dopravy pelet jsou:

- V pytlích o hmotnostech kolem 15 kg
- Ve velkých textilních vacích o hmotnosti kolem 1 tuny (tzv. big bag)
- Cisternovým automobilem s pneumatickou dodávkou flexibilními hadicemi

Pelety je možné objednat buď přes internet, nebo po předchozí telefonické domluvě si je na vlastní náklady vyzvednout a přepravit osobně. [6]



Obr. 4: Schéma distribuce pelet [7]

1.3.1 Doprava cisternou

Cisterna pomocí kompresoru a stlačeného vzduchu dopraví pelety do skladovacího místa až na vzdálenost 30 metrů. Součástí systému je i váha, která měří hmotnost pelet. Z pohledu zákazníka se jedná o velice snadnou, komfortní a bezstarostnou formu zásobování. Předpokladem pro tuto formu dopravy je připravené suché skladovací místo (sklep, silo,...). [8]

1.4 Typy pelet

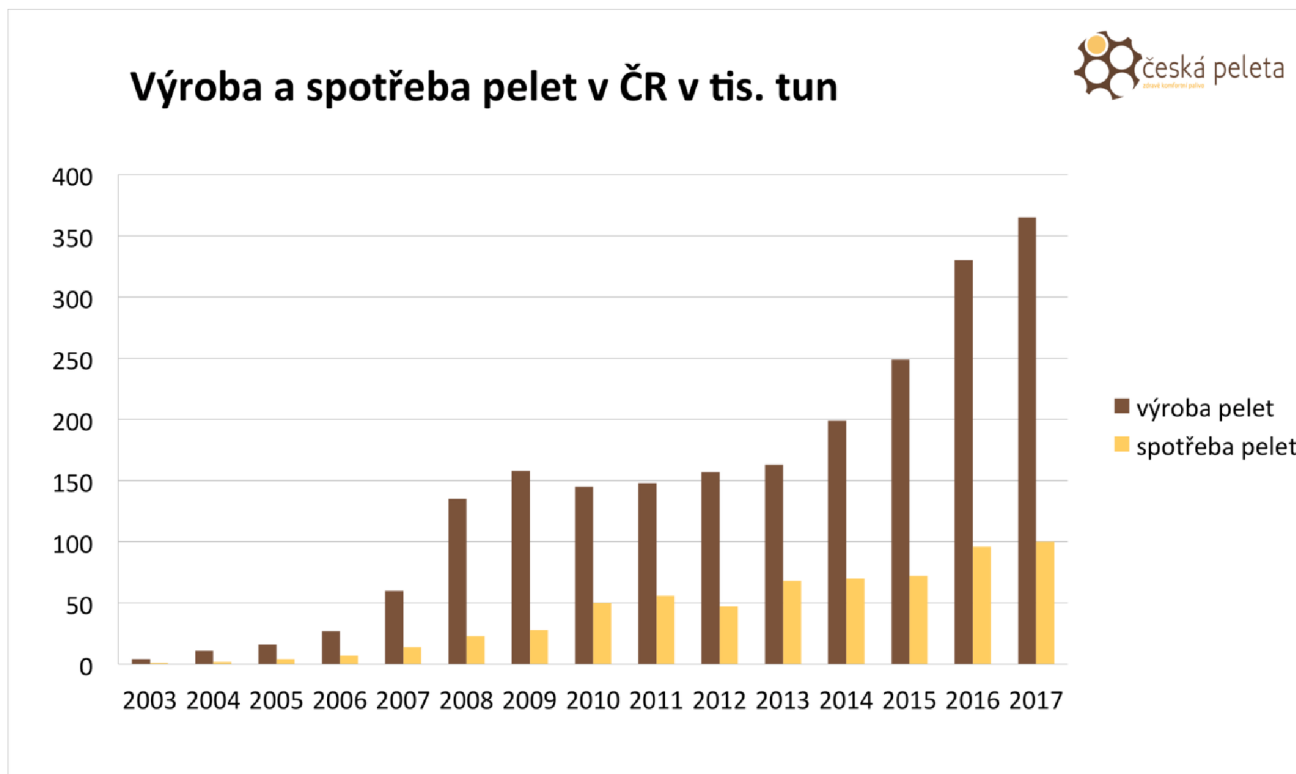
Pelety můžeme z hlediska kvality roztrždit do 3 skupin:

- Třída A1 – Jedná se o pelety nejvyšší kvality, které se používají v kotlích v domácnostech. Pelety jsou vyrobeny z chemicky neošetřených zbytků dřeva bez příměsí kůry. Maximální obsah popela je 0,7 %.
- Třída A2 – Používají se ve větších kotlích. Pelety obsahují určité procento kůry, lesní těžební zbytky. Maximální obsah popela je do 1,5 %.
- Třída B – Tyto pelety mají průmyslové využití. Vyrábí se z použitého dřeva, s vyšším podílem kůry a maximální obsah popela je nad 1,5 %. [9]

1.5 Cena

Cena pelet je už více než 3 roky víceméně konstantní. Za tunu pelet zaplatíte něco kolem 5 000 Kč. Při průměrné roční spotřebě pelet 4 – 5 tun tedy zaplatíte za topnou sezonu něco mezi 20 a 25 000 Kč. Za vytápění zemním plynem nebo elektřinou přitom zaplatíte až 40 000 Kč, v extrémním případě tedy až o 10 0% více! Doporučuje se pelety nakupovat v létě, kdy jejich cena o pár set korun klesne, naopak v topné sezoně zaplatíte v průměru o pár set korun více. [10]

Na obrázku 6 lze vidět poměr výroby a spotřeby pelet v České republice za posledních 15 let.



Obr. 6 [11]

1.5.1 návratnost

Investice do peletového kotle se vrátí za zhruba 5 let. Pokud přecházíme z plynu na topení peletami, vrátí se náklady za zhruba 6 – 8 let, při přechodu z elektřiny už za 2 – 3 roky.[12]

1.6 Výhody a nevýhody vytápění peletami

Největšími přednostmi pelet jsou:

- Výborná výhřevnost kolem 18 MJ/kg
- Minimální obsah vody
- 2. nejlevnější palivo (hned po dřevu)
- Mnohem levnější než vytápění elektřinou nebo plynem, přičemž komfort je srovnatelný
- Jistota dodávky po celý rok
- Minimální obsah popela, který lze navíc využít jako hnojivo
- Nízké úlety prachu – čistá zahrada, fasáda
- Jednoduchá manipulace a skladnost
- Ekologický způsob vytápění [13]

I pelety však mají své zápory. Ty nejvýznamnější jsou:

- Vysoká cena kotlů
- Pelety nelze skladovat venku jako třeba dřevo, ale musíme mít zařízenou speciální místnost pro skladování pelet.
- Cena pelet se liší v závislosti na aktuálním poměru nabídky a poptávky. Obecně platí, že pelety jsou levnější v létě (mimo topnou sezonu). [14]

2 Automatické kotle na pelety

Každé palivo potřebuje své spalovací zařízení, které ho přemění na teplo a následně jej dodá teplotněmu médiu. Ne jinak je tomu i u spalování pelet.

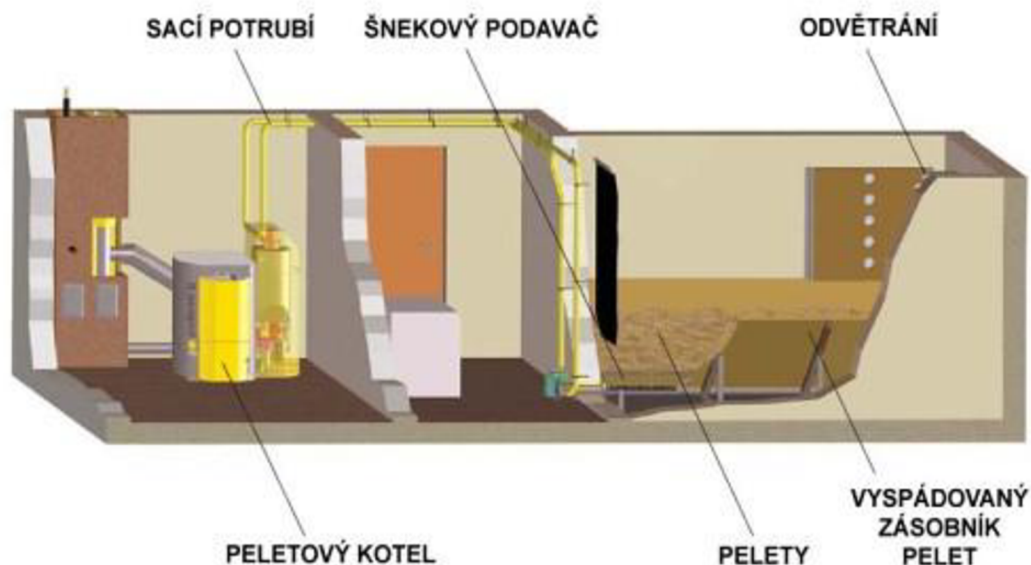
2.1 Vlastnosti

Na rozdíl od palivového dřeva a dřevěných briket, které můžeme spalovat v jakýchkoliv topidlech na dřevo, pelety se musí spalovat pouze v moderních kotlích, které jsou vždy automatické. To znamená, že se nemusí ručně přikládat a podle norem třetí nebo vyšší emisní třídy je jasné, že nedochází k zamořování okolního prostředí škodlivými zplodinami.

Ke spalování pelet se vyrábějí nejen automatické kotle pro celosezónní provoz, ale také krbová kamna se zásobníkem. [15]

2.2 Technologie

Automatické kotle na pelety jsou svými výrobci stále více zdokonalovány. Stále více se zvyšuje jejich účinnost s komfortnější obsluhou. Na provoz kotle pouze dohlédneme, vše si obstarává sám. Kotel sám zapaluje, sám přikládá, a pokud je vybaven násypkou na celou sezónu, nemusíme se o jeho chod vůbec starat. Přisun pelet je zajištěn pneumatickou dopravou a díky sací turbíně si kotel sám odebírá pelety z násypky. Jedinou starostí tak člověku může zůstat čištění popelníky, avšak pokud máme kotle v rozmezí 25 – 35 kW, je zde možnost odvádět popel do externího boxu, který se vysypává. Odvod spalin je vyřešen pomocí spalinového ventilátoru. [16]

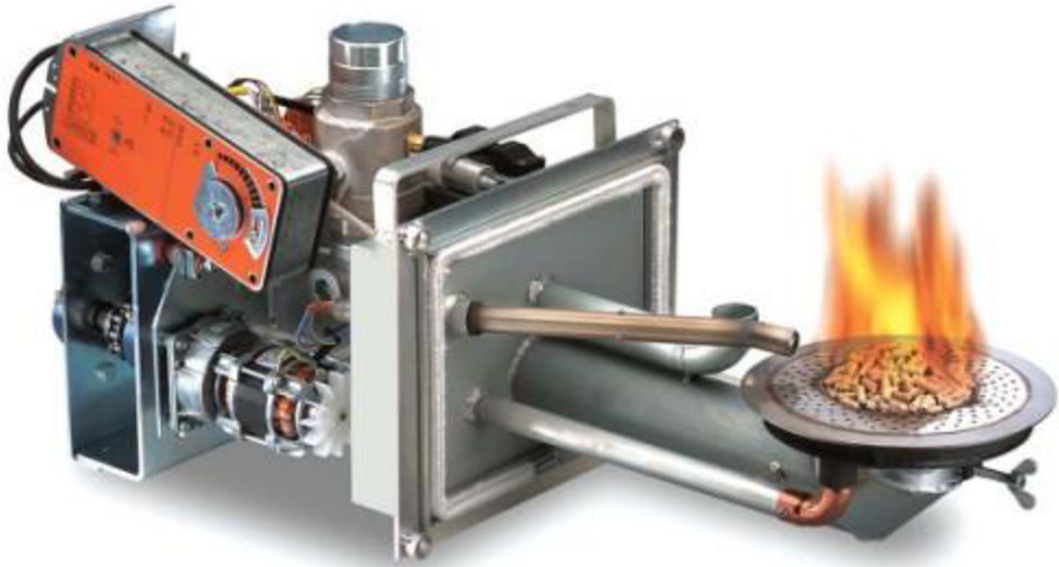


Obr. 7: Peletová kotelná [17]

2.3 Peletový hořák

Jedná se o jednu z nejdůležitějších součástí, které lze na automatickém kotli na pelety nalézt. Jeho vhodná konstrukce ovlivňuje nejen celkovou cenu kotle, ale také jeho účinnost, trvanlivost, emise a spotřeba paliva.

Moderní kotle a hořáky umožňují trvalý regulovatelný přísun paliva a bezobslužné odvedení popela. [18]



Obr. 8 Peletový hořák [19]

Na obrázku 8 lze vidět hořák se spodním přívodem paliva. Pelety jsou přiváděny šnekovým dopravníkem zespodu otvorem. Primární vzduch je vháněn zespodu, sekundární je přiveden přímo do plamene hořících plynů. Největší výhodou tohoto hořáku je odvod popela, který buď propadává předvrtanými dírami anebo je vytlačován novým palivem. Z obrázku 8 lze rozeznat:

- Spodní trubku se šnekovým podavačem, pomocí níž se pelety dostanou do spalovací retorty, která je vyrobena z nerezové oceli.
- Šikmou trubku, která nám pelety zapálí vzduchem, který je rozžhaven pomocí elektrického odporu.
- Trubku, která reguluje množství primárního vzduchu (červené koleno)
- Trubku, která reguluje množství sekundárního vzduchu (velké koleno) [20]

Druhým typem hořáku je hořák se sypnou šachtou. Pelety jsou opět přiváděny šnekovým dopravníkem, avšak padají přímo seshora na rošt. Popel postupně prodává skrze rošt. Tyto hořáky se používají převážně pro kotle nižších výkonů. [21]

2.4 Výběr kotle

Koupě nového kotle na pelety je vcelku velká investice, proto by člověk neměl nic uspěchat. Je dobré si udělat přehled všech dostupných kotlů a nechat si poradit, ať už na veletrzích nebo na webových stránkách.

Nový kotel je sice investice několika desítek tisíc korun, avšak tato investice se vrátí nejpozději do 5 let. Nejen, že pelety jsou mnohem levnější než ostatní paliva, ale účinnost kotlů na pelety je velmi vysoká – pohybuje se okolo 90 %! Jen pro srovnání, uhelné kotle mají účinnost okolo 60 %. To znamená, že na „výrobu“ stejného tepla spotřebujeme o třetinu méně paliva.

Jak velký je potřebný výkon, záleží na typu budovy. U novostaveb by ho měl navrhnout projektant, u starších budov se vychází z výkonu původního kotle. Ve většině případů stačí kotle s výkonem 15 – 25 kW.

Pro mnohé je navíc koupě kotle na pelety nevyhnutelná, protože Novela Zákona o ochraně ovzduší povoluje pouze kotle 3. nebo vyšší emisní třídy, což všechny automatické kotle na pelety splňují. V tabulce 1 můžeme vidět povinnosti související s prodejem a provozem právě kotlů na tuhá paliva a jednotlivé datумы platnosti. [22]

Tab.1 [23]

Zahájení platnosti	Popis nařízení
1.1. 2014	Zákaz prodeje kotlů 1. a 2. emisní třídy
1.1. 2017	Povinnost předložit revizi kotle
1.1. 2018	Zákaz prodeje kotlů 3. emisní třídy
1.1. 2020	Zákaz prodeje kotlů 4. emisní třídy
1.9. 2022	Zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy

2.5 Výrobci

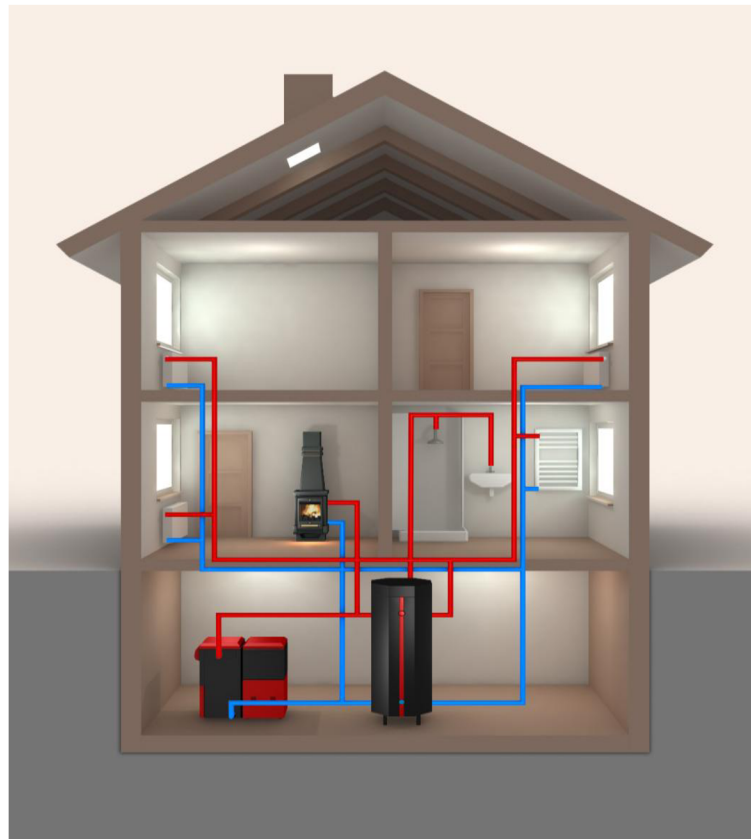
Mezi nejznámější české výrobce kotlů na pelety patří firmy Verner, Opop, Ponast a Benekov. Znamé zahraniční firmy jsou pak Ungaro, Kalor, Lincar, Caminetti Monte Grappa (všechno Itálie) nebo rakouská firma Hapero. [24]

2.6 Přizpůsobení kotle domu

Stejně jako u plynových nebo uhelných kotlů se teplo předává topnému médiu, což je v drtivé většině případů voda. Tepelný výkon kotle lze regulovat podle požadované teploty v rozsahu 30 – 100 % přísunem paliva a množstvím vháněného vzduchu. Otopnou plochu lze orientačně stanovit při tepelných ztrátách 50 W/m^2 a výkonu kotle 10 kW na 200 m^2 .

Kotlem na pelety lze vytápět daný objekt nebo připravovat teplou užitkovou vodu.

Při instalaci je nutné myslet na prostor pro umístění paliva. [25]



Obr. 9: Schéma propojení systémů v rodinném domě [26]

3 Experimentální měření

Pro experimentální měření byl vybrán kotel Verner A251.1. Měření proběhlo v kotelně na Energetickém ústavu FSI.

3.1 Průběh

Nejdříve ze všeho jsme museli kotel vyčistit a obstarat palivo, kterým byly pelety o průměrech 6 a 8 mm. Poté jsme kotel zapálili a počkali, až chytne tah. Poté jsme připravili analyzátor plynů, který nám měřil koncentraci O_2 ve spalinách a množství CO každou minutu a měřicí soustavu v kotelně, která nám zaznamenávala teplotu vody a spalin na vstupu a výstupu, tlak vody, tlak spalin, výkon kotle. Následně jsme dosypali plný zásobník pelet o průměru 6 mm a dle potřeby zásobník doplňovali. Na regulačním panelu jsme nastavili vhodný interval plnění (17 sekund) a kontrolovali průběh měření. Po 175 minutách jsme vyměnili palivo z pelet o průměru 6 mm na pelety o průměru 8 mm. Na regulačním panelu jsme zvýšili interval plnění na 27 sekund a měřili jsme dále. Druhé měření trvalo 95 minut.

3.2 Měřicí přístroje

3.2.1 Vybraný kotel

Jak už bylo zmíněno, kotel, na kterém bylo měření prováděno, byl Verner A251.1. Tento kotel je určen pro komfortní, úsporné a ekologické vytápění menších rodinných domů, dílen a bytových jednotek. Palivo je dodáváno z násypky do hořáku pomocí šnekového dopravníku. V hořáku je palivo spalováno a nespálené zbytky jsou následně vytlačovány roštnicemi do popelníku. Toto roštování je nastavitelné. Spaliny putují plamencem a následně výměníkem, kde dochází k předání tepla do vody. Ochlazené spaliny putují výstupním hrdlem do komína. Vzduch potřebný ke spalování je dodáván pomocí přetlakového ventilátoru. Přiváděný vzduch se dělí na primární, který je přiváděn do paliva spárami v roštu, a na sekundární, který je přiváděn otvory v bočních tvarovkách hořáku. Dopravník pracuje přerušovaně. To znamená, že chvíli plní, a poté následuje prodleva. Tuto skutečnost přizpůsobuje regulátor sám od sebe podle požadavku odběru. Nastavuje dobu plnění a prodlevy a řídí otáčky ventilátoru. K zapálení a hoření paliva dochází automaticky po stisknutí tlačítka. Katalogová účinnost tohoto kotle, která se bude porovnávat s tou vypočtenou, je 92 %.[27]



Obr. 10: Vybraný kotel Verner A251.1

3.2.2 Analyzátor plynů

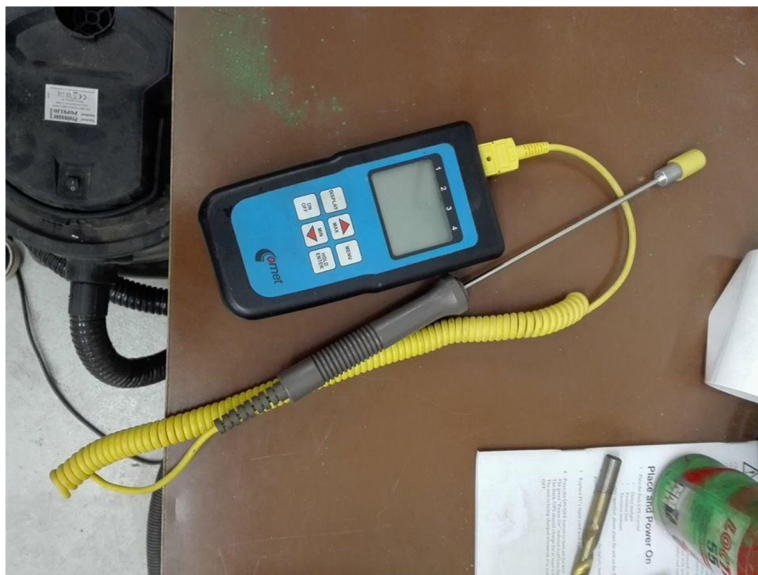
Pro měření hodnot emisí a složení spalin slouží analyzátor plynů. V našem případě byl použit analyzátor plynů Ultramat 22 firmy Siemens a měřila se koncentrace O_2 a množství CO a NO ve spalinách.



Obr. 11: Analyzátor plynů Ultramat

3.2.3 Teploměr

Pro měření teplot na vnějších stěnách kotle byl použit dvoukanálový teploměr COMET.



Obr. 12: Dvoukanálový teploměr COMET

4 Stanovení účinnosti

Obecně je účinnost definována jako poměr výkonu k příkonu. Jinými slovy se jedná o poměr využití energie k energii přivedené. U kotlů nám účinnost udává kolik energie obsažené v palivu se nám přemění na tepelnou energii média. Jedná se vlastně o jeden z nejvýznamnějších technicko-ekonomických parametrů kotle. Protože ta energie, která se nám nepřemění v teplo, představuje ztrátu, což je samozřejmě nežádoucí. Ztrátou rozumíme buď uniklé teplo nebo nezcela spálené hořlaviny paliva. Účinnost kotlů se stanovuje 2 metodami: přímou a nepřímou.

4.1 Přímá metoda

Principem této metody je stanovit účinnost podle poměru tepla, které je předané teplovodní látce k množství tepla, které je přivedeno do kotle palivem za stejný časový úsek.

Přímá metoda je dána rovnicí:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \quad (1)$$

Q_{out} – teplo předané teplotnímu médiu [J/s]

Q_{in} – teplo přivedené do kotle v palivu [J/s]

η – účinnost spalování [%]

Teplo předané teplovodnímu médiu za čas Δt získáme ze vztahu:

$$Q_{out} = M_n \times c_n \times (t_{vy} - t_{vs}) \quad (2)$$

M_n – množství napájecí vody za čas Δt [kg/s]

c_n – střední měrná kapacita vody (4180 J/(kg×K))

t_{vy} – výstupní teplota napájecí vody za kotlem [°C]

t_{vs} – vstupní teplota napájecí vody před kotlem [°C]

Teplo přivedené do kotle za čas Δt získáme ze vztahu:

$$Q_{in} = M_{pv} \times Q_i \quad (3)$$

M_{pv} – množství přivedeného tepla za čas Δt [kg/s]

Q_i – výhřevnost paliva [J/kg]

Přímá metoda není pro výpočet účinnosti však příliš vhodná, jelikož je obtížné určit množství přivedeného tepla za čas Δt . Proto je nutné použít nepřímou metodu.

4.2 Nepřímá metoda

Tato metoda je přesnější než metoda přímá, avšak je o poznání složitější dostat se k výsledku. Důvodem je fakt, že zahrnuje jednotlivé ztráty, které ve výsledku dají celkovou hodnotu kotlových ztrát. Pomocí tohoto výpočtu můžeme zjistit, kde ztrácíme nejvíce tepla a můžeme pak dále pracovat na snížení těchto ztrát, popř. zvýšení celkové účinnosti kotle.

Předpokladem této metody je, že kotel má teoreticky 100%ní účinnost, která je však ve skutečnosti snížena jednotlivými ztrátami.

Součet těchto ztrát je dán vztahem:

$$\sum Z_i = Z_C + Z_{CO} + Z_f + Z_k + Z_{sv} \quad (4)$$

Z_i – celková ztráta [%]

Z_C – ztráta způsobena únikem hořlaviny v tuhých zbytcích [%]

Z_{CO} – ztráta způsobena únikem plynné hořlaviny ve spalinách [%]

Z_f – ztráta způsobena únikem tepla v tuhých zbytcích [%]

Z_k – ztráta způsobena únikem tepla ve spalinách (tzv. komínová ztráta) [%]

Z_{sv} – ztráta způsobena odevzdáním tepla do okolí (sáláním a vedením) [%]

[28]

Nejdříve ze všeho je potřeba určit hodnotu objemu spalin. Stanovení této hodnoty by se mělo provést podle hmotnostního zastoupení daného prvku v palivu a následně vypočítat. Lze však jednodušším způsobem stanovit tuto hodnotu v závislosti na výhřevnosti paliva. Tento postup sice není úplně přesný, avšak výsledná hodnota se bude lišit minimálně.

Rovnice pro výpočet objemu spalin:

$$V_{ss} = 0,2365 \times Q_i + 0,4467 \quad (5)$$

V_{ss} – objem suchých teoretických spalin [m^3/kg]

Q_i – výhřevnost paliva [MJ/kg]

Dále je třeba **přepočet suchých teoretických spalin na referenční obsah kyslíku ve spalinách**. Tohoto přepočtu docílíme pomocí vztahu:

$$O_p = \frac{V_{ss} \times 20,95}{20,95 - O_{2ref}} \quad (6)$$

O_p – objem vzniklých spalin spálením 1 kg paliva [m^3/kg]

O_{2ref} – referenční obsah kyslíku ve spalinách [%]

[29]

Nyní se může přejít k výpočtu samotných ztrát. Tou největší je **ztráta Z_k , která je způsobena únikem tepla ve spalinách**. Její výpočet je dán vztahem:

$$Z_k = \frac{O_p \times c_p \times (t_k - t_{air})}{Q_i} \times 100 \quad (7)$$

c_p – střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin [$\text{J}/(\text{m}^3 \times \text{K})$]

t_k – teplota spalin na výstupu z kotle [$^{\circ}\text{C}$]

t_{air} – teplota vzduchu na vstupu do kotle [$^{\circ}\text{C}$]

Q_i – výhřevnost paliva [J/kg]

Ztráta Z_{co} je způsobena únikem plynné hořlaviny ve spalinách. Tato ztráta je způsobena nedokonalým spalováním hořlaviny paliva, kdy jsou hořlavé složky ve spalinách a snižují tak celkovou účinnost kotle. Největším zástupcem těchto složek je nespálený oxid uhelnatý (CO).

Ztrátu Z_{co} získáme vztahem:

$$Z_{co} = \frac{\sum Q_{Hi} \times \bar{\omega}_i \times O_p}{Q_i} \times 100 \quad (8)$$

Q_{Hi} – výhřevnost hořlavých složek [kJ/m^3]

$\bar{\omega}_i$ – objemový podíl hořlavé složky v suchých spalinách

O_p – množství suchých spalin vzniklých z 1 kg paliva [kg]

Q_i – výhřevnost paliva [J/kg]

Ztráta Z_{sv} je způsobena odevzdáním tepla do okolí. Pro kotle malých výkonů je určení založeno na stanovení povrchových teplot dílčích ploch kotle a součinitele přestupu tepla.

$$Z_{sv} = \frac{A_H \times t \times \sum S_H \times (t_i - t_m)}{m \times Q_i} \times 100 \quad (9)$$

A_H – součinitel přestupu tepla z vnějšího povrchu kotle do okolí [$W/(m^2 \times K)$]

t – doba měření [s]

S_H – dílčí plocha stěny kotle [m^2]

t_i – teplota povrchu [$^{\circ}C$]

t_m – teplota prostředí [$^{\circ}C$]

m – hmotnost spáleného paliva [kg]

Q_i – výhřevnost paliva [J/kg]

[30]

5 Výpočet účinnosti z naměřených hodnot

Je prováděn nepřímou metodou. Hodnoty Z_f a Z_C zanedbáváme kvůli jejich příliš malým hodnotám, které do výsledné účinnosti kotle prakticky vůbec nepromluví. Účinnost kotle je počítána z hodnot, které byly získány během hoření větších pelet o průměru 8 mm.

5.1 Výpočet objemu spalin:

Výhřevnost pelet je 17,2 MJ/kg [31], hodnota referenční obsahu kyslíku ve spalinách je normovaná hodnota 10 %.

$$V_{ss} = 0,2365 \times Q_i + 0,4467$$

$$V_{ss} = 0,2365 \times 17,2 + 0,4467 = 4,515 \frac{m^3}{kg}$$

$$O_p = \frac{V_{ss} \times 20,95}{20,95 - O_{2ref}}$$

$$O_p = \frac{4,515 \times 20,95}{20,95 - 10} = 8,638 \frac{m^3}{kg}$$

5.2 Výpočet ztráty Z_k :

Střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin je 1 376 (J/m³×K).[32] Teplota vzduchu na vstupu do kotle vyšla z experimentu 19,46 °C, teplota spalin na výstupu z kotle pak 242,24 °C.

$$Z_k = \frac{O_p \times c_p \times (t_k - t_{air})}{Q_i} \times 100$$

$$Z_k = \frac{8,638 \times 1376 \times (242,24 - 19,46)}{17,2 \times 10^6} \times 100 = 15,39 \%$$

5.3 Výpočet ztráty Z_{co} :

Zdaleka největší podíl v úniku plynných hořavin ve spalinách má oxid uhelnatý (CO). Jeho výhřevnost je stanovena na 12 630 kJ/m³. [33]

Dále je třeba určit hodnotu $\bar{\omega}_i$ neboli objemový podíl hořlavé složky v suchých spalinách. Jeho hodnota se získá ze vztahu.

$$\bar{\omega}_i = \frac{V_{co}}{V_{cel}} \quad (10)$$

$$V_{co} = \frac{m_{co}}{M_{co}} \times 22,41 \quad (11)$$

$$m_{co} = \text{průměrné množství CO} \times \text{celkový objem spalin } (V_{cel}) \quad (12)$$

$$\text{celkový objem spalin } (V_{cel}) = \text{hmotnost spáleného paliva} \times O_p \quad (13)$$

Hmotnost spáleného paliva během experimentu byla 15,5 kg, objem spalin O_p je již spočítán. Molární hmotnost CO je 28 g/mol, průměrné množství CO v experimentu bylo 91,84 mg/m³. Lze tak přistoupit k výpočtu objemového podílu $\bar{\omega}_i$.

$$V_{cel} = 15,5 \times 8,638 = 133,89 \text{ m}^3$$

$$m_{co} = 0,09184 \times 133,89 = 12,3 \text{ g}$$

$$V_{co} = \frac{12,3}{28} \times 22,41 = 9,84 \text{ dm}^3$$

$$\bar{\omega}_i = \frac{0,00984}{133,89} = 7,35 \times 10^{-5}$$

Nyní jsou známy už všechny hodnoty pro číselné vyjádření **ztráty Z_{co}** :

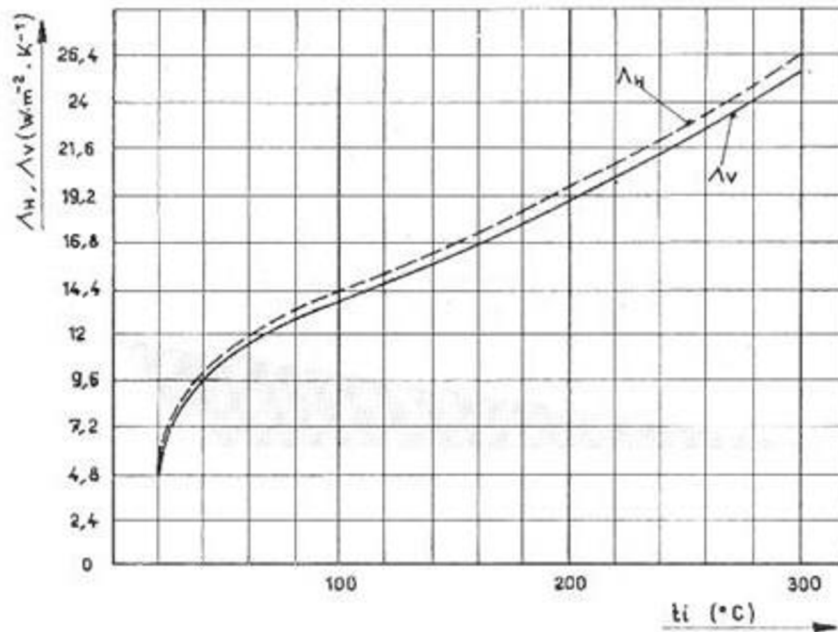
$$Z_{co} = \frac{12,63 \times 10^6 \times 7,35 \times 10^{-5} \times 8,638}{17,2 \times 10^6} \times 100 = 0,06 \%$$

5.4 Výpočet ztráty Zsv:

Nejdříve ze všeho je potřeba rozdělit stěny kotle na menší dílčí plochy. Následně se změří teplota jednotlivých dílčích ploch na vnějších stěnách kotle. Poté se všechny naměřené hodnoty spočítají v následující sumě:

$$\begin{aligned} \sum S_H \times (t_i - t_m) &= 0,0399 \times (25,6 - 20) + 0,0399 \times (26,1 - 20) + 0,0399 \times (26,9 - 20) \\ &+ 0,0399 \times (25,8 - 20) + 0,0399 \times (27,1 - 20) + 0,0399 \times (27,6 - 20) \\ &+ 0,02755 \times (33,6 - 20) + 0,02755 \times (40,3 - 20) + 0,02755 \\ &\times (40,9 - 20) + 0,02755 \times (29 - 20) + 0,02755 \times (29,3 - 20) + 0,02755 \\ &\times (31,2 - 20) + 0,02755 \times (27,4 - 20) + 0,02755 \times (27,6 - 20) \\ &+ 0,02755 \times (29,2 - 20) + 0,02755 \times (28,3 - 20) + 0,02755 \\ &\times (30,5 - 20) + 0,02755 \times (31,5 - 20) + 0,0525 \times (31,9 - 20) + 0,0525 \\ &\times (37,4 - 20) + 0,0525 \times (35 - 20) + 0,0525 \times (26,3 - 20) + 0,0525 \\ &\times (27,1 - 20) + 0,0525 \times (30,1 - 20) + 0,0525 \times (25 - 20) + 0,0525 \\ &\times (25,3 - 20) + 0,0525 \times (27,5 - 20) + 0,0525 \times (24,2 - 20) + 0,0525 \\ &\times (24,8 - 20) + 0,0525 \times (27,2 - 20) + 0,0525 \times (29 - 20) + 0,0525 \\ &\times (26,4 - 20) + 0,0525 \times (27,1 - 20) + 0,0646 \times (33,2 - 20) + 0,0646 \\ &\times (31,4 - 20) + 0,0646 \times (33,4 - 20) + 0,0646 \times (27,4 - 20) + 0,0646 \\ &\times (27,7 - 20) + 0,0646 \times (27,2 - 20) + 0,0646 \times (30,4 - 20) + 0,0646 \\ &\times (27,1 - 20) + 0,0646 \times (25,9 - 20) + 0,0646 \times (25,6 - 20) + 0,0646 \\ &\times (27,9 - 20) + 0,0646 \times (26,4 - 20) + 0,0525 \times (43,1 - 20) + 0,0525 \\ &\times (50,9 - 20) + 0,0525 \times (41,7 - 20) + 0,0525 \times (38,6 - 20) + 0,0525 \\ &\times (36,4 - 20) + 0,0525 \times (32,9 - 20) + 0,0525 \times (33,6 - 20) + 0,0525 \\ &\times (28,9 - 20) + 0,0525 \times (27,4 - 20) + 0,0525 \times (28,4 - 20) + 0,0525 \\ &\times (25,6 - 20) + 0,0525 \times (24,3 - 20) + 0,0525 \times (28,2 - 20) + 0,0525 \\ &\times (26,1 - 20) + 0,0525 \times (27,3 - 20) = 28,23 \end{aligned}$$

Dále je třeba z následujícího grafu určit hodnotu A_H . Teplota t_i je 30 °C.



Obr. 13: Graf závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu kotle [34]

Z grafu lze určit, že součinitel přestupu tepla z vnějšího povrchu kotle do okolí je přibližně $9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Měření probíhalo 65 minut. Zbylé hodnoty, které vystupují v rovnici (3.9) jsou již známé.

$$Z_{sv} = \frac{A_H \times t \times \sum S_H \times (t_i - t_m)}{m \times Q_i} \times 100$$

$$Z_{sv} = \frac{9 \times 3\,900 \times 28,23}{15,5 \times 17,2 \times 10^6} \times 100 = 0,37 \%$$

5.5 Výpočet celkové ztráty

$$\sum Z_i = Z_C + Z_{CO} + Z_f + Z_k + Z_{sv}$$

$$\sum Z_i = 0,06 + 15,39 + 0,37 = 15,82 \%$$

5.6 Výpočet účinnosti

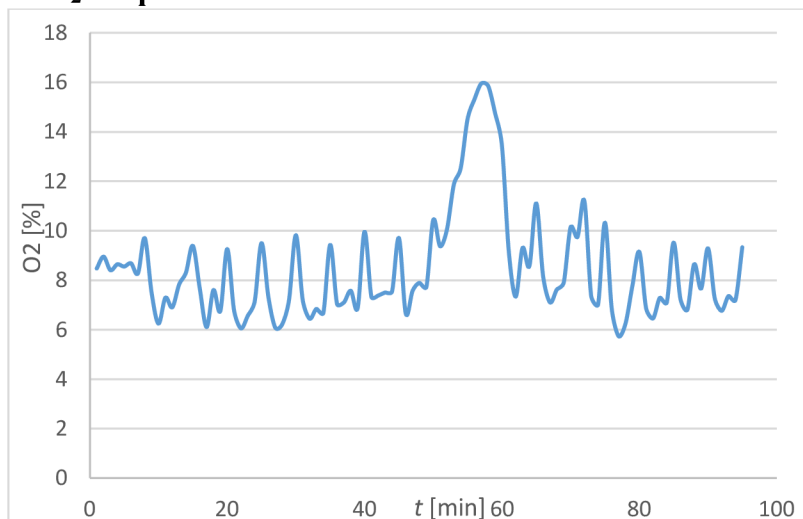
Nyní je třeba celkovou ztrátu odečíst od teoretických 100 %.

$$\eta = 100 - 15,82 = 84,18 \%$$

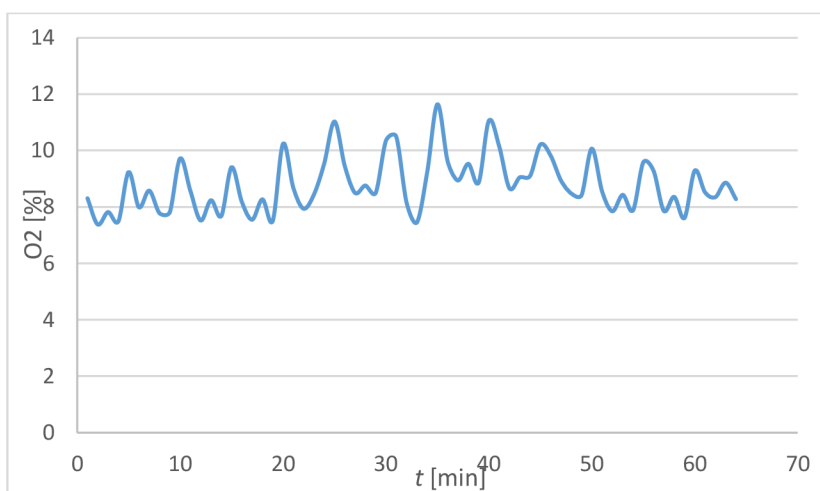
6 Výstupy z měření

Během celého měření zaznamenával Ultramat koncentraci O_2 a výskyt CO s NO ve spalinách. Na grafech níže lze vidět průběhy hodnot těchto plynů v závislosti na čase při ustáleném hoření, neboť grafy byly upraveny a zbaveny nevypovídajících hodnot, které vznikly výměnou paliva a nastavováním kotle.

6.1 Zastoupení O_2 ve spalinách



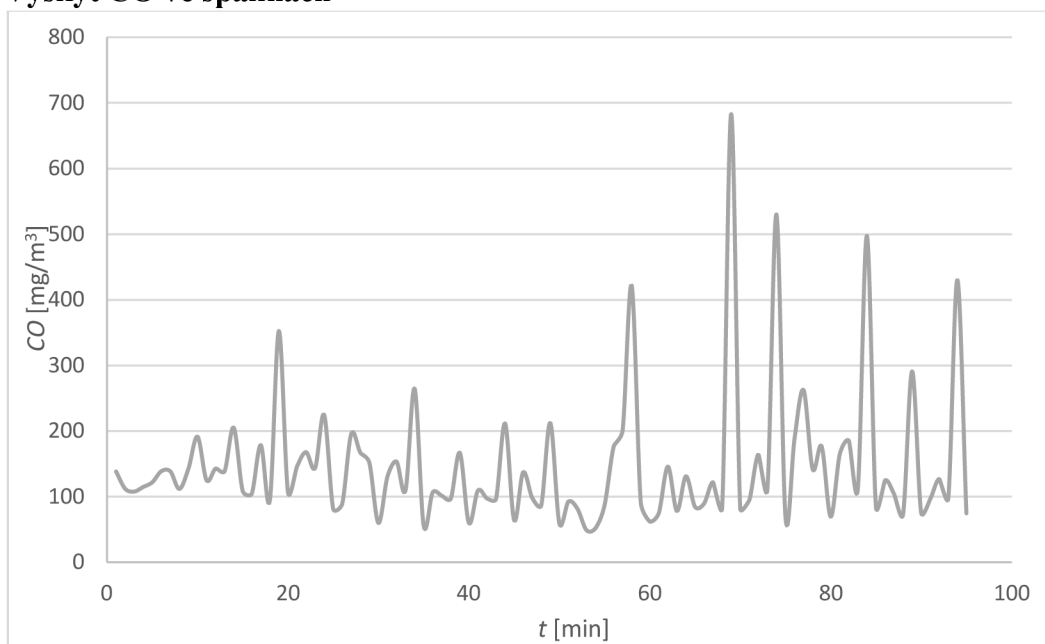
Obr. 14 Graf závislosti koncentrace O_2 na čase u pelet s průměrem 6 mm



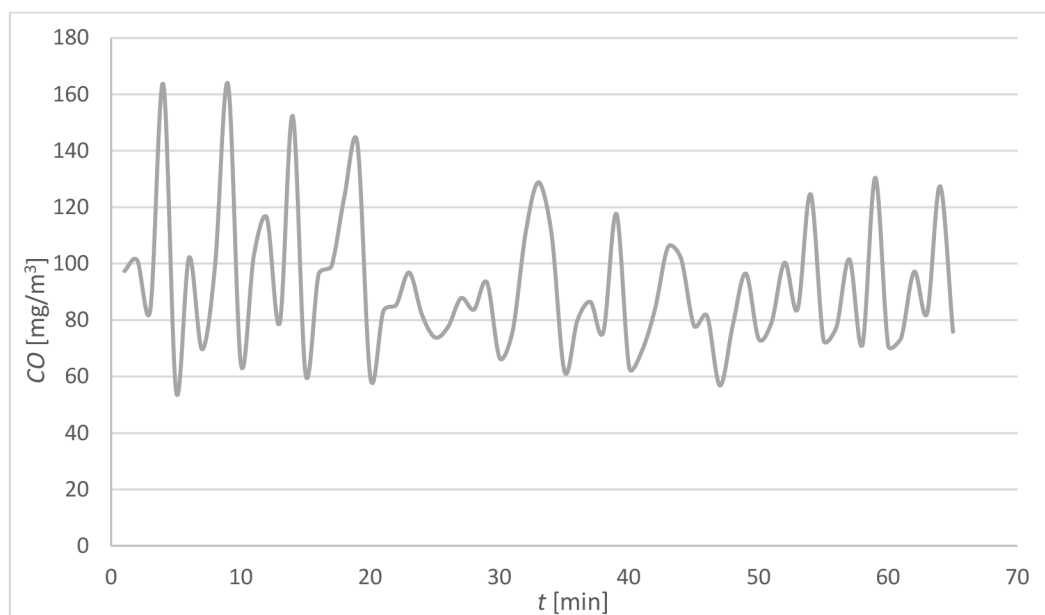
Obr. 15 Graf závislosti koncentrace O_2 na čase u pelet s průměrem 8 mm

Z obr. 14 lze zaznamenat, že průběh koncentrace O_2 u pelet s průměrem 6 mm je téměř po celou dobu sinusový, vyjma chvilkového výkyvu, kdy hodnota koncentrace dosáhla hranici 16 %. Z obr. 15 je zřejmé, že u pelet s průměrem 8 mm nic takového nenastalo a průběh je ustálenější.

6.2 Výskyt CO ve spalinách



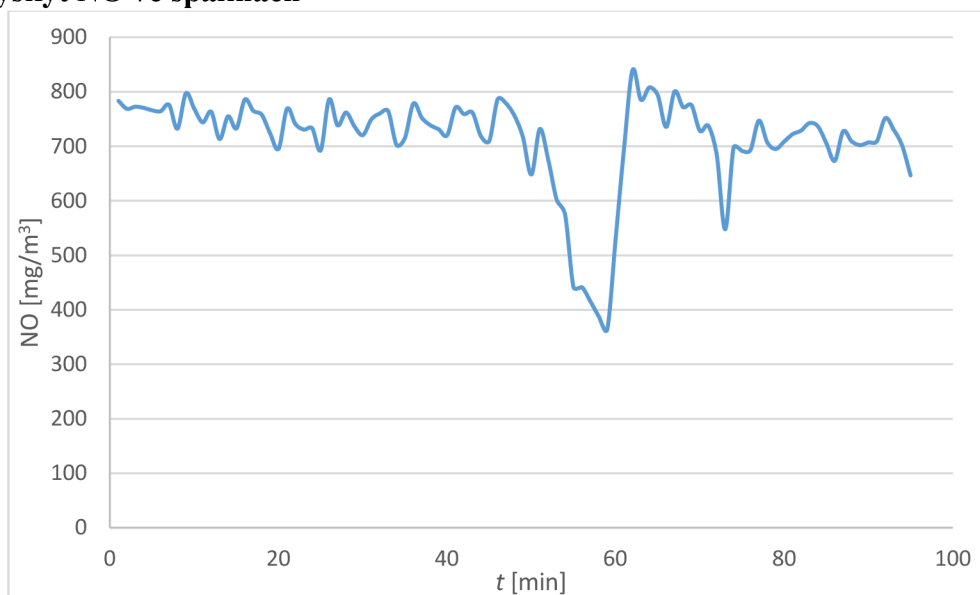
Obr. 16 Graf závislosti množství CO ve spalinách na čase u pelet s průměrem 6 mm



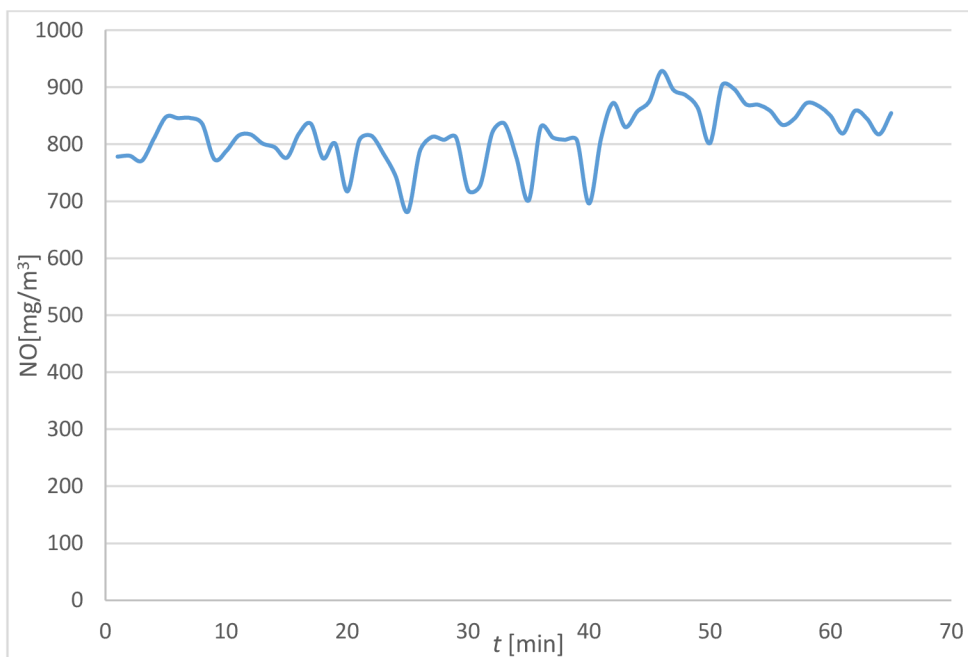
Obr. 17 Graf závislosti množství CO ve spalinách na čase u pelet s průměrem 8 mm

U obr. 16 lze nalézt chvilkové výkyvy, kdy se hodnota CO v jednom případě blížila dokonce k hranici 700 mg/m^3 . To u obr. 17 je průběh mnohem stabilnější a pohybuje se v rozmezí $60 - 160 \text{ mg/m}^3$. Z grafů však nelze jednoznačně určit, který z průměrů bude mít nižší emise, k tomu poslouží až následný přepočet.

6.3 Výskyt NO ve spalinách



Obr. 18 Graf závislosti množství NO ve spalinách na čase u pelet s průměrem 6 mm



Obr. 19 Graf závislosti množství NO ve spalinách na čase u pelet s průměrem 8 mm

U obr. 18 lze vidět, že hodnoty NO pro pelety s průměrem 6 mm se pohybují (až na 2 chvilkové výjimky) v rozmezí 700 – 800 mg/m³. Z obr. 19 lze zaznamenat, že u pelet s průměrem 8 mm je to rozmezí širší a to sice mezi 700 – 900 mg/m³. Pro přesné určení, které z pelet mají nižší emise, opět poslouží přepočít.

6.4 Přepoččet

Dle normy ČSN EN 303-5 se nyní přepočítají hodnoty CO a NO pro oba typy pelet při 10 % O₂

6.4.1 CO

Přepoččet se provádí pomocí vztahu:

$$CO = CO_{průměr} \times \frac{(21 - O_{2norm})}{(21 - O_{2průměr})} \quad (14)$$

CO – Koncentrace CO ve spalinách [mg/m³]

CO_{průměr} – Průměrná hodnota CO při měření [mg/m³]

O_{2norm} – standardizovaná hodnota O₂ (10 %) [%]

O_{2průměr} – Průměrné množství O₂ ve spalinách [%] [35]

Hodnoty pro CO_{průměr} a O_{2průměr} jsou získané z měření. Pro užší pelety to je 146,37 mg/m³ a 8,45 % a pro širší pelety 91,84 mg/m³ a 8,83%.

Pelety s průměrem 6 mm:

$$CO = 146,37 \times \frac{(21 - 10)}{(21 - 8,45)} = 128,29 \text{ mg/m}^3$$

Pelety s průměrem 8 mm:

$$CO = 91,84 \times \frac{(21 - 10)}{(21 - 8,83)} = 83,01 \text{ mg/m}^3$$

6.4.2 NO

Přepoččet pro NO se provádí obdobným vztahem jako CO:

$$NO = NO_{průměr} \times \frac{(21 - O_{2norm})}{(21 - O_{2průměr})} \quad (15)$$

NO – Koncentrace NO ve spalinách [mg/m³]

NO_{průměr} – Průměrná hodnota NO při měření [mg/m³]

O_{2norm} – standardizovaná hodnota O₂ (10 %) [%]

O_{2průměr} – Průměrné množství O₂ ve spalinách [%]

Hodnoty pro $\text{NO}_{\text{průměr}}$ jsou opět získané z měření. Pro užší pelety to je $714,11 \text{ mg/m}^3$ a pro širší $816,68 \text{ mg/m}^3$. Hodnoty pro $\text{O}_{2\text{průměr}}$ jsou stejné jako v předchozím výpočtu.

Pelety s průměrem 6 mm:

$$\text{NO} = 714,11 \times \frac{(21 - 10)}{(21 - 8,45)} = 625,91 \text{ mg/m}^3$$

Pelety s průměrem 8 mm:

$$\text{NO} = 816,68 \times \frac{(21 - 10)}{(21 - 8,83)} = 738,16 \text{ mg/m}^3$$

Tab. 2

	O_2 [%]	CO [mg/m^3]	NO [mg/m^3]
Pelety s průměrem 6 mm	8,45	128,29	625,91
Pelety s průměrem 8 mm	8,83	83,01	738,16
Rozdíl [%]	4,3	35,3	15,2

V tabulce 2 lze vidět jednotlivé hodnoty O_2 , CO a NO pro oba rozdílné průměry pelet a také jejich procentuální rozdíl. Největší rozdíl je v hodnotě oxidu uhelnatého, kde jsou hodnoty pro užší pelety o 35,3 % vyšší než hodnoty pro širší pelety. Tato skutečnost pravděpodobně nastává z toho důvodu, že menší pelety mohou propadávat ze zásobníku ve větším množství, než jaké je nastaveno na ovládacím panelu. Pak v kotli hoří více pelet, než kolik by mělo a kotli chybí potřebný vzduch ke spalování.

Závěr

V první části práce byla vysvětlena výroba biomasových pelet, jejich dodání, vlastnosti a největší přednosti a nedostatky. Dále zde bylo provedeno seznámení s automatickými kotli na pelety, popsání jejich technologie, výčet nejznámějších výrobců a doporučení, jak postupovat při výběru nového kotle.

V druhé části práce byl proveden výpočet účinnosti kotle a následné porovnání emisí CO a NO₂ různých průměrů pelet na základě experimentálního měření.

Experiment proběhl na kotli Verner A251.1. Palivem byly dřevní pelety o průměrech 6 a 8 mm. Po zapálení kotle, naplnění zásobníku a vhodném nastavení na ovládacím panelu začala měřicí soustava v kotelně zapisovat všechny důležité hodnoty a Ultramat Siemens 21 každou minutu zaznamenával koncentraci O₂ a hodnotu CO a NO ve spalinách. První měření s peletami o průměru 6 mm probíhalo 95 minut a po výměně paliva a přenastavení na ovládacím panelu následovalo druhé měření s peletami o průměru 8 mm, které trvalo 65 minut.

Ze získaných hodnot pro pelety o průměru 8 mm byla nepřímou metodou získána hodnota účinnosti kotle 84,18 %. Katalogová hodnota dána výrobcem tohoto kotle je 92 %. Spočítaná účinnost se dá tedy považovat za správný výsledek.

Z hodnot, které naměřil Ultramat byl následně podle normy ČSN EN 303–5 proveden přepočít jak oxidu uhelnatého, tak oxidu dusnatého na standardizovaný obsah kyslíku ve spalinách, který činí 10 %. Z přepočtů lze vidět, že pelety s průměrem 6 mm mají emise CO přibližně o třetinu vyšší než pelety s průměrem 8 mm. Tato skutečnost je nejspíše způsobena tím, že pelety s průměrem 6 mm mohly propadávat ze zásobníku ve větším množství, než jaké množství bylo nastaveno. V tomto případě pak potřebuje kotel ke spálení více kyslíku, než kolik je ho k dispozici. Co se týče přepočtu NO, zde je procentuální rozdíl menší. O méně jak pětinu jsou emise osmimilimetrových pelet vyšší. Z těchto získaných hodnot se dá říci, že pelety s průměrem 8 mm vyšly jako ty lepší. Rozdíl v emisích na NO je procentuálně menší než rozdíl v emisích na CO, které jsou navíc rozhodující.

Seznam použitých symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
A_H	Součinitel přestupu tepla z vnějšího povrchu kotle do okolí	$W/(m^2 \times K)$
CO	Koncentrace CO ve spalinách	mg/m^3
$CO_{\text{průměr}}$	Průměrná hodnota CO při měření	mg/m^3
c_n	Střední měrná kapacita vody	$J/(kg \times K)$
c_p	Střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin	$J/(m^3 \times K)$
m	Hmotnost spáleného paliva	kg
m_{CO}	Hmotnost oxidu uhelnatého ve spalinách	g
M_{CO}	Molární hmotnost oxidu uhelnatého	g/mol
M_n	Množství napájecí vody za čas Δt	kg/s
M_{pv}	Množství přivedeného tepla za čas Δt	kg/s
NO	Koncentrace NO ve spalinách	mg/m^3
$NO_{\text{průměr}}$	Průměrná hodnota NO při měření	mg/m^3
O_{2ref}	Referenční obsah kyslíku ve spalinách	%
O_{2norm}	standardizovaná hodnota O_2	%
O_p	Objem vzniklých spalin spálením 1 kg paliva	m^3/kg
$O_{\text{průměr}}$	Průměrné množství O_2 ve spalinách	%
Q_{Hi}	Výhřevnost hořlavých složek	kJ/m^3
Q_i	Výhřevnost spalovaného paliva	J/kg
Q_{in}	teplo přivedené do kotle v palivu	J/s
Q_{out}	teplo předané teplotnímu médiu	J/s
S_H	Dílčí plocha stěny kotle	m^2
t	Doba měření	s
t_{air}	Teplota vzduchu na vstupu do kotle	$^{\circ}C$
t_i	Teplota povrchu kotle	$^{\circ}C$
t_k	teplota spalin na výstupu z kotle	$^{\circ}C$
t_m	Teplota prostředí	$^{\circ}C$
t_{vs}	vstupní teplota napájecí vody před kotlem	$^{\circ}C$
t_{vy}	výstupní teplota napájecí vody za kotlem	$^{\circ}C$
V_{cel}	Celkový objem spalin	m^3
V_{CO}	Objem oxidu uhelnatého ve spalinách	m^3
V_{ss}	Objem suchých teoretických spalin	m^3/kg
Z_c	Ztráta způsobena únikem hořlaviny v tuhých zbytcích	%
Z_{CO}	Ztráta způsobena únikem plynné hořlaviny ve spalinách	%
Z_f	Ztráta způsobena únikem tepla v tuhých zbytcích	%
Z_i	Celková ztráta	%
Z_k	Ztráta způsobena únikem tepla ve spalinách (tzv. komínová ztráta)	%
Z_{sv}	Ztráta způsobena odevzdáním tepla do okolí (sáláním a vedením)	%
η	Účinnost spalování	%
$\bar{\omega}_i$	Objemový podíl hořlavé složky v suchých spalinách	-

Použité zdroje:

- [1] Pelety. *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/pelety-brikety-drevo/pelety/>
- [2] Světlá peleta. *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0106/010627o3.jpg>
- [3] Tmavá peleta. In: *České stavby* [online]. České Budějovice: Český internet, c2001-2013 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://i.ceskestavby.cz/clanky/odstavce/23386-555687-2_600-shutterstock_31486642.jpg
- [4] Výroba dřevních pelet. *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/pelety-a-brikety/vyroba-drevnich-pelet/>
- [5] Výroba dřevních pelet. In: *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://ceska-peleta.cz/wp-content/uploads/Sch%C3%A9ma-peletovac%C3%AD-linky-na-v%C3%BDrobu-d%C5%99ev%C4%9Bn%C3%BDch-pelet.jpg>
- [6], [8] Doprava pelet. *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/moznosti-vytapeni-peletami/doprava-pelet/>
- [7] Výrobná pelet. In: *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://ceska-peleta.cz/wp-content/uploads/schema-vyroby-pelet.jpg>
- [9] *Typy pelet* [online]. Praha 8-Libeň: CDP IVORY, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.cdp.cz/typy-pelet/>
- [10] Ceny dřevěných pelet. *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/tiskove-zpravy/ceny-drevenych-pelet-se-drzi-nizko-kdo-je-nakoupi-pred-topnou-sezonou-usetri-dalsi-tisice/>
- [11] Výroba a spotřeba pelet v ČR. In: *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0170/017027o7.png>
- [12], [13] Topení peletami. *Avydon* [online]. Ondřejov: Avydon, c2015 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.avydon.cz/topeni-pelety-spotreba>
- [14] Topení peletami. *Ceny energie* [online]. Brno: Tarifomat, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/topeni-peletami-pro-a-proti/#/promo-ele>
- [15], [25] Kotle na pelety. *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/kotle-na-pelety-2>

- [16] Kotel na pelety. *České stavby* [online]. České Budějovice: Český internet, c2001-2013 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/jak-funguje-plne-automaticky-kotel-na-pelety-21573.html>
- [17] Peletová kotelná. In: *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0061/006170o4.jpg>
- [18], [20] Vytápěcí soustavy. *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/6170-peletove-vytapeci-soustavy-pro-rodinne-domy>
- [19] Peletový hořák. In: *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0061/006170o5.jpg>
- [21] Zplyňovací kotle. *Atmos* [online]. Běla pod Bezdězem: Atmos [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/zplynovaci-kotle-s-upravou-pro-horak-na-pelety/>
- [22], [23] Výběr kotle. *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/zpravy-z-tisku/vybirate-kotel-na-pelety-mejte-prehled/>
- [24] Automatické kotle. *Centrum vytápění* [online]. Tábor: Centrum vytápění, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/eshop/automaticke-kotle-na-pelety>
- [26] Propojení systémů. In: *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://ceska-peleta.cz/wp-content/uploads/dum2_uprava_ftp1.jpg
- [27] Verner A251.1. In: *Verner* [online]. Červený Kostelec: Verner, 2008 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.kotle-verner.cz/data/sharedfiles/1717/a251-1-b022-66931-070708.pdf>
- [28], [30] Účinnost kotlů. *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11107-stanoveni-ucinnosti-kotlu>
- [29] Objem spalin. *Emise* [online]. Praha 9 - Kbely: KONEKO marketing, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.emise.cz/clanek/aktualni-podklady/13>
- [31] Náklady. *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/6263-naklady-na-vytapani-drevnimi-peletami>
- [32] Parametry. *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/2120-tepelne-technicke-parametry-plynovych-spotrebicu-i>

[33] Topné plyny. In: *VŠCHT Praha* [online]. Praha 6 – Dejvice: VŠCHT Praha, c2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z:

<https://web.vscht.cz/~hlincikt/Z%C3%A1klady%20zpracov%C3%A1n%C3%AD%20a%20vyu%C5%BEit%C3%AD%20uhl%C3%AD%20a%20plynu/8.pdf>

[34] Graf. In: *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/docu/clanky/0111/011107o36.jpg>

[35] Norma. *Tzbinfo* [online]. Praha 6: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9665-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva-legislativa-v-cr-a-evrope>