



ANALÝZA VPLYVU VLNKOSTI PALIVOVÉHO DREVA NA TEPELNÉ STRATY KOTLA

Ladislav Dzurenda – Adrián Banski

Abstract:

The paper analyses the influence of moisture content of firewood on the heat losses and the thermal efficiency of a boiler. There is presented the mathematical dependence of the standard heat of a boiler for the boundary conditions: rated power $P = 5$ MW, the moisture content of fuel wood $W = 10 \div 50$ %, temperatures of emitted flue gases from the boiler into the atmosphere $t_{sp} = 180$ °C and of the emissions meeting the emission standards: carbon monoxide $EL_{CO} = 250$ mg/m³ and fly ash $EL_{Cf-g-a} = 50$ mg/m³.

The analysis of the impact of fuelwood moisture on heat loss has shown that the greatest heat loss of the boiler is the flue gas loss, which it is an increase of $\Delta\zeta = 5.1$ %. The other heat losses, such as volatile or involatile combustible loss in flue gases or mechanical unburned carbon loss, are in comparison with the flue gas loss much smaller and the impact of fuelwood moisture does not exceed $\Delta\zeta = 0.05$ %.

Increase the value of each heat of the boiler combusting biomass with increasing moisture content has a direct impact on the thermal efficiency of the boiler efficiency and heat

Key words: boiler, firewood, moisture content, combustion, heat loss

ÚVOD

Efektívnosť výroby tepla z biopalív – dendromasy je podľa prác: Golonkov – Koperin – Najdenov (1987), Marutzky – Seeger (1999), Domański et al (2007), Malaťák – Vaculík (2008), Dzurenda – Jandačka (2010), Šooš – Koleják – Urban (2012) je závislá tak od konštrukčného riešenia tepelného generátora, ako aj energetických vlastnostiach palivového dreva a samotnej prevádzky tepelného generátora. Energetické vlastnosti dendromasy sú v rozhodujúcej miere závislé na jej vlhkosti, ktorá negatívne vplyva nielen na základné energetické vlastnosti biomasy, ktorými sú: spalné teplo Q_s a výhrevnosť Q_n , ale aj na proces horenia v kúrenisku: teplotu plameňa, objem vytvorených spalín, teplotu rosného bodu spalín, produkciu emisií. Od konštrukčného riešenie výmenníkovej časti tepelného generátora je závislé využitie tepelného obsahu spalín – miera ochladenia spalín pred ich odvedením do atmosféry a tým veľkosť komínovej straty. V neposlednom rade i od regulácií výkonu kotla a procesu spaľovania paliva. V súčasnosti kotle spaľujúce palivové drevo stredných výkonov dosahujú tepelnú účinnosť $\eta_k = 75 - 85$ % a moderné kotlové jednotky spaľujúce homogenizované biopalivo – drevo s garantovanými energetickými vlastnosťami účinnosť $\eta_k = 92$ %. K štandardným tepelným stratám kotla, podľa prác: Rajniak et al. (1997), Holoubek (2002), Dzurenda – Jandačka (2010), patrí: komínová strata, strata únikom prchavej horľaviny a horľaviny v tuhých zvyškoch tzv. chemický

a mechanický nedopal, strata sálaním a konvekciou tepla z povrchu kotla a prevádzkové straty.

V danom príspevku je vykonaná analýza štandardných tepelných strát a tepelnej účinnosti kotla spaľujúceho palivové drevo pri rôznej vlhkosti, akými sú: komínovú tepelnú stratu, stratu tepla chemickým a mechanickým nedopalom, únikom tepla konvekciou a radiáciou z povrchu kotla pre okrajové podmienky prevádzky pri menovitom výkone $P = 5$ MW: vlhkosť palivového dreva $W = 10 \div 50$ %, teploty emitovaných spalín z kotla do atmosféry $t_{sp} = 180$ °C a emisiách na úrovni hodnôt emisného limitu: oxidu uhoľnatého $EL_{CO} = 250$ mg/m³ a popolčeka $EL_{Cf-g-a} = 50$ mg/m³.

TEPELNÉ STRATY A TEPELNÁ ÚČINNOSŤ KOTLA

Tepelná účinnosť kotla je definovaná ako podiel tepelného výkonu k tepelnému príkonu kotla. Jednou z alternatív jej stanovenia je nepriama metóda t.j. na základe štandardných tepelných strát kotla ξ_i . Matematicky ju popisuje rovnica:

$$\eta_K = \frac{Q_o}{Q_i} = 100 - \sum \xi_i \quad [\%] \quad (1)$$

K štandardným tepelným stratám kotla vyrábajúceho teplo spaľovaním palivového dreva podľa autorov [5, 9, 10] patria tepelné straty:

$$\sum \xi_i = \xi_K + \xi_{CO} + \xi_{Cf-g-a} + \xi_{CA} + \xi_R \quad [\%] \quad (2)$$

kde: ξ_K – strata spôsobená únikom tepla v spaliniách (komínová strata); ξ_{CO} – strata spôsobená únikom prchavej horľaviny v spaliniách (chemický nedopal); ξ_{Cf-g-a} – strata spôsobená únikom neprchanej horľaviny v spaliniách v podobe popolčeka a sadzí; ξ_{CA} – strata spôsobená únikom neprchavej horľaviny v tuhých zvyškoch (mechanický nedopal); ξ_R – strata sálaním a prúdením tepla z povrchu kotla do okolia.

Komínová strata (ξ_K) – je tepelná strata kotla, spôsobená odvádzaním tepla v spaliniách z kotla do atmosféry. Definovaná je ako rozdiel entalpie spalín na výstupe z kotla a entalpie spalín ochladených na teplotu vzduchu v atmosfére k množstvu tepla privedeného v 1 kg paliva. Daná je vzťahom *Rajniak a kol. (1997)*, *Dzurenda – Banski (2015)*:

$$\xi_K = \frac{V_{fg} \cdot c_p \cdot (t_{fg} - t_{fg-e})}{Q_n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

kde: V_{fg} – objem vlhkých spalín vytvorený spálením 1kg palivového dreva, m³/kg; c_p – stredná špecifická tepelná kapacita 1 m³ spalín pri konštantnom tlaku, kJ.m⁻³.K⁻¹; t_{fg} – teplota spalín, °C; t_{fg-e} – teplota spalín ochladených na teplotu spaľovacieho vzduchu, °C; Q_n – výhrevnosť palivového dreva, kJ/kg.

Strata tepla únikom horľaviny v spaliniách – chemický nedopal ($\xi_{CO} + \xi_{Cf-g-a}$) vyjadruje stratu v dôsledku nedokonalého spaľovania prchavej horľaviny biopaliva. Strata súvisí s výskytom: popolčeka a sadzí C_{f-g-a} , oxidu uhoľnatého CO, metánu CH₄ resp. dechtov C_nH_m v spaliniách odvádzaných zo spaľovacieho zariadenia do atmosféry. Najbežnejšie

vyskytujúcou sa a prevádzkovo merateľnou zložkou chemického nedopalu zo spaľovania dendromasy sú emisie popolčiek so sadzami C_{fg-a} , a oxid uhoľnatý CO. Výpočet strát tepla únikom prechavej horľaviny popisujú rovnice:

$$\xi_{CO} = \frac{10\,200 \cdot X_{CO} \cdot V_{fg-d}}{Q_n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

$$\xi_{C_{fg-a}} = \frac{32\,600 \cdot X_{C_{fg-a}} \cdot V_{fg-d}}{Q_n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

kde: X_{CO} – hmotnostná koncentrácia oxidu uhoľnatého (CO) v suchých spaliniách, kg/m^3 ;
 $X_{C_{fg-a}}$ – hmotnostná koncentrácia popolčeka a sadzí v suchých spaliniách, kg/m^3 ; V_{fg} –
objem vlhkých spalín vytvorený spálením 1 kg palivového dreva, m^3/kg ; Q_n –
výhrevnosť palivového dreva, kJ/kg .

Strata tepla únikom horľaviny v tuhých zvyškoch - mechanický nedopal (ξ_C) je spôsobená prepadom tuhej horľaviny (dreveného uhlia) cez rošt do popolnice. Vyskytuje sa len v roštových kúreniskách pri spaľovaní pevného paliva. Veľkosť straty kvantifikuje vzťah:

$$\xi_{CA} = 32600 \cdot \frac{C_A \cdot A^d \left(1 - \frac{W^r}{100}\right)}{Q_n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

kde: C_A – hmotnostný podiel uhlíka v popole, %; A^d – pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v suchom palivovom dreve, %; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %; Q_n – výhrevnosť palivového dreva, kJ/kg .

Strata sálaním a prúdením tepla z povrchu kotla do okolia (ξ_R) závisí od konštrukcie tepelného generátora, hrúbky stien, použitého materiálu izolácií a povrchovej úpravy stien. Na stanovenie tepelnej straty z povrch kotla sálaním a prúdením do okolia sa v praxi používajú nomogramy, alebo empirický vzťah:

$$\xi_R = \frac{4}{100 \cdot \sqrt[3]{P_m}} \cdot \frac{P_m}{P} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

kde: P – výkon kotla, MW; P_m – menovitý výkon kotla, MW.

Algoritmus výpočtov jednotlivých parametrov tepelných strát kotla závislých na chemickom zložení horľaviny C^{daf} , H^{daf} , O^{daf} , N^{daf} , obsahu popolovín v sušine palivového dreva A^d , relatívnej vlhkosti spaľovaného palivového dreva W^r a prebytku spaľovacieho vzduchu λ popisujú nasledovné rovnice:

Objem vlhkých spalín zo spaľovania palivového dreva bilancuje rovnica (8). Výpočet objemu spalín nezohľadňuje nepatrného množstvo vodnej pary privádzané do procesu spaľovania palivového dreva spaľovacím vzduchom.

$$V_{jg} = \left[1,867 \cdot \frac{C^{daf}}{100} + 11,2 \cdot \frac{H^{daf}}{100} + 0,8 \cdot \frac{N^{daf}}{100} + V_{air} \cdot (\lambda - 0,21) \right] \cdot \left[1 - \frac{A^d}{100} \left(1 - \frac{W^r}{100} \right) - \frac{W^r}{100} \right] + 1,24 \cdot \frac{W^r}{100} \quad [m_n^3/kg] \quad (8)$$

kde: C^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie uhlíka v horľavine palivového dreva, %; H^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie vodíka v horľavine palivového dreva, %; N^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie dusíka v horľavine palivového dreva, %; O^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie kyslíka v horľavine palivového dreva, %; V_{air} – stechiometrické množstvo suchého spaľovacieho vzduchu, m^3/kg ; λ – súčiniteľ nadbytku spaľovacieho vzduchu, m^3/m^3 ; A^d – pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v suchom palivovom dreve, %; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %;

Stechiometrický objem vzduchu pre spaľovanie 1 kg palivového dreva:

$$V_{air} = \frac{1}{0,21} \cdot \left[1,87 \cdot \frac{C^{daf}}{100} + 5,6 \cdot \frac{H^{daf}}{100} + 0,8 \cdot \frac{N^{daf}}{100} - 0,7 \cdot \frac{O^{daf}}{100} \right] \quad [m^3/kg] \quad (9)$$

kde: C^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie uhlíka v horľavine palivového dreva, %; H^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie vodíka v horľavine palivového dreva, %; N^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie dusíka v horľavine palivového dreva, %; O^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie kyslíka v horľavine palivového dreva,

Objem suchých spalín vzniknutých spálením 1 kg palivového dreva:

$$V_{jg-d} = \left[1,867 \cdot \frac{C^{daf}}{100} + 0,8 \cdot \frac{N^{daf}}{100} + 0,79 \cdot V_{air} + V_{air} \cdot (\lambda - 1) \right] \cdot \left[1 - \frac{A^d}{100} \left(1 - \frac{W^r}{100} \right) - \frac{W^r}{100} \right] \quad [m^3/kg] \quad (10)$$

kde: C^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie uhlíka v horľavine palivového dreva, %; H^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie vodíka v horľavine palivového dreva, %; N^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie dusíka v horľavine palivového dreva, %; O^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie kyslíka v horľavine palivového dreva, %; V_{air} – stechiometrické množstvo suchého spaľovacieho vzduchu, m^3/kg ; λ – súčiniteľ nadbytku spaľovacieho vzduchu, m^3/m^3 ; A^d – pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v suchom palivovom dreve, %; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %;

Strednú hodnotu špecifickej tepelnej kapacity 1 m_n^3 spalín pri konštantnom tlaku kvantifikuje rovnica:

$$c_p = c_{p-CO_2} \cdot X_{CO_2} + c_{p-O_2} \cdot X_{O_2} + c_{p-N_2} \cdot X_{N_2} + c_{p-H_2O} \cdot X_{H_2O} \quad [kJ \cdot m_n^{-3} \cdot K^{-1}] \quad (11)$$

Tabuľka 1 Hodnoty strednej špecifickej tepelnej kapacity 1 m_n^3 zložiek spalín pri konštantnom tlaku Rajniak a kol. (1997)

Teplota [°C]	c_{p-i} – stredná špecifická tepelná kapacita 1 m_n^3 zložky spalín pri konštantnom tlaku [$\text{kJ} \cdot \text{m}_n^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$]			
	CO_2	O_2	N_2	H_2O
0	1,620	1,306	1,302	1,491
100	1,725	1,319	1,306	1,499
200	1,817	1,336	1,310	1,520
300	1,892	1,357	1,315	1,537
400	1,955	1,382	1,327	1,557
500	2,022	1,403	1,336	1,583
600	2,077	1,419	1,348	1,608

Závislosti špecifických tepelných kapacít 1 m_n^3 jednotlivých zložiek spalín na teplote popisujú rovnice:

$$\text{oxid uhličit} \quad c_{p-\text{CO}_2} = 0,0008 \cdot t + 1,6473 \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}_n^{-3} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (12)$$

$$\text{vodná para} \quad c_{p-\text{H}_2\text{O}} = 10^{-7} \cdot t^2 + 10^{-4} \cdot t + 1,4895 \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}_n^{-3} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (13)$$

$$\text{kyslík} \quad c_{p-\text{O}_2} = 5 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot t + 1,3036 \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}_n^{-3} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (14)$$

$$\text{dusík} \quad c_{p-\text{N}_2} = 9 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot t + 1,3022 \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}_n^{-3} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (15)$$

Objemové podiely jednotlivých zložiek v spalínach z dendromasy možno stanoviť z nasledovných rovníc:

Objemový podiel oxidu uhličitého v spalínach:

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{1,867 \cdot \frac{C^{daf}}{100} \cdot \left[1 - \frac{A^d}{100} \left(1 - \frac{W^r}{100} \right) - \frac{W^r}{100} \right]}{V_{fg}} \quad [-] \quad (16)$$

kde: C^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie uhlíka v horľavine palivového dreva, %; A^d – pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v suchom palivovom dreve, %; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %; V_{fg} – objem vlhkých spalín vytvorených spaľením 1 kg palivového dreva, m^3/kg .

Objemový podiel dusíka v spalínach:

$$X_{\text{N}_2} = \frac{\left(0,8 \cdot \frac{N^{daf}}{100} + 0,79 \cdot V_{air} \cdot \lambda \right) \cdot \left[1 - \frac{A^d}{100} \left(1 - \frac{W^r}{100} \right) - \frac{W^r}{100} \right]}{V_{fg}} \quad [-] \quad (17)$$

kde: N^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie dusíka v horľavine palivového dreva, %; V_{air} – stechiometrické množstvo suchého spaľovacieho vzduchu, m^3/kg ; λ – súčiniteľ

nadbytku spaľovacieho vzduchu, m^3/m^3 ; A^d – pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v suchom palivovom dreve, %; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %; V_{fg} – objem vlhkých spalín vytvorený spálením 1kg palivového dreva, m^3/kg .

Objemový podiel kyslíka v spalinách:

$$X_{O_2} = \frac{0,21 \cdot V_{air} \cdot (\lambda - 1) \cdot \left[1 - \frac{A^d}{100} \left(1 - \frac{W^r}{100} \right) - \frac{W^r}{100} \right]}{V_{fg}} \quad [-] \quad (18)$$

kde: V_{air} – stechiometrické množstvo suchého spaľovacieho vzduchu, m^3/kg ; λ – súčiniteľ nadbytku spaľovacieho vzduchu, m^3/m^3 ; A^d – pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v suchom palivovom dreve, %; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %; V_{fg} – objem vlhkých spalín vytvorený spálením 1kg palivového dreva, m^3/kg .

Objemový podiel vodnej pary v spalinách:

$$X_{H_2O} = \frac{11,2 \cdot \frac{H^{daf}}{100} \cdot \left[1 - \frac{A^d}{100} \left(1 - \frac{W^r}{100} \right) - \frac{W^r}{100} \right] + 1,24 \cdot \frac{W^r}{100}}{V_{fg}} \quad [-] \quad (19)$$

kde: H^{daf} – pomerné hmotnostné zastúpenie vodíka v horľavine palivového dreva, %; A^d – pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v suchom palivovom dreve, %; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %; V_{fg} – objem vlhkých spalín vytvorený spálením 1kg palivového dreva, m^3/kg .

Výhrevnosť biomasy v závislosti na vlhkosti, je autormi [12, 13, 14] kvantifikovaná matematickým vzťahom:

$$Q_n = Q_{n,d} \left(1 - \frac{W^r}{100} \right) - 2433 \cdot \frac{W^r}{100} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (20)$$

kde: $Q_{n,d}$ – výhrevnosť palivového dreva v suchom stave, kJ/kg ; W^r – relatívna vlhkosť palivového dreva, %;

Pre zefektívnenie prác pre analyzovania vplyvu vlhkosti palivového dreva na efektívnosť prevádzky kotla bol v software EXCEL vypracovaný program - formou výpočtovej tabuľky, ktorý na základe vstupných dát: C^{daf} , H^{daf} , O^{daf} , N^{daf} - chemické zloženie horľaviny palivového dreva, W – relatívna vlhkosť palivového dreva, A^d popolnatosť palivového dreva, λ – prebytok spaľovacieho vzduchu, t_e - teplota vzduchu v atmosfére, t_{fg} – teplota spalín na výstupe z kotla, X_{CA} – podiel uhlíka v popole, X_{CO} – hmotnostná koncentrácia oxidu uhoľnatého (CO) a $X_{C_{fg-a}}$ – hmotnostná koncentrácia popolčeka a sadzí v suchých spalinách poskytuje informáciu ako o tepelnej účinnosti kotla, tak i veľkosti jednotlivých tepelných strát kotla.

VPLYV VLHKOSTI PALIVOVÉHO DREVA NA TEPELNÉ STRATY A TEPELNÚ ÚČINNOSŤ KOTLA

Aplikácia daného matematického modelu vplyvu vlhkosti palivového dreva na tepelné straty kotla a tepelnú účinnosť je vykonaná pre palivové drevo s chemickým zložením horľaviny: $C^{\text{daf}} = 0,5 \pm 0,01$ [kg/kg], $H^{\text{daf}} = 0,06 \pm 0,001$ [kg/kg], $O^{\text{daf}} = 0,44 \pm 0,03$ [kg/kg], obsahu popolovín v dreve $A^d = 0,01$ [kg/kg].

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty jednotlivých tepelných strát kotla spaľujúceho palivové drevo s vlhkosťami: $W^r = 10 - 50$ %, pri prebytku spaľovacieho vzduchu $\lambda = 2,1$ s priemernou teplotou spaľovacieho vzduchu privádzaného do kúreniska kotla $t_{vz} = 10$ °C a teploty spalín na výstupe z tepelného generátora $t_{sp} = 180$ °C, pri menovitom tepelnom výkone $N = 5$ MW a neprekračovaní hodnôt emisných limitov.

Tabuľka 2 Tepelné straty kotla pre vlhkosť spaľovaného dreva $W^r = 10 - 50$ % a teplotu spalín emitovaných do ovzdušia $t_{fg} = 180$ °C

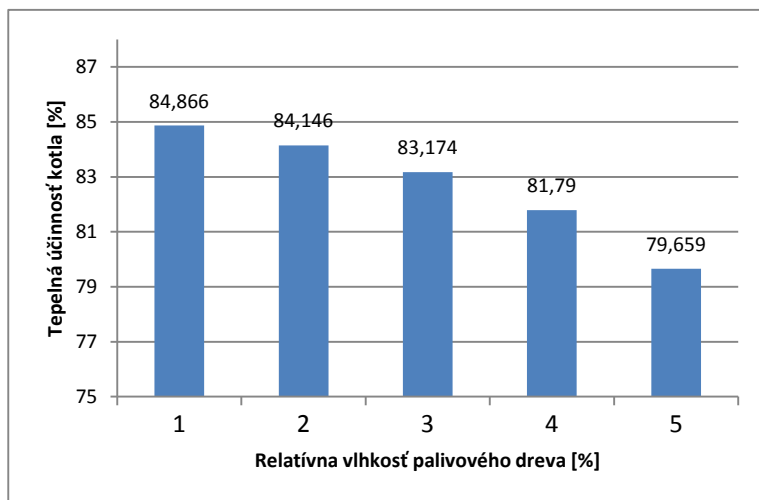
Parameter	Tepelné straty kotla [%]				
Teplota spalín t_{fg} [°C]	$t_{fg} = 180$ °C				
Relatívna vlhkosť W^r [%]	10 %	20%	30 %	40 %	50 %
Komínová tepelná strata (ζ_K)	12,285	12,994	13,952	15,315	17,413
Strata tepla únikom prchavej horľaviny v spalínach (ζ_{CO})	0,136	0,139	0,143	0,148	0,157
Strata tepla únikom neprchavej horľaviny v spalínach ($\zeta_{C_{fg-a}}$)	0,174	0,178	0,183	0,190	0,201
Strata tepla únikom neprchavej horľaviny v popole (ζ_{CA})	0,183	0,187	0,192	0,199	0,211
Strata tepla prúdením a sálaním z porchu kotla (ζ_R)	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340

Z analýzy vplyvu vlhkosti palivového dreva na veľkosť tepelných strát plynie, že najväčšou tepelnou stratou kotla je komínová strata. Vplyvom vlhkosti palivového dreva narastá tepelná strata z hodnoty $\zeta_{K-10\%} = 12,3$ % na hodnotu $\zeta_{K-50} = 17,4$ % t.j. o $\Delta\zeta = 5,1$ %. Ostatné tepelné straty ako únik prchavej či neprchavej horľaviny v spalínach či mechanický nedopal sú v porovnaní s komínou stratou neporovnateľne menšie a vplyv vlhkosti palivového dreva nepresahuje hodnotu $\Delta\zeta = 0,03$ %.

Vzrast hodnôt jednotlivých tepelných strát kotla spaľujúceho palivové drevo so vzrastajúcou vlhkosťou má bezprostredný vplyv na pokles tepelnú účinnosť kotla a efektívnosť výroby tepla. Vplyv vlhkosti palivového dreva na tepelnú účinnosť kotla pri daných prevádzkových podmienkach zobrazuje obr. 1.

Kým pri daných prevádzkových podmienkach a spaľovaní palivového dreva s vlhkosťou $W^r = 10$ % kotol dosahuje tepelnú účinnosť $\eta_{K-10\%} = 84,8$ %, tak pri tých istých prevádzkových podmienkach spaľovaním palivového dreva s vlhkosťou $W^r = 50$ % dosahuje tepelnú účinnosť $\eta_{K-50\%} = 79,6$ %. Priemerný pokles tepelnej účinnosti kotla spĺňajúceho kritéria (BAT) $\Delta\eta_K = 1,3$ % pri zvýšení vlhkosti spaľovaného dreva o $\Delta W^r = 10$ % je vážnym argumentom pre znižovanie vlhkosti spaľovaného palivového dreva a využívanie ekonomicky efektívnych foriem predsúšania a sušenia palivového dreva. Vhodnými technológiami ako uvádzajú práce: Jandačka – Nalcho – Mikulík (2007),

Dzurenda – Banski – Šustek (2015), Nosek – Holubčík (2016) pre tento účel v Strednej Európe



Obr. 1 Závislosť tepelnej účinnosti kotla na vlhkosti spaľovaného dreva

je tak prirodzené sušenie poľného palivového dreva na prekrytých skladoch ako aj teplovzdušné sušenie.

Znižovanie vlhkosti palivového dreva pred jeho spaľovaním neprispieva len k zvyšovaniu tepelnej účinnosti a efektívnosti výroby tepla, ale má i environmentálne dopady vo forme znižovania tepelnej záťaže atmosféry emitovaným teplom vodnej pary v spalínach *Dzurenda (2016)*.

ZÁVER

V príspevku je analyzovaný vplyv vlhkosti palivového dreva na tepelné straty a tepelnú účinnosť kotla pre okrajové podmienky prevádzky: vlhkosť spaľovaného palivového dreva $W^r = 10 \div 50 \%$, teplotu emitovaných spalín z kotla do atmosféry $t_{sp} = 180 \text{ °C}$ pri menovitom výkone 5 MW a emisiách na úrovni hodnôt emisného limitu: oxidu uhoľnatého $EL_{CO} = 250 \text{ mg/m}^3$ a popolčeka $EL_{Cjg-a} = 50 \text{ mg/m}^3$.

Z vykonaných analýz vyplýva, že vlhkosti palivového dreva má najväčší vplyv na veľkosť komínovej straty kotla, ktorej vzrast je o $\Delta\zeta = 5,1 \%$. Ostatné tepelné straty ako únik prchavej či neprchavej horľaviny v spalínach či mechanický nedopal sú v porovnaní s komínou stratou neporovnateľne menšie a vplyv vlhkosti palivového dreva nepresahuje hodnotu $\Delta\zeta = 0,03 \%$.

Vzrast hodnôt tepelných strát kotla vplyvom vlhkosti spaľovaného palivového dreva má bezprostredný negatívny vplyv na tepelnú účinnosť kotla. Zvýšenie vlhkosti palivového dreva o $\Delta W^r = 10 \%$ spôsobuje pokles tepelnej účinnosti o $\eta_K = 1,3 \%$.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantového projektu: KEGA–SR No: 006TU Z-4/2014, ako výsledok práce autora a výraznej pomoci agentúry KEGA–SR.

LITERATÚRA

1. GOLONKOV S.I., KOPERIN I.F., NAJĐENOV V.I.: Energetičeskoe ipol'zovanie drevesnych otchodov. Moskva: Lesnaja promyšlennost'. 1987. 220 s.
2. MARUTZKY, R., SEEGER K.: *Energie aus Holz und anderer Biomasse*. DRD – Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinfelden-Echterdingen. 1999. 430 s.
3. DOMANSKI, M., DZURENDA, L., JABLONSKI, M., OSIPIUK, J.: *Drewno jako material energetyczny*. SGGW Warszawa, 2007, 131 s.
4. MALAŤÁK J., VACULÍK P.: *Biomasa pro výrobu energie*. CZU: Praha, 2008, 206 s.
5. DZURENDA L., JANDAČKA J.: *Energetické využitie dendromasy*. Zvolen: TU Zvolen, 2010, 162 s.
6. ŠOOŠ, E., KOLEJÁK, M., URBAN, F.: *Biomasa – obnoviteľný zdroj energie*. Bratislava: VERT, 2012, 162 s.
7. RAJNIAK I. a kol.: *Tepelno-energetické a emisné merania*. Bratislava: Ister Science, 1997, 481 s.
8. HOLOUBEK D.: *Spaľovacie zariadenia, výmenníky tepla a kotly*. Košice: ARS LITERA, 2002. 215 s.
9. DZURENDA, L., BANSKI, A.: *Dependence of the boiler flue gas losses on humidity of woody biomass*. In: Archives of Thermodynamics, 2015, 36(4): 77-86.
10. JANDAČKA J., MALCHO M., MIKULÍK M.: *Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy*. Žilina: GEORG. 2007. 222 s.
11. DZURENDA L., BANSKI A., ŠUSTEK J.: *Dendromasa - biopalivo pre výrobu tepla a elektrickej energie*. Zvolen: TU Zvolen, 2015. 171 s.
12. NOSEK, R., HOLUBČÍK, M.: *Energetické vlastnosti vzduchosuchého palivového dreva*. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 2016, 58 (1):105-112.
13. DZURENDA, L.: *Model of heat load on the atmosphere by flue gases*. In: Manufacturing Technology, 2015, 15(5):804-808.