

Ing. Zdeněk LYČKA
LING Krnov s.r.o.

Reálné náklady na vytápění dřevními peletami

Realistic Costs for Wooden Pellets Heating

Recenzent
Ing. Petr Šerks

Příspěvek přibližuje reálné náklady na vytápění menších objektů dřevními peletami, ve vztahu k bilančním výpočtům. Autor vychází ze stanovení reálné výhřevnosti dřevních pelet, na rozboru jednotlivých složek celkové ztráty kotle definuje skutečně dosažitelnou provozní účinnost peletového kotle a uvádí, jakým způsobem může jednotlivé ztráty (komínová, plynný nedopal, mechanický nedopal, sálání) ovlivnit samotná obsluha kotle. U běžného rodinného domku s roční potřebou tepla 80 GJ tak lze spálit až o 25 % více pelet, než by napovídala bilanční výpočet stanovený na základě „tabulkových“ předpokladů.

Klíčová slova: Dřevní pelety, peletový kotel, výhřevnost dřevních pelet, celková účinnost peletového kotle

The author draws near the realistic costs for heating smaller buildings with wooden pellets in the relation to balance calculations, in his contribution. The author comes out of the determination of the realistic heating value of wooden pellets and specifies the realistically achievable operation efficiency of the pellet boiler in accordance with the analysis of individual components affecting the total loss of the boiler and specifies methods of how the boiler operators themselves may affect individual losses (stack loss, gaseous waste loss, mechanical waste loss, radiation loss). There can be burnt up to 25% pellets more in a standard family house with an annual heat consumption of 80 GJ than a balance calculation determined on the basis of "a chart" assumptions would suggest.

Key words: wooden pellets, pellet boiler, heating value of wooden pellets, total efficiency of pellet boiler

ÚVOD

Stále častěji se uživatelé peletových kotlů setkávají s problémem, že jejich reálné náklady na vytápění se někdy i dosti podstatně liší od nákladů, které vycházejí z běžného bilančního výpočtu. Řeší, kdo je podvedl, zda dodavatel nekvalitních málo výhřevných pelet, nebo výrobce kotle. Zpravidla si nepřipouštějí, že chyba může být také na jejich straně.

Ale jaká je tedy realita? Pravdou je, že většina výrobců pelet stále udává výhřevnosti, které se stanovují laboratorně pro zcela vysušenou hmotu a reálná výhřevnost pelety s vlhkostí 8 % je znatelně nižší. A konají tak i přesto, že nová evropská norma [2] takto deklarovat výhřevnost již nedovoluje. Pravdou je, že účinnosti kotlů udávané výrobci jsou určovány při certifikaci v provozních podmínkách, kterých v běžném provozu nelze nikdy dosáhnout. Rovněž špatně zapojený a provozovaný kotel může pracovat s až o 10 % nižší účinností oproti reálným možnostem.

VÝHŘEVNOST DŘEVNÍCH PELET

Drtivá většina výrobců a „propagátorů“ pelet uvádí, že kvalitní dřevní peleta má výhřevnost srovnatelnou (i vyšší) s hnědým uhlím, tedy někde mezi 18,5 až 19 MJ/kg. Tyto hodnoty se často bohužel objevují také v „odborné“ literatuře a vycházejí z nich i mnohé programy pro realizaci bilančních výpočtů ve vytápění. Ovšem tyto hodnoty nemají nic společného s reálnou výhřevností konkrétní pelety. Skutečná výhřevnost konkrétní pelety je závislá jednak na kvalitě zdroje suroviny, ze které je vyrobená, jednak na obsahu vody v ní (se vzrůstající vlhkostí výhřevnost klesá). Při laboratorním určování vlastností dřevních pelet se stanovují dva druhy výhřevností.

- Výhřevnost suchého vzorku q (MJ/kg), která v podstatě definuje absolutní kalorickou hodnotu paliva danou pouze jeho prvkovým složením (podílem jednotlivých hořavin) bez započtení energie výparného tepla. Jak z názvu vyplývá, je to výhřevnost stanovená pro zcela „vysušenou“ surovinu a její velikost pak vypovídá o kvalitě zdroje, ze kterého je peleta vyrobena.
- Výhřevnost v původním stavu Q (MJ/kg) definuje kalorickou hodnotu paliva se zahrnutím jeho reálného stavu (tedy s ohledem na obsah vody v palivu a energii potřebnou na její odstranění).

Před zavedením jednotných evropských norem pro tuhá biopaliva [1] byla certifikace pelet v Rakousku a Německu realizována podle národních norem ÖNORM M 7135, DIN 51731 (resp. DIN plus). Ty požadovaly při deklaraci vlastností pelet na certifikátech a obalech uvádět výhřevnost suchého vzorku q . Byla tak sice deklarována kvalita suroviny bez ohledu na její vlhkost, v běžné praxi pak ale bylo při bilančních výpočtech nutné přepočítávat reálnou výhřevnost Q podle vlhkosti paliva. Bohužel velká část obchodníků s peletami i odborné veřejnosti zabývající se bilančními výpočty tuto skutečnost nevzala na vědomí, a proto se obě výhřevnosti, tedy výhřevnost suchého vzorku q a výhřevnost v původním stavu Q běžně zaměňují. A u nás se tak děje i přes to, že nová evropská norma, platná speciálně pro dřevní pelety [2], to již neumožňuje.

A jaká je tedy reálná výhřevnost dřevních pelet běžně dostupných na našem trhu? Pro běžnou dřevní biomasu ji lze podle [4] při známé vlhkosti paliva stanovit s velkou přesností ($\pm 1\%$) ze vztahu

$$Q = 18,7 - 0,2M \quad [\text{MJ/kg}] \quad (1)$$

a při průměrném obsahu vody u běžných pelet $M = 8\%$ se tedy dostaneme k hodnotě výhřevnosti

$$Q = 18,7 - 0,2 \cdot 8 = 17,1 \quad [\text{MJ/kg}]$$

ÚČINNOST PELETOVÝCH KOTLŮ

Pro provedení správného bilančního výpočtu spotřeby paliva je důležité stanovení reálné provozní účinnosti zdroje tepla, tedy v našem případě peletového kotle. Zde je nutné zdůraznit, že hovoříme o účinnosti zdroje a nikoliv účinnosti spalování, neboť je v tom velký rozdíl. Obecně lze účinnost stanovit dvěma způsoby.

- Přímou metodou, při které je nutné za prvé znát přesně výhřevnost a hmotnostní tok paliva, ze kterých se stanoví tepelný příkon, a za druhé je nutné přesně měřit tepelný výkon předávaný teplosměnné látce. Tato metoda se používá při certifikaci, tedy za přesně definovaných a při zkoušce udržovaných provozních podmínek a je uváděna v technické dokumentaci kotlů.

□ Nepřímou metodou, kdy se pomocným měřením složení spalin, rozbořem popela a měřením povrchových teplot, výpočtem stanoví jednotlivé ztráty a z nich se stanoví celková účinnost kotle. Pro stanovení účinnosti touto metodou je nutné znát spoustu parametrů, které jsou za běžného provozu prakticky nezjistitelné. V článku je naznačeno, jak by se za použití běžného analyzátoru spalin daly alespoň přibližně stanovit jednotlivé ztráty mimo laboratoř a zjistit, jaká je „udržitelná“ hranice účinnosti, tedy maximální reálně dosažitelná účinnost za předpokladu, že kotel ještě nepracuje v kondenzačním režimu. Takovýto zjednodušený postup výpočtu má zvláště u spalování dřevních pelet poměrně velkou vypovídací hodnotu. Jako palivo jsou pelety poměrně „čitelné“, neboť mají dobře odhadnutelné parametry. Navíc peletové kotle jsou velice sofistikovaná spalovací zařízení se stabilním průběhem spalování, takže i míru emisí z nich lze s velkou přesností odhadnout.

Jednotlivé ztráty stanovené nepřímou metodou

Celkovou účinnost kotle stanovenou nepřímou metodou se zahrnutím jednotlivých ztrát získáme ze vztahu

$$\eta = 100 - q_A - q_B - q_C - q_D \quad [\%] \quad (2)$$

Poměrná ztráta citelným teplem spalin q_A

Jinak také kominová ztráta, je běžnými analyzátoři spalin vypočítávána podle Siebertova vzorce:

$$q_A = (T_s - T_v) \left(\frac{A}{21 - O_2} + B \right) \quad [\%] \quad (3)$$

kde jsou T_s teplota spalin a T_v teplota prostředí (spalovacího vzduchu), O_2 naměřená a CO_2 přepočtená objemová koncentrace těchto plynů ve spalinách v procentech, A a B konstanty, které pro dřevní hmotu mají hodnoty $A = 0,7$ a $B = 0,01$.

Pokusme se určit minimální teoretickou hranici této ztráty. Pokud chceme najít hranici špičkového peletové kotle, pak uvažujeme limitní hodnotu přebytku vzduchu ve spalinách $n = 1,3$, tedy s koncentrací $O_2 \approx 4,8 \%$. Podle [3] je mezní teplotou spalin, při které ještě nedochází k jejich kondenzaci v komině, teplota při jmenovitém výkonu $160 \text{ }^\circ\text{C}$ nad teplotou prostředí, tedy pro uvažovanou teplotu vzduchu $15 \text{ }^\circ\text{C}$ je to teplota spalin přibližně $175 \text{ }^\circ\text{C}$. Pokud je při certifikaci při jmenovitém výkonu naměřena teplota spalin nižší, musí výrobce podle normy v průvodní dokumentaci uvést doporučení pro instalaci kouřovodu, která zajistí dostatečný tah a zabrání vzniku kondenzátu a sazení v celém kominu. V normě citovaná limitní teplota spalin $160 \text{ }^\circ\text{C}$ nad teplotou prostředí je univerzální hodnotou pro tuhá paliva. Rozhodující je hodnota teploty rosného bodu spalin, která je závislá na kvalitě spalovacího procesu a složení paliva. Zvláště síra v palivu tuto hodnotu navyšuje. U uhlí může být teplota rosného bodu až $120 \text{ }^\circ\text{C}$, u dřeva je to přibližně $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Podle [5] je limitní hodnotou pro „nekondenzační“ peletový kotel teplota spalin $145 \text{ }^\circ\text{C}$. Při této teplotě tedy je u většiny kominů jistota, že v jeho ústí (výstupu) nedochází ke kondenzaci spalin. Uvažujme tedy ideální provozní stav a teplotu spalin na hranici kondenzace, pak lze odvodit mezní hodnotu kominové ztráty

$$q_A = (145 - 15) \left(\frac{0,7}{21 - 4,8} + 0,01 \right) = 6,9 \quad [\%]$$

Jak již z „pomocného“ názvu kominová ztráta vyplývá, její velikost je závislá především na teplotě spalin vycházejících ze zdroje tepla. Tuto teplotu může ovlivnit konstruktér nadimenzováním tělesa výměníku, ale významně také uživatel pravidelným čištěním teplosměnných ploch. Závisí také na množství přebytku kyslíku ve spalinách, tedy kvalitě seřízení spalovacího procesu či používáním vhodného paliva. Při běžném přebytku $n = 1,7$

lze podle [5] počítat se změnou kominové ztráty o $0,66 \%$ při změně teploty spalin o $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Při špatně navrženém kominu (velký tah) či nevyčištěném výměníku se může teplota spalin navýšit i o několik desítek stupňů (uvažujme například $170 \text{ }^\circ\text{C}$). Při použití nevhodného paliva či špatně seřízeném hořáku dosahuje běžně hodnota O_2 ve spalinách 11% ($n = 2,1$). Po dosažení těchto hodnot do rovnice (3) zjistíme, že se kominová ztráta může zvýšit v nevhodných provozních podmínkách až na $12,4 \%$, což je navýšení oproti ideálnímu stavu o $5,5 \%$. V běžné praxi se bohužel i u sofistikovaných kotlů setkáváme velice často s hodnotami ještě vyššími!

Poměrná ztráta plynným nedopalem q_B

Velikost této ztráty je závislá na množství nespálené hořlaviny ve spalinách. V biomase je rozhodující spalitelnou složkou uhlík, proto je velikost plynného nedopalu závislá především na koncentraci CO (míra koncentrace CO ve spalinách udává míru „nevyhoření“ uhlíku na CO_2). Špičkové kotle pracují v ideálních podmínkách s emisemi CO pod hranicí 100 ppm , tedy $0,01 \%$. Podle [5] platí pro ztrátu plynným nedopalem a peletu s běžnou výhřevností $17,1 \text{ MJ/kg}$ s velkou přesností upravený vztah (pokud reálně předpokládáme dokonalé vyhoření vodíku)

$$q_B = 64 \frac{CO}{CO_2 + CO} \quad [\%] \quad (4)$$

a pro špičkové parametry $n = 1,3$ (tedy $CO_2 = 15,4 \%$) a $CO = 0,01 \%$

$$q_B = 64 \frac{0,01}{15,4 + 0,01} = 0,04 \quad [\%]$$

Průměrné provozní hodnoty se však často opět pohybují v jiných číslech. Výrazné navýšení ztrát plynným nedopalem způsobí špatně seřízený hořák pro dané palivo. Při certifikaci většina výrobců používá čisté smrkové pelety s minimálním obsahem popelovin. Ovšem při použití tzv. katrových pelet s příměsí kůry se spalovací proces výrazně změní. Až $5\times$ vyšší obsah popelovin s nižší teplotou tavení způsobuje u většiny typů hořáků postupné zanášení roštu, což má za následek omezování přístupu spalovacího vzduchu k základní vrstvě paliva a radikální změnu spalovacího procesu. Prchavá hořlavina nedostatečně vyhořívá na CO_2 (jeho koncentrace se snižuje běžně na 8% a méně) a naopak se radikálně zvyšuje koncentrace CO ve spalinách ($0,1$ až $0,2 \%$). V těchto případech dosahují ztráty plynným nedopalem hodnot $1,5 \%$ a více.

Poměrná ztráta mechanickým nedopalem q_C

Poměrná ztráta mechanickým nedopalem se stanovuje na základě rozboru popelovin. Velikost této ztráty udává poměr mezi hmotnostním podílem uhlíku v pevných zbytcích spalování (vztažený na jednotku paliva) a výhřevností paliva. Tedy zjednodušeně na množství nevyhořelého uhlíku v popelovinách. U dřevní biomasy tvoří rozhodující podíl hořlaviny její prchavá část (nad 80% z celkového množství hořlaviny), proto je u „biomasových“ kotlů nové generace ztráta mechanickým nedopalem minimální. Ovšem opět záleží na seřízení kotle a volbě vhodného paliva. Zjednodušeně lze „odhadnout“ velikost této ztráty pohledem na popel. Pokud v popelu převažují zuhelnatělé černé pelety (popeloviny drží tvar pelet), dosahuje ztráta velikosti zhruba 4 až 8% . U tmavého popele s občasnými kousky černých pelet je ztráta v rozmezí 1 až 2% a u jemného světlého popílku je to do $0,5 \%$. Větší mechanický nedopal je zpravidla způsoben opět špatným seřízením hořáku a volbou nevhodného paliva.

Poměrná ztráta sdílením tepla do okolí q_D

Velikost této ztráty se stanovuje z poměru tepla uvolněného povrchem kotle k tepelnému příkonu. Závisí tedy na povrchové teplotě jednotlivých ploch. Vzhledem k tomu, že povrchová teplota konkrétního kotle se snižuje úměrně s jeho výkonem (tedy i příkonem), je při provozu na snížený

výkon ztráta sdílením tepla do okolí vyšší než při výkonu jmenovitém. Zvláště výrazně se to projeví za běžného provozu například v případě, kdy kotel přejde z provozu na vysoký výkon do tzv. útlumového režimu. Tedy buď se jeho výkon výrazně sníží, nebo se na čas úplně odstaví. Povrch kotlového tělesa je provozem na vysoký výkon „vyhřátý“ a jeho teplota se snižuje poměrně pomalu. Ale příkon v palivu se razantně sníží, tedy ztráta sdílením tepla do okolí se i několikanásobně zvýší.

Naproti tomu se ale výrazně sníží velikost ztráty citelným teplem spalin, takže celková ztráta je přibližně stejná. Takže snižování výkonu kotle (ve vztahu k výkonu jmenovitému) znamená snižování teploty spalin a tedy i komínové ztráty, a naopak zvyšování ztráty sáláním povrchu kotle. Kvalitně z izolovaný peletový kotel vykazuje při ustáleném provozu na jmenovitý výkon ztrátu sdílením tepla do okolí q_D na hranici 2 % a u špičkově izolovaného kotle se tato ztráta pohybuje do 1 %.

CELKOVÁ ÚČINNOST PELETOVÉHO KOTLE

Ideální provozní podmínky

Pro moderní peletový kotel, který „pracuje“ na hranici kondenzace spalin, a který je provozován za ideálních provozních podmínek lze tedy orientačně po dosažení do rovnice (2) stanovit horní hranici účinnosti

$$\eta = 100 - 6,9 - 0,04 - 0,2 - 1 = 91,86 \quad [\%]$$

Další zvyšování účinnosti lze provést pouze na úkor snižování teploty spalin pod kritickou hranici (již víme, že snížení „komínové“ teploty o 10 °C znamená zvýšení účinnosti pouze o 0,6 až 0,7 %). Takový zásah vyvolá nutnost úpravy komína na kondenzační provoz a především nutnost zajištění nuceného odtahu spalin do komína odtahovým ventilátorem a tedy i jemu odpovídající spotřebu elektrické energie.

Běžné provozní podmínky

Ideálního provozního stavu lze docílit prakticky pouze při certifikaci v laboratorních podmínkách. Výměník je ideálně vyčištěný, komín má konstantní tah v ideálním rozmezí (u většiny peletových kotlů by neměl přesáhnout 20 Pa), kotel spaluje několik hodin nepřetržitě v ideálním režimu, bez cyklování (zapínání a vypínání). To vše za podmínky, že vyzdívkou kotle je dokonale nahřátá, na roštu hořáku je stálá základní vrstva paliva a obsluha kotel seřídila podle zjištěné koncentrace spalin na analyzátoru a je použito palivo nejvyšší kvality, takže nedochází k zanášení a zapékání spalovací komory hořáku. V reálném provozu se lze těmto podmínkám přiblížit zapojením kotle do topného systému s akumulací nádrží, pravidelným servisem a používáním kvalitního paliva. V tomto případě lze uvažovat se snížením celkové účinnosti o 2 až 4 % oproti účinnosti deklarované výrobcem.

Ovšem v reálném provozu může být (a zpravidla také bývá) vše jinak. Funkční akumulací provoz je bohužel doposud výjimkou. Nicméně o tomto problému se relativně ví a občas je vidět snaha jej řešit. Daleko větším problémem je napojení na komín. Správný odvod spalin má zásadní vliv na kvalitu spalovacího procesu. Pokud není zajištěn dostatečný komínový tah, dochází k „přepřehřování“ spalovací komory spalinami a výrazně je tak narušen celý spalovací proces. Radikálně se zvyšují hodnoty jinak nevýrazných ztrát plynným a mechanickým nedopalem. Nedostatečný tah způsobí nevyčištěný komín, a také špatně nadimenzovaný komín. Pokud je výrobcem deklarovaná teplota spalin při jmenovitém výkonu pod hranicí 140 °C, je nutné počítat s tím, že v běžných provozních podmínkách se bude pohybovat okolo hranice 100 °C.

Pokud k tomu kotel často zapíná a vypíná (není akumulace), je u běžného komína prakticky nemožné docílit jeho prohřátí a dosažení optimálního tahu. Navíc se díky kondenzaci spalin komínový průduch rychle za-

nášá a je nutné věnovat velkou pozornost jeho čištění. Naopak velký tah komína způsobuje zvýšení teploty spalin. Pokud při tahu 20 Pa jsou teploty například 160 °C, při tahu 35 Pa (což „zvládne“ běžný komín) se navýší o 40 až 60 °C a tím se navýší i komínová ztráta. Stejný důsledek má nevyčištěný výměník.

Pokud k tomu všemu přičteme spalování pelet „nevalné“ kvality, špatné seřízení a nastavení výkonu, absence běžné údržby, pak i špičkový kotel může pracovat s velice nízkou celkovou účinností. Dosadíme-li do rovnice (2) ztráty „dosažitelné“ v běžných provozních podmínkách, dopracujeme se k hodnotě celkové účinnosti

$$\eta = 100 - 12,4 - 1,5 - 4 - 1 = 81,1 \quad [\%]$$

a z vlastní praxe bohužel vím, že většina u nás provozovaných peletových kotlů se dosahovanou provozní účinností blíží spíše této hranici než účinnosti deklarované výrobcem.

ZÁVĚR

Pokusme se tedy stanovit roční spotřebu pelet m [t] pro vytápění objektu o roční potřebě tepla $Q_{vyt} = 80$ GJ. Pokud budeme brát v úvahu hodnoty uváděné výrobcem, tedy výhřevnost pelet $Q_{MJ} = 18,5$ MJ/kg a účinnost kotle $\zeta = 92$ %, pak z doposud běžně zaužívaného bilančního výpočtu získáme hodnotu

$$m = \frac{Q_{vyt}}{Q_{MJ} \cdot \eta} \cdot 100 = \frac{80}{18,5 \cdot 92} \cdot 100 = 4,7 \quad [t] \quad (5)$$

Při použití reálné výhřevnosti pelet $Q_{MJ} = 17,1$ MJ/kg a běžně „dosažitelné“ provozní účinnosti $\zeta = 82$ % pak získáme hodnotu

$$m = \frac{Q_{vyt}}{Q_{MJ} \cdot \eta} \cdot 100 = \frac{80}{17,1 \cdot 82} \cdot 100 = 5,7 \quad [t]$$

Pokud bychom chtěli hovořit o reálných provozních nákladech, měli bychom započítat minimálně také spotřebu elektrické energie, zvláště u kotlů s elektrickým zapalováním. Pokud je kotel provozován s akumulací nádrží, celkovou účinnost to podle [5] sníží o necelé 1 % a vliv spotřeby elektrické energie je relativně zanedbatelný.

Ovšem pokud je kotel provozován bez akumulace (i několikrát za hodinu se spouští zapalování o příkonu často 1,5 kW), pak při současných cenách elektřiny je to znát i na celkových provozních nákladech. Ovšem to je téma nad rámec tohoto příspěvku.

Kontakt na autora: ling.krnov@centrum.cz

Použité zdroje:

- [1] ČSN EN 14 588 Tuhá biopaliva – Terminologie, definice a popis. ÚNMZ, Praha, 2011
- [2] ČSN EN 303–5/2000 Kotle pro ústřední vytápění – Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 300 kW – Terminologie, požadavky, zkoušení a značení. ČNI, Praha, 2000
- [3] ČSN EN 14961–2 Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv – Část 2: Dřevní pelety pro maloodběratele. ÚNMZ, Praha, 2011
- [4] Lyčka Z., Dřevní peleta – peleta mýtů zbavená. LING Vydavatelství s.r.o., Krnov, 2011
- [5] Lyčka Z., Dřevní peleta II – spalování v malých zdrojích tepla. LING Vydavatelství s.r.o., Krnov, 2011. ■