

Energetický potenciál biomasy

Text: Václav Dvořan



Smyslem tohoto příspěvku je poukázat na energetický potenciál obsažený v biomase. Tento článek je v tomto směru výchozí a není vyloučeno, spíše je pravděpodobné, že bude v dohledné době dále doplňován a rozšiřován. Autor proto také uvítá jakékoliv připomínky a náměty čtenářů k uvedené problematice.

Složení biomasy

Někteří z nás si možná ještě dokáží vybavit hodinu přírodopisu, kde jsme se učili o tom, co to je fotosyntéza a jak je důležitá pro život na Zemi. Bez nároku na přesnost podle posledních poznatků vědy snad nebudu příliš daleko od skutečnosti, když uvedu, že fotosyntéza představuje komplikovaný mechanismus, při kterém zejména zelené rostliny využívají vody, oxidu uhličitého a části energie slunečního záření - světla - a přeměňují ji na energii chemické vazby složitějších organických látek. Později v hodinách chemie jsme se, možná již jenom někteří z nás, seznámili se souhrnnou stechiometrickou rovnicí fotosyntézy:



Tato rovnice se stane také základním kamenem našich úvah. Jistě, bylo by možné odbočit od ní do oblasti jednotlivých, dnes již do značné míry podrobně prozkoumaných fotosyntetických procesů, ale naší základní otázkou je, kolik z toho, co nám příroda nabízí, jsme schopni, resp. můžeme využít? K tomu nám poslouží první z produktů fotosyntézy, v rovnici uvedený se souhrnným vzorcem stejným jako má glukóza. Skutečná biomasa však obsahuje také určité množství dusíku. Proto uvedený vzorec doplníme a budeme předpokládat, že vzorec sušiny biomasy má následující souhrnný tvar:



Tento vzorec nám umožňuje provést analýzu složení sušiny biomasy. Předpokládejme, že obsah libovolné složky v biomase můžeme pomocí hmotnostního zlomku vyjádřit následovně:

$$w(A) = \frac{x \cdot Ar(A)}{Mr(C_x H_y O_z N)}, \text{ kde je:}$$

$x, y, z \dots$	stechiometrické koeficienty jednotlivých prvků v molekule biomasy,
$Ar \dots$	atomová relativní hmotnost příslušného prvku,
$Mr \dots$	molekulová relativní hmotnost molekuly biomasy,
$w \dots$	hmotnostní zlomek příslušného prvku v molekule biomasy,
C ...	uhlík,
H ...	vodík,
O ...	kyslík,
N ...	dusík.

Pro přehlednost bude vhodné uspořádat údaje do tabulky (Tabulka 1).

Tabulka 1 Výpočet složení sušiny biomasy.

Složka	Sušina	Uhlík	Vodík	Kyslík	Dusík	Hořlavina
Zkratka	$C_6H_{12}O_6N$	C	H	O	N	C + H
Mr, Ar	194	12	1	16	14	84
$w(A) (\%)$	100,00	37,11	6,19	49,48	7,22	43,30

Z tabulky je vidět složení sušiny biomasy. Současně je zřejmé, že na vlastní výhřevnosti biomasy se budou podílet uhlík a vodík, jejichž úhrnný hmotnostní zlomek činí 43,3 %. Tuto skutečnost je třeba brát jako danou a nelze na ní nic změnit. Diskutabilní je ovšem otázka obsahu dusíku. Je dosti dobře možné, že je uvedený předpoklad obsahu dusíku v sušině poněkud konzervativní, na druhou stranu však případný nižší obsah dusíku v sušině výpočet nezatíží příliš velkou chybou. V případě, že byl obsah dusíku v sušině poloviční, tj. jen 3,61 %, nejde o chybu větší než 10 %. Přesto však provedeme výpočet i pro tento případ a také pro případ, kdy dusík v biomase vůbec nebude přítomen (viz. Tabulka 2).

Tabulka 2 Různé složení sušiny biomasy.

Sušina (<i>Mr</i>)	w(C) (%)	w(H) (%)	w(H _n) (%)	w(O) (%)	w(N) (%)	w(C + H) (%)
C ₆ H ₁₂ O ₆ N (194)	37,11	6,19	2,07	49,48	7,22	43,30
C ₆ H ₁₂ O ₆ N _{0,5} (187)	38,50	6,42	2,14	51,34	3,74	44,92
C ₆ H ₁₂ O ₆ (180)	40,00	6,67	2,23	53,33	0	46,67

Z uvedené tabulky vidíme, že v uvažovaných případech narůstá se snižujícím se obsahem dusíku podíl hořlaviny v sušině z hodnoty 43,3 % na 44,92 % (obsah dusíku poloviční) až na 46,67 % (biomasa bez dusíku). V dalších úvahách budeme propočítávat všechny uvedené varianty.

Výhřevnost biomasy

Poté, co známe složení sušiny biomasy, můžeme stanovit její spalné teplo. Nejdříve však uveďme v krátkosti, jak se jednotlivé prvky podílí na této důležité veličině (podle K. Obroučka: *Termické zneškodňování odpadů*, s. 34. VŠB-TU Ostrava 1997):

Uhlík C ($Q_n = 33.900 \text{ kJ/kg}$) je hlavním nositelem tepelné energie ve spalované biomase.

Vodík H ($Q_n = 119.700 \text{ kJ/kg}$) vyvine při hoření téměř čtyřikrát více tepla na jednotku hmotnosti než uhlík, což má příznivý vliv na výhřevnost spalované biomasy. Celkový vodík se skládá z vodíku **vázaného H_v** a **nezadaného H_n**. Vodík vázaný H_v (viz. Tabulka 2) je ta část vodíku, která je vázána na kyslík. Tento vodík nepřispívá k výhřevnosti biomasy, naopak spotřebuje určité množství tepla na odpaření vody. Vodík nezadaný H_n je ta část vodíku, která zůstane po sloučení s celým obsahem kyslíku v biomase. Nezadaný vodík se stanoví vztahem:

$$H_n = H - O/12$$

kde O je kyslík v odpadu (kg/kg).

Kyslík O je nežádoucí, nicméně nutnou součástí biomasy, protože váže vodík a částečně také uhlík na hydroxidy, vodu a oxidy.

Dusík N se nezúčastňuje reakcí hoření a zcela přechází do vzniklých spalin, kde se podílí na tvorbě oxidů dusíku NO_x (směs oxidu dusnatého a dusičitého). Jeho přítomnost snižuje obsah ostatních prvků, čímž se snižuje výhřevnost spalované biomasy.

Z výše uvedených poznatků jsme schopni propočítat spalné teplo uvažovaných příkladů sušiny biomasy (viz. Tabulka 3).

Tabulka 3 Výpočet spalného tepla biomasy.

Sušina	Q_n (MJ/kg)	$Q_n(C)$ (MJ/kg)	$Q_n(H_n)$ (MJ/kg)
$C_6H_{12}O_6N$	15,05	12,58	2,47
$C_6H_{12}O_6N_{0,5}$	15,62	13,05	2,56
$C_6H_{12}O_6$	16,22	13,56	2,66

Z Tabulka 3 je zřejmé, že spalné teplo sušiny námi uvažované biomasy se pohybuje od hodnoty 15,05 MJ/kg, přes 15,62 MJ/kg po 16,22 MJ/kg. Nejde bohužel o teplo, které bychom byli schopni využít. Biomasa vždy obsahuje určité množství vlhkosti, které musíme zahrnout do našich úvah. Tím se dostáváme k otázce její výhřevnosti.

Při výpočtu výhřevnosti biomasy budeme uvažovat následující případy:

- vlhkost 25 % - nejméně příznivý případ, kdy se biomasu nepodaří dostatečně usušit anebo získá dodatečnou vlhkost, například při nevhodném uskladnění,
- vlhkost 20 % - méně příznivý případ, kdy se biomasu nepodaří ještě zcela usušit anebo získá určitou dodatečnou vlhkost, například při uskladnění,
- vlhkost 18 % - předpokládaný případ, kdy se biomasu podaří dobře usušit anebo nezíská dodatečnou vlhkost při uskladnění,
- vlhkost 16 % - případ, kdy se biomasu podaří dobře usušit a dále doschne při uskladnění ve velmi suchém prostředí.

Vlhkost v palivu je vždy komplikujícím faktorem. Jednak je totiž možné spalovat palivo jenom o určité nejvyšší vlhkosti (v literatuře se udává až 50 %), jednak vlhkost snižuje výhřevnost paliva o teplo potřebné k odpaření vody přítomné v palivu. Toto teplo činí přibližně 2,5 MJ/kg. V Tabulce 4 jsou udány vypočítané výhřevnosti biomasy podle druhu sušiny a dané vlhkosti.

Tabulka 4 Propočet výhřevnosti paliva pro různé hodnoty vlhkosti.

Sušina	Spalné teplo Q_n (MJ/kg)	Výhřev. (MJ/kg) (vlhk. 25 %)	Výhřev. (MJ/kg) (vlhk. 20 %)	Výhřev. (MJ/kg) (vlhk. 18 %)	Výhřev. (MJ/kg) (vlhk. 16 %)
$C_6H_{12}O_6N$	15,05	14,43	14,55	14,60	14,65
$C_6H_{12}O_6N_{0,5}$	15,62	14,99	15,12	15,17	15,22
$C_6H_{12}O_6$	16,22	15,60	15,72	15,77	15,82

Využití tepla při spalování biomasy

V této části našeho článku bychom si měli vytvořit konkrétní představu, kolik tepla můžeme získat z biomasy. Čili, když formulaci problému trochu upravíme, hledáme odpověď na praktickou otázku, kolik paliva potřebujeme pro roční vytápění určitého objektu. Budeme vycházet z následujících údajů:

- příkon potřebný pro vytopení dvougeneračního rodinného domu 20 kW (bez ohřevu TUV),
- účinnost kotle 90 %,
- počet topných dnů za rok 200,
- příkon potřebný pro ohřev TUV 5 kW (mimo topnou sezónu),
- využití instalovaného tepelného výkonu - 100 % - po dobu 80 dní,
- 80 % - po dobu 40 dní,
- 70 % - po dobu 40 dní,
- 50 % - po dobu 40 dní.

Při našem výpočtu potřebujeme nejprve určit roční spotřebu tepla. Ta je součtem tepla potřebného pro ohřev teplé užitkové vody Q_{tuv} (TUV) a tepla potřebného pro vytápění domu Q_{top} :

$$Q = Q_{top} + Q_{tuv}$$

Teplu potřebné pro vytápění domu bude součtem příslušného počtu topných dnů násobených tepelným příkonem, koeficientem jeho využití, počtem hodin a 3.600, protože 1 kWh = 3.600 kJ:

$$Q_{top} = 24 * 20 * (80 + 40 * 0,8 + 40 * 0,7 + 40 * 0,5) * 3600 = 291,7 \times 10^6 \text{ kJ} = 291,7 \text{ GJ}$$

Teplu potřebné pro ohřev teplé užitkové vody můžeme vypočítat z následující rovnice:

$$Q_{tuv} = c \cdot m \cdot (t - t_0), \text{ kde je:}$$

c ... měrná tepelná kapacita vody ($c = 4,2 \text{ kJ/kg/}^\circ\text{C}$)

m ... hmotnost ohřívanej vody (předpokládejme, že 1 l vody = 1 kg)

t ... teplota teplé užitkové vody (standardně $55 \text{ }^\circ\text{C}$)

t_0 ... teplota vody z vodovodu (standardně $12 \text{ }^\circ\text{C}$).

Množství vody závisí na počtu obyvatel a jejich spotřebě. Budeme uvažovat 40 l teplé vody pro každého z celkem 8 obyvatel domu v době topné sezóny. Ročně budeme potřebovat ohřát celkem $200 * 8 * 40$ litrů vody, tj. 64.000 litrů vody. Potřebné teplo pro ohřev vody činí:

$$Q_{uv} = 4,2 * 64000 * 43 = 11558400 \text{ kJ, což můžeme zaokrouhlit na } 11,56 \text{ GJ.}$$

Pro provoz domu v topné sezóně budeme potřebovat obě tepla sečíst, tj.:

$$Q = 291,7 + 11,56 = 303,26 \text{ GJ}$$

Celkem budeme pro roční provoz domu potřebovat za uvedených předpokladů 303,26 GJ. Toto číslo můžeme – s ohledem na poměrně konzervativní předpoklady ohledně využití tepelného výkonu kotle – mírně zaokrouhlit dolů na 300 GJ. Zapínat kotel jenom pro ohřev vody je mimo topnou sezónu nevýhodné. Mimo topnou sezónu budeme potřebovat samostatný ohřívač (elektrický nebo plynový) pro ohřev TUV o příkonu 5 kW.

Dopočítat spotřebu paliva (biomasy) je již jednoduché. Stačí dosadit jeho výhřevnost a zohlednit účinnost kotle. Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 5.

Tabulka 5 Propočtená spotřeba biomasy pro zajištění tepelného zásobování domácnosti.

Sušina	Biomasa (kg) (vlhk. 25 %)	Biomasa (kg) (vlhk. 20 %)	Biomasa (kg) (vlhk. 18 %)	Biomasa (kg) (vlhk. 16 %)
$C_6H_{12}O_6N$	23.108	22.910	22.831	22.753
$C_6H_{12}O_6N_{0,5}$	22.230	22.046	21.973	21.901
$C_6H_{12}O_6$	21.374	21.204	21.137	21.070

Podíváme-li se do tabulky, zjistíme potřebné hodnoty. Uvažovaná domácnost bude při použití paliva uvedeného v prostředním řádku potřebovat přibližně 22 tun (22.230 kg při vlhkosti 25 %, 21.901 kg při vlhkosti 16 %). Hmotnost uvažujeme v době sklizně, neboť palivo se může při dobrém uskladnění, zejména poblíž kotelny, dále sesychat.

Jako možné palivo, zejména v zemědělských oblastech, se mohou jevit například méně kvalitní zbytky při třídění zrna. Uvažujeme-li výnos kolem 5,5 tun/ha, musíme oset plochu 4 ha. Pokud bychom používali zrno po vytřídění, musela by být plocha přiměřeně větší, tj. při odpadu 10 % bychom potřebovali odpad z produkce na 40 ha.

Mohli bychom se pustit i do úvah pro celou Českou republiku. Vyjdeme-li z její rozlohy přes 78 tis. km² a možném využití 10 % obilního odpadu ze zhruba 10 % rozlohy území při výnosu 5,5 t/ha, dostáváme: $78\,000\text{ km}^2 * 0,1$ (využité území) $* 0,1$ (odpad) $* 100\text{ ha} * 5,5 = 429.000\text{ tun}$. Při spotřebě 22 tun pro 8 obyvatel stačí toto množství paliva pro přibližně 156 tis. obyvatel. Porovnáme-li tento údaj s počtem obyvatel pracujících v zemědělství (cca 200 tis. obyvatel ČR) zjistíme, že pro 1/4 až 1/3 zemědělských domácností může být odpadní obilní biomasa spolehlivým zdrojem pro vytápění.