

The Brilliance of Bioenergy

Ralph E.H. Sims

kapitola What is biomass and what is bioenergy.

Překlad: **Eva Haderková**, IV. roč. obor Energetické stroje a zařízení

Co je to biomasa a bioenergie?

Neobyčejně rozmanitá povaha biomasy a mnoho možností její transformace na teplo a elektřinu energetickou využitelnost biomasy komplikuje. Pro další obnovitelné zdroje energie jako je sluneční, větrná a vodní, je klíčovou právě použitá technologie energetické přeměny. U biomasy je důležité věnovat pozornost celému systému zpracování a důkladně mu porozumět, což zahrnuje:

- vlastnosti biomasy a její vliv na snížení produkce skleníkových plynů
- řadu různorodých zdrojů biomasy včetně odpadů
- zpracování a dopravu těchto surovin na místo přeměny v energii do elektráren
- termochemické přeměně suché biomasy
- biochemické přeměně mokré biomasy

Biomasa může být transformována současně na teplo i na elektřinu pomocí kogenerace, dále pak na pohonné hmoty nebo petrochemické náhrady. V menším měřítku má biomasa také dobrý potenciál jako palivo pro mikroturbíny a palivové články. Ve všech oblastech problematiky životního prostředí můžeme nalézt klíčové faktory, které mohou být ovlivňovány rozvojem vhodných praktických směrnic a porozuměním životního cyklu.

Existuje pochybnost o tom, že biomasa bude schopna nahradit ve stále zvyšující se míře spotřebu fosilních paliv a proto v budoucnu bude muset pokračovat ve vývoji nových a účinnějších technologií, zaměřených na výrobu energie z biomasy.

Slovy profesora Davida Halla, jednoho z průkopníků moderní bioenergetiky: „Biomasa je věčná“.

Co je tedy biomasa?

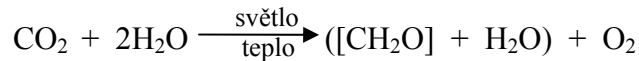
Z pohledu obnovitelné energie lze biomasu definovat takto:

Relativně mladá organická hmota rostlinného (vzniká fotosyntézou) nebo živočišného původu, která je využívána k výrobě tepla, elektřiny či k produkci pohonných hmot díky své chemicky vázané energii.

Mezi zdroje biomasy je zahrnuto a zbytky ze zemědělské nebo lesnické výroby, vedlejší organické produkty (odpady) z potravinářského či textilního průmyslu a odpady z chovu domácích zvířat nebo lidské činnosti.

Chemická energie obsažená v biomase pochází ze sluneční energie, přeměněné pomocí fotosyntézy (slovo fotosyntéza je odvozena od řeckých slov „photo“, znamenající světlo a „synthesis“, což znamená spojení několika částí). Fotosyntéza je proces, při kterém rostliny přijímají oxid uhličitý a vodu ze svého okolí, a za působení sluneční energie je přeměňují na

cukry, škroby, celulózu, lignin, atd. Tyto složky rostlinné hmoty se volně označují jako uhlovodíky, chemicky popsány pro jednoduchost jako $[\text{CH}_2\text{O}]$. Během procesu vzniká kyslík, který je uvolňován do atmosféry



Samozřejmě tato problematika není nijak jednoduchá a existuje mnoho odborných knih, zabývajících se velmi složitým procesem fotosyntézy.

Veškerý rostlinný materiál na Zemi, suchozemský i vodní doslova přeloženo mořský, ale chápu, že toto dává větší logiku, je tvořen fotosyntézou. Býložraví i masožraví živočichové jsou tedy přímo či nepřímo závislí na fotosyntéze. Proto i živočišné produkty a organické odpady mohou být klasifikovány jako formy biomasy, jsou-li používány pro účely energetiky.

Pouze malá část (0,02%) sluneční energie, ročně dopadající na Zemi, je vázaná a uložena v suchozemské biomase, většina je jí v řasách, planktonu a vodních rostlinách nacházejících se v oceánech a řekách. Toto malé množství zachycené sluneční energie je srovnatelné se sedmi až osminásobkem celosvětové spotřeby primární energie, která v současnosti překračuje 400 EJ/rok.

V závislosti na ročním období a na zeměpisné poloze je intenzita ozáření zemského povrchu v bezoblačný letní den kolem $600\text{--}1\,000\text{ W/m}^2$, snižující se na $200\text{--}500\text{ W/m}^2$ v oblačný den a na $50\text{--}100\text{ W/m}^2$ v zatažený zimní den. Vzhledem k proměnlivému počasí je množství sluneční energie, dopadající na zemský povrch, velmi variabilní, můžeme ale předpokládat průměrnou hodnotu $1\,000\text{ kWh}$ (3600 MJ)/ m^2 za rok.

Jako příklad můžeme uvést množství dopadajícího záření na pšeničné pole o rozloze jednoho hektaru v mírném podnebí (Kanadské prerie), kde je průměrné ozáření $1\,000\text{ kWh/m}^2$ za rok. Pak můžeme psát:

- každoročně přijatá sluneční energie = 36 000 GJ
- pouze jedna třetina slunečního záření dopadne během vegetačního období = 12 000 GJ
- z toho jen 20 % dopadne na listy rostlin = 2 400 GJ
- 20 % tvoří ztrátu odrazem = 2 000 GJ
- 50 % je ztráta tepelným sáláním při fotosyntéze = 1 000 GJ
- 30 % ze zbyvajících energie je uloženo v rostlině = 300 GJ
- z čehož je 40% spotřebováno na růst samotné rostlinou = 180 GJ

Takže 1 ha půdy pojme pěstovanými plodinami přibližně 180 GJ/rok.

Například, je-li pole osazeno energetickým čínským rákosem, který je pěstován převážně v Evropě, s výnosem 9 t suché hmoty z 1 ha za rok, a obsahuje-li sušina přibližně 20 GJ/t, což můžeme přirovnat ke zhruba 180 GJ dostupné energie, obsažené ve sklizené biomase. Je to zhruba jen 0,5 % z 36 000 GJ dopadající sluneční energie. Jedná se tedy o procentuálně vyjádřenou účinnost přeměny sluneční energie na energii chemickou, která je vázaná v biomase. Tento výsledek vyplývá z řady faktorů a proto je značně proměnlivý.

Rostliny rostou díky fotosyntéze, také nepřetržitě dýchají, přičemž probíhá oxidace uhlovodíků za vzniku oxidu uhličitého a vody. Pokud rostlina nebo její část odumře (spadené listy), materiál se začne rozkládat. Kyslík je spotřebován a uvolní se teplo, stejně tak jako u spalování, které ovšem proběhne daleko rychleji. Proto spalování může být považováno jednoduše za rychlejší proces vzhledem k přirozeným procesům dýchání a tlení. V podstatě využití biomasy ne k tradičním zemědělským cílům, ale pro energetické účely je jen obrácený proces k fotosyntéze.

Celkově se v současnosti používá k energetickým účelům kolem 55 EJ/rok z biomasy, převážně v rozvojových zemích k vaření a topení, ale také k zabezpečení chodu stále

rostoucího počtu moderních vysoko-výkonových elektráren, využívajících jako paliva biomasu. Pro srovnání celosvětová populace spotřebuje zhruba 10 EJ/rok energie v podobě potravy, což je samozřejmě biomasa. (Pro zajímavost jedna miska kukuřičných lupínek v hodnotě 10 centů obsahuje pro člověka dostatek energie k ujetí 10 km vzdálenosti na kole, ale pro překonání stejné vzdálenosti autem spotřebujeme zhruba 1 litr benzínu v hodnotě přibližně 1 \$ - a to nebereme v úvahu další výdaje spojené s tvorbou skleníkových plynů!)

Pokud je biomasa se svou nahromaděnou chemickou energií použita užitečně, stává se z ní palivo. Zjednodušeně: atomy tvořící molekuly paliva jsou k sobě vázány elektrickou silou. Spalování lze považovat za proces, při kterém se tato elektrická energie přeměňuje na teplo. Za předpokladu, že spotřeba biomasy nepřekročí přirozenou míru růstu rostlin, pak jejím užitím k energetickým účelům nedochází ke zvýšené produkci tepla nebo oxidu uhličitého, než ke které by došlo při přirozených procesech tlení. Takže teoreticky, pakliže se dosáhne obnovitelného způsobu pěstování biomasy, vyskytne se pouze málo, pakliže vůbec některé, negativní vlivy na životní prostředí. Takže teoreticky je biomasa zdroj energie, který pokud je správně užívaný, má málo jestli vůbec nějaké nepříznivé dopady na životní prostředí.

Navíc vedle estetické hodnoty Zemské flóry a její neuvěřitelné různorodosti, reprezentuje biomasa použitelný a dostupný zdroj energie. Význam biomasy závisí na chemických a fyzikálních vlastnostech velkých molekul, které ji tvoří. Lidstvo biomasu dlouho využívalo jako palivo k výrobě tepla, a jako potravu pro její výživnou hodnotu látek v ní obsažených (oleje, cukry, škroby). V pozdější době, zvláště v posledních 150 letech, lidstvo využívá fosilizovanou biomasu v podobě uhlí, ropy a zemního plynu. Tato fosilní paliva jsou výsledkem velmi pomalé chemické transformace, při které byly přeměněny složité cukry na látky podobné ligninu. Další chemické vazby utvořené ve fosilních palivech reprezentují více koncentrovaný zdroj energie. Jelikož bylo zapotřebí milionů let k přetvoření biomasy na fosilní palivo, nepovažuje se toto palivo za obnovitelný zdroj energie.

Chemické složení biomasy se mění v závislosti na jejím druhu, ale obecně platí, že obsahuje 50 % uhlíku, 44 % kyslíku a 6 % vodíku (plus vodu), a to vázané ve formě ligninu (25 %), celulózy a hemicelulózy (75 %), tzv. uhlovodíků. Většina druhů biomasy také obsahuje extrahovatelné látky, jako například pryskyřice, ale jejich zastoupení je malé.

Obecně 1 tuna biomasy, v závislosti na vlhkosti, v sobě váže 5-20 GJ energie. Množství energie, obsažené v biomase, je cennou informací, která slouží k návrhu správné velikosti zařízení na energetické zpracování konkrétního paliva.

Pokud je rostlina pěstována k energetickým účelům, je užitečné předem vědět, jaké množství chemicky vázané energie v GJ/ha za rok můžeme získat z dané oblasti za daných podmínek. V praxi tato hodnota závisí na klimatu dané oblasti, počasí, poloze, typu půdy a obsahu výživných látek v půdě, dodávce vody a samozřejmě na druhu pěstované plodiny. Například eukalyptus má přes 500 odrůd, jejichž optimální růstové požadavky se navzájem nesmírně liší. Kde se jedné odrůdě daří dobře, druhá nepřežije. Dokonce v rámci jednotlivých odrůd jsou odlišnosti v závislosti na původu osiva. Šlechtění rostlin, výběr druhu a v budoucnu i geneticky upravené rostliny mají významný vliv na potenciální výnosy biomasy pro dané místo. Výnosy pro jednu oblast se tak mění v širokém pásmu hodnot mezi 1 a 30 t/ha, obsahující tak mezi 15 a 500 GJ/ha energie ročně. Tato hodnota má pak značný vliv na cenu biomasy (\$/GJ) v okamžiku dodávky paliva do elektrárny.

Dřevo je nejstarší formou energie z biomasy, která byla využívána lidstvem již před dobou kamennou. Obvykle byla biomasa užívána k topení a vaření, většinou přímým spalováním v otevřených ohništích, kdy je 90 % energie nevyužito. Tímto způsobem biomasu využívá stále okolo dvou miliard lidí v rozvojových zemích, kteří nemají přístup jak k elektrické energii, tak k jiným druhům paliv.

Kromě přírodních horkých pramenů a malých ložisek uhlí nalézajících se při zemském povrchu nebo vyplavených na pláž, byla biomasa v Evropě do 17.století jediným zdrojem energie, využívaným pro vytápění. Dlouho předtím, než se objevilo uhlí nebo plyn, se také na svícení používaly svíčky vyrobené ze zvířecího tuku. Prvním zdokonalením v technologii zpracování biomasy byla výroba dřevěného uhlí. To umožnilo získávání kovů z rud, což vyžadovalo dosažení vysokých teplot, které přímým spalováním dřeva není možné získat. V Brazílii se stále dřevěné uhlí v ocelářství používá.

Na začátku průmyslové revoluce začalo ve Velké Británii a v jiných částech Evropy uhlí nahrazovat dřevo a dřevěné uhlí a to hned z několika důvodů:

- lesy začaly ustupovat zemědělské výrobě, čímž se prohluboval nedostatek palivového dřeva, ale zároveň neudržitelně rostla poptávka po energii (první energetická krize)
- vědecký pokrok vedl ke změně technologií, při čemž uhlí nahradilo nejen dřevo, ale i větrné mlýny a vodní lopatkové zdroje
- rostoucí majetnost povzbudila technické inovace, jako např. parní motory (lokomotivy), pro které bylo uhlí upřednostňovaným palivem
- stoupající cena dřeva vedla ke zefektivnění hlubinné těžby uhlí a také k rozvoji mechanicky poháněných čerpadel k odčerpávání zatopených dolů

Začala éra fosilních paliv.

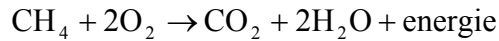
Řada rozvojových zemí, např. Etiopie nebo Keňa, se teď nachází ve stejné situaci jako Velká Británie za průmyslové revoluce. Jejich omezené (řídce) zásoby palivového dřeva se tenčí díky vysoké spotřebě. Rozvojové země ročně spotřebují kolem 140 EJ primární energie (což odpovídá 36 GJ/osobu), z čehož biomasa činí 35 %. Dané množství odpovídá spotřebě 0,5 až 2 t na vzduchu sušené biomasy na osobu za rok. Naproti tomu, průmyslové země spotřebují kolem 250 EJ/rok (210 GJ/osobu za rok), biomasa se na této hodnotě podílí 3 % (0,25-0,3 t na vzduchu sušené biomasy/osoba a rok). V bohatších zemích jako Švýcarsko, Finsko, Švédsko, Rakousko nebo USA jsou technologie na energetické využívání odpadu a zbytků z biomasy více vyvinuty. Podíl biomasy na výrobě energie je v těchto zemích mnohem vyšší než v ostatních zemích OECD. Předpokládá se proto, že biomasa se na dodávkách primární energie může podílet až 14 %, ovšem přesná čísla se těžko získávají a často je biomasa ze světových statistik zcela vynechána!

Biopaliva

Biopaliva jsou definována jako jakékoliv pevné, kapalné nebo plynné produkty, pocházející ze širokého spektra organických materiálů. Získávají se buď přímo z rostlin nebo nepřímo z průmyslových, komunálních, lesních nebo zemědělských odpadů. Tato odvozená paliva činí velké množství nových energetických zdrojů o nejrůznějších objemech produkce, od palivového dříví pro malá ohniště až po půl milionu tun vylisované cukrové třtiny ročně pro kogenerační jednotku o výkonu 50 MW. Tabulka 1.1 udává srovnání zdrojů používaných biomasu a fosilní paliva.

Materiály dělíme na hořlavé a nehořlavé. Při spalování je zapotřebí kyslík, aby došlo k chemické přeměně uhlíku a vodíku (obsažených v molekulách paliva) a následné produkci tepla. Tudíž můžeme palivo definovat jako látku, která reaguje s kyslíkem, což je doprovázeno změnou jejího chemického složení a uvolňováním doposud vázané energie.

Například metan (CH_4), společná složka bioplynu, skládkového plynu nebo zemního plynu, reaguje s kyslíkem (O_2) následovně:



Tato chemická reakce znázorňuje hoření jakéhokoli obecného paliva: směs, obsahující uhlík a vodík, reaguje s kyslíkem (obvykle kyslík ze vzduchu, existují i ale případy, kdy se používá čistý kyslík) za vzniku oxidu uhličitého a vody. Množství produktu závisí na atomových hmotnostech (H=1, C=12, O=16).

$$\begin{array}{ccccccc} [12 + (1 \times 4)] + 2(16 \times 2) & \rightarrow & [12 + (16 \times 2)] + 2[(1 \times 2) + 16] \\ 16 & + & 64 & = & 44 & + & 36 \end{array}$$

Z tohoto jednoduchého příkladu vyplývá, že z 16 t metanu vznikne 44 t CO₂. Jelikož metan má výhřevnost 55 GJ/t, spalovacím procesem se uvolní 16 x 55 = 880 GJ tepla. Takže na každých 20 GJ získaného tepla připadá 1 t vytvořeného CO₂. Nicméně různé ztráty, doprovázející tento proces, mají za následek jeho nižší účinnost. Pokud má spalovací zařízení tepelnou účinnost 60 %, je zapotřebí 100 GJ ve formě paliva k získání 60 GJ využitelné energie. Čím větší je podíl uhlíku k vodíku v daném palivu, tím více případně vyprodukovaného CO₂ na jednotku získané energie

Pokud jde o skleníkové plyny, uhlí při přeměně na elektrickou energii uvolní kolem 830 g CO₂/kWh vygenerované elektřiny; ropa 600 g CO₂/kWh a zemní plyn 400 g CO₂/kWh. Ale pro biomasu žádné emise CO₂/kWh v podstatě neexistují, jelikož se všechn uhlík recykluje během další úrody.

Není jasné kolik biomasy je možno celosvětově využít k energetickým účelům. Některé rozборы došly k závěru, že je na Zeměkouli k dispozici dostatečné množství půdy k uspokojení veškerých požadavků lidstva na potraviny, textilní vlákna i energii. Například Hall a Scrase (1998) tyto názory potvrdily pro současnou světovou populaci s tím, že do jejich práce nebyla zahrnuta problematika sociálních, ekonomických a dopravních omezení s tím souvisejících.

Jestliže se má vyvinout trvale udržitelný a hospodárný bioenergetický průmysl, musí být k dispozici dostatek pracovní síly, vody a živin. Na málo úrodné půdě (např. půdy v Austrálii, jejichž slanost se stále zvyšuje), může být všeobecně prospěšné pěstovat energetické plodiny. Jedná se např. o pěstování eukalyptu s krátkou omítní dobou, v pásech mezi bloky obilnin za účelem spotřebování co největšího množství dostupné vody a tím omezení usazování solí v ní obsažených v půdě. Eukalyptus se sklízí každé 3 až 4 roky a lze jej použít k výrobě energie. Používání biomasy k zabezpečení lokální poptávky po energii může také pomoci k posílení trhu s prací (vytvoření nových pracovních míst) v zemědělských oblastech. Odhad regionálních potenciálů biomasy musí brát zřetel na druh energetických plodin, na kvalitu půdy, klimatické podmínky, sociální faktory a dopad tohoto pěstování na životní prostředí.

Stále se měnící prognózy o cenách fosilních paliv a výších příslušných úrokových sazeb, použitelných v analýzách, vedly k množství odhadů. Ve třetí hodnotící zprávě mezivládní skupiny odborníků na klimatické změny se říká, že v roce 2050 bude možno získat 400 EJ/rok z energetických plodin. Společně s odhady množství biomasy z lesnictví, zemědělství (zbytky ze zpracování obilnin a cukrové třtiny (39 EJ/rok)), dále chlévské mrvy (25 EJ/rok) a komunálního odpadu (3 EJ/rok) by mohla být v roce 2050 pokryta zhruba polovina celkové spotřeby primární energie na Zemi biomasou.

Tabulka 1.1 Srovnání výkonnostně odstupňovaných energetických zdrojů s odhadovaným množstvím spotřebovaného paliva (biomasy) [odt = tuny v peci sušeného paliva] s klasickými zdroji, využívajícími fosilní paliva

Výkon jednotky	Energií zabezpečované objekty	Každoroční spotřeba paliva	Způsob zásobování	Technologie přeměny	Rozměry zařízení	Investiční náklady
Domácí topení (15 kW _t)	Rodinné obydlí	3-5 odt palivového dřeva	2-3 přívěsné vozíky/rok	Krbová kamna nebo kotel	Velké zavazadlo	stovky \$
Malá výtopna (350 kW _t)	Škola nebo malý podnik	80-120 odt dřeva nebo slámy	30-40 malých nákladních aut/rok	Spalovací zařízení na slámu nebo dřevo	Garáž pro jeden automobil	desetitisíce \$
Malá elektrárna (250 kW _e)	200-300 rodinných domů nebo malá továrna	1 500-2 000 odt dřeva, slámy nebo vlhkých odpadů na bioplyn	5-6 středních nákladních aut/týden	Zplyňovač nebo kotel a plynový motor nebo parní motor	Malý dům se zahradou	statisíce \$
Středně velká elektrárna (5 MW _e)	4 000-6 000 domů nebo malá průmyslová zóna	20 000-30 000 odt různých paliv z biomasy	40-50 velkých nákladních aut/týden	Zplyňovač nebo kotel a plynová turbína nebo parní turbína	Čerpací stanice pohonných hmot s přílehlými plochami	miliony \$
Velká elektrárna (30 MW _e)	25 000-35 000 domů nebo průmyslová zóna	120 000-140 000 odt vysušených paliv z biomasy	120-150 velkých nákladních aut/týden	Parní nebo plynová turbína, nebo malý kombinovaný cyklus	Velký kostel se hřbitovem	desítky milionů \$
Kombinovaný cyklus plynové turbíny nebo práškové ohniště	>500 000 domů nebo velká průmyslová zóna	800 Mm ³ plynu nebo 1 Mt uhlí	Potrubi nebo 400-500 velkých nákladních aut/týden	Plynová turbína nebo parní turbína	Londýnský Tower nebo opera v Sydney	stovky milionů \$

Je biomasa opravdu obnovitelným zdrojem energie?

Biomasa, ač v mnoha formách, je hlavně palivem nebo také „nosičem“ energie. Vázaná chemická energie může být přeměněna na jiné, snadněji použitelné formy energie, jako je teplo, elektřina či odvozené pohonné hmoty. Z tohoto pohledu biomasa a její využití podléhají prvnímu a druhému zákonu termodynamiky a naskýtá se tak odpověď na otázku, zda-li je biomasa opravdu obnovitelným energetickým zdrojem?

Problém stručně charakterizoval britský ekolog Jonathan Porritt (2000) v tom smyslu, že politikové vnímají otázku životního prostředí jako soubor jednotlivých, nezávislých překážek v cestě za větším bohatstvím a stále větší produkcí spotřebního zboží. Tyto problémy jsou příznakem trvale neudržitelného systému, který ignoruje základní principy vztahující se k nezpochybnitelným zákonům zachování energie a hmoty. Honbou za materiální prosperitou společnost nerespektuje tyto zákonitosti a dostává se do situace, která je dále neudržitelná. Současný životní styl rozvinutého světa je závislý na levných fosilních palivech a nerostech, které se získávají těžením omezených a konečných zásob ze zemského povrchu.

Energie existuje v početných formách (chemická, gravitační, kinetická, teplo, světlo apod.), které se neustále přeměňují z jednoho druhu ať už slouží jako hybný prvek světového hospodářství, nebo jen ke konání potřebné práce. První zákon termomechaniky říká, že při těchto transformacích žádná nová energie nevzniká ani nezániká, takže celkové množství vstupující energie musí odpovídat celkovému množství energie vystupující.

Při spalování biomasy se chemická energie, v ní uložená, mění na energii tepelnou. Tato tepelná energie není ani větší, ani menší, než energie v biomase obsažená. Vyprodukované teplo neobsahuje více ani méně energie, než kolik chemické energie bylo zapotřebí k udržení vazeb mezi molekulami biomasy. Stejně tak celková suma látek/prvků, jako uhlík, vodík a kyslík, původně vstupujících do procesu a následně z něj vystupujících se bude rovnat.

Takže stejně jako energie, ani hmota nemůže samovolně vznikat nebo zanikat a její množství tedy zůstává konstantní během celého transformačního procesu.

Druhý zákon termomechaniky říká, že schopnost energie konat užitečnou práci se zmenšuje tím, jak energie prochází různými transformacemi.

Například, energie z biomasy může být použita k produkci tepla, o vysokých teplotách k produkci páry, která může být následně použita k pohánění parní turbíny a výrobě elektrické energie. Zbytkové teplo z předcházejícího procesu může být použito k ohřevu vody použité k mytí extrahovaných vláken, a následné zbytkové teplo, má-li ještě dostatečnou teplotu, pak například k vytápění budov. Ale nakonec všechna chemická energie pocházející z biomasy skončí v atmosféře jako teplo. Dobrou zprávou je, že příroda vyvinula způsob, jak nepřetržitě akumulovat sluneční energii a látky v podobě obnovitelného zdroje-biomasy.

Od doby průmyslové revoluce lidstvo předpokládalo, že zákony energie se jich netýkají. Jako výsledek vyvstává několik environmentálních problémů, jedním z nich i změny klimatu. Strojírnoství, ve smyslu návrhu systémů, konstrukce vedení a matematických analýz, již nemůže být déle odděleno od problémů životního prostředí, zvláště při nakládání s biomasou.

Tabulka 1.2 Technický potenciál účelově pěstované energetické biomasy pro rok 2050

Oblast	Populace v roce 2050 (miliardy)	Celkové množství půdy vhodné pro pěstování biomasy (ha*10 ⁶)	Obdělávaná půda v roce 1990 (ha*10 ⁶)	Dodatečná zemědělská půda nezbytná v roce 2050 (ha*10 ⁶)	Půda využitelná pro pěstování biomasy v roce 2050 (ha*10 ⁶)	Maximální další množství energie z biomasy ^a (EJ/rok)
Vyspělé země ^b	-	820	670	50	100	30
Latinská a centrální Amerika, oblast Karibiku	0,286	87	37	15	35	11
Jižní Amerika	0,524	865	153	82	630	189
Afrika						
východní	0,698	251	63	68	120	36
střední	0,284	383	43	52	288	86
severní	0,317	104	4	14	50	15
jižní	0,106	44	16	12	16	5
západní	0,639	196	90	96	10	3
Čína ^c	-	-	-	-	-	2
Zbytek Asie						
západní	0,387	42	37	10	-5	0
jihocentrální	2,521	200	205	21	-26	0
východní	1,722	175	131	8	36	11
jihovýchodní	0,812	148	82	38	28	8
Celkem	8,296	2495	897	416	1280	396
Celkový energetický potenciál biomasy						441 EJ/rok

^a odhadovaný průměrný výnos 15 odt/hektar a rok s typickou výhřevností 20 GJ/odt

^b zahrnuje země OECD a ekonomiky v přechodném stadiu

^c plánované hodnoty, ale nikoli maximální odhad

Co je bioenergie?

Existuje mnoho způsobů, jak transformovat biomasu na užitečné formy energie. Za povšimnutí stojí, že vlastník bioplantáže má možnost spolupracovat s osobou, řídící energetickou transformaci biomasy za účelem co nejvyššího návratu investovaných nákladů.. U odpadních zdrojů se pak zisky mohou ještě znásobovat(díky dotacím), pomíneme-li náklady na jeho zpracování a dopravu.

Termíny a jednotky používané v souvislosti s biomasou

Existuje velké množství forem biomasy (sláma, dřevo, kůra, listy, čistírenské kaly, komunální odpad, řasy, močůvka), každá z nich je nositelem jiných vlastností, záviselých na mnoha faktorech.

FYZIKÁLNÍ SLOŽENÍ

Fyzikální struktura, jako velikost buňky či palivové jednotky, není důležitým parametrem při určování výhřevnosti biomasy, na rozdíl od jejího chemického složení. Jednotkou výhřevnosti je J/g paliva. Pro různé druhy paliv se tato hodnota mění v závislosti na obsahu celulózy, hemicelulózy, ligninu a pryskyřic. Většinou se ale užívá jednotky MJ/kg nebo GJ/t.

HMOTNOST

Pro menší množství biomasy je hmotnost obvykle udávána v kilogramech, pro větší v tunách. Jelikož biomasa obsahuje proměnlivé množství vody, je také důležité stanovit obsah vlhkosti ve váženém palivu Pro snadnější srovnání paliv, je hmotnost často uvedena jako hmotnost sušiny. Což bývá označeno t_{dm} (tuny suchého materiálu) nebo v lesnickém slangu, jako bdw nebo tdw (suchá hmotnost). Zelená hmotnost je celkem nejasný termín, obvykle užívaný k vyjádření hmotnosti čerstvě sklizené biomasy, může se pohybovat kolem 60 % vlhkosti (m.c.-moisture content) pro biomasu pocházející z lesa nebo kolem 10 % m.c. u slámy. Pokud není řečeno jinak, předpokládáme, že vlhkost mokré biomasy se pohybuje mezi 40 % a 50 %. Zpravidla jedna „zelená“ tuna dřeva bude obsahovat přibližně jednu třetinu energie obsažené v tuně černého uhlí.

OBJEM

Obvykle používaná jednotka je metr krychlový (m³). Objem paliva se může značně lišit v závislosti na jeho velikosti a tvaru jednotlivých jeho kusů (v mezerách mezi jednotlivými kusy se nachází vzduch). Definování objemu je důležité při návrhu velikosti skladovacích prostor.

HUSTOTA

Hustota je nejčastěji definovaná jako poměr hmotnosti a objemu. Hustota biomasy je funkcí vlhkosti, což znamená, že její určení je značně složité. Zásadním pojmem je tzv. základní hustota Například pro dřevo je to hmotnost pevně sušeného dřeva obsaženého v jednotce objemu zeleného dřeva (50 % vlhkosti) v kg/m³:

$$\text{základní hustota} = \frac{\text{pecně sušená hmota}}{\text{objem s 50\% vlhkostí}}$$

Pojem jmenovitá hustota, která je definována jako poměr hmotnosti pecně sušené hmoty a jejího objemu (o vlhkosti 12 %), se používá méně často.

Základní hustota nebere v úvahu srážení objemu, které často nastává vlivem vysoušení na 12 % až 10 % m.c. Představme si čerstvě pokácenou borovici o 50 % m.c., objemu 0,1 m³ a hmotnosti 80 kg. Pokud ji vysušíme na 0 % m.c., objem se sníží na 0,095 m³ a hmotnost na 40 kg. Základní hustota pak bude 40/0,1 = 400 kg/m³ (a ne 40/0,095). Základní hustota závisí na druhu biomasy a samozřejmě i na podmínkách jejího pěstování. Obvykle se ale pro dřevo pohybuje mezi 300 a 600 kg/m³. Například průzkum na pilách na Novém Zélandu v roce 1977 poskytl průměrnou hodnotu základní hustoty dřevních zbytků jako 415,5 kg/m³, s rozsahem od 400,8 kg/m³ (v oblasti Rotorua - borové lesy) do 482,5 kg/m³ (v oblasti Westland – bukové lesy).

Vlhkostní škála typická pro biomasu výrazně neovlivňuje její objem. Zvýšení aktuální hustoty vlivem vlhkosti souvisí pouze s volně vázanou vodou v daném okamžiku. Takže z předchozího příkladu je zřejmé, že aktuální hustota 80 kg borovicového dřeva o 50 % m.c. bude 80/0,1 = 800 kg/m³, ale tato hodnota má velmi malý praktický význam.

OBJEMOVÁ HMOTNOST

V závislosti na typu a formě biomasy může být značný rozdíl v hmotnosti materiálu v jednotce objemu, což je důležitým parametrem pro dopravu a uskladnění. (např. přístřešek nebo přívěs).

Uvažujme přívěs o objemu 1 m³:

- Pokud je naplněn čerstvě sklizeným kompaktním 1 m³ dřeva o 50 % m.c., (např. mahagon nebo blahovičnick), může být váha této kostky 1 t, hustota tedy bude 1000 kg/m³.
- Nyní si představme palivová polena délky 1 m (kulatina) naložená v daném přívěsu. Polena jsou ze stejného dřeva a o stejné vlhkosti jako v předchozím případě. Vzhledem ke vzduchovým mezerám mezi poleny se bude hmotnost 1 m³ pohybovat kolem 700 kg. Objemová hmotnost tedy bere v úvahu tyto mezery mezi kusy dřeva a bude 700 kg/m³. Takže dřevo v tomto případě tvoří 70% hmotnosti kompaktního 1 m³ dřeva z předchozího případu.
- Pokud budou tato polena nařezána na špalíky délky 300 mm a náhodně naházena do tohoto přívěsu o objemu 1 m³, bude přívěs obsahovat 600 kg biomasy. 14 % špalíků se do přívěsu nevejde. Objemová hmotnost nákladu tedy bude 600 kg/m³.
- Pokud do přívěsu naložíme štěpku o rozměrech 25-40 mm bude ob.hm 400 kg/ m³.

Objemová hmotnost závisí na druhu, tvaru, velikosti a vlhkosti biomasy. Je to výhodná veličina, jelikož vyjadřuje skutečné množství biomasy, které můžeme převážet či skladovat.

Pro biomasu existuje vztah, který popisuje závislost mezi objemovou hmotností a vlhkostí materiálu, např. pro štěpku:

$$\text{objemová hmotnost} = \frac{13\,600}{100 - \% \text{ m.c.}}$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že pokud je dřevo (50 % m.c.) nařezáno ihned po sklizení, a potom umístěno do přívěsu o objemu 1 m^3 , bude štěpka vážit 272 kg. Její objemová hmotnost tedy bude 272 kg/m^3 . Pokud štěpku ponecháme vyschnout na 20 % m.c., její objemová hmotnost bude 170 kg/m^3 . (Energie obsažená ve štěpce se bude také měnit, ale ne tak radikálně, jak by se mohlo na první pohled zdát)

Nyní si opět představme pevný blok čerstvě vytěženého dřeva o objemové hmotnosti 1000 kg/m^3 . Pokud tento blok bude nařezán na menší části, pak objemová hustota bude pro:

- Kulatina (100-150 mm v průměru): 700 kg/m^3 (70 % z původní objemové hmotnosti)
- Špalíky: 600 kg/m^3 (60 % z původní objemové hmotnosti)
- Štěpka: 400 kg/m^3 (40 % z původní objemové hmotnosti)
- Polena: 500 kg/m^3 (50 % z původní objemové hmotnosti)
- Piliny: 600 kg/m^3 (60 % z původní objemové hmotnosti)
- Hobliny: 200 kg/m^3 (20 % z původní objemové hmotnosti)

Piliny jsou díky svému tvaru skladnější, čímž pádem nevznikají vzduchové mezery mezi jednotlivými částicemi.

ZHUTŇOVÁNÍ

Biomasa ve formě malých částic (sláma, piliny, nasekaný zelený komunální odpad), může být lisována za účelem zvýšení hustoty a snadnějšího nakládání. Pokud stejný přívěs o objemu 1 m^3 naplníme volnou slámou, může obsahovat kolem 100 kg materiálu. Slisujeme-li stejný materiál do balíků taktéž o objemu 1 m^3 , může vážit 400 kg. Takže objemová hmotnost se přímo úměrně mění s mírou zhutnění biomasy v tomto případě se součinitelem 4.

Menší brikety a pelety mohou být vyrobeny z pilin nebo štěpky a jejich hustota se většinou pohybuje od 600 kg/m^3 do 1500 kg/m^3 . 400 kg/m^3 v závislosti na druhu zařízení a typu biomasy. Doporučená vlhkost biomasy určené ke slisování obvykle musí být mezi 7 % a 14 %. Pokud je vyšší, voda zabraňuje zkompaktnění a technologie je energeticky náročnější.

Tabulka 1.3 udává typické objemové hmotnosti pro různé druhy biomasy. Pro měkké dřevo platí nižší hodnota pro tvrdé dřevo vyšší.

Fyzikální vlastnosti dřeva závisí na:

- druhu dřeva
- podmínkách při pěstování
- typu dřeva (jádrové, větrové dřevo, atd.)
- na způsobu nařezání, zda je dřevo řezáno s nebo proti vláknům (rostlinnou buňku můžeme považovat za malé trubičky jednu vedle druhé, jejichž průměr je mnohem menší než délka)

OBSAŽENÁ VLHKOST

Podíl obsažené vlhkosti k sušině biomasy je proměnlivý (jak ukazuje tab. 1.3), což má podstatný význam pro mnoho energetických procesů, sloužících k přeměně biomasy. Například pokud bioplyn vzniká anaerobním vyhíváním, procento sušiny ovlivní výtěžnost tohoto plynu. Množství přítomné vody má značný vliv na celkové množství tepelné energie, kterou je možné získat při spalování dřeva.

Obsažená vlhkost se u dřeva může měnit od 25 % do 65 %, a u kalů může dosáhnout až 90 %. Pro dřevo vlhkost závisí na kombinaci sklízecích metod, klimatických podmínek, ročním období, kdy probíhá sklizeň, a na délce a způsobu skladování.

$$m.c. = \frac{\text{celková hmotnost vlhkého mat.} - \text{hmotnost pecně sušené hom at.}}{\text{celková hmotnost vlhkého mat.}} * 100$$

Dřevařské vyjádření:

$$\begin{array}{l} \text{VÝHŘE} \\ \text{VNOST} \end{array} \quad m.c. = \frac{\text{celková hmotnost vlhkého dř.} - \text{hmotnost pecně sušeného}}{\text{hmotnost pecně sušeného}} * 100$$

Při dokonalém spalování biomasy je množství uvolněné tepelné energie rovno chemické energii v biomase vázané. Pro uvolněné teplo lze definovat jeho horní a dolní mezí. Rozdíl mezi nimi tvoří energie potřebná k vypaření jak vody z paliva, tak vody, která vzniká v průběhu spalovacího procesu slučováním vodíku s kyslíkem. Horní mez, tzv. spalné teplo (HHV-higher heat value), je množství tepla uvolněného při spalování za standardních atmosférických podmínek (15 °C, 100 000 Pa, relativní vlhkost 60 % - *převzato z anglického originálu*). Což znamená, že produkty spalování přejdou na tuto standardní teplotu a tlak, výparné teplo vody ze spalin bude využito. Dolní mez, výhřevnost (LHV-lower heat value), označuje množství využitelného tepla uvolněného při spalování. To znamená, že vodní pára ve spalinách nezkondenzovala a tedy výparné teplo vody je stále vázáno v páře a není k dispozici pro další proces. Rozdíl mezi spalným teplem a výhřevností závisí na vlhkosti paliva. pro srovnávání jednotlivých paliv se v praxi častěji používá výhřevnost.

HUSTOTA ENERGIE

Při navrhování velikosti bioenergetických zařízení, skladovacích prostor nebo určení přepravních požadavků, je užitečné vědět, kolik je vázané energie v daném objemu biomasy. Nižší hustota energie biopaliv (v porovnání s uhlím) je příčina vyšší ceny takto vyrobené energie. Srovnání hustoty energie biomasy a fosilních paliv je uvedeno v tabulce 1.4.

Uhlí má zjevnou výhodu, jelikož v daném objemu váže pětkrát až šestkrát více energie. Tato skutečnost také ovlivňuje výkon kotle nebo kamen. Při spalování dřeva potřebujeme větší spalovací komoru, protože je třeba většího množství paliva na dodání stejného množství tepla jako u uhlí.

Tabulka 1.3 Typické objemové hmotnosti a vlhkosti pro různé druhy forem biomasy

Typ biomasy	vlhkost (%)	Objemová hmotnost (kg/m ³)
Surové dříví		
kulatina	40-50	510-720
štěpka	40-50	280-410
špalky	40-50	350-530
piliny	40-50	420-640
Dříví sušené na vzduchu		
kulatina	20-25	350-530
štěpka	20-25	190-290
špalky	20-25	240-370
Technologicky sušené dřevo		
štěpka	10-15	160-250
špalky	10-15	200-310
piliny	10-15	240-370
brikety	7-14	900-1 100
pelety	7-14	500-700
balíky slámy	10-15	200-500
Uhlí (pro srovnání)	6-10	700-800

Tabulka 1.4 Hustota energie různých paliv v závislosti na jejich vlhkosti a objemové hmotnosti.

Vlastnost	Palivové dřevo			Uhlí
	20 % m.c.	50 % m.c.	60 % m.c.	5 % m.c.
Výhřevnost (MJ/kg)	16	10	8	25
Objemová hmotnost (kg/m ³)	170	270	335	600
Hustota energie (MJ/m ³)	2 720	2 700	2 680	15 000

Termíny a jednotky používané při přeměně biomasy na bioenergii

Mluvíme-li o teple nebo pohonných hmotách, v souvislosti s elektrickou energií se používají jednotky kWh, MWh nebo GWh, což odpovídá 3,6 MJ, 3,6 GJ, a 3,6 TJ.

VÝKON

Výkon zařízení vyjadřuje maximum získaného tepla v kW nebo MW ve formě elektřiny (kWe) nebo ve formě tepla (kWt). Tudiž spalovací zařízení může mít instalovaný výkon 25 MWt a 8 MWe.

Zařízení není vždy provozováno s maximálním výkonem, například v důsledku údržby, havárie nebo nižším požadavkům na provozování zařízení, provozovaný výkon zařízení má vyšší vypovídací schopnost než instalovaný výkon.

KOGENERACE

Kogenerace znamená souběžnou produkci tepla a elektrické energie.

ÚČINNOST

Účinnost energetické přeměny je obecně tepelná účinnost, která se rovná podílu:

$$\frac{\text{výkon}}{\text{energie obsažená v palivu z biomasy}}$$

Termodynamicky je tohle poměr využitelného energetického výkonu ku příkonu. Existuje mnoho definic účinnosti, takže je zapotřebí dávat pozor na jejich význam.

Pro elektrárnu je energetická náročnost výroby vyjádřena v MJ/kWh, poděleno 3,6 a převrácená hodnota je účinnost. Například plynový motor o tepelném výkonu 36 MJ/kWh a účinnosti 10 % můžeme srovnávat s jiným typem motoru o výkonu 18 MJ/kWh a účinnosti 20 %. Další běžně používané pojmy jsou entalpie (udává množství tepla obsaženého v hmotě) a entropie (množství využitelné energie vázané v termodynamickém systému).

Výrobci energetických zařízení často účinnosti udávají na základě spalného tepla raději než na základě výhřevnosti a to z důvodu značného obsahu vody v palivu z biomasy.

Plynové turbíny a podobná zařízení jsou založena na bázi výhřevnosti. Při výpočtech účinností a cen paliv je nezbytné dbát na to, kterou hodnotu použijeme.

Charakteristika biopaliv

Biomasa se objevuje v rozmanitých formách a jelikož je biologického původu, charaktery těchto forem se značně liší. Dokonce i dřevo jednoho druhu pocházející z téhož lesa, může mít různé vlastnosti závislé na stáří stromu, typu dřeva, přítomnosti a typu kůry, vlhkosti a době sklizně. Některé technologie na energetické zpracování biomasy mají velmi specifické požadavky, týkající se velikosti palivových kusů a jejich vlhkosti. Jiné technologie nejsou tak náročné.

Pokud je biomasa k zařízení dopravována z více lokalit (nákladními auty nebo po železnici), nejsou zajištěny konstantní vlastnosti paliva. v praxi pravděpodobně pochází z více zdrojů, tudiž má jiné vlastnosti. Z toho důvodu se každý náklad vzorkuje a zkoumají se jeho vlastnosti. Provozovatel zařízení platí za palivo pěstiteli biomasy na základě těchto měření.

Dokonce může být pěstiteli uložena pokuta za přílišný obsah vlhkosti nebo mu může být náklad vrácen na jeho náklady..

Fyzikální, chemické a spalovací vlastnosti biomasy jsou určovány testováním v laboratoři. Tyto informace se nemusí zjišťovat pro každý náklad, ale je užitečné znát vlastnosti parametry určitého zdroje pro zařízení na přeměnu biomasy. Při plánování stavby elektrárny je jedním ze základních činitelů přítomnost vhodného zdroje paliva v okolí a jeho použitelnost po dobu životnosti zařízení (obvykle 20 let). To neznamená jen zajištění dostatečných objemů paliva, ale i zaručení jeho vlastností.

HRUBÝ ROZBOR

Hrubý rozbor paliva poskytuje jednoduchý přehled složek paliva, jako obsah uhlíku, prchavé hořlaviny, obsah vlhkosti a popela. Tímto rozbořem tedy získáváme údaje o spalovacích charakteristikách paliva. Kromě obsažené vlhkosti má dřevní biomasa bez ohledu na druh dřeva tyto vlastnosti téměř konstantní. U ostatní biomasy, jako jsou rýžové slupky, sláma nebo cukrová třtina se spalovací charakteristiky liší. Vysušená biomasa má většinou vysoký obsah prchavé hořlaviny a nízký podíl pevného paliva kolem 0,2 (to znamená, že 10 % biomasy je čistý uhlík a 50 % je prchavá hořlavina). Pro srovnání, uhlí má tento podíl kolem 1,5-2,0.

Obsah popeloviny je v biomase obecně nízký, asi 0,4-2,0 % celkové hmotnosti (ačkoli obilná sláma může mít popelovin až 10 % díky relativně vysokému obsahu křemíku). Špatné metody sklizně a nakládání s biomasou mohou mít za následek přítomnost zeminy, čímž se obsah popelovin také zvyšuje. Tento parametr je jedním z klíčových činitelů při návrhu spalovací komory. Použití paliva s nízkou přítomností popeloviny může být problém nejen při spalování samotném. Popel pokrývající rošt ho chrání před vysokými teplotami. Pokud je popelovin v palivu málo, ochrana roštu před žářem je nižší a musí být tedy vyroben z dražších tepelně odolnějších materiálů.

ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA

Elementární analýza poskytuje informace o chemickém složení biomasy a slouží k určení množství spalovacího vzduchu a množství emisí. Všechny dřevní druhy (suché a bez popeloviny) jsou podobné a v porovnání s fosilními palivy mají relativně vysoký obsah kyslíku. Tohle je typické pro paliva s nízkou energetickou hodnotou.

Ve srovnání s uhlím je v biomase málo síry (<0,1%). Z toho důvodu se nemusíme zabývat problémy vznikajícími s emisemi SO_x, nebo s korozí komponentů zařízení vně spalovací zóny (koroze vzniká na základě vysokého rosného bodu kyseliny sírové).

VÝHŘEVNOST

Výhřevnost různých druhů biomasy se liší minimálně. Například tvrdé dřevo (vysušené bez popeloviny) má výhřevnost 19,6 MJ/kg, suché dřevo má 19,4 MJ/kg a dřevo zbavené kůry má 20,9 MJ/kg. Zde je porovnané spalné teplo a výhřevnost lesního odpadu a uhlí:

	Lesní odpad (40 % m.c.)	Kamenné uhlí (5 % m.c.)
Spalné teplo	11,2 MJ/kg	28,2 MJ/kg
Výhřevnost	9,5 MJ/kg	27,1 MJ/kg

Rozdíly ve výhřevnostech různých typů biomasy závisí hlavně na množství vlhkosti v tomto palivu. Ačkoli použití vlhkého paliva nemusí být tak neefektivní, jak to vypadá. Představme si hromadu štěpky o 60 % m.c. vážící 1 tunu, tvoří ji 600 kg vody a 400 kg sušiny. Výhřevnost se pohybuje kolem 6,3 MJ/kg a výhřevnost daného množství paliva tedy bude 6,3 GJ. Pokud je hromada ponechána, aby vyschla na 50 % m.c., ztratí část své hmotnosti. Hromada potom vypadá stejně, má stejné rozměry, ale jinou hmotnost (400 kg vody, 400 kg sušiny). Výhřevnost paliva bude asi 8,5 MJ/kg a výhřevnost daného množství $8,5 \cdot 800 = 6,8$ GJ. Po několika dalších týdnech štěpka vyschne na 20 % m.c. a pravděpodobně ztratí něco ze svého objemu. Stále ji tvoří 400 kg sušiny, ale jen 100 kg vody. Výhřevnost takto vysušeného paliva je 14,9 MJ/kg a výhřevnost daného množství je $14,9 \cdot 500 = 7,45$ GJ. Takže ačkoli se obsah vlhkosti snížil z 60 % na 20 %, energetická hodnota v jednom kilogramu paliva se více než zdvojnásobila z 6,3 MJ/kg na 14,9 MJ/kg. Dostupná energie hromady štěpky ale vzrostla jen z 6,3 GJ na 7,45 GJ, jelikož hromada postupně s vysycháním ztrácela svou hmotnost. Tato závislost mezi obsahem vlhkosti a výhřevností je znázorněna v tabulce 1.5.

OBJEMOVÁ HMOTNOST A OBJEM

Ačkoli je obsažená energie v 1 kg dřeva při dané vlhkosti téměř konstantní bez ohledu na druh (19-20 MJ při 0 % a 10-11 MJ při 40 % m.c.), nelze totéž říci o objemové hmotnosti. Zatímco 1 kg relativně hutného dřeva jako je matai nebo eben lze uchopit jednou rukou, 1 kg balzového dřeva (používá se na výrobu modelů letadel) stěží vměstnáme do příručního zavazadla. V obou případech dřevo obsahuje stejné množství energie. Takto vzniká rozdíl při řezání, přepravě a skladování, jelikož k získání potřebného množství energie je zapotřebí různých objemů dřeva. S těmito rozdíly se musí počítat i při návrhu spalovací komory. Uhlí má mnohem vyšší hustotu energie než dřevo, takže při spalování dřeva v uhelných zařízeních dochází k poklesu výkonu, protože do spalovací komory nelze vložit dřevo se srovnatelným energetickým obsahem jako uhlí.

Pro dopravu je důležité maximalizovat užitečný náklad za účelem snížení výdajů, to ovšem nemusí být snadné při přepravování vysušeného dřeva s nízkou objemovou hmotností. Představme si 15-ti tunový nákladní automobil s korbou 2 m vysokou, 2 m širokou a dlouhou 10 m. Pokud těchto 40 m³ bude vyplněno uhlím, může být celková hmotnost nákladu s automobilem 48 t (což bude pravděpodobně nezákonné vzhledem k překročení povolené hmotnosti). Pokud bude stejný objem vyplněn energeticky hutnou, „zelenou“ (50 % m.c.) eukalyptovou štěpkou, bude se celková hmotnost automobilu a nákladu pohybovat kolem 35 t. Pokud tento náklad bude tvořen méně hutným borovým dřevem, bude celková hmotnost asi 25 t, nosnost automobilu nebude plně využita, což znamená navýšení dopravních nákladů v Kč/t na km. Na základě znalosti objemové hmotnosti paliva můžeme zdokonalovat systémy dopravy, skladování a nakládání s palivy.

Tabulka 1.5 Vliv vlhkosti na energetický obsah 2000 cm³ dřevní biomasy o hustotě 500 kg/m³ a spalném teple 19,9 MJ/kg

Forma dřevní biomasy používané jako palivo	Obsažená vlhkost (%)	Hmotnost daného množství dřeva (kg) ^a	Hmotnost vody (kg)	Teplo potřebné k vypaření přítomné vlhkosti (MJ) ^b	Teplo potřebné k vypaření vody vzniklé spalováním vodíku (MJ) ^b	Výhřevnost 2000 cm ³ dřeva (MJ)	Výhřevnost vlhkého dřeva (MJ/kg)
Čerstvě sklizené dřevo	60	2,5	1,5	3,73	1,39	14,78	5,9
Nedávno sklizené dřevo	50	2,0	1,0	2,57	1,39	15,94	8,0
Odpad z pily	40	1,67	0,67	1,72	1,39	16,79	10,0
Palety/ dřevo z demolic	30	1,43	0,43	1,10	1,39	17,41	12,2
Biomasa sušená na vzduchu	20	1,25	0,25	0,64	1,39	17,87	14,3
Odpad z úpravy dřeva a výroby nábytku	10	1,11	0,11	0,28	1,39	18,23	16,4
Pecně sušené dřevo-pro srovnání	0	1	0	0	1,39	18,51	18,51

^a celková hmotnost, která je tvořena 1 kg sušiny a hmotností přítomné vody

^b energie potřebná k vypaření přítomné vlhkosti, plus 1,39 MJ/kg potřebných k vypaření vody vzniklé z vodíku přítomného v biomase, plus výhřevnost biomasy, tvoří spalné teplo 19,9 MJ/kg

POPEL

Popel z biomasy pochází z minerálních látek vyskytujících se ve struktuře dřeva a z půdy. Popelnatost paliva se nezjišťuje pouze k určení množství vzniklého popelu. Charakterizace popelu elementární analýzou a tavnými teplotami umožní předvídat problémy se struskováním, nánosy a spékavostí v kotli. Pokud je dřevo spalováno samostatně není tavení popela problém, jelikož proces probíhá za nižších teplot. Pokud je ovšem dřevo spoluspalováno s uhlím, může být dosaženo teploty tavení popela a spékavost se zde může objevit.

Chemická analýza popela ukazuje, že biomasa (zvláště sláma) ve srovnání s uhlím obsahuje velké množství alkalických kovů (Na_2O , CaO , MgO , K_2O a P_2O_5). Na_2O a K_2O jsou přítomny ve formě, která se při spalování lehce odpaří a po zchladnutí se usazuje na teplosměnných plochách, což může způsobovat ucpávání trubek. Je také možné, že zatímco spalování uhlí nebo biomasy samostatně se ukáže uspokojivé, při jejich spoluspalování může nastat chemická nerovnováha, mající za následek zestruskování.