

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Zemědělský odpad (sláma) jako obnovitelný zdroj energie**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Michal Soukup**

**Vedoucí práce: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.**

**© 2015 ČZU v Praze**

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Zemědělský odpad (sláma) jako obnovitelný zdroj energie " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za jeho ochotu, cenné rady, připomínky, trpělivost a zejména za čas, který mi věnoval.

# Zemědělský odpad (sláma) jako obnovitelný zdroj energie

## **Souhrn:**

Diplomová práce se zabývá problematikou obnovitelných zdrojů energie a zemědělského odpadu jako dalšího zdroje energie. Obnovitelné zdroje energie hrají stále důležitější roli v energetické politice vyspělých států. Obnovitelné zdroje energie a zemědělský odpad mají potenciál poskytnout energetické služby s nulovými nebo téměř nulovými emisemi znečišťujících látek a skleníkových plynů. Biomasa je v současné době cenným energetickým zdrojem a její využívání pro vytápění a výrobu elektrické energie v současné době narůstá. Sláma obilovin se v současné době již pro potřeby živočišné výroby využívá jen minimálně. Využití zemědělského odpadu jako paliva by mohlo přispět ke snížení energetické závislosti na fosilních palivech.

V diplomové práci byly sledovány změny spalného tepla v závislosti na obsahu vody u vybraných druhů zemědělského odpadu (slámy pšenice, ovsa, ječmene, tritikále, žita, řepky, sena ze sklizňových let 2013 a 2014, také pazdeří lnu, makoviny a šťovíku). Zemědělský odpad byl spalován zcela vysušený a při vlhkosti 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 % a 45 %. Obsah energie v odpadní zemědělské biomase byl zjišťován metodou spalné kalorimetrie. Ke spalování vzorků byl použit suchý spalný adiabatický kalorimetr Laget MS 10A.

Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že mezi obsahem vody a hodnotou spalného tepla existuje těsná lineární závislosti. Obsah vody ve vzorku průkazně snižuje hodnotu spalného tepla sledovaných vzorků zemědělského odpadu. Nejvýraznější snížení obsahu energie bylo zaznamenáno u vzorků při nárůstu vlhkosti na 45 %. Poklesem hodnot spalného tepla na zvyšující se vlhkost reagovala pšeničná a ječná sláma. Zajímavým palivem se jeví makovina a seno, které nereagují tak citlivě na zvyšující se vlhkost jako pšeničná a ječná sláma. Nejnižší hodnoty spalného tepla byly naměřeny u vzorků žitné a ovesné slámy.

**Klíčová slova:** odpad, sláma, obsah energie, obnovitelné zdroje energie

# **Agricultural waste (straw) as a renewable energy source**

## **Summary:**

My dissertation deals with renewable resources of energy issues and agriculture waste as another renewable resource. The renewable resources of energy play more and more important part of energy policy in developed countries. The renewable resources and agriculture waste have the potential to provide energy services with zero or almost zero emissions of air pollutants and greenhouse gases. Biomass has recently been a precious resource of energy and its use of heating and production of electric power has been increasing. Straw has been used for the needs of animal farming very rarely. Exploitation of agriculture waste as fuel could contribute to the reduction of energy dependency on fossil fuels.

The changes in the heat of combustion depending on content of water in kinds of agriculture waste (straw, wheat, oat, barley, triticale, rye, rape, hay of harvest 2013 and 2014, flax hards, poppy straw and sorrel) were observed in the dissertation. The agriculture waste was being burnt completely dried up in humidity of 5%, 10%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% and 45%. The content of energy in biomass of waste was detected by the method of heat calorimetry. A dry heat adiabatic calorimeter Laget MS 10 A was used to burn the samples.

By aquired results it is possible to state that between the water content and value of heat of combustion there exists a linear carnal dependence. The water content in the sample conclusively decreases the value of heat of combustion of observed samples of agriculture waste. The most distinct decrease of water content was recorded in samples during the rise of humidity of 45%. Wheat and oat straw reacted to growing humidity by the reduction of figures of heat of combustion. Poppy straw and hay, which don't react so sensitively to increasing humidity as wheat and barley straw, appear to be interesting fuels. The lowest figures of heat of cumbustion were registred in samples of rye and oat straw.

**Keywords:** waste, straw, energy content, renewable energy

## **Obsah:**

<b>1 Úvod.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Hypotézy práce .....</b>	<b>8</b>
<b>4 Literární rešerše .....</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Obnovitelné zdroje energie.....</b>	<b>9</b>
<b>4.2 Rozdělení OZE .....</b>	<b>11</b>
4.2.1 Geotermální energie.....	11
4.2.2 Solární energie .....	13
4.2.3 Větrná energie.....	18
4.2.4 Vodní energie.....	21
4.2.5 Energie z biomasy.....	23
<b>4.3 Spalování biomasy.....</b>	<b>29</b>
4.3.1 Možnosti spalování biomasy .....	31
<b>4.4 Energetický potenciál zemědělské odpadní biomasy .....</b>	<b>34</b>
4.4.1 Sláma jako palivo.....	34
4.4.2 Spoluspalování slámy s fosilními palivy .....	36
<b>4.5 Logistika při energetickém využití zemědělské odpadní biomasy.....</b>	<b>38</b>
<b>4.6 Spékaní popela ze slámy .....</b>	<b>41</b>
<b>4.7 Možnosti využití popela .....</b>	<b>42</b>
<b>4.8 Vývoj obnovitelných zdrojů energie (OZE) v ČR a EU .....</b>	<b>44</b>
<b>4.9 Legislativní a ekonomické prostředí pro OZE v ČR a EU.....</b>	<b>48</b>
<b>5 Materiál a metody .....</b>	<b>51</b>
<b>6 Výsledky.....</b>	<b>54</b>
<b>7 Diskuze .....</b>	<b>66</b>
<b>8 Závěr.....</b>	<b>66</b>
<b>9 Seznam použité literatury.....</b>	<b>71</b>

# 1 Úvod

Energetické zdroje hrají celosvětově důležitou roli. Energie je považována za primární prostředek pro vytváření bohatství a významný faktor hospodářského rozvoje. Zdroje energie lze rozdělit do tří kategorií: fosilní paliva, obnovitelné zdroje a jaderné zdroje. O tom, jaký typ zdroje energie bude využíván, rozhoduje řada ekonomických, sociálních, ekologických a bezpečnostních hledisek. Existuje mnoho alternativních a obnovitelných zdrojů energie, které mohou být použity místo fosilních zdrojů a konvenčních paliv. Tyto zdroje energie mají potenciál poskytnout energetické služby s nulovými nebo téměř nulovými emisemi znečišťujících látek a skleníkových plynů. Moderní technologie přetvářejí energii z obnovitelných zdrojů na energii, se kterou se dá obchodovat. Tyto technologie využívají při výrobě energie nejen sluneční energii a její přímé a nepřímé účinky na Zemi, jako je sluneční záření, vítr, voda a různé rostliny, tedy biomasu, ale i gravitační síly jako příliv a odliv nebo teplo zemského jádra (geotermální energie).

Z tohoto důvodu hrají také z globálního pohledu svou roli obnovitelné zdroje energie a to nejenom z pohledu jejich relativně rychlé obnovy, ale také s ohledem na sekvestraci uhlíku (Sims et al., 2003).

Celosvětový výzkum a vývoj v oblasti obnovitelných zdrojů energie (OZE) a systémů se provádí v průběhu posledních dvou desetiletí. Na konci roku 2001 celkový výkon instalovaných systémů obnovitelné energie dosáhl k 9 % z celkové výroby elektřiny (Sayigh, 2001).

## **2 Cíl práce**

Vzhledem k postupnému omezování fosilních zdrojů paliv a zvyšující se spotřebě energie se jako vhodné alternativní zdroje energie jeví zemědělské odpady, tedy i sláma. Výhodou slámy je její obnovitelnost a chemické složení, které umožňuje její zpracování nejenom jako zdroj pro výrobu energie spalováním, ale také pro výrobu bioetanolu.

Na základě těchto skutečností byly navrženy tyto cíle práce:

1. Stanovit vhodnost jednotlivých druhů obilné slámy či obdobného rostlinného materiálu pro spalování biomasy na základě hodnot spalného tepla,
2. stanovit vhodnou vlhkost získaného produktu pro energetické účely.

## **3 Hypotézy práce**

Z navržených cílů práce vyplývají následující vědecké hypotézy:

1. existují rozdíly v obsahu energie u jednotlivých druhů obilné slámy,
2. existují rozdíly v hodnotách spalného tepla u dalších druhů zemědělského odpadu,
3. existuje vztah mezi obsahem vody a hodnotou spalného tepla zemědělského odpadu?



## 4 Literární rešerše

### 4.1 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelnými zdroji energie (OZE) se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou geotermální energie, energie slunečního záření, větru, vody, biomasy, půdy, skládkového plynu, kalového plynu a bioplynu (Angelis-Dimakis et al., 2011; Liu et al., 2011).

Podle Demirbase (2005) obnovitelné zdroje energie (OZE) pokrývají 14 % celkové světové poptávky po energii. OZE jsou snadno dostupné v přírodě. Jedná se o čistou a nevyčerpatelnou energii. Nejvýznamnějším přínosem systémů obnovitelných zdrojů energie je snížení znečištění životního prostředí (Lund et al., 2010). OZE jsou odvozeny od přírodních, mechanických, tepelných a růstových procesů, které se v našem životě opakují. Podíl na vyrábění energie z obnovitelných zdrojů by se měl podle Lima et al. (2012) velmi výrazně zvýšit (na 30-80 % do roku 2100). Biomasa, větrná a geotermální energie jsou komerčně konkurenceschopné a dělají relativně rychlý pokrok (Fridleifsson, 2001). Hlavní obnovitelné zdroje energie a jejich formy použití jsou uvedeny v tabulce 1. Tabulka 1 uvádí, jak jsou využívány jednotlivé druhy obnovitelné energie a jejich přeměnu na energii lépe využitelnou pro lidstvo. Z této tabulky dále vyplývá, že převážnou formou využití OZE je tvorba elektrické a tepelné energie.

Tabulka 2 znázorňuje procentuální podíl jednotlivých zdrojů obnovitelné energie na Zemi v roce 1995. Jak je patrné v tabulce 2, procentní podíl biomasy byl 62,1 % z celkového počtu obnovitelných zdrojů energie v roce 1995. Naopak mezi nejméně využitelné zdroje energie v této době patřila energie větrná a sluneční.

**Tabulka 1: Hlavní obnovitelné zdroje energie a jejich formy použití**

Zdroj energie	Přeměna energie a možnosti použití
Vodní	Výroba elektrické energie
Moderní biomasy	Teplo a elektrické energie, pyrolýza, zplyňování, trávení
Geotermální	Vytápění, elektrická energie, hydrotermální, hot dry rock
Sluneční	Solární domácí systém, solární sušičky, solární vařiče
Přímé sluneční	Fotovoltaika, tepelná energie, ohřivače vody
Větrná	Energie, větrné generátory, větrné mlýny, vodní čerpadla
Vlna	Četné návrhy

Zdroj: Demirbas, 2005

**Tabulka 2: Procentní podíl jednotlivých zdrojů obnovitelné energie v roce 1995**

Prostředky	Procento
Biomasa	62.1
Vodní	33.6
Geotermální	3.2
Větrná	0.7
Sluneční	0.4

Zdroj: Demirbas, 2005

Abraham a Ander (2012) konstatují, že Obnovitelné zdroje energie hrají stále důležitější roli v energetické politice vyspělých států. Nahrazují klasické fosilní zdroje, pomáhají snižovat emise skleníkových plynů a zvyšují energetickou bezpečnost. Biomasa je z hlediska využitelného potenciálu pro ČR nejperspektivnější z obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny. Zdroje biomasy jsou v našich podmínkách stabilní a její využití je již dobře technicky i technologicky zvládnuto. K výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů energie se v ČR podle Mastného a kol. (2011) využívají i jiné zdroje energie než biomasa. Přehled je uveden v tabulce 3. Z ní vyplývá, že nejvýraznější podíl z OZE mají pro výrobu elektrické energie vodní elektrárny. Naopak nejnižší zastoupení na výrobu elektrické energie má skládkový plyn.

**Tabulka 3: Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR v roce 2013**

	[GWh]
Vodní elektrárny	3761,7
Větrné elektrárny	487,3
Fotovoltaické elektrárny	2070,2
Biomasa	1647,2
Bioplyn	2133,7
Skládkový plyn	107,6

Zdroj: Elektroenergetika, 2013

## 4.2 Rozdělení OZE

### 4.2.1 Geotermální energie

Geotermální energie je projevem tepelné energie zemského jádra, která vzniká rozpadem radioaktivních látek a působením slapových sil. Jejimi projevy jsou erupce sopek a gejzírů, horké prameny či parní výrony. Geotermální energie podle Demirbase (2005) je nejstarší energií na naší planetě vzniklou při formování planety z prachu a plynů před více než čtyřmi miliardami let. Geotermální energie se pro výrobu elektřiny a tepla využívá již více než 100 let. Podle tohoto autora byla průkopníkem především Itálie (nejstarší geotermální elektrárna z roku 1904 se nachází v Lardellu). Geotermální energie pro výrobu elektrické energie byla komerčně využívána od roku 1913. V roce 2000 byly nalezeny vhodné geotermální zdroje ve více než osmdesáti zemích a jsou využívány v 58 zemích po celém světě.

Praktické využívání geotermální energie se na celém světě v posledních letech výrazně zvyšuje. Fridleifsson (2001) konstatuje, že to souvisí i se snahou omezit emise oxidu uhličitého a zabránit tak globálnímu oteplování. Geotermální energie je čistá, levná a obnovitelná, může být využita v různých formách, jako je výroba elektřiny, přímého užívání, vytápění, tepelná čerpadla, vytápění skleníku a průmyslové využití. Elektřina se vyrábí z geotermální páry v 21 zemích (např. Island, USA, Filipíny, Nový Zéland). Nízká teplota geotermální energie je využívána k výrobě tepla. Hlavními typy přímého použití je lázeňství (42 %), vytápění (35 %), skleníky (9 %), chov ryb (6 %), a průmysl (6 %).

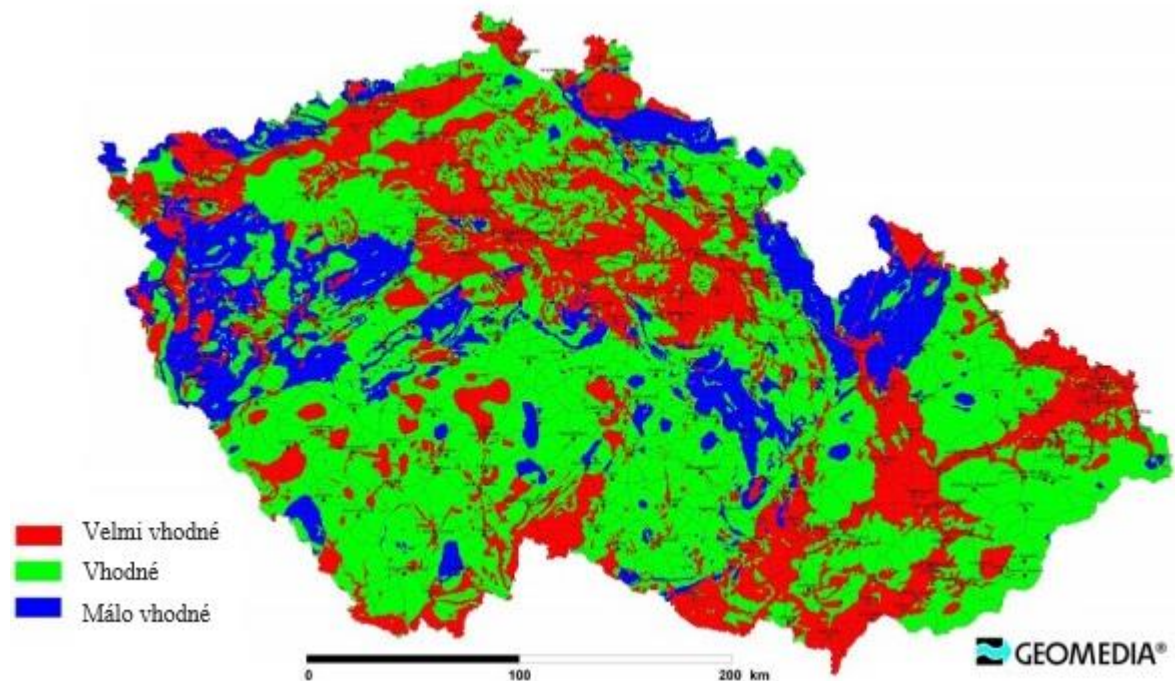
Geotermální elektrárny dodávají 1 % světové spotřeby elektřiny. Podle mezinárodní energetické agentury (International Energy Agency, IEA) se výkon a výroba geotermálních elektráren v období 2030 - 2040 minimálně vyrovná jaderným elektrárnám.

Potenciál geotermální energie pro výrobu elektřiny v České republice je velký, cca 3 000 MWe s roční výrobou až 24 TWh elektřiny, což odpovídá třetině současné hrubé spotřeby, a až 800 PJ tepla (Motlík a kol., 2007). Obr. 1. zobrazuje vhodná místa v České republice, kde jsou geologické předpoklady pro čerpání geotermální energie a tepla hydrotermálním způsobem. Tento způsob využití geotermální energie je u nás možné realizovat díky dostatečné zásobě podzemní vody, vydatnosti podzemní zvodně (hydraulicky

jednotná akumulace podzemní vody v hornině) a nízké mineralizaci vody. Systém, který lze nejlépe uplatnit v podmínkách České republiky se nazývá Engineering /Enhanced Geothermal System (dále EGS), dříve Hot Dry Rock (HDR) (Motlík a kol., 2007; Mrázek, 2012).

V systému EGS je voda vtačována injekčním vrtem do země (do hloubky 4 až 5 km). Při prostupu vytvořeným tepelným výměníkem se voda ohřeje na teplotu cca 200 °C a dvěma produkčními vrty je čerpána jako směs páry s vodou na povrch. Zde přes výměník předává energii do technologie na výrobu elektřiny a tepla. Optimální velikost jedné teplárny je 5 MWe, teplárna vedle elektřiny produkuje až 32 MW tepla (výstupem z výroby elektřiny je voda o teplotě 80 - 120 °C) (Březová, 2011).

**Obrázek 1: Potencionál zemského tepla na území ČR**



Zdroj:<http://www.prumysl.cz/silu-geotermalni-energie-v-cesku-zatim-nikdo-nevyuziva-brzy-by-se-to-vsak-mohlo-zmenit/>

Dnes je při výrobě geotermální energie možné využít podle Anon (2011) třech druhů elektráren:

- na suchou páru: systém používá přímo páru získanou ze země na pohon turbíny,
- na mokrou páru: systém nechá nejprve horkou vodu přeměnit v páru a ta pak slouží k pohonu turbíny,

- horkovodní (binární): systém použije vodu s nízkou teplotou, která předá ve výměníku teplo organické kapalině (např. propan, isobutan a freon) s nižším bodem varu a teprve její pára pak pohání turbínu.

Při technologii výroby elektřiny a tepla jsou nejvíce využívány binární cykly s pracovní látkou s nízkým bodem varu (nasycené uhlovodíky, halogenové uhlovodíky, směsi čpavku a vody) (Anon, 2011).

V Děčíně od roku 2002 funguje výtopna, která prostřednictvím vrtu do hloubky 550 m, využívá hydrotermální energii pro zásobování poloviny města teplem. V Česku využívá geotermální energii také město Ústí nad Labem, a to k vytápění plaveckých bazénů a od roku 2006 také k vytápění zoologické zahrady (Březová, 2011).

U Litoměřic byl proveden průzkumný vrt do hloubky 2 111 m, vypočtená teplota v hloubce 5 km je 207 °C. Kříží se zde dva tektonické zlomy, proto by měla být geotermální energie posílena i o sálavé teplo z hlubších, magmatických vrstev. Navíc do jednoho kilometru pod povrchem sahají tzv. permokarbonské sedimenty, které fungují jako "deka" izolující žulové podloží, takže teplo příliš neuniká k povrchu země (podobně výhodné podmínky by měly být např. u Kadaně, Mělníka, Nové Paky, Chomutova či na Moravě u Kroměříže). (Březová, 2011)

#### **4.2.2 Solární energie**

Lidé využívají energii slunce již celá tisíciletí k pasivnímu ohřevu svých obydlí a k sušení potravin. Nový rozměr využití sluneční energie nastal objevem fotovoltaického jevu Alexandrem Becquerelem v roce 1839 (Kazmerski, 1997). Za vědecké vysvětlení fotovoltaického jevu získal Albert Einstein roku 1905 Nobelovu cenu. Ve 20. století bylo objeveno a rozšířeno bezpočet dalších způsobů využití energie slunečního záření. Na mnoha místech ve světě existují zařízení na přeměnu dopadajícího slunečního záření v teplo (např. ohřev vody nebo sluneční domy), v chemickou energii (např. rozklad vody na vodík a kyslík), v elektřinu (fotovoltaické články) nebo mechanickou energii (Jiříček a Rábl, 2005b; Chlubný a kol., 2010).

Sluneční energie a její využití má mnoho nesporných výhod. V lidském měřítku je slunce nevyčerpatelným zdrojem energie. Její využívání přispívá ke snížení spotřeby fosilních

paliv, neznečišťuje životní prostředí emisemi SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a prachovými částicemi. Zařízení na využití sluneční energie mají nízké provozní náklady a nenáročnou obsluhu. Podle zákona o zachování energie ze sluneční energie, dopadající na planetu Zemi, přeměňuje beze zbytku v jiné formy (např. energii větru, vody) Intenzita zářivé energie na hranici zemské atmosféry je na každý čtvereční metr průměrně 1 367 W. Průchodem atmosférou se část energie odráží zpět do vesmírného prostoru, část se pohltí a rozptýlí. Zbývající část dopadá na zemský povrch a je jím pohlcena nebo odrážena. V České republice dosahuje průměrná intenzita slunečního záření hodnoty kolem 620 W.m<sup>-2</sup>, jen výjimečně a krátkodobě 1 000 W.m<sup>-2</sup>. Za hlavní nevýhodu solární energie je považována nestálost, či nepravidelný přísun slunečního záření (Chlubný a kol., 2010).

Pasivní využívání sluneční energie představuje termín popisující interakci mezi slunečním zářením a ohřivaným předmětem. K přenosu energie se nevyžaduje žádná aktivní součást. Tato metoda je levná a jednoduchá a obecně nejvyužívanější. Jedná se o principy tzv. solární architektury (vhodná orientace prosklených ploch a tepelně akumulacích stěn, dosažení maximálního objemu stavby za minimálního povrchu obvodových (ochlazovaných) stěn, důkladná tepelná izolace a využití obnovitelných zdrojů pro energetické zásobování stavby). Dalšími příklady mohou být zahradní skleníky, ohřev užitkové vody, vytápění budov (Ševčíková a kol., 2003; Jiříček a Rábl, 2005b; Chlubný a kol., 2010).

Uvedení autoři dále uvádí, že pasivní využití solární energie má velké výhody v tom, že nepotřebuje žádný vnější zdroj energie a nemá žádné provozní náklady. V našich podmínkách má však omezené uplatnění, např. v zimě, kdy je nejvíce potřeba, jsou dny krátké a sluneční záření slabé. Budovy, jež se v co největší míře snaží využívat sluneční energii pomocí čistě stavebních prostředků, se nazývají pasivní domy. Pasivním solárním systémem lze nazvat jak celou budovu, tak pouze některé z jejích částí.

Aktivní využívání sluneční energie pokud je teplo dál přenášeno přidavným technickým zařízením, hovoříme o aktivním využití solární energie. Jedná se už o poněkud složitějším využití, je potřeba lepší technické vybavení, náklady jsou vyšší. Aktivní využití je v podstatě dvojího typu:

A) Pro ohřev vody.

Solární systém je tvořen soustavou topných prvků, jejichž parametry a vzájemné propojení určují typ systému. Stavebním prvkem systému jsou solární kolektory. Kolektory můžeme rozdělit podle tvaru na ploché a trubicové. Základem kolektorů je sluneční absorbér,

který přeměňuje zachycené sluneční záření na tepelnou energii. Podle použitého média dělíme kolektory na kapalinové, vzduchové nebo kombinované. Pro celoroční provoz je jako teplotonosnou kapalinu nutné použít nemrznoucí směs, která má mít, kromě bodu tuhnutí, podobné fyzikální vlastnosti jako voda. Ze solárních absorberů je tepelná energie odváděna buď do místa spotřeby, nebo do akumulčního zásobníku (Janiček, 2010).

B) Pro výrobu elektrické energie (fotovoltaika).

V rámci fotovoltaiky je sluneční energii přímo přeměňována na energii elektrickou. K této transformaci dochází ve fotovoltaických článcích solárních panelů. Existují tři typy solárních panelů: monokrystalické, polykrystalické a amorfnní (Jiříček a Rábl, 2005b; Chlubný a kol., 2010).

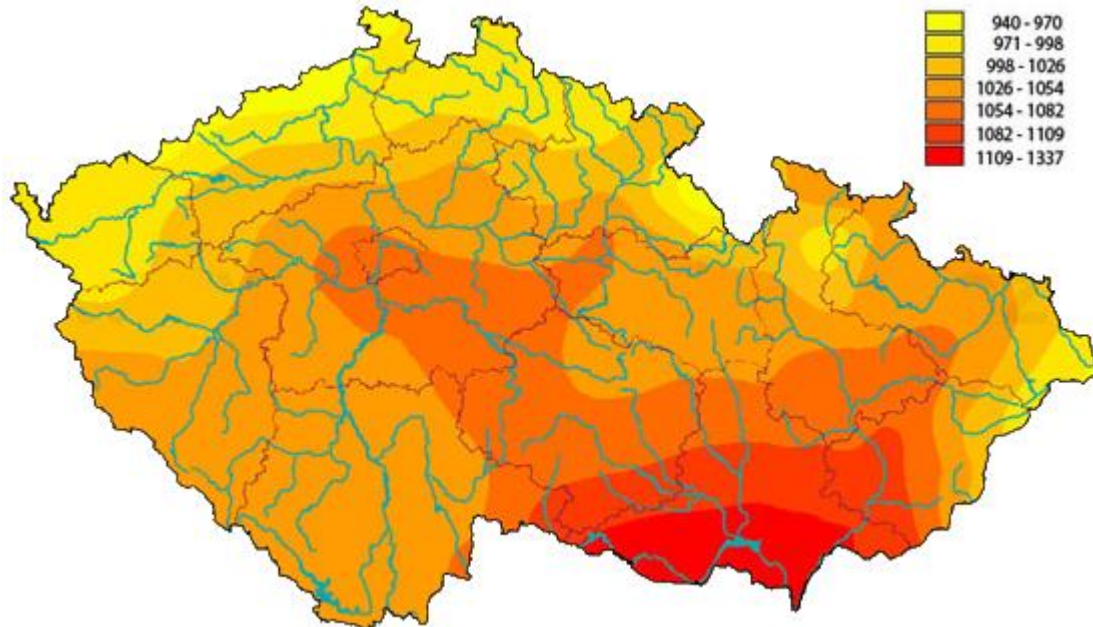
Kolik energie vyrobí Fotovoltaické elektrárny (FVE), závisí především na intenzitě a době slunečního záření. Vliv má také nadmořská výška, oblačnost a další lokální faktory jako např. ranní mlhy, znečištění ovzduší a úhel dopadu slunečních paprsků. Pro umístění FVE je nejvhodnější jižní orientace a sklon mezi 30 – 35°. Pokud je jasná obloha, výkon slunečního záření je kolem  $1 \text{ kWm}^{-2}$ , v opačném případě je záření přibližně 10x nižší. Počet slunečních hodin na našem území je 1 330 – 1 800 hodin ročně (Jiříček a Rábl, 2005b). Roční úhrn globálního slunečního záření na území ČR je zobrazen na obr. 2. Z obrázku je patrné, že nejvíce slunečního záření dopadá na jižní Moravu a to 1100 – 1340  $\text{W.m}^{-2}$  a nejméně v severních Čech 940 – 970  $\text{W.m}^{-2}$ .

Fotovoltaika v České republice je považována za trvale udržitelnou technologii, protože energie vložená do výroby fotovoltaických panelů se v podmínkách České republiky vrátí za 2 až 3 roky a očekávaná životnost panelů přesahuje 30 let (Jiříček a Rábl, 2005b). Budoucí vývoj fotovoltaiky počítá s dalším snížením výrobních nákladů a dopadů na životní prostředí (Pehnt, 2006). Výstavbu a celkový instalovaný výkon znázorňuje graf 1. Z uvedeného grafu vyplývá, že mezi roky 2009 a 2011 došlo k velkému nárůstu instalovaného výkonu v porovnání s předchozím vývojem a to téměř o 1900 MWe.

Celkový instalovaný výkon fotovoltaických solárních elektráren na světě dosáhl roku 2012 hodnoty 100 GW. Z toho přes 30 GW bylo připojeno do sítě jen v roce 2012. Z těchto 30 GW bylo 17 GW instalováno v Evropě. Nejvíce Německo se 7,6 GW, následuje Itálie s 3,3 GW a Francie s 1,2 GW. Tři největší trhy mimo Evropu byly Čína (min. 3,5 GW, spíše až 4,5 GW), Spojené státy americké (3,2 GW) a Japonsko (2,5 GW). Solární elektrárny si ve

světové energetice získávají čím dál tím důležitější postavení (REN21, 2014). Graf 2 ukazuje celosvětový vývoj instalace fotovoltaických solárních elektráren ve světě. V roce 2004 instalovaný výkon činil 3,7 GW, v roce 2013 můžeme pozorovat nárůst až na 139 GW.

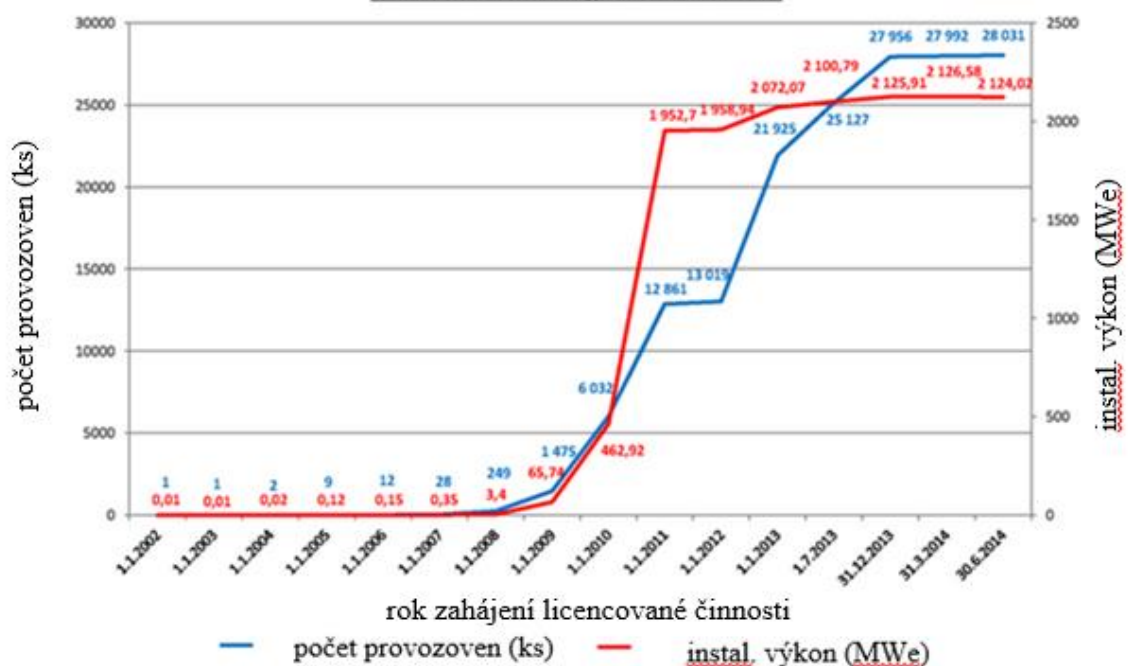
Obrázek 2: Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR (W.m-2)



Zdroj: isofenergy <http://www.isofenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>

Graf 1: Vývoj fotovoltaických elektráren v ČR

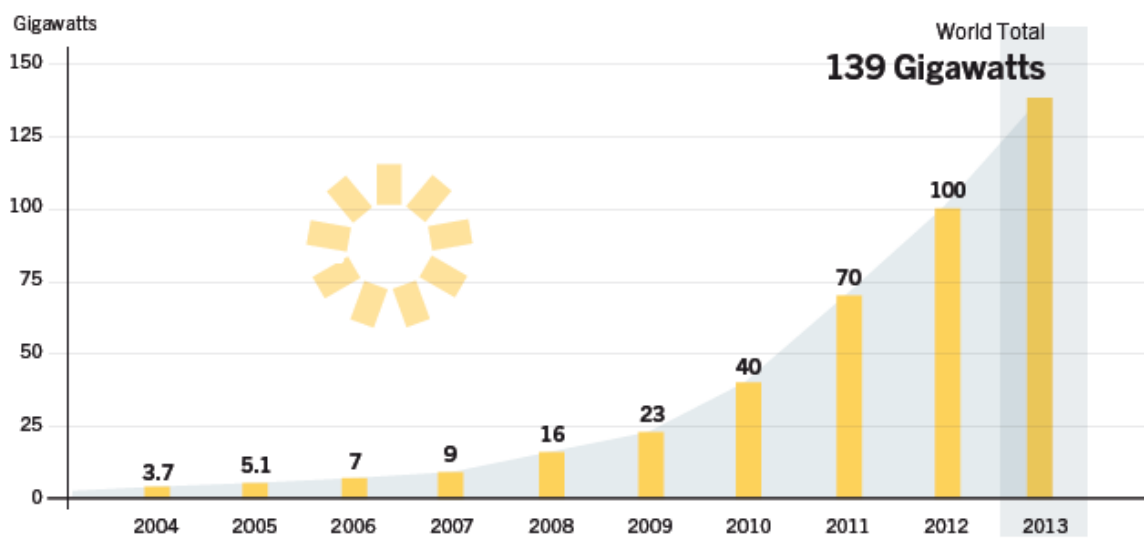
**Sluneční elektrárny, stav k 1.7.2014**



Zdroj: ERÚ



**Graf 2: Vývoj instalovaného výkonu fotovoltaických solárních elektráren ve světě**



Zdroj: REN21

### 4.2.3 Větrná energie

Větrná energie je jen jedna z forem sluneční energie. Vzniká díky tomu, že Slunce zahřívá Zemi nerovnoměrně. Mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře vznikají tlakové rozdíly, které se vyrovnávají prouděním vzduchu. Pod pojmem vítr rozumíme pouze horizontální složku proudění vzduchu (Dušička, 2003).

Větrnou energii lidstvo využívá už po staletí. Energie větru byla využívána k námořní přepravě už ve starověkém Egyptě. Z této doby pochází také zmínky o prvních větrných mlýnech. Ve středověku a v počátcích novověku došlo k rozmachu v budování větrných děl na Blízkém východě a po Evropě, např. v Holandsku, kde motory větrných mlýnů sloužily k mletí obilí na mouku, lisování semen pro výrobu oleje apod. Až na konci 19. století v roce 1891 byla v Evropě poprvé vyrobena elektřina s využitím energie větru (Elektro, 2005). Větrné turbíny navrženy na výrobu elektrické energie. Mohou produkovat mezi 500 kW až 1 MW elektrické energie. Tento zdroj je neznečišťující životní prostředí a volně k dispozici v mnoha oblastech. Větrné turbíny jsou stále účinnější a náklady na výrobu elektřiny neustále klesají (Demirbas, 2005).

Z hlediska využívání větrné energie je nejdůležitějším faktorem rychlost větru, která má přímý vliv na celkový i využitelný výkon větru. Rychlost větru je ovlivňována členitostí zemského povrchu a platí, že směrem k němu klesá. Proudění vzduchu uvádí do pohybu listy rotoru větrníku. Pohybová energie větru se tak změní na mechanickou rotační energii. Rotační energie uvede do pohybu hřídel, na jejímž konci je připojen elektrický generátor. Získaná elektrická energie je přenášena do rozvodny a dále do místa spotřeby. I přesto, že během tohoto procesu dochází ke ztrátám, dnešní větrné elektrárny jsou schopny pracovat s účinností 20 – 45 % (Kikuchi, 2008).

Využití větrné energie je omezena geomorfologií a meteorologickými podmínkami. Ve světě se větrné elektrárny umísťují jak na souš, tak i na otevřené moře kvůli dobrým povětrnostním podmínkám, hlavně v zemích západní Evropy, počet větrných elektráren dosahuje řádu tisíců a v ČR pouze v řádu desítek (Cenek, 2001).

Většina oblastí vhodných pro umístění větrné elektrárny se v ČR nachází ve špatně přístupných horských oblastech a v oblastech s vyšší nadmořskou výškou (Cenek, 2001) což znázorňuje obr. 3, na kterém jsou vyznačena vhodná místa pro výstavbu větrných

elektráren na území České republiky. Ke dni 30. 9. 2014 byl celkový instalovaný výkon větrných elektráren na našem území 268 MW (Elektroenergetika, 2013). Vývoj instalace větrných elektráren zobrazuje graf 3, z něhož je patrná největší výstavba větrných elektráren v roce 2007, která trvá do roku 2010, od té doby výstavba značně stagnuje. Největší farma větrných elektráren v České republice se nachází u obce Kryštofovy Hamry v Krušných horách. Ve výšce 800 – 850 m. n. m. pracuje 21 turbín o celkovém instalovaném výkonu 42 MW. Farma zahájila provoz v roce 2007 a v roce 2011 vyrobila 99,1 GWh elektřiny.

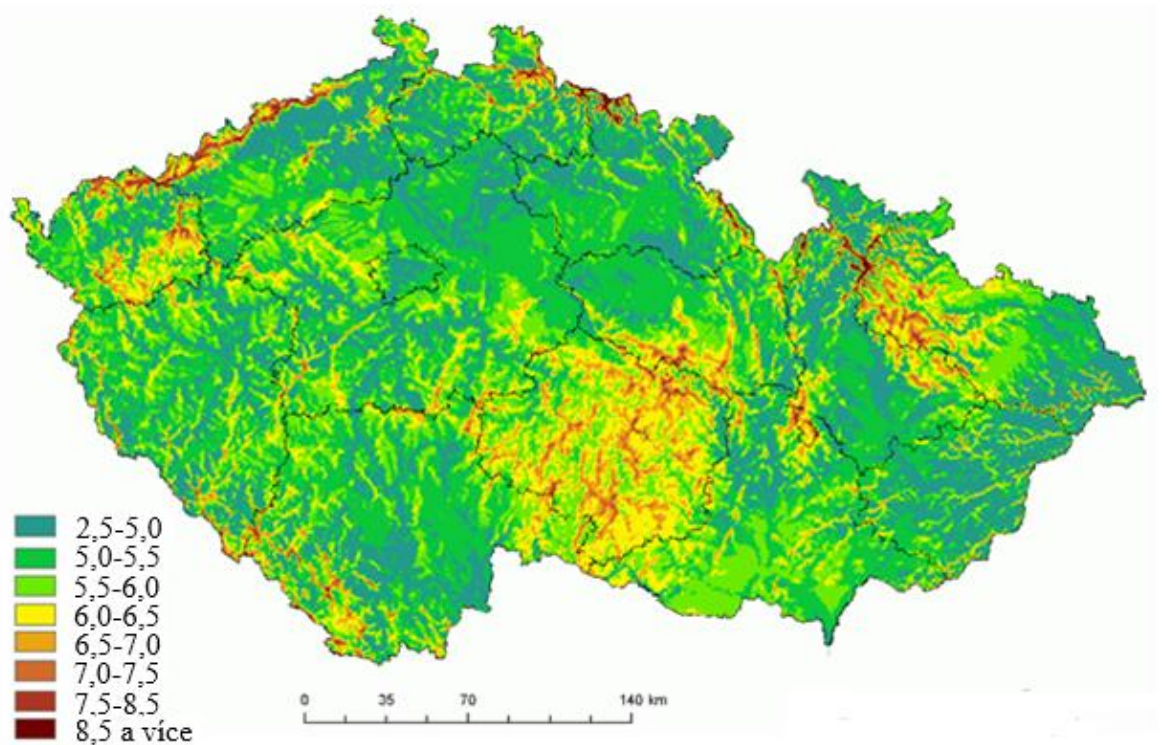
Hlavní nevýhodou větrných elektráren je jejich závislost na vhodné rychlosti větru a tím nestabilní výroba elektřiny. Síla větru v nížinách mnohdy nedosahuje potřebné úrovně a ve vyšších polohách mohou zase listy rotorů často namrzat, což narušuje chod elektrárny nebo ji rovnou vyřazuje z provozu. Problém hluku vydávaného elektrárnou bývá přeceňován stejně jako názor, že jsou nebezpečné okolnímu ptactvu (Saidur et al., 2011).

Rozdělení větrných elektráren podle Mastného a kol. (2011).

Podle aerodynamického principu dělíme větrné elektrárny na vztlakové a odporové.

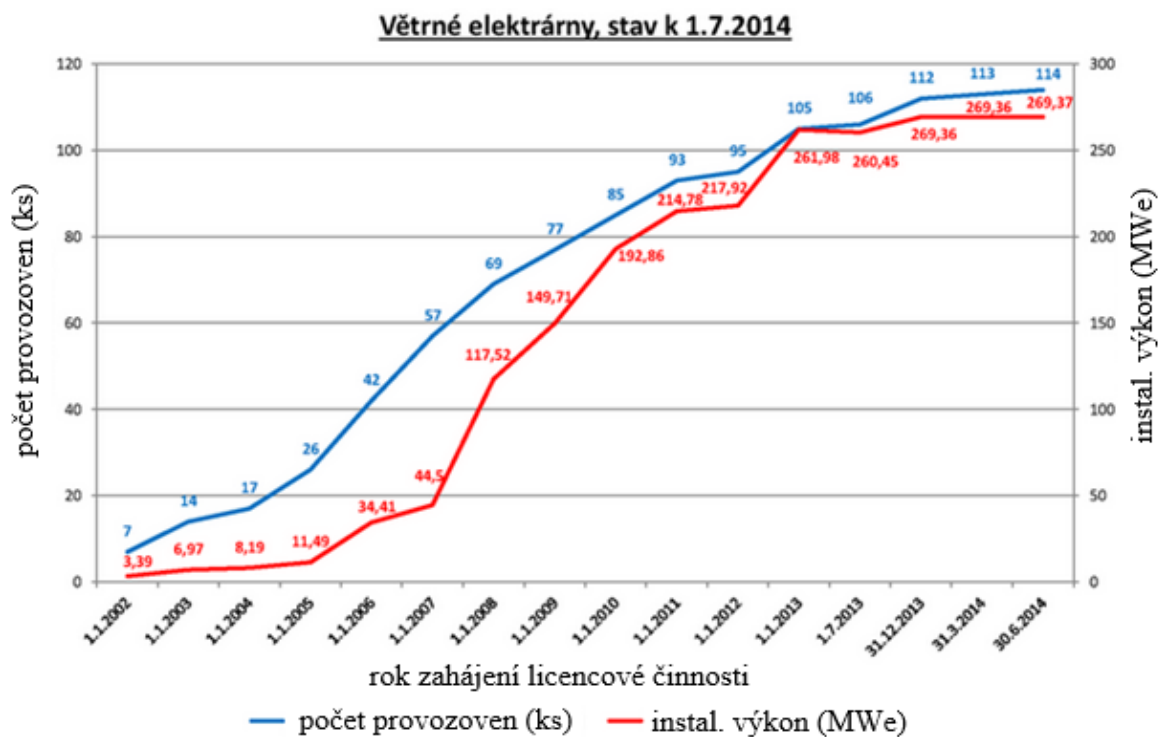
Nejrozšířenějším typem větrných elektráren jsou elektrárny s vodorovnou osou otáčení pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Po experimentech s jedno-, dvou- i čtyřlístými rotory již všechny velké moderní elektrárny používají třílísté rotory. Větrné elektrárny tohoto typu dnes mohou reálně dosahovat účinnosti až 45 %. Existují také elektrárny se svislou osou otáčení (Jiříček, 2013). Odporové větrné elektrárny byly využívány především v minulosti. Podstatou těchto motorů je skutečnost, že plocha nastavená proti větru mu vytváří aerodynamický odpor. Tím se na této ploše vytváří síla, která se mechanicky přeměňuje na rotační pohyb. Odporové motory pracují s účinností 15 - 23 % (Kikuchi, 2008).

Obrázek 3: Průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad povrchem



Zdroj: <http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/>

Graf 3: Vývoj větrných elektráren



Zdroj: ERÚ

#### 4.2.4 Vodní energie

První zmínky o využití energie vody pochází z doby starověku. Byla využívána k lodní přepravě, později poháněla mlýnská kola, pily, hamry apod. Druhá polovina 19. stol. byla rozhodující pro vznik a vývoj vodních turbín sloužících jako součást malých vodních elektráren (dále jen MVE - toto označení se u nás užívá pro elektrárny s instalovaným výkonem pod 10 MWe). Jako první se v Evropě kolem roku 1870 začala uplatňovat Francisova turbína. Na principu vstříku vody do miskových lopatek vyvinul svoji turbínu v roce 1877 Američan Pelton. V roce 1912 vyvinul profesor Kaplan vrtulovou turbínu, dodnes zvanou Kaplanovu, která umožňuje využití spádů od 1,5 do cca 5,5 metrů a průtoků od 250 do 6 000 litrů za sekundu (Motlík, 2007).

Výstavba vodních elektráren má v České republice bohatou tradici. Kupříkladu ve 30. letech minulého století bylo na území bývalého Československa v provozu více než 11 000 vodních elektráren, ale přesto elektrárny později nedokázaly jiným zdrojům konkurovat a byly odstavovány (Holata, 2002).

Česká republika je vzhledem ke své poloze ochuzena o prudké horské toky a není zde ani hustá říční síť. Přesto má vodní energie v tuzemsku své nezastupitelné místo. Vodní energie představuje, hned po biomase, nejčastěji využívaný obnovitelný zdroj energie. Vodní elektrárny se na celkové výrobě elektřiny podílejí necelými 3 %, instalovaný výkon k roku 2013 činí 2 229,2 MW. V rámci obnovitelných zdrojů se jedná o 23 % (Elektroenergetika, 2013). Množství vyrobené elektrické energie vodními elektrárnami na území ČR od roku 2006 do roku 2013 zobrazuje graf 4. Nejvíce elektrické energie vyrábějí elektrárny vodní elektrárny s výkonem větším než 10 MW. Od roku 2011 do roku 2013 výroba elektrické energie ve vodních elektrárnách stoupá a přibližuje se k množství elektrické energie vyrobené v roce 2010.

Hydroelektrárny lze dělit podle různých kritérií:

Podle způsobu přeměny energie rozlišujeme turbíny rovnotlaké a přetlakové. U rovnotlaké turbíny je tlak před i za oběžným kolem stejný, kolo musí být umístěno nad hladinou. Mezi stěžejní vlastnosti patří stálý tlak vody a pomalé otáčky (Peltonova, Bánkiho turbína). U přetlakové turbíny je na jejím výstupu připevněna sací roura, která je umístěna pod hladinou. Tlak vody je za oběžným kolem nižší, než před ním. Důsledkem je

přeměna části tlaku na rychlost vody (Francoisova, Kaplanova turbína) (Dušička a kol., 2003).

V závislosti na instalovaném výkonu můžeme vodní elektrárny rozdělit na malé vodní elektrárny (MVE), tzn. do výkonu 10 MW, střední vodní elektrárny od 10 MW do 200 MW a velké vodní elektrárny (VVE) jsou všechny ostatní s výkonem nad 200 MW.

Další rozdělení je podle Dušičky a kol. (2003) dle způsobu zadržení vody na průtočné (pracující v nepřetržitém režimu), akumulární (pološpičkový a špičkový režim) a přečerpávací (špičkový režim). Z hlediska dispozičního řešení dělíme vodní elektrárny podle Mastného a kol. (2011) na:

**jezové** – jsou navrhovány převážně jako průtočné a budují se na nížinných řekách s velkými průtoky. Těchto průtoků využívají průběžně, energii neakumulují a neovlivňují přirozený průtok vodního toku v daném profilu. Tyto MVE využívají energii vody vzniklou vzdutím vody na jezu a z toho plynoucího rozdílu hladin před a za jezem.

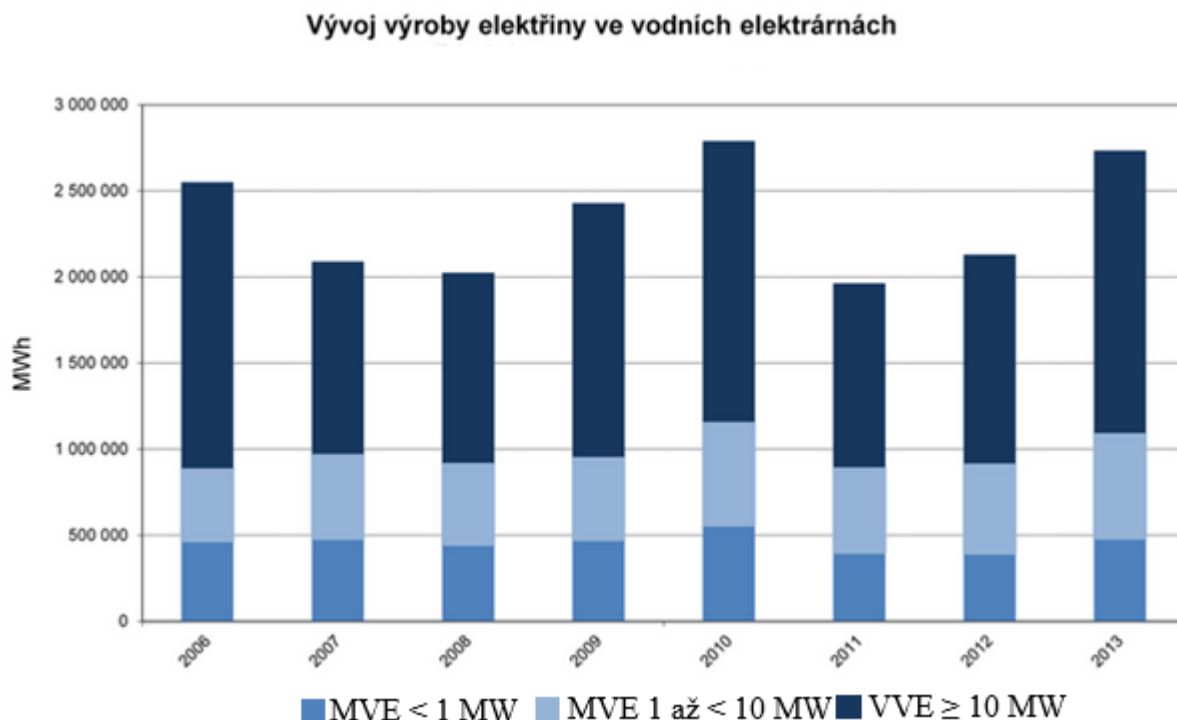
**derivační** - můžeme nazvat také náhonové, u kterých je před vzdouvacím zařízením část vody převedena do derivačního převaděče. Tyto MVE využívají spád mezi horní hladinou a výtokem do původního vodního toku. Voda je k elektrárně přiváděna pomocí náhonu a zpět se vrací odpadním kanálem. Výhodou je vedení jen potřebného množství vody, nevýhodou pracná údržba dlouhého náhonu.

**přehradní** (akumulační), kdy spád je vytvořen pomocí přehrady, MVE je zcela v tělese hráze, nebo jako podpřehradová, popř. věžová, jsou určena nejen pro výrobu elektrické energie, ale také pro ochranu území před povodněmi, pro splavnění toků, zdroje pitné vody. Přehradní hráze a vyšší jezy však brání tahu ryb, proto je nutno vybudovat systém cest pro ryby.

**přečerpávací** – s horní a dolní nádrží. Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) jsou příkladem regulačních elektráren, které mají nezastupitelnou roli při pokrývání špičkových zatížení a rychlých výkonových změn denního diagramu.

**přilivové** – využívají energii mořského přílivu.

Graf 4: Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách



Zdroj: ERÚ

#### 4.2.5 Energie z biomasy

Biomasa je podle Chlubného a kol. (2010) celkový objem všech organismů vyskytujících se v určitém okamžiku na určitém místě. Jedná se o rostliny, živočichy, bakterie i houby. Všechny tyto organismy v sobě mají energii, jež je navázaná v organických sloučeninách, které tvoří jejich tělo.

Producentem této energie jsou rostliny, které tvoří základ potravní pyramidy. Rostliny využívají energii slunečního záření, vodu a oxid uhličitý, ze kterého fotosyntézou dokážou vyrobit organické látky, v nichž je uložena energie ze slunce. Tato energie putuje s rostoucími ztrátami v potravních vztazích dál ke konzumentům (býložravci, masožravci) až k degradátorům (mrchožrouti). V rostlinách je navázané velké množství energie, která by se dala využít nejen jako zdroj potravy, ale třeba jako zdroj tepla a tedy se jedná o jeden z obnovitelných zdrojů energie (Chlubný a kol., 2010).

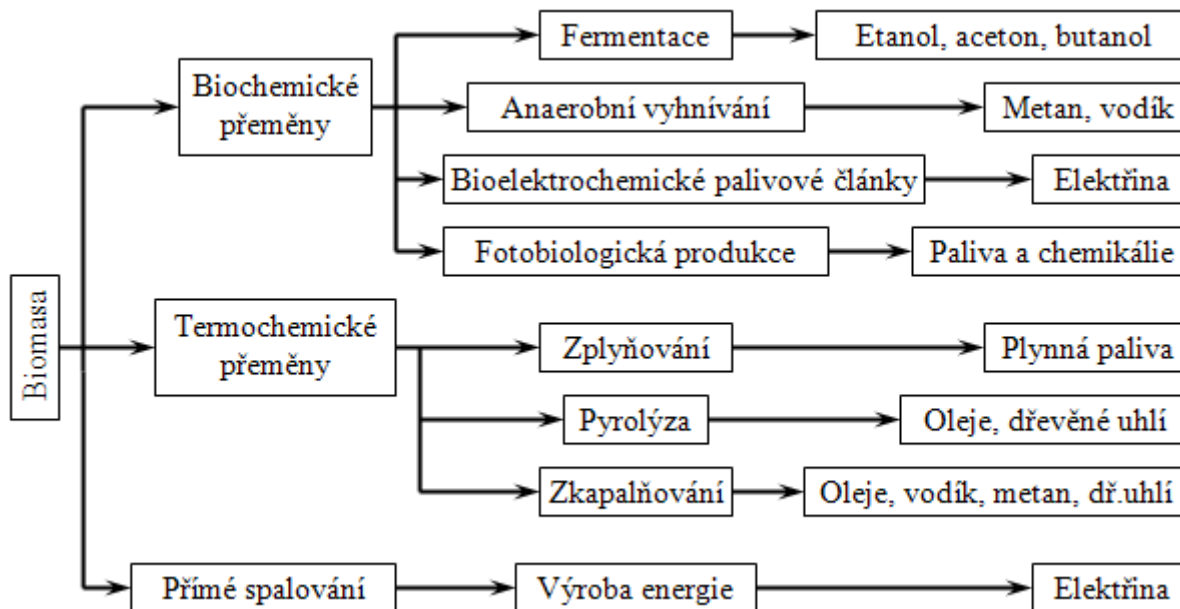
Jelemenský a kol. (2013) hovoří o biomase jako o biologicky rozložitelné části výrobků, odpadů a zbytků z provozování zemědělství a hospodaření v lesích a souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž

biologicky rozložitelná část vyříděného průmyslového a komunálního odpadu. Biomasa představuje zdroj energie, který je obnovitelný a z hlediska uhlíku neutrální. Na syntézu biomasy se spotřebovává oxid uhličitý z atmosféry a po jejím spálení se zase vzniklý oxid uhličitý vrací zpět do atmosféry. Právě z tohoto důvodu je vhodná k energetickému využití.

Biomasa je lidmi pěstována už skoro více než 10 tisíc let, ale v poslední době je využívána k výrobě energie, což překračuje chápání tradičního zemědělství (Murtinger a Beranovský, 2008).

Za posledních několik let se biomasa stává v celosvětovém měřítku atraktivním zdrojem energie pro všechny typy uživatelů, jak demonstruje obr. 4. Z něho je patrné, že biomasa je zpracovávána mnoha způsoby k zisku energie v ní uložené. Rozhodujícími faktory určující jaké přeměny bude využito, je vlhkost a chemické složení biomasy. Ve vyspělých zemích se ale stále nedaří významně snížit spotřebu primárních energetických zdrojů, jako je ropa zemní plyn a uhlí. Právě potenciál obnovitelných zdrojů energie, zejména pak biomasy, se tak stává důležitý pro energetickou soběstačnost zemí (Havlíčková a kol., 2005).

Obrázek 4: Využití biomasy k energetickým účelům



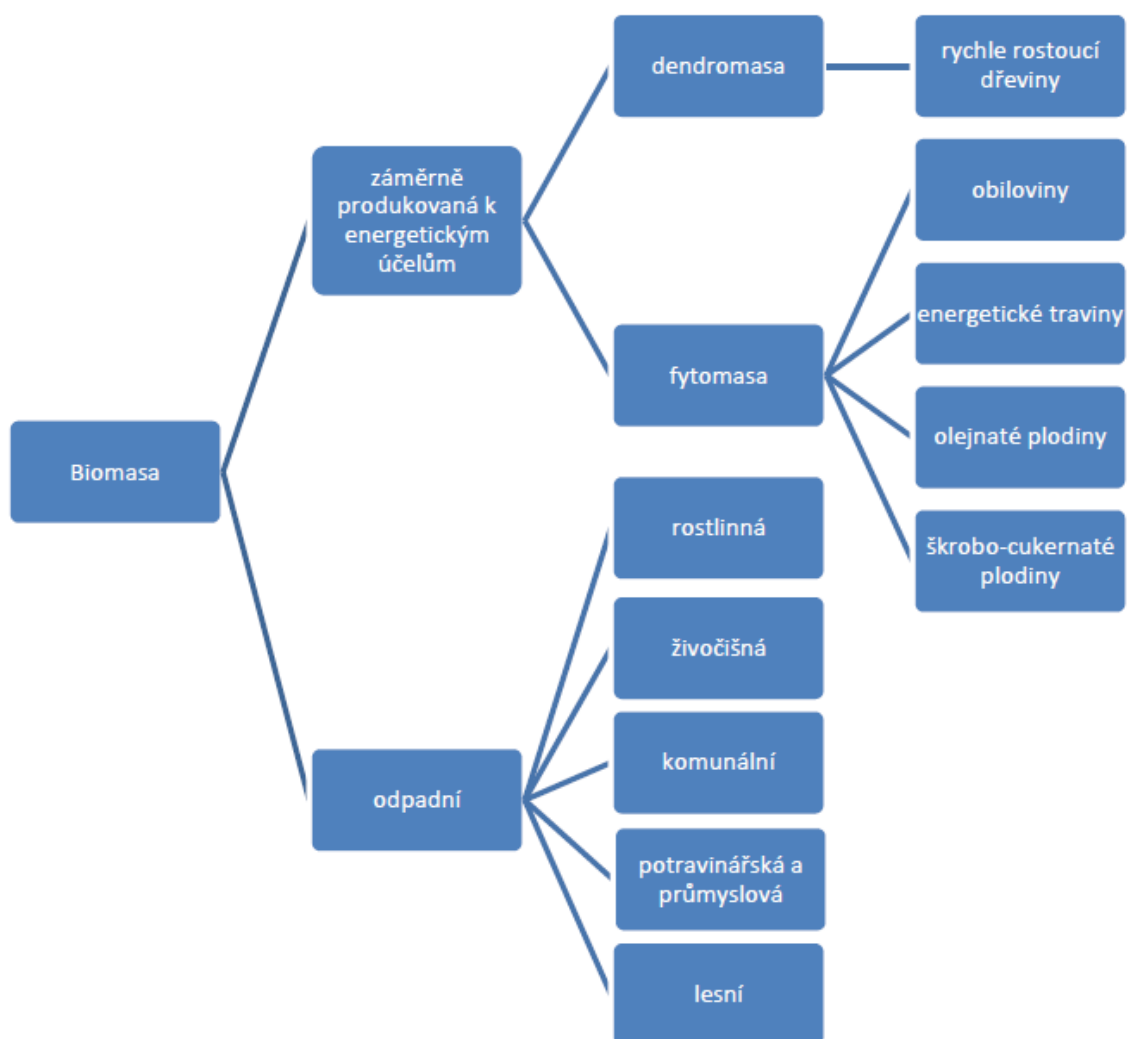
Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/10141-mikrorasy-jako-zdroj-surovin>



Biomasa má význam nejen jako zdroj energie, ale může přispět i na úpravu životního prostředí a trvalou udržitelnost krajiny. Efektivní a ekologické využívání biomasy pro energetické účely má minimální negativní vliv na životní prostředí. V dnešní době jsou zdrojem biomasy hlavně reziduální nebo odpadní hmoty, jako např. sláma různých obilnin a řepky, nebo dřevní štěpky (Zacharda a kol., 2009).

Rozdělení biomasy podle Mastného a kol. (2011) pro získávání energie je zobrazeno na obr. 5. Takto využitá biomasa se dělí do těchto typů:

**Obrázek 5: Rozdělení biomasy**



Zdroj: Mastný a kol., 2011

- biomasa záměrně pěstovaná pro energetické účely se podle Pastorka a kol. (2004) dělí na:

**Energetické dřeviny:** k produkci dřevní biomasy pro energetické účely jsou ideální tzv. rychlerostoucí dřeviny, které ve srovnání s ostatními dřevinami disponují krátkou obmýtní dobou, významně větším hmotným přírůstkem a po sklizni jsou schopny rychlé obnovy.

**Energetické traviny:** jedná se o méně známé pěstované plodiny, které dorůstají až 7 m a produkují téměř 88 t sušiny z ha za rok. Mezi hlavní zástupce těchto víceletých travin patří *Miscanthus* sp., *Arundo* sp., *Pennisetum purpureum* a další u nás známé jako „deltská“ či „sloní“ tráva (Pastorek a kol., 2004).

**Obiloviny a olejnaté plodiny:** jsou velmi cenným energetickým zdrojem, k energetickým účelům lze využít téměř celou rostlinu. Může se využít zrno i sláma. Technologie pro pěstování této biomasy jsou známy a dovedeny téměř k dokonalosti, tudíž není třeba investovat do nových technologií (Murtinger, 2006).

Členění biomasy záměrně produkované k energetickým účelům podle Beranovského a kol. (2004) je znázorněno v tabulce 4. Z ní je patrné, že se jedná o plodiny s vysokým přírůstek dendromasy a nebo fytomasy.

**Tabulka 4: Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům**

Lignocelulózové	Dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty)
	Obiloviny (celé rostliny)
	Travní porosty (sloní tráva, chrastice, trvalé travní porosty)
	Ostatní rostliny (konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka)
Olejnaté	Řepka olejná, slunečnice, len, dýně na semeno
Škrobno-cukernaté	Brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice

Zdroj: Beranovský a kol. 2004

- odpadní biomasa

Významnou část biomasy tvoří biomasa odpadní. Pro každý průmyslový nebo zemědělský podnik je vyprodukovaná odpadní biomasa ztrátou, která by měla být minimalizována. Energie odpadní biomasy byla v minulosti značně nevyužita. Odpadní biomasa je v České republice více vyhledávaným biopalivem než biomasa cíleně pěstovaná, díky jejímu dostatku a dostupnosti. Rozdělení odpadní biomasy podle Beranovského a kol.

(2004) zobrazuje tabulka 5. Jedná se především o rostlinné odpady, lesní odpady, organické odpady z průmyslových výroby, odpady z živočišné výroby a komunální organické odpady.

**Tabulka 5: Rozdělení odpadní biomasy**

Rostlinné odpady	sláma, seno, zbytky po likvidaci křovin
Lesní odpady	pařezy, kořeny, šišky, větve
Organické odpady z průmyslových výroby	odřezky, piliny, hobliny, kůra
Odpady z živočišné výroby	hnůj, kejda, zbytky krmiv
Komunální organické odpady	kaly, organický tuhý komunální odpad

Zdroj: Beranovský a kol. 2004

**Rostlinné odpady** jsou podle (Motlík a Váňa, 2002; Pastorek a kol., 2004) významným zdrojem biomasy pro energetické účely. Hlavně kukuřičná, obilná a řepková sláma díky dobré výhřevnosti slamy ( $14,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) a seno ( $12 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). V České republice je využito něco málo přes 50 % plochy zemědělské půdy pro pěstování těchto rostlin. Z celkového množství vyprodukované obilné slamy lze pro energetické využití uplatnit maximálně 20-30 %. K energetickým účelům lze také uplatnit biomasu z údržby krajiny jako např. zbytky po likvidaci křovin a náletových dřevin, odpady z údržby zeleně a travnatých ploch.

Mezi rostlinné odpady ze zemědělství patří také bramborová nať, řepný chrást, silážní šťávy, znehodnocená krmiva (zelená píče, seno, siláže, senáže), nadzemní hmota plodin na semeno po chemickém ošetření – desikaci (jeteloviny, luskoviny, olejníky). Podle Zemánka a kol. (2010) ve většině případů jsou významným zdrojem organických látek a minerálních živin. Mezi nejčastější způsoby jejich využití patří zkrmování hospodářskými zvířaty, silážování, přímé hnojení zemědělských plodin ve formě zaorání a kompostování. Pro kompostování bude vždy důležitá jejich úprava, tj. drcení nebo řezání s cílem dosažení potřebné homogenity zakládky.

**Lesními odpady** se rozumí dřevní hmota, která vzniká při těžbě dřeva, probírkách a prořezávkách lesa. Jedná se především o kůru, vršky stromů, větve, šišky, pařezy, kořeny, celé stromy z probírek a prořezávek. Podobně tomu je u údržby sadů či vinic. Výhřevnost dřevní hmoty se pohybuje mezi ( $15\text{--}19 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Ta závisí hlavně na vlhkosti dřeva. Z ekologických, technických a ekonomických důvodů není možné využít veškeré množství dřevního odpadu, ale lze využít pouze 40 % (Motlík a Váňa, 2002).

**Organické odpady z průmyslových výroby** představují spalitelné odpady z dřevařských provozoven (odřezky, piliny, hobliny, kůra), odpady z papíren, odpady

z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce (cukrovary), odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren (Pastorek a kol., 2004).

**Odpady z živočišné výroby** jsou zastoupeny exkrementy hospodářských zvířat (chlévská mrva, močůvka, kejda a hnojůvka), podestýlkou zvířat a zbytky krmiv (Beranovský a kol. 2004). Při správném ošetřování, skladování a dodržení všech aplikačních zásad je lze současně označovat jako stájová hnojiva. Jejich použití v kompostové zakládce vždy znamená obohacení mikrobiální činnosti a v řadě případů optimalizaci poměru C:N (Zemánek a kol., 2010).

**Komunální organické odpady** jsou tvořeny se zejména o biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO), tvoří asi 40 % celkového podílu komunálního odpadu. Důležitým zdrojem biomasy jsou také kaly z čistíren odpadních vod (Motlík a Váňa, 2002).

Odpadní biomasu lze zařadit dle vyhlášky Ministerstva životního prostředí do katalogu odpadu 381/2001 Sb., jak dokládá tabulka 6. Z ní vyplývá skutečnost, že odpadní biomasa je považována za odpad podle zákona o odpadech 185/2001 Sb.

**Tabulka 6: Katalog odpadů**

Kód	skupina
2	Odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství a z výroby a zpracování potravin
3	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky
19	Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely
20	Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru

Zdroj: Předpis č. 381/2001 Sb.

### 4.3 Spalování biomasy

Solární energie, která je uložena v rostlinách se nazývá energie biomasy. Průměrná většina energie z biomasy se vyrábí ze dřeva a dřevních odpadů (64 %), pevného odpadu (24 %), zemědělského odpadu (5 %) a skládkového plynu (5 %) (Demirbas, 2000). Tato energie se uvolňuje při spalování biomasy jako paliva (Tewfik, 2004). Spalováním se získává více než 97 % z celkové bio-energie na světě (Demirbas, 2004).

Spalování je nejstarším a nejrozšířenějším způsobem získávání energie z biomasy. Při spalování dochází k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny a při následné oxidaci (reakci s kyslíkem) se uvolňuje energie, oxid uhličitý a voda (Jiříček a Rábl, 2005a).

Hlavním získaným produktem ze spalování je teplo, které se následně využívá pro vytápění, technologické procesy nebo pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Současně však vzniká spousta dalších produktů, jako jsou reakční zplodiny (spaliny) a tuhé zbytky spalování. V palivu je kromě hořlavých látek obsaženo i množství nehořlavých minerálních látek, které označujeme jako popeloviny (Noskievič, 1996).

Popeloviny během ideálního spalování paliva mění své složení a hmotnost. Následně z nich vzniká tuhý minerální zbytek (popel). Při spalování se jako okysličovadlo obvykle nepoužívá čistý kyslík, ale vzduch, ve kterém je obsažen z velké části dusík, který také oxiduje. Oxidace dusíku je nežádoucí reakce, protože se při ní teplo spotřebovává a vznikají oxidy dusíku NO a NO<sub>2</sub> (Pastorek a kol., 2004; Lyčka 2011).

Další problém činí nedokonalé spalování, při kterém není dosaženo ideálních podmínek spalování. Uhlík oxiduje pouze na oxid uhelnatý a tím se uvolní pouze třetina možné energie na rozdíl od dokonalého spalování. Část uhlíku se váže ve spalinách a část je vysrážena ve formě sazí a odchází z kotle v podobě emisí. Při nedokonalém spalování vznikají další znečišťující látky, mezi které patří vyšší uhlovodíky a dehty, tuhé znečišťující látky, oxidy síry, oxidy dusíku a dioxiny (Noskievič 1996; Pastorek a kol., 2004; Lyčka 2011).

Nedokonalému spalování lze podle Noskievič (1996); Pastorek a kol. (2004); Lyčka (2011) předejít pomocí vhodných opatření, jako je např. zvolení vhodné konstrukce spalovacího prostoru, dávkování paliva, dostatek spalovacího vzduchu. U tuhého paliva rozlišujeme aktivní a pasivní složky. Mezi aktivní složky patří hořlaviny, které představují nejvýznamnější složku paliva, neboť jsou zdrojem energie. Mezi hořlaviny se řadí uhlík,

vodík, síra, dusík a kyslík. Voda a popeloviny představují pasivní složky paliva, protože nepřinášejí žádnou energetickou hodnotu. Se snižujícím se obsahem vody a popelovin se zvyšuje kvalita paliva, snáze a účinněji se spaluje a obsahuje více energie. Z toho vyplývá i klesající spotřeba paliva.

Stěžejní vlastností paliva je výhřevnost, která udává, kolik energie se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství paliva. Výhřevnost je přímo úměrně závislá na obsahu vody v palivu. Pro vlhkost paliva se v praxi používají dvě vyjádření: dřevařská a energetická vlhkost. Vlhkost dřevařská se stanovuje jako poměr množství vody ve vzorku k hmotnosti suchého vzorku dřeva. Vlhkost energetická se stanoví jako poměr množství vody ve vzorku k hmotnosti vlhkého vzorku. Např. surové dřevo může obsahovat až 50 % vody, 2 roky sušené už jen 20 % (Noskievič 1996; Pastorek a kol., 2004; Lyčka 2011).

Spalovací proces má podle Jiříčka a Rábla (2005a) čtyři fáze:

1. fáze – sušení: v materiálu se postupně snižuje obsah vody a začne se zahřívat,
2. fáze – pyrolýza: po dosažení správné teploty (cca 200 °C) se materiál postupně rozkládá na hořlavé plyny,
3. fáze – spalování plynné složky: hoření plynných složek prodlužuje plamen a zvyšuje teplotu plynných spalin,
4. fáze – spalování pevných látek: dohořívají pevné látky, vzniká oxid uhelnatý (CO), který se oxiduje na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>).

Předpokladem pro ekologicky přijatelné efektivní spalování biomasy je dostatečné množství kyslíku, vysoký obsah sušiny a provozní teplota nad hranicí zápalné směsi materiálu.

Jako pevné palivo biomasy se pro energetické účely využívá především dřevo, odpady z těžby a ze zpracování dřeva, různé druhy slámy, odpady z rostlinné výroby, rostliny pěstované pro energetické účely, organické odpady z potravinářských výrob apod. (Angelis-Dimakis et al., 2011; Grover et al., 2012).

Rozhodujícím faktorem pro využití biomasy je obsah vody v biomase. U dřeva by vlhkost měla být max. 20 %, u slámy asi 15 %. Úspěšně však byla spalována i čerstvá kůra s obsahem vlhkosti až 55 %. Nevýhodou spalování biomasy je značný podíl, který se při ohřátí na 180-200 °C zplyňuje (dřevo asi 70 %, sláma až 80 %), což má za následek tvorbu dlouhého plamene, až několik metrů, zatímco koks má plamen o délce řádově centimetrů. Musí se volit větší ohniště, teplosměnné plochy musí být umístěny až za koncem plamene,

jinak se tvoří saze a zanášejí se tyto plochy. Při spalování slámy se až 10 % popílku dostane do spalin a je třeba jej zachytit. Výhodou dřeva a slámy je prakticky nulový nebo velice nízký obsah síry, zlomek v porovnání s obsahem síry v uhlí. Totéž platí pro obsah dusíku. Rovněž těžké kovy představují jen zanedbatelné množství (Jiříček a Rábl, 2005a). Tabulka 7 porovnává výhřevnost jednotlivých druhů paliv, obsah popelovin a rozmezí vlhkosti. Z tabulky je patrné, že největší výhřevnost mají lehké topné oleje (LTO) 43 MJ.kg<sup>-1</sup>. Tabulka poukazuje podobnou výhřevnost slámy 15 – 17,5 MJ.kg<sup>-1</sup> a hnědého uhlí 14 – 23 MJ.kg<sup>-1</sup> přičemž při spalování hnědého uhlí vzniká mnohem více popelovin.

**Tabulka 7: Porovnání jednotlivých surovin**

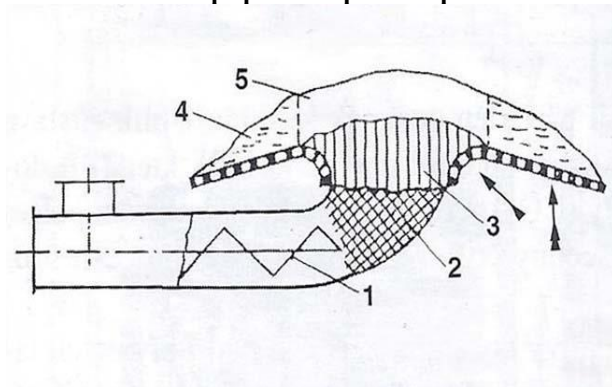
Palivo	Výhřevnost MJ.kg <sup>-1</sup>	Prch. hořl. hm. %	Popeloviny hm. %	Vlhkost hm. %
Sláma	15 – 17,5	70 – 82	3,5 – 6,5	15 – 25
Miscantus	15	74	2,5	12
Seno	13,5 – 17,7	70 – 75	4,2 – 5,8	15 – 25
Dřevo	17 – 19	70 – 85	0,2 – 3	10 – 60
Hnědé uhlí	14 – 23	20 – 55	3 – 33	10 – 30
Černé uhlí	27 – 32,5	10 – 40	4 – 17	10 – 30
Koks	30 – 32,5	4 – 13	3 – 15	5 – 15
Etanol	27	100	0	< 2
LTO	43	100	< 0,5	< 0,5
Zemní plyn	32 MJ.m <sup>-3</sup>	100	0	< 0,5

Zdroj: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/eng3127](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/eng3127)

#### 4.3.1 Možnosti spalování biomasy

Spalování se spodním přívodem paliva je vhodné pro paliva s vysokým obsahem vody a prchavé hořlaviny (dřevní štěpka). Princip spodního přívodu paliva zobrazuje obr. 6. Na obrázku je naznačen spodní přívod paliva. Materiál je do spalovací komory dopravován šnekovými dopravníky. Následně je palivo vysoušeno v pásnu vysoušení. Průběh spalování začíná již v příváděcím žlabu, kde palivo postupně prohořívá bez přístupu vzduchu a uvolňují se z něj prchavé hořlaviny. Částice paliva vystupují na povrch, jsou již ve formě dřevěného uhlí. Prchavé hořlaviny smíchány se vzduchem pak hoří mezi rozžhavenými částicemi dřevěného uhlí. Vyhořelý dřevní materiál je odstraňován mechanicky odklopením postranních bočnic (Noskievič, 1996).

**Obrázek 6: Princip spodního přívodu paliva**



- 1) přívod paliva,
- 2) pásmo vysoušení,
- 3) pásmo uvolňování prchavé hořlaviny,
- 4) pásmo vyhořívání hořlaviny,
- 5) pásmo vyhořívání neprchavého zbytku

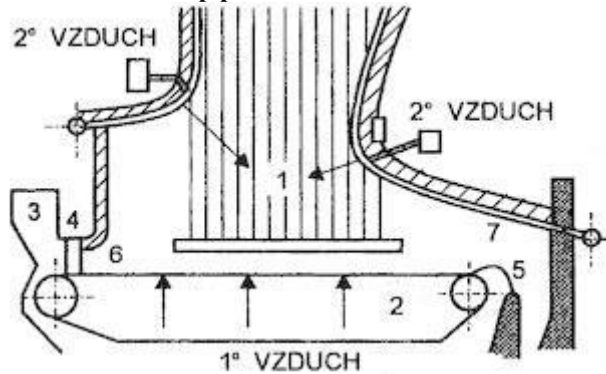
Zdroj: Noskievič, 1996

Spalování na posuvném roštu. Posuvný rošt je tvořen šikmými plochami z roštových lamel. U posuvných roštů je celý povrch roštu skloněn pod úhlem 15 až 18°. Materiál je přiváděn do kotle šnekovým dopravníkem. Primární vzduch je vháněn pod rošt, sekundární a terciární do spalovací případně dohořivací komory. Podle konstrukce vykonává pohyb každý stupeň roštu nebo každá jeho lichá část. Převrácení a mísení paliva se děje během přesunu a přesypávání paliva z jednoho stupně na druhý. Na konci roštu je umístěna škvárová výsypka, do které je vyhořelé palivo vytlačováno. Přesuvné rošty jsou vhodné pro spalování vlhkých paliv s výhřevností okolo 10,2 až 14,6 MJ·kg<sup>-1</sup> (Pastorek a kol., 2004).

Pásové a řetězové rošty jsou složeny z plochých roštových destiček, které tvoří „nekonečný“ pás. Princip pásového roštového ohniště znázorňuje obr. 7. Přivedené palivo do topeniště se upravuje hladítkem na potřebnou výšku. Horní plocha pásového nebo řetězového roštu slouží pro posun materiálu a tvoří roštovou plochu. Na konci posuvného roštu se nachází škvárová výsypka. Primární vzduch je vháněn pod rošt a ochlazuje spodní část roštu, což umožňuje spalovat v kotli výhřevnější palivo než u roštů posuvných. Pořizovací cena kotlů s řetězovými rošty je vyšší než cena kotlů se spodním přívodem paliva nebo s posuvným roštem (Pastorek a kol., 2004).



Obrázek 7: Princip pásového roštového ohniště



Zdroj: Pastorek a kol., 2004

- 1) ohniště,
- 2) rošt,
- 3) přívod paliva ze zásobníku,
- 4) hladítko výšky paliva,
- 5) škvárová výsypka,
- 6, 7) přední a zadní klenba ohniště

Spalování ve fluidním loži, které je tvořeno směsí písku a popele. Na dně spalovací komory je velké množství malých trysek, kterými proudí primární vzduch a udržuje fluidní lože v neustálém vznosu. Pro dokonalé spálení paliva se vhání do spalovací komory ještě sekundární vzduch. Palivo je do spalovací komory dopravováno šikmými svody a skrz otvory ve stěnách dopadá na dno kotle. Teplota spalování v kotli dosahuje 900 °C. Vzduch proudící z trysek udržuje palivo během spalování v neustálém pohybu a zaručuje tak jeho úplné prohoření (Heijboer, 1999).

## 4.4 Energetický potenciál zemědělské odpadní biomasy

Spalitelné materiály biologického původu pocházející ze zemědělské výroby (stébelniny, zejména pak slámy obilovin) jsou v poslední době využívány k energetickým účelům. Jejich energetický potenciál je tak značný. Nevýhodou je velká rozptýlenost po území státu, ale výhodou může být využití v rámci venkovského osídlení a zemědělských podniků tyto subjekty mají k biomase relativně blízko. Zemědělská odpadní biomasa může sloužit k výrobě tepla pro vytápění bytů na venkově a sušárenské potřeby v zemědělství, respektive by mohla částečně nahradit především hnědé uhlí. Obecně zatím není spalování zemědělské odpadní biomasy rozšířeno tak, jak by odpovídalo přírodním podmínkám, technologickým možnostem a výrobnímu potenciálu našich výrobců spalovacích zařízení (Kára, 2003).

### 4.4.1 Sláma jako palivo

Jedním z významných obnovitelných zdrojů energie je zemědělská odpadní a zbytková biomasa z obilovin a olejnin – především sláma. Celková produkce této biomasy se pohybuje v ČR okolo 6 až 6,5 mil tun ročně (Abrham a Ander, 2012). Tabulka 8 znázorňuje celkovou plochu osetou obilninami 1 611 951 ha a řepkou 326 624 ha, trvalý travní porost (TTP) 455 807 ha. Celkový výnos veškeré obilné slámy činí 6 854 218 t, přičemž největší zastoupení zastává pšeničná sláma s výnosem 4,6 t.ha<sup>-1</sup> a činí 3 949 561 t následována slámou z ječmene jarního 1 207 547 t a ječmene ozimého 588 300 t.

**Tabulka 8: Celková produkce slámy**

Plodina	Průměrná sklizňová plocha (ha)	Průměrný výnos (t.ha <sup>-1</sup> )	Průměrná produkce slámy (t)
Pšenice ozimá	850931	4,6	3949561
Pšenice jarní	63236	3,1	192659
Žito	39781	3,5	139501
Ječmen ozimý	147025	4	588300
Ječmen jarní	345620	3,5	1207547
Oves	52982	2,8	146643
Kukuřice na zrno	59930	7,3	442948
Ostatní obilniny	34749	2,9	120416
Obilniny celkem	1611951	4,3	6854218
Řepka	326624	2,3	842427
TTP celkem	455807	3,1	1249442

Zdroj: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Fytomasa.htm>

Sláma obilovin se v současné době již pro potřeby živočišné výroby využívá jen minimálně. Značná část produkce slámy zůstává nevyužita ve stohách, kde postupně podléhá zkáze. Je to důsledek vysokého podílu obilovin na orné půdě (Kára, 2003). Faktorem ovlivňující vysoký podíl nevyužité slámy je snižování stavu skotu za posledních 20 let, který poklesl na 37,9 % stavu v roce 1990. Na snížení spotřeby slámy však mají vliv i další významné faktory. Vzhledem ke zvýšení intenzity živočišné výroby a nárůstu užitkovosti, se výrazně omezilo využívání slámy pro krmení. V chovu skotu se dále začaly uplatňovat nové technologie (roštové nebo bezstelivové stáje, pastevní chov, apod.), které výrazně snížily i potřebu slámy pro podestýlání. Sláma se tedy v současné době z velké části zaorává. Častým argumentem je potřeba obohacení půdy humusem. Zaorání slámy sebou však přináší některé problémy. Ve slámě je velmi málo živin – např. dusíku je ve slámě méně než 1 % a bakterie, které slámu rozkládají, si berou dusík z půdy. Zaorání slámy tedy je třeba doplnit, např. hnojením kejdou nebo minerálním dusíkatým hnojivem (Abrham a Ander, 2012).

Hlušek (2004) tvrdí, že se sláma obilovin vyznačuje velmi širokým poměrem C:N. Tabulka 9 zobrazuje poměr C:N u obilovin 80 – 100 : 1 a u řepky 60 – 80 : 1, také procentuální zastoupení prvků u obilovin a dalších rostlin. Z tabulky je patrný velmi nízký podíl dusíku u obilovin 0,45 % a 0,56 % u řepky. Proto zapravení samotné slámy do půdy může snížit výnos pěstované plodiny. Pro zdárný průběh rozkladu je třeba upravit poměr C:N optimální je 20 – 30 : 1. K dosažení tohoto poměru je nutno dodat ke slámě 10 – 15 kg N na každou tunu. Je možno volit močůvku, kejdu nebo minerální hnojiva (síran amonný, močovina, DAM 390 aj.).

**Tabulka 9: Průměrné chemické složení slámy v %**

Druh slámy	Sušina	Org.l.	N	P	K	Ca	Mg	C:N
Obilniny	86	82	0,45	0,09	0,79	0,24	0,06	80 - 100
Kukuřičná	85	80	0,48	0,16	1,26	0,32	0,14	60 – 80
Řepková	84	80	0,56	0,11	0,85	0,81	0,16	60 – 80
Luskoviny	86	81	1,33	0,16	1,07	0,91	0,16	20 – 25

Zdroj: Richter a Římovský, 1996

Jednou z předností slámy je, že energii v ní uloženou je možné skladovat a využít až v době aktuální poptávky. Přitom využití slámy jako zdroje energie přináší další pracovní místa, a to nejen v zemědělství. Spalování slámy činí region více energeticky soběstačný, ale pouhá výroba elektřiny spalováním slámy nebo spoluspalováním s uhlím není nejlepším řešením. Efektivnější je výroba tepla, případně kombinovaná výroba elektřiny

a tepla (KVET). V tomto ohledu je obilná a řepková sláma zatím málo doceněným zdrojem energie (Voláková, 2010).

Slámu považuje Kára (2003) za palivo produkované v místě spotřeby. Podle tohoto autora se v drtivé většině případů nemusí vozit na vzdálenost větší než 2 km (maximálně do 5 km). Jednalo by se tak o zásobování místních zdrojů s tepelným výkonem do 2 MW. Kromě zachování regionální povahy tohoto zdroje je potřeba účelné vynaložení prostředků do investic a současné zachování nízkých provozních nákladů. Reálná cena slámy po sklizení a dopravě do skladu se blíží 600 Kč.t<sup>-1</sup>, po skladování a další dopravě asi 800 -1100 Kč.t<sup>-1</sup> (s prodlužující se dopravní vzdáleností se cena zvyšuje).

Celková výroba slámy obilovin činí v posledních letech cca 10 mil. tun, výroba řepkové slámy činí přes půl mil. tun. Pro energetické účely lze zpracovat asi 2,5 mil tun slámy (Kára, 2003). Podle Abrhama a Andera (2012) celková produkce této biomasy se pohybuje v ČR okolo 6 až 6,5 mil tun ročně.

#### **4.4.2 Spoluspalování slámy s fosilními palivy**

Evropská unie jako celek i její jednotlivé členské země usilují o zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie v energetické bilanci a s tím souvisí i politika a legislativa podporující výrobu elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů. Spoluspalování biomasy s fosilními palivy v elektrárnách a teplárnách je technicky a ekonomicky efektivní možností, jak výrazně přispět ke zvýšení podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Toto spalování se stalo běžnou praxí v mnoha evropských zemích včetně ČR. Spoluspalování biomasy ve stávajících, převážně kondenzačních, zdrojích je velmi často kritizováno a zatracováno jako neefektivní způsob přeměny biomasy na elektrickou energii, který může mít negativní dopady na trh s biomasou (Jakubes, 2010).

Sláma jako palivo může být při společném použití s jinými palivy poněkud problematická, protože má nízkou objemovou hustotu a vysoký obsah chlóru a draslíku. Kotle spalující slámu mívají značné problémy s rychlým usazováním nečistot a korozi. I přesto se sláma používá v některých zemích k výrobě energie už mnoho let. Při úvahách o spalování slámy je bezpodmínečně nutné dobře promyslet logistiku a správně vybrat technologii spalování. Existuje řada příkladů spalování slámy v roštových, práškových

i fluidních kotlích. Nejnižší úroveň zanášení, struskování a koroze je na základě praktických zkušeností dosahováno u práškových kotlů, zatímco zkušenosti se spalováním slámy v kotlích s fluidním ložem nejsou tak jednoznačné. Některé studie ukázaly, že při teplotě páry nad 565 °C se životnost přehříváků neúnosně zkracuje a jisté problémy nastávají již při nižších teplotách (Baxter, 2005; Jakubes, 2010).

Přímé spoluspalování je nejméně nákladné, současně je to nejjednodušší a nejvyužívanější přístup. Tato zdaleka nejčastěji používaná technologie spoluspalování slámy, umožňuje spoluspalování přibližně až do 3 % energetického obsahu paliva bez významných dodatečných investičních nákladů. Sláma se mísí s uhlím na skládce uhlí a směs je transportována přes normální zauhlovací systém. Nicméně uhlí a sláma mohou být dopravovány do kotle odděleny buď mechanicky, nebo pneumaticky a to bez vlivu na systém přípravy a dodávky paliva, ke smísení dochází až ve spalovací komoře kotle (Jakubes, 2010).

Jako příklad může sloužit elektrárna Studstrup v Aarhusu (Dánsko), kde jsou balíky slámy dopraveny ze skladu ke čtyřem výrobním linkám pomocí systému na sebe navazujících dopravníků. Pak jsou balíky dohromady rozdruženy a sláma je rozdrčena vysoce výkonným drtičem. Slámová řezanka je přes separátor těžkých částic (kameny, kovové části apod.) přivedena do kladívkového mlýna, ze kterého je semletá sláma posunuta skrz vzduchový uzávěr a pneumaticky dopravena ve čtyřech paralelních řadách posledních 300 m před vstup do kotle. Spoluspalovací kotel je tvořen stěnovými hořáky, každá stěna má šest mlýnů, z nichž dva jsou určeny pouze pro zpracování slámy (Hansen et al., 1998). V ČR se jedná o rozšířený způsob spoluspalování, který je využíván jak v elektrárnách (ČEZ – Tisová, Hodonín, Poříčí), tak i v teplárenských a průmyslových zdrojích (ČEZ - Dvůr Králové, Plzeňská teplárenská, Teplárna Písek, Ško-Energo Mladá Boleslav, Mondi Štětí, Dalkia – Krnov, Olomouc, Teplárna Otrokovice a další) (Jakubes, 2010).

## 4.5 Logistika při energetickém využití zemědělské odpadní biomasy

Pod pojmem logistika zemědělské odpadní biomasy je možno si představit technické, organizační a obchodní zajištění cesty surové biomasy ke konečnému spotřebiteli, ať už v původní formě, nebo mnohem častěji ve formě různě zpracovaného a upraveného biopaliva.

Jakubes a kol. (2006) uvádí, že každý systém logistiky biomasy zahrnuje ve větší či menší míře následující prvky:

- Sběr / sklizeň biomasy,
- dopravu,
- zpracování,
- skladování,
- marketing / prodej biomasy či produktů jejího zpracování.

Jednotlivé prvky se v systému mohou i několikrát opakovat zejména doprava a skladování.

Zvládnuté logistické řízení v daném území je základní podmínkou úspěšného fungování celého systému produkce a využívání bioenergetických surovin jako zdroje energie. Důležitá je implementace všech úrovní logistického řízení od zajištění dodavatelských a odběratelských vztahů přes organizaci a technické řešení logistických řetězců až po zajištění zpětné logistiky (Souček, 2010).

Pro funkční systém energetického využití zemědělské odpadní biomasy musí být zajištěn bezproblémový přísun vstupních surovin ve vhodných dávkách a zároveň musí být zajištěno systematické nakládání se zbytkovými surovinami (popel) za dodržení podmínek kladených platnou legislativou (Zákon č. 185/2001 Sb.) a zásad ochrany životního prostředí (Vyhláška č. 131/2014 Sb.). Termín a místo, kde je možné většinu vstupních surovin získat, se zpravidla neshoduje s termínem a místem spotřeby (Souček, 2004). Zdroje zemědělské odpadní biomasy, mají sezónní charakter, obvykle s roční periodou (sláma) či s určitou periodou během vegetačního období (tráva). Navíc se období dostupnosti zdrojů zemědělské odpadní biomasy nekryje s topným obdobím, kdy je poptávka po biomase nejvyšší. Proto je nutno zajistit optimální skladování či meziskladování zemědělské odpadní biomasy tak, aby byl zabezpečen její optimální a rovnoměrný přísun ke konečnému spotřebiteli (Jakubes a kol., 2006). Toto vše se promítá i do ekonomiky provozu. Z hlediska logistického řízení je problematika využívání biologických surovin specifickou oblastí. Hlavním důvodem je

dlouhá doba výrobního cyklu, schopnost rychlé degradace surovin při nevhodném způsobu nakládání s nimi. Těmto faktům musí odpovídat vlastnosti použitých technologií pro produkci a spotřebu a v potaz musí být brány i při logistickém řešení. To musí být bezpodmínečně podepřeno jednoznačně vyjasněnými vztahy mezi odběrateli a dodavateli, dostatečnou akumulací kapacitou, která vyrovná nerovnoměrnosti získávání vstupní suroviny v průběhu roku a musí reagovat na možné změny (Souček, 2011a).

Základní problémy, které logistika zemědělské odpadní biomasy řeší, uvádí Jakubes a kol. (2006). Podle těchto autorů problémy vyplývají ze samotné podstaty a charakteru zemědělské odpadní biomasy jako paliva či základní suroviny pro biofyzikální přeměny a následné využití produktů těchto přeměn. Zemědělské odpadní biomasy je obvykle rozptýlený zdroj pro zabezpečení dostatečného množství biomasy je nutno biomasu obvykle sbírat v rámci širšího území proto je nezbytné optimální využití technologií a kapacit pro sběr a dopravu biomasy. Zdroje zemědělské odpadní biomasy mají obvykle různorodou a proměnlivou kvalitu surová biomasa obvykle obsahuje určité množství vody, které ve výsledném produktu není příliš žádoucí a není žádoucí ani z hlediska dopravy je výhodnější dopravovat suchou biomasu, než vodu a vzduch.

Výše dopravních nákladů i dopravní výkonnost závisí na vlastnostech dopravovaného materiálu, použitém dopravním prostředku a dopravní vzdálenosti. Náklady jsou dále závislé především na využití dopravního prostředku v průběhu roku, výši pořizovacích nákladů, nákladů na opravy, údržbu, provozní materiál (paliva, maziva) a na dalších poplatcích (Souček, 2011b).

Při dopravě v agrárním sektoru i v komunální sféře obecně platí, že dopravu pomocí traktorových souprav lze efektivně realizovat při krátkých dopravních vzdálenostech (asi do 20 km). Výhodou tohoto způsobu dopravy v komunální sféře je možnost uplatnění traktoru i při jiných operacích. Nevýhodou je zpravidla menší rychlost traktorových souprav v porovnání s automobilovou dopravou a vyšší spotřeba PHM. Při delších dopravních vzdálenostech je efektivnější využít automobilové soupravy, nebo speciální dopravníky. Ke zvýšení efektivity dopravy přispívá co nejvyšší využití dopravního prostředku (Souček, 2011b). V grafu 5 je znázorněno využití různých druhů dopravních prostředků.

Dopravní prostředek 1 je souprava traktoru (Zetor 7211) s přívěsem (PZ 50) při dopravě hranolových balíků na vzdálenost 1400 m.

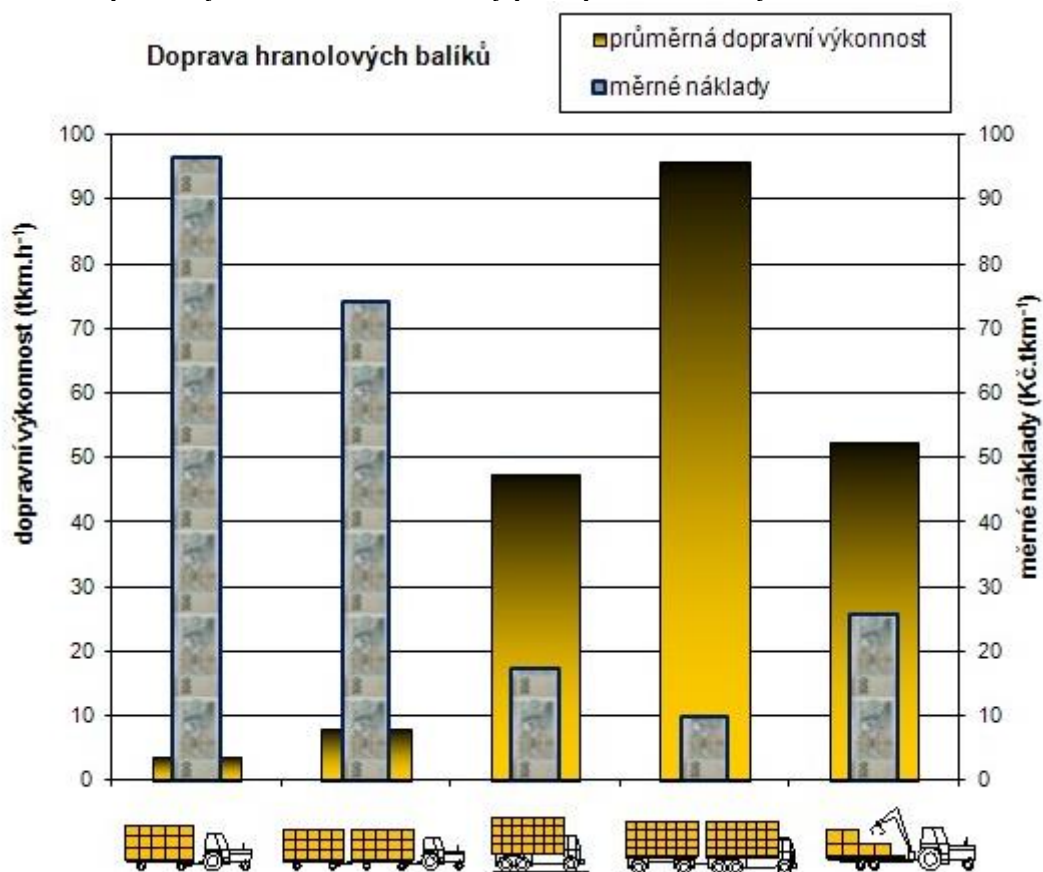
Dopravní prostředek 2 je souprava traktoru (Zetor 7711) s dvěma přívěsy (PZ 50) při dopravě hranolových balíků na vzdálenost 1775 m. Na rozdíl od Rakouska, SRN a mnoha jiných států tento způsob dopravy není na veřejných komunikacích v ČR oficiálně povolen.

Dopravní prostředek 3 je nákladní automobil LIAZ MTSP 24 při dopravě hranolových balíků na vzdálenost 21 400 m.

Dopravní prostředek 4 je automobilová souprava LIAZ MTSP 24 s přívěsem PS 16.12 při dopravě hranolových balíků na vzdálenost 23 800 m.

Dopravní prostředek 5 pro dopravu hranolových balíků je traktorová souprava Zetor 11441 Forterra s přepravníkem balíků T 025 při dopravě na vzdálenost 10 250 m.

**Graf 5: Dopravní výkonnost a měrné náklady při dopravě hranolových balíků**



Zdroj: Souček, 2011b



## 4.6 Spékání popela ze slámy

Spalování slámy přináší některé problémy. Množství popela ve slámě průměrně pohybuje okolo 5 % (Biedermann and Obernberger, 2005) v rýžových slupkách dokonce až 40 % (James et al., 2012). Popel ze slámy se vyznačuje vysokým zastoupením alkalických kovů (zejména draslíku) společně s chlorem, křemíkem a vápníkem (Khan et al., 2009). Skladba prvků se blíží ke složení sklářského kmene, tj. směsi surovin pro výrobu skla. Díky této podobnosti vznikají problémy s tvorbou strusky, při vysoké teplotě a určitém poměru výše zmíněných prvků, dochází až k vytváření skloviny, která poškozují žáruvzdorné vyzdívky kotlového tělesa. Spalování slámy je taktéž náročné na spotřebu elektrické energie. Vysoké finanční prostředky jsou zapotřebí na opravy dílů v důsledku opotřebení, zvláště na výměnu žáruvzdorných vyzdívek a dílů dopravníků popelových cest. Z tohoto důvodu je třeba kotle během topné sezóny poměrně často odstavovat a podrobit pečlivému vyčištění. Výše popsané nevýhody kompenzuje do značné míry nízká cena tohoto paliva v porovnání s cenami nejen fosilních paliv, ale i s cenou dřevní hmoty (Voláková, 2010b).

Největším rizikem při spalování slámy je nízká eutektická teplota (Smith and Hashemi, 2006) vzniklého biomasového popela. Provozní problémy způsobené touto vlastností jsou silné zanášení trubkovnic kotlového výměníku a koroze žárobetonových vyzdívek. V průběhu spalovacího cyklu se snižuje účinnost kotle, neboť dochází k zanášení teplosměnných ploch. V prostoru kotlových zón, kde je dosahováno teploty až kolem 1000 °C, vzniká sklovina roztavením přítomného biomasového popela. Sklovina po ochlazení tuhne ve sklo, které se nalepuje k povrchům žárobetonů. Žárobeton je poškozován jednak chemicky tzv. alkalickou korozí, ale i mechanicky při snaze sklo z povrchu odstranit. V současné době se užívá ochranná vrstva, která se aplikuje na povrch vyzdívek, což v provozu znamená podstatné usnadnění čištění kotle, zkrácení doby odstávky a prodloužení životnosti žárobetonových vyzdívek (Voláková, 2010b).

## 4.7 Možnosti využití popela

Zvyšující se poptávka po energii z obnovitelných zdrojů znamená i větší množství vyprodukovaného popela ze spálené biomasy. Pro takto vyprodukovaný popel je nutné nalézt efektivní využití (Khan et al., 2009). Legislativa dlouho tento problém neřešila. Avšak využití popela ze spalování biomasy začala řešit nová vyhláška č. 131/2014 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, je možné popel ze samostatného spalování biomasy využívat na zemědělské půdě, pokud nebudou překročeny limitní hodnoty rizikových prvků a látek, viz tabulka 10. Tabulka stanovuje maximální množství kadmia (Cd) na 5 mg.kg<sup>-1</sup>, olova (Pb) na 50 mg.kg<sup>-1</sup>, rtuti (Hg) na 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>, arsenu (As) na 20 mg.kg<sup>-1</sup>, chromu (Cr) na 50 mg.kg<sup>-1</sup> a polyaromatických uhlovodíků (PAH) na 20 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny. Maximální dávka popele ze samostatného spalování biomasy je stanovena na 2 t.ha<sup>-1</sup> za 3 roky, přičemž v témže roce nesmí dojít k souběžnému použití popele a upravených kalů nebo sedimentů (Ochecová, 2015).

**Tabulka 100: Limitní hodnoty rizikových prvků a látek v popelech ze samostatného spalování biomasy**

mg.kg <sup>-1</sup> sušiny					
Cd	Pb	Hg	As	Cr	PAU
5	50	0,5	20	50	20

Zdroj: Vyhláška č. 131/2014 Sb.

Popel je nutné posuzovat podle zákona 185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších platných právních předpisů. Otázkou zůstává, zda lze biomasový popel používat dále jako odpad, nebo se pokusit o certifikaci tohoto materiálu jako výrobku - hnojiva. Vzhledem k výsledkům rozborů, ze kterých plyne, že prvkové složení popela se značně vzorek od vzorku liší, byla by pravděpodobně certifikace popela jako výrobku obtížná. Voláková (2010a) tvrdí pokud popel nebude certifikovaný jako výrobek, musí s ním být i nadále nakládáno jako s odpadem, tudíž musí být veden v evidenci odpadů.

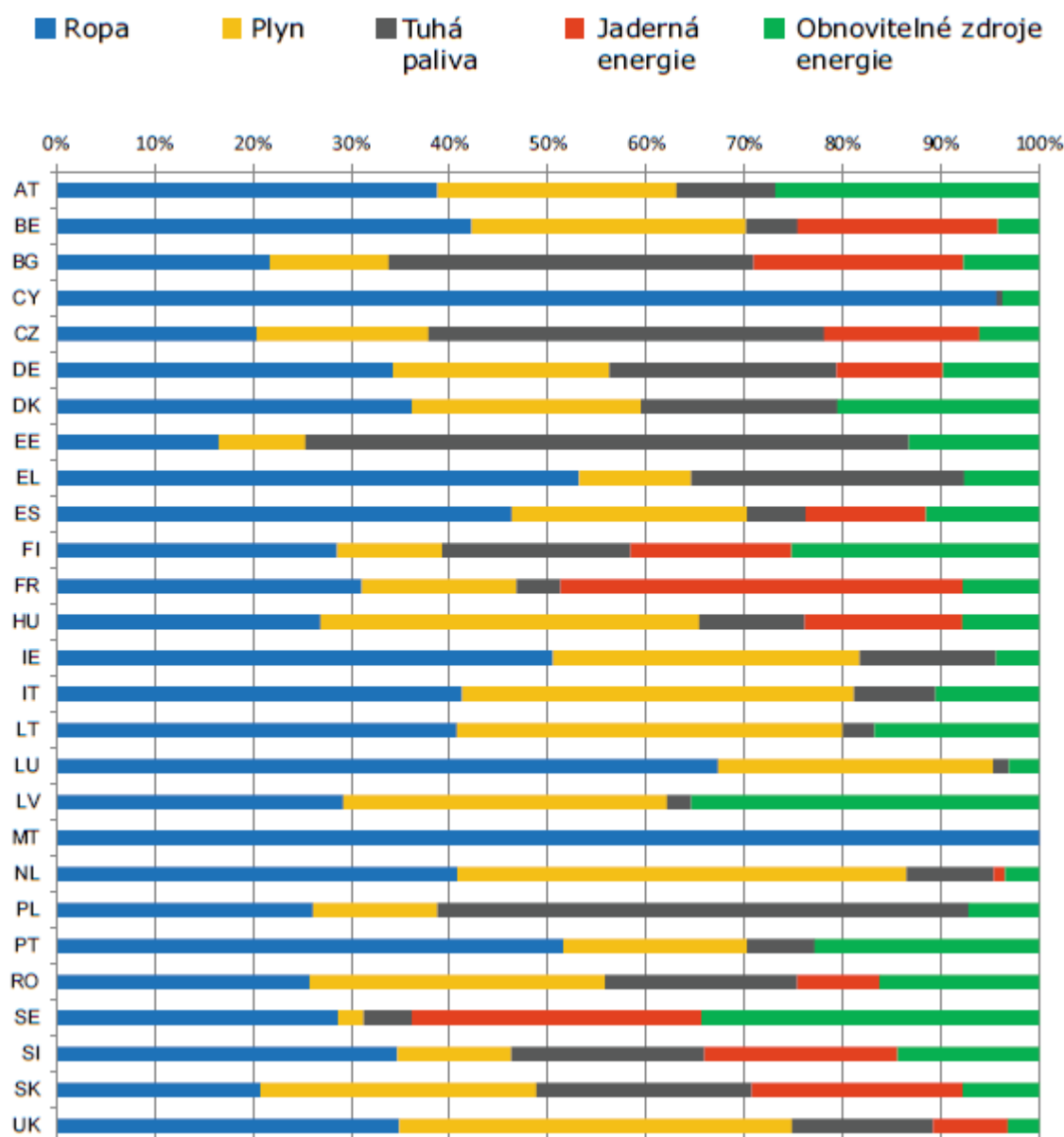
Biomassový popel je možné také využívat jako surovinu pro přípravu kompostu a množství rizikových prvků posoudit podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“. Tato norma stanovuje jakostní znaky a nejvyšší přípustná množství sledovaných látek v průmyslovém kompostu a v příloze této normy jsou uvedena nejvyšší přípustná množství sledované látky ve vysušeném vzorku suroviny (Voláková, 2010a).

Hlavním důvodem využití popela z biomasy v zemědělství je navrácení vysokého obsahu živin (Ca, K, S, Mg, P, Na) a mikroživin (Mn, Zn, Fe, B, Cu, Mo a další) podporujících růst rostlin, zpět do půdy (Khan et al., 2009). Mezi další vlastnosti popela jako hnojiva se řadí zásaditý charakter popela, který poskytuje podobný efekt jako při vápnění, snižuje mobilitu a biologickou dostupnost rizikových prvků, redukuje toxicitu hliníku, manganu a železa pro rostliny snížením výměnných obsahů jejich iontů v kyselých půdách, zajišťuje biologickou aktivitu a podmínky pro některé mikroorganismy, zlepšuje texturu, aeraci a vodní kapacitu půdy (Vassilev et al., 2013).

## 4.8 Vývoj obnovitelných zdrojů energie (OZE) v ČR a EU

V roce 2010 činil podíl fosilních paliv na celkové světové spotřebě energie 80,6 %, podíl jaderné energie byl 2,7 % a obnovitelné zdroje energie (OZE) se na spotřebě energie podílely 16,7 %. V rámci obnovitelných zdrojů energie tvořila s 8,5 % největší podíl tradiční biomasa, nejčastěji používaná na vaření a topení v zemědělských oblastech rozvojových zemí. Ze zbylých 8,2 % připadajících na moderní obnovitelné zdroje energie tvořily největší část vodní elektrárny. V roce 2011 byla celková výroba energie v EU vyráběna v poměru 35 % ropa, 24 % plyn, 17 % tuhá paliva, např. uhlí, 14 % jaderná energie, 10 % obnovitelné zdroje. Skladba energetické výroby se v jednotlivých členských zemích výrazně liší, jak dokládá obr. 8 a neustále se vyvíjí (Evropská komise, 2013). Podle obr. 8 se nejvíce energie z obnovitelných zdrojů využívá ve Švédsku a Lotyšsku a to okolo 35%. Velký podíl obnovitelných zdrojů se také využívá v Rakousku, Finsku a Dánsku, zato na Maltě se obnovitelné zdroje k získání energie vůbec nevyužívají. Česká republika mezi státy, které využívají hlavně tuhá paliva s malým podílem energie z obnovitelných zdrojů.

Obrázek 8: Energetický mix členských států Evropské unie

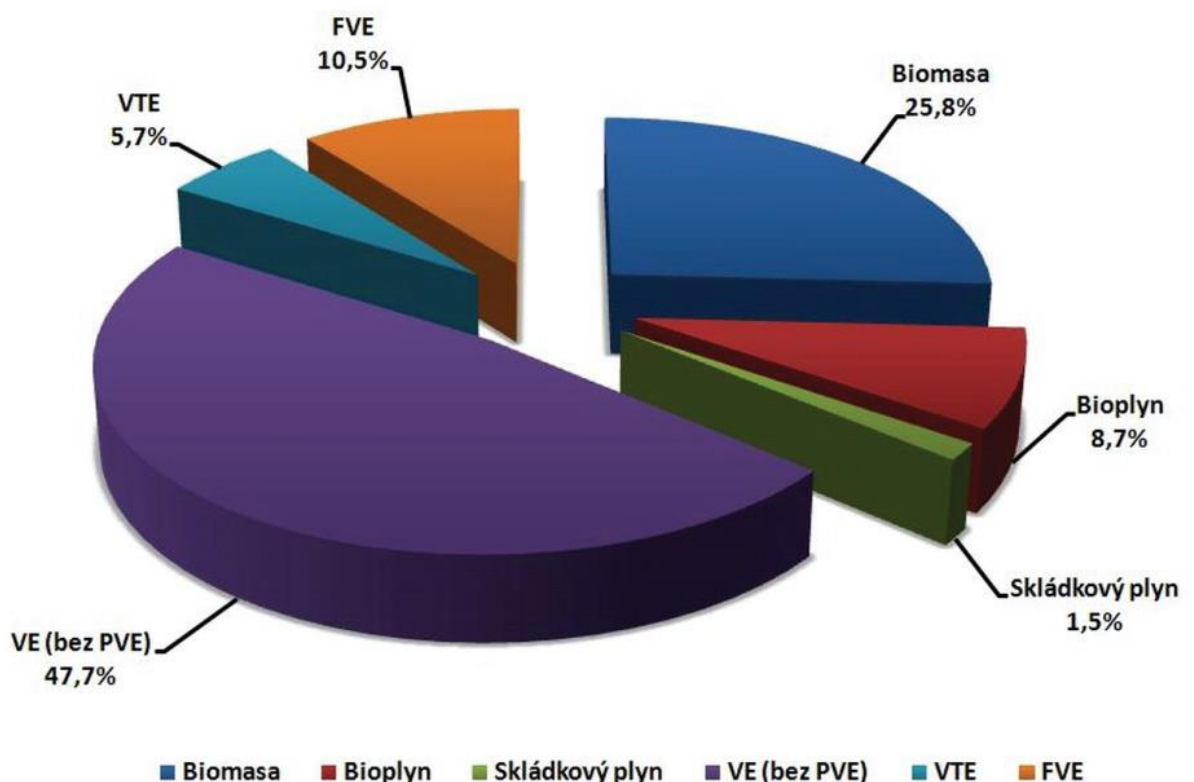


Zdroj: Evropská komise, 2013

Největší podíl na výrobě elektrické energie mají v ČR parní elektrárny, v roce 2010 to bylo 58 %. Tento podíl se nicméně snižuje, neboť uhelné elektrárny mají značné dopady na životní prostředí, ložiska hnědého uhlí postupně docházejí a potřebují velké zdroje vody pro výrobu páry. Druhý největší podíl měly v roce 2010 s 32 % jaderné elektrárny Dukovany a Temelín. Stále důležitější součástí energetického mixu České republiky jsou obnovitelné zdroje energie. Při vstupních jednáních ČR do EU byl odsouhlasen národní indikativní cíl 8 % výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů v roce 2010. K datu 31. 12. 2010 byl

podíl OZE na tuzemské hrubé spotřebě elektrické energie 8,24% (Mastný a kol., 2011). Podíl jednotlivých zdrojů obnovitelné energie vyrobené v ČR za rok 2010 je znázorněn na obr. 9. Z obr. 9 vyplývá, že nejvíce z obnovitelných zdrojů v České republice jsou využívány vodní elektrárny (VE) bez přečerpávacích vodních elektráren (PVE) k získání 47,7 % energie z obnovitelných zdrojů, následovány biomasou 25,8 %, fotovoltaikou (FVE) 10,5 %, bioplynem 8,7 %, větrnými elektrárnami (VE) 5,7 % a nejmenší podíl je vyroben ze skládkového plynu 1,5 %.

**Obrázek 9: Výroba elektrické energie z OZE v ČR (2010) Vodní elektrárny (VE), přečerpávací vodní elektrárny (PVE), fotovoltaika (FVE), větrné elektrárny (VTE)**



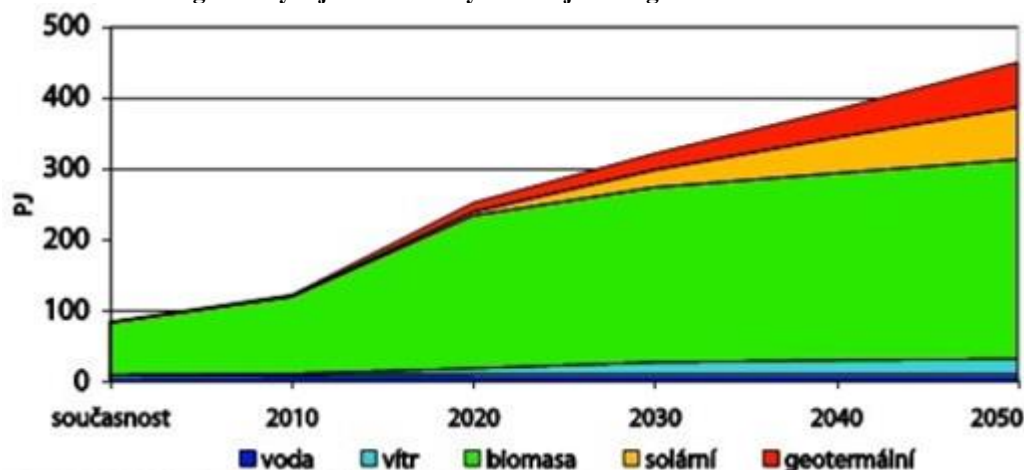
Zdroj: Mastný a kol., 2011

V roce 2011 činil podíl OZE na hrubé domácí spotřebě elektřiny 10,3 %. Největší část z toho tvořila s 30 % fotovoltaika, následovaná biomasou s 23,2% podílem. Na třetím místě jsou malé vodní elektrárny, které vyrobily 14 % elektřiny z OZE. Následují velké vodní elektrárny, bioplyn a větrné elektrárny. S ohledem na naše závazky vůči Evropské unii by se měl tento podíl do roku 2020 zvýšit minimálně na 13,5 %. Celkový potenciál OZE byl Pacesovou komisí pro ČR odhadnut asi na 25 % současné spotřeby energie. Tento potenciál

je dostatečný pro zajištění chodu společnosti aniž by došlo k omezení životního komfortu. Do roku 2020 se předpokládá využití zhruba 50 % teoretického potenciálu OZE (Chlubný a kol., 2010).

Hlavním zdrojem bude i nadále biomasa, ale k výrobě elektřiny bude využit jen malý podíl, nejvíce biomasy bude tak jako dosud využívána k výrobě tepla. Současná praxe spoluspalování biomasy ve velkých elektrárnách je sporná, z hlediska využití primárního zdroje je totiž výhodnější kogenerační výroba tepla a elektřiny. Energetický potenciál vodních elektráren je již v podstatě vyčerpán. Výstavba elektráren v nevyužívaných lokalitách může přidat nejvýš 10 % k současné produkci. Nepatrný nárůst může přinést rekonstrukce stávajících elektráren. Využití větrné energie předpokládá, že do roku 2020 by produkce elektřiny mohla rovnat produkci vodních elektráren a pak by dále rostla na více než dvojnásobek. Ještě rychlejší růst je očekáván u fotovoltaiky, presto v roce 2020 bude její podíl na výrobě elektřiny asi poloviční ve srovnání s větrnou energií (Chlubný a kol., 2010). Předpokládaný vývoj primární energie z obnovitelných zdrojů do roku 2050 je dokumentován na obr. 10. Z něho vyplývá, že energie z obnovitelných zdrojů bude na území ČR využívána mnohem více. Velký nárůst podle prognózy čeká využití biomy, nadále se předpokládá využívání geotermální energie a využití stále se rozvíjejících technologií pro přeměnu sluneční energie. Větší využití vodní energie se v České republice se nečeká, jelikož potenciál tohoto zdroje je už téměř celý využíván.

Obrázek 10: Prognóza vývoje obnovitelných zdrojů energie v ČR



Zdroj: Asociace pro využití obnovitelných zdrojů energie

## 4.9 Legislativní a ekonomické prostředí pro OZE v ČR a EU

V září 2001 byla přijata Směrnice Evropského parlamentu č. 2001/77/ES o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie. Cílem směrnice bylo mj. podpořit splnění závazků vyplývajících z přijetí Kyotského protokolu. OZE jsou chápány jako prioritní opatření pro ochranu životního prostředí, udržitelný rozvoj, lokální zaměstnanost, sociální soudržnost a bezpečnost zásobování. Obnovitelné zdroje získaly přednostní přístup do distribuční a přenosové soustavy. Zástupci jednotlivých států dohodli indikativní cíle pro podíl OZE v roce 2010, pro Českou republiku to bylo 8 %. Jednalo se o jeden z nejnižších národních cílů hluboko pod průměrem celé Evropské unie.

Rozvoj OZE se však v České republice ještě více opozdil, mj. protože zákon na podporu OZE vstoupil v platnost až v roce 2006. Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, dal výrobcům zelené elektřiny na výběr ze dvou schémat podpory – buď formou pevných výkupních cen, nebo formou zelených bonusů. Režim pevných výkupních cen představuje komfortnější způsob podpory bez rizika, kdy je zelená elektřina povinně vykupována provozovatelem distribuční nebo přenosové soustavy. Cena je stanovena vždy na rok dopředu pro jednotlivé druhy OZE s ohledem na plnění indikativního cíle podílu OZE a zajištění 15leté návratnosti investic. Režim zelených bonusů znamená, že výrobce prodává zelenou elektřinu na trhu za tržní cenu a od provozovatele distribuční či přenosové soustavy dostává zelený bonus. Výše zeleného bonusu byla stanovena vždy na rok dopředu pro jednotlivé druhy OZE tak, aby součet výnosu z prodeje za průměrnou tržní cenu a zeleného bonusu byl vyšší než pevná výkupní cena. Režim zelených bonusů tak umožňuje kratší návratnost investic.

V dubnu 2009 přijala Evropská unie novou Směrnici č. 2009/28/ES, která nahradila předpis z roku 2001. Pro následující období po roce 2010 byly dojednány nové cíle tak, aby v rámci EU jako celku bylo v roce 2020 dosaženo alespoň 20% podílu OZE na hrubé spotřebě energie. Na rozdíl od indikativních cílů pro rok 2010 jsou nové cíle závazné a zahrnují nově i ostatní druhy energie – teplo a motorová paliva. Česká republika se s cílem pro rok 2020 na úrovni 13,5 % posunula v pořadí zemí na jedno z posledních míst.

Dne 12. 9. 2012 byl vládou schválen Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012 – 2020. Cílem tohoto materiálu je především vymezit opatření a principy, které povedou

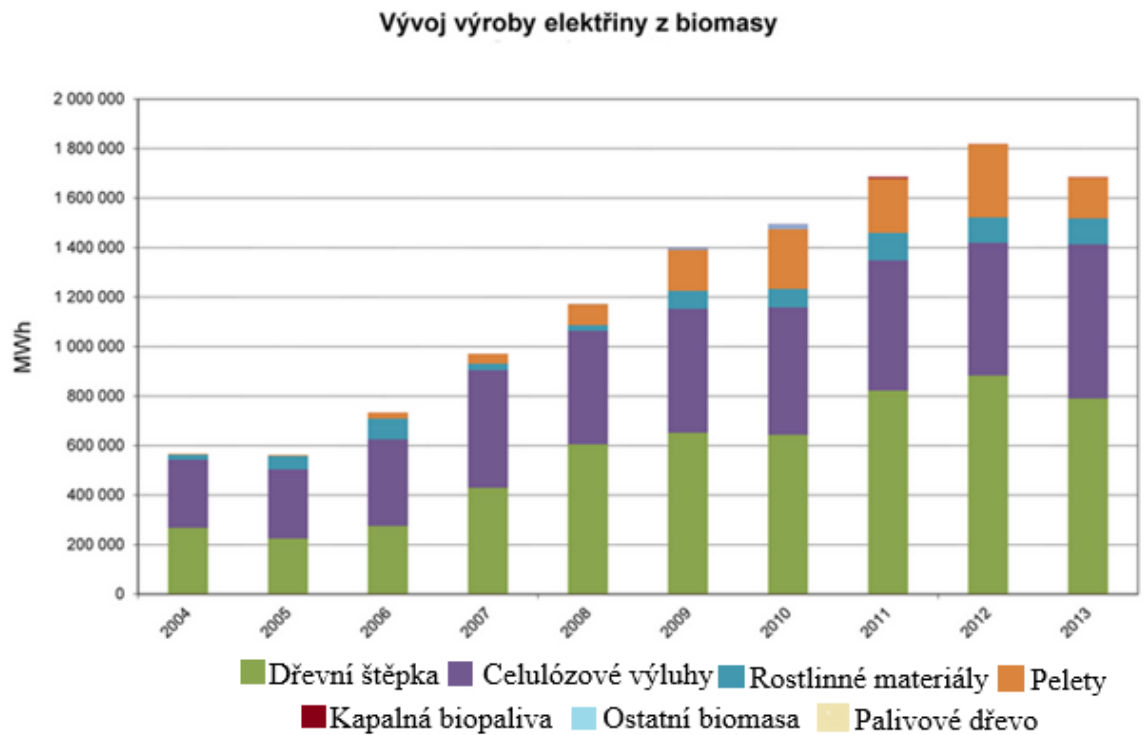


k efektivnímu a účelnému využití energetického potenciálu biomasy a pomohou tak naplnit závazky ČR pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020. Podíl energie z biomasy na hrubé domácí spotřebě by měl v roce 2020 dosáhnout 13,5 %. Graf 6 a 7 zobrazuje vývoj výroby elektřiny a tepla z biomasy v České Republice od roku 2004 do roku 2013. Graf 6 zobrazuje rostoucí trend výroby elektřiny z biomasy do roku 2012. V roce 2013 dochází ke stagnaci a nepředpokládá se zvýšení z důvodu zrušení podpory pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů uvedené do provozu po 1. lednu 2014. Naopak graf 7 zobrazuje rapidní nárůst výroby tepla z biomasy v roce 2013 oproti roku 2012.

Nový zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie, vstoupil v platnost 1. ledna 2013 a zcela nahradil zákon z roku 2005. Zatímco zákon č. 180/2005 Sb. umožňoval výběr mezi podporou formou výkupních cen a zelených bonusů, zákon č. 165/2012 Sb. výběr omezil. Režim pevných výkupních cen si může zvolit pouze výrobce elektřiny z malých vodních elektráren o instalovaném výkonu do 10 MW či ostatní výrobci elektřiny z OZE o instalovaném výkonu do 100 kW. Ostatní výrobci mají právo pouze na podporu formou hodinového zeleného bonusu. Zelenou elektřinu vykupuje obchodník s elektřinou a zelený bonus výrobci hradí operátor trhu. Zákon nově zavádí provozní podporu tepla z OZE o instalovaném výkonu nad 200 kW, a to formou ročního zeleného bonusu ve výši 50 korun za GJ.

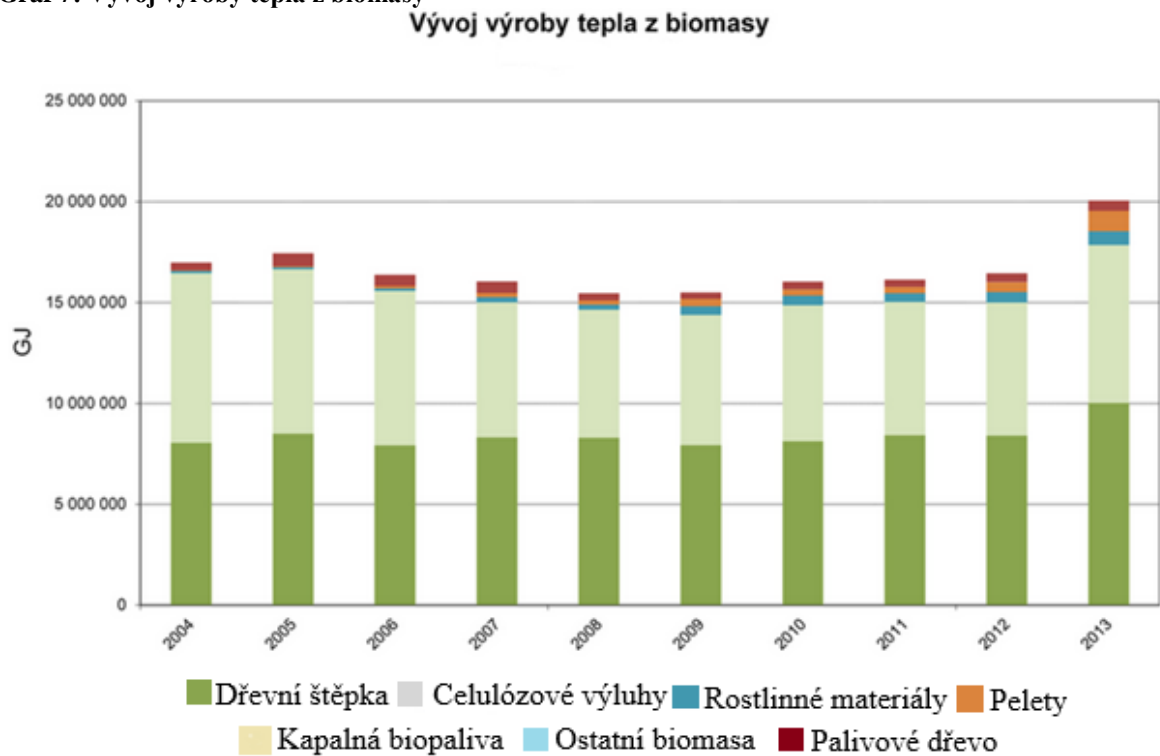
Přestože byl zákon č. 165/2012 Sb. v účinnosti teprve od 1. ledna 2013 byl novelizován zákonem č. 310/2013 Sb., vydaným ve Sbírce zákonů dne 2. října 2013. Hlavní úpravou je ze čl. I bodu 2 této novely zrušení podpory pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů uvedené do provozu po 1. lednu 2014. Výjimkou jsou malé vodní elektrárny, které zůstaly podporovány, aby bylo dosaženo závazného cíle 13,9% podílu elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě. Vyspělá Evropa plánuje pro rok 2040 podíl OZE na úrovni cca 60 %, Česká republika uvažuje jen o 15 %.

Graf 6: Vývoj výroby elektřiny z biomasy



Zdroj: MPO

Graf 7: Vývoj výroby tepla z biomasy



Zdroj: MPO

## 5 Materiál a metody

Obsah energie v odpadní zemědělské biomase byl zjišťován metodou spalné kalorimetrie. Použitá metoda je založena na úplném spálení rostlinného materiálu ve 100% kyslíkové atmosféře. Ke spalování vzorků byl použit suchý spalný adiabatický kalorimetr Laget MS 10A.

### Rostlinný materiál

K pokusům byla použita sláma obilovin: pšenice, oves, ječmen, tritikále, žito a sláma řepky. Zemědělský odpad v podobě pazdeří lnu, makové slámy, šťovíku, s luční seno – rok seče 2013 a 2014.

### Odběr materiálu

Biomasa (seno 2013, seno 2014 a také pšeničná, ječmenná a řepková sláma) byla odebrána v zařízení (Energetické centrum s.r.o., GPS: 49.143952N, 15.034322E) na spalování rostlinné biomasy pomocí biomasového kotel K5 o výkonu 25 t.h<sup>-1</sup>. Uvedené zařízení se nachází v katastru území města Jindřichův Hradec v Jihočeském kraji. Jedná se o podnik, který provozuje společnost Skupiny ČEZ. Zbylé vzorky biomasy (len, šťovík, mák, ovesná, žitná sláma a sláma z tritikále) byla získána na pozemcích obhospodařované Zemědělským družstvem Nová Včelnice (GPS: 49.242746N 15.07926E), který se zabývá rostlinnou i živočišnou výrobou. Zemědělské družstvo Nová Včelnice obhospodařuje výměru 1400ha zemědělské půdy, z toho orné půdy 1050 ha, luk a pastvin 300ha, trvalé kultury jsou vysety dle aktuálních osevních postupů na rozloze cca 50ha. V rámci rostlinné výroby se zaměřuje na pěstování pšenice, řepky, kukuřice ke krmným účelům a ječmene jarního. Zemědělské družstvo se nachází v okrese Jindřichův Hradec, v Jihočeském kraji.

### Stanovení spalného tepla

#### Příprava vzorku

Odebraný rostlinný materiál byl nejprve zhomogenizován pomocí homogenizátoru IKA. Homogenizace vzorku a jeho příprava vychází z norem ČSN ISO 1928. Následně byly vzorky vysušeny při teplotě 80 °C po dobu 7 dnů, do konstantní hmotnosti. Vysušené vzorky byly dále vlhčeny na požadovanou vlhkost 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 % a 45 % dodáním potřebného množství vody přepočítaného na hmotnost vysušeného vzorku.

#### Stanovení spalného tepla

Kalorimetrické stanovení spalného tepla s popelovinami a bez popelovin se stanovilo pomocí kalorimetru, kdy v kalorimetrické nádobě dochází k úplnému spálení vzorku v 100% kyslíkové atmosféře. Pro měření spalného tepla byl použit suchý spalný automatický adiabatický kalorimetr MS 10 A, německé firmy LAGET.

Pro měření spalného tepla a jejich následný výpočet bez oprav na spalné teplo kyseliny sírové a kyseliny dusičné byly použity normy ČSN ISO 1928.

LAGET MS 10A je klasický vodní, suchý adiabatický spalný kalorimetr s izotermálním pláštěm, s automatickým řízením pokusu a automatickým výpočtem korekce na výměnu tepla. Vodní nádoba je zabudována v plášti kalorimetru. Teplota uvnitř pláště, jímž je vodní nádoba obklopena, je 28 °C s odchylkou + 0,0005 °C. Kalorimetr pracuje v rozmezí teplot 20 – 30 °C. Z tohoto důvodu nesmí teplota v laboratoři překročit 25 °C. Součástí kalorimetru je spalná bomba o objemu 300 ml s maximálním přetlakem 30 MPa. Počáteční tlak v bombě je maximálně 4 MPa. Spodní část bomby pojme 5 ml destilované vody. Bomba je plněna kyslíkem pomocí stativu, který je vybaven sdruženou dvojicí kulových ventilů, manometrem a tryskou pro škrcení průtoků kyslíku. Příklad pracuje v sedmi volitelných pracovních režimech, kterými jsou kalibrační a kontrolní 32 minutové měření, adjustování (kontrola zabudovaných teploměrů), 24 minutové měření, klasické 16 minutové měření až do rovnováhy a zkrácené 5 a 8 minutové měření.

Pro výpočet energie byl použit následující vztah:

$$Q = \frac{(c * D_t) - c}{m - p}$$

Q – spalné teplo analytického vzorku (J.g<sup>-1</sup>),

C – tepelná kapacita kalorimetru (J. °C<sup>-1</sup>),

D<sub>t</sub> – celkový vzestup teploty v hlavním úseku (°C),

C – součet oprav (J),

m – hmotnost navážky analytického vzorku,

p – navážka popelovin.

Doplněním potřebných údajů do vzorce byla netto energie vypočítána podle vztahu:

Netto energie = (9768,3 \* teplotní skok – 1673,45)

9768,3 - tepelná kapacita kalorimetru (J),

1673,45 – spalné teplo drátka (J).

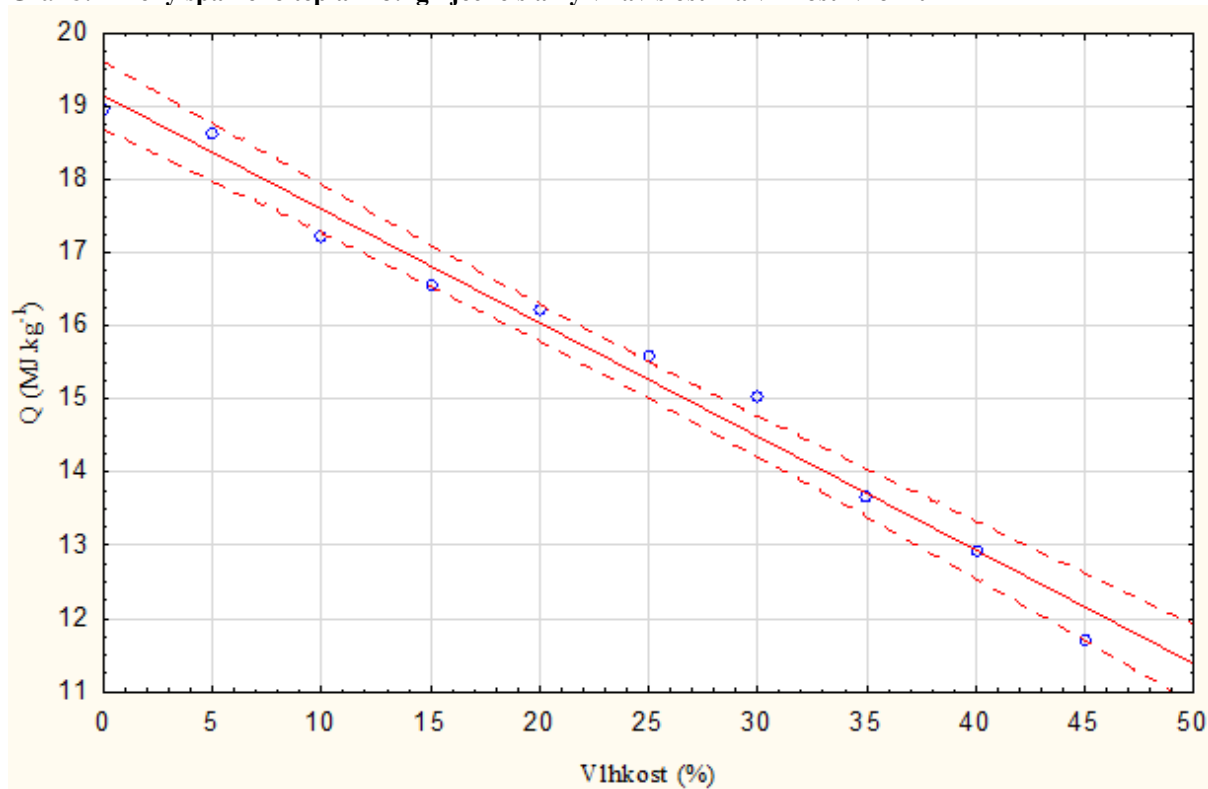
Každý vzorek o určité vlhkosti byl spálen ve třech opakováních.

### Statistické vyhodnocení výsledků

Pro statistické zpracování výsledků byla použita metoda více faktorová Anova a více násobná regrese na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Uvedená statistická hodnocení byla zpracována pomocí počítačového programu Statistica 12.0 Cz.

## 6 Výsledky

Graf 8: Změny spalného tepla  $\text{MJ.kg}^{-1}$  ječné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku

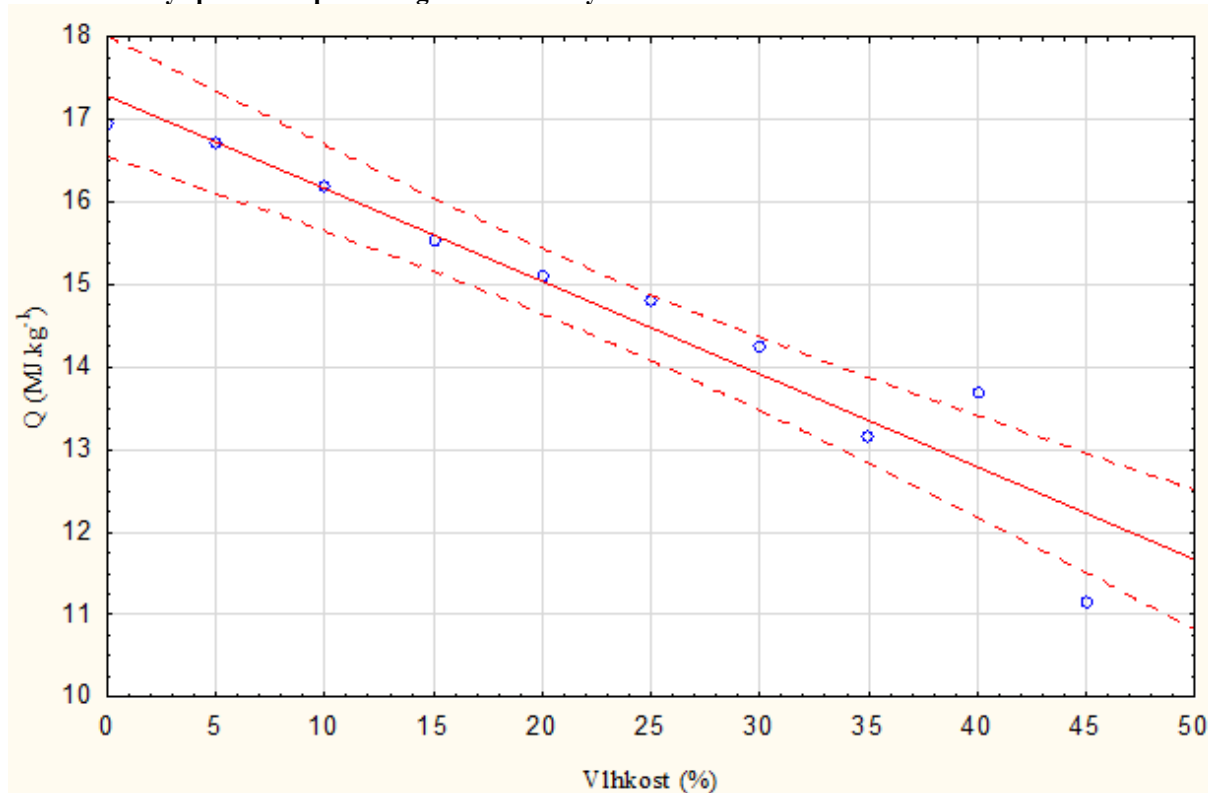


Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnoty spalného tepla bez popelovin ječné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku jsou uvedeny v grafu 8. Z uvedeného grafu je patrné, že hodnoty spalného tepla se pohybovaly v rozmezí hodnot od  $18,97 \text{ MJ.kg}^{-1}$  ve vysušeném vzorku do  $11,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$  při vlhkosti vzorku 45 %. Se změnou vlhkosti vzorku docházelo postupně k poklesu spalného tepla cca o  $0,155 \text{ MJ.kg}^{-1}$  na 1 % vlhkosti. Nejvýraznější pokles hodnoty spalného tepla byl zaznamenán u vlhkosti 10 %, kdy hodnota spalného tepla činila  $17,23 \text{ MJ.kg}^{-1}$  ve srovnání s vlhkostí předcházející. Jedná se o snížení o  $1,38 \text{ (MJ.kg}^{-1})$ . Pokud je hodnocen vliv vlhkosti na množství uvolněné tepelné energie, je možné konstatovat, že rozdíl mezi zcela vysušeným vzorkem a vzorkem se 45% podílem vody činil 38,32 % v neprospěch vzorku vlhkého. Jedná se o průkazné snížení spalného tepla na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

Na základě experimentálně zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná). Uvedená rovnice má tvar  $y = 19,14 - 0,15x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,99$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,98$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 98 % závislé na vlhkosti.

Graf 9: Změny spalného tepla MJ.kg<sup>-1</sup> ovesné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku



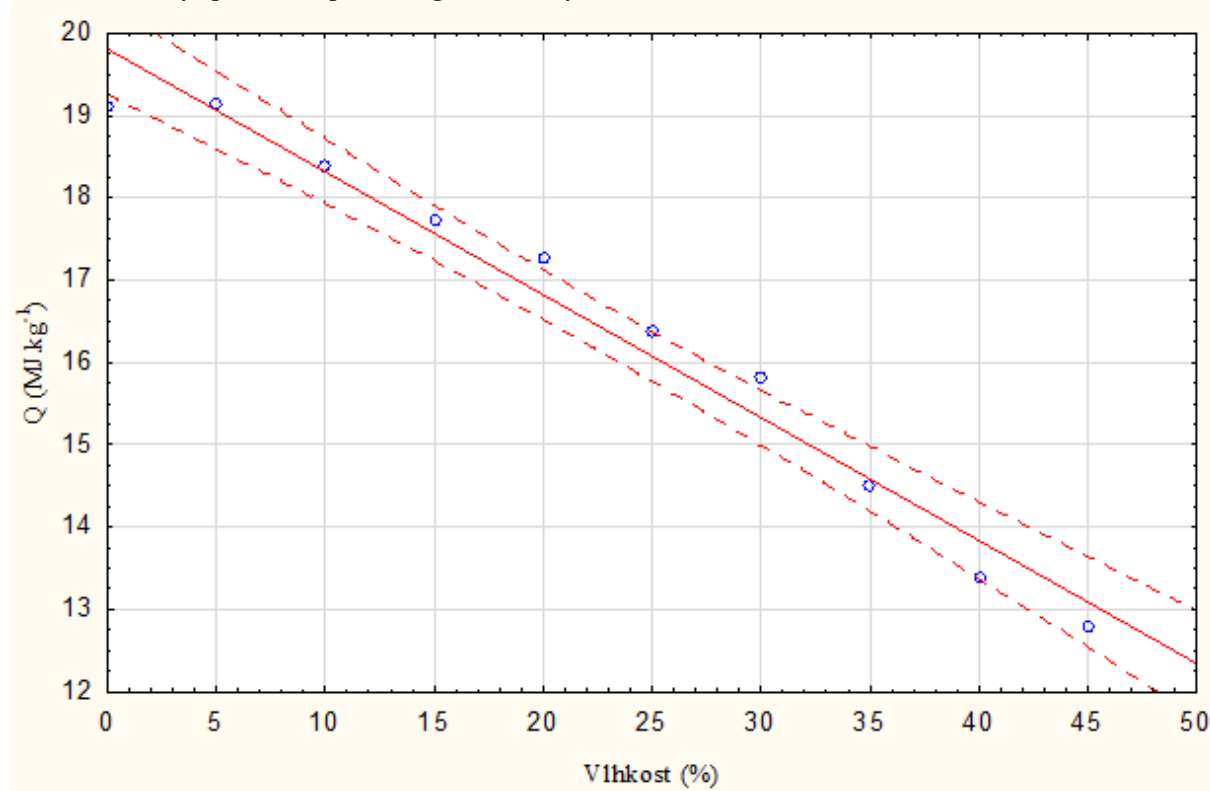
Zdroj: Vlastní zpracování

Změny hodnot spalného tepla ovesné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku jsou uvedeny v grafu 9. Z uvedeného grafu vyplývá, že hodnoty spalného tepla bez popelovin ovesné slámy byly nejnižší u vlhkosti 45 % 11,16 MJ.kg<sup>-1</sup> a naopak nejvyšší u varianty vysušeného vzorku 16,95 MJ.kg<sup>-1</sup>. Shodně se změnami hodnot spalného tepla ječné slámy byl zaznamenán pokles hodnot obsahu energie v závislosti na vlhkosti vzorku také u ovesné slámy. Z grafu 9. je dále patrné, že nejprve se vzrůstající vlhkostí spalné teplo klesá. Tento pokles byl zaznamenán mezi vysušeným vzorkem 16,95 MJ.kg<sup>-1</sup> až po vzorek s 35% vlhkostí, kdy hodnota spalného tepla byla 13,15 MJ.kg<sup>-1</sup>. Při 40% vlhkostí dochází k nárůstu spalného tepla o 0,53 MJ.kg<sup>-1</sup> v porovnání s vlhkostí 35 % (13,15 MJ.kg<sup>-1</sup>). Hodnota spalného tepla u vlhkosti 35 % a 40 % byla ve výši 13,15 MJ.kg<sup>-1</sup> a 13,68 MJ.kg<sup>-1</sup>. Nejvýraznější pokles hodnoty spalného tepla byl zaznamenán u vlhkosti 45 % (11,16 MJ.kg<sup>-1</sup>) ve srovnání s vlhkostí předcházející. Jedná se o snížení o 2,52 MJ.kg<sup>-1</sup>. Při hodnocení vlivu vlhkosti na množství uvolněné tepelné energie, je možné konstatovat, že mezi variantou kontrolní a vlhkostí 45 % je průkazný rozdíl v hodnotě spalného tepla, kdy se jedná o 34,16% snížení.

Na základě zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice ve tvaru  $y = 17,28 - 0,11x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní

koeficient  $R = 0,96$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,91$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 91 % závislé na vlhkosti.

**Graf 10: Změny spalného tepla  $\text{MJ.kg}^{-1}$  makoviny v závislosti na vlhkosti vzorku**



Zdroj: Vlastní zpracování

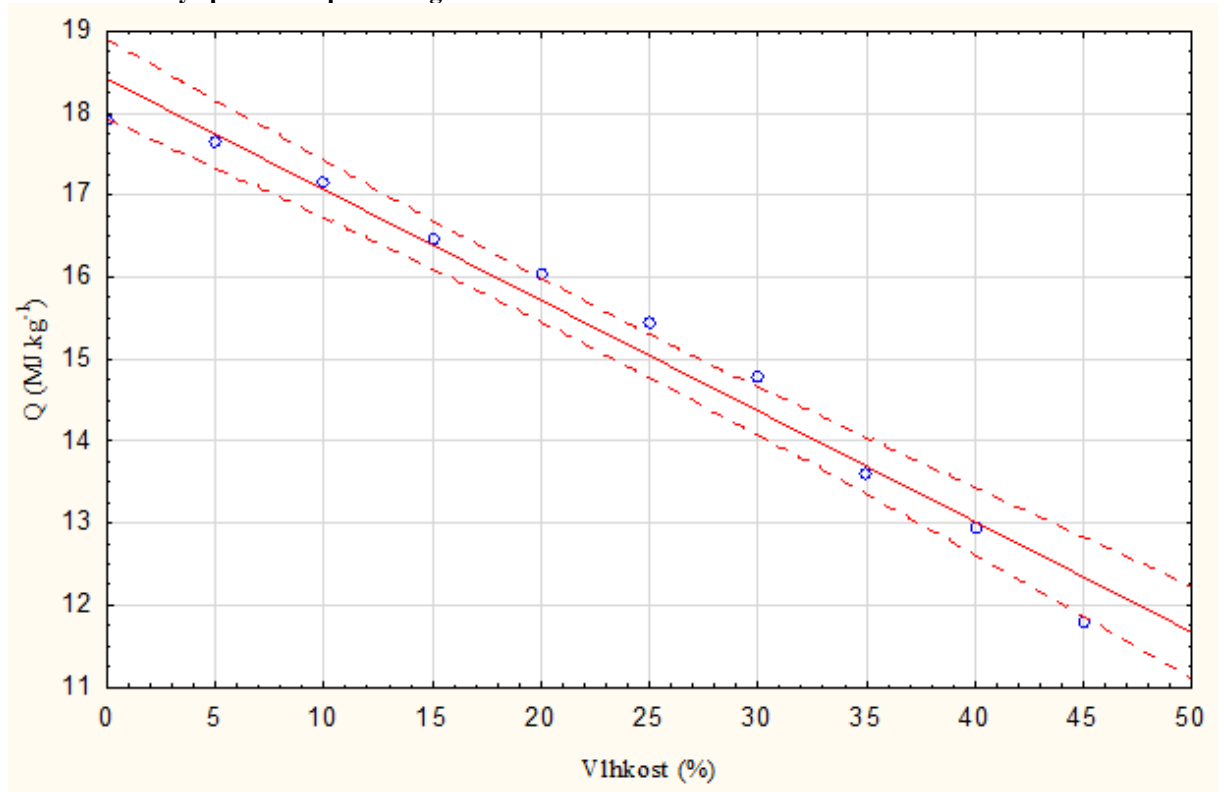
Zjištěné hodnoty spalného tepla bez popelovin makoviny uvádí graf 10. Graf 10 zobrazuje rozmezí hodnot spalného tepla, které se pohybovalo od  $19,14 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , což odpovídá vzorku s 5% vlhkostí do  $12,79 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , kdy se jedná o vzorek s vlhkostí 45 %. Nárůst vlhkosti z vysušeného vzorku na 5% vlhkost byl doprovázen nárůstem spalného tepla z  $19,12 \text{ MJ.kg}^{-1}$  na  $19,14 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , jedná se o neprůkazné zvýšení o  $0,02 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Následně pak s rostoucí vlhkostí klesala hodnota spalného tepla až na nejnižší hodnotu zjištěnou u 45% vlhkosti. Nejvýraznější pokles hodnoty spalného tepla byl zaznamenán u vlhkosti 30 %  $15,83 \text{ MJ.kg}^{-1}$  ve srovnání s vlhkostí předcházející. V tomto případě se jedná o snížení ve výši  $1,34 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Mezi kontrolním vzorkem o obsahu energie  $19,12 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a vzorkem se 45% podílem vody ( $12,79 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ , který činil 33,11 % v neprospěch vzorku vlhkého.

Na základě experimentálně zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná). Uvedená rovnice má tvar  $y = 19,8 - 0,15x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje,



že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,99$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,97$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 97 % závislé na vlhkosti.

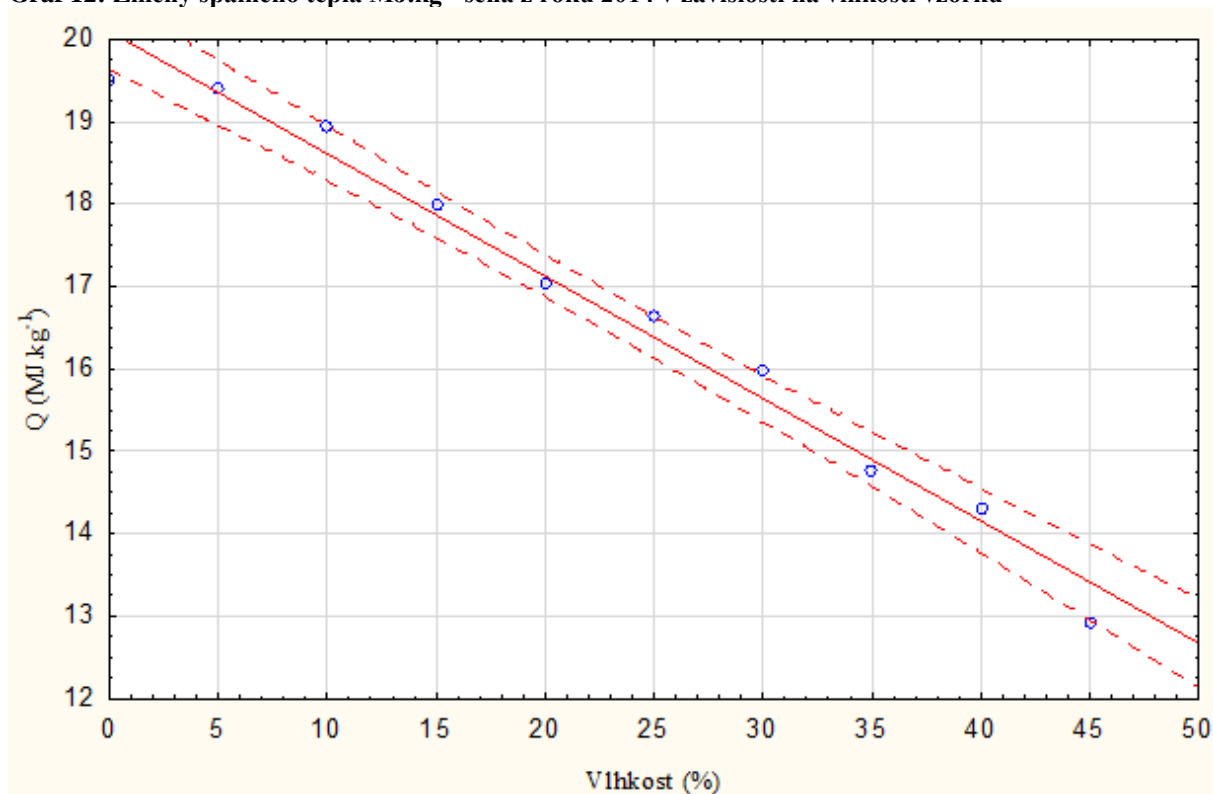
**Graf 11: Změny spalného tepla  $\text{MJ.kg}^{-1}$  sena z roku 2013 v závislosti na vlhkosti vzorku**



Zdroj: Vlastní zpracování

Získané hodnoty spalného tepla bez popelovin sena ze sklizňového roku 2013 uvádí graf 11. Z uvedeného grafu je patrný pozvolný pokles hodnot spalného tepla, které se pohybovalo v rozmezí hodnot od  $17,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (kontrola) do  $11,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (vlhkosti 45 %). Podle regresní rovnice  $y = 18,41 - 0,13x$  získané na základě experimentálně zjištěných dat dochází k postupnému poklesu spalného tepla o  $0,13 \text{ MJ.kg}^{-1}$  na 1 % vlhkosti. Nejvyšší pokles hodnot spalného tepla byl zaznamenán mezi 30% vlhkostí  $14,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a 35% vlhkostí  $13,62 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Další snížení bylo zaznamenáno mezi zcela vysušeným vzorkem ( $17,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) a vzorkem se 45% podílem vody ( $11,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Oba uvedené rozdíly jsou statisticky průkazné. Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi sledovanými vlastnostmi biomasy je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,99$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,97$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 97 % závislé na vlhkosti.

Graf 12: Změny spalného tepla MJ.kg<sup>-1</sup> sena z roku 2014 v závislosti na vlhkosti vzorku

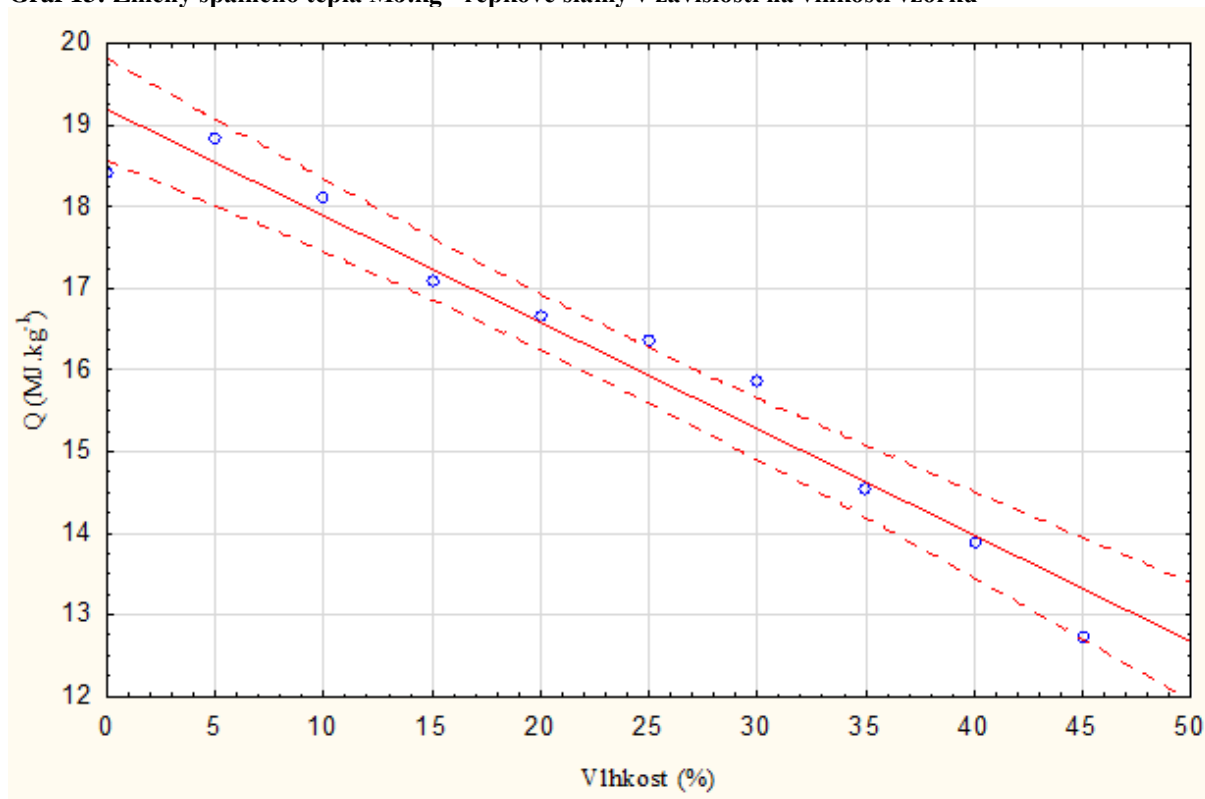


Zdroj: Vlastní zpracování

Vypočítané hodnoty spalného tepla bez popelovin sena ze sklizňového roku 2014 uvádí graf 12. Graf 12 zobrazuje pozvolně klesající hodnoty spalného tepla, od nejvýše naměřené hodnoty kontroly 19,52 MJ.kg<sup>-1</sup> (kontrola) po nejnižší hodnotu 12,92 MJ.kg<sup>-1</sup>, zjištěnou u varianty se 45% vlhkostí. Nejstrmější a statisticky průkazný pokles hodnot spalného tepla byl zaznamenán mezi 40% vlhkostí (14,29 MJ.kg<sup>-1</sup>) a 45% vlhkostí (12,92 MJ.kg<sup>-1</sup>). A dále mezi zcela vysušeným vzorkem (19,52 MJ.kg<sup>-1</sup>) a opět vzorkem se 45% podílem vody (12,92 MJ.kg<sup>-1</sup>).

Regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná) má tvar  $y = 20,1 - 0,15x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,99$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,98$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 98 % závislé na vlhkosti.

Graf 13: Změny spalného tepla MJ.kg<sup>-1</sup> řepkové slámy v závislosti na vlhkosti vzorku

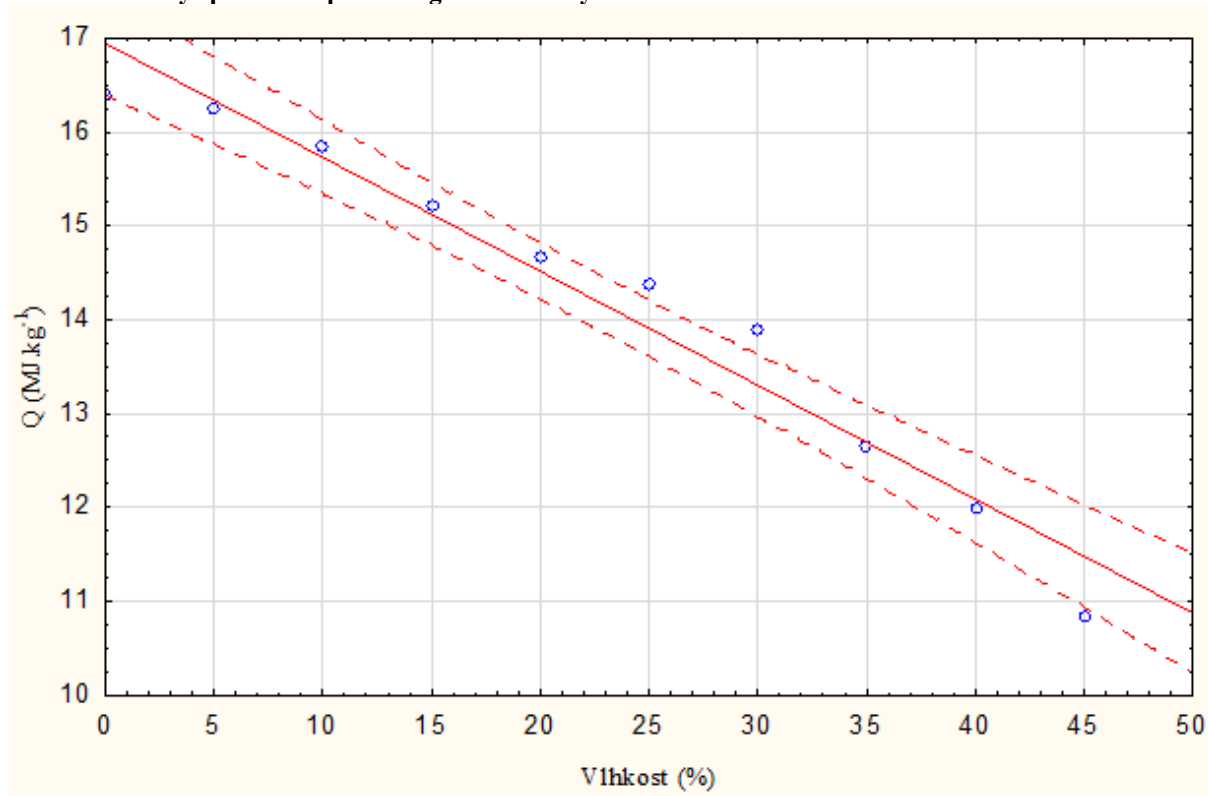


Zdroj: Vlastní zpracování

Získané výsledky spalného tepla bez popelovin řepkové slámy zobrazuje graf 13. Z grafu 13 je patrný nárůst spalného tepla u 5% vlhkosti 18,84 MJ.kg<sup>-1</sup> oproti předchozí hodnotě kontroly (18,42 MJ.kg<sup>-1</sup>), avšak tento rozdíl nebyl statisticky průkazný. Od vlhkosti 5 % již u všech zbývajících vlhkostí zaznamenán pouze pokles hodnot spalného tepla. Průkazný rozdíl 30,94 % v neprospěch vzorku vlhkého byl zjištěn mezi zcela vysušeným vzorkem (18,42 MJ.kg<sup>-1</sup>) a vzorkem se 45% podílem vody (12,72 MJ.kg<sup>-1</sup>). Nejvýraznější pokles hodnot byl zaznamenán mezi vlhkostmi 35 % (14,56 MJ.kg<sup>-1</sup>) a 30 % (vlhkosti 15,89 MJ.kg<sup>-1</sup>).

Regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná) má tvar  $y = 19,2 - 0,13x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,98$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,95$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 95 % závislé na vlhkosti.

Graf 14: Změny spalného tepla MJ.kg<sup>-1</sup> žitná slámy v závislosti na vlhkosti vzorku

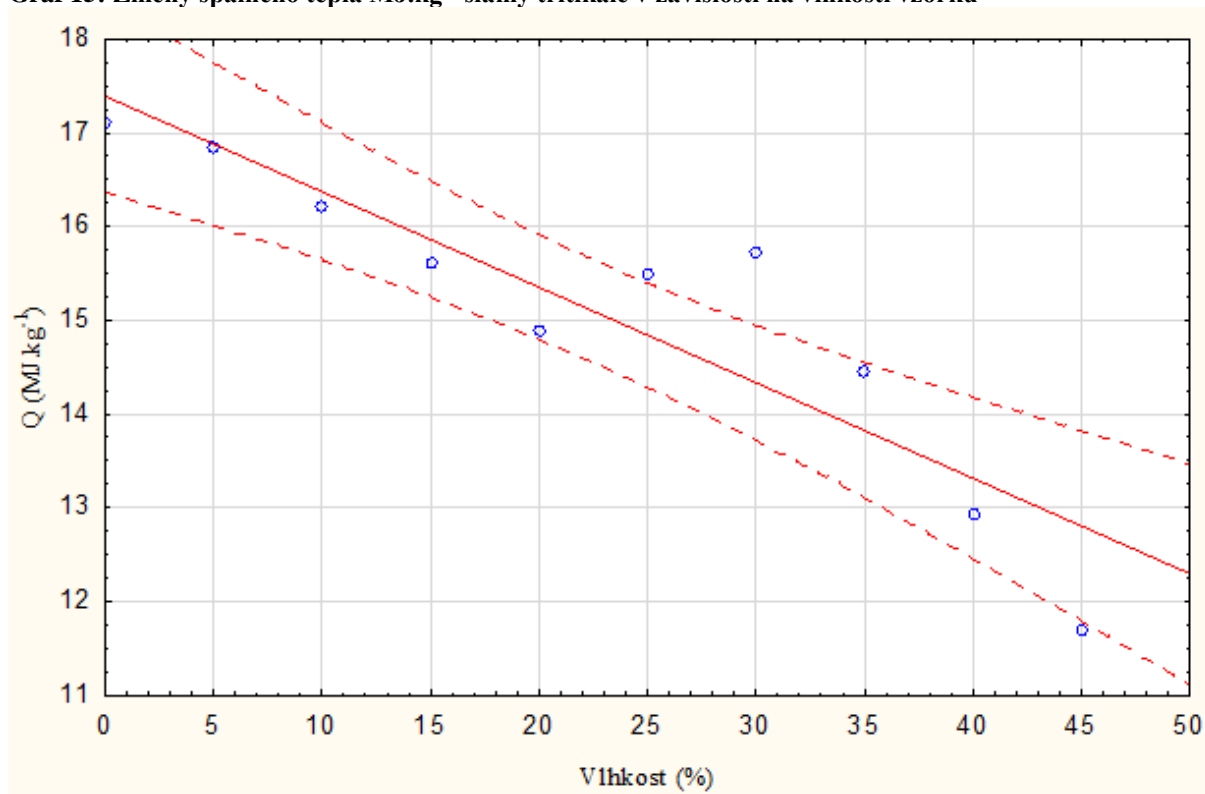


Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 14. zobrazuje hodnoty spalného tepla bez popelovin žitné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku. Z uvedeného grafu vyplývá, že nejnižší hodnoty byly naměřeny u vlhkosti 45 % (10,85 MJ.kg<sup>-1</sup>) a naopak nejvyšší u varianty vysušeného vzorku (16,39 MJ.kg<sup>-1</sup>). S navyšující se vlhkostí hodnota spalného tepla žitné slámy klesá. Nejvýraznější pokles hodnot spalného tepla žitné slámy byl zaznamenán na rozhraní vzorků s 30% vlhkostí (13,83 MJ.kg<sup>-1</sup>) a 35% vlhkostí (12,65 MJ.kg<sup>-1</sup>). Rozdíl hodnot spalného tepla mezi kontrolou (16,39 MJ.kg<sup>-1</sup>) a 45% vlhkostí činí 33,8 %. Jedná se o statisticky průkazné snížení spalného tepla na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

Na základě experimentálně zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná). Uvedená rovnice má tvar  $y = 16,94 - 0,12x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,98$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,96$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 96 % závislé na vlhkosti.

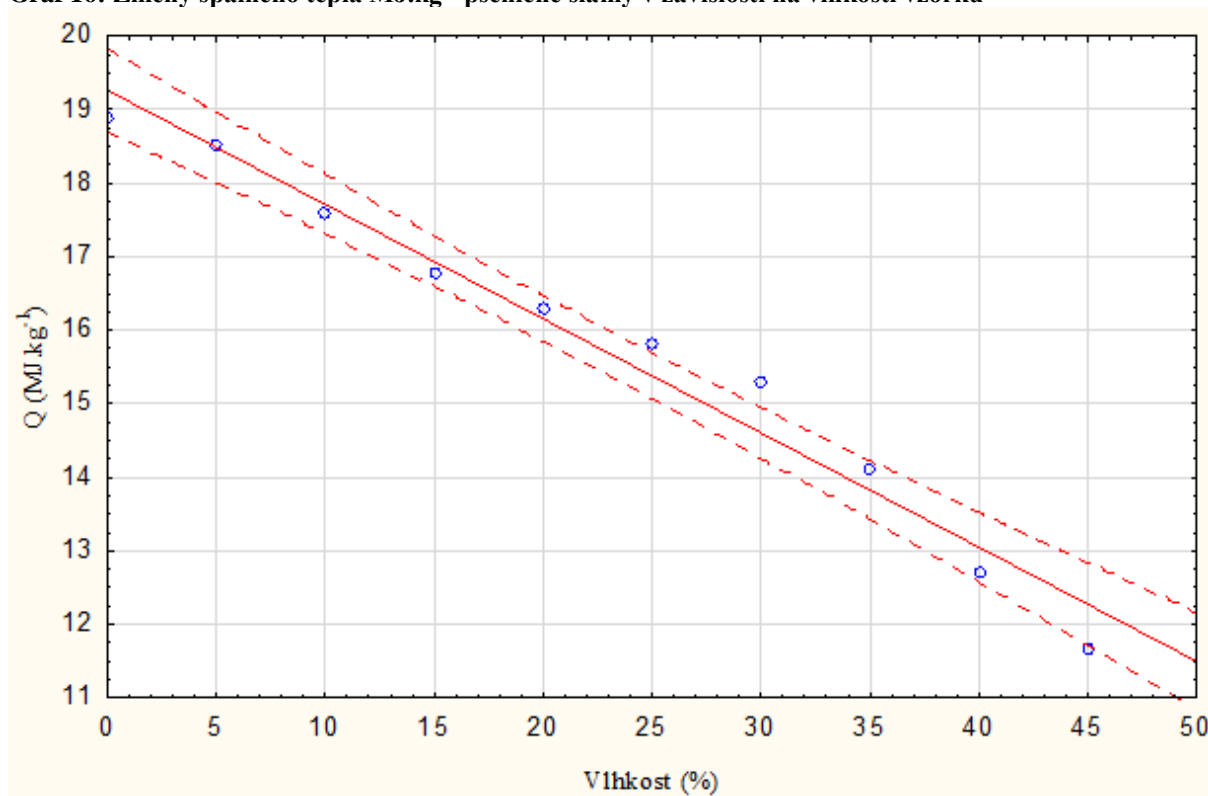
Graf 15: Změny spalného tepla MJ.kg<sup>-1</sup> slámy tritikále v závislosti na vlhkosti vzorku



Zdroj: Vlastní zpracování

Naměřené hodnoty spalného tepla bez popelovin slámy tritikále uvádí graf 15. Tento graf zobrazuje hodnoty spalného tepla v intervalu hodnot 17,12 MJ.kg<sup>-1</sup> (kontrola) až 11,68 MJ.kg<sup>-1</sup> (45% vlhkost). Shodně s předcházejícími rostlinnými materiály byl zaznamenán pokles hodnot spalného tepla v závislosti na vlhkosti vzorku. Pokles hodnot spalného tepla je zaznamenán do vlhkosti 20 % (14,89 MJ.kg<sup>-1</sup>). Poté dochází ke zvýšení hodnot spalného tepla až do 30% vlhkosti. U vzorku s obsahem vody 30 % byla hodnota spalného tepla ve výši 15,73 MJ.kg<sup>-1</sup>. Tento nárůst je poté vystřídán průkazným poklesem. Nejvýraznější pokles hodnoty spalného tepla byl zaznamenán mezi 35% vlhkostí (14,46 MJ.kg<sup>-1</sup>) a 40% vlhkostí, kdy došlo ke snížení o 1,52 (MJ.kg<sup>-1</sup>). Pokud srovnáme spalné teplo zcela vysušeného vzorku a vzorku s 45% vlhkostí je možné konstatovat, že mezi těmito dvěma vzorky je rozdíl v obsahu energie 31,78 % v neprospěch vzorku vlhkého. Jedná se o statisticky průkaznou diferenci. Na základě experimentálně zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná). Uvedená rovnice má tvar  $y = 17,39 - 0,1x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,90$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,82$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 82 % závislé na vlhkosti.

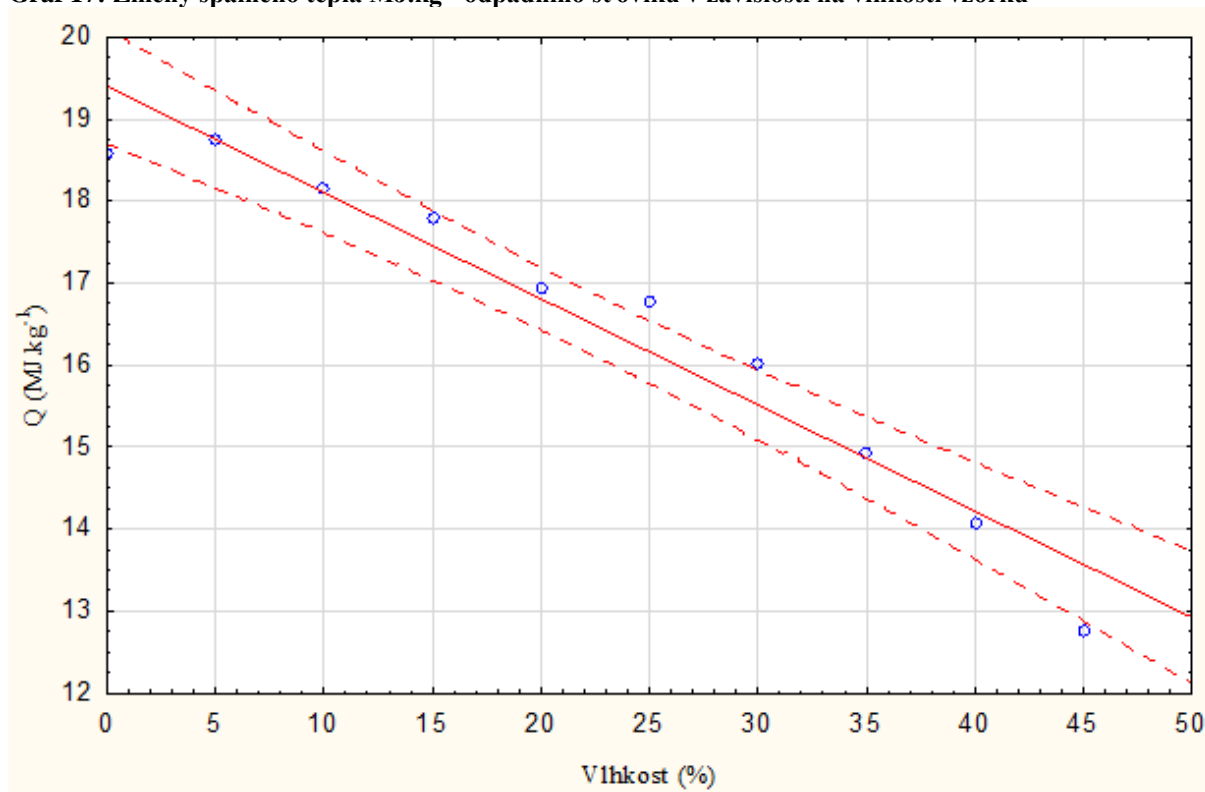
Graf 16: Změny spalného tepla MJ.kg<sup>-1</sup> pšeničné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 16. zobrazuje pozvolný pokles spalného tepla bez popelovin pšeničné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 18,89 MJ.kg<sup>-1</sup> (kontrola) do 11,68 MJ.kg<sup>-1</sup> (vlhkosti 45 %). Rozdíl spalného tepla mezi kontrolou a vzorkem o vlhkosti 45 % 11,68 MJ.kg<sup>-1</sup> byl opět statisticky průkazný a dosáhl hodnoty 38,17 %. Nejvýraznější pokles, spalného tepla byl zaznamenán u vlhkosti 35 % (14,1 MJ.kg<sup>-1</sup>) ve srovnání s předchozí vlhkostí 30 % (15,28 MJ.kg<sup>-1</sup>). Na základě experimentálně zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná). Uvedená rovnice má tvar  $y = 19,26 - 0,16x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,97$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,97$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 97 % závislé na vlhkosti.

Graf 17: Změny spalného tepla  $\text{MJ.kg}^{-1}$  odpadního šťovíku v závislosti na vlhkosti vzorku

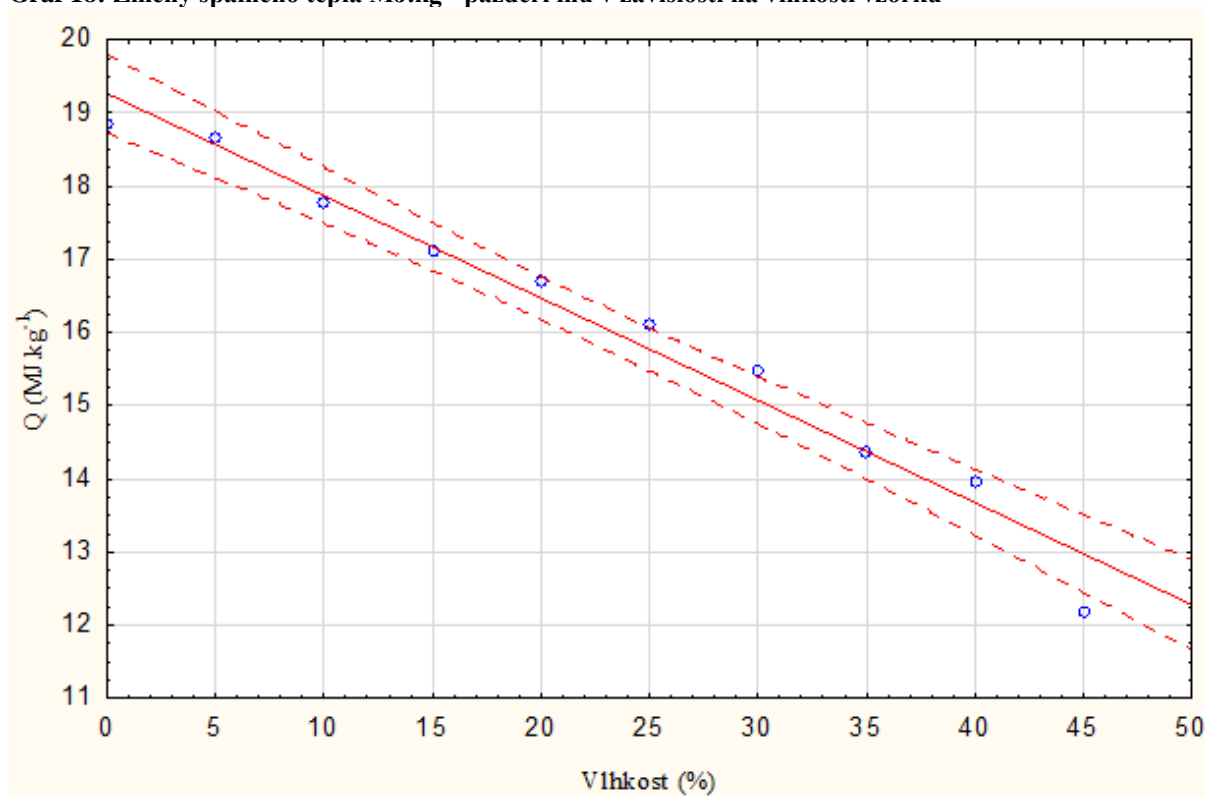


Zdroj: Vlastní zpracování

Zjištěné hodnoty spalného tepla bez popelovin odpadního šťovíku uvádí graf 17. Na grafu 17 je patrné rozmezí hodnot spalného tepla od  $18,59 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , zjištěného u kontroly, po  $12,75 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , naměřeného u vlhkost 45 %. Nárůst vlhkosti z vysušeného vzorku na 5% vlhkost byl doprovázen neprůkazným nárůstem spalného tepla z  $18,59 \text{ MJ.kg}^{-1}$  na  $18,76 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Toto statisticky neprůkazné zvýšení spalného tepla u vlhkého vzorku bylo poté vystřídáno postupným poklesem naměřených hodnot v závislosti na vlhkosti vzorku. Nejvýraznější pokles hodnoty spalného tepla byl zaznamenán u vlhkosti 45 % ( $12,75 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) ve srovnání s vlhkostí předcházející ( $14,09 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Opět shodně s předcházejícími vzorky rostlinného materiálu je zaznamenáno průkazné snížení hodnot spalného tepla mezi zcela vysušeným vzorkem ( $18,59 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) a vzorkem se 45% podílem vody ( $12,75 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ).

Na základě experimentálně zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná). Uvedená rovnice má tvar  $y = 19,4 - 0,13x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,97$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,94$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 94 % závislé na vlhkosti.

Graf 18: Změny spalného tepla MJ.kg<sup>-1</sup> pazdeří lnu v závislosti na vlhkosti vzorku



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 18 dokumentuje naměřené hodnoty spalného tepla bez popele pazdeří lnu. Z grafu je patrný pokles spalného tepla s narůstající vlhkostí. Naměřené hodnoty spalného tepla jsou v intervalu hodnot 18,85 MJ.kg<sup>-1</sup> (kontrola) až 12,18 MJ.kg<sup>-1</sup> (45% vlhkost). K průkaznému poklesu spalného tepla dochází mezi 40% vlhkostí (13,98 MJ.kg<sup>-1</sup>) a 45% vlhkostí (12,18 MJ.kg<sup>-1</sup>). Obdobně průkazné snížení hodnot spalného tepla je zaznamenáno mezi kontrolním vzorkem a vzorkem se 45% vlhkostí. Jedná se o 35,58% snížení obsahu energie u vlhkého vzorku ve srovnání s vysušeným vzorkem.

Na základě experimentálně zjištěných dat byla sestavena regresní rovnice vztahu mezi obsahem vody ve vzorku (nezávisle proměnná) a hodnotou spalného tepla (závisle proměnná). Uvedená rovnice má tvar  $y = 19,26 - 0,14x$ . Test významnosti  $p = 0,00$  poukazuje, že mezi vlastnostmi je průkazná závislost. Regresní koeficient  $R = 0,98$  nám udává, že se jedná o velmi silnou lineární závislost. Koeficient  $R^2 = 0,97$  nám naznačuje, že spalné teplo je z 97 % závislé na vlhkosti.

Závěrem je možné konstatovat, že ze sledovaných druhů zemědělského odpadu má nejnižší hodnotu spalného tepla žitná sláma 16,39 MJ.kg<sup>-1</sup> a naopak nejvyšší seno ze sklizňového roku 2014 (19,52 MJ.kg<sup>-1</sup>). U sledovaných druhů slámy byl zaznamenán pokles hodnot spalného tepla v závislosti na vlhkosti vzorku. Nejvyšší procentuální pokles



hodnot spalného tepla byl mezi sledovanými druhy slámy zjištěn u varianty ječné slámy, u té se hodnota spalného tepla pohybovala v rozpětí hodnot od 11,7 MJ.kg<sup>-1</sup> (45% vlhkost) do 18,89 MJ.kg<sup>-1</sup> (kontrola). Nejnižší procentuální pokles spalného tepla byl zjištěn u řepkové slámy, kde se rozmezí hodnot pohybovalo od 12,75 MJ.kg<sup>-1</sup> (45 % vody ve vzorku) do 18,42 MJ.kg<sup>-1</sup> (kontrola). Nejvyšší pokles spalného tepla mezi jednotlivými měřeními byl nejčastěji pozorován mezi 30% a 35% vlhkostí.

## 7 Diskuze

Ze získaných výsledků vyplývá, že nejvyšší hodnota spalného tepla ( $19,52 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) se uvolnila při spalování vysušeného sena sečeného v roce 2014. Hodnota spalného tepla sena sečeného v roce 2013 byla nižší a dosáhla hodnoty  $17,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Získané hodnoty spalného tepla sena ze sklizňového roku 2014 jsou vyšší, než udává Energetické centrum Jindřichův Hradec. Energetické centrum Jindřichův Hradec uvádí pro sušinu travin hodnotu spalného tepla v rozmezí od  $17,09 \text{ MJ.kg}^{-1}$  do  $18,87 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . V rámci tohoto intervalu se nachází hodnoty spalného tepla sena ze sklizně 2013. Frydrych a Andert (2013) uvádějí hodnotu spalného tepla travin v rozmezí  $17,46 - 17,79 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Tento závěr nebyl potvrzen u sena v obou sklizňových letech. Uvedené rozdíly mohou být způsobeny bylinným složením sena a také termínem seče, či průběhem počasí v daném roce. Průkazný vliv počasí na obsah energie uvádí také např. Golley (1961).

Naměřená hodnota spalného tepla u řepkové slámy ( $18,42 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) se nachází v rozmezí hodnot spalného tepla od  $18,3 \text{ MJ.kg}^{-1}$  do  $19,6 \text{ MJ.kg}^{-1}$  poskytnutých Energetickým centrem Jindřichův Hradec. Taktéž databáze pro biomasu a odpad (<https://www.ecn.nl/phyllis2/>) uvádí hodnotu spalného tepla vysušené řepky cca  $19,33 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Podle Juchelkové (2009) je spalné teplo řepkové slámy při 100% sušině  $18,06 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Získaná hodnota spalného tepla řepkové slámy je tedy vyšší než udává Juchelková (2009). Rozdíl může být způsoben použitou odrůdou.

Hodnota spalného tepla pšeničné slámy uvedená na serveru <https://www.ecn.nl/phyllis2/> je  $18,49 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , získaná průměrná hodnota z pokusu byla  $18,89 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Energetické centrum Jindřichův Hradec udává hodnotu spalného tepla pšeničné slámy v rozmezí od  $17,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$  do  $18,75 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Uvedený rozdíl je však statisticky neprůkazný. Donghui et al. (2014) uvádí hodnotu spalného tepla pro pšeničnou slámu  $17,74 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Uvedený závěr nebyl potvrzen.

Průměrná energie ( $18,97 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) ječné slámy uvolněná při experimentu je téměř shodná s energií  $18,68 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , kterou uvádí databáze pro biomasu a odpad (<https://www.ecn.nl/phyllis2/>).

V případě energie žitné slámy a ovesné slámy uvádí databáze <https://www.ecn.nl/phyllis2/> hodnoty spalného tepla  $18,79 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a  $18,94 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Tyto hodnoty jsou vyšší než získané výsledky, neboť spalné teplo žitné slámy a ovesné slámy bylo  $16,39 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a  $16,95 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Uvedené rozdíly mohou být způsobeny nejenom použitým vzorkem, neboť rostlinný materiál i po homogenizování je po chemické stránce heterogenní,

půdními a klimatickými podmínkami, ale také odrůdou. Tyto faktory ovlivňující obsah energie uvádí také Golley (1961).

Spalné teplo ( $17,1 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) slámy tritikále uvádí Geekiyanage a Kumar (2012), totožná hodnota byla naměřena i při pokusu.

Problematikou šťovíku k energetickým účelům se zabýval Ústav pro výzkum a využití paliv v Běchovicích. Hodnotu spalného tepla pro sušinu šťovíku uvádějí  $19,17 \text{ MJ.kg}^{-1}$  což je hodnota neprůkazně vyšší než průměr získaných hodnot ( $18,59 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Stárková a kol. (2008) uvádí, že šťovík se chová jednoznačně jako velice kvalitní palivo a oproti slámě dosahuje vyššího výkonu a lepšího spalování, je vhodnější pro šnekovou dopravu (neucpává šneky) je dobře spalitelný i při vyšší vlhkosti cca do 30 % (při zachování kvality spalování). Sláma je spalitelná do 20 % vlhkosti. Při porovnání získaných hodnot spalného vysušeného vzorku pšeničná sláma dosahuje vyšších hodnot spalného tepla oproti šťovíku, ale při 5% vlhkosti šťovík už má vyšší hodnoty spalného tepla než pšeničná sláma a se zvyšující vlhkostí je rozdíl výraznější. Vlastnostmi olejného lnu z hlediska energetického využití se zabývala Čandová a kol. (2009). Tito autoři uvádí spalné teplo lnu v rozmezí od  $18,31 \text{ MJ.kg}^{-1}$  do  $18,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Podle Strašila (2009) lněná sláma dosahuje hodnot spalného tepla cca  $18,58 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Při pokusu byla průměrná hodnota spalného tepla lnu  $18,85 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Research Update uvádí hodnotu spalného tepla vysušeného lnu dokonce  $19,97 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

Naměřené hodnoty spalného tepla veškeré fytomasy jsou relativně vyrovnané. Obdobný závěr uvádí také Strašil a Weger (2012). Podle Stárkové a kol. (2008) má fytomasa z různých druhů plodin v suchém stavu velmi podobné chemické složení. Je tvořena přibližně 44 – 48 % uhlíkem, 44 % kyslíkem a 5,5 – 6,5 % vodíkem. Škorpík (2011) konstatuje obdobné zastoupení prvků. Z této skutečnosti vyplývá, proč je spalné teplo fytomasy různých plodin obdobné a obvykle se pohybuje v rozpětí hodnot  $17,5 – 19,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$  v zcela suchém stavu (Havlíčková a kol. 2005). Strašil a Weger (2012) udávají tento rozsah nižší a to  $18,5 – 19,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Závislost spalného tepla na zastoupení jednotlivých složek (uhlík, dusík, vlhkost, koncentrace popela) uvádí také Phayom et al. (2012). Podobnost spalného tepla fytomasy dokládá i Strašil (2009), který se zabýval ozdobnicí čínskou a uvádí hodnoty spalného tepla  $19,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Obdobně Beale a Long (1995) uvádějí, že energetický obsah sušiny nadzemních částí, kořenů a oddenků jednotlivých druhů ozdobnice čínské je  $18,1 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Hodnotu spalného tepla konopí setého  $18,06 \text{ MJ.kg}^{-1}$  zmiňuje Kára (1995).

Makovina se jeví jako dobré palivo s hodnotou spalného tepla  $19,14 \text{ MJ.kg}^{-1}$  při vlhkosti 5 %. Česká republika je největším pěstitelem legálně pěstovaného máku na světě.

V České republice byl podle ČSÚ v roce 2014 mák pěstován na 27 020 ha. O využití potenciálu makoviny v Turecku se zmiňují také Demirbas a Urkmez (2006), Mustafa (2005).

Konstrukce a provoz systémů na spalování biomasy významně závisí na vlastnostech biomasy, jako je výhřevnost, obsah vlhkosti, elementární složení, vlastnosti popela, atd. Výhřevnost je jednou z nejdůležitějších vlastností biomasy (Sheng a Azevedo, 2005) a je dána řadou faktorů. Mezi tyto faktory je možné zařadit také vlhkost vzorku. Ze získaných výsledků je patrné, že obsah vody limituje hodnoty spalného tepla. Tento závěr ve své práci potvrzují např. Jenkins et al. (1998). Obdobné závěry uvádí také Demirbas (2002), který tvrdí, že vlhkost biomasy obecně snižuje její výhřevnost. Noskievič (1996) konstatuje, že zvýšením obsahu hořlaviny vysušením paliva se zvýší ve stejném poměru jeho výhřevnost. Ze statistických analýz vyplývá, že mezi obsahem vody ve vzorku a hodnotou spalného tepla či výhřevností existuje velmi těsná závislost. U sledovaných druhů biomasy se tato závislost pohybovala v rozpětí hodnot od 90 % do 99 %. Těsný korelační vztah mezi obsahem vody vzorku a hodnotou spalného tepla biomasy rychle rostoucích dřevin uvádí např. Stražil a Weger (2012). Juchelková (2009) uvádí vztah mezi obsahem vody a spalného tepla dendromasy regresní rovnicí  $y = 18,68 - 0,21x$ . Nadále uvádí koeficient  $R^2 = 0,99$ , což potvrzuje, že spalné teplo je z 99 % ovlivněno obsahem vody ve vzorku. Uvedený závěr byl potvrzen u všech vzorků spalované odpadní zemědělské biomasy.

Jenkins et al. (1998) uvádí, že limit pro samonosné spalování většiny biomasy je přibližně 65% vlhkost, nad touto hodnotou se neuvolňuje dostatečné množství energie, aby docházelo k uspokojivému odpařování. Juchelková (2009) tvrdí, že obsah vody u čerstvě pokácených stromů může přesahovat i hodnotu 60 %, při takovémto obsahu vody už výhřevnost nepostačuje ani pro udržení spalovacího procesu. Z toho vyplývá, že nejlepším palivem by byla bezvodá biomasa, ale biomasa s nulovým podílem vody se v přírodě prakticky nevyskytuje. Stražil a Wágner (2012) uvádějí, že obsah vody se v praxi pohybuje v rozmezí 10 – 70 %. Čerstvé dřevo má asi 55% vlhkost, po dvou letech asi 20 %.

Každá bylina během svého růstu obsahuje nejméně 80 % vody. Tento obsah v procesu dozrávání a jeho skončení a odumření nadzemní stébelnaté části postupně klesá až asi na 20 %, případně i méně, ale může mít i až 40% vlhkost. Zralé stébelniny ponechané za příznivého počasí na řádku mohou během tří dnů ztratit vodu až na cca 15 %. Ander a kol. (2006) uvádí, že nejlepším stébelnatým palivem je palivo vymoklé a znovu usušené. Souvisí to s nutností zbavit se rozpustných organických sloučenin obsahující chlor, draslík, fosfor i dusík. Vymoknutím se snižuje obsah popela a zvyšuje výhřevnost.

Research Update porovnává spalné teplo propanu  $46,37 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , topného oleje  $370 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , hnědého uhlí  $15,31 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a biomasy při odlišné vlhkosti (suchý vzorek lnu  $19,97 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a pšeničné slámy  $17,86 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , dřevo při 15% vlhkosti  $15 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , pšeničná sláma při 20% vlhkosti  $13,74 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Tento zdroj uvádí, že spalné teplo uhlí je srovnatelné se spalným teplem dřevěné biomasy při 15% vlhkosti a vysušená sláma pšenice a lnu má spalné teplo ještě vyšší. Spalné teplo dřeva  $18,81 \text{ MJ.kg}^{-1}$  se spalným teplem uhlí  $17,19 \text{ MJ.kg}^{-1}$  porovnává Tas a Yürüm (2012). Taktéž Stražil (2009) konstatuje, že spalné teplo lesknice při vlhkosti 18 % je  $15,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , což minimálně odpovídá hnědému uhlí horší kvality používanému v našich tepelných elektrárnách.

Kára (1995) publikuje hodnotu spalného tepla pro hnědé uhlí  $14,5 - 16,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a pro černé uhlí  $28 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Zatímco Demirbas (2004) uvádí hodnoty spalného tepla pro uhlí ( $23 \text{ MJ.kg}^{-1} - 28 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) vyšší než pro biomasu ( $14 \text{ MJ.kg}^{-1} - 21 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Také porovnává odlišné vlastnosti těchto surovin např. hustota biomasy je  $500 \text{ kg.m}^{-3}$  a uhlí  $1300 \text{ kg.m}^{-3}$ . Demirbas (2004) konstatuje, že biomasa se liší od uhlí v mnoha důležitých ohledech především ve složení organických a anorganických látek, energetickém obsahu a fyzikálních vlastnostech. Ve vztahu k uhlí, biomasa má obecně méně uhlíku a více kyslíku. Biomasa také obsahuje více draslíku, ale méně křemíku, hliníku, železa a především síry. Což je podle Strašila a Wegera (2012) velikou předností biomasy jelikož při spalování není zdrojem  $\text{SO}_2$ .

Taktéž má odlišnou výhřevnost, vyšší obsah vlhkosti a nižší hustotu. Biomasa má výrazně nižší výhřevnost než uhlí. To je částečně způsobeno obecně vyšším obsahem vlhkosti a částečně vysokým obsahem kyslíku. Obsah popela v biomase je velmi nízký oproti uhlí, u dřeva se hodnoty pohybují v průměru okolo 1%, ale často je jeho podíl i nižší (Stražil a Weger, 2012).

Jenkins (1989) uvádí, že spalné teplo biomasy může částečně odpovídat koncentraci popela, např. typické spalné teplo  $20 \text{ MJ.kg}^{-1}$  je pro dřeviny s méně než 1 % popela. Každé 1% zvýšení popela se promítá do snížení spalného tepla zhruba o  $0,2 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Dalším faktorem ovlivňující spalné teplo je koncentrace uhlíku v biomase, s každým zvýšením o 1 % se zvyšuje spalné teplo o  $0,39 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Stražil a Weger (2012) tvrdí, že rozdíly ve výhřevnosti (spalném teple) jednotlivých paliv jsou dány zejména poměrem ligninu (výhřevnost je  $25,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) a celulózy (výhřevnost  $18,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Jenkins et al. (1998) uvádí výhřevnost celulózy ( $17,3 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) a ligninu ( $26,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ), je to dáno z důvodu vyššího stupně oxidace ligninu.

## 8 Závěr

Ze získaných hodnot spalného tepla zemědělského odpadu a obnovitelných zdrojů energie v závislosti na obsahu vody vyplývají následující závěry:

1. Obsah vody ve vzorku průkazně snižuje hodnotu spalného tepla sledovaných vzorků zemědělského odpadu. Nejvýraznější snížení obsahu energie bylo zaznamenáno u vzorků při nárůstu vlhkosti na 45 %.

2. Mezi obsahem vody a hodnotou spalného tepla existují těsné lineární závislosti.

3. Při překročení vlhkosti 20 % dochází téměř u všech vzorků k poklesu energie o více než 10 %. Výjimku tvoří šťovík, u kterého pokles spalného tepla o 10 % je pozorován v rozmezí vlhkosti 25 % až 30 %.

4. U vzorku slámy z tritikále dochází k nárůstu spalného tepla se zvyšující se vlhkostí od 20 % do 30 %, přičemž uvolněná energie při 30% vlhkosti převyšuje hodnotu uvolněné energie při 15% vlhkosti.

5. Jako vhodný zdroj energie se jeví makovina, u které je průměrný obsah energie ve výši  $19,12 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , stejně tak seno s obsahem energie  $19,52 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

6. Na zvyšující se vlhkost vzorku nejcitlivěji poklesem hodnot spalného tepla reagovala pšeničná a ječná sláma.

7. Nejnížší hodnoty spalného tepla byly naměřeny u vzorků žitné a ovesné slámy, u nichž hodnota spalného tepla byla  $16,39 \text{ MJ.kg}^{-1}$  a  $16,95 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

8. Pro spalování rostlinného materiálu se nejvíce hodí biomasa do vlhkosti 15 %.

9. Byl prokázán rozdíl hodnot spalného tepla mezi jednotlivými druhy obilné slámy. Spalné teplo uvolněné z ječné slámy  $18,97 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , pšeničné slámy  $18,89 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , slámy tritikále  $17,12 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , ovesné slámy  $16,95 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , žitné slámy  $16,39 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

10. Hodnoty spalného tepla různých druhů zemědělského odpadu jsou od sebe částečně odlišné. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí od  $16,39 \text{ MJ.kg}^{-1}$  do  $19,52 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

11. Ze statistických analýz vyplývá, že mezi obsahem vody ve vzorku a hodnotou spalného tepla existuje velmi těsná závislost. U sledovaných druhů zemědělského odpadu se tato závislost pohybovala v rozpětí hodnot od 90 % do 99 %.

## 9 Seznam použité literatury

### Knižní publikace:

Angelis-Dimakis, A., Biberacher, M., Dominguez, J., Fiorese, G., Gadocha, S., Gnansounou, E., Guariso, G., Kartalidis, A., Panichelli, L., Pinedo, I., Robba, M. 2011. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2), p. 1182-1200.

Ander, D., Sladký, V., Abrham Z., 2006. Energetické využití pevné biomasy. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. s. 59. ISBN 80-86884-19-8

Baxter, L., 2005, Biomass-coal co-combustion: opportunity for affordable renewable energy, *Fuel*, Issue 10, p. 1295-1302

Beale, C. V., Long, S. P. 1995. Can perenial C-4 grasses attain high effeciencies of radiant energy conversion in cool climates. *Plant cell and Environment*, p. 641-50.

Biedermann, F., Obernberger I., 2005. Ash-related Problems during Biomass Combustion and Possibilities from a Sustainable Ash Utilisation.

Cenek, M. 2001. Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public. s. 92. ISBN 80-901985-8-9.

Čandová, D., Souček, J., Vacek, O. 2009 Vlastnosti olejného lnu z hlediska energetického využití. *Agritech science*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha

Demirbas A., 2000. Biomass resources for energy and chemical industry. *Energy Edu Sci Technol*, 5. p. 21–45

Demirbas, A. 2002. Relationships Between Heating Value and Lignin, Moisture, Ash and Extractive Contents of Biomass Fuels. *Energy, Exploration & Exploitation*. Issue 1, p. 105-111

Demirbas A., 2004. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress Energy Combust Sci*, 30. p. 219–230

Demirbas, A., 2005. Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, Issue 2, p. 171–192.

Dušíčka, P. 2003. *Malé vodní elektrárny*. Bratislava: Jaga. s. 21. ISBN 8088905451.

*Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. Z historie větrných elektráren*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2005, roč. 15, č. 12. ISSN: 1210-0889

Fridleifsson I. B., 2001. Geothermal energy for the benefit of the people. *Renew Sustain Energy Rev*, 5, p. 299–312

Grover, S., Kathuria, R. S., Kaur, M. 2012. Energy Values and Technologies for Non woody Biomass: as a clean source of Energy. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSRJEEE)*, 1, p. 10-14.

Hansen, P. F. B., Andersen, K. H., Wieck-Hansen, K., Overgaard, P., Rasmussen, I., Frandsen, F. J., Hansen, L. A., Dam-Johansen, K., 1998. Co-firing straw and coal in a 150-MWe utility boiler: in situ measurements. *Fuel Processing Technology*. Issues 1–3, p. 207–225

Havlíčková, K., Knápek, J., Vašíček, J., Weger, J. 2005. *Biomasa jako obnovitelný zdroj energie. Ekonomické a energetické aspekty*. VÚKOZ. Průhonice. ISBN: 8085116383.

Holata, M. 2002. *Malé vodní elektrárny: projektování a provoz*. Vyd. 1. Praha: Academia. s. 9. ISBN 80-200-0828-4.

Janíček, F., et al. 2010. *Obnovitelné zdroje energie 2*. Bratislava: Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave. *Slnečná energia*, s. 21-66. ISBN 978-80-89402-13-7.



James, A. K., Thring, R. W., Helle, S., Ghuman, H. S., 2012. "Ash management review-applications of biomass bottom ash," *Energies*, vol. 5, no. 10, p. 3856–3873.

Jenkins, B. M. 1989. *Physical properties of biomass. Biomass Handbook.*, Gordon & Breach, New York

Jenkins, B. M., Baxter, L. L., Miles Jr., T. R., T.R Miles, T. R. 1998. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology, Issues 1–3*, p. 17–46

Kazmerski, L. L., 1997. Photovoltaics: A review of cell and module technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 1, 1-2, p. 71-170.

Kikuchi, R. 2008. Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. *Journal for Nature Conservation*. vol. 16, issue 1, p. 44-55.

Khan, A. A., de Jong, W., Jansens, P. J., Spliethoff, H. 2009. "Biomass combustion in fluidized bed boilers: potential problems and remedies," *Fuel Processing Technology*, vol. 90, no. 1, p. 21–50.

Lim, J. S., Abdul Manan, Z., Wan Alwi, S. R., Hashim, H. 2012. A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (5), p. 3084-3094.

Liu, W., Lund, H., Mathiesen, B. V., Zhang, X. 2011. Potential of renewable energy systems in China. *Applied Energy*, 88 (2), p. 518-525.

Lyčka, Z., 2011 *Dřevní peleta II: spalování v malých zdrojích tepla*. 1. vyd. Krnov: LING Vydavatelství, s. 71. ISBN 978-80-904914-1-0.

Lund, H., Müller, B., Mathiesen, B. V., Dyrelund, A. 2010. The role of district heating in future renewable energy systems. *Energy*, 35 (3), p. 1381-1390

Masný, P., Drápela, J., Mišák, S., Macháček J., Ptáček, M., Radil, L., Bartošík, T., Pavelka T. 2011. Obnovitelné zdroje elektrické energie. České vysoké učení technické v Praze, Praha: EUROPRINT, a.s., s. 256. ISBN 978-80-01-04937-2

Motlík, J., a kol. 2007. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice: studie analyzuje současný stav a předpoklady rozvoje v dlouhodobějším horizontu. Praha: ČEZ. s. 186. ISBN 9788023988239.

Murtinger, K. 2006. Energie z biomasy. 1. vyd. ERA group spol. s r.o., Brno. s. 94 ISBN 80-736-6071-7.

Murtinger, K., Beranovský, J. 2008. Energie z biomasy. ERA group spol. s r.o., Brno. s. 92 ISBN: 9788073661151.

Noskievič, P., 1996. Biomasa a její energetické využití. Praha: Ministerstvo životního prostředí, s. 68. ISBN 80-707-8367-2.

Pastorek, Z., Kára J., Jevič P., 2004. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public , s. 286. ISBN 80-865-3406-5.

Pehnt, M. 2006. Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. Renewable Energy, 31, p. 55-71.

Richter, R., Římovský, K. 1996. Organická hnojiva, jejich výroba a použití. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky. s. 40, ISBN 8071051179

Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., Solangi, K. H. 2011. Environmental impact of wind energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 15, issue 5, p. 2423-2430.

Sayigh AAW., 2001. Renewable energy: global progress and examples. Renew Energy 2001, Wren, p. 1–15.

Sheng, Ch., Azevedo, J. L. T. 2005. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. Biomass and Bioenergy. Issue 5, p. 499–507

Sims, R., Rogner, H. H., Gregory, K., 2003. Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation. *Energy Policy*, Issue 13, p. 1315–1326

Smith, W. F., Hashemi, J. 2006. *Foundations of Materials Science and Engineering* (4th ed.), McGraw-Hill, ISBN 0-07-295358-6

Souček, J. 2004. Bioenergetické suroviny – logistika a výrobní technologie, In: *Sborník referátů z odborné konference, Zemědělská technika a biomasa 2004*, VÚZT, Praha, s. 86 – 89, ISBN 80-86884-00-7

Tas, S., Yürüm, Y. 2011. Part 2. Co-firing of biomass with coals. *J Therm Anal Calorim. Akadémiai Kiadó*, Budapest, 107, p. 293–298

Tewfik S. R., 2004. Biomass utilization facilities and biomass processing technologies. *Energy Edu Sci Technol*, 14. p. 1–19.

Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G. 2013. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel* 105, p. 40-76.

Weger, J., Stražil, Z. 2012. Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji. *VÚKOZ, v. v. i., Průhonice*. s. 78. ISBN 978-80-85116-66-3

Zacharda, F., Pepich, Š., Gaduš, J., Piszczalka, J. 2009. Biomasa, její potenciál a reálne možnosti využitia na Slovensku. Školící manuál. Agroištitút. Nitra. s. 76 ISBN: 9788071391333.

Zemánek, P., Burg, P., Kollárová, M., Marešová, K., Plíva, P. 2010. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vyd., Praha: VÚZT, v.v.i., s. 113. ISBN 978-80-86884-52-3

## Internetové zdroje:

Abrham, Z., Ander, D. 2012. Energetický potenciál a ekonomika odpadní zemědělské biomasy z obilovin a olejnin. *Biom.cz* [online]. 2012-11-19, [cit. 2014-07-29]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/energeticky-potencial-a-ekonomika-odpadni-zemedelske-biomasy-z-obilovin-a-olejnin>>. ISSN: 1801-2655.

Anon. 2011. Geotermální energie v ČR a ve světě. *gepo.cz* [online]. 2011, [cit. 2015-01-19]. Dostupné z <<http://gepo.cz/geotermalni-energie-v-cr-a-ve-svete-cln6.php>>

Beranovský, J., Macholda, F., Srdečný, K., Trufa, J. 2004. Energie z biomasy [online]. 2004, [cit. 2015-03-10]. <<http://www.i-ekis.cz/?page=biomasa>>

Březová, K. 2011. Česko má dobrý potenciál v geotermální energii [online]. 16-8-2011, [cit. 2015-01-20]. Dostupné z <<http://vasevec.parlamentnilisty.cz/blogy/cesko-ma-dobry-potencial-v-geotermalni-energii>>

Elektroenergetika ČR: Obnovitelné zdroje. Energostat: energetika v ČR a EU: informace, data, komentáře, zákony [online]. 22-7-2013, [cit. 2015-01-22]. Dostupné z <<http://energostat.cz/obnovitelne-zdroje.html>>

Heijboer, J. 1999. Spalování ve fluidním loži. BIOM - České sdružení pro biomasu [online]. 11-1999, [cit. 2015-01-26]. Dostupné z <<http://stary.biom.cz/biom/8/04.html>>

Hlušek, J. 2004. Statková hnojiva – sláma na hnojení. 1-2004, [cit. 2015-03-06]. Dostupné z <[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/slama.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/slama.htm)>

Chlubný, J., Lednický J., Sedlačík R., Slezáčková L., 2010. Obnovitelné zdroje energie, Energetická agentura Zlínského kraje, o.p.s. Dostupné z <[http://dvpp.eazk.cz/wp-content/uploads/2012/04/OZE\\_short\\_version.pdf](http://dvpp.eazk.cz/wp-content/uploads/2012/04/OZE_short_version.pdf)>

Jakubes, J., Bellingová, H., Šváb, M. 2006. Moderní využití biomasy. Česká energetická agentura. s. 66. Dostupné z <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>>

Jakubes, J. 2010. Spoluspalování biomasy s fosilními palivy – od výzkumu k praktickému využití. Biom.cz [online]. 20-10-2010, [cit. 2014-07-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/spoluspalovani-biomasy-s-fosilnimi-palivy-od-vyzkumu-k-praktickemu-vyuziti>>. ISSN: 1801-2655.

Jelemenský, L., Gašparovič, L., Markoš, J. 2013. Energetické využitie rastlinnej biomasy 1 – Chemické zloženie a technológie. Biom.cz[online]. 4-3-2013, [cit. 2014-07-29]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/energeticke-vyuzitie-rastlinnej-biomasy-1-chemicke-zlozenie-a-technologie>>. ISSN: 1801-2655.

Jíříček, I., Rábl, V., 2005a. Energie z biomasy, AZE 4-2005, Dostupné z <[http://www.vscht.cz/ktt/zdrene/5.0\\_Energie\\_z\\_biomasy.pdf](http://www.vscht.cz/ktt/zdrene/5.0_Energie_z_biomasy.pdf)>

Jíříček, I., Rábl, V., 2005b. Sluneční energie, AZE 4-2005, [cit. 2014-08-30]. Dostupné z <[http://old.vscht.cz/ktt/studium/zdrene/2.0\\_Slune%C4%8Dn%C3%AD\\_energie.pdf](http://old.vscht.cz/ktt/studium/zdrene/2.0_Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie.pdf)>

Jíříček, I. 2013. Větrná energie: druhy a rozdělení VtE [online prezentace]. Praha: Ústav energetiky, VŠCHT Praha, 2013, [cit. 2014-07-06]. Dostupné z <[http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/AZE\\_II/6AZE.II.2013.pdf](http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/AZE_II/6AZE.II.2013.pdf)>

Juchelková D. 2009. Energetické využití biomasy [online]. 2009 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Index.html](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Index.html)

Kára, J. 2003. Sláma jako palivo - technické předpoklady a ekonomika. Biom.cz [online]. 24-11-2003, [cit. 2014-07-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/slama-jako-palivo-technicke-predpoklady-a-ekonomika>>. ISSN: 1801-2655.

Motlík, J., Váňa, J. 2002. Biomasa pro energii (1) Zdroje [online]. 1-2-2002, [cit. 2015-03-10]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>>. ISSN 1801-2655.

Mrázek, V. 2012. Sílu geotermální energie v Česku zatím nikdo nevyužívá. Brzy by se to však mohlo změnit. Zdroje [online]. 20-10-2012, [cit. 2015-03-13]. Dostupné z <<http://www.prumysl.cz/silu-geotermalni-energie-v-cesku-zatim-nikdo-nevyuziva-brzy-by-se-to-vsak-mohlo-zmenit/>>

Ochecová, P., 2015. Popel z biomasy – významný zdroj živin. Biom.cz [online]. 19-1-2015, [cit. 2015-03-10]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/popel-z-biomasy-vyznamny-zdroj-zivin>>. ISSN: 1801-2655.

REN21. 2014. renewables 2014 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. Dostupné z: <[http://www.ren21.net/Portals/0/Images/Figures/GSR2014/Figure\\_12\\_Solar\\_Capacity\\_2014\\_oNr.jpg](http://www.ren21.net/Portals/0/Images/Figures/GSR2014/Figure_12_Solar_Capacity_2014_oNr.jpg)>

Souček, J. 2010. Doprava jako součást logistiky energetických surovin v zemědělství. *Biom.cz* [online]. 13-1-2010, [cit. 2014-07-29]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/spalovani-biomasy/odborne-clanky/doprava-jako-soucast-logistiky-energeticky-surovin-v-zemedelstvi>>. ISSN: 1801-2655.

Souček, J. 2011a. Logistika při energetickém využití rostlinné biomasy. *Biom.cz* [online]. 18-5-2011, [cit. 2014-07-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/spalovani-biomasy/odborne-clanky/logistika-pri-energetickem-vyuziti-rostlinne-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.

Souček, J. 2011b. Logistika při energetickém využití rostlinné biomasy - 2. *Biom.cz* [online]. 8-6-2011, [cit. 2014-07-29]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/spalovani-biomasy/odborne-clanky/logistika-pri-energetickem-vyuziti-rostlinne-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.

Stárková, M., Kazilová, L., Regnerová, O., Vavroušková, L. 2008. Využití biomasy jako alternativního zdroje energie. [online]. 2008 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <<http://www.rescompass.org/IMG/pdf/Biomasa.pdf>>

Střítecký, L., Hlavínek, P. 2013. Mikrořasy jako zdroj surovin. *oze.tzb-info.cz* [online]. 15-7-2013, [cit. 2014-08-29]. Dostupné z <<http://oze.tzb-info.cz/10141-mikrorasy-jako-zdroj-surovin>>

Ševčíková L., Sylva Klímová S., Danuše Čuprová D. 2003. Pasivní solární energie - nové trendy [online]. VUT BRNO, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství 14-11-2003, [cit. 2014-08-20]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/1705-pasivni-solarni-energie-nove-trendy>>

Voláková, P. 2010a. Biomasový popel – prvkové složení a možnosti jeho využití. *Biom.cz* [online]. 14-4-2010, [cit. 2014-07-29]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/biomasovy-popel-prvkove-slozeni-a-moznosti-jeho-vyuziti>>. ISSN: 1801-2655.

Voláková, P. 2010b. Nedoceněný zdroj energie: balíková sláma. *Biom.cz* [online]. 16-8-2010, [cit. 2014-07-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/nedoceneny-zdroj-energie-balikovana-slama>>. ISSN: 1801-2655.

## **Právní předpisy:**

### **Zákony**

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů.

Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 310/2013 Sb., kterým se mění zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění zákona č. 407/2012 Sb., a další související zákony.

### **Prováděcí právní předpisy**

Vyhláška č. 131/2014 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv

### **Právní předpisy Evropské unie a mezinárodní smlouvy**

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/77/ES, o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES

Smlouva o přistoupení České republiky k Evropské unii.



### Seznam grafů:

Graf 1: Vývoj fotovoltaických elektráren v ČR.....	16
Graf 2: Vývoj instalovaného výkonu fotovoltaických solárních elektráren ve světě .....	17
Graf 3: Vývoj větrných elektráren .....	20
Graf 4: Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách .....	23
Graf 5: Dopravní výkonnost a měrné náklady při dopravě hranolových balíků .....	40
Graf 6: Vývoj výroby elektřiny z biomasy .....	50
Graf 7: Vývoj výroby tepla z biomasy.....	50
Graf 8: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> ječné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku .....	54
Graf 9: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> ovesné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku.....	55
Graf 10: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> makoviny v závislosti na vlhkosti vzorku .....	56
Graf 11: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> sena z roku 2013 v závislosti na vlhkosti vzorku .....	57
Graf 12: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> sena z roku 2014 v závislosti na vlhkosti vzorku .....	58
Graf 13: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> řepkové slámy v závislosti na vlhkosti vzorku .....	59
Graf 14: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> žitná slámy v závislosti na vlhkosti vzorku .....	60
Graf 15: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> slámy tritikále v závislosti na vlhkosti vzorku .....	61
Graf 16: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> pšeničné slámy v závislosti na vlhkosti vzorku.....	62
Graf 17: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> odpadního š'ovíku v závislosti na vlhkosti vzorku ..	63
Graf 18: Změny spalného tepla MJ.kg <sup>-1</sup> pazdeří lnu v závislosti na vlhkosti vzorku.....	64

### Seznam obrázků:

Obrázek 1: Potencionál zemského tepla na území ČR .....	12
Obrázek 2: Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR (W.m-2) .....	16
Obrázek 3: Průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad povrchem .....	20
Obrázek 4: Využití biomasy k energetickým účelům.....	24
Obrázek 5: Rozdělení biomasy .....	25
Obrázek 6: Princip spodního přívodu paliva .....	32
Obrázek 7: Princip pásového roštového ohniště.....	33
Obrázek 8: Energetický mix členských států Evropské unie.....	45
Obrázek 9: Výroba elektrické energie z OZE v ČR (2010) Vodní elektrárny (VE), přečerpávací vodní elektrárny (PVE), fotovoltaika (FVE), větrné elektrárny (VTE) .....	46
Obrázek 10: Prognóza vývoje obnovitelných zdrojů energie v ČR.....	47

### Seznam tabulek:

Tabulka 1: Hlavní obnovitelné zdroje energie a jejich formy použití .....	9
Tabulka 2: Procentní podíl jednotlivých zdrojů obnovitelné energie v roce 1995 .....	10
Tabulka 3: Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR v roce 2013.....	10
Tabulka 4: Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům .....	26
Tabulka 5: Rozdělení odpadní biomasy.....	27
Tabulka 6: Katalog odpadů.....	28
Tabulka 7: Porovnání jednotlivých surovin.....	31
Tabulka 8: Celková produkce slámy .....	34
Tabulka 9: Průměrné chemické složení slámy v % .....	35
Tabulka 10: Limitní hodnoty rizikových prvků a látek v popelech ze samostatného spalování biomasy.....	42