

Studium výhřevnosti jednotlivých orgánů bavlníku

Tento článek představuje systematické studium rozdělení výhřevnosti v jednotlivých orgánech bavlníku. Tento výzkum je součástí pokračujícího programu získávání přesné analýzy termických dat z různých energetických plodin a odpadních zemědělských produktů. Data byla získána z rostlin bavlníku (odrůda Stoneville 474), které byly shromážděny před sklizní produktu. Spalovací kalorimetr (typ C5000, IKA®-Werke) byl použit pro stanovení výhřevnosti. Byly zjišťovány rozdíly ve výhřevnosti mezi jednotlivými orgány bavlníku. Rozdělení výhřevnosti v jednotlivých orgánech bylo provedeno takto: kořen, stonek, větve, plody, listy a vrchol rostliny. Ukazuje se, že významně vyšší výhřevnost vykazují plody (zejména semena), což je níže diskutováno. Střední hodnota výhřevnosti celých rostlin bavlníku byla 17550 J.g⁻¹ (tj. 17,55 MJ. Kg⁻¹).

1. UVOD

Rostliny představovaly pro člověka vždy důležité zdroje. Uplatnily se nejen jako potraviny a krmivo, ale rovněž jako důležité materiály, např. dřevo, oleje, či přírodní vlákna a jako obnovitelné zdroje energie. Rostliny představují biomasu. Organická hmota vzniká chemickými reakcemi anorganických látek obsažených ve vzduchu a v půdě, zejména reakcemi oxidu uhličitého, dusíku a vody aktivovaných energií slunečního záření. Solární energie se tak akumulovala do biomasy. V průběhu milionů let se značné množství biomasy přeměnilo na fosilní paliva. Fosilní zdroje energie jsou dnes spotřebovávány mnohem rychleji než se tvoří, jejich zásoby jsou tedy limitovány a navíc jsou hlavním zdrojem emisí skleníkových plynů. Je tedy žádoucí, aby byly postupně nahrazovány obnovitelnými či jadernými zdroji, jinak budou šance na trvale udržitelný rozvoj velmi malé. Energetické plodiny představují jednu z cest a úspěšně se využívají pro dostatečně vysoké hodnoty akumulované energie a pro možnost snížení nákladů na specializovanou výrobu zemědělských plodin využitím odpadního materiálu k energetickým účelům. Tento odpad může být využit jako doplňkové palivo. Zemědělské odpady rostlinného původu pochází z výroby, sběru a zpracování v zemědělských oblastech. Například v případě kukuřice to bývají stébla a obaly palic, v případě pšenice to bývají stébla, plevy a plody, v případě podzemnice olejné to bývá oplodí, v případě bavlny to bývají dřevnaté stonky, apod. [1].

Předmětem našeho zájmu jev současné době bavlna. Biomasa, která zůstává k dispozici po její sklizni, je bohatá na celulózu, hemicelulózu a lignin, podobně jako je tomu v případě většiny dřevnatých rostlin. Tato surovina představuje využitelné biopalivo. Řecko zaujímá první místo v produkci bavlny v rámci zemí Evropské unie a i v globálním měřítku je jednou z hlavních zemí vyvážejících bavlnu. Během let 1980-1999 se řecká produkce bavlny zvyšovala a tempo růstu produkce se pohybovalo kolem 7,2 % ročně. Oproti tomu v letech 2000-2007 se trend růstu změnil na mírně klesající trend.

Rozdělení produkce mezi jednotlivé oblasti Řecka je zhruba následující. Centrální Řecko (oblast Thessaly) produkuje cca 40 % bavlny, severní Řecko (oblast Makedonie) cca 31 % a jižní Řecko (oblast Sterea) cca 17 % [2]. Zbývajících cca 12% produkce připadá na všechny ostatní oblasti Řecka. Cca 800 000 tun dřevnatých stonků bavlníku ročně činí využitelný odpadní materiál vyprodukovaný v Řecku. Průměrný roční výnos těchto stonků činí 2 až 3 tuny z hektaru půdy. Převážná část stonků se v současné době spálí na poli po sklizni. Domníváme se, že toto není žádoucí, neboť toto

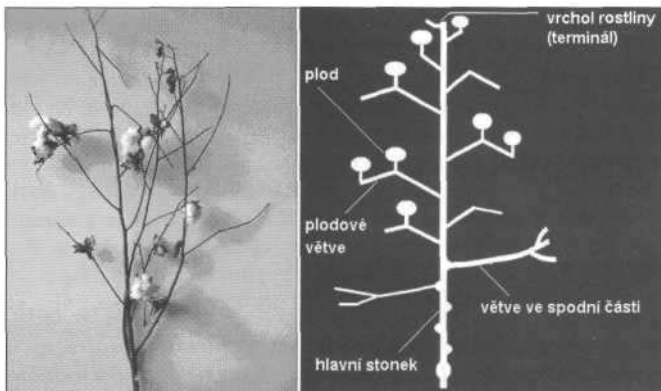
představuje plýtvání druhotnými surovinami. Řízeným spalováním v kotli k tomuto účelu konstruovanému by byla využita energie akumulovaná do této biomasy a navíc při optimálním spalování by mohly být minimalizovány nežádoucí účinky na životní prostředí. Kromě toho hromaděním biomasy na poli se v ní často objevují škůdci a organismy způsobující různé choroby, které se odtud mohou šířit. Výnos biomasy bavlníku se liší v závislosti na odrůdě. V závislosti na odrůdě a na přírodních podmínkách bývají stonky dlouhé 0,8-1,5 m a jejich průměr těsně nad zemí se pohybuje v rozmezí 10-25 mm. Krátké nasekané stonky představují hustotu biomasy cca 160 kg.m⁻³. Výhřevnost dřevnatých stonků bavlny odpovídá výhřevnosti méně kvalitního dřeva [3].

Výhřevnost je veličina, která charakterizuje materiál jako zdroj tepelné energie z hlediska efektivity. Množství energie akumulované v materiálu s výhřevností jednoznačně souvisí. Čím vyšší je výhřevnost (Higher Heating Value, HHV), tím větší množství tepla se uvolní během spalování. Avšak část uvolněného tepla se spotřebuje na vypaření vody jako skupenské teplo vypařování (latentní teplo fázové přeměny souvisí s rozdílem mezi výhřevností a spalným teplem, spalné teplo je větší). Tedy čím více vody je v materiálu, tím nižší je jeho výhřevnost (Lower Heating Value, LHV) v důsledku latentního tepla vypařování vody [4], [5].

Vzhledem k rozmanitosti biomasy nejsou dostupné údaje a dokumentace pro řadu druhů rostlin. Přestože využívání biomasy k energetickým účelům pokrývá určitou část celkových energetických potřeb Řecka, v celkové řecké energetice není toto množství zatím příliš významné. Cílem této práce je systematické studium rozdělení hodnot výhřevnosti v různých orgánech bavlníku. Tento výzkum je součástí řešeného projektu přesné analýzy termických dat různých energetických plodin a odpadních zemědělských produktů.

2. EXPERIMENT

Bavlna je především zemědělskou plodinou, ale vyskytuje se i jako divoce rostoucí. Existuje více než 30 odrůd bavlníku, ale jen některé se používají pro pěstování a zpracování bavlny. Listy mají tvar srdce, trochu připomínají javorový list. Tato rostlina má řadu bočních větví z hlavního stonku. Celkově má rostlina tvar kuželu nebo jehlanu. Obr. 1 ukazuje různé typy větví a dalších orgánů bavlníku. Větve ve spodní části rostliny produkují jen velmi málo bavlny. Plodové větve rostoucí výše ze střední části hlavního stonku rostliny produkují většinu využitelné bavlny. Plodnice ve spodní části rostliny bývají menší, plody bývají lehčí a kvalita bavlny bývá horší.



Obr. 1 Bavlík a jeho model [6], ukazující různé typy větví a dalších orgánů

Naše data pochází z různých rostlin bavlníku (odrůda Stoneville 474), které byly odebrány těsně před sklizní v listopadu 2007 v oblasti Thessálie. Vzorky byly vysušeny před použitím k našim analýzám. Sušení probíhalo při teplotě 70 °C po dobu 48 hodin. Spalovací kalorimetr (Model C5000 adiabatický bombový kalorimetr, IKA®-Werke, Staufen, Německo, obr. 2) byl použit k stanovení hodnot výhřevnosti v různých orgánech bavlníku. Základem kalorimetrického systému je kalorimetrická bomba (kovová nádoba), která je umístěna v tepelně izolovaném plášti. Primární snímače teploty jsou umístěny uvnitř této jednotky a zaznamenávají změny teploty během procesu spalování paliva v bombě. Kalorimetr má rovněž vodní chlazení. Toto zařízení mám umožňuje provádět rychlé analýzy. Nejkratší základní čas jedné analýzy je však limitován dobou potřebnou ke spálení paliva, což trvá několik minut. Následující matematické vzorce se používají k vyhodnocení výsledků měření. Do těchto vzorců byla postupně dosazována data z našich měření pro různé orgány bavlníku.

$$H_{Oan} = \frac{C \times \Delta T - Q_z}{m}, \quad (1)$$

kde H_{Oan} je výhřevnost vzorku [$J \cdot g^{-1}$], která závisí na vlhkosti, C je tepelná kapacita kalorimetrie [$J \cdot K^{-1}$], ΔT je zvýšení teploty v kalorimetru během spalování [K], Q_z je energie dodaná zvenci na zapálení vzorku [J] a m je hmotnost vzorku [g].

Čistá výhřevnost vzorku byla stanovena podle vztahu

$$H_{Uan} = H_{Oan} - (H_2O \times 24,41 J \cdot g^{-1}), \quad (2)$$

kde H_{Uan} je čistá výhřevnost vzorku [$J \cdot g^{-1}$], H_2O je obsah vody [%] ve vzorku. Vzhledem k tomu, že naše vzorky byly vysušeny, výhřevnost je rovna čisté výhřevnosti ($H_{Oan} = H_{Uan}$).

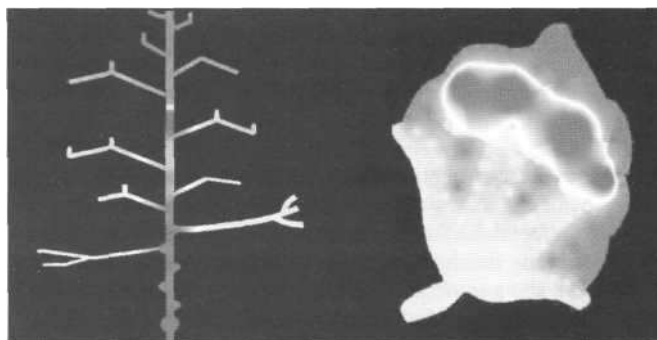


Obr. 2 Spalovací bombový kalorimetr C5000 IKA®-Werke

3. VÝSLEDKY A DISKUSE

V tab. 1 jsou uvedeny naměřené hodnoty výhřevnosti [$MJ \cdot kg^{-1}$] našich vzorků jednotlivých orgánů bavlníku (kořen, hlavní stonk, vrchol rostliny, větve ve spodní části rostliny, plodové větve, listy a plody). Provedli jsme pro každou rostlinu 10 měření vzorků každého orgánu bavlníku a poté bylo provedeno statistické vyhodnocení těchto dat. Všechny statistické výpočty byly provedeny na úrovni rizika 0,05. Celkem jsme proměřili 15 rostlin (tj. 150 měření). Nebyly zjištěny významné rozdíly ve výhřevnosti jednotlivých rostlinných orgánů s výjimkou semen. Výhřevnosti kořene, hlavního stonku a větví se pohybují nad hodnotou 17 $MJ \cdot kg^{-1}$, výhřevnosti vrcholů (terminál) rostliny se pohybují trochu pod touto hodnotou a nejmenších hodnot kolem 16 $MJ \cdot kg^{-1}$ dosahovaly výhřevnosti listů. Navíc po spálení listů byl pozorován významně vyšší zbytek popela v kelímku. Zajímavý je relativně nižší objem energie pozorovaný ve vrcholu rostliny. Domníváme se, že to má přímou souvislost s podmínkami hnojení a s následným nejdelším transportem živin až do vrcholu rostliny.

Semena mají významně vyšší hodnoty výhřevnosti v porovnání s ostatními orgány bavlníku, tyto hodnoty se pohybují mezi 22-23 $MJ \cdot kg^{-1}$. Předpokládáme, že tyto vyšší hodnoty výhřevnosti jsou důsledkem vyššího obsahu tuků a tím vyššího množství energie akumulované pro rozmnožování rostlin v následující sezóně a pro počáteční fázi růstu. S touto energií rostlina hospodáří, dokud si nevytvoří orgány pro příjem energie standardním způsobem.



Obr. 3 Mapa výhřevnosti v různých orgánech bavlníku

Na obr. 3 je mapa výhřevnosti v různých orgánech bavlníku rostliny č. 5. Levá část obrázku ukazuje mapování výhřevnosti v hlavním stonku a větvích a byla sestavena na základě opakovaného měření nařezaných kusů dlouhých 20 mm. Je vidět, že hlavní stonk vykazuje vyšší hodnoty výhřevnosti než větve, o něco nižší hodnoty vykazuje vrchol rostliny. Pravá část obrázku ukazuje analogickou mapu plodu bavlníku, zde je vidět významně vyšší výhřevnost semen. Na černobílé kopii obrázku uvedené efekty tolik nevyčníkají neboť různé barvy vypadají stejně. Na barevném originálu je vše vidět mnohem lépe.

Výhřevnost rostlinného materiálu se liší v různých orgánech rostlin, mezi jednotlivými druhy rostlin a rovněž závisí na prostředí a podmínkách růstu. Hnojení dusíkatými hnojivy a intenzita světla významně ovlivňují rozložení výhřevnosti v rostlinách. Proto další úsilí v tomto výzkumném projektu zaměříme na porovnání výhřevnosti mezi různými odrůdami rostlin bavlníku vypěstovaných za různých podmínek, jako je například hnojení dusíkatými hnojivy a intenzita světla.

4. ZÁVĚRY

Hlavní závěry našeho studia výhřevnosti různých orgánů bavlníku můžeme shrnout do následujících bodů.

- Studium výhřevnosti rostlin bavlníku (odrůda Stoneville 474) ukázalo, že existují rozdíly ve výhřevnosti jednotlivých orgánů rostliny.
- Kořen a hlavní stonk vykazují přibližně stejné hodnoty výhřevnosti mezi (17,64-17,80 $MJ \cdot kg^{-1}$).

Tab. 1 Výhřevnost jednotlivých orgánů bavlníku

rostlina	průměrná výhřevnost různých orgánů rostlin bavlny [MJ.kg ⁻¹]						průměrná výhřevnost různých částí plodů [MJ.kg ⁻¹]		
	kořen	hlavní stonek	vrchol	větve ve spodní části	plodové větve	listy	chloupě	tobolky	semena
rostlina č. 1	17,690	17,691	16,345	17,276	17,192	16,087	17,145	16,784	22,750
rostlina č. 2	17,718	17,767	16,470	17,389	17,489	16,055	17,119	16,543	23,008
rostlina č. 3	17,682	17,671	16,178	17,378	17,361	16,034	16,993	16,665	22,895
rostlina č. 4	17,689	17,799	16,384	17,598	17,505	15,955	17,210	16,624	22,911
rostlina č. 5	17,750	17,758	16,528	17,466	17,386	16,061	17,133	16,686	22,993
rostlina č. 6	17,671	17,730	16,491	17,392	17,417	16,023	17,042	16,661	22,935
rostlina č. 7	17,768	17,795	16,643	17,435	17,452	16,102	17,292	16,724	22,750
rostlina č. 8	17,751	17,774	16,380	17,475	17,495	16,126	17,114	16,870	22,987
rostlina č. 9	17,673	17,645	16,434	17,070	17,065	16,081	17,191	16,547	23,078
rostlina č. 10	17,681	17,698	16,105	17,279	17,323	16,069	17,170	16,687	23,027
rostlina č. 11	17,699	17,711	16,230	17,387	17,411	16,036	17,199	16,579	22,930
rostlina č. 12	17,712	17,718	16,302	17,430	17,417	15,958	17,237	16,902	23,017
rostlina č. 13	17,703	17,698	16,242	17,272	17,280	16,100	17,061	16,503	22,963
rostlina č. 14	17,758	17,786	16,570	17,554	17,548	16,113	16,941	16,934	22,960
rostlina č. 15	17,739	17,728	16,305	17,491	17,440	16,081	17,117	16,545	22,978

- Rozdíly mezi hlavním stonkem a plodovými větvemi ve střední části rostliny nejsou příliš významné, větve vykazují hodnoty výhřevnosti jen o málo nižší. Nižší hodnoty výhřevnosti vyazuje vrchol rostliny, což souvisí s nejdělsí dráhou pro transport živin z půdy.
- Nejnížší průměrnou výhřevnost ze všech orgánů rostliny vykazují listy (kolem 16 MJ.kg⁻¹). Po spálení listů zůstává větší množství popela, což souvisí s nižší hustotou energie akumulovanou do hmoty listů.
- Semena mají nejvyšší výhřevnost (mezi 22-4-23 MJ.kg⁻¹), což je důsledkem vyššího obsahu tuků a tím vyššího množství energie akumulované pro rozmnožování rostlin a pro počáteční fázi růstu v následující sezóně.
- Je třeba zaměřit další výzkum na porovnání výhřevnosti mezi různými odrůdami rostlin bavlníku vypěstovaných za různých podmínek.

Výsledky systematického studia výhřevnosti jednotlivých orgánů bavlníku jsou použitelné zejména pro cílené zvyšování podílu využívání obnovitelných zdrojů energie, což má své nezastupitelné místo v energetické politice všech států EU. Dá se předpokládat, že hodnoty výhřevnosti naměřené na rostlinách vypěstovaných v Řecku budou přibližně odpovídat hodnotám výhřevnosti rostlin z jiných oblastí, pravděpodobně se projeví určitá závislost na místních podmínkách a na podmínkách hnojení. Práce publikované v tomto oboru uvádějí výhřevnosti vysušených dřevnatých stonků bavlníku v rozmezí 15,86-18,10 MJ.kg⁻¹.

Literatura

- [1] Bhattacharya, S.C., Abdul Salam, P., Pham, H.L., Ravindranath, N.H., *Sustainable Biomass Production for Energy in Selected Asian Countries*. Biomass and Bioenergy, 25, 2003, str. 471-482.
- [2] Papakosta Tasopoulou, D., *Industrial crops*, Published by Sygchroni Pedia, Thessalonici, 2002. (in Greek).
- [3] Zabaniotou, A., Skoulou, V., Koufodimos, G., Samaras, Z., *Investigation study for technological application of alternative methods for the energy exploitation of biomass/agricultural residues in Northern Greece*. Thermal Science, 11 (3), 2007, str. 115-123.
- [4] Hill, J.O., *30 Years of Research in Thermal Analysis and Calorimetry*. Journal of Thermal Analysis, 42, 1994, str. 607-621.
- [5] Korchagina, E.N., *Thermal Measurements. Present State and Trends in the Development of Combustion Calorimetry*. Measurement Techniques, 41, 1998, str. 1057-1064.
- [6] Oosterhuis, D. M., Jernstedt, J., *Morphology and anatomy of the cotton plant*. In Smith, C.W. and J.T. Cothorn (eds). Cotton: Origin, History, Technology and Production, str. 175-206. Wiley Series in Crop Science. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Dr. Ing. Ioannis GRAVALOS, Dimitrios KATERIS. MSc. Panagiotis XYRADAKIS, BSc, Zisis TSIROPOULOS, MSc, Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology. Department of Biosystems Engineering, 41110 Larissa, Řecko, e-mail: gravalos@in.gr

Prof. Ing. Martin LIBRA, CSc, Česká zemědělská univerzita v Praze. Technická fakulta, Kamýcká 129, 16521 Praha 6, tel: 224 383 284, e-mail: libra@ft.czu.cz