

## **Określanie wartości energetycznej *Sorghum saccharatum* (L.) Moench, *Zea mays* L. i *Malva verticillata* L.**

S. KOZŁOWSKI<sup>1</sup>, W. ZIELEWICZ<sup>1</sup>, A. LUTYŃSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Łąkarstwa, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu*

<sup>2</sup>*Katedra Przeróbki Kopaliny i Utylizacji Odpadów, Politechnika Śląska*

### **Determining energetic value of *Sorghum saccharatum* (L.) Moench, *Zea mays* L. and *Malva verticillata* L.**

**Abstract.** Investigations are still in progress with the aim to find plant species which could be utilised in bioenergetics. Much hope has been pinned on energetic willow, poplar and false acacia. Recently, more and more attention has been placed on grasses, both native species as well as species alien among our native flora. Also the sward of permanent grasslands occupies a major position in the base of energetic biological raw materials. The simplest, albeit not the only method of obtaining heat energy from plants is their combustion. The value of the released energy is determined by many factors. Among the most important ones is the specificity of the plant species, especially in the area of chemical properties. Our investigations were carried out on the following three species: *Sorghum saccharatum*, *Zea mays*, *Malva verticillata*.

**Key words:** *Sorghum saccharatum*, *Zea mays*, *Malva verticillata*, energetic plant

### **1. Wstęp**

Nową dziedziną wykorzystywania roślin, jest bioenergetyka. Lista gatunków intratnych dla bioenergetyki jest coraz bogatsza. Wierzba ma w naszym kraju coraz więcej zwolenników (STOLARSKI, 2003; DUER, 1993). Ale pojawiają się opinie bardzo krytyczne co do jej uprawy. Grupą roślin nieustannie zyskującą na znaczeniu są trawy. Stwierdzenie to obejmuje zboża i trawy łąk (KSIĘŻAK i FABER, 2007; NIEDZIÓŁKA i ZUCHNIARZ, 2006). O randze tej grupy roślin świadczy fakt, podejmowane są próby uprawy traw i taksonów spoza naszej flory, wyłącznie dla pozyskiwania masy na cele energetyczne. Charakterystycznym przykładem są różne gatunki miskantów, sorga (BORKOWSKA i STYK, 2006; GOSTKOWSKI, 2006). Niewątpliwie w bazie biosurowców energetycznych szczególnie miejsce zajmuje ruń łąk trwałych, gdyż warunkiem ich utrzymania jest okresowa defoliacja. Ścięta ich biomasa wymaga bowiem racjonalnego spożytkowania. Na listę bioenergetycznych gatunków wpisywane są coraz częściej inne rośliny, między innymi malwa pensylwańska.

Spalanie jest najprostszym sposobem wyzwiania energii cieplnej. W tym kontekście istotną kwestią jest poszukiwanie zależności pomiędzy składem chemicznym a war-

tością energetyczną masy roślinnej. Skład chemiczny decyduje także o możliwości wytwarzania biogazu wykorzystywanego w celach energetycznych (GOLIŃSKI i JOKŚ, 2007). Bez względu na sposób wyzwalaania energii z fitomasy, kwestią istotną jest poznanie właściwości biologicznych i chemicznych, a także ekologii roślin określanych mianem energetycznych.

Celem naszych badań było poznanie składu chemicznego i wartości energetycznej *Sorghum saccharatum*, *Zea mays*, *Malva verticillata*, gatunków zyskujących na znaczeniu w fitoenergetyce.

## 2. Materiał i metody

Doświadczenie prowadzono w latach 2005-2007. Obiektem badawczym były trzy gatunki roślin, traktowanych dotychczas jako rośliny pastewne, a od niedawna także jako rośliny energetyczne – *Sorghum saccharatum* (L.) Moench, *Zea mays* L. i *Malva verticillata* L. Materiał roślinny pochodził z produkcyjnych upraw tych gatunków, każda o powierzchni 0,25 ha, zlokalizowanych na terenie Rolniczego Gospodarstwa Doświadczalnego Brody Akademii Rolniczej w Poznaniu. Gleba, na której były uprawiane charakteryzowała się 16% udziałem części spławialnych, lekko kwaśnym odczynem ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,5$ ), obecnością próchnicy na poziomie 1,22%, oraz zawartością 8,3 mg  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 14,3 mg  $\text{K}_2\text{O}$  i 5,8 mg Mg w odniesieniu do 100 g gleby.

Agrotechnika ich była zgodna z zaleceniami dotyczącymi uprawy tych gatunków.

- Wysiew nasion sorga cukrowego odmiany Sucrosorgo 506 wykonywano po 10 maja, w ilości 180 000 nasion na 1 ha, w rzędzie co 7 cm. Rozstawa rzędów wynosiła 70 cm. Do tego celu wykorzystywano siewnik Monosem. Do zwalczania chwastów zastosowano oprysk herbicydem Primextra Gold 720 SC w dawce 3 l  $\text{ha}^{-1}$  przed wschodami roślin. Stosowano nawożenie w następujących dawkach: N–160 kg, P–80 kg, K–170 kg  $\text{ha}^{-1}$ . Nawozy fosforowo-potasowe wysiano przed wysiewem nasion. Nawozy azotowe, w postaci saletry amonowej, aplikowano jednorazowo po wschodach. Zbioru roślin dokonywano w ostatniej dekadzie października w stadium dojrzałości mlecznej nasion, a więc w terminie optymalnym dla wartości pokarmowej.
- Kukurydzę – odmianę Magister (FAO 270) – wysiewano w ilości 90 000 nasion na 1 ha w ostatniej dekadzie kwietnia, w tej samej rozstawie rzędów jak sorgo cukrowe. W zwalczaniu chwastów w uprawie tego gatunku wykorzystano ten sam preparat i w tej samej dawce jak w uprawie sorga. Uprawiając kukurydzę zastosowano również takie same dawki nawozów i zaaplikowano je w takich samych terminach jak w przypadku sorga. Zbiór wykonywany był w tym samym okresie kalendarzowym co sorgo, jednakże kukurydza znajdowała się w fazie woskowej ziarna.
- Nasiona malwy pastewnej, pozyskane z Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin Akademii Rolniczej w Lublinie, wysiewane były w ilości 12 kg  $\text{ha}^{-1}$ , w tej samej rozstawie rzędów i w tym samym terminie jak sorgo cukrowe. Dla ochrony uprawy tego gatunku przed chwastami zastosowano międzyrzędową pielęgnację mechaniczną.

Określano skład chemiczny nadziemnych części pędów, także ich organów oraz określenie plon i wartość energetyczną. Na powierzchni uprawy każdego gatunku wydzielono pięć poletek o powierzchni 6 m<sup>2</sup> każde, z których pobierano wszystkie pędy. Pozyskany w ten sposób reprezentatywny materiał roślinny ważono i odnosząc uzyskane wartości do obsady określono plon suchej masy z uprawianej powierzchni. Materiał analityczny stanowiły nadziemne części pędów. Przy oznaczaniu składu chemicznego roślin wykorzystywano standardowe metody analityczne: białko ogólne, którego zawartość określano za pomocą metody Kjeldahla, cukry rozpuszczalne (DUBOIS i wsp., 1956), celulozę i ligniny (VAN SOEST i WINE, 1968), hemicelulozy (HAYLAND, 1959), azot azotanowy metodą JOHNSONA i ULRICHA (1950), a popiół surowy metodą wagową. Wartość energetyczną określono w tym samym materiale, jaki wykorzystano do określenia składu chemicznego. Wartość energetyczną określano na podstawie spalania próbek rozdrobnionego materiału roślinnego w bombie kolorymetrycznej zgodnie z normą PN-81/G-04513.

### 3. Wyniki

#### 3.1. *Sorghum saccharatum*

Pędy generatywne sorga wyróżniały się dużym udziałem frakcji węglowodanów strukturalnych, to znaczy celulozy i hemiceluloz, które w efekcie sprawiły, że poziom NDF przekroczył 560 g w kg s.m. (tab. 1).

Tabela 1. Skład chemiczny pędów *Sorghum saccharatum* i ich organów (średnia z lat 2005-2007)  
Table 1. Chemical composition of *Sorghum saccharatum* shoots and their organs (mean 2005-2007)

Składnik – Component	Zawartość (g kg <sup>-1</sup> s.m.) – Contents (g kg <sup>-1</sup> DM)			
	Błaszki liściowe Leaf blades	Łodygi Stems	Wiechy Wisps	Całe pędy Whole shoots
Białko ogólne – Crude protein	171,21	82,11	113,12	114,65
Cukry – Sugars	39,32	134,57	35,59	72,26
Celuloza – Cellulose	236,16	285,06	293,15	279,52
Hemicelulozy – Hemicelluloses	206,08	221,61	316,48	266,54
Ligniny – Lignins	29,42	28,73	27,52	28,16
ADF	265,58	313,79	320,67	318,67
NDF	471,66	535,40	637,15	562,10
Popiół surowy – Crude ash	70,48	36,17	41,02	48,86

Niewielki był natomiast poziom lignin, cukrów i białka. Jednakże ilość tych składników chemicznych była zróżnicowana w poszczególnych organach pędu. Łodygi były zasobne w cukry, celulozę i hemicelulozy, blaszki liściowe w białko i popiół surowy. Ilościowe i jakościowe zróżnicowanie składu chemicznego organów pędu ma niewątpliwie istotne znaczenie dla składu chemicznego całego pędu i jego

wartości użytkowej. Dodać też należy, że przedstawiony skład chemiczny sorga dotyczy stadium rozwojowego pędów, optymalnego ze względów żywieniowych, to znaczy na początku dojrzałości mleczej nasion, co miało miejsce w ostatniej dekadzie października.

Wartość energetyczna nadziemnych części pędów sorga w odniesieniu do ich suchej masy, wykazywała wartość  $17,75 \text{ MJ kg}^{-1}$  (tab. 2). Natomiast niewielkie zróżnicowanie tego parametru daje się zauważyć w odniesieniu do poszczególnych organów pędu. Najwyższą kalorycznością wyróżniały się blaszki liściowe, najniższą pochwy liściowe i łodygi. Różnica w kaloryczności tych organów przekraczała 8%. Kwiatostany przewyższały wartością energetyczną łodygi zaledwie o 2%.

Tabela 2. Wartość energetyczna pędów *Sorghum saccharatum* i ich organów  
Table 2. Energetic value of *Sorghum saccharatum* shoots and their organs

Nadziemne części roślin Above ground parts of plants	Kaloryczność 1 kg s.m. Caloricity 1 kg DM (MJ)	Zawartość s.m. w spalonej próbie Dry matter contents in burn sample (%)
Błaszki liściowe – Leaf blades	18,10	96,1
Łodygi – Stems	16,63	96,9
Wiechy – Wisps	17,89	95,8
Pochwy liściowe – Leaf sheaths	16,71	94,6
Całe pędy – Whole shoots	17,75	95,2

### 3.2. *Zea mays*

Skład chemiczny *Zea mays* odmiany Magister (tab. 3), wykazuje znaczne podobieństwo do *Sorghum saccharatum*. Pędy kukurydzy charakteryzuje podobna ilość celulozy, hemiceluloz oraz lignin, czyli węglowodanów strukturalnych. Frakcja NDF posiada ponad 530 g udziału w kg s.m. Cechą różnicującą morfologicznie, a w efekcie również chemicznie, kukurydzę od sorga jest obecność wypełnionych ziarnem kolb na jej pędach. Głównym składnikiem chemicznym kolb pozostaje skrobia, nie oznaczana w przeprowadzanych badaniach. Toteż nie może dziwić niewielki w nich udział celulozy, hemiceluloz czy lignin oraz białka. Cukry są obecne w niewielkich ilościach, lecz są to tylko monosacharydy redukujące. Przyjęta metoda analityczna nie uwzględnia skrobi.

Wartość energetyczna nadziemnych generatywnych pędów kukurydzy (tab. 4.) była bardzo zbliżona do wykazywanej przez pędy sorga cukrowego ( $17,79 \text{ MJ}$ ) w odniesieniu do 1 kg s.m. Różnice pomiędzy organami pędu okazały się minimalne. Organem o największej kaloryczności były kolby – ponad  $18 \text{ MJ kg}^{-1}$ . W odniesieniu do kolb, spalone łodygi oddawały o 12% mniej ciepła. Więcej ciepła przy spalaniu wytwarzały łodygi w porównaniu do kolb o 8%.

Tabela 3. Skład chemiczny pędów *Zea mays* i ich organów (średnia z lat 2005-2007)  
 Table 3. Chemical composition of *Zea mays* shoots and their organs (mean 2005-2007)

Składnik – Component	Zawartość (g kg <sup>-1</sup> s.m.) – Contents (g kg <sup>-1</sup> DM)				
	Błaszki liściowe Leaf blades	Łodygi Stems	Kolby Earcorns	Wiechy Wisps	Całe pędy Shoots
Białko ogólne – Crude protein	121,32	67,62	82,64	76,28	84,37
Cukry – Sugars	48,62	10,45	44,61	32,18	72,58
Celuloza – Cellulose	246,38	265,37	91,87	319,54	241,21
Hemicelulozy – Hemicelluloses	217,69	168,91	454,68	241,73	269,73
Ligniny – Lignins	21,86	19,68	11,04	29,16	20,67
ADF	268,24	285,05	102,91	348,70	261,88
NDF	485,93	453,96	557,59	590,43	531,61
Popiół surowy – Crude ash	82,37	48,65	16,82	49,37	48,31

Tabela 4. Wartość energetyczna pędów *Zea mays* i ich organów  
 Table 4. Energetic value of *Zea mays* shoots and their organs

Nadziemne części roślin Above ground parts of plants	Kaloryczność 1 kg s.m. Caloricity 1 kg DM (MJ)	Zawartość s.m. w spalonej próbce Dry matter contents in burn sample (%)
Błaszki liściowe – Leaf blades	17,85	94,9
Łodygi – Stems	16,07	96,8
Wiechy – Wisps	17,72	95,9
Pochwy liściowe – Leaf sheaths	16,62	96,6
Kolby – Earcorns	18,16	93,1
Całe pędy – Whole shoots	17,79	93,8

### 3.3. *Malva verticillata*

Malwa wyróżnia się wysoką zawartością celulozy w łodygach – ponad 420 g kg<sup>-1</sup> w s.m. (tab. 5). Ponieważ ten organ dominuje, w strukturze masy pędu, stwierdza się także dużą zawartość tego cukrowca w całych pędach nadziemnych. Łodygi wykazują także minimalne ilości białka ogólnego. Ta specyfika składu chemicznego łodyg ma istotne znaczenie dla użytkowania malwy na cele paszowe jak i poza paszowe. Uwagę zwraca też niski poziom hemiceluloz – tak w całych pędach jak i poszczególnych organach pędu. Wysoki udział popiołu surowego, tak w całym pędzie jak i w jego organach, jest cechą charakterystyczną roślin dwuliściennych. Należy też zaznaczyć, że zastosowany w tabeli 5 termin kwiatostany odnosi się do tej części pędu, który pokryty jest owocostanem i kwiatami. Cechą charakterystyczną malwy jest długi okres kwitnienia.

Tabela 5. Skład chemiczny pędów *Malva verticillata* i ich organów (średnia z lat 2005-2007)  
 Table 5. Chemical composition of *Malva verticillata* shoots and their organs (mean 2005-2007)

Składnik – Component	Zawartość (g kg <sup>-1</sup> s.m.) – Contents (g kg <sup>-1</sup> DM)			
	Błaszki liściowe Leaf blades	Łodygi Stems	Kwiatostany Inflorescences	Całe pędy Whole shoots
Białko ogólne – Crude protein	173,52	34,65	168,48	143,92
Cukry – Sugars	17,56	65,34	30,45	36,11
Celuloza – Cellulose	148,04	428,03	223,41	382,39
Hemicelulozy – Hemicelluloses	110,93	150,38	139,14	130,13
Ligniny – Lignins	7,31	50,46	44,24	34,65
ADF	155,35	478,49	267,65	417,04
NDF	266,28	628,87	406,79	547,17
Popiół surowy – Crude ash	194,02	86,72	113,34	106,35

Uzyskane wyniki wartości energetycznej malwy pastewnej wskazują, że w wyniku spalania 1 kg s.m. całych pędów uzyskuje się ponad 18 MJ ciepła (tab. 6). Wartość ta jest analogiczna do wykazywanej przez kwiatostany i owocostany. Niższą kalorycznością odznaczają się liście i to o 8% w porównaniu do łodyg. Uzyskane parametry dotyczą 1 kg s.m. materiału analitycznego, czyli zmielonych pędów i ich organów. Jednakże materiał analityczny zawierał od 11,1 do 14,2% wody, mimo przechowywania w tych samych warunkach, co sorgo i kukurydza. Uzyskane wyniki sugerują, że malwa wysycha powoli.

Tabela 6. Wartość energetyczna pędów *Malva verticillata* i ich organów  
 Table 6. Energetic value of *Malva verticillata* shoots and their organs

Nadziemne części roślin Above ground parts of plants	Kaloryczność 1 kg s.m. Caloricity 1 kg DM (MJ)	Zawartość s.m. w spalonej próbce Dry matter contents in burn sample (%)
Błaszki liściowe – Leaf blades	16,50	85,8
Łodygi – Stems	17,93	88,8
Kwiatostany – Inflorescens	18,44	86,3
Całe pędy – Whole shoots	18,31	86,9

#### 4. Dyskusja

Wyniki badań analitycznych *Sorghum saccharatum*, *Zea mays*, *Malva verticillata* ukazują specyfikę składu chemicznego tych gatunków. W suchej masie ich pędów węglowodany strukturalne posiadają najwyższy udział. One też, podobnie jak ligniny, stanowią czynnik najbardziej różnicujący te taksony. Składniki te determinują funkcje

podporową pędu i wartość pokarmową roślin. Stwierdzenie ma swoje odniesienie przede wszystkim do *Malva verticillata*, rośliny z dużym udziałem celulozy, a bardzo niskim poziomem hemiceluloz. Zdaniem LIETHA (1975) mają również istotny wpływ na wartość energetyczną spalanej masy roślinnej. Stwierdzenie to znalazło się też u podstaw naszych badań nad oznaczeniem ciepła wydobywającego się podczas spalania pędu i jego organów.

Wartość energetyczna pędów badanych przez nas gatunków była zróżnicowana. W przypadku traw, to znaczy *Sorghum saccharatum* i *Zea mays* kształtuje się ona na poziomie 17,75-17,79 MJ kg<sup>-1</sup> s.m. pędów. Natomiast u *Malva verticillata* wynosi przeciętnie 18,31 MJ kg<sup>-1</sup> s.m. Wykazane wartości uznać należy za bardzo wysokie. Odniesieniem może być wierzba energetyczna. Przy spalaniu 1 kg s.m. tego gatunku uzyskiwano 19 MJ (STOLARSKI, 2003). Dla porównania spalanie 1 kg węgla kamiennego średniej jakości dostarcza przeciętnie 26-30 MJ.

W badaniach nad roślinami energetycznymi dużą uwagę zwraca się na rzepak. Słomę rzepakową traktuje się jako pewnego rodzaju wzorzec. W naszych badaniach zwrócono więc uwagę na ten gatunek, tym bardziej, że jego stanowisko sąsiadowało z uprawą sorga, kukurydzy i malwy. Problem ten rozpatrywano w odniesieniu do słomy pozyskiwanej z uprawy tej rośliny. Materiałem analitycznym były wysuszone pędy generatywne, a ściślej informując łodygi pozbawione już liści, gdyż uległy one, w decydującej mierze, wykruszeniu się podczas dojrzewania nasion i wysychania słomy poomłotowej. Skład chemiczny łodyg tej rośliny (tab. 7), w odniesieniu do słomy poomłotowej, wyznacza przede wszystkim zawartość celulozy, przy wyraźnie niższym udziale hemiceluloz i lignin. Cukry obecne są w minimalnych ilościach. Natomiast wartość energetyczna takiej masy rzepakowej przekraczała 19 MJ w odniesieniu do 1 kg s.m.

Tabela 7. Skład chemiczny i wartość energetyczna *Brassica napus*  
Table 7. Chemical composition and energetic value of *Brassica napus*

Składnik – Component	Zawartość (g kg <sup>-1</sup> s.m.) Contents (g kg <sup>-1</sup> DM)
Białko ogólne – Crude protein	84,46
Cukry – Sugars	17,65
Celuloza – Cellulose	456,32
Hemicelulozy – Hemicelluloses	140,28
Ligniny – Lignins	65,17
ADF	524,37
NDF	652,62
Popiół surowy – Crude ash	67,23
Kaloryczność – Caloricity MJ kg <sup>-1</sup> s.m – DM (93,8 % s.m. – DM)	19,39

Wysychanie tego materiału roślinnego następowało w pomieszczeniach, w naturalnych warunkach, bez dodatkowego podsuszania. Z tego też powodu charakteryzowało się wysoką zawartością suchej masy na poziomie 95% u traw i około 87% u malwy. Taki materiał roślinny poddano spalaniu, a wyniki odniesiono do suchej masy. Niewątpliwie



wartość opała biomasy jest uzależniona od jej wilgotności. Według GRZYBEK (2003) biomasa o wilgotności 50-60% wykazuje wartość opała 15-17 MJ w odniesieniu do 1 kg, a o wilgotności 10-20% – do 19 MJ. Zdaniem KOŚCIKA (2003) wartość opała świeżej słomy kukurydzianej wynosi od 5,3-8,2 MJ kg<sup>-1</sup>, a słomy suchej 16,8 MJ kg<sup>-1</sup>, natomiast świeżej słomy rzepakowej od 10,3-12,5 MJ kg<sup>-1</sup> do 15,0 MJ kg<sup>-1</sup>. Dodac należy, że świeże drewno wierzbowe zawiera 55-58% wody (SZCZUKOWSKI, 2001). Spalany przez nas materiał roślinny wykazywał wilgotność w granicach od 3,1% do 14,2%.

Analiza uzyskanych wyników daje także podstawy do zwrócenia uwagi na inną kwestię. W pozyskiwaniu surowca energetycznego ważnym problemem jest bowiem wysychanie zdefoliowanych roślin. Szybkość oddawania wody przez ścięte rośliny odgrywa istotną rolę w produkcji tak zwanych kiszonek z roślin przewodniętych (GOLIŃSKI i KOZŁOWSKI, 1993).

W ocenie przydatności ocenianych gatunków kwestią podstawową jest wielkość plonu masy przeznaczanej na cele energetyczne. W przypadku tych gatunków plon przedstawiał się następująco: sorgo cukrowe – 17,26 t ha<sup>-1</sup> s.m., kukurydza 21,6 t ha<sup>-1</sup> s.m., malwa pastewna 8,08 t ha<sup>-1</sup> s.m. Wartość energetyczna z 1 ha uprawy *Zea mays* jest porównywalna z wartością energetyczną 12,8 tony średniej jakości węgla kamiennego.

Tabela 8. Plonowanie i wartość kaloryczna gatunków roślin  
Table 8. Yield and calorific value of plants species

Gatunek – Species	Kaloryczność pędów Caloricity of shoots (MJ kg <sup>-1</sup> )	Plon s.m. DM yield (t ha <sup>-1</sup> )	Wartość energetyczna 1 ha uprawy Energetic value of 1 ha field culture (MJ kg <sup>-1</sup> )
<i>Sorghum saccharatum</i>	16,90	17,26	291 694
<i>Zea mays</i>	16,69	21,60	360 504
<i>Malva verticillata</i>	15,91	8,08	127 407
<i>Brassica napus</i>	18,19	3,50	63 665

Przeprowadzone badania obejmowały także skład chemiczny poszczególnych organów pędu. Ilościowe zróżnicowanie występowania składników organicznych i mineralnych posiada istotne znaczenie dla wartości pokarmowej roślin pastewnych. W tym kontekście liście zasługują na najwyższą ocenę. Motyw ten jest uwzględniany w kreowaniu nowych odmian. Okazuje się, że zróżnicowana jest także wartość energetyczna organów pędu. Z tego powodu morfologiczne zróżnicowanie powinno być także istotnym kierunkiem w hodowli roślin energetycznych.

## 5. Wnioski

- Objęte badaniami gatunki wykazywały znaczną specyfikę składu chemicznego, zwłaszcza w odniesieniu do celulozy, hemiceluloz i lignin. Stwierdzenie to dotyczy zarówno całych pędów jak i ich organów.



- Wartość energetyczna pędów badanych gatunków, w odniesieniu do kaloryczności, jest zróżnicowana. W przypadku *Sorghum saccharatum*, *Zea mays*, kształtuje się ona na poziomie 17,75-17,79 MJ kg<sup>-1</sup> s.m. pędów. Natomiast w przypadku *Malva verticillata* wynosi przeciętnie 18,31 MJ kg<sup>-1</sup> s.m. Z badań porównawczych wynika, że najwyższą kalorycznością odznacza się słoma rzepaku ozimego – ponad 19,39 MJ kg<sup>-1</sup> s.m.
- Uwzględniając wielkość plonu pozyskanego z upraw tych roślin można stwierdzić, że najbardziej wydajną rośliną energetyczną jest *Zea mays*, gdyż z 1 ha uprawy tego gatunku można uzyskać 360504 MJ. Taką wartość uzyskuje się przy spalaniu 12,8 ton węgla kamiennego.

### Literatura

- BORKOWSKA H., STYK B., 2006. Ślaziovec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) – uprawa i wykorzystanie. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin, ss. 69.
- DUBOIS M., GILLES K.A., HAMILTON J.K., ROBERS P.A., SMITH F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytic Chemistry*, 28, 3, 350-356.
- DUER I., 1993. Możliwości pozyskiwania energii z biomasy roślinnej. *Fragmenta Agronomica*, 2, 38, 87-93.
- GOLIŃSKI L., KOZŁOWSKI S., 1993. Szybkość oddawania wody przez ścięte rośliny jako cecha charakterystyczna gatunków i odmian traw łąkowych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCLI, Rolnictwo*, 43, 49-59.
- GOLIŃSKI P., JOKŚ W., 2007. Właściwości chemiczne i biologiczne traw a produkcja biogazu. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 37-47.
- GOSTKOWSKI R., 2006. Miscantus – trawa energetyczna. *Wokół Energetyki*, 5, 33, 45-48.
- GRZYBEK A., 2003. Kierunki zagospodarowania biomasy na cele energetyczne. *Wieś Jutra*, 9, 62, 10-11.
- HEYLAND K.U., 1959. Der Verlauf der Einlagerung von Gerüstsubstanzen und andern Kohlenhydraten in den Spross von Weizen und Roggen zwischen Ährenschieben und Todreife. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, 108, 4, 473-496.
- JOHNSON C.M., ULRICH A., 1950. Determination of nitrate in plant material. *Analytic Chemistry*, 22, 1526-1529.
- KOŚCIK B., 2003. Rośliny energetyczne. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin.
- KSIĘŻAK J., FABER A., 2007. Ocena możliwości pozyskiwania biomasy z mozgi trzcinowatej na cele energetyczne. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 141-148.
- LIETH H., 1975. Measurement of Caloric Values. In: LIETH H., WHITTAKER R. (ed.), *Primary productivity of the biosphere*. Springer Verlag, New York, 119-129.
- NIEDZIÓŁKA I., ZUCHNIARZ A., 2006. Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *Motrol*, 8A, 232-237.
- STOLARSKI M., 2003. Wszystko o wierzbie. *Czysta Energia*, 10, 32-33.
- SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J., STOLARSKI M., KISIEL R., LENIEC K., 2001. Wytwarzanie energii cieplnej w zgazowarce pirolitycznej z biomasy wierzb krzewiastych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4, 29-36.
- VAN SOEST P.J., WINE R.H., 1968. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fibre with permanganate. *Journal AOAC*, 51, 4, 780-785.

**Determining energetic value of *Sorghum saccharatum* (L.) Moench, *Zea mays* L. and *Malva verticillata* L.**

S. KOZŁOWSKI<sup>1</sup>, W. ZIELEWICZ<sup>1</sup>, A. LUTYŃSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Grassland Sciences, August Cieszkowski – Agricultural University of Poznań*

<sup>2</sup>*Department of Mineral Processing and Waste Treatment, Silesian University of Technology*

**Summary**

The aim of our experiments was to analyse chemical properties of *Sorghum saccharatum*, *Zea mays*, *Malva verticillata*, i.e. plant species which have been gaining in importance in the field of phyto-energy, in order to determine their energetic values. Investigations were carried out in years 2005-2007 and the experimental material was derived from production plantations of the above-mentioned species. The cultivation of these plants, including the area of fertilisation, was in keeping with agrotechnical recommendations. The analytic material comprised the over ground parts of generative shoots. The levels of yields of the above plant species, their chemical composition as well as the energetic values of the harvested shoots were determined.

It turned out that each of the examined plant species was characterised by a considerable specificity of its chemical composition, especially with regard to the occurrence of cellulose, hemicelluloses and lignin. This observation refers both to whole shoots as well as to their organs. The energetic value of shoots of plant species examined in this study with regard to the calorific value varied. In the case of grasses, i.e. *Sorghum saccharatum*, *Zea mays*, it ranged from 17.75-17.79 MJ kg<sup>-1</sup> DM of shoots. On the other hand, in the case of *Malva verticillata*, it was amounted to 18.31 MJ kg<sup>-1</sup> DM. It is evident from comparative studies that the straw of winter rape was characterised by the highest calorific value – over 19 MJ kg<sup>-1</sup> DM. Bearing in mind the yields obtained from the cultivation of these plants, *Zea mays* turned out to be the most profitable energetic plant because it is possible to obtain 360 504 MJ from one hectare of the cultivation of this plant. The same value is obtained from the burning of 12.8 tons of coal.

Recenzent – Reviewer: Jerzy Książak

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Prof. dr hab. Stanisław Kozłowski

Katedra Łąkarstwa, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-627 Poznań

tel. (061) 8487412, fax. (061) 8487424

e-mail: sknardus@au.poznan.pl