

PLONOWANIE SZUWARU MOZGOWEGO ORAZ SKŁAD CHEMICZNY I WARTOŚĆ ENERGETYCZNA MOZGI TRZCINOWATEJ

MIECZYSLAW GRZELAK

Katedra Łąkarstwa i Krajobrazu Przyrodniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

grzelak@up.poznan.pl

Synopsis. Szuwar mozgi trzcinowatej, *Phalaridetum arundinaceae* (Koch 1926 n.n.) Libb. 1931, jak i jego podzespoły jest rozpowszechniony na terenie całego kraju. Charakteryzuje się ogromnym potencjałem plonotwórczym. Jest cenny pod względem gospodarczym i ekologicznym. Z 1 ha otrzymujemy nawet 15 t siana o korzystnym składzie chemicznym i wartości użytkowej (Lwu) wynoszącej nawet 6,7. Zawartość związków organicznych i mineralnych mozgi trzcinowatej wyliczona dla różnych okresów ontogenezy, potwierdza jej wysoką wartość pastewną. Stosunkowo wysoka zawartość włókna, zwłaszcza w późniejszych fazach rozwoju powoduje, że jest to trawa należąca do najbardziej perspektywicznych roślin energetycznych. Potwierdza to wyliczona wartość energetyczna w MJ·kg⁻¹ s.m., która wynosi 18,2 i ciepło spalania – 19,4 MJ·kg⁻¹s.m.

Słowa kluczowe – *key words*: biomasa – *biomass*, skład chemiczny – *chemical composition*, ciepło spalania – *heat of combustion*, wartość energetyczna – *energy value*, produkcja energii i ciepła – *production of energy and heat*, źródła energii – *source of energy*

WSTĘP

Szuwar mozgi trzcinowatej, *Phalaridetum arundinaceae* (Koch 1926 n.n.) Libb. 1931, jak i jego podzespoły jest rozpowszechniony na terenie Wielkopolski [Grzelak 2004, 2007]. Jest cenny pod względem gospodarczym i ekologicznym [Grzelak 2004]. Charakteryzuje się ogromnym potencjałem plonotwórczym [Grynia i Grzelak 2000, Maurer i in. 2003, Trąba i Wyłupek 2001] i z tego względu należy do najbardziej perspektywicznych roślin energetycznych. Z trzech, czterech lub pięciu pokosów otrzymuje się z 1 ha nawet 15 t siana o dość dobrej jakości paszowej [Gapiński i in. 1997]. Plony przekraczające 10,0 t·ha⁻¹ ha notuje Szoszkiewicz [1966], a Nowiński [1967] z czterech-pięciu pokosów uzyskał 15,0 t·ha⁻¹ średniej jakości siana. Tak więc szuwar mózgowy jest wysoko plonującym zbiorowiskiem, a zbiory można porównać z równie wysokimi plonami szuwarów mannowych. Wysokość plonów zależy jednak od żyzności siedliska, stałego dostępu do ruchliwej, dobrze napowietrzanej wody oraz od żyznych zalewów zimowych i wczesnowiosennych. W Europie średnie jego plony wynoszą 6–8 t·ha⁻¹, co daje równowartość ok. 16–28 MWh·ha⁻¹, a na poletkach doświadczalnych uzyskiwane plony wynosiły około 15 t s.m.·ha⁻¹, od 2 roku uprawy. W niektórych regionach dochodzą do 20 t s.m.·ha⁻¹ [Sahramaa 2003].

W szuwarze mozgi trzcinowatej dominuje mózga trzcinowata *Phalaris arundinacea* L., o wysokiej stałości fitosocjologicznej, najczęściej $S = V$ i wysokim współczynniku pokrycia [Grzelak 2004]. Wyglądem przypomina trzcinę pospolitą. Z racji wysokich plonów doskonale nadaje się jako surowiec dla bioenergetyki [Jezewski 2002, Książak i Faber 2007]. Ma to szcze-

gólne znaczenie w związku ze wzrastającym zapotrzebowaniem na energię w kraju, a także niestabilnymi cenami paliw konwencjonalnych. Ponadto polityka energetyczna Unii Europejskiej przewiduje zwiększenie odnawialnych źródeł energii do roku 2020 do poziomu 20% oraz zwiększenie udziału biopaliw do 10% [Dyrektywa... 2001]. Obecnie w Polsce zaledwie około 5% produkcji pierwotnej energii pochodzi ze źródeł odnawialnych, a w 2010 powinna być na poziomie 7,5% [Dziewanowska i Dobek 2006, Gogól 2001]. Poszukuje się nowych rozwiązań i technologii w celu wykorzystania źródeł niekonwencjonalnych m.in. w energetyce i ciepłownictwie.

Badania nad wykorzystaniem mozgi trzcinowatej w celach energetycznych prowadzone są od 1990 r., przede wszystkim w Szwecji i Finlandii [Sahramaa 2003], a także w Anglii [El Basam 1998], gdzie jest ona uważana za jedną z najbardziej perspektywicznych roślin energetycznych w tych regionach. Z badań fińskich wynika [Sahramaa 2003], że 1 ha mozgi trzcinowatej wystarczy, aby zapewnić energię dla przeciętnego domu jednorodzinnego (20 MWh). Z pozyskanego surowca można produkować pelety, spalać bezpośrednio w odpowiednio przystosowanych do tego celu piecach w formie siewki lub kostek, zależnie od rodzaju kotła lub mieszać w odpowiednich proporcjach z węglem w celu uzyskania materiału opałowego.

Celem badań była ocena plonowania i wartości użytkowej oraz zawartości związków organicznych i mineralnych szuwaru mozgi trzcinowatej. Badano również najważniejsze parametry termo-fizyczne mozgi, w celu wykorzystania go jako surowca w odnawialnych źródłach energii.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2000–2003 przeprowadzono badania geobotaniczne szuwaru mozgowego *Phalaridetum arundinaceae* LIBBERT 1931, w dolinach rzecznych Wielkopolski. Na podstawie gatunków wyróżniających lub lokalnie wyróżniających, wyróżniono podzespoły roślinne, w których oprócz gatunku budującego zespół jakim jest *Phalaris arundinacea*, brak jest drugiego gatunku charakterystycznego. Natomiast na podstawie dwóch gatunków charakterystycznych w zdjęciach, wyróżniono podzespół typowy *Phalaridetum arundinaceae typicum*. Dla wyróżnionych podzespołów, cechujących się różnym potencjałem produkcyjnym, określono wartość użytkową wg Filipka [1973] oraz plon w t·ha⁻¹ w oparciu o próbki pobrane z powierzchni 0,25 m², w trzech powtórzeniach. Wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji.

W materiale roślinnym mozgi trzcinowatej, w różnych fazach rozwojowych, określono zawartość związków organicznych i mineralnych; badania laboratoryjne na zawartość makroelementów (N, P, K, Ca, Mg) i pierwiastków śladowych (Cu, Zn, Mn, Fe) przeprowadzono w Katedrze Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu metodą absorpcji atomowej (ASA). Zawartość popiołu, wilgotność oraz oznaczenie ciepła spalania i wartości opałowej wykonano na kalorymetrze KL-12MN wg PN-81 G-04513 w Instytucie Chemicznej Technologii Drewna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Wyniki są średnią z 5 pomiarów. Składniki mineralne oznaczono wg norm DIN 51731.

WYNIKI I DISKUSJA

Plonowanie, wartość użytkowa i gospodarcza wyszczególnionych w badanych podzespołach jest ściśle powiązana z procentowym udziałem gatunków tworzących szuwar mozgowy i jest pochodną oddziaływania wielu czynników. Udowodniony jest wielokierunkowy wpływ

warunków siedliskowych, pogodowych oraz sposobu i intensywności użytkowania na wzrost i rozwój roślinności łąkowo-pastwiskowej [Łyszczarz 1993, Rogalski i in. 2005, Szoszkiewicz i in. 1992].

Najwyższe plony zanotowano u *Phalaridetum arundinaceae typicum*. Wynosiły one średnio 13,0 t·ha⁻¹ siana, chociaż możliwości produkcyjne tego podzespołu są większe [Grzelak i Kaczmarek 2004], a wartość dobra (Lwu = 7,1) (tab. 1). Podobną wysokość plonów wynoszącą

Tabela 1. Plonowanie i wartość użytkowa (LWU) zbiorowisk roślinnych
Table 1. Yielding and utilisation value number (UVN-index) of plant communities

Zbiorowisko roślinne <i>Plant community</i>	Plon siana (t·ha ⁻¹) <i>Yield of hay (t·ha⁻¹)</i>			Średnio <i>Mean</i>	Średnia liczba wartości użytkowej (Lwu) <i>Mean usefulness value number (UVN)</i>
	2001	2002	2003		
<i>Phalaridetum arundinaceae typicum</i>	12,5 a	12,0 a	14,2 a	12,9 a	7,1 a
<i>Phalaridetum arundinaceae glycerietosum maximae</i>	13,4 a	12,0 a	12,8 a	12,7 a	4,8 b
<i>Phalaridetum arundinaceae caricetosum gracilis</i>	8,7 b	8,5 b	7,9 b	8,4 b	3,8 c
<i>Phalaridetum arundinaceae alopecuretosum pratensis</i>	7,5 b	7,7 b	7,1 b	7,4 bc	6,9 a
<i>Phalaridetum arundinaceae ranunculetosum repentis</i>	6,6 b	7,0 b	6,8 b	6,8 bc	4,6 b
<i>Phalaridetum arundinaceae deschampsietosum caespitosae</i>	6,2 b	6,4 b	5,9 b	6,2 c	3,2 d

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie – *Means followed by same letters are not significant*

12,7 t·ha⁻¹ uzyskano u *Phalaridetum arundinaceae glycerietosum maximae*. Podzespół ten ma jednak niższą wartość użytkową, ocenianą na Lwu = 4,8. Często zbiór biomasy tego podzespołu jest trudny bądź niemożliwy, ze względu na silne uwilgotnienie siedliska. Wysokie plony na poziomie 8,5 t·ha⁻¹ notowano również u *Phalaridetum arundinaceae caricetosum gracilis*, ale Lwu było niskie i wynosiło 3,8. Wysoka wartość użytkowa (Lwu = 6,9) wystąpiła u *Phalaridetum arundinaceae alopecuretosum pratensis*, przy również wysokich plonach wynoszących średnio 7,4 t·ha⁻¹. Inne wyróżnione podzespoły, takie jak *Phalaridetum arundinaceae ranunculetosum repentis*, *Phalaridetum arundinaceae deschampsietosum caespitosae* cechowała mała wartość gospodarcza, a niekiedy są to nieużytki. O ich degradacji świadczą niskie plony, a także gatunki tworzące to zbiorowisko. Obliczenia statystyczne dowodzą, że plony podzespołów *Phalaridetum arundinaceae typicum* i *Phalaridetum arundinaceae glycerietosum maximae* oraz *Phalaridetum arundinaceae alopecuretosum pratensis* i *Phalaridetum arundinaceae ranunculetosum repentis* nie różnią się istotnie, natomiast różnią liczbą wartości użytkowej (Lwu).

Skład chemiczny mozgi trzcinowatej zależał przede wszystkim od fazy wzrostu i rozwoju (tab. 2). We wczesnych stadiach rozwojowych (strzelanie w źdźbło i początek kłoszenia), mózga jest wartościowa pod względem paszowym; gatunek ten cechuje się wysoką zawartością białka, cukrów redukujących i stosunkowo niewielką zawartością suchej masy oraz włókna.

Dobra pasza oprócz białka, cukrów, tłuszczów, węglowodanów strukturalnych dla racjonalnego żywienia powinna zawierać również związki mineralne i pierwiastki śladowe [Falkowski i in. 1990, Nowak 1971]. Mózga trzcinowata w badaniach wyróżniała się wysoką zawartością makroelementów, a szczególnie potasu, fosforu i wapnia oraz magnezu (tab. 3). Zawartość makroelementów i pierwiastków śladowych w runi szuwaru mozgowego jest w pewnym stopniu odzwierciedleniem zasobności wierzchniej warstwy gleby, do 30 cm [Gworek i Mocek 2001]. Na ich przyswajalność ma wpływ oddziaływanie odczynu, bonitacja gleb, kompleks przydatności rolniczej, a także głębokość zalegania wody gruntowej (tab. 4).

Tabela 2. Zawartość związków organicznych oraz energia netto u *Phalaris arundinacea*
Table 2. Content of organic compounds and netto energy in the *Phalaris arundinacea*

Faza wzrostu <i>Stage of growth</i>	Sucha masa <i>Dry matter</i> (%)	Popiół <i>Ash</i>	Włókno <i>Fibre</i>	Białko <i>Protein</i>	Cukry <i>Sugars</i>	Energia NEL <i>Energy NEL</i> MJ kg ⁻¹ s.m. – DM
Strzelanie w źdźbło <i>Shooting</i>	15,9	93	201	189	91	7,1
Początek kłoszenia <i>Beginning of heading</i>	16,8	104	206	182	85	6,9
Kłoszenie <i>Heading</i>	21,8	103	237	147	77	6,4
Kwitnienie <i>Flowering</i>	23,6	93	288	122	61	4,9

Tabela 3. Zawartość związków mineralnych u *Phalaris arundinacea*
Table 3. Content of mineral compounds in the *Phalaris arundinacea*

Faza wzrostu <i>Stage of growth</i>	Makroelementy (g·kg ⁻¹ s.m.) <i>Macroelements (g·kg⁻¹ DM)</i>				Pierwiastki śladowe (mg·kg ⁻¹ s.m.) <i>Trace elements (mg·kg⁻¹ DM)</i>			
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Strzelanie w źdźbło <i>Shooting</i>	3,9	18,5	9,0	4,1	6,7	25,9	60,8	40,3
Początek kłoszenia <i>Beginning of heading</i>	2,2	12,6	4,1	3,4	6,3	30,1	54,4	30,4
Kłoszenie <i>Heading</i>	2,6	11,6	5,4	1,9	5,6	20,6	44,2	30,3
Kwitnienie <i>Flowering</i>	1,8	11,4	6,8	1,9	5,4	19,5	44,1	30,5

Tabela 4. Systematyka i charakterystyka gleb dla zespołu *Phalaridetum arundinaceae*
 Table 4. Taxonomy and soil characteristics for association *Phalaridetum arundinaceae*

Systematyka badanych gleb – Taxonomy of investigated soils				pH 1M KCl	Klasa bonitacji <i>Evaluation class</i>	Kompleks przydatności rolniczej <i>The complex of agricultural suitability</i>	Głębokość zalegania wody <i>Water depth (m)</i>
Dział <i>Division</i>	Rząd <i>Order</i>	Typ <i>Type</i>	Podtyp <i>Subtype</i>				
Hydrogeniczne <i>Hydrogenic</i>	Bagienne <i>Bog</i>	Mułowe <i>Mud</i>	Torfowo-mułowe <i>Peat-mud</i>	6,25–6,98	V	3z	0,08–0,25
Hydrogeniczne <i>Hydrogenic</i>	Pobagienne <i>Post-bog</i>	Murszowe <i>Muck</i>	Torfowo-murszowe <i>Peat-muck</i>	6,22 – 6,60	V	3z	0,12–0,20
Hydrogeniczne <i>Hydrogenic</i>	Bagienne <i>Bog</i>	Mułowe <i>Mud</i>	Gytowe <i>Gytija</i>	6,20 – 6,70	VI	3z	0,15–1,10

Najważniejszymi parametrami termo-fizycznymi biomasy są: wartość opałowa i ciepło spalania, nazywane też dolną wartością opałową. Parametry te zależą przede wszystkim od składu chemicznego i wilgotności materiału. W badaniach własnych wartości te są bardzo wysokie (tab. 5) i porównywalne z badaniami Harkot i in. [2007] oraz dużo wyższe od wartości otrzymanych przez Rogalskiego i in. [2005] i Dadrach i in. [2007]. Tak korzystne wyniki są następstwem wysokiej gęstości objętościowej wynikającej z peletowania biomasy, co udowodnił w swoich badaniach Grzybek [2005], Łabiak i in. [2005] oraz Olejnik [1974].

Tabela 5. Charakterystyka wartości energetycznej mozgi trzcinowatej

Table 5. Characteristic of energy value of reed canary grass

Autor badań <i>Author of investigations</i>	Wartość energetyczna plonu <i>Energy value of yield</i> (MJ·kg ⁻¹ s.m.–DM)	Ciepło spalania <i>Incinerating warmth</i> (MJ·kg ⁻¹ s.m.–DM)	Popiół <i>Ash</i> (g·kg ⁻¹ s.m.–DM)	Wilgotność <i>Moisture</i> (%)
Badania własne <i>Own investigations</i>	18,2	19,4	69	7,7
Dadrach i in. 2007	17,0	17,0	68	6,8
Harkot i in. 2007	18,0	19,1	55	–
Rogalski i in. 2005	15,5	17,6	128	–

WNIOSKI

1. Mozga trzcinowata, dominujący gatunek szuwaru mozgowego, to rodzima trawa, o wysokiej wydajności, jedna z najbardziej perspektywicznych roślin energetycznych.
2. Gatunek ten we wczesnych fazach rozwoju odznacza się odpowiednią dla zwierząt zawartością białka, P, Ca, Mg.
3. Niska zawartość popiołu (69 g·kg⁻¹ s.m.), wilgotność (7,7%), wartość energetyczna (18,2 MJ·kg⁻¹ s.m) oraz ciepło spalania (19,4 MJ·kg⁻¹s.m) potwierdzają przydatność szuwaru mozgowego jako surowca w odnawialnych źródłach energii.

PIŚMIENNICTWO

- Dadrach A., Gąbka D., Szlachta J., Wolski K. 2007. Wartość energetyczna kilku gatunków traw uprawianych na glebie lekkie. Łąk. Pol. 10: 29–35.
- Dyrektywa 2001/77/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z 27 września 2001 roku w sprawie promocji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych na wewnętrznym rynku energii elektrycznej.
- Dziewanowska M., Dobek T. 2006. Wartości cieplne liści wybranych gatunków drzew zbieranych na terenach zabudowanych. Acta Agrophys. 8(3): 551–558.
- El Bassam N. 1998. Energy Plant Species. Their use and impact on environmental and development. James & James, Sci. Publ. Londyn: ss. 200.
- Falkowski M., Kukułka I., Kozłowski S. 1990. Właściwości chemiczne roślin łąkowych. Wyd. AR Pozn.: ss. 111.

- Filipek J. 1973. Projekt klasyfikacji roślin łąkowych i pastwiskowych na podstawie liczb wartości użytkowej. *Post. Nauk Rol.* 4: 59–68.
- Gapiński R., Grynia M., Grzelak M., Kryszak A. 1997. Wartość gospodarcza zbiorowisk łąkowych w dolinie Noteci na tle zmian w uwilgotnieniu siedlisk w powiązaniu z użytkowaniem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 453: 65–73.
- Gogół W. 2001. Możliwości wykorzystania energii odnawialnych w Polsce. Techniczne, ekologiczne i ekonomiczne aspekty energetyki odnawialnej. Wyd. SGGW Warszawa: 12–25.
- Gworek B., Mocek A. 2001. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Wyd. Inst. Ochr. Środ. Warszawa, Monogr. 1: ss. 456.
- Grynia M., Grzelak M. 2000. Ocena aktualnego stanu wysokoplonujących łąk mozgowych w aspekcie wartości paszowej. *Mat. Sem. IMUZ* 45: 210–216.
- Grzelak M. 2004. Zróżnicowanie fitosocjologiczne szuwaru mozgowego *Phalaridetum arundinaceae* (Koch 1926 n.n.) Libb. 1931 na tle warunków siedliskowych w wybranych dolinach rzecznych Wielkopolski. *Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk.* 354: ss.138.
- Grzelak M. 2007. Wykształcanie się wariantów w obrębie szuwaru mozgowego *Phalaridetum arundinaceae* pod wpływem siedliska i czynnika antropogenicznego. *Zesz. Nauk Uniw. Ziel.* 133: 154–162.
- Grzelak M., Kaczmarek Z. 2004. Zespół szuwaru mozgowego *Phalaridetum arundinaceae* (Koch 1926 n.n.) Libb. 1931 nad Kanałem Orłowskim. *Pr. Kom. Nauk Rol. Kom. Nauk Leśn. PTPN* 97: 86–93.
- Grzybek A. 2005. Wykorzystanie pelet jako paliwa. *Czysta Energia*: 6–32.
- Harkot W., Warda M., Sawicki J., Lipińska T., Wylupek T., Czarniecki Z., Kulik M. 2007. Możliwości wykorzystania runi łąkowej do celów energetycznych. *Łąk. Pol.* 10: 59–67.
- Jeżewski S. 2002. Rośliny energetyczne – ogólna charakterystyka, uwarunkowania fizjologiczne i znaczenie w produkcji biopaliwa. *Post. Nauk Roln.* 2: 19–27.
- Księżak J., Faber A. 2007. Ocena możliwości pozyskiwania biomasy z mozgi trzcinowatej na cele energetyczne. *Łąk. Pol.* 10: 141–148.
- Łabiak M., Fiszler A., Świgoń J. 2005. Brykietowanie słomy – ocena wybranych parametrów fizykochemicznych. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Wyd. PIMR Poznań, Monogr. 2: 51–55.
- Łyszczarz R. 1993. Rolnicza ocena wybranych gatunków i odmian traw w zróżnicowanych warunkach siedliskowych Pradoliny Środkowej Wisły. *Rozpr. AT–R Bydgoszcz* 60: ss. 66.
- Maurer D.A., Lindig-Cisneros R., Werner K.J., Kercher S., Miller R., Zedler J.B. 2003. The replacement of wetland vegetation by reed canarygrass (*Phalaris arundinacea*). *Ecological Rest.* 21: 116–119.
- Sahramma M. 2003. Evaluation of reed canary grass for different end-uses and in breeding. *MTT Agrifood Res. Finland* 12: 227–241.
- Nowak M. 1971. Zawartość składników mineralnych oraz niektórych pierwiastków śladowych w roślinach runi łąkowo-pastwiskowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 114: 29–43.
- Nowiński M. 1967. Polskie zbiorowiska trawiaste i turzycowe. PWRiL Warszawa: ss. 284.
- Olejnik A. 1974. Brykietowanie siana metodą zwijania. Teoria i konstrukcja. Wyd. PIMR Poznań: 67–84.
- Rogalski M., Sawicki B., Bajonko M., Wieczorek A. 2005. Wykorzystanie rodzimych gatunków traw jako odnawialnych źródeł energii. Monogr. (red. M. Ciaciura). Wyd. Optimex Szczecin: 15–25.
- Szoszkiewicz J. 1966. Zbiorowiska trawiaste łąk łągowych w dolinie Warty. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 66: 61–70.
- Szoszkiewicz J., Zbierska J., Madziar Z., Biniaś J., Śmiłowski J. 1992. Produktywność i trwałość wybranych odmian traw pastewnych w warunkach klimatycznych Wielkopolski. *Rocz. AR Poznań* 232, *Rol.* 39: 17–23.
- Trąba Cz., Wylupek T. 2001. Fitoindykacyjna ocena uwilgotnienia łąk wyczyńcowych w Kotlinie Zamojskiej. *Łąk. Pol.* 4: 199–214.

M. GRZELAK

**YIELDS OF REED GRASS AND CHEMICAL COMPOSITION AND ENERGETIC
VALUE OF REED CANARY GRASS**

Summary

Reed canary grass (*Phalaridetum arundinaceae* (KOCH 1926 n.n.) LIBB. 1931) rushes as well as its sub-associations are quite common in all regions of the country. The grass is characterised by huge yield-forming potentials and it is also economically and ecologically valuable. Reed canary grass can yield up to 15 t·ha⁻¹ of hay characterised by favourable chemical composition and fodder value number (FVN – even up to 6.7). High fodder value of reed canary grass was confirmed by the content of organic and mineral compounds calculated for different periods of its ontogenesis. Its relatively high content of fibre, especially during later stages of development, makes the grass one of the most promising energetic plants as confirmed by its calculated energetic value of 18.2 MJ·kg⁻¹ DM and heat of combustion of 19.4 MJ·kg⁻¹ DM. The obtained raw material can be used to produce pellets or it can be burnt directly in the form of chaff or pressed cubes in furnaces specially designed for this purpose or, alternatively, it can be mixed with coal at appropriate proportions in order to obtain fuel.