

Plonowanie i wartość energetyczna wybranych gatunków traw wysokich

A. BAŁUCH-MAŁECKA, M. OLSZEWSKA, J. ALBERSKI

*Katedra Łąkarstwa i Urządzania Terenów Zieleni,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

Yielding and energy value in selected species of tall grasses

Abstract. The experiment was conducted in the year 2007–2010 in the Agricultural Experiment Station in Bałdy owned by the University of Warmia and Mazury (NE Poland). The experiment was established in a randomized complete block design, in 4 replications on grey-brown podsolic soil of quality class IVa. Plough layer described as medium abundance of available potassium and magnesium and low availability of phosphorus with neutral soil reactivity ($\text{pH}_{\text{KCl}} - 7.2$). The first examined factor was three species of tall grass, seeded in rows as a pure species on 30th of August 2007: *Dactylis glomerata* L. variety Bepro, *Arrhenatherum elatius* (L.) P.B. variety Median and *Bromus inermis* Leyss. variety Lufa. The second factor was the level of nitrogen fertilization. Since 2008 of fertilisers were used: $\text{N}_0 \text{P}_{35} \text{K}_{100} \text{ kg ha}^{-1}$; $\text{N}_{60} \text{P}_{35} \text{K}_{100} \text{ kg ha}^{-1}$; $\text{N}_{120} \text{P}_{35} \text{K}_{100} \text{ kg ha}^{-1}$; $\text{N}_{180} \text{P}_{35} \text{K}_{100} \text{ kg ha}^{-1}$. In the years 2008–2009 one production harvest was collected (respectively: 21st and 20th of August), and in 2010 two yields were harvested (on 21st July and 4th October). The yield of dry matter of grass, heat of combustion, calorific value, ash, carbon and sulfur content had been determined. The purpose of the experiment was to determine the yield and energy value of tall grass biomass according to variant doses of nitrogen fertilization.

Keywords: grasses, yielding, nitrogen fertilization, biomass, energy value.

1. Wstęp

Odnawialne źródła energii obecnie w Polsce powinny być tematem priorytetowym, ponieważ nasz kraj zadeklarował, że do 2020 roku wzrośnie do 15% udział energii ze źródeł odnawialnych w ogólnej konsumpcji energii (DIRECTIVE, 2008). Od 2014 roku zakłady produkujące energię o mocy powyżej 5 MW muszą zwiększyć wykorzystanie biomasy do minimum 60%. Jest ona nadal najważniejszym źródłem energii odnawialnej, ponieważ technologie przetwarzania jej na energię cieplną oraz elektryczną są aktualnie najtańsze i najbardziej przyjazne dla środowiska (BAL, 2008; GRZELAK i WSP., 2010; KUŚ i WSP., 2008; MINISTERSTWO GOSPODARKI I PRACY, 2005; STOLARSKI i WSP., 2008; ROSZKOWSKI, 2008). Ponadto według KSIĘŻAKA i FABERA (2007) może być wykorzystywana jako paliwo stałe

(zrębki), pelet – granulaty i można ją przetworzyć do wtórnych nośników energii; paliw gazowych – CO₂ lub wodorowych (wodór, metanol). W kraju obserwowany jest także systematyczny wzrost liczby biogazowni, w których wykorzystuje się biomasę roślinną (GOLIŃSKI i JOKŚ, 2007; KIERUNKI ROZWOJU, 2010–2020; TAUBE i WSP., 2007). Docelowo obszar roślin energetycznych w 2020 roku powinien wynosić ok. 500 tys. ha (KUŚ i FABER, 2009; BUDZYŃSKI i WSP., 2009). FISCHER i WSP. (2005) zwracają uwagę, że pod uprawę roślin energetycznych można przeznaczyć 2,2 mln ha, natomiast KUŚ i WSP. (2008) podają, że można przeznaczyć do 1,6 mln ha gruntów rolnych. STOLARSKI i WSP. (2012) zwracają uwagę, że podstawową barierą przy powstawaniu plantacji wierzby i innych roślin drzewiastych są stosunkowo wysokie koszty zakładania oraz ich likwidacji.

Poszukując odnawialnych źródeł energii sprowadza się do kraju obce rośliny uprawne, które mogą stanowić zagrożenie dla flory rodzimej (KOCHANOWSKA i GAMRAT, 2007). Gatunki te oprócz wielu zalet, uprawiane w odmiennych od naturalnych warunkach klimatyczno-glebowych trafiają często na różne ograniczenia (BAŁUCH-MAŁECKA i WSP., 2015; BAŁUCH-MAŁECKA i WSP., 2016; IŻEWSKA, 2009; KOBYLŃSKI i OLSZEWSKA, 2013; KOŚCIK, 2003; KUŚ i WSP., 2008; MAJTKOWSKA i MAJTKOWSKI, 2003; MAJTKOWSKI i MAJTKOWSKA, 2008; SEKUTOWSKI i DZIAĞWA 2012; STĘPIEŃ i WSP., 2014). Jednym z zadań staje się dobór odpowiednich gatunków roślin, które mogłyby się rozwijać w konkretnych warunkach glebowych i środowiskowych zmieniającego się klimatu (OSTROWSKI, 2008). Wytwarzałyby również dużą ilość biomasy, którą łatwo przetworzymy na energię oraz byłyby wykorzystywane wielokierunkowo (KOŚCIK i WSP., 2003; KOWALCZYK-JUŚKO i KOŚCIK, 2004; MAJTKOWSKI, 1998; MAJTKOWSKI, 2006; MALINOWSKA i WSP., 2014; MATYKA i KUŚ, 2011). Według ROMANOWSKIEJ-DUDA i WSP. (2014) oraz MAJTKOWSKIEGO (2004) trawy łatwo adoptują się do warunków lokalnych, a w przeciwieństwie do innych trwałych nasadzeń (wierzba, krzewy i drzewa) można je łatwo przekształcić w grunty rolne. Planując uprawę roślin energetycznych warto zastanowić się nad zastosowaniem już istniejących maszyn, ponieważ zmniejsza to ryzyko strat w razie niepowodzenia np.: z powodu wprowadzenia nowych przepisów, wymogów czy zmiennej koniunktury lub „siły wyższej”. Dlatego zdaniem SUBOCZ i KOPCZYŃSKIEGO (2009) tradycyjne gatunki traw są bardziej opłacalne na cele energetyczne, niż np. wierzba krzewiasta. Wybór gatunku do produkcji energii powinien zależeć od specyficznych warunków przyrodniczych gospodarstwa oraz ekonomicznych, związanych z kosztami założenia plantacji, czy zakupu maszyn do zbioru. W Polsce istnieje wiele kotłowni, w których spalana jest słoma i można spalać w nich biomasę uzyskaną z traw uprawianych na przemiennych oraz trwałych użytkach zielonych (GRASS BIORAFINERY FOR EUROPE, 2008; JANKOWSKA-HUFLEJT i DOMAŃSKI, 2008). PROCHNOW i WSP. (2013) oraz STYPIŃSKI (2016) podają, że

w krajach skandynawskich do celów energetycznych uprawia się trawy rodzime z jednym późnym pokosem, których wartość kaloryczna waha się od 16 do 19,5 MJ kg⁻¹ s.m. Według SAWICKIEGO i KOŚCIKA (2003) znaczną rolę w produkcji energii odnawialnej powinny stanowić trawy wysokie, których pędy generatywne wyrastają do 1,5 m. Do gatunków, których pędy generatywne szybko drewnieją oraz zawierają dużo celulozy i lignin zaliczają kupkówkę pospolitą, rajgras wyniosły i stokłosę bezostną. Są one odporne na niesprzyjające warunki klimatyczne, dobrze reagują na nawożenie, a szczególnie na nawozy azotowe. Z dobrych plantacji można uzyskać z 1 ha od 8 do ponad 10 ton suchej masy. Można je uprawiać na typowych gruntach ornych lub odłogach w siewach jedno- lub kilkugatunkowych.

Celem pracy było określanie plonowania i wartości energetycznej biomasy traw wysokich na tle zróżnicowanego nawożenia azotowego.

2. Materiał i metody

Eksperyment polowy założono w sierpniu 2007 roku w Stacji Doświadczalnej w Bałdach należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Doświadczenie założono metodą losowych bloków w 4 powtórzeniach, powierzchnia poletka wynosiła 10 m², na glebie mineralnej (pył piaszczysty), klasy bonitacyjnej IVa. Warstwa orna charakteryzowała się średnią zasobnością w przyswajalny potas i magnez oraz niską w fosfor. Spośród przyswajalnych mikroelementów na wysokim poziomie kształtowała się ilość żelaza i manganu, a na średnim miedzi i cynku. Zawartość próchnicy wynosiła 2,1%. Odczyn gleby był obojętny (pH_{KCl} – 7,2).

Pierwszym czynnikiem były trzy gatunki traw wysokich, w siewie czystym:

- *Dactylis glomerata* L. odmiana Bepro (*Dg*),
- *Arrhenatherum elatius* (L.) P.B. odmiana Median (*Ae*),
- *Bromus inermis* Leyss. odmiana Lufa (*Bi*).

Drugim czynnikiem było zróżnicowane nawożenie azotowe. Od 2008 roku stosowano:

- N₀, P₃₅, K₁₀₀ kg ha⁻¹,
- N₆₀, P₃₅, K₁₀₀ kg ha⁻¹,
- N₁₂₀, P₃₅, K₁₀₀ kg ha⁻¹,
- N₁₈₀, P₃₅, K₁₀₀ kg ha⁻¹.

Nasiona traw wysiano rzędowo siewnikiem 30 sierpnia 2007 roku. Azot stosowano w formie saletry amonowej w proporcji: N₆₀ kg ha⁻¹ – 20 kg wiosną, 20 kg ha⁻¹ pod koniec krzewienia się traw, 20 kg ha⁻¹ po zbiorze I pokosu oraz N₁₂₀ kg ha⁻¹ – 40 kg wiosną, 40 kg ha⁻¹ pod koniec krzewienia się traw,

40 kg ha⁻¹ po zbiorze I pokosu i N₁₈₀ kg ha⁻¹ – 60 kg wiosną, 60 kg ha⁻¹ pod koniec krzewienia się traw, 60 kg ha⁻¹ po zbiorze I pokosu, Nawozy fosforowe wysiano jednorazowo wiosną w postaci superfosfatu potrójnego, natomiast nawozy potasowe w postaci soli potasowej zastosowano w dwóch równych częściach, wiosną i po zbiorze pierwszego odrostu. W roku siewu (2007) przeprowadzono koszenie pielęgnacyjne. W latach 2008–2009 zebrano jeden pokos produkcyjny (21 i 20 sierpnia), a w 2010 dwa (21 lipca i 4 października). Plon suchej masy określono przez wysuszenie prób roślinnych do stałej wagi w temperaturze około 105°C. W uzyskanej biomase określono ciepło spalania, wartość opałową, zawartość popiołu, węgla i siarki. Ciepło spalania określono metodą kalorymetryczną, przy użyciu kalorymetru IKA Werke GMBH C2000 [PN-81/G-04513], zawartość popiołu metodą termogravimetryczną przy użyciu analizatora TGA ELTRA THERMOSTEP [ASTM; D7582, D-3173, D-3174, D-3175 oraz PN-G-04560:1998, PN-ISO 562], oznaczenia zawartości węgla i siarki wykonano przy użyciu analizatora CHS500 firmy ELTRA GMBH [PN-C- 04301:1997, PN-G-04584:2001]. Wartość opałową biomasy obliczono wg wzoru (KOPETZ i wsp, 2007):

$$Q_j^r = [Q_s^a (100 - W_t^r)] : 100 - W_t^r \cdot 0,0244$$

gdzie:

Q_j^r – wartość opałowa świeżej biomasy

Q_s^a – ciepło spalania suchej biomasy

W_t^r – wilgotność całkowita robocza

0,0244 – współczynnik korekcyjny dla entalpii parowania wody.

Wyniki badań opracowano statystycznie korzystając z programu STATISTICA 8,0. Istotność różnic weryfikowano testem Tukey'a na poziomie istotności $p = 0,95$.

3. Wyniki i dyskusja

Przebieg warunków pogodowych w okresie badań był bardzo zróżnicowany, ze względu na nierównomiernie rozłożone opady (tab. 1). Biorąc pod uwagę ich rozkład w 2007 roku, w sierpniu notowano 64,4 mm, czyli o 5,0 mm więcej niż średnia z wielolecia dla tego miesiąca, ale we wrześniu był on niższy o 31,1 mm, co przyczyniło się do pogorszenia warunków dla wzrostu roślin. W roku założenia doświadczenia średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym były wyższe od średnich z wielolecia o 1,9°C. Na początku 2008 roku po ciepłym przedwiośniu rośliny szybko rozpoczęły wegetację, niestety na tere-

nie badań wystąpiły gwałtowne spadki temperatury powietrza z 13,4°C w dzień do -3,9°C w nocy z 19 na 20 kwietnia i z 25,5°C w dzień do -3,9°C w nocy z 23 na 24 kwietnia nastąpiło przemarznięcie większości nowo wytworzonych pędów. Wiosna była również bardzo sucha, co nie sprzyjało krzewieniu się traw. Układ warunków pogodowych w 2008 roku biorąc pod uwagę opady można określić jako bardzo niekorzystny, ponieważ ich suma w okresie wegetacji wynosiła tylko 245,3 mm, czyli o 117,4 mm mniej niż średnia z wielolecia (tab. 1). Również ich rozkład był niekorzystny, w rezultacie niskie temperatury i bardzo małe opady w miesiącach od kwietnia do lipca wyraźnie wpłynęły na słaby wzrost traw. Wiosną i na początku lata u traw rodzimych powinniśmy obserwować intensywny wzrost ilości biomasy, wtedy występowała niestety susza, poprawa nastąpiła dopiero w sierpniu. W rezultacie niskie opady we wrześniu (suma I i II dekady 8,2 mm) wyraźnie wpłynęły na bardzo słaby wzrost traw i brak drugiego pokosu. Wyższe temperatury panujące w tym miesiącu, przy bardzo małych opadach, dodatkowo spotęgowały niedobory wilgoci w glebie. W tym roku także średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym były wyższe od średnich z wielolecia o 1,6°C. W sierpniu 2008 roku odnotowano wyższe ilości opadów niż średnio w wieloleciu o 41 mm (17 sierpnia spadło 37 mm deszczu na m²). Ulewne i krótkotrwałe opady nie poprawiły na długo warunków wilgotnościowych. Oceniając warunki klimatyczne stwierdzono, że suma opadów (przy temperaturach wyższych od wielolecia) była zbyt mała co przyczyniło się do spadku plonów. Poprawa warunków wilgotnościowych nastąpiła dopiero po zakończeniu wegetacji. Według WIBIG (2012) w Polsce widoczna jest tendencja do nasilenia susz w okresie letnim, szczególnie w tych rejonach w których woda jest czynnikiem ograniczającym wielkość plonów. GOLIŃSKA i WSP. (2016) zwracają uwagę, że dla roślinności trawiastej rosnących na glebach mineralnych, źródłem wody są opady oraz uwilgotnienie gleby uzależnione od poziomu wody gruntowej. W warunkach suszy poziom ten znacząco się obniża wywołując stres wodny i zmniejszony plon roślin. Autorzy podają, że susze meteorologiczne w latach 1997-2014 w RGD Brody występowały nie tylko latem, ale również wiosną i stanowiły czynnik limitujący poziom plonowania łąk łąkowych. Cytowani Autorzy zwracają uwagę, że na przestrzeni ostatnich 50 lat w RGD Brody, w zależności od siedlisk oraz lokalizacji obiektów w terenie, warunki pogodowe wpływały na produktywność trwałych użytków zielonych. Niedobór wody powoduje zaburzenia w przebiegu procesów życiowych w roślinie, efektem tego są zahamowania wzrostu oraz rozwoju roślin, co skutkuje obniżeniem plonu. Dlatego zdaniem OLSZEWSKIEJ i WSP. (2010) tak ważne jest poznanie reakcji poszczególnych gatunków traw na deficyt wody w glebie, co pozwoli wytypować gatunki lepiej nadające się do uprawy w warunkach pojawiającej się suszy glebowej i znacznie ograniczyć jej skutki. KOŁODZIEJ

i wsp. (2005) podkreślają, że w warunkach klimatycznych Polski, produktywność ekosystemów i opady wykazują dodatnią zależność liniową. W badaniach własnych w 2009 roku spadło w okresie wegetacyjnym 323,0 mm deszczu, czyli o 39,7 mniej niż średnia i ich rozkład był także niekorzystny (tab. 1).

Tabela 1. Średnie temperatury powietrza (°C) i miesięczne sumy opadów (mm) w okresie wegetacji w latach 2007–2010 oraz za okres wielolecia 1981–2010

Table 1. Average air temperature (°C) and monthly precipitation (mm) during vegetation period in 2007–2010 and for the years 1981–2010

Rok Year	Miesiące Months						Średnia Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
	Temperatura Temperature (°C)						
2007	8,5	16,3	17,7	20,1	20,3	12,9	16,0
2008	8,6	14,8	19,0	21,2	18,7	11,9	15,7
2009	10,1	14,7	16,4	21,7	19,3	13,9	16,0
2010	8,7	14,3	19,4	24,6	21,3	12,3	16,8
1981–2010	7,7	13,5	16,1	16,7	17,9	12,8	14,1
Rok Year	Opady Rainfalls (mm)						Suma Sum
2007	26,6	60,0	73,5	175,1	64,4	25,8	425,4
2008	28,0	27,4	10,6	52,3	100,4	26,6	245,3
2009	4,2	54,4	134,5	65,1	25,0	39,8	323,0
2010	16,8	140,2	89,2	82,4	110,0	46,6	485,2
1981–2010	33,3	58,5	80,4	74,2	59,4	56,9	362,7

Średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym były wyższe od średnich z wielolecia o 1,9°C. Wiosna była bardzo sucha i ciepła, małe opady odnotowano w kwietniu, które w porównaniu do średniej z wielolecia były niższe o 29,1 mm, a temperatury wyższe o 2,4°C. W maju tego roku opady również były niższe od średniej o 4,1 mm, a temperatury wyższe o 1,2°C. Poprawa warunków wilgotnościowych nastąpiła dopiero w czerwcu, ponieważ wystąpiły obfite opady – 134,5 mm, o 54,1 mm więcej niż średnia z wielolecia dla tego miesiąca. W pozostałych miesiącach spadło mniej deszczu; bardzo suchy sierpień (tylko 25,0 mm) i wrzesień (39,8 mm) przy temperaturach wyższych od średniej spowodowały bardzo słaby odrost traw po pierwszym pokosie. BORAWSKA-JARMUŁOWICZ i WSP. (2016) podają, że temperatura powietrza średnio w okresie wegetacji ok. 16°C sprzyja wzrostowi traw, natomiast opady wynoszące „zaledwie ok. 386 mm są niewystarczające”. W badaniach własnych rok 2010 charakteryzował się największą sumą opadów w okresie wegetacji, o 122,5 mm więcej

od średniej. Tylko w kwietniu i we wrześniu były one niższe od średniej o 16,5 i 10,3 mm. Suchy kwiecień, mimo, że ciepły wpłynął na ograniczenie wzrostu roślin. Umiarkowane temperatury w maju przyczyniły się do szybkiego wzrostu i rozwoju traw, a obfite opady deszczu (140,2 mm) spowodowały intensywny wzrost roślin. Duże ilości opadów wystąpiły także w czerwcu, lipcu i sierpniu (89,2; 82,4; 110 mm). W okresie tym odnotowano również najwyższe temperatury w porównaniu do średniej z wielolecia, wyższe odpowiednio o 3,3°C i 7,9°C oraz 3,4°C. W drugiej dekadzie lipca wystąpiły upały (średnio 27,3°C), które wpłynęły na termin pierwszego pokosu. W tym roku także średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym były wyższe od średnich z wielolecia o 2,7°C. Duża ilość opadów w sierpniu korzystnie wpłynęła na wzrost traw i ich plonowanie w drugim pokosie.

Procentowy udział badanych traw w runi był zróżnicowany w zależności od lat badań i dawki azotu (tab. 2). Testowane gatunki, w opisywanych warunkach siedliskowych i atmosferycznych, były zdecydowanie dominujące. W 2008 roku udział w runi *Dactylis glomerata* kształtował się od 94,5% do 96,8%, *Arrhenatherum elatius* od 94,5% do 95,9%, a *Bromus inermis* od 97,5% do 98,6%. Istotnie najwyższym udziałem charakteryzowała się stokłosa bezostna. Stwierdzono istotny wzrost udziału traw pod wpływem nawożenia azotem, a istotną różnicę uzyskano zwiększając dawkę azotu z 60 kg do 120 kg ha⁻¹. W badaniach BORAWSKIEJ-JARMUŁOWICZ (2008) kupkówka pospolita w wyniku braku nawożenia i ekstensywnie użytkowana systematycznie zmniejszała swój udział, ponieważ należy do traw nitrofilnych. Z badań przeprowadzonych przez JODELKĘ i WSP. (1999) wynika, że skład botaniczny runi trawiastej był kształtowany zasadniczo przez dwa czynniki: nawożenie i warunki atmosferyczne, a mianowicie niskie opady i wysokie temperatury. Cytowani Autorzy podają, że na obiektach nawożonych azotem nawet przy niedoborach wilgoci w glebie udział kupkówki pospolitej zwiększał się, natomiast na obiektach, na których nie stosowano nawożenia następowało zahamowanie rozwoju tego gatunku. W badaniach BORAWSKIEJ-JARMUŁOWICZ i WSP. (2016) w siewach czystych kupkówki nawożonej 180 kg ha⁻¹ N (+26 kg ha⁻¹ P i 100 kg ha⁻¹ K) średni udział gatunków obcych w plonach był niewielki i wynosił maks. 5%. KASPERCZYK i WSP. (2008) potwierdzają dodatnią zależność pomiędzy udziałem *Dactylis glomerata* i *Arrhenatherum elatius* w plonie runi, a wielkością dawki nawożenia mineralnego. BORAWSKA-JARMUŁOWICZ (2008) wskazuje na dużą konkurencyjność i trwałość oraz przystosowanie się rajgrasu wyniosłego do zmiennych warunków siedliskowych. Autorka podaje, że kupkówka na zaprzestanie nawożenia i ekstensywnie użytkowanie zareagowała ustępowaniem z runi. W badaniach własnych podobne zależności obserwowano u tego gatunku przy zerowej dawce azotu oraz u pozostałych traw. Wskazuje to na pewną prawidłowość zachowania się tych gatunków w sie-

dlisku o mniejszej żyzności oraz przy 1- i 2-kośnym użytkowaniu. W 2009 roku udział *Dactylis glomerata* w runi kształtował się od 94,8% na obiektach bez nawożenia do 99,6% na poletkach z dawką 180 kg azotu ha^{-1} , oraz *Arrhenatherum elatius* od 94,7% do 99,3%, a *Bromus inermis* od 96,7% do 99,4%. W 2010 roku kształtował się od 93,7% z *Dactylis glomerata* na obiektach bez nawożenia do 99,5% na poletkach z dawką 180 kg ha^{-1} N, natomiast *Arrhenatherum elatius* od 93,9% do 99,3%, a *Bromus inermis* od 95,9% do 99,4%. Wyniki uzyskane w latach 2009–2010 wskazują na wzrost udziału traw pod wpływ nawożenia azotem, a istotną różnicę uzyskano zwiększając dawkę azotu z 60 do 120 kg ha^{-1} .

W kontekście przydatności gatunków do celów energetycznych istotne jest ich plonowanie w określonych warunkach siedliskowych (TAUBE i WSP., 2007; ALBERSKI i WSP., 2015). Badane trawy charakteryzowały się zróżnicowanym plonowaniem w okresie badań (tab. 3). Najwyższe plony roczne (średnio 8,62 t suchej masy z ha) uzyskano w trzecim roku (2010) pełnego użytkowania ze względu na korzystne warunki pogodowe. Niższe plony 7,13 t suchej masy z ha zebrano w 2009 roku – wynikały one z mniejszej sumy opadów i wyższych temperatur panujących w tym okresie. W 2008 roku plon wynosił 4,09 t ha^{-1} s.m. i był najniższy – w wyniku zdecydowanie niekorzystnych dla wzrostu traw warunków pogodowych. Średnie plony z trzech lat badań oscyływały w granicach 5,91–7,31 t suchej masy z ha. Wyniki doświadczenia dowodzą, że biorąc pod uwagę średnie z lat 2008–2010 to zastosowane nawożenie azotowe istotnie różnicowało ilość uzyskanej biomasy. W 2008 roku najniższe plony 3,59 t ha^{-1} s.m. uzyskano na poletkach z *Dactylis glomerata* bez nawożenia azotowego, a najwyższe 4,50 t ha^{-1} s.m. z nawożeniem 180 kg ha^{-1} N. Plony *Bromus inermis* wynosiły od 3,89 do 4,42 t ha^{-1} s.m., a *Arrhenatherum elatius* od 4,03 do 4,47 t ha^{-1} s.m. Pomiedzy gatunkami nie stwierdzono istotnych różnic w plonie. Brak istotnych reakcji badanych traw na zastosowane nawożenie azotem, wynikało przede wszystkim

Tabela 2. Udział traw (%) w runi (średnie dla pokosów i lat 2008–2010)
Table 2. Share of grasses in the sward (means for cuts and years 2008–2010)

Nawożenie Fertilization	<i>Dactylis glomerata</i>			<i>Arrhenatherum elatius</i>			<i>Bromus inermis</i>			Średnio Mean
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	
$\text{N}_0\text{P}_{35}\text{K}_{100}$	94,5 a	94,8 a	93,7 a	94,5 a	94,7 a	93,9 a	97,5 d	96,7 a	95,9 a	95,1 A
$\text{N}_{60}\text{P}_{35}\text{K}_{100}$	94,6 a	95,0 a	95,2 a	94,6 a	94,9 a	94,1 a	98,5 e	96,9 a	96,4 a	95,6 A
$\text{N}_{120}\text{P}_{35}\text{K}_{100}$	96,7 c	99,5 b	99,4 b	95,8 b	99,3 b	99,3 b	98,6 e	99,4 b	99,2 b	98,6 B
$\text{N}_{180}\text{P}_{35}\text{K}_{100}$	96,8 c	99,6 b	99,5 b	95,9 b	99,3 b	99,3 b	98,6 e	99,4 b	99,4 b	98,6 B
Średnio Mean	95,7 A	97,3 A	97,0 A	95,2 A	97,1 A	96,7 A	98,3 B	98,1 A	97,7 A	97,0

a, b, c; A, B, C – grupy jednorodne – homogenous groups.

z niższych opadów jakie odnotowano w tym roku, które przy wyższych temperaturach panujących w tym okresie, spotęgowały jeszcze niedobór wilgoci w glebie.

Oceniając średni wpływ zastosowanego nawożenia azotowego, odnotowano istotny wzrost ilości uzyskanej biomasy przy dawkach azotu 120 i 180 kg ha⁻¹. W badaniach DRADRACH i WSP. (2007) średni plon *Dactylis glomerata* w latach 2004–2006 na glebie lekkiej wynosił 3,25 t ha⁻¹ s.m. i w wynikał m. in. z niższych od średniej opadów w 2004 i 2006 roku. Podobne wartości odnośnie plonu uzyskali KSIĘŻAK i FABER (2007), którzy w doświadczeniu z mozgą trzcinową w pierwszym roku uprawy zebrali 4,6 t ha⁻¹ s.m., przy zbiorze jednokosnym. W badaniach STANIAK (2016) niedobór wilgoci w glebie istotnie ograniczył plony *Dactylis glomerata*. Autorka podaje, że łączny plon suchej masy traw był średnio o 31% mniejszy, w porównaniu do wydajności osiągniętej na obiektach optymalnie uwilgotnionych. W badaniach OLSZEWSKIEJ (2006a) plon suchej masy kupkówki był średni o 35% niższy w porównaniu do optymalnie uwilgotnionej gleby. OLSZEWSKA i WSP. (2010) podają, że w warunkach deficytu wodnego nastąpiło istotne ograniczenie plonowania u wszystkich gatunków traw m in. kupkówki pospolitej i rajgrasu wyniosłego. W badaniach BEDNARKA i WSP. (2000) plony suchej masy istotnie zależały od wilgotności względnej powietrza i opadów atmosferycznych, a także od temperatury powietrza i gleby oraz zachmurzenia. Zdaniem STANIAK i KOCON (2015) w warunkach niedoboru wilgoci w glebie przebieg procesów fotosyntezy oraz transpiracji jest ograniczony i limituje możliwości plonowania traw, szczególnie w krytycznym okresie wykształcania pędów. W badaniach przeprowadzonych przez JANICKĄ (2004) biomasa nadziemna (powyżej 5 cm) *Dactylis glomerata*, *Bromus inermis* i *Arrhenatherum elatius* podlegała największym wahaniom i była w dużym stopniu uzależniona od wilgotności siedliska. W siedlisku umiarkowanie wilgotnym była ona średnio o około 43% większa (niezależnie od gatunku) niż w siedlisku posuszonym. Cytowana Autorka wykazała, że w siedlisku umiarkowanie wilgotnym, rośliny charakteryzowały się większą biomasa nadziemną roślin. W siedlisku posuszonym tworzyły większą biomasę w warstwie darni i ścierni oraz korzeni. Według SAWICKIEGO i KOŚCIKA (2003) kupkówka pospolita należy do grupy nielicznych traw, których korzenie schodzą do 1,3 m w głąb profilu glebowego, a rajgrasu wyniosłego sięgają nawet do 2 m. Cytowani Autorzy podają, że stokłosa bezostna pochodzi ze stepów, dlatego dobrze znosi okresowe susze. W badaniach własnych w 2009 roku uzyskano plony suchej masy w przedziale od 3,45 do 12,53 ton, istotnie najwyższej plonowała *Bromus inermis* ponad 12,5 ton przy nawożeniu azotem dawką 180 kg ha⁻¹. W wyniku zastosowanego nawożenia 120 kg ha⁻¹ N obserwowano istotny wzrost plonu (o 30%), a wzrost dawki azotu do 180 kg ha⁻¹ spowodował dalszy istotny wzrost plonu (o 32 %). Wysoko plonowały również rajgras wyniosły i kupkówka pospolita w granicach 9 t s.m. ha⁻¹. Odnotowano istotny wzrost plonów pod wpływem nawożenia azotem między dawką 60 i 120 kg ha⁻¹ oraz

120 i 180 kg ha⁻¹, jedynie między 0 i 60 kg ha⁻¹ N tendencje były wzrostowe, ale różnice statystycznie nieistotne. OLSZEWSKA (2006b) w badaniach z *Dactylis glomerata* stwierdziła korzystny wpływ azotu na intensywność fotosyntezy i inne procesy fizjologiczne, a w konsekwencji na przyrost biomasy roślin. CZYŻ i KITCZAK (2014) prowadząc badania z tym gatunkiem stwierdzili korzystny wpływ dawki azotu 120 kg ha⁻¹ na obsadę roślin i ilość pędów generatywnych oraz plon sło-

Tabela 3. Plon suchej masy wybranych gatunków traw wysokich (t ha⁻¹)
Table 3. Dry matter yield of selected species of tall grasses (t ha⁻¹)

Nawożenie Fertilization	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Arrhenatherum elatus</i>	<i>Bromus inermis</i>	Średnio Mean
2008 rok – year				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	3,59 a	4,03 a	3,89 a	3,84 A
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	3,77 a	4,34 a	3,90 a	4,01 AB
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	3,78 a	4,44 a	3,95 a	4,06 AB
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	4,50 a	4,47 a	4,42 a	4,46 B
Średnio Mean	3,91 A	4,32 A	4,04 A	4,09
2009 rok – year				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	3,45 a	5,56 ab	5,71 ab	4,91 A
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	5,30 ab	5,71 ab	6,54 bc	5,85 A
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	6,22 bc	7,10 bcd	9,71e	7,67 B
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	9,17 de	8,61 cd	12,53 f	10,10 C
Średnio Mean	6,04 A	6,74 A	8,62 B	7,13
2010 rok – year				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	5,13 a	5,84 a	4,72 a	5,23 A
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	6,40 ab	8,18 c	8,13 bc	7,57 B
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	8,93 cd	9,38 cd	10,56 de	9,62 C
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	10,64 de	11,97 ef	13,64 f	12,08 D
Średnio Mean	7,77 A	8,84 B	9,26 B	8,62
Średnia z lat 2008–2010 Means for years 2008–2010				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	4,06 a	5,14 abc	4,77 ab	4,66 A
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	5,16 abc	6,08 bcd	6,19 cd	5,81 B
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	6,31 cd	6,97 de	8,07 e	7,12 C
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	8,10 e	8,35 e	10,19 f	8,88 C
Średnio Mean	5,91 A	6,63 B	7,31 C	6,62

a, b, c; A, B, C – grupy jednorodne – homogenous groups.

my, natomiast nawożenie fosforowo-potasowe nie miało w tym względzie istotnego wpływu. W doświadczeniu z mozgą KSIĘŻAK i FABER (2007) w drugim roku uprawy w sprzyjających warunkach wilgotnościowych uzyskali wyższe plony. W badaniach własnych w 2010 roku plony *Bromus inermis* wynosiły od 4,72 do 13,64 t ha⁻¹ s.m., *Arrhenatherum elatius* od 5,84 do 11,97 t ha⁻¹ s.m., a *Dactylis glomerata* od 5,13 do 10,64 t ha⁻¹ s.m.. Średnio najwyższej plonowały stokłosa bezostna (9,26 t ha⁻¹ s.m.) i rajgras wyniosły (8,84 t ha⁻¹ s.m.), natomiast istotnie niżej kupkówka pospolita (7,77 t ha⁻¹ s.m.). W badań własnych w okresie trzech lat istotnie najwyższe plony suchej masy otrzymano na obiektach z *Bromus inermis*, istotnie niższe z *Arrhenatherum elatius*, a najniższe z *Dactylis glomerata*. W badaniach przeprowadzonych przez JANICKĄ (2004) spośród pięciu gatunków traw największą biomasa nadziemną w trzecim roku po zasiewie wykształciły także rośliny *Bromus inermis*, natomiast największą całkowitą biomasa uzyskały *Arrhenatherum elatius* i *Dactylis glomerata*. W badaniach własnych gatunki, średnio z trzech lat, plonowały na poziomie 6–7 ton suchej masy z ha. Spośród badanych traw istotnie najwyższej plonowała *Bromus inermis* wytwarzając średnio z trzech lat 7,31 ton suchej masy z ha. W latach 2008–2010 zastosowane nawożenie azotowe w ilości 120 kg ha⁻¹ wpłynęło na istotny wzrost plonu, natomiast dawka azotu 180 kg ha⁻¹ spowodowała dalszy jego wzrost, ale różnica nie była istotna.

O przydatności biomasy traw na cele energetyczne decyduje nie tylko wielkość uzyskanego plonu, ale także ciepło spalania i wartość opałowa oraz skład chemiczny. Ponieważ wywierają one duży wpływ na warunki technologiczne przerobu oraz jakość uzyskanego produktu. Ciepło spalania badanych roślin wynosiło od 17,82 MJ kg⁻¹ s.m. – *Dactylis glomerata* i *Bromus inermis* do 18,52 MJ kg⁻¹ – *Arrhenatherum elatius* (tab. 4). W badaniach istotnie najwyższe średnie wartości uzyskano dla rajgrasu wyniosłego – 18,29 MJ kg⁻¹. Zastosowane nawożenie azotowe istotnie różnicowało ilość uzyskanego ciepła. Różnice były statystycznie istotne, ale pod względem ekonomicznym nie opłacalne. Podobne wartości odnośnie ciepła spalania dla traw uzyskali również MOILANEN (2006), HARKOT i WSP. (2007), DRADRACH i WSP. (2007) oraz ALBERSKI i WSP. (2015). Porównując uzyskane wyniki do innych gatunków można stwierdzić, że były one wyższe od ciepła spalania ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*) wynoszącego 11,91–14,46 MJ kg⁻¹ s.m. i zbliżone do ciepła spalania *Salix ssp.* (SZCZUKOWSKI i WSP., 2006).

Wartość opałowa badanych traw kształtowała się w granicach od 16,83 MJ kg⁻¹ – *Dactylis glomerata* do 17,52 MJ kg⁻¹ – *Arrhenatherum elatius* (tab. 4). Istotnie najwyższą średnią wartością opałową charakteryzował się rajgras wyniosły – 17,34 MJ kg⁻¹. Badane trawy, pod wpływem dawki 60 kg ha⁻¹ N nie wykazały zróżnicowania pod względem wartości opałowej, dopiero jej wzrost do 120 kg ha⁻¹ N i dalszy spowodował istotną różnicę. Zbliżone wyniki uzyskali również HARKOT i WSP. (2007) dla *Dactylis glomerata*, *Bromus inermis* i *Arr-*

Tabela 4. Ciepło spalania i wartość opałowa (MJ kg⁻¹) wybranych gatunków traw wysokich – średnia z lat 2008–2010Table 4. The heat of combustion and the calorific value (MJ kg⁻¹) of selected species of tall grasses – mean from years 2008–2010

Nawożenie Fertilization	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Arrhenatherum elatius</i>	<i>Bromus inermis</i>	Średnio Mean
Ciepło spalania (MJ kg ⁻¹) The heat of combustion (MJ kg ⁻¹)				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	17,87 ab	18,20 c	17,92 b	18,00 B
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	17,82 a	18,17 c	17,82 a	17,94 A
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	17,82 a	18,27 d	18,22 cd	18,10 C
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	17,84 a	18,52 d	18,26 d	18,21 D
Średnio Mean	17,84 A	18,29 C	18,06 B	18,06
Wartość opałowa (MJ kg ⁻¹) The calorific value (MJ kg ⁻¹)				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	16,83 a	17,25 e	16,97 d	17,01 A
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	16,84 ab	17,26 e	16,90 c	17,00 A
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	16,84 ab	17,35 f	17,35 f	17,18 B
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	16,88 bc	17,52 g	17,37 f	17,26 C
Średnio Mean	16,84 A	17,34 C	17,15 B	17,11

a, b, c; A, B, C – grupy jednorodne – homogenous groups.

henatherum elatius, a także ALBERSKI i WSP. (2015) w odniesieniu do *Phragmites australis* i *Phalaris arundinacea*. Uzyskana w badaniach wartość opałowa traw jest zbliżona do wartości opałowej traw obcego pochodzenia m. in.: *Miscanthus sacchariflorus* (16,8 MJ kg⁻¹), *Spartina pectinata* (17,5 MJ kg⁻¹) i *Sida hermaphrodita* (17,0 MJ kg⁻¹) (GRZELAK i WSP., 2010; KOWALCZYK-JUŚKO, 2010a). Dla porównania wartość opałowa węgla mieści się w granicach od 18,8 do 29,3 MJ kg⁻¹ (KOWALCZYK-JUŚKO, 2010b).

Głównym składnikiem biomasy jest węgiel, od jego zawartości zależy wartość opałowa. W badanych trawach zawartość węgla wynosiła od 443,0 do 464,8 g kg⁻¹ (tab. 5). Istotnie najwięcej węgla zawierała biomasa *Bromus inermis*, istotnie mniej *Arrhenatherum elatius*, a najmniej *Dactylis glomerata*. W wyniku nawożenia dawką 60 kg ha⁻¹ azotu, wykazano niewielki spadek jego ilości, ale różnica była statystycznie nieistotna. Natomiast istotne zróżnicowanie uzyskano dopiero przy dawce 120 i 180 kg ha⁻¹ N. KOWALCZYK-JUŚKO (2010a) uzyskała porównywalne wartości dla *Spartina pectinata* i *Helianthus tuberosus*.

Pozostałością po spalaniu jest popiół. Zagospodarowanie go stanowi często duży problem, dlatego pożądana jest jak najmniejsza jego ilość w materiale roślin-

Tabela 5. Skład chemiczny wybranych gatunków traw wysokich – średnia z lat 2008–2010
 Table 5. Chemical composition of selected species of tall grasses – mean from years 2008–2010

Nawożenie Fertilization	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Arrhenather- um elatius</i>	<i>Bromus inermis</i>	Średnio Mean
Węgiel (g kg ⁻¹) Carbon (g kg ⁻¹)				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	449,5 b	453,5 c	453,3 bc	452,1 A
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	443,0 a	456,8 c	453,2 bc	451,0 A
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	454,9 c	457,1 c	462,0 d	458,0 B
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	455,0 c	464,8 d	469,8 e	463,2 C
Średnio Mean	450,6 A	458,1 B	459,6 C	456,1
Popiół (g kg ⁻¹) Ash (g kg ⁻¹)				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	99,39 i	69,72 f	67,93 e	79,01 C
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	97,97 g	70,48 f	52,67 b	72,71 B
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	96,18 h	63,91 d	52,09 b	70,72 A
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	98,91 i	61,82 c	50,59 a	70,44 A
Średnio Mean	97,36 C	66,48 B	55,82 A	73,22
Siarka (g kg ⁻¹) Sulfur (g kg ⁻¹)				
N ₀ P ₃₅ K ₁₀₀	1,05 fg	0,85 de	0,67 a	0,85 B
N ₆₀ P ₃₅ K ₁₀₀	1,07 g	0,79 cd	0,70 ab	0,85 B
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₁₀₀	1,00 f	0,76 c	0,65 a	0,80 A
N ₁₈₀ P ₃₅ K ₁₀₀	1,09 g	0,90 e	0,73 bc	0,89 C
Średnio Mean	1,05 C	0,83 B	0,69 A	0,85

a, b, c; A, B, C – grupy jednorodne – homogenous groups.

nym. Badane trawy wykazywały istotne zróżnicowanie pod względem tej cechy. Zawartość popiołu wynosiła od 50,59 g kg⁻¹ – *Bromus inermis* do 98,91 g kg⁻¹ – *Dactylis glomerata* (tab. 5). Analizując uzyskane wyniki pod względem wpływu nawożenia azotem najmniej popiołu zawierały trawy z obiektów z dawkami azotu 120 i 180 kg ha⁻¹. Podobne wartości odnośnie zawartości popiołu dla *Bromus inermis* uzyskali HARKOT i WSP. (2007), natomiast niższe dla *Dactylis glomerata* i *Arrhenatherum elatius*. W badaniach DRADRACH i WSP. (2007) średnia zawartość popiołu w biomacie traw o typie fotosyntezy C₃ wynosiła – 72,9 g kg⁻¹, dla C₄ wynosiła – 58,1 g kg⁻¹, a dla *Dactylis glomerata* – 75,9 g kg⁻¹.

Przy ocenie wartości energetycznej biomasy ważnym parametrem jest siarka, ponieważ podczas termicznej przemiany biomasy jest przyczyną tzw. korozji wysokotemperaturowej urządzeń grzewczych. Zawartość siarki w badanych trawach była niska i wynosiła od 0,65 g kg⁻¹ u *Bromus inermis* do 1,09 g kg⁻¹ u *Dactylis glomerata* (tab. 5). W badaniach istotnie najniższą zawartością wyróżniała się *Bromus inermis* – 0,69 g kg⁻¹. HARKOT i WSP. (2007) podają, że *Arrhenatherum elatius* i *Dactylis glomerata* wyróżniały się najniższą zawartością siarki, która wynosiła 1,8 i 1,9 g kg⁻¹, natomiast w *Bromus inermis* była wyższa (2,0 g kg⁻¹). Zdaniem GRADZIUK (2003) w słomie różnych gatunków roślin rolniczych udział siarki wynosi od 1,0 do 4,0 g kg⁻¹. W badaniach ALBERSKIEGO i WSP. (2015) w roślinności zbiorowisk trawiastych jej zawartość wynosiła od 1,3 do 2,1 g kg⁻¹.

4. Wnioski

- Plonowanie badanych traw było bardzo zróżnicowane w latach i zależało od warunków pogodowych, przede wszystkim od ilości opadów. Istotnie najwyższej plonowała *Bromus inermis*.
- Badane trawy różnią się istotnie parametrami energetycznymi i składem chemicznym. Istotnie najwyższym ciepłem spalania oraz wartością opałową odznaczał się *Arrhenatherum elatius*. Wartość tego parametru była zbliżona do ciepła spalania *Salix spp.*, a wyższa od *Sida hermaphrodita*.
- Największą spośród badanych traw zawartością węgla, a także niską zawartością popiołu i bardzo niską siarki wyróżniała się *Bromus inermis*.
- Zastosowane nawożenie azotowe istotnie różnicowało plon, parametry energetyczne i skład chemiczny badanych traw.

Literatura

- ALBERSKI J., OLSZEWSKA M., BAŁUCH-MAŁECKA A., KURZEJA M., 2015. Wartość energetyczna biomasy z użytkowanych ekstensywnie łąk warkalsko-trojańskich. Łąkarstwo w Polsce, 18, 7–16.
- BAL R., 2008. Zagospodarowanie słomy i możliwości jej wykorzystania do produkcji paliw formowalnych na przykładzie województwa warmińsko-mazurskiego. Inżynieria Rolnicza, 1 (99), 17–21.
- BAŁUCH-MAŁECKA A., OLSZEWSKA M., ALBERSKI J., 2015. Wzrost i rozwój wybranych gatunków traw z rodzaju *Miscanthus* uprawianych w warunkach klimatycznych Pojezierza Olsztyńskiego. Łąkarstwo w Polsce, 18, 17–29.
- BAŁUCH-MAŁECKA A., OLSZEWSKA M., ALBERSKI J., FENYK M.A., 2016. Wzrost i rozwój *Spartina pectinata* w warunkach klimatycznych Pojezierza Olsztyńskiego. Łąkarstwo w Polsce, 19, 21–34.

- BEDNAREK H., KOŁODZIEJ J., LINIEWICZ K., 2000. Wybrane cechy interpretacji opadów atmosferycznych w łąkach niektórych roślin uprawnych. *Acta Agrophysica*, 34, 19–28.
- BORAWSKA-JARMOŁOWICZ B., 2008. Zmiany w składzie florystycznym runi łąkowej po pięciu latach od zaprzestania nawożenia przy jednokrotnym koszeniu. *Łąkarstwo w Polsce*, 11, 33–42.
- BORAWSKA-JARMOŁOWICZ B., MASTALERCZUK G., JANICKA M., 2016. Ocena cech biologicznych oraz plonowania wybranych odmian *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis* i *Phleum pratense* w siewach czystych i mieszkankach. *Łąkarstwo w Polsce*, 19, 35–50.
- BUDZYŃSKI W., SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J., 2009. Wybrane problemy z zakresu produkcji roślinnej na cele energetyczne. I Kongres Nauk Rolniczych, Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich, Puławy, 76–89.
- CZYŻ H., KITCZAK T., 2014. Wpływ nawożenia mineralnego NPK na plon nasion *Dactylis glomerata* L. odmiany Minora. *Łąkarstwo w Polsce*, 17, 7–17.
- DIRECTIVE, 2008. Directive of the European Parliament and of the Council of the promotion of the use of energy from renewable sources. European Commission, Brussels.
- DRADRACH A., GĄBKA D., SZLACHTA J., WOLSKI K., 2007. Wartość energetyczna kilku gatunków traw uprawianych na glebie lekkiej. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 29–35.
- FISCHER G., PRIELER S., VAN VELHUIZEN H., 2005. Biomass potentials of micelanthus willow and poplar: results and policy implications Eastern Europe, Northern and Central Asia. *Biomass and Bioenergy*, 28, 119–132.
- GOLIŃSKA B., CZERWIŃSKI M., GOLIŃSKI P., BLECHARCZYK A., SAWIŃSKA Z., 2016. Wpływ zmian klimatycznych na produktywność łąk świeżych na tle ich zróżnicowanego nawożenia. *Fragmenta Agronomica*, 33(4), 18–28.
- GOLIŃSKI P., JOKŚ W., 2007. Właściwości chemiczne i biologiczne traw a produkcja biogazu. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 37–47.
- GRADZIUK P., 2003. Biopaliwa. Wydawnictwo Wieś Jutra, Warszawa.
- GRASS BIORAFINERY FOR EUROPE, 2008. Large Collaborative Project. KBBE-2007-3-2-09: Biorefinery – Biotechnology for the conversion of biomass and waste into value-added products, ss 86.
- GRZELAK M., WALISZEWSKA B., SPEAK-DŻWIGAŁA A., 2010. Wartość energetyczna peletu z łąk nadnoteckich ekstensywnie użytkowanych. *Nauka Przyroda Technologie*, 4, 1–11.
- HARKOT W., WARDA M., SAWICKI J., LIPIŃSKA H., WYŁUPEK T., CZARNECKI Z., KULIK M., 2007. Możliwości wykorzystania runi łąkowej do celów energetycznych. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 59–67.
- IŻEWSKA A., 2009. Przydatność kompostów z komunalnego osadu ściekowego do nawożenia miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack). Rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo ZUT, Szczecin, 1–108.
- JANKOWSKA-HUFLEJT H., DOMAŃSKI P.J., 2008. Aktualne i możliwe kierunki wykorzystania trwałych użytków zielonych w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 8, 2b(24), 31–49.
- JANICKA M., 2004. Rozmieszczenie biomasy kilku gatunków traw w zależności od terminu siewu i uwilgotnienia siedliska w trzecim roku po zasiewie. *Annales UMCS, Sectio E*, 59, 4, 1705–1713.
- JODELKA J., JANKOWSKI K., CIEPIELA G., 1999. Wpływ nawożenia mineralnego i opadów atmosferycznych na skład botaniczny runi łąkowej. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*, 197, *Agricultura* (75), 67–70.

- KASPERCZYK M., SZEWCZYK W., KACORZYK P., 2008. Dynamika składu botanicznego runi łąkowej w zależności od rodzaju nawożenia. *Łąkarstwo w Polsce*, 11, 87–93.
- KIERUNKI ROZWOJU BIOGAZOWNI ROLNICZYCH W POLSCE NA LATA 2010–2020. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 13 lipca 2010 r. <http://www.pigeor.pl/media/js/kcfinder/upload/files/Kierunki-Rozwoju-Biogazowni-Rolniczych-w-Polsce-na-lata-2010-2020>.
- KOBYLIŃSKI A., OLSZEWSKA M., 2013. Efektywność energetyczna produkcji biomasy *Miscanthus giganteus*. *Łąkarstwo w Polsce*, 16, 19–28.
- KOCHANOWSKA R., GAMRAT R., 2007. Uprawa miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack) – zagrożeniem dla pól i lasów? (doniesienie naukowe). *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 223–228.
- KOŁODZIEJ J., LINIEWICZ K., BEDNAREK H., 2005. Interpretacja opadów atmosferycznych w łąkach zbóż. *Acta Agrophysica*, 6 (2), 381–391.
- KOPETZ H., JASSART J.M., RAGOSSING H., METSCHINA C., 2007. European biomass statistics 2007. European biomass Association (AEBIOM), Brussels, 73.
- KOŚCIK B., 2003. Rośliny energetyczne. Wydawnictwo AR, Lublin, 1–145.
- KOŚCIK B., KOWALCZYK-JUŚKO A., KOŚCIK K., 2003. Uprawa miskanta cukrowego i spartiny preriowej. W: Ognia paliwowe i biomasa lignocelulozowa szansą rozwoju wsi i miast. Serie monografie, Warszawa, 51–54.
- KOWALCZYK-JUŚKO A., 2010a. Badania nad energetycznym wykorzystaniem wybranych gatunków roślin wieloletnich. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 556, 421–427.
- KOWALCZYK-JUŚKO A., 2010b. Porównanie składu chemicznego i wartości energetycznej biomasy wybranych gatunków roślin. *Pamiętnik Puławski*, 152, 131–140.
- KOWALCZYK-JUŚKO A., KOŚCIK B., 2004. Produkcja biomasy miskanta cukrowego i spartiny preriowej w zróżnicowanych warunkach glebowych oraz możliwość jej konwersji na energię. *Biuletyn IHAR*, 234, 213–218.
- KSIĘŻAK J., FABER A., 2007. Ocena możliwości pozyskania biomasy z mozgi trzcinowatej na cele energetyczne. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 141–148.
- KUŚ J., FABER A., 2009. Produkcja roślinna na cele energetyczne a racjonalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. I Kongres Nauk Rolniczych, Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich, Puławy, 63–75.
- KUŚ J., FABER A., STASIAK M., KAWALEC A., 2008. Płonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne na różnych glebach. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1, 79–86.
- MAJTKOWSKA G., MAJTKOWSKI W., 2003. Obserwacje nad rozwojem traw o typie fotosyntezy C₄ w warunkach Polski. *Komunikat. Biuletyn IHAR*, 225, 387–392.
- MAJTKOWSKI W., 1998. Produktywność wieloletnich plantacji energetycznych w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 153–157.
- MAJTKOWSKI W., 2004. Trawy z rodzaju *Miscanthus* Anderss. – zróżnicowanie morfologiczne i fenologiczne. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 497, 431–439.
- MAJTKOWSKI W., 2006. Bioróżnorodność upraw energetycznych. *Podstawy zrównoważonego rozwoju. Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 25–36.
- MAJTKOWSKI W., MAJTKOWSKA G., 2008. Produktywność wieloletnich plantacji energetycznych w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 153–157.
- MINISTERSTWO GOSPODARKI I PRACY, 2005. http://www.bezpieczenstwo_ekonomiczne.pl/polityka_2025.pdf

- MALINOWSKA E., WIŚNIEWSKA-KADŻAJAN B., JANKOWSKI K., SOSNOWSKI J., WYRĘBEK H., 2014. Ocena przydatności biomasy różnych roślin na cele energetyczne. Zeszyty Naukowe UP-H w Siedlcach, 102, Administracja i Zarządzanie (29), 49–61.
- MATYKA M., KUŚ J., 2011. Plonowanie i cechy biometryczne wybranych genotypów miskanta. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 157–163.
- MOILANEN A., 2006. Thermogravimetric characterization of biomass and waste for gasification processes. VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- OLSZEWSKA M., 2006a. Effect of water stress on physiological processes, leaf greenness (SPAD Index) and dry matter yield of *Lolium perenne* and *Dactylis glomerata*. Polish Journal of Natural Sciences, 21(2), 553–562.
- OLSZEWSKA M., 2006b. Wpływ nawożenia azotem na przebieg procesów fizjologicznych, indeks zieloności liści oraz plonowanie kupkówki pospolitej i życicy trwałej. Łąkarstwo w Polsce, 9, 151–160.
- OLSZEWSKA M., GRZEGORCZYK S., OLSZEWSKI J., BAŁUCH-MAŁECKA A., 2010. Porównanie reakcji wybranych gatunków traw na stres wodny. Łąkarstwo w Polsce, 13, 127–136.
- OSTROWSKI J., 2008. Kategoryzacja przydatności gruntów do uprawy roślin energetycznych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 137–143.
- PROCHNOW A., HEIERMANN M., PLOCHL M., 2013. Permanent grasslands for bioenergy; factors affecting management and conversion efficiency. Grassland Science in Europe, 18, 514–519.
- ROMANOWSKA-DUDA Z., GRZESIK M., PSZCZÓLKOWSKI W., PIOTROWSKI K., PSZCZÓLKOWSKA A., 2014. Dydaktyczne i środowiskowe funkcje kolekcji roślin energetycznych w centrum transferu technologii OZE w Konstancynie Łódzkim. Acta Innovations, 13, 41–51.
- ROSZKOWSKI A., 2008. Biomasa kontra rolnictwo. Inżynieria Rolnicza, 10 (108), 201–207.
- SAWICKI B., KOŚCIK K., 2003. Trawy i zbiorowiska trawiaste. W: Rośliny energetyczne (Kościk B., red.). Wydawnictwo AR, Lublin, 1–145.
- SEKUTOWSKI T.R., DZIĄGWA M., 2012. Weed problem on the newly established prairie cordgrass (*Spartina pectinata*) plantations intended for energetic purposes. Journal of Central European Agriculture, 13(3), 527–535.
- STANIAK M., 2016. The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. Acta Agrobotanica, 69, 2, 1–12.
- STANIAK M., KOCON A., 2015. Forage grasses under drought stress in conditions of Poland. Acta Physiologiae Plantarum, 37, 116. DOI:10.1007/s11738-015-1864-1.
- STĘPIEŃ W., GÓRSKA E.B., PIETKIEWICZ S., KALAJI M.H., 2014. Long-term mineral fertilization impact on chemical and microbiological properties of soil and *Miscanthus x giganteus* yield. Plant Soil Environment, 60, 3, 117–122.
- STOLARSKI M., SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J., 2008. Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. Energetyka i ekologia. <http://www.e-energetyka.pl>, 77–80.
- STOLARSKI M., SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J., KRZYŻANIAK M., 2012. Koszty założenia polowych plantacji szybko rosnących roślin drzewiastych. Roczniki Nauk Rolniczych, G, 99, 1, 129–140.
- STYPIŃSKI P., 2016. Trawy w życiu człowieka. Łąkarstwo w Polsce, 19, 245–261.
- SUBOCZ S., KOPCZYŃSKI J., 2009. Dobór roślin do produkcji bioenergetycznej masy na terenie Pomorza zachodniego. Inżynieria Rolnicza, 1(110), 303–309.
- SZCZUKOWSKI S., KOŚCIK B., KOWALCZYK-JUŚKO A., TWORKOWSKI J., 2006. Uprawa i wykorzystanie roślin alternatywnych na cele energetyczne. Fragmenta Agronomica, 91, 3, 300–311.

- TAUBE F., HERMANN A., POTSCH E.M., 2007. What are the consequences of producing energy crops in the European Union for grassland renovation and new forage production systems? *Grassland Science in Europe*, 12, 463–471.
- WIBIG J., 2012. Warunki wilgotnościowe w Polsce w świetle wskaźnika standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12(2), 329–340.

Yielding and energy value in selected species of tall grass

A. BAŁUCH-MAŁECKA, M. OLSZEWSKA, J. ALBERSKI

Department of Grassland and Green Space Management, University of Warmia and Mazury in Olsztyn

Summary

The purpose of the experiment was to determine the yield and energy value of tall grass biomass according to different doses of nitrogen fertilization. The yielding of the examined grasses was very various in years and depended on weather conditions, especially on the amount of rainfall. The highest annual yield was obtained in the third year (2010) when two harvests collected and favorable weather conditions were recorded. The dry matter yield ranged from 7.77 t ha⁻¹ (*Dactylis glomerata*) to 9.26 t ha⁻¹ (*Bromus inermis*). Average yields in three years of research varied from 5.91 up to 7.3 tons of dry matter per ha. Significantly highest yield was recorded for *Bromus inermis*. The application of nitrogen fertilization significantly influenced obtained biomass, except 2008 year. Considering average nitrogen application for the species and years of research, results showed that 120 kg N ha⁻¹ caused significant yield increase, while yield increase in dose of 180 kg N ha⁻¹ resulted in further increase, however the difference wasn't significant. The studied grass species differ significantly in energy characteristic and chemical composition. Significantly highest heat of combustion and calorific value was recorded for *Arrhenatherum elatius*. It was similar to the heat of combustion of *Salix* spp., but higher than *Sida hermaphrodita*. Among examined grasses, in *Bromus inermis* measured of highest level of carbon and low content of crude ash as well as very low content of sulfur.

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Dr Anna Bałuch-Malecka

Katedra Łąkarstwa i Urządzania Terenów Zieleni

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ul. Plac Łódzki 1

10-718 Olsztyn

tel. 89 523 35 64, fax 89 523 34 93

e-mail: anna.baluch@uwm.edu.pl