

# Wpływ bioodpadu z pofermentu biogazowni na plonowanie oraz skład chemiczny traw wieloletnich

Influence of waste from digestate of biogas plant on yielding and chemical composition of perennial grasses

Danuta Martyniak, Barbara Wiewióra , Grzegorz Żurek

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05-870 Błonie

 b.wiewiora@ihar.edu.pl

Celem badań była ocena przydatności odpadu z pofermentu biogazowni jako nawozu organicznego do zastosowania w uprawie traw wieloletnich na cele energetyczne. Analizy dotyczyły porównania efektywności nawożenia organiczną substancją odpadową, uzyskaną z pofermentu biogazowni (dawki: 2, 4 i 6 t·ha<sup>-1</sup>) z tradycyjnie stosowanym nawożeniem mineralnym NPK (w kg·ha<sup>-1</sup> 100 N, 100 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 K<sub>2</sub>O). Materiał do badań stanowiły cztery gatunki traw wieloletnich: kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea* Schreb.), kostrzewa łąkowa (*F. pratensis* Huds.), życica trwała (*Lolium perenne* L.) oraz perz wydłużony (*Elymus elongatus* L.). Doświadczenie polowe założono w Radzikowie, na glebie kl. IV, średniozwięzłej, a pomiary dotyczyły wigoru, wysokości roślin oraz plonu i składu chemicznego uzyskanej biomasy. Czteroletnie badania prowadzono w latach 2016-2019. Wyniki doświadczenia wskazują, że efekt plonotwórczy jest widoczny tylko w pierwszym i drugim roku użytkowania badanych traw wieloletnich i zależy zastosowanego nawożenia oraz jego dawki. Ponadto stwierdzono wpływ zastosowanego nawożenia organicznego na wzrost zawartości jonów żelaza w biomasie życicy trwałej w drugim roku uprawy. Równocześnie nie obserwowano różnic w zawartości pozostałych badanych mikro- i makroelementów (N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Mn, Zn, B) oznaczanych w biomasie badanych traw w zależności o poziomu zastosowanego nawożenia.

**Słowa kluczowe:** biomasa, bioodpady, efektywność nawożenia, nawóz organiczny, poferment, plon biomasy, trawy wieloletnie

The aim of the research was to assess the usefulness of waste from the biogas plant digestate as an organic fertilizer used in the cultivation of perennial grasses for energy purposes. The analyzes concerned the comparison of the effectiveness of fertilization with examined organic matter (2, 4 and 6 t·ha<sup>-1</sup>), obtained from the digestate of the biogas plant, with the traditionally used mineral fertilization NPK (in kg ha<sup>-1</sup> 100 N, 100 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 K<sub>2</sub>O). The research material consisted of selected species of perennial grasses: tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.), meadow fescue (*F. pratensis* Huds.), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and tall wheatgrass (*Elymus elongatus* L.). The field experiment was set up in Radzików, on soil class IV, medium-compact, and the observations concerned vigor, plant height and chemical composition and biomass yield. The four-year study was conducted in 2016-2019. The results of the experiment indicate that the effect of yielding for the applied granulate is visible only in the first and second year of use of the tested perennial grasses and depends on the applied fertilization and its dose. In addition, the effect of applied organic fertilization on the increase in the content of iron ions in perennial ryegrass biomass in the second year of cultivation was found. At the same time, no differences were observed in the content of the remaining micro- and macro-elements (N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Mn, Zn, B) determined in the biomass of the tested grasses, depending on the level of fertilization applied.

**Key words:** biomass, biowaste, fertilization efficiency, organic fertilizer, biogas plant digestate, perennial grasses, yielding

## Wstęp

Jednym z zabiegów przyczyniających się do intensyfikacji rolnictwa jest nawożenie, które może być stosowane w formie organicznej, bądź mineralnej. Do form organicznych nawozu możemy zaliczyć również odpady (inaczej bioodpady), czyli surowce uboczne pochodzące z przetwórstwa rolno-spożywczego, pielęgnacji terenów zieleni i parków, a także odpowiednio ustabilizowane odpady z zakładów przetwórstwa spożywczego. Mogą one być wykorzystywane do nawożenia lub rekultywacji gleb zubożałych i zdewastowanych jako cenne źródło masy organicznej (Jadczyzyn i Ochnal, 2010). Składniki pokarmowe zawarte w odpadach organicznych, stanowią cenny surowiec do użyzniania gleb, głównie poprzez zwiększenie ilości próchnicy (Kuś, 2015). Coraz więk-

sza produkcja odpadów, zmniejszająca się powierzchnia niezbędna do ich składowania i negatywne oddziaływanie wysypisk na stan przyrody, stanowią coraz większe problemy środowiskowe. W Polsce, co roku wytwarzamy około 12 mln ton odpadów (GUS, 2018), które w większości trafiają na składowiska i nie są w żaden sposób zagospodarowane. Na mocy Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2008/98/WE z 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów, Polska do 2020 roku była zobligowana do ograniczenia składowania odpadów do 35% oraz osiągnięcia co najmniej 60% oraz 55% recyklingu, jak również znaczącego zmniejszenia ich wytwarzania (Zębek, 2018). Szacuje się, że ilość odpadów wykorzystywanych na cele rolnicze w Polsce nie przekracza kilku procent, zaś reszta jest składowana w postaci przyzmi i hałd.

Jednym ze sposobów na racjonalne wykorzystanie odpadów organicznych jest zastosowanie ich w uprawie roślin na cele nieżywnościowe. Efektywność procesu pozyskiwania energii z biomasy jest wypadkową jej ilości oraz jakości, która z kolei zależy od zawartości wody (wilgotności) oraz składu chemicznego. Ten z kolei zależy od różnych czynników, wśród których należy wymienić m.in.: rodzaj biomasy (gatunek rośliny lub jej część) oraz zastosowane w uprawie nawozy (Vassiliev i in. 2010, 2012). Istnieje zatem uzasadniona obawa iż zastosowanie niestandardowego nawozu organicznego może przyczynić się do niestandardowej zmiany składu chemicznego biomasy.

Spośród wielu gatunków traw wieloletnich przydatnych do uprawy w Polsce, istnieją takie, które spełniają podstawowe kryteria przydatności do uprawy również z przeznaczeniem uzyskanej biomasy na cele energetyczne. Gatunki takie jak np. kostrzewa trzcinowata (*Festuca arundinacea* Schreb.) czy perz wydłużony (*Elymus elongatus* L.) posiadają już udokumentowane charakterystyki jakości biomasy, zarówno w procesie spalania jak i produkcji biogazu (Żurek i Martyniak, 2012; Mast i in., 2014; Kulig i in., 2015; Lalak i in., 2016; Dickeduisberg i in., 2017; Martyniak i in., 2017; Przybysz i in., 2019). Z kolei inne gatunki,

bardzo powszechne na użytkach zielonych takie jak np. życica trwała (*Lolium perenne* L.) i kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.) nie zostały jeszcze dostatecznie scharakteryzowane z perspektywy wykorzystania na cele niepastewne.

Celem pracy była ocena wpływu nawożenia granulatem nawozowym z pofermentu biogazowni na plon biomasy oraz skład chemiczny biomasy wybranych traw wieloletnich.

## Material i metody

Materiał do badań stanowiły gatunki traw wieloletnich: kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea* Schreb.) ‘Barolex’, kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.) ‘Pasja’, życica trwała (*Lolium perenne* L.) ‘Baronka’ oraz perz wydłużony (*Elymus elongatus* L.) ‘Bamar’. Odmiany te zostały zastosowane również w innych doświadczeniach, realizowanych w latach 2015-2020 w ramach Programu Wieloletniego IHAR-PIB, w zadaniu 2.11 pt. „Weryfikacja i optymalizacja metod i systemów upraw polowych roślin na cele nieżywnościowe.”

W opisywanym doświadczeniu zastosowano nawożenie granulatem z pofermentu biogazowego (tab. 1), w dawkach: 2, 4 i 6 t·ha<sup>-1</sup> oraz nawożenie mineralne w kg·ha<sup>-1</sup>: 100 N, 100 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz 120 K<sub>2</sub>O jako kontrola.

**Tabela 1**  
**Table 1**

**Skład chemiczny granulatu nawozowego uzyskanego z pofermentu biogazowni**  
**Chemical composition of fertilizer granulate obtained from biogas digestate**

Parametr/Parameter	Jednostka/Unit	granulowany nawóz na bazie pofermentu z biogazowni/granulated fertilizer based on digestate from biogas plants
pH		12,67
sucha masa/dry weight		76,39
sucha masa organiczna/ dry organic matter	[%]	25,7
azot/nitrogen (N)		0,68
azot amonowy/ammonium nitrogen	[mg·l <sup>-1</sup> ]	0,88
fosfor/phosphorus (P)		0,46
potas/potassium (K)		3,49
magnez/magnesium (Mg)	[%]	0,83
siarka/sulfur (S)		0,89
wapń/calcium (Ca)		16,05
rtęć/mercury Hg < 2 mg		<0,1
mangan/manganese Mn		671
nikiel/nickel Ni < 60 mg		18,03
kadm/cadmium Cd (< 5 )		3,16
chrom/chrome Cr (<100 mg·kg <sup>-1</sup> suchej masy)		31,32
olów/lead Pb <140		27,63
skand/scand Sc	[mg·kg <sup>-1</sup> ]	0,88
stront/strontium Sr		215
cynk/zinc Zn		n.o.
miedź/copper Cu		56
żelazo/iron Fe		5065
glin/aluminum Al		4078

Doświadczenie polowe założono metodą losowanych bloków, w jesieni 2015 roku w Radzikowie, na glebie kl. IV, średniozwięzłej, której szczegółowa charakterystyka została zawarta w tabeli 2. W ramach prowadzonych badań przeprowadzono obserwacje roślin w polu: wigoru, ocenianego w fazie pełni kłoszenia w skali 1-9 (gdzie 9 oznaczało najwyższy wigor roślin), wysokości roślin, mierzonej w fazie pełni kwitnienia dla 5

roślin na poletku oraz plonu suchej masy, określonego poprzez zważenie plonu z poletka, oznaczeniu suchej masy i wyrażeniu w  $t \cdot ha^{-1}$ . Powyższe obserwacje i pomiary prowadzono przez 4 kolejne lata użytkowania. Warunki pogodowe, panujące w trakcie realizacji doświadczenia, scharakteryzowano zgodnie z odczytami z automatycznej stacji meteorologicznej, zlokalizowanej w Radzikowie, ok. 300 m od pola doświadczalnego (tab. 3).

Tabela 2  
Table 2

Średnie wartości parametrów fizyko-chemicznych prób gleby w Radzikowie  
Average values of physical and chemical parameters of soil samples in Radzików

Granulometria – zawartość frakcji [%] Granulometry – fraction content [%]				Subst.org. /organic subs. [%]	Zasolenie/ Salinity [g·KCl <sup>-1</sup> ]	pH w/in H <sub>2</sub> O	Azot/Nitrogen (mg·l <sup>-1</sup> gleby)		
2,0-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,002 mm	<0,002 mm				Azotan/ Nitrate N-NO <sub>3</sub>	Amon./ Ammonium N-NH <sub>4</sub>	Razem/ together
53,9	24,3	18,3	3,5	1,1	0,2	5,8	12,5	14,3	26,8
Zawartość makro- i mikroskładników (mg·l <sup>-1</sup> gleby) Content of macro- and micronutrients (mg·l <sup>-1</sup> of soil)									
P	K	Ca	Mg	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	B
150,2	153,3	608,9	55,5	15,8	2,4	72,4	8,0	5,6	0,1

Tabela 3  
Table 3

Zestawienie danych meteorologicznych dla okresu badań  
Meteorological data for the period of experiment

Miesiąc /Month	Lata/years										Wielolecie / Normal value	
	2015		2016		2017		2018		2019		1981-2000	
	T [°C]	P [mm]	T [°C]	P [mm]	T [°C]	P [mm]	T [°C]	P [mm]	T [°C]	P [mm]	T [°C]	P [mm]
III	5,3	30,2	4,2	38,4	6,1	50,8	0,8	16,4	6,4	34,1	2,9	23,8
IV	8,4	38,0	9,7	31,4	7,6	58,0	13,5	26,0	10,4	3,3	8,9	30,0
V	13,5	62,6	16,0	31,6	14,6	57,0	14,6	57,0	13,7	95,3	14,8	51,4
VI	17,5	25,2	19,5	54,6	18,4	126,6	19,3	25,2	22,8	40,8	17,4	60,0
VII	20,0	36,8	19,8	89,8	19,0	70,0	21,1	80,0	19,1	53,2	19,6	74,7
VIII	22,6	4,8	18,9	46,0	19,6	35,6	20,9	34,4	20,76	37,4	18,9	50,8
IX	15,3	31,4	16,1	9,0	14,1	153	16,1	34,0	14,6	74,4	13,7	41,5
Średnia/mean	14,7	229,0	14,9	300,8	14,2	551,0	15,2	257,4	15,4	338,5	13,7	332,3

Objaśnienie: T – średnia temperatura powietrza, P – suma opadów / Explanation: T – mean air temperature, P – total precipitation

W drugim roku doświadczenia, w fazie pełni kłoszenia poszczególnych gatunków pobrano próby biomasy z poszczególnych poziomów nawożenia (po 3 próby na wariant i na gatunek) i przekazano je do analizy na zawartość makroelementów (azotu, fosforu, potasu, oraz boru, miedzi, manganu, żelaza i cynku do Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Warszawie.

Analizy statystyczne zostały wykonane za pomocą pakietu STATISTICA® ver. 12 [StatSoft,

Inc. (2014). STATISTICA, version 12. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)]. Doświadczenie potraktowano jako jednoczynnikowe (nawożenie na 4 poziomach) z uwagi na konieczność ukazania dynamiki obserwowanych cech w kolejnych latach oraz wzajemnego różnicowania badanych odmian. O istotności różnicy pomiędzy średnimi wnioskowano z prawdopodobieństwem co najmniej 95%.

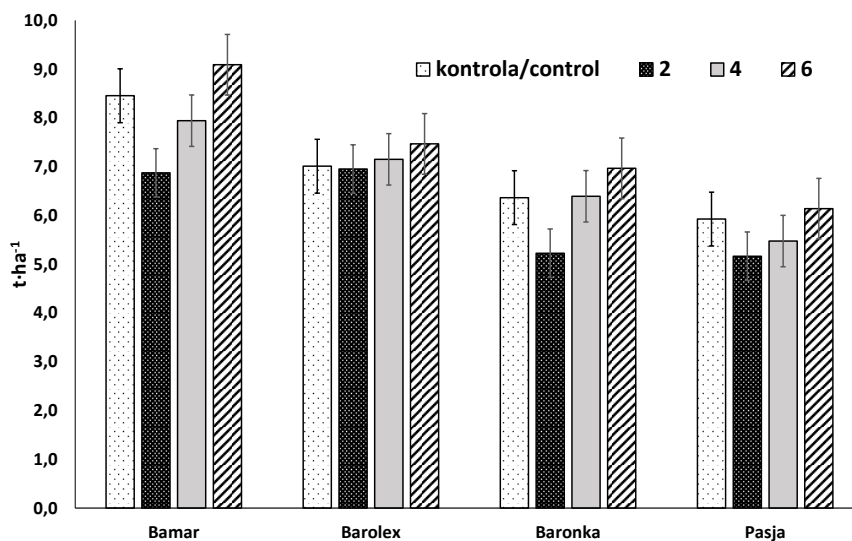
## Wyniki i dyskusja

Sezony wegetacyjne w okresie badań były cieplejsze od średniej z wielolecia, średnio od 0,5°C (2017) do 1,7°C (2019). Relatywnie wysokim temperaturom towarzyszyły okresy opadów niższych od średniej wielolecia: w roku 2015 – okres ten przypadał od czerwca do września, w roku 2016 – były to miesiące: maj, czerwiec oraz sierpień i wrzesień, w 2018 – cały sezon oprócz maja i lipca oraz w 2019 – cały sezon, bez marca, maja i września.

Temperatura i opady są jednymi z najważniejszych czynników wpływających na plon i jego jakość, ponieważ bezpośrednio wpływają na wzrost roślin oraz koncentrację składników pokarmowych w tkankach roślinnych (White, 1985). Ponadto zarówno temperatura, jak i wilgotność gleby wpływają pośrednio na parametry biomasy poprzez regulację obiegu składników pokarmowych w glebie (Buttler i in., 2019; Meisser i in., 2019; Mariotte i in., 2020). Stwierdzono również, że opady są czynnikiem silniej modyfikującym plon niż temperatura, zwłaszcza w drugim roku pełnej wegetacji traw, co może być związane z większą ewapotranspiracją w okresie letnim, kiedy przypada optimum przyrostu biomasy (Perotti i in. 2021).

Wykonane analizy statystyczne wigoru oraz wysokości nie wykazały istotnych różnic, wskazujących na wpływ zastosowanego nawożenia na te cechy (tab. 4). Jedynie w przypadku wysokości roślin odmiany perzu wydłużonego ‘Bamar’ mierzonej w roku 2016, stwierdzono istotnie wyższe wartości dla roślin rosnących w warunkach nawożenia mineralnego oraz najwyższej dawki granulatu (6 t·ha<sup>-1</sup>).

Uzyskane wyniki plonowania badanych odmian traw wieloletnich wskazują, że średni plon suchej masy z 4 lat doświadczenia, zależał od zastosowanego nawożenia i wahał się od 5,2 t·ha<sup>-1</sup> dla życicy ‘Baronka’ i kostrzewy ‘Pasja’ (przy nawożeniu organicznym 2 t·ha<sup>-1</sup>) do 9,1 t·ha<sup>-1</sup> dla perzu ‘Bamar’ (przy nawożeniu organicznym 6 t·ha<sup>-1</sup>) (rys. 1). Szczegółowe dane zawarte w tabeli 4, potwierdzają istotne zróżnicowanie w plonie suchej masy w zależności od zastosowanego nawożenia w pierwszym i drugim roku użytkowania. Jedynie w przypadku odmiany Bamar relacja ta była zauważalna również w trzecim roku użytkowania.



Rys. 1 Średnie wartości plonu suchej masy badanych odmian traw wieloletnich z lat 2015-2019 w zależności od zastosowanej dawki nawozu organicznego. Pionowe kreski – błędy standardowe.

Fig. 1. Average values of dry matter yield of the tested perennial grass varieties from 2015-2019 depending on the dose of organic fertilizer applied. Vertical bars – standard errors.

Krauze i Bartnik (1999) w swoich badaniach dotyczących różnych form nawożenia organicznego wskazują, że nawozy organiczne są wolnodziałające, ale z uwagi na wiele zawartych w nich składników dostarczają roślinom wszystkich nie-

zbędnych makro- i mikroelementów, zapewniając optymalne plonowanie oraz dobrą jakość roślin.

Nawożenie jest czynnikiem decydującym o wielkości uzyskiwanych plonów, a niedostatek tradycyjnego nawozu organicznego, jakim jest

Tabela 4  
Table 4

**Zróżnicowanie wigoru, wysokości roślin oraz plonu suchej masy w zależności od zastosowanego nawożenia i roku użytkowania badanych traw**  
**Differences in vigour, plant height and dry matter yield depending on the applied fertilization and the year of use of the tested grasses**

Odmiana / Cultivar	Nawożenie / Ferti- lization (t·ha <sup>-1</sup> )	Wigor (1-9) / vigour (1-9 scale)					Wysokość roślin / plant height (cm)					Plon s.m. / yield in dry matter (t/ha)				
		2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
BAMAR	NPK	9,0 a	8,0 a	8,0 a	7,5 a	65,0 a	151,0 a	165,0 a	128,4 a	8,1 b	10,5 a	9,8 b	5,4 a			
	2	6,4 a	8,0 a	8,5 a	8,0 a	40,0 b	145,0 a	148,0 a	125,3 a	8,0 b	8,0 b	6,6 c	4,9 a			
	4	7,1 a	9,0 a	9,0 a	8,0 a	45,0 b	150,0 a	151,0 a	127,5 a	8,8 ab	8,8 b	9,1 b	5,1 a			
	6	9,0 a	9,0 a	9,0 a	8,5 a	60,0 a	146,0 a	148,0 a	124,1 a	10,0 a	10,0 a	11,0 a	5,4 a			
Ist. różnicy/Signif. of difference		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	**	n.i.	n.i.	n.i.	**	**	*	n.i.			
BAROLEX	NPK	8,4 a	8,0 a	8,0 a	7,0 a	70,0 a	143,0 a	144,0 a	140,0 a	9,3 b	12,0 a	4,2 a	2,5 a			
	2	6,5 a	7,0 a	7,5 a	7,5 a	40,0 a	122,0 a	120,0 a	115,2 a	9,4 b	9,4 c	5,2 a	3,8 a			
	4	7,3 a	7,0 a	7,0 a	7,5 a	50,0 a	125,0 a	129,0 a	125,0 a	10,1 a	10,1 b	4,4 a	4,0 a			
	6	8,2 a	9,0 a	8,3 a	8,0 a	60,0 a	140,0 a	139,0 a	139,5 a	10,7 a	10,8 b	4,5 a	3,9 a			
Ist. różnicy/Signif. of difference		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	**	**	n.i.	n.i.			
BARONKA	NPK	8,2 a	5,0 a	5,0 a	6,5 a	66,0 a	78,0 a	77,5 a	66,3 a	12,1 a	8,8 c	2,7 a	1,9 a			
	2	7,1 a	4,0 a	4,0 a	5,0 a	40,0 a	75,0 a	75,4 a	63,8 a	8,8 c	9,6 bc	1,7 a	0,8 a			
	4	8,5 a	5,0 a	5,5 a	5,5 a	50,0 a	84,0 a	79,5 a	84,0 a	9,7 b	11,1 b	2,8 a	2,0 a			
	6	8,5 a	5,0 a	5,0 a	5,5 a	60,0 a	75,0 a	75,4 a	75,0 a	11,0 ab	12,1 a	2,7 a	2,1 a			
Ist. różnicy/Signif. of difference		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	**	**	n.i.	n.i.			
PASJA	NPK	8,4 a	6,0 a	6,0 a	6,5 a	60,0 a	107,0 a	105,4 a	91,0 a	8,2 b	12,3 a	1,4 a	1,8 a			
	2	6,5 a	6,0 a	6,0 a	6,5 a	30,0 a	106,0 a	104,5 a	90,1 a	8,4 b	8,4 b	1,6 a	2,3 a			
	4	7,2 a	6,0 a	6,5 a	6,0 a	45,0 a	105,0 a	105,2 a	89,3 a	8,9 b	8,9 b	1,7 a	2,4 a			
	6	8,1 a	7,0 a	7,0 a	7,0 a	50,0 a	100,0 a	100,1 a	85,0 a	11,0 a	11,0 ab	1,2 a	1,4 a			
Ist. różnicy/Signif. of difference		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	**	**	n.i.	n.i.			

Istotność różnicy /Significance of difference: \*\* - 99%, \* - 95%, n.i. – różnica nieistotna / insignificant difference  
 a, b, c – grupy jednorodnie / homogenous groups

Nawożenie: NPK, 2, 4, 6 – ilość ton granulatu nawozowego na 1 ha uprawy / Fertilization: NPK, 2, 4, 6 - amount of tons of fertilizer granulate per 1 ha of cultivation

obornik, skłania do poszukiwania innych źródeł materii organicznej (Jabłońska-Ceglarek i Franczuk, 2002). Ponadto stosowanie nawozów organicznych (słoma, liście buraka, osad pofermentacyjny z biogazowni, nawozy zielone itp.) ma wpływ na przyrost zasobów glebowej materii organicznej (Kuś, 2015). Zastosowanie badanego w doświadczeniu granulatu nawozowego uzyskanego z pofermentu biogazowni istotnie wpłynęło na plon suchej masy badanych odmian i gatunków traw, jednak efekt plonotwórczy był widoczny tylko w dwóch latach od zastosowania nawozu. W literaturze dostępnych jest wiele prac, które mówią o pozytywnym wpływie nawożenia organicznego na wzrost i plonowanie wielu gatunków roślin, jednak koncentrują się one zwykle na oborniku, gnojowicy, osadach ściekowych, oraz coraz częściej na wzbudzających zainteresowanie bionawozach powstałych na bazie biologicznie aktywnych mikroorganizmów (Nowicka i Karczmarczyk, 1989; Shen, 1997; Kurek i in., 2004; Sundara i in., 2002; Kalembasa i in., 2006). We wszystkich tych badaniach autorzy podkreślają pozytywny wpływ ocenianych substancji organicznych na kiełkowanie, wzrost roślin czy plonowanie, jednak nie zawsze jest on bardziej korzystny od nawożenia mineralnego NPK. Wyniki prezentowanych w pracy badań również to potwierdzają, a poza tym podkreślić należy, że w żadnym przypadku nie jest to prosta zależność pomiędzy zastosowanym nawożeniem, a kondycją i plonowaniem roślin. Efekt końcowy, jakim jest wysoki ilościowo i jakościowo plon, zależy od wielu innych czynników np. warunków pogodowych w czasie wegetacji czy odporności roślin na choroby i szkodniki (Gładyszak i Boróweczak, 1996; Wyczling i in., 2005).

## Literatura

- Buttler A., Mariotte P., Meisser M., Guillaume T., Signarbieux C., Vitra A., Preux S., Mercier G., Quezada J., Bragazza L., Gavazov K.. 2019. Drought-induced decline of productivity in the dominant grassland species *Lolium perenne* L. Depends on soil type and prevailing climatic conditions. *Soil Biol. Biochem.*, 132: 47-57, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.01.026>.
- COBORU. 2013. Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych. Trawy pastewne 2012 (kostrzewa czerwona, kostrzewa łąkowa, kostrzewa trzcinowa, kupkówka pospolita, życica trwała). Nr. 100, Wyd. Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, 65/2013, 350: 1-80.
- Dickeduisberg M., Laser H., Tonn B., Isselstein J. 2017. Tall wheatgrass (*Agropyron elongatum*) for biogas production: crop management more important for biomass and methane yield than grass provenance. *Ind. Crops Prod.*, 97: 653-663.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2008/98/WE z 19 listopada 2008 w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
- Gładyszak S., Boróweczak F. 1996. Wpływ pogody, deszczowania i nawożenia azotowego na plony ziemniaków w wieloletnich doświadczeniach w warunkach Wielkopolski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 438: 53-60.
- Główny Urząd Statystyczny. 2018. Odpady komunalne i utrzymanie czystości i porządku w gminach w 2017 roku.
- Jabłońska-Ceglarek R., Franczuk J. 2002. Alternatywne formy nawożenia organicznego w uprawie kapusty głowiastej białej. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.*, 1 (1): 45-54.
- Jadczyszyn T., Ochnal P. 2010. Rolnicze wykorzystanie odpadów w świetle przepisów prawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, zesz. 25: 81-88.
- Kabata-Pendias A., Szteke B. 2012. Pierwiastki śladowe w geo- i biosferze. Wydawnictwo IUNG, Puławy, s. 270.
- Kalembasa D., Malinowska E., Marek Siewniak M. 2006. Wpływ nawożenia na plonowanie wybranych gatunków wierzby krzewiastej. *Acta Agrophys.*, 8 (1): 119-126.
- Krauze A., Bartnik W. 1999. Wpływ różnych form nawożenia organicznego i mineralnego na plony i stan żywności gleby w 4-półowym zmianowaniu. *Zesz. Prob. Post. Nauk. Rol.* 467: 215-223.
- Kulig R., Skonecki S., Michałek W., Martyniak D., Piekarski W., Różyło R. 2015. The compaction process of *Andropogon gerardii* in terms of the production of ecological solid fuel. *Pol. J. Environ. Stud.*, 24 (6): 2473-2477.

Skład chemiczny biomasy badanych gatunków nie wskazywał na szczególne oddziaływanie zastosowanego nawożenia (tab. 5). Jedynie w przypadku odmiany życicy trwałej 'Baronka' stwierdzono wzrost zawartości jonów żelaza w biomacie w miarę wzrostu dawki granulatu, aczkolwiek stwierdzone wartości mieszczą się w przedziale wartości uważanych za typowe dla traw (od 60 do 140 mg·kg<sup>-1</sup> suchej masy) (Kabata-Pendias i Szteke, 2012). Poza tym uzyskane średnie wartości zawartości pierwiastków nie przekraczają wartości przewidzianych normami dla biomasy zielonej przeznaczanej na cele energetyczne (PN-EN ISO 17225-6:2021-12). Wykorzystanie biomasy do produkcji np. peletu możliwe jest przy zawartości azotu do 1,5% oraz miedzi – do 20, a także cynku – do 100 mg na kg suchej masy. Normy nie definiują dopuszczalnej zawartości żelaza w tego typu biomacie.

## Podsumowanie

1. Nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanego nawożenia organicznego na wigor i wzrost roślin badanych odmian i gatunków traw wieloletnich.
2. Zastosowanie odpadowego nawozu organicznego miało istotny wpływ na zwiększenie plonowania badanych roślin, a różnice w plonie suchej masy były widoczne szczególnie w pierwszym i drugim roku użytkowania.
3. Stwierdzono wpływ poziomu nawożenia bioodpadu na wzrost zawartości jonów żelaza tylko w biomacie życicy trwałej w drugim roku uprawy, zaś u pozostałych badanych gatunków w składzie chemicznym nie obserwowano istotnych różnic.



- Kurek E., Niedźwiecki E., Protasowicki M., Słomka A., Ozimek E. 2004. Efekt zastosowania chińskiego bionawozu 4JUWEF C.B.I. na plon kukurydzy uprawianej na glebie lekkiej w warunkach Pomorza Zachodniego. Rocz. Glebozn. T. LV, nr 3: 121-128.
- Kuś J. 2015. Glebowa materia organiczna – znaczenie, zawartość i bilansowanie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 45 (19): 27-53.
- Lalak J., Kasprzycka A., Martyniak D., Tys J. 2016. Effect of biological treatment of *Agropyron elongatum* 'BAMAR' on biogas production by anaerobic digestion. Biore-source Technology, 200:194-200.
- Mariotte P., Cresswell T., Johansen M.P., Harisson J.J., Keitel C., Dijkstra F.A. 2020. Plant uptake of nitrogen and phosphorus among grassland species affected by drought along a soil phosphorus gradient. Plant Soil, 448: 121-132, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04407-0>.
- Martyniak D., Żurek G., Prokopiuk K. 2017. Biomass yield and quality of wild populations of tall wheatgrass [*Elymus elongatus* (Host.) Runemark]. Biomass & Bioenergy, 10: 21-29.
- Mast B., Lemmer A., Oechsner H., Reinhardt-Hanisich A., Claupein W., Graeff-Hönninger S. 2014. Methane yield potential of novel perennial biogas crops influenced by harvest date. Ind. Crops Prod. 58: 194–203.
- Meisser M., Vitra A., Deléglise C., Dubois S., Probo M., Mosimann E., Buttler A., Mariotte P. 2019. Nutrient limitations induced by drought affect forage N and P differently in two permanent grasslands. Agric. Ecosyst. Environ., 280: 85-94, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.027>.
- Nowicka S., Karczmarczyk S. 1989. Wpływ nawożenia mineralnego i organicznego na plonowanie roślin oraz na właściwości chemiczne i biologiczne gleby lekkiej. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 380: 259-267.
- Przybysz K., Małachowska W., Martyniak D., Boruszewski P., Kalinowska H., Przybysz P. 2019. Energies Production of Sugar Feedstocks for Fermentation Processes from Selected Fast Growing Grasses. Energies, 12: 3129.
- Perotti E., Huguenin-Elie O., Meisser M., Dubois S., Probo M., Mariotte P. 2021. Climatic, soil, and vegetation drivers of forage yield and quality differ across the first three growth cycles of intensively managed permanent grasslands. Europ. J. Agronom., 122: 126194, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126194>.
- PN-EN ISO 17225-6: 2014: Biopaliwa stałe. Specyfikacje paliw i klasy. Część 6 Klasy peletów nie drzewnych.
- Shen D. 1997. Microbial diversity and application of microbial products for agricultural purposes in China. Agric. Ecosys. Environ. 62: 237-245.
- StatSoft Inc. (2014) STATISTICA (data analysis software system), version 12. www.statsoft.com
- Sundara B., Natarajan V., Hari K. 2002: Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. Field Crop. Res. 77: 43-49.
- Vassilev S., Baxter D., Andersen L., Vassileva C.G. 2010. An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89: 913–933.
- Vassilev S., Baxter D., Andersen L., Vassileva C., Morgan T. 2012. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. Fuel, 94: 1–33.
- White L.M., 1985. Stand age, precipitation, and temperature effects on forage yield. J. Range Manag., 39 (1): 39-43.
- Wyczling D., Pańka D., Lenc L., Sadowski C. 2005. Wpływ ochrony fungicydami na zdrowotność i plon pszenicy ozimej. Acta Agrobot., 58 (2): 287-306.
- Zębek E. 2018. Zasady gospodarki odpadami w ujęciu prawnym i środowiskowym. Kortowski Przegląd Prawniczy Monografie (KPP Monografie) KPP, Olsztyn, s. 371.
- Żurek G., Martyniak D. 2012. Energia odnawialna z biomasy traw wieloletnich – perspektywy i bariery. W: Praca zbiorowa pod red. B. Mickiewicza, Najnowsze osiągnięcia z zakresu OZE wraz z przedstawieniem barier we wdrażaniu wyników badań do praktyki gospodarczej oraz sugestiami ich rozwiązań. Wyd. Feniks, Koszalin: 145-159.