



Słoma kukurydziana jako surowiec do produkcji biogazu¹

Leszek Styszko
Politechnika Koszalińska

Adam Majewski
Koppert Polska Sp. z o.o., Duchnice

1. Wstęp

W programach rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) zakłada się duże znaczenie technologii biomasowych. Możliwość taką stwarzają gminne agrocentra energetyczne, których podstawą działania będą biogazownie. Surowcem do produkcji biogazu jest biomasa, głównie rolnicza, a w tym kiszonka z kukurydzy [5, 6, 10, 12]. Biogaz pozyskiwany z celulozy jest paliwem drugiej generacji [9]. Biologiczna przeróbka słomy na biogaz jest trudniejsza niż kiszonki lub biomasy zielonej [8]. Trudność wynika z dużej zawartości w słomie suchej masy, dłuższego okresu fermentacji i mniejszej zawartości składników pokarmowych. Słoma, której coroczne zasoby są bardzo duże ma różny skład w zależności od gatunku rośliny, miejsca i technologii uprawy. Ocieplający się klimat oraz postęp w hodowli roślin spowodowały, że zaczęła wzrastać powierzchnia uprawy kukurydzy na ziarno, w tym także na północy Polski. Kukurydza ma wszechstronne zastosowanie. Może

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy

być także wykorzystywana jako roślina energetyczna w postaci ziarna lub kiszonki z całych roślin. Spotyka się też sugestie użytkowania skojarzonego kukurydzy w postaci wykorzystania ziarna jako paszy dla zwierząt, a słomy – dla potrzeb energetyki, głównie na biogaz. Jednakże takie wykorzystanie kukurydzy uwarunkowane jest zawartością w słomie suchej masy oraz składników odżywczych.

Celem badań była ocena znaczenia sezonów wegetacyjnych, miejscowości, dawek azotu i odmian w zmienności składu chemicznego słomy przy uprawie kukurydzy na ziarno na Pomorzu w latach 2002÷2006.

2. Materiał i metoda

Materiałem do analiz były wyniki doświadczeń ścisłych z uprawą kukurydzy w technologii ziarnowej wykonanych w latach 2002÷2003 i 2005÷2006 w trzech miejscowościach na Pomorzu (Wolinia k. Lęborka i Mścice k. Koszalina – III rejon uprawy kukurydzy oraz Mieszkowice k. Kostrzyna – II rejon) w gospodarstwach prywatnych. Doświadczenia zakładano na glebie IIIa-IVb klasy bonitacyjnej, metodą losowanych podbloków w układzie zależnym w trzech powtórzeniach, gdzie podblokami I rzędu były cztery do pięciu dawek azotu (0; 50; 100; 150 i 200 kg·ha⁻¹), a II rzędu – cztery do siedmiu odmian kukurydzy (tab.1). W serii z lat 2002÷2003 nie było obiektów z dawką 50 kg·ha⁻¹ N. Dodatkowo w tej serii każde poletko kukurydzy było zbierane w dwóch terminach (50% powierzchni w każdym terminie). Pierwszy termin zbioru przypadał na okres pojawienia się czarnej plamki na przyczepie ziarna, a drugi – w dwa tygodnie później. Każde poletko miało powierzchnię 32,64 m², a kukurydzę siano w II-III dekadzie kwietnia w rozstawie 75 cm x 16 cm (83300 roślin na hektarze). Nawożenie potasem (116 kg·ha⁻¹ K₂O) i fosforem (52 kg·ha⁻¹ P₂O₅) stosowano przed siewem. Chwasty zwalczano przed wschodami preparatem Azoprim 50 WP (s.a atrazyna 50%) w dawce 2,0 kg·ha⁻¹.

Po zbiorze określono zawartość suchej masy i plon suchej masy słomy. Skład jakościowy słomy określono analizując zawartość w suchej masie: popiołu według normy PN/R-64795, białka metodą Kjeldahla według normy PN-75/R-04018, tłuszczu według normy PN-76/R-64753, włókna surowego metodą Henneberga-Stohmanna w modyfikacji Leppera oraz bezazotowych wyciągów według normy PN-75/R-64-790.

Tabela 1. Odmiany kukurydzy wysiane w badaniach**Table 1.** Varieties of maize sown in the research

Lp.	Odmiana	Wczesność FAO	Wczesność;	Lata;
1	PR39T68	200	wczesna	2005÷2006
2	LG 21.82	220	wczesna	2002÷2003
3	Banquise	220	wczesna	2005÷2006
4	LG 32.15	220	wczesna	2005÷2006
5	Prosna	230	wczesna	2002÷2003
6	LG 22.43	240	średniowczesna	2005÷2006
7	LG 32.52	240	średniowczesna	2002÷2003
8	LG 32.26	250	średniowczesna	2005÷2006

Dodatkowo w serii z lat 2005÷2006 oznaczono w suchej masie zawartość: magnezu metodą absorpcji atomowej na spektrofotometrze BUCK Scientific 210, wapnia, potasu i sodu – metodą emisji na spektrofotometrze BUCK Scientific 210 oraz fosforu – metodą wanadomolibdenową na kolorymetrze Spekol 11.

Wyniki opracowano statystycznie stosując analizę wariancji, rachunek regresji oraz metodę komponentów wariancyjnych dla modelu mieszanego. Jako czynniki losowe traktowano sezony wegetacyjne oraz miejscowości, a jako stałe – terminy zbioru, odmiany i dawki azotu. Istotność zależności weryfikowano testem F.

3. Wyniki i ich omówienie

W doświadczeniach uczestniczyły odmiany wczesne i średnio wczesne o FAO 190÷250 (tab. 1). Przebieg pogody w okresie wegetacji kukurydzy był zróżnicowany w latach badań (tab. 2÷4). Rok 2002 charakteryzował się większą ilością opadów (tab. 2) i niższą temperaturą powietrza (tab. 3) w okresie wegetacji kukurydzy niż inne lata.

W latach 2003, 2005 i 2006 spadło mniej opadów w okresie wegetacji, ale temperatura powietrza była wyższa. Przyjęto kryterium średniej wieloletniej temperatury powietrza z okresu maj-wrzesień do oceny warunków klimatycznych do uprawy kukurydzy na ziarno [4]. Warunki uprawy kukurydzy na Pomorzu w latach badań były następujące: graniczne (temperatura 14,5÷15,4°C) – Wolinia 2002 i Mścice 2005 rok, średnie (temperatura 15,5÷16,4°C) – Mieszkowice 2002 i 2005, Wolinia 2003 i Mścice 2006, korzystne (temperatura

16,5÷17,4°C) – Mieszkowice 2006 i bardzo dobre (temperatura >17,5°C) – Mieszkowice 2003.

Tabela 2. Opady w okresie maj-wrzesień w latach badań

Table 2. Precipitation during May-September in the years of research

Miejscowość	Rok	Opady [mm] w miesiącach					
		V	VI	VII	VIII	IX	suma
Mieszkowice	2002	74,9	97,9	66,8	114,6	204,6	559,1
	2003	19,6	1,2	129,4	71,5	23,9	245,6
	2005	83,7	44,5	85,1	51,7	45,7	310,7
	2006	60,9	45,2	13,9	206,6	60,4	387,2
Wolinia	2002	31,6	134,8	107,6	85,0	213,4	572,4
	2003	29,4	62,4	86,0	79,4	42,4	299,6
Mścice	2005	86,8	30,6	96,4	74,6	31,4	319,8
	2006	55,2	34,6	13,5	215,1	36,2	354,6

Tabela 3. Temperatura powietrza w okresie maj-wrzesień w latach badań

Table 3. Air temperature during May-September in the years of research

Miejscowość	Rok	Temperatura powietrza [°C] w miesiącach					
		V	VI	VII	VIII	IX	średnia
Mieszkowice	2002	14,6	16,3	17,2	19,6	11,3	15,8
	2003	16,0	21,5	19,9	19,4	15,6	18,5
	2005	13,7	16,1	19,4	17,5	15,5	16,4
	2006	12,9	15,6	21,8	18,0	17,6	17,2
Wolinia	2002	12,8	13,8	17,3	19,1	10,9	14,8
	2003	13,4	16,6	18,4	17,2	13,7	15,8
Mścice	2005	11,7	14,5	18,7	16,2	14,9	15,2
	2006	12,2	16,2	21,2	17,0	16,8	15,7

Charakterystykę warunków hydrotermicznych w latach 2002÷2006 przedstawiono przy pomocy współczynnika Sielianiowa [7] o postaci:

$$K = P/0,1\sum t \quad (1)$$

gdzie:

P – miesięczna suma opadów atmosferycznych w mm,

$\sum t$ – miesięczna suma temperatury powietrza >0°C.

Do interpretacji warunków hydrotermicznych przyjęto następujące przedziały współczynnika K: skrajnie suchy – $K \leq 0,4$; bardzo suchy – $0,4K \leq 0,7$; suchy – $0,7K \leq 1,0$; dość suchy – $1,0K \leq 1,3$; **optymalny** – **$1,3K \leq 1,6$** ; dość wilgotny – $1,6K \leq 2,0$; wilgotny – $2,0K \leq 2,5$; bardzo wilgotny – $2,5K \leq 3,0$ i skrajnie wilgotny $K > 3,0$. Za warunki ekstremalne przyjęto wartości K, które mieszczą się w przedziałach niższych od 0,7 (skrajnie suche i bardzo suche) oraz powyżej 2,5 (bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne).

Warunki skrajnie suche i suche wystąpiły w 2003 roku w Mieszkowicach w maju, czerwcu i wrześniu, w 2005 roku w Mścicach w czerwcu i wrześniu oraz w 2006 roku w lipcu w Mieszkowicach i Mścicach (tab. 4).

Tabela 4. Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa w okresie maj-wrzesień w latach badań

Table 4. Sielianinow hydrothermal coefficient during May-September in the years of research

Miejscowość	Rok	Współczynnik Sielianinowa w miesiącach					
		V	VI	VII	VIII	IX	średnia
Mieszkowice	2002	1,65	2,00	1,25	1,89	6,04	2,55
	2003	0,40	0,02	2,10	1,19	0,51	0,85
	2005	1,97	0,92	1,42	0,95	0,98	1,25
	2006	1,52	0,97	0,21	3,70	1,14	1,51
Wolinia	2002	0,80	3,26	2,01	1,44	6,53	2,78
	2003	0,71	1,25	1,51	1,49	1,03	1,20
Mścice	2005	2,39	0,70	1,66	1,49	0,70	1,40
	2006	1,46	0,71	0,21	4,08	0,72	1,44

Warunku bardzo wilgotne i wilgotne wystąpiły w 2002 roku w Wolini w czerwcu i wrzeniu oraz w Mieszkowicach we wrześniu oraz w 2006 roku w sierpniu w Mieszkowicach i w Mścicach (tab. 4). Stąd sezony wegetacyjne uznano za bardzo wilgotne w 2002 roku, suche i dość suche w 2003 roku, a dość suche do optymalnych w latach 2005 i 2006 (tab. 4).

Na plon słomy i zawartość w niej suchej masy najsilniejszy wpływ miały czynniki losowe związane z przebiegiem pogody w latach i miejscowościach, a spośród czynników stałych – odmiany (tab. 5 i 6). Przy

W stosunku do bezazotowych wyciągowych uzyskano różne wyniki w doświadczeniach.

W 2005 roku, gdy w suchej masie było więcej popiołu surowego i białka ogólnego, uzyskano również wyższą zawartość fosforu, wapnia i potasu, a mniej magnezu i sodu (tab. 9 i 10).

Tabela 7. Zmienność zawartości fosforu, wapnia, magnezu, potasu i sodu wyciągowych w suchej masie słomy w latach 2005÷2006

Table 7. Variability of content of phosphorus, calcium, magnesium, potassium and sodium lifting in the dry mass of straw in the years 2005-2006

Komponent wariacyjny	Struktura procentowa komponentów wariacyjnych				
	fosfor	wapń	magnez	potas	sód
Czynniki stałe	17,2	2,0	18,2	24,8	10,5
w tym:					
Dawki azotu [B]	17,2	0,0	5,9	15,3	0,0
Odmiany [C]	0,0	2,0	12,3	8,1	9,4
Współdz. BC	0,0	0,0	0,0	1,4	1,1
Czynniki losowe	82,8	98,0	81,8	75,2	89,5
w tym:					
Lata (L)	30,0	33,4	17,6	21,6	26,4
Miejscowości (A)	23,6	7,4	6,4	7,9	0,0
Współdz. AC	7,7	3,4	0,0	12,8	1,9
Pozostałe losowe	21,5	53,8	57,8	32,9	61,2
Suma	100	100	100	100	100

W miejscowości, gdzie uzyskano istotnie wyższe plony suchej masy słomy w obu doświadczeniach, uzyskano również wyższą zawartość w suchej masie białka ogólnego oraz fosforu i potasu, a mniejszą włókna surowego (tab. 5÷7).

W doświadczeniu z lat 2002÷2003 istotnie wyższe plony suchej masy słomy oraz wyższą zawartość w plonie suchej masy i bezazotowych wyciągowych było w II terminie zbioru (tab. 8). Dawki azotu istotnie różnicowały plon suchej masy i zawartość suchej masy w plonie oraz zawartość włókna surowego w suchej masie słomy w doświadczeniu z lat 2002÷2003 (tab. 8), a w doświadczeniu z lat 2005÷2006 dodatkowo białka ogólnego i tłuszczu surowego (tab. 9) oraz zawartość potasu (tab. 10). Najwyższe plony słomy uzyskano na dawce 100 kg·ha⁻¹ N (tab. 8) lub 200 kg·ha⁻¹ N (tab. 9), co zależało od

przebiegu pogody oraz badanego zestawu odmian. W obu doświadczeniach najwyższą zawartość suchej masy w słomie (37,0% i 38,2%) i włókna surowego (28,3% i 36,3%) stwierdzono na obiektach bez nawożenia azotem, a najniższą – na najwyższej dawce azotu (tab. 8 i 9).

Podwyższenie dawki azotu o $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ spowodowało w obu doświadczeniach spadek zawartości suchej masy o 3,6% i 3,0% oraz włókna surowego o 1,4% i 0,7% (tab. 8 i 9). W doświadczeniu z lat 2005÷2005 uzyskano dodatkowo najwyższą zawartość białka ogólnego w suchej masie słomy na obiektach nawożonych dawką $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ (5,77%), a tłuszczu surowego (0,97%) na obiektach z dawką $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ (tab. 9). Najwyższą zawartość magnezu w suchej masie słomy stwierdzono na obiektach z dawką $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ (1,152%), a najniższą – na obiektach bez nawożenia azotem (1,082%) (tab. 10).

Odmiany różniły się plonem suchej masy słomy oraz zawartością suchej masy w słomie, popiołu surowego, związków odżywczych i metali alkalicznych (tab. 8÷10). W badanym zestawie najwyższy plon słomy dała odmiana LG 22.52 – $6,75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 8) oraz LG 32.26 – $8,27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 9). Najwyższą zawartość suchej masy w słomie miała odmiana Prosna – 36,0% (tab. 8) oraz Banquise – 39,9% (tab. 9).

W doświadczeniu z lat 2002÷2003 (tab. 8) zawartości popiołu u odmian były następujące: najwyższe – LG 21.82 (6,96%) a najniższe – LG 22.52 (6,02%); białka ogólnego – najwyższe – Prosna (4,97%) a najniższe – LG 22.43 (4,47%) i włókna surowego – najwyższe LG 22.52 (28,3%) a najniższe – LG 21.82 (27,1%).

W doświadczeniu z lat 2005÷2006 (tab. 9) zawartości białka ogólnego u odmian były następujące: najwyższe – LG 32.15 (5,64%) a najniższe – LG 22.43 (5,18%); tłuszczu surowego – najwyższe LG 32.26 (0,98%) a najniższe – PT39T68 (0,86%), włókna surowego – najwyższe LG 22.43 (36,3%) a najniższe – LG 32.15 (35,2%) oraz bezazotowych wyciągowych – najwyższe LG 32.15 (44,4%) a najniższe – LG 32.26 i Banquise (43,4%).

Tabela 8. Plon słomy kukurydzy, zawartość suchej masy, popiołu surowego, białka ogólnego, tłuszczu surowego, włókna surowego i bezazotowych wyciągów w suchej masie słomy w latach 2002÷2003

Table 8. The yield of maize straw, dry matter content, crude ash, total protein, crude fat, crude fibre and nitrogenless liftings in the dry mass of straw in the years 2002-2003

Czynnik	Poziom	Plon [dt·ha ⁻¹] i zawartość w suchej masie [%]						
		plon słomy	sucha masa	popiół surowy	białko ogólne	tłuszcz surowy	włókno surowe	beazotowe wyciągowe
Rok	2002	6,84	38,5	5,99	4,14	0,82	28,6	50,0
	2003	4,81	30,9	6,73	5,32	1,77	26,4	51,4
	NIR _{0,05}	0,08 ***	0,4 ***	0,60 *	0,10 ***	0,24 **	0,3 ***	0,3 **
Miejscowości	Wolinia	5,75	34,3	6,39	4,65	1,26	27,9	50,7
	Mieszko-wice	5,91	35,1	6,32	4,82	1,33	27,1	50,7
	NIR _{0,05}	0,08 **	0,4 *	0,60	0,10 *	0,24	0,3 ***	0,3
Termin zbioru	I	5,75	34,3	6,55	4,76	1,35	27,5	50,4
	II	5,91	35,1	6,17	4,71	1,25	27,5	51,0
	NIR _{0,05}	0,08 **	0,4 *	0,60	0,10	0,24	0,3	0,3 **
Dawki azotu [kg·ha ⁻¹]	0	5,88	37,0	6,53	4,70	1,30	28,3	49,8
	100	5,95	34,1	6,25	4,39	1,21	27,8	50,9
	150	5,78	34,4	6,44	4,71	1,27	27,0	51,2
	200	5,69	33,4	6,23	5,16	1,41	26,9	50,9
	NIR _{0,05}	0,10 ***	0,5 ***	0,63	0,53	0,30	0,5 ***	1,2
Odmiany	LG 21.82	4,50	34,2	6,96	4,78	1,37	27,1	50,5
	LG 22.43	6,02	33,7	6,26	4,47	1,28	27,3	51,7
	Prosna	6,04	36,0	6,47	4,97	1,40	27,3	50,7
	LG 22.52	6,75	35,0	6,02	4,73	1,13	28,3	49,9
	NIR _{0,05}	0,15 ***	0,4 ***	0,39 **	0,31 *	0,28	0,8 *	1,3

Istotność przy poziomie ufności: * $\alpha = 0,05$; ** $\alpha = 0,01$; *** $\alpha = 0,001$

Tabela 9. Plonu słomy kukurydzy, zawartość suchej masy, popiołu surowego, białka ogólnego, tłuszczu surowego, włókna surowego i bezazotowych wyciągów w suchej masie słomy w latach 2005÷2006

Table 9. The yield of maize straw, dry matter content, crude ash, total protein, crude fat, crude fibre and nitrogenless liftings in the dry mass of straw in the years 2005-2006

Czynnik	Poziom	Plon [dt·ha ⁻¹] i zawartość w suchej masie [%]						
		plon słomy	sucha masa	popiół surowy	białko ogólne	tłuszcz surowy	włókno surowe	beazotowe wyciągowe
Rok	2005	5,78	31,1	7,55	6,01	0,90	35,6	40,8
	2006	6,49	42,9	6,01	4,84	0,93	36,2	46,3
	NIR _{0,05}	0,09 ***	0,6 ***	0,30* **	0,14 ***	0,04	0,2 ***	0,4** **
Miejscowości	Mścice	5,86	34,9	6,91	4,98	0,92	36,1	44,2
	Mieszko-wice	6,41	39,0	6,65	5,87	0,91	35,8	43,4
	NIR _{0,05}	0,09 ***	0,6 ***	0,30	0,14 ***	0,04	0,2 **	0,4
Dawki azotu [kg·ha ⁻¹]	0	5,67	38,2	6,77	5,09	0,94	36,3	43,8
	50	6,29	37,9	6,63	5,19	0,94	36,2	43,8
	100	6,07	37,1	6,84	5,44	0,88	35,9	43,9
	150	6,14	36,5	6,84	5,65	0,97	35,7	43,8
	200	6,50	35,2	6,80	5,77	0,85	35,6	43,8
	NIR _{0,05}	0,14 ***	0,9 ***	0,47	0,22 ***	0,06 *	0,2 ***	0,7
Odmiany	PR39T68	5,27	37,1	6,77	5,40	0,86	35,9	43,9
	LG 22.43	5,56	36,1	6,48	5,18	0,96	36,3	44,1
	LG 32.26	8,27	34,8	6,86	5,50	0,98	36,2	43,4
	Banquise	4,94	39,9	7,09	5,41	0,89	36,0	43,4
	LG 32.15	6,62	37,0	6,69	5,64	0,88	35,2	44,4
	NIR _{0,05}	0,30 ***	0,8 ***	0,44	0,19 ***	0,07 **	0,5 **	0,7 ***

Istotność przy poziomie ufności: ** $\alpha = 0,01$; *** $\alpha = 0,001$;

Tabela 10. Zawartość w suchej masie słomy fosforu, wapnia, magnezu, potasu i sodu wyciągowych w latach 2005÷2006**Table 10.** The content of phosphorus, calcium, magnesium, potassium and sodium liftings in the dry mass of straw in the years 2005-2006

Czynnik	Poziom	Zawartość w suchej masie słomy[%]				
		fosfor	wapń	magnez	potas	sód
Rok	2005	0,221	0,594	0,161	1,135	0,119
	2006	0,210	0,551	0,167	1,086	0,127
	NIR _{0,05}	0,003 ***	0,023 **	0,004 **	0,020 ***	0,006*
Miejsco- wość	Mścice	0,210	0,563	0,163	1,095	0,124
	Mieszko- wice	0,221	0,582	0,165	1,125	0,122
	NIR _{0,05}	0,003 ***	0,023	0,004	0,020 **	0,006
Dawki azotu [kg·ha ⁻¹]	0	0,213	0,572	0,161	1,082	0,123
	50	0,214	0,574	0,162	1,080	0,123
	100	0,216	0,575	0,162	1,110	0,123
	150	0,218	0,571	0,166	1,126	0,123
	200	0,218	0,571	0,168	1,152	0,124
	NIR _{0,05}	0,004	0,040	0,006	0,031 ***	0,009
Odmiany	PR39T68	0,216	0,584	0,161	1,078	0,129
	LG 22.43	0,216	0,585	0,169	1,096	0,122
	LG 32.26	0,216	0,583	0,163	1,125	0,121
	Banquise	0,216	0,589	0,160	1,118	0,123
	LG 32.15	0,215	0,522	0,166	1,133	0,120
	NIR _{0,05}	0,004	0,020 ***	0,004 ***	0,027 ***	0,004 ***

Istotność przy poziomie ufności: * $\alpha = 0,05$; ** $\alpha = 0,01$; *** $\alpha = 0,001$

Kukurydza bardzo silnie reaguje na warunki pogodowe i dlatego mało stabilnie plonuje w latach. Rejon Pomorza uznany został przez wielu autorów za niesprzyjający do uprawy kukurydzy na ziarno z powodu występowania niskich sum temperatur efektywnych niż w innych rejonach Polski [4] W okresie lat 2001÷2006 każdy sezon wegetacji charakteryzował się innymi warunkami hydrotermicznymi [2]. W badaniach własnych prowadzonych na Pomorzu wykazano najsilniejszy wpływ lat na zawartość suchej masy w słomie w obu

seriach, a przy plonie słomy tylko w serii z lat 2002÷2003. W serii z lat 2005÷2006 efekt lat ustępował efektowi odmian kukurydzy. Bardzo wysoki efekt odmian wyceniono przy zawartości w suchej masie słomy włókna surowego, białka ogólnego, tłuszczu surowego, magnezu i sodu.

Nawożenie azotem uznawane jest za czynnik intensyfikujący produkcję rolniczą. Najsilniejszy wpływ tego czynnika odnotowano przy zawartości białka ogólnego w suchej masie słomy kukurydzy w obu seriach kukurydzy. Duże znaczenia nawożenia azotem uzyskano także przy wpływie na zawartość suchej masy i włókna surowego w słomie w serii 2002÷2003, a w serii 2005÷2006 – przy włóknie surowym oraz zawartości fosforu i potasu w suchej masie. W literaturze najczęściej ocenia się wpływ nawożenia azotem na plon ziarna kukurydzy, pomijając całkowicie jego efekty na plon słomy i jej skład chemiczny [3]. W badaniach własnych plon słomy kukurydzy był najwyższy przy dawkach azotu 100÷200 kg·ha⁻¹. Dawki te obniżały zawartość suchej masy w słomie i włókna surowego, a podwyższały zawartość białka ogólnego. To spostrzeżenie może mieć znaczenie przy doborze odmian i technologii uprawy kukurydzy na ziarno przy jednoczesnym wykorzystaniu słomy do produkcji biogazu. Przy zakiszaniu słomy kukurydzianej do produkcji biogazu decydujące znaczenie ma zawartość suchej masy podczas zbioru kukurydzy (28÷35%) oraz dokładne jej pocięcie na odcinki 4÷6 mm [13].

Procesy przebiegające w fermentatorze biogazowi zbliżone są do tych, które mają miejsce w układzie pokarmowym przeżuwaczy. Dlatego bakterie metanowe reagują tak samo źle na błędy żywieniowe jak zwierzęta przeżuwające [11]. Największą produkcję metanu uzyskuje się przy określonej zawartości w podłożu fermentacyjnym białek, tłuszczu i węglowodanów oraz minimalnej ilości substancji inhibujących. Do inhibitorów fermentacji metanowej zalicza się: sód (6÷30 g·l⁻¹), potas (>3 g·l⁻¹), wapń (>2,8 g·l⁻¹ CaCl₂), magnez (2,4 g·l⁻¹ MgCl₂), jon amonowy (2,7÷10,0 g·l⁻¹), amoniak (0,15 g·l⁻¹), siarka (> 50 mg·l⁻¹ w H₂S; > 100 mg·l⁻¹ S²⁻; 160 mg·l⁻¹ Na₂S), metale ciężkie jako wolne (nikiel od 10 mg·l⁻¹, miedź od 40 mg·l⁻¹, chrom od 130 mg·l⁻¹, ołów od 340 mg·l⁻¹, cynk od 400 mg·l⁻¹) lub w formie węglanowej oraz rozgałęzione kwasy tłuszczowe (kwas izomasłowy w stężeniu od 50 mg·l⁻¹) [11]. Dlatego też analiza chemiczna podłoża ma duże znaczenie przy jego wykorzystaniu w produkcji biogazu.

Przy obecnie stosowanej technologii uprawy kukurydzy na ziarno część biomasy pozostaje na polu w postaci pociętych łodyg. Przy rosnących potrzebach biomasy na cele energetyczne możliwe jest skojarzone wykorzystanie uprawy kukurydzy w schemacie: ziarno paszowe oraz słoma jako surowiec do biogazowni [6, 13]. W omawianej technologii istnieją utrudnienia związane ze specyfiką potrzeb biogazowni w odniesieniu do jakości substratu. Wynikają one z zawartości suchej masy, substancji odżywczych, popiołu i jego oraz techniki zbioru. Najlepszej jakości substrat uzyskuje się z pocięcia łodyg na odcinki 4 do 6 mm przy zawartości 28÷35% suchej masy [13]. Uzyskanie takiej siewki ze słomy przy uprawie kukurydzy na ziarno na Pomorzu jest możliwe, pod warunkiem doboru odpowiedniej odmiany, zastosowanego nawożenia i terminu zbioru. Stąd przy skojarzonej produkcji kukurydzy należy zwracać uwagę na właściwości odmianowe [12]. Drugą barierą jest technologia zbioru. Istniejące maszyny pozwalają na zbiór kukurydzy albo na ziarno, albo na kiszonkę [1]. W skojarzonej technologii uprawy kukurydzy na ziarno brak jest kombajnów zbierających ziarno i tnących jednocześnie słomę na bardzo drobną siewkę. Skojarzona uprawa kukurydzy na ziarno na Pomorzu pozwala na jednoczesną produkcję ziarna paszowego oraz biomasy słomy dla biogazowni. Mieć ona będzie duże znaczenie dla programu „Biogazownia w każdej gminie” [6].

4. Wnioski

1. Skojarzona uprawa kukurydzy na Pomorzu na ziarno z wykorzystaniem słomy jako surowca do biogazowni pozwoliła wyprodukować przeciętnie $4,81 \div 6,84 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy słomy.
2. Na zawartość suchej masy w słomie kukurydzy i jej plon największy wpływ miały czynniki losowe związane z przebiegiem pogody w latach i miejscowościach oraz odmiany i dawki azotu.
3. Plon suchej masy słomy wzrastał różnie w seriach badań w miarę wzrostu dawki nawożenia azotem. W latach 2002÷2003 najwyższe plony słomy uzyskano na dawce $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$, a w latach 2005÷2006 na dawce $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$.

4. Najwyższą zawartość suchej masy oraz włókna surowego w słomie uzyskano na obiektach bez nawożenia azotem, a najniższą – na dawce $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N. Odwrotne zależności były przy zawartości białka ogólnego oraz magnezu w suchej masie słomy.
5. Słoma odmian kukurydzy różniła się zawartością suchej masy, popiołu, białka, tłuszczu i włókna surowego oraz bezazotowych wyciągów, a także metali alkalicznych.

Literatura

1. **Dulcet E.(red.):** *Podstawy agrotechnologii*. Wyd. Uczelniane UT-P w Bydgoszczy, ss. 233, 2007.
2. **Kurczyk Z.:** *Stres suszy*. Kukurydza 1(30),19-21, 2007.
3. **Kruczek A.:** *Efektywność nawożenia azotem kukurydzy uprawianej na ziarno w rejonie Wielkopolski*. Roczn. Nauk Rol. 112A (3-4), 183-198, 1997.
4. **Michalski T.:** *Podstawowe problemy agrotechniczne uprawy kukurydzy*. Biul. Inf. Inst. Zootech., 1, 5-18, 2001.
5. **Michalski T.:** *Czy produkcja bioenergii zagraża rynkowi żywności i pasz?* Wieś Jutra 3(128), 8-11, 2009.
6. **Michalski T.:** *Biogazownia w każdej gminie – czy wystarczy surowca*. Wieś Jutra 3(128): 8-11, 2009.
7. **Molga M.:** *Meteorologia rolnicza*. PWRiL Warszawa, 1986.
8. **Miksch K.:** *Biotechnologiczne wykorzystanie słomy*. <http://egie.pl/konwersatorium/agroenergetyka/biotechnologiczne-wykorzystanie-slomy>, 2006.
9. **Popczyk J.:** *Energia ze źródeł odnawialnych w małych i średnich gminach województwa śląskiego*. www.silesia.org.pl/upload_oze/J.Popczyk.pdf, 2008.
10. **Schattauer A., Weiland P.:** *Opis wybranych podłoży*. W: *Biogaz Produkcja Wykorzystanie*. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Leipzig, 109-125, 2005.
11. **Schattauer A., Weiland P.:** *Podstawy w zakresie wiedzy o fermentacji beztlenowej*. W: *Biogaz Produkcja Wykorzystanie*. Institut für Energetik und Umwelt GmbH Leipzig, 5-22, 2005.
12. **Styszko L., Majewski A.:** *Wpływ odmian, nawożenia azotem i lat na plon biogazu i metanu z uprawy kukurydzy na ziarno na Pomorzu*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol, 1, w druku, 2009.
13. **SYNGENTA Kukurydza NK na biogaz. Jakość się opłaca**. Wyd. Syngenta Seeds Warszawa, ss. 24, 2007.

Maize Straw as a Feedstock for Biogas Production

Abstract

Maize is versatile. It can also be used as an energy plant in the form of grain or silage made of whole plants. A combined use of maize in the form of maize grain used as animal feed, and straw - for the power, mainly on biogas is also suggested. However, such use of corn is limited by content of dry mass and nutrients in the straw.

The aim of this study was to assess the importance of growing seasons, locations, doses of nitrogen and variations in the variability of the chemical composition of straw during cultivation of grain maize in Pomerania.

Material for analysis were the results of strict experiments conducted in the years 2002-2003 and 2006-2005 in three locations (Wolinia near Lębork and Mścice near Koszalin – region III of maize cultivation and Mieszkowice near Kostrzyna – region II) in private farms. Experiments were established on soil of grade class IIIa-IVb, using method of randomized sub blocks in the dependent system in three repetitions, where level I sub blocks were four to five doses of nitrogen and level II – four to seven varieties of maize.

After harvesting, content of dry mass and dry mass yield of straw were determined. Qualitative composition of straw was determined by analysing following parameters in the dry mass of straw: ash, protein, fat, crude fiber and nitrogenless liftings.

Results of experiments show that the combined cultivation of maize grain in Pomerania with straw usage as raw material for production biogas allowed to produce average of 4.81-6.84 t·ha⁻¹ of straw dry mass. Randomness factors related with weather in years and locations, varieties and nitrogen doses had the biggest impact on the dry mass content in the maize straw and its yield.

Straw dry mass yield increased differently in the series of experiments with increasing doses of nitrogen fertilization. In the years 2002-2003 the highest straw yield was obtained at a dose of 100 kg·ha⁻¹ N, in the years 2005-2006 at a dose of 200 kg·ha⁻¹ N. The highest content of dry mass and crude fibre in the straw was obtained for objects with no nitrogen fertilization, and the lowest – at a dose of 200 kg·ha⁻¹ N. Inverse relationships were obtained at the contents of total protein and magnesium in the dry mass of straw. Straw of maize varieties differed in dry mass, ash, protein, fat and crude fibre and nitrogenless liftings, as well as alkali metals content.