

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Wpływ nawożenia na dostępność węglowodanów i wydajność procesu fermentacji alkoholowej surowców skrobiowych

*MAŁGORZATA GUMIENNA, ARTUR SZWENGIEL, KATARZYNA SZAMBELAN, MAŁGORZATA LASIK,
ZBIGNIEW CZARNECKI*

**UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W POZNANIU, WYDZIAŁ NAUK O ŻYWNOSCI I ŻYWIENIU,
INSTYTUT TECHNOLOGII ŻYWNOSCI POCHODZENIA ROŚLINNEGO,
ZAKŁAD FERMENTACJI I BIOSYNTETY**

Słowa kluczowe: bioetanol, kukurydza, pszenżyto, żyto, nawożenie

STRESZCZENIE

W badaniach wykorzystano 27 próbek surowca (żyto, pszenżyto, kukurydza) pochodzącego z różnych lokalizacji o zmiennych poziomach nawożenia. Cel niniejszej pracy stanowiło zbadanie wpływu zmiennych dawek nawożenia azotowego na wydajność procesu fermentacji alkoholowej. Proces otrzymywania etanolu przeprowadzono z zastosowaniem metody bezciśnieniowego upłynniania skrobi. Oceny przebiegu procesu dokonano na podstawie bilansu materiałowego.

Stwierdzono niejednoznaczny wpływ poziomu nawożenia na wydajność etanolu (L/100 kg surowca). W przypadku ziarna żyta stwierdzono istotny wpływ na obniżenie wydajności procesu fermentacji, a w odniesieniu do ziarna pszenżyta i kukurydzy nie stwierdzono istotnego wpływu tych czynników.

The effect of starch materials fertilization on the availability of carbohydrates and the alcoholic fermentation process efficiency

Keywords: bioethanol, corn, triticale, rye, levels of fertilization

ABSTRACT

The study used 27 samples of raw material (rye, triticale, corn) originating from different locations with variable levels of fertilization. The object of this work was to investigate the effect of variable doses of nitrogen fertilization on the alcoholic fermentation process efficiency. The alcoholic fermentation was carried with non - pressure starch liquefaction method, in order to estimate material balance of the process.

An ambiguous impact of fertilization on the ethanol productivity (L/100 kg material) was presented. In the case of rye grain a significant effect was found on reducing the efficiency of the fermentation process, and for triticale and corn grain a negligible effect on the above dependence was observed.

1. WSTĘP

Ciągły rozwój industrializacji pociąga za sobą konieczność zaspokajania coraz to większych potrzeb energetycznych. Dziś energia produkowana jest głównie przy wykorzystaniu paliw kopalnych. Jednak ich zasoby nie są nieograniczone. Ponadto trzeba uwzględnić rosnące obawy o bezpieczeństwo energetyczne, a także konieczność reagowania na zmiany klimatyczne. Powyższe aspekty doprowadziły na całym świecie do rosnącego zainteresowania odnawialnymi źródłami energii [1]. W szerokiej palecie odnawialnych źródeł energii ważne miejsce zajmuje sektor biopaliw transportowych, w którym znaczącą rolę odgrywa bioetanol. Jest on rodzajem paliwa alternatywnego mogącego całkowicie lub częściowo zastąpić paliwa kopalne. Na jego rosnącą popularność składają się dwa czynniki. Pierwszy z nich to czynnik ekonomiczny związany z rosnącymi cenami paliw konwencjonalnych. Drugim aspektem są względy ekologiczne, ponieważ ogranicza on emisję CO₂. W skali globalnej liderami w produkcji bioetanolu są USA, Brazylia oraz od niedawna Chiny. Nadprodukcja rolnicza oraz wysokie koszty paliw kopalnych sprawiły, że również w wielu krajach UE podjęto prace nad wdrożeniem technologii pozwalających na przemysłową produkcję etanolu [2]. Obecnie wciąż poszukuje się nowych surowców oraz technologii umożliwiających wyeliminowanie wad biopaliw, do których z pewnością można zaliczyć zbyt duże zużycie wody podczas produkcji czy też wzrost cen żywności [3]. Połowę upraw roślinnych na świecie zajmują zboża. W Polsce stanowią one 55% użytków rolnych, co plasuje ją na trzecim miejscu pośród krajów Unii Europejskiej [4]. Wśród zbóż zasadnicze znaczenie dla produkcji bioetanolu mają: kukurydza, żyto i pszenżyto, a także pszenica, owies i jęczmień. Zasadniczy wpływ na ilość wyprodukowanego z surowców zbożowych bioetanolu mają następujące czynniki: zawartość skrobi oraz cukrów niezwiązanych, hydroliza skrobi do cukrów prostych, jak również wydajności zachodzącego procesu fermentacji [3]. Zawartość skrobi w ziarnie jest zawsze skorelowana z zawartością białka. Im mniej skrobi, tym większa ilość białka, co niesie ze sobą zmniejszoną wydajność etanolu [5]. Ponadto ważna jest również zawartość amylozy w skrobi. Powyżej 30% frakcji nierozgałęzionej zaobserwowano zwiększoną podatność na retrogradację,

co utrudnia przeprowadzenie procesu hydrolizy przy zastosowaniu enzymów [6].

W pracy przedstawiono możliwość wykorzystania surowca skrobiowego do produkcji biopaliwa płynnego – bioetanolu z uwzględnieniem nawożenia, jego wpływu na dostępność węglowodanów surowca oraz wydajność procesu fermentacji alkoholowej.

2. MATERIAŁ I METODY

2.1 Materiał doświadczalny

Surowcem (materiałem badawczym) zastosowanym w badaniach było 27 próbek ziarna (kukurydza, pszenżyto, żyto) pochodzącego z różnych lokalizacji o zmiennych poziomach nawożenia z roku uprawy 2012-2013. Żyto i pszenżyto pochodziło z dwóch lokalizacji: Laskowice oraz Mochetki (Tab. 1), ziarno kukurydzy pochodziło natomiast z pięciu lokalizacji: Grabów, Osiny Jawor, Laskowice, Osiny Kozak, Mochetki (Tab. 2). Przed przystąpieniem do doświadczeń ziarno zmielono na rozdrabniaczu Rekords VEB Noser Mashinenbach. Z uzyskanej śrutki nie separowano części otrębów ani łuski. Otrzymana granulacja po zmieleniu ziarna wynosiła: 18% frakcji <0,25 mm, 50% frakcji od 0,25 do 0,8 mm; frakcja od 0,8 do 1,0 mm stanowiła 32% całości zmielnego ziarna.

Tabela 1 Lokalizacja i poziomy nawożenia dla ziarna żyta i pszenżyta

Table 1 Location and levels of fertilization for grain rye and triticale

Lokalizacja	Poziomy nawożenia [kg N/ha]		
Laskowice	40N	80N	120N
Mochetki	40N	80N	120N

Tabela 2 Lokalizacja i poziomy nawożenia dla ziarna kukurydzy

Table 2 Location and levels of fertilization for corn

Lokalizacja	Poziomy nawożenia [kg N/ha]		
Grabów	80N	120N	160N
Osiny Jawor	40N	80N	120N
Laskowice	80N	120N	160N
Osiny Kozak	80N	120N	160N
Mochetki	80N	120N	160N

Proces technologiczny prowadzono z zastosowaniem metody bezciśnieniowego upłynnienia skrobi.

W badaniach zastosowano preparaty enzymatyczne: **Termamyl SCDS** (Novozymes) – termostabilna alfa-amylaza – dawka 0,2 ml/kg ziarna, **Optimash VR** (Genecor International) – kompleks enzymów celulolitycznych i ksylanolitycznych – dawka 0,08 ml/kg, **Proteaza GC 106** (Genecor International) – dawka 0,08 ml/kg ziarna, **San Extra L** (Novozymes) – płynna glukoamylaza – dawka 0,4 ml/kg ziarna.

Stosowane drożdże to *Saccharomyces cerevisiae* – preparat Fermiol francuskiej firmy Lesaffre Co – które charakteryzują się zdolnością do fermentacji w temperaturze 35°C oraz odpornością na wysokie stężenie etanolu. Drożdże dodawano w ilości 0,5 g/l zacieru.

2.2 Metody badań

2.2.1 Przygotowanie prób doświadczalnych

Z uzyskanej po zmieleniu ziarna śruty sporządzano zawiesiny (stosunek śruty do wody 1:6), które doprowadzono do temperatury 80°C i po dodaniu enzymu upłynniającego α -amylazy umieszczano we wstrząsarce pozostawiając próbę przez 20 min. w temperaturze 80°C. Po upływie tego czasu próby chłodzono do temperatury 60°C, dodawano enzym scukrzający glukoamylazę, proteazę oraz Optimash VR. Proces scukrzenia prowadzono przez 100 min. w temperaturze 60°C.

2.2.2 Przebieg procesu fermentacji metodą BUS

Otrzymane zacierzy w warunkach laboratoryjnych chłodzono do temperatury 30°C, dodawano pożywkę mineralną w postaci fosforanu dwuammonowego oraz mleczko drożdżowe. Proces fermentacji prowadzono w temperaturze 30°C przez 72 h. Po upływie czasu fermentacji badano pH w zacierach odfermentowanych, a po destylacji stężenie etanolu, w wywarze zaś zawartość pozostałych cukrów redukujących.

Metody analityczne. Charakterystykę otrzymanych zacierów odfermentowanych i wywaru przeprowadzono standardowymi metodami oznaczając w nich suchą substancję ziarna [7], zawartość sumy węglowodanów w przeliczeniu na skrobię [8], cukry redukujące [9], kontrolowano żywotność i liczebność drożdży w zacierze odfermentowanym [10]. Ponadto oznaczano zawartość etanolu w zacierze odfermentowanym metodą areometryczną oraz w celu weryfikacji uzyskanych

wyników metodą HPLC wg opracowania własnego [11]. Statystyczną obróbkę danych przeprowadzono za pomocą programu Statistika 10.0, uwzględniając analizę skupień oraz analizę składowych głównych.

3. WYNIKI I Dyskusja

W badaniach wykorzystano surowiec, który poddano charakterystyce pod kątem zawartości suchej substancji, skrobi oraz cukrów redukujących (Tab. 3 i 4). Średnia zawartość skrobi w poszczególnych zbożach wyniosła: żyto 57,27% s.s.; pszenżyto 57,9%; kukurydza 64,72%. Najwyższą zawartość skrobi spośród żyta z obydwóch lokalizacji (Laskowice i Mochetki) miały próby pochodzące z poziomów nawożenia 80 kg N/ha, podobnie pszenżyto z poletka Laskowice. Pszenżyto z lokalizacji Mochetki najwięcej skrobi zawierało na najłagodniej nawożonym obszarze (40 kg N/ha) (Tab. 3). Kukurydza z lokalizacji Grabów oraz Osiny Jawor największą zawartość skrobi posiadała przy zastosowaniu nawożenia 120 kg N/ha, z kolei kukurydza z lokalizacji Laskowice oraz Mochetki przy nawożeniu dawką 80 kg N/ha, a pochodząca z lokalizacji Osiny Kozak przy 160 kg N/ha (Tab. 4). W przypadku zawartości cukrów redukujących oznaczanych w surowcu wprost, nie odnotowano zależności pomiędzy ich zawartością a zawartością skrobi. Największą wartość dla cukrów redukujących oznaczono w przypadku żyta z poletka Mochetki na poziomie nawożenia 120 kg N, najniższą zaś dla kukurydzy pochodzącej również z lokalizacji Mochetki, z poziomu nawożenia 80 kg N (Tab. 3 i 4).

Przebieg procesu fermentacji kontrolowano poprzez określenie stopnia scukrzenia skrobi w zacierze przed fermentacją, określenie dostępności skrobi zawartej w ziarnie na enzymy stosowane w procesie i tym samym jej konwersję do alkoholu, w zależności od użytego surowca. Średnie scukrzenie dla poszczególnych surowców wyniosło odpowiednio: dla żyta 91,32%, pszenżyta 92,1%, kukurydzy 87,31%. Najwyższą wartość scukrzenia osiągnięto w przypadku kukurydzy z lokalizacji Mochetki z poziomu nawożenia 80 kg N, która wyróżniała się najwyższą zawartością skrobi spośród wszystkich prób (Rys. 1).

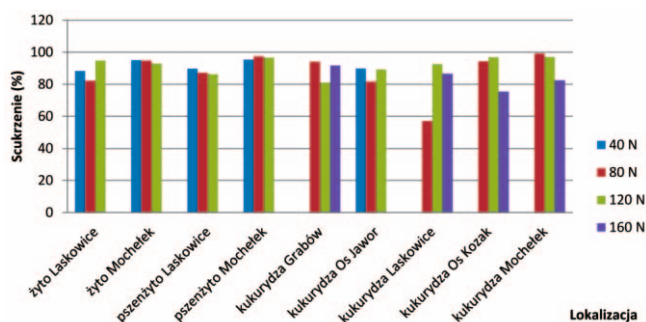
Uzyskane wydajności procesu fermentacji poszczególnych zbóż wyrażano w przeliczeniu na % wydajności teoretycznej. Średnia wartość % wydajności teoretycznej dla poszczególnych surowców wyniosła: żyto 82,44%, pszenżyto 86,88%,

Tabela 3 Ogólna charakterystyka surowca – żyta i pszenżyta
Table 3 Characteristic of raw material – rye and triticale

Lokalizacja/poziom nawożenia [kg N/ha]		Sucha substancja	Cukry redukujące wprost	Skrobia
		%	% s.s.	% s.s.
Żyto ozime				
Laskowice	40	89,29 ± 0,08	0,88 ± 0,00	54,29 ± 1,04
	80	89,72 ± 0,12	0,86 ± 0,00	62,04 ± 0,71
	120	89,39 ± 0,04	0,83 ± 0,00	52,73 ± 0,65
Mochełek	40	88,15 ± 0,01	0,90 ± 0,01	57,50 ± 0,66
	80	87,72 ± 0,09	0,90 ± 0,01	58,74 ± 0,08
	120	88,01 ± 0,14	0,73 ± 0,01	58,29 ± 1,13
Pszenżyto ozime				
Laskowice	40	90,32 ± 1,42	1,52 ± 0,01	56,72 ± 1,02
	80	89,34 ± 0,16	1,63 ± 0,02	59,80 ± 0,06
	120	89,72 ± 0,08	1,68 ± 0,01	59,24 ± 0,41
Mochełek	40	87,53 ± 0,01	1,46 ± 0,00	62,04 ± 0,77
	80	87,42 ± 0,17	1,95 ± 0,01	59,14 ± 0,29
	120	88,13 ± 0,04	1,68 ± 0,00	50,45 ± 1,49

Tabela 4 Ogólna charakterystyka surowca – kukurydzy
Table 4 Characteristic of raw material – corn

Lokalizacja/poziom nawożenia [kg N/ha]		Sucha substancja	Cukry redukujące wprost	Skrobia
		%	% s.s.	% s.s.
Grabów	80	87,98 ± 0,18	0,76 ± 0,02	61,54 ± 0,65
	120	87,90 ± 0,16	0,70 ± 0,01	62,26 ± 0,10
	160	84,22 ± 0,01	0,81 ± 0,00	60,67 ± 0,26
Osiny Jawor	40	88,30 ± 0,17	0,99 ± 0,01	59,97 ± 0,38
	80	87,53 ± 0,06	1,07 ± 0,02	62,84 ± 1,27
	120	88,15 ± 0,10	1,22 ± 0,00	69,20 ± 0,70
Laskowice	80	88,63 ± 0,06	0,73 ± 0,00	63,79 ± 1,22
	120	88,89 ± 0,11	0,85 ± 0,02	61,02 ± 0,09
	160	88,15 ± 0,06	0,75 ± 0,01	62,81 ± 0,92
Osiny Kozak	80	87,75 ± 0,01	1,24 ± 0,02	64,49 ± 0,61
	120	87,84 ± 0,14	1,03 ± 0,00	61,09 ± 0,84
	160	88,47 ± 0,13	0,93 ± 0,01	66,87 ± 0,20
Mochełek	80	91,49 ± 0,16	1,02 ± 0,00	73,02 ± 0,28
	120	91,13 ± 0,14	0,90 ± 0,01	70,28 ± 0,18
	160	91,09 ± 0,13	0,97 ± 0,00	71,02 ± 0,36



Rysunek 1 Scukrzenie skrobi (%) w zbożach z różnych lokalizacji oraz o różnych poziomach nawożenia azotem

Figure 1 Saccharification of the starch (%) in cereals from different locations and at different levels of nitrogen fertilization

kukurydza 81,75% (Tab. 5 i 6). Najwyższą wartość spośród badanych surowców osiągnięto z pszenżyta z lokalizacji Laskowice (120 kg N), gdzie wyniosła ona 91,04%, najniższą z kolei z kukurydzy pochodzącej z poletka Grabów (120 kg N) (Tab. 5). Według danych literaturowych wydajność procesu fermentacji wyrażona w % wydajności teoretycznej dla ziarna pszenżyta zawiera się pomiędzy 82% a 95% [12]. Z kolei według badań Nowaka i innych [13] % wydajności teoretycznej

dla kukurydzy mieści się w granicach od 82 do 93%. Spośród badanych prób 53,3% zawiera się w podanym w literaturze przedziale wartości. Pozostałe próby charakteryzowały się niższą wydajnością procesu.

W celu dokładnej interpretacji wyników uzyskanych w trakcie fermentacji etanolowej prób przeprowadzono analizę statystyczną, w której wzięto pod uwagę następujące zmienne: scukrzenie skrobi (%), zawartość cukrów redukujących (mg/g), wydajność etanolu (% obj. w destylacie, L/100 kg skrobi, L/100 kg surowca, % wyd. teoretycznej) (Rys. 2a,b, 3a,b i 4a,b).

Z powodu oddziaływania wielu czynników na efektywność fermentacji rozważono wpływ poszczególnych zmiennych w układzie wielowymiarowym tj. składowych głównych (PCA). Analiza jednostkowego koła korelacji zmiennych z wygenerowanymi składowymi głównymi, objaśniającymi 87,44% zmienności dla prób żyta, pozwala stwierdzić, że zależność między wydajnością w L/100 kg surowca jest odwrotnie skorelowana z poziomem nawożenia jak i scukrzenia (Rys. 2a).

Tabela 5 Wydajność procesu fermentacji badanego surowca – żyta i pszenżyta w zależności od lokalizacji

Table 5 The yield of the fermentation process – rye and triticale, depending on the location

Lokalizacja/poziom nawożenia [kg N/ha]	Cukry redukujące pozostałe w wywarze [mg/g] % obj.	Etanol				
		% obj.	L/ 100 kg skrobi	L/ 100 kg surowca	% wydajności teoretycznej	
Żyto ozime						
Laskowice	40	22,37 ± 0,04	4,52 ± 0,06	58,65 ± 0,75	31,6 + 0,4	81,57 ± 1,04
	80	24,69 ± 0,06	4,66 ± 0,03	58,59 ± 0,36	31,6 + 0,2	81,49 ± 0,5
	120	19,04 ± 0,21	4,17 ± 0,06	52,26 ± 0,72	29,2 + 0,4	72,69 ± 1,0
Mocheterek	40	24,7 ± 0,08	4,54 ± 0,03	62,75 ± 0,4	31,8 + 0,2	87,26 ± 0,56
	80	17,5 ± 0,05	4,51 ± 0,06	61,38 ± 0,78	31,6 + 0,4	85,37 ± 1,07
	120	24,89 ± 0,06	4,54 ± 0,03	62,01 ± 0,39	31,8 + 0,2	86,25 ± 0,55
Pszenżyto ozime						
Laskowice	40	12,70 ± 0,09	4,54 ± 0,03	62,06 ± 0,39	31,8 ± 0,2	86,32 ± 0,55
	80	11,47 ± 0,11	4,77 ± 0,03	62,55 ± 0,38	33,4 ± 0,2	86,99 ± 0,52
	120	9,18 ± 0,03	4,97 ± 0,06	65,46 ± 0,75	34,8 ± 0,4	91,04 ± 1,04
Mocheterek	40	11,75 ± 0,08	4,94 ± 0,03	63,74 ± 0,37	34,6 ± 0,2	88,65 ± 0,51
	80	12,04 ± 0,04	4,60 ± 0,03	62,31 ± 0,38	32,2 ± 0,2	86,66 ± 0,53
	120	11,60 ± 0,07	4,80 ± 0,05	58,7 ± 0,7	33,6 ± 0,4	81,64 ± 0,97

Tabela 6 Wydajność procesu fermentacji badanego surowca – kukurydzy w zależności od lokalizacji

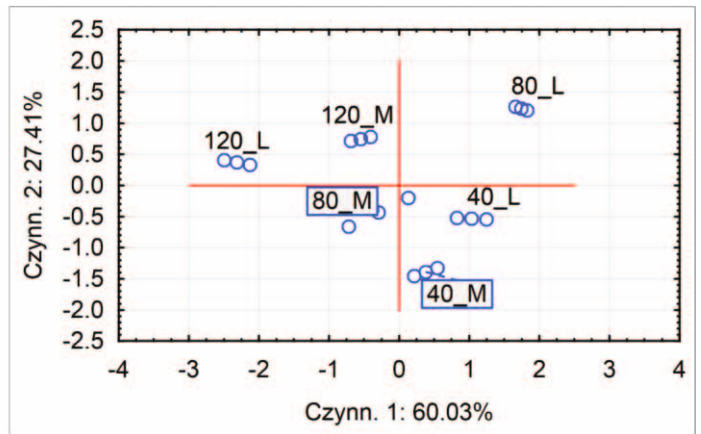
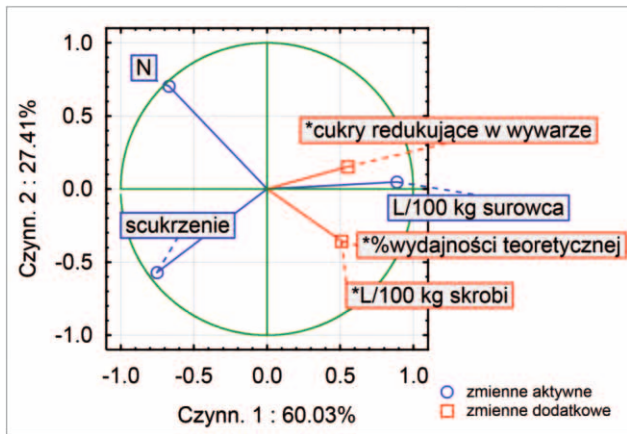
Table 6 The yield of the fermentation process – corn, depending on the location

Lokalizacja/poziom nawożenia [kg N/ha]		Cukry redukujące pozostałe w wywarze [mg/g]	Etanol			
			% obj.	L/100 kg skrobi	L/ 100 kg surowca	% wydajności teoretycznej
Grabów	80	12,76 ± 0,12	4,72 ± 0,02	60,98 ± 0,37	33,0 ± 0,2	84,82 ± 0,52
	120	6,02 ± 0,2	3,88	49,7	27,2	69
	160	6,02 ± 0,06	4,6 ± 0,03	63,04 ± 0,39	32,2 ± 0,2	87,65 ± 0,55
Osiny Jawor	40	6,27 ± 0,02	4,83 ± 0,03	63,82 ± 0,38	33,8 ± 0,2	88,76 ± 0,53
	80	10,98 ± 0,04	4,49 ± 0,02	57,09 ± 0,36	31,4 ± 0,2	79,4 ± 0,5
	120	5,43 ± 0,05	4,54 ± 0,03	56,91 ± 0,36	31,8 ± 0,2	79,15 ± 0,5
Laskowice	80	9,8 ± 0,07	4,95 ± 1,06	61,22 ± 1,06	34,6 ± 0,6	85,14 ± 1,47
	120	9,52 ± 0,07	4,83 ± 0,03	62,32 ± 0,36	33,8 ± 0,2	86,67 ± 0,51
	160	7,18 ± 0,05	4,6 ± 0,02	58,17 ± 0,37	32,2 ± 0,2	80,90 ± 0,51
Osiny Kozak	80	5,42 ± 0,07	4,86 ± 0,06	60,07 ± 0,71	34,00 ± 0,4	83,53 ± 0,97
	120	8,58 ± 0,02	5,00 ± 0,03	65,25 ± 0,37	35,00 ± 0,1	90,76 ± 0,52
	160	6,21 ± 0,01	5,29 ± 0,02	62,45 ± 0,43	37,00 ± 0,2	86,86 ± 0,59
Mochetęk	80	4,21 ± 0,06	5,14 ± 0,02	53,89 ± 0,32	36,0 ± 0,3	74,95 ± 0,62
	120	4,89 ± 0,05	4,75 ± 0,05	51,85 ± 0,63	33,2 ± 0,4	72,11 ± 0,87
	160	5,85 ± 0,06	5,08 ± 0,06	55,03 ± 0,63	35,6 ± 0,4	76,55 ± 0,85

Jednakże zmienne scukrzenia i poziom nawożenia są względem siebie ortogonalne, co oznacza, że między tymi zmiennymi nie ma żadnego powiązania. Zmienne towarzyszące (cukry redukujące pozostałe w wywarze, % wydajności teoretycznej, L/100 kg skrobi) są dodatnio skorelowane z wydajnością przeliczoną na L/100 kg surowca. Konfrontacja wykresu korelacji zmiennych składowych głównych z projekcją przypadków w analogicznym układzie składowych głównych (Rys. 2b) potwierdza, że zwiększenie poziomu nawożenia ziarna żyta wpływa na obniżenie wydajności etanolu niezależnie od lokalizacji surowca. Zawartość skrobi jest nieskorelowana z wydajnością wyrażoną w L/100 kg surowca. Z kolei próby, które cechowały się dużą skrobiowością, jednocześnie ulegały niskiemu scukrzeniu skrobi, co przekładało się na niską wydajność wyrażoną w L/100 kg skrobi.

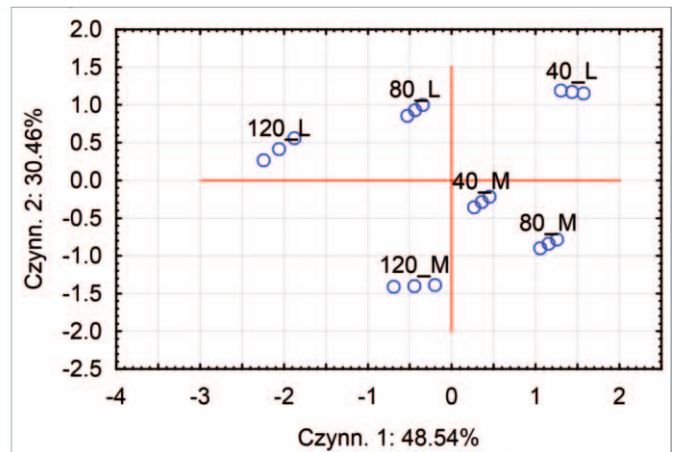
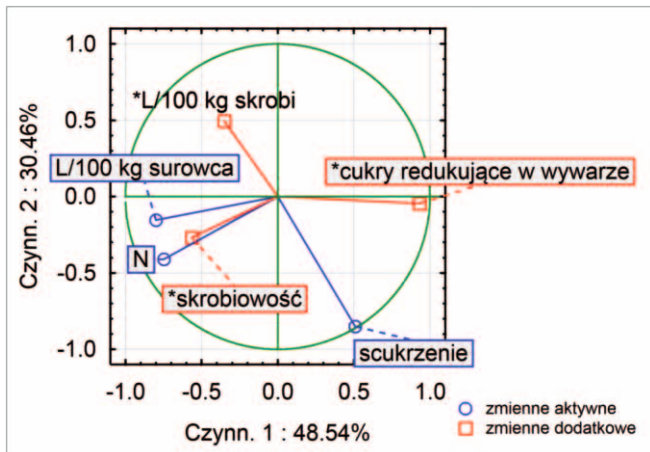
W przypadku prób pszenżyta na podstawie jednostkowego wykresu korelacji można stwierdzić, że składowe główne obrazują 79% zmienności (Rys. 3a). Analizując zależności pomiędzy składowymi

wymi stwierdzono, że wydajność alkoholu (w L/100 kg surowca) jest dodatnio skorelowana z poziomem nawożenia, zaś ze stopniem scukrzenia skrobi odnotowano brak korelacji. Jak w przypadku żyta poziom nawożenia oraz scukrzenie nie wykazują między sobą żadnych powiązań. Zmienne towarzyszące: cukry redukujące pozostałe w wywarze, % wydajności teoretycznej, L/100 kg skrobi są ujemnie skorelowane z wydajnością wyrażoną w L/100 kg surowca. Wydajność etanolu w L/100 kg surowca jest dodatnio skorelowana z zawartością skrobi w surowcu, co oznacza, że wzrost zawartości skrobi przyczynił się do uzyskania większej wydajności alkoholu. Powyższa analiza wraz z projekcją przypadków w analogicznym układzie współrzędnych (Rys. 3b) pozwoliła stwierdzić, że wzrost poziomu nawożenia jest dodatnio skorelowany z wydajnością (L/100 kg surowca), niezależnie od lokalizacji ziarna pszenżyta. W ten sam sposób przeanalizowano trzeci surowiec – kukurydzę. Interpretując jednostkowy wykres korelacji (Rys. 4a) w układzie wielowymiarowym oraz wykres rozrzutu w układzie zmiennych



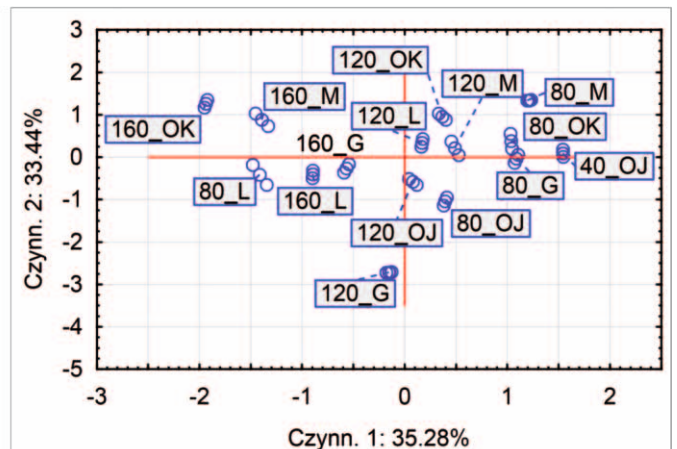
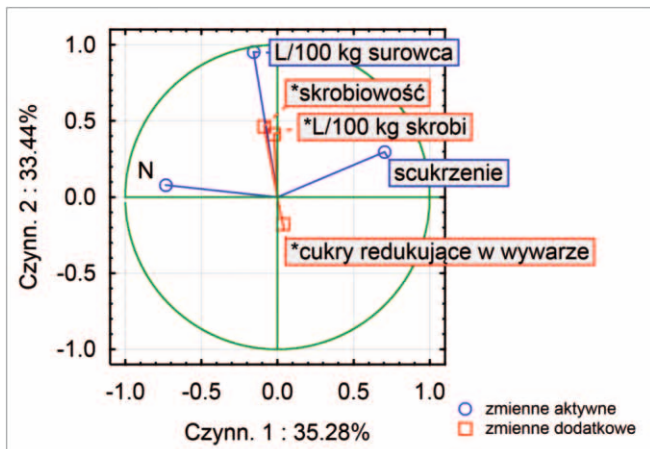
Rysunek 2 Wartości zmiennych dla prób żyta. A – jednostkowy wykres korelacji, B – rozrzut w układzie zmiennych składowych

Figure 2 Variable values for samples of rye. A – individual correlation graph, B – scatter member variables in the system



Rysunek 3 Wartości zmiennych dla prób pszenżyta. A – jednostkowy wykres korelacji, B – rozrzut w układzie zmiennych składowych

Figure 3 Variable values for samples of triticale. A – individual correlation graph, B – scatter member variables in the system



Rysunek 4 Wartości zmiennych dla prób kukurydzy. A – jednostkowy wykres korelacji, B – rozrzut w układzie zmiennych składowych

Figure 4 Variable values for samples of corn. A – individual correlation graph, B – scatter member variables in the system

składowych (Rys. 4b) można scharakteryzować zależności pomiędzy zmiennymi. Składowe główne określiły prawie 70% zmienności i pozwoliły stwierdzić brak zależności pomiędzy wydajnością wyrażoną w L/100 kg surowca a zastosowanym poziomem nawożenia oraz scukrzeniem skrobi. Ponadto scukrzenie nie jest w żaden sposób zależne od dawki nawożenia, zmienne te są ortogonalne (podobnie jak w przypadku żyta). Zmienne towarzyszące: pozostałe w wywarze, % wydajności teoretycznej, L/100 kg skrobi są dodatnio skorelowane z wydajnością wyrażoną w L/100 kg surowca. Zawartość skrobi również wykazuje dodatnią zależność z wydajnością w L/100 kg surowca, jak również ze scukrzeniem skrobi.

4. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonego procesu fermentacji metodą BUS uzyskano średnie wydajności etanolu dla poszczególnych prób odpowiednio: dla żyta 31,43 L/100 kg surowca, pszenżyta 33,57 L/100 kg surowca, kukurydzy 33,39 L/100 kg surowca. Zastosowanie zaawansowanych technik statystycznych pozwoliło na przybliżenie zależno-

ści między wydajnością etanolu, poziomem nawożenia a zawartością skrobi w surowcu. Na tej podstawie stwierdzono, że poziom nawożenia żyta wpływa na zawartość w nim skrobi, a wyższa dawka nawożenia powoduje istotne obniżenie wydajności etanolu (L/100 kg surowca). Odmienną tendencję zmian zaobserwowano w przypadku pszenżyta, gdzie poziomy nawożenia nie miały istotnego wpływu na zwiększenie wydajności fermentacji etanolowej, a istotnie wpłynęły na zawartość skrobi. W przypadku kukurydzy nie stwierdzono zależności pomiędzy poziomem nawożenia a wydajnością etanolu (L/100 kg surowca), zwiększona dawka nawożenia wpływała jedynie na zwiększenie zawartości skrobi w surowcu.

Badania finansowane z projektu pt.: „Opracowanie indeksu gatunkowego i optymalizacja technologii produkcji wybranych roślin energetycznych”, nr **UDA – POIG.01.03.01-00-132-/08** realizowanego w ramach Działania 1.3 POIG, Poddziałania 1.3.1, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007-2013.

LITERATURA

- [1] Koh L., Ghazoul J., Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. *Biological Conservation*, 141, 2008, 2450-2460.
- [2] Podlaski S., Burak cukrowy jako surowiec do produkcji etanolu. *Gazeta Cukrownicza*, 4, 2007, 126-130.
- [3] Dynkowska W., Czynniki warunkujące przydatność ziarna różnych zbóż do produkcji energii odnawialnej – przegląd literatury. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 2009.
- [4] Arseniuk E., Oleksiak T., Postęp w hodowli głównych roślin uprawnych w Polsce i możliwość jego wykorzystania do roku 2020. *Studia i raporty IUNG-PIB* 14, 2009, 293-305.
- [5] Lacerenza J. A., Martin J. M., Talbert L. E., Lanning S. P., Giroux M. J., Relationship of ethanol yield to agronomic and seed quality characteristics of small grains. *Cereal Chem.*, 85, 2008, 322-328.
- [6] Haralampu S. G., Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydrate Polymers*, 41, 2000, 285-292.

- [7] Skupin J., Chełkowski J., Olejnik D., Ćwiczenia z metod analizy żywności. Poznań, Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Rolniczej, 1982.
- [8] Holm J., Björck I., Drews N. G., A Rapie Metod for the Analysis of Starch. *Starch/ Stärke* 38(7), 1986, 224-226.
- [9] Miller G., Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chem.*, 31(3), 1959, 426-428.
- [10] Kriełowska-Kułas M., Badanie jakości produktów spożywczych. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 1993.
- [11] Gumienna M., Lasik M., Szambelan K., Czarnecki Z., Nowak J., Zastosowanie metody równoczesnej hydrolizy i fermentacji zacierów pszenżytnich do produkcji bioetanolu. *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, 4, 2008, 111-119.
- [12] Gumienna M., Lasik M., Szambelan K., Czarnecki Z., Reduction of water consumption in bio-ethanol production from triticale by recycling the stillage liquid phase, *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 10(4), 2011, 467-474.
- [13] Nowak J., Szambelan K., Miettinen H., Nowak W., Czarnecki Z., Effect of the corn grain storage method of saccharification and ethanol fermentation yield, *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 7(1), 2008, 19-27.