

Zuzanna Jarosz, Jerzy Książak, Antoni Faber

Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

OCENA WIELKOŚCI EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH SYSTEMÓW UPRAWY STOSOWANYCH W KUKURYDZY WYKORZYSTYWANEJ DO PRODUKCJI BIOETANOLU

ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN SYSTEMS USED IN CROPING MAIZE FOR BIOETHANOL PRODUCTION

Słowa kluczowe: emisja rolnicza, emisja gazów cieplarnianych, produkcja biopaliw

Key words: agricultural emission, greenhouse gas emission, biofuels production

JEL codes: Q16, D29

Abstrakt. Celem badań było określenie wielkości emisji gazów cieplarnianych systemów uprawy stosowanych w kukurydzy w monokulturze w porównaniu do jej uprawy w zmianowaniu. Do oszacowania emisji gazów cieplarnianych wykorzystano kalkulator Biograce wersja 4 public. Szacunki wykonano dla różnych systemów uprawy kukurydzy w latach 2013-2014 w dwóch zakładach doświadczalnych: RZD Grabów i SD Baborówko. Z badań wynika, że o wielkości emisji z uprawy kukurydzy, po uwzględnieniu alokacji emisji na produkty uboczne, w największym stopniu decydowały uzyskiwane plony. W SD Baborówko emisje wahały się w zakresie od 14,2 do 19,5 g CO₂ eq/kg/MJ bioetanolu niezależnie od systemu uprawy i były mniejsze od wartości standardowej. W RZD Grabów tylko ziarno kukurydzy uprawianej w monokulturze w systemie uproszczonym oraz kukurydzy uprawianej w 2014 roku w systemie płuznym i w zmianowaniu może być wykorzystane do produkcji bioetanolu.

Wstęp

Zasoby paliw konwencjonalnych są ograniczone i nieodnawialne, a ich wykorzystanie przyczynia się do zanieczyszczenia atmosfery gazami cieplarnianymi, co powoduje stale narastające ocieplenie klimatu. Konieczność przeciwdziałania zmianom klimatu oraz chęć uniezależnienia się od nadmiernego zużycia paliw kopalnych i ich importu zwiększyła zainteresowanie wykorzystywaniem biopaliw płynnych.

Rozwój sektora biopaliw determinowany jest decyzjami Unii Europejskiej (UE) w zakresie polityki energetycznej, która powiązana została z założeniami redukcji gazów cieplarnianych i minimalizacji obciążenia środowiska naturalnego. Przyjęty przez Parlament Europejski (PE) i Radę pakiet klimatyczno-energetyczny zawiera priorytetowe cele unijnej polityki energetycznej:

- redukcję emisji gazów cieplarnianych – GHG (ang. *greenhouse gas*) o 20% w 2020 roku w stosunku do 1990 roku,
- zwiększenie udziału energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii do 20% oraz 10-procentowy udział energii ze źródeł odnawialnych w transporcie w 2020 roku,
- poprawę efektywności energetycznej o 20% do 2020 roku.

Fundamentalnym aktem prawnym dla funkcjonowania sektora biopaliw jest *Dyrektywa 2009/28/WE (RED) z 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych* [Dz.U. UE L 09.140.16]. Według wymagań tej dyrektywy, na przetwórcy biopaliw spoczywa obowiązek zagwarantowania, że produkcja surowców rolnych i ich przetwarzania na biopaliwa płynne spełnia kryteria zrównoważonego rozwoju. Najważniejszym z nich jest konieczność udowodnienia metodą LCA (analiza cyklu życia – *Life Cycle Assessment*), że paliwa płynne w całym łańcuchu wytwarzania redukować będą emisję gazów cieplarnianych o

50% w 2017 roku i 60% w 2018 roku. W zrównoważonej produkcji biopaliw dostrzegano także aspekty ekonomiczne, takie jak generowanie nowych miejsc pracy przez sektor biopaliwowy.

Założenia produkcji biopaliw wywołały jednak silną falę krytyki. W opozycji do zwolenników produkcji biopaliw I generacji pojawiły się opinie, że dodatkowy popyt na surowce wykorzystywane do produkcji biopaliw może zostać zaspokojony przez zwiększenie powierzchni upraw rolniczych, prowadząc do wzrostu emisji gazów cieplarnianych na skutek przekształceń gruntów. Dlatego PE zaproponował uwzględnianie w całkowitej emisji gazów cieplarnianych dodatkowej wartości emisji, związanej z tzw. pośrednią zmianą użytkowania gruntów – ILUC (ang. *Indirect Land Use Change*). W październiku 2015 roku weszła w życie dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE 1513/2015 zmieniająca dyrektywę RED [Dz.U.UE.1513.2015]. Wprowadza ona ograniczenie celu użycia biopaliw I generacji do 7% do 2020 roku oraz wprowadza referencyjny cel półprocentowy udziału biopaliw II generacji. Ostatecznie metodyka uwzględniania ILUC w całkowitej emisji gazów cieplarnianych jest w trakcie opracowywania, a jej praktyczne zastosowanie przewiduje się po 2020 roku.

Celem badań było określenie wielkości emisji gazów cieplarnianych systemów uprawy stosowanych w kukurydzy w monokulturze w porównaniu do jej uprawy w zmianowaniu.

Material i metodyka badań

Podstawą do przeprowadzenia badań były wyniki uzyskane z doświadczeń polowych dotyczących różnych systemów uprawy kukurydzy w latach 2013-2014 w dwóch zakładach doświadczalnych IUNG-PIB: RZD Grabów (woj. mazowieckie) i SD Baborówko (woj. wielkopolskie). W trzech obiektach kukurydza uprawiana była w monokulturze przy zastosowaniu różnych sposobów przedsięwziętego przygotowania roli. W czwartym obiekcie uprawę prowadzono w zmianowaniu: jęczmień jary – pszenica ozima – kukurydza (uprawiana na ziarno).

Metodykę obliczania emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw zawiera aneks V dyrektywy RED. W szacunkach całkowitych emisji GHG należy uwzględniać emisje rolnicze powstające w produkcji surowców przeznaczonych na cele paliwowe. Można w tym celu wykorzystać wartości standardowe lub rzeczywiste. Są to emisje uwalniane: z produkcji materiału siewnego, nawozów, środków ochrony roślin, zużycia paliw niezbędnych do wykonywania zabiegów, związane z akumulacją węgla w glebie oraz emisje polowe podtlenku azotu (N_2O).

Do oszacowania emisji gazów cieplarnianych wykorzystano kalkulator Biograce wersja 4 public [Biograce... 2011], który został uznany przez Komisję Europejską jako oficjalne narzędzie do obliczania emisji gazów cieplarnianych, zgodnie z wymaganiami Dyrektywy 2009/28/WE. Szacunki emisji gazów cieplarnianych wykonano w uproszczonym cyklu życia z uwzględnieniem zużycia: oleju napędowego, nawozów azotowych, potasowych, fosforowych, pestycydów, nasion oraz polowej emisji N_2O . Wielkości emisji pochodzące z uwzględnionych źródeł przedstawiono jako sumaryczne emisje dwutlenku węgla (CO_2), metanu (CH_4) oraz podtlenku azotu (N_2O), wyrażone w gramach ekwiwalentu CO_2 na kg nasion ($g CO_2 eq/kg$). Szacunki emisji GHG w pełnym cyklu życia biopaliw wykonano dla czterech systemów uprawy kukurydzy:

- 1) monokultura – uprawa bezorkowa i pozostawianie całej ilości resztek poźniwnych na polu,
- 2) monokultura – uprawa uproszczona i pozostawianie całej ilości resztek poźniwnych na polu,
- 3) monokultura – uprawa płuzna i przyorywanie całej ilości resztek poźniwnych,
- 4) zmianowanie – uprawa płuzna (pełna) przy zbiorze całej ilości resztek poźniwnych.

W celu stwierdzenia, czy uzyskane ziarno kukurydzy mogłoby być wykorzystywane do produkcji bioetanolu, emisje dodatkowo wyrażono jako całkowitą sumę emisji z uprawy pomniejszoną o emisję związaną z paszowym wykorzystywaniem wywaru (w $g CO_2 eq/MJ$ bioetanolu). Ziarno, zgodnie z wymogami dyrektywy 2009/28/WE, może być stosowane do produkcji bioetanolu, jeśli całkowita emisja gazów cieplarnianych po uwzględnieniu alokacji na produkty uboczne jest mniejsza od wartości emisji standardowej. Dla uprawy kukurydzy wartość standardowa wynosi $20 g CO_2 eq/MJ$ bioetanolu [Faber i in. 2011].

Wyniki badań

Ocena wielkości emisji z różnych systemów uprawy stosowanych w kukurydzy w monokulturze w porównaniu do jej uprawy w zmianowaniu wykazała, że w RZD Grabów w poszczególnych latach uzyskiwano zróżnicowane plony ziarna, które wahały się od 5,49 do 12,80 t/ha przy wilgotności ziarna od 30,9 do 36,7%. Wielkości emisji z uprawy kukurydzy w analizowanych latach były zróżnicowane w zależności od poziomu plonowania. Najniższą wartość emisji wynoszącą 131,4 g CO₂ eq/kg oszacowano dla kukurydzy uprawianej w monokulturze w systemie płuznym z przyorywaniem resztek poźniwnych w 2014 roku (tab. 1). Na podobnym poziomie w 2014 roku kształtowała się wielkość emisji z uprawy kukurydzy w monokulturze w systemie uproszczonym oraz z uprawy w zmianowaniu w systemie płuznym przy zbiorze całej ilości resztek poźniwnych. Ziarno pochodzące z tych obiektów mogłoby być wykorzystane do produkcji bioetanolu, ponieważ emisje po rozdysponowaniu na produkty uboczne mieściły się w zakresie od 11,9 do 17,2 g CO₂ eq/MJ bioetanolu, a więc były mniejsze od wymaganej wartości standardowej. W obu latach badań kukurydza uprawiana w monokulturze w systemie bezorkowym plonowała na niższym poziomie (5,7 i 6,5 t/ha), co powodowało że emisje były

Tabela 1. Emisja CO₂ eq/kg nasion z uprawy kukurydzy w RZD Grabów

Table 1. Emission CO₂ eq/kg of seeds of maize in RZD Grabow

Emisje/Emissions [g CO ₂ eq/kg]	Systemy uprawy (warianty)/Tillage system (variants)							
	1.		2.		3.		4.	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Zużycie ON/ON consumption [l/ha]	15,54	13,59	21,33	17,32	28,02	14,95	44,20	21,80
Nawozy N/Fertilizers N [kg N]	83,56	73,09	72,75	59,08	69,98	37,34	105,72	52,15
Nawozy K ₂ O/Fertilizers K ₂ O [kg K ₂ O]	12,66	11,07	11,02	8,95	10,60	5,66	13,19	6,51
Nawozy P ₂ O ₅ /Fertilizers P ₂ O ₅ [kg P ₂ O ₅]	14,17	12,40	12,34	10,02	11,87	6,33	14,77	7,28
Pestycydy [kg]/Pesticides [kg]	4,07	2,93	3,54	2,37	2,44	0,57	3,03	0,65
Emisja polowa N ₂ O/Field emission N ₂ O [g CO ₂ eq/kg]	129,72	119,84	114,30	95,04	112,57	66,58	185,10	103,88
Emisja z uprawy/Emissions from cultivation [g CO ₂ eq/kg]	259,72	232,92	235,29	192,79	235,49	131,44	366,01	192,28
Emisja z uprawy/Emissions from cultivation [g CO ₂ eq/kg/MJ bioethanol]	40,14	38,41	36,05	31,59	36,88	21,81	57,06	32,16
Emisja z uprawy minus emisja z wywaru/Emissions from cultivation minus emissions from broth [g CO ₂ eq/kg/MJ bioethanol]	21,92	20,98	19,70	17,25	20,14	11,91	31,17	17,60

warianty 1-4/variants 1-4:

1. uprawa bezorkowa i pozostawienie całej ilości resztek poźniwnych na polu/no tillage and leaving entire amount of crop residues at the field,
2. uprawa uproszczona i pozostawienie całej ilości resztek poźniwnych na polu/reduced tillage and leaving entire amount of crop residues at the field,
3. uprawa płuzna i przyorywanie całej ilości resztek poźniwnych/tillage with the total quantity of crop residues incorporation,
4. uprawa płuzna przy zbiorze całej ilości resztek poźniwnych/tillage with the total quantity of crop residues collection,

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

znacząco większe (232,9-259,7 g CO₂ eq/kg). Wartości emisji z uprawy kukurydzy w tych obiektach w latach 2013 i 2014 po uwzględnieniu alokacji emisji na produkty uboczne wyniosły odpowiednio 21,9 i 21,0 g CO₂ eq/MJ bioetanolu i były większe od wartości standardowej (tab. 1). Ziarno pochodzące z tej uprawy nie mogłoby być wykorzystane do produkcji bioetanolu.

W SD Baborówko w latach badań uzyskiwano wysokie i wyrównane plony ziarna – od 9,17 do 10,47 t/ha. Największą emisję stwierdzono w kukurydzy uprawianej w zmianowaniu w systemie płuznym ze zbiorem słomy (205,0-212,4 g CO₂ eq/kg), co wiązało się przede wszystkim z większym zużyciem oleju napędowego oraz azotu wniesionego w oborniku (tab. 2). Emisje z uprawy kukurydzy w pozostałych obiektach i latach badań były mniejsze i wahały się w niewielkim zakresie od 171,1 do 177,3 g CO₂ eq/kg, niezależnie od systemu uprawy. Mniejsze emisje w tych obiektach wynikały głównie z mniejszego nawożenia azotem (o 30 kg N/ha) w porównaniu do uprawy kukurydzy w zmianowaniu. Ziarno kukurydzy mogłoby być wykorzystane do produkcji bioetanolu, ponieważ oszacowane emisje z uprawy, po odliczeniu wielkości emisji na produkty uboczne, były mniejsze od 20 g CO₂ eq/MJ bioetanolu (tab. 2).

Ziarno kukurydzy jest jednym z głównych surowców do produkcji bioetanolu w Polsce [Izdebski i in. 2014]. Wśród zalet kukurydzy jako surowca wyróżnia się: wysoki poziom plonowania – dwukrotnie większy niż plony innych gatunków zbóż uzyskiwane na glebach słabych, przydatność do zagospodarowania odlogów, możliwość zagospodarowania ziarna gorszej wartości, ponieważ charakteryzuje się wysoką wydajnością gorzelniczą i wysoką wartością paszową wywarów. Z 1 tony ziarna kukurydzy można uzyskać, według różnych autorów, od 340 do 410 litrów bioetanolu, a wydajność jednostkowa z ziarna kukurydzy jest 3-4-krotnie większa w stosunku do wydajności z innych gatunków roślin [Michalski 2007]. Przy produkcji bioetanolu jako produkt uboczny powstaje wywar zbożowy, który po wysuszeniu staje się war-

Tabela 2. Emisja CO₂ eq/kg nasion z uprawy kukurydzy w SD Baborówko
Table 2. Emission CO₂ eq/kg of seeds of maize in SD Baborowko

Emisje/Emissions [g CO ₂ eq/kg]	Systemy uprawy (warianty)/Tillage system (variants)*							
	1.		2.		3.		4.	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Zużycie ON/ON consumption [l/ha]	8,75	9,32	14,27	14,98	18,97	19,14	22,85	24,09
Nawozy N/Fertilizers N [kg N]	48,97	52,13	47,51	49,89	48,23	48,67	55,44	58,45
Nawozy K ₂ O/Fertilizers K ₂ O [kg K ₂ O]	5,70	6,06	5,53	5,80	5,61	5,66	5,31	5,60
Nawozy P ₂ O ₅ /Fertilizers P ₂ O ₅ [kg P ₂ O ₅]	5,82	6,19	5,64	5,92	5,73	5,78	5,42	5,72
Pestycydy [kg]/Pesticides [kg]	2,30	2,26	2,24	2,16	2,27	2,11	2,15	2,09
Emisja polowa N ₂ O/ Field emission N ₂ O [g CO ₂ eq/kg]	99,54	100,74	96,86	98,30	96,53	94,68	113,85	116,44
Emisja z uprawy/Emissions from cultivation [g CO ₂ eq/kg]	171,08	176,70	172,05	177,07	177,34	176,05	205,02	212,39
Emisja z uprawy/Emissions from cultivation [g CO ₂ eq/kg/MJ bioethanol]	25,95	29,30	26,59	29,29	28,19	29,54	32,01	35,69
Emisja z uprawy minus emisja z wywaru/Emissions from cultivation minus emissions from broth [g CO ₂ eq/kg/MJ bioethanol]	14,17	15,96	14,50	16,00	15,39	16,13	17,50	19,49

* oznaczenia 1-4 jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

tościowym komponentem pasz, szczególnie dla przeżuwaczy, ale także znajduje zastosowanie w żywieniu świń i drobiu [Niedziółka, Szymański 2003].

Wcześniejsze badania [Jarosz, Faber 2014] dotyczące ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w uprawie surowców na cele paliwowe, w tym kukurydzy uprawianej w zmianowaniu (kukurydza – pszenica ozima – rzepak ozimy – pszenica ozima), wykazały, że skutecznym sposobem ograniczenia emisji jest zwiększenie sekwestracji węgla wskutek poprawy agrotechniki. Innym sposobem ograniczenia całkowitej emisji gazów cieplarnianych jest redukcja emisji rolniczych przez zmianę metodyki szacowania podtlenku azotu N_2O . Zgodnie z komunikatem KE [2010], do wykonywania szacunków emisji polowych zaleca się stosowanie metodyki IPCC (poziom 1), ale dopuszcza się także metody dokładniejsze – modele (poziom 3). Uwzględnienie w analizach cyklu życia bioetanolu szacunków emisji N_2O wysymulowanych modelem DNDC może zmniejszyć wielkość emisji rolniczych z uprawy kukurydzy o 5% [Jarosz, Faber 2016].

Podsumowanie

Produkcja biopaliw I generacji, mimo że budzi wiele kontrowersji, to jednak do czasu upowszechnienia produkcji biopaliw wyższych generacji oraz biorąc pod uwagę zobowiązania wynikające z realizacji Narodowego Celu Wskaźnikowego, nadal jest kontynuowana. Przeprowadzona analiza wykazała, że o wielkości emisji w kukurydzy uprawianej na ziarno w największym stopniu decydowały uzyskiwane plony ziarna. Pewien wpływ na ich wielkość miało także następcze działanie azotu wniesionego w oborniku. Natomiast oszczędności w paliwie z tytułu uprawy bezorkowej lub uproszczeń w uprawie także wpływały na wielkość emisji, nie był to jednak wpływ tak znaczący jak w przypadku wielkości plonów czy nawożenia azotem. W RZD Grabów (woj. mazowieckie) tylko ziarno pochodzące z uprawy kukurydzy w monokulturze w systemie uproszczonym i płużnym z przyoraniem słomy (2014 rok) oraz z uprawy kukurydzy w zmianowaniu w systemie płużnym ze zbiorem resztek poźniwnych może być wykorzystane do produkcji bioetanolu. W SD Baborówko (woj. wielkopolskie) oszacowane z uprawy kukurydzy wielkości emisji po alokacji na produkty uboczne, niezależnie od systemu uprawy, były mniejsze od wartości standardowej określonej w dyrektywie RED. Ziarno pochodzące ze wszystkich systemów uprawy kukurydzy może być przeznaczone na cele biopaliwowe.

Literatura/Bibliography

- Biograce. *Harmonised Calculations of Biofuel Greenhouse Gas Emissions in Europe*. 2011. <http://www.biograce.net/>.
- Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources). Dz.U. UE L 09.140.16.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE 1513/2015 z dnia 9 września 2015 r. zmieniająca dyrektywę WE/28/2009 w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych oraz zmieniająca dyrektywę WE/70/98 odnoszącą się do jakości benzyny i olejów (directive (EU) 2015/1513 of the European Parliament and of the Council of 9 September 2015 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources). UE/1513/2015 z 9.09.2015.
- Faber Antoni, Zuzanna Jarosz, Robert Borek, Magdalena Borzęcka-Walker, Alina Syp, Rafał Pudełko. 2011. *Poziom emisji gazów cieplarnianych (CO_2 , N_2O i CH_4) dla upraw pszenicy, pszenżyta, kukurydzy i żyta przeznaczonych do produkcji bioetanolu oraz upraw rzepaku przeznaczonych do produkcji biodiesla* (Greenhouse gas emissions (CO_2 , N_2O and CH_4) for wheat, triticale, maize and rye crops intended for the production of bioethanol and rapeseed crops intended for the production of biodiesel. Expert opinion for the Ministry of Agriculture and rural development). Ekspertyza wykonana na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.
- Izdebski Waldemar, Jacek Skudlarski, Stanisław Zajac. 2014. Wykorzystanie surowców pochodzenia rolniczego do produkcji biopaliw transportowych w Polsce (The use of agricultural commodities for production of biofuels for transport in Poland). *Roczniki Naukowe SERiA XVI* (2): 93-97.

- Jarosz Zuzanna, Antoni Faber. 2014. Możliwości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw (Possibilities to reduce greenhouse gas emissions in the life cycle of biofuels). *Studia i Raporty IUNG-PIB* 39 (13): 9-27.
- Jarosz Zuzanna, Antoni Faber. 2016. Możliwości ograniczenia emisji rolniczych z uprawy kukurydzy przeznaczonej do produkcji bioetanolu (The possibility of agricultural emission limitations from corn cultivation on bioethanol). *Roczniki Naukowe SERiA XVIII* (3): 120-127.
- Komunikat Komisji w sprawie praktycznego wdrożenia unijnego systemu kryteriów zrównoważonego rozwoju biopaliw i biopłynów oraz obowiązujących zasad obliczeń w odniesieniu do biopaliw* (Communication from the Commission on the practical implementation of the EU biofuels and bioliquids sustainability scheme and on counting rules for biofuels). Dz.Urz. UE. 19.6.2010, C160/8 PL, <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2010:160:0008:0016:PL:PDF>.
- Michalski Tadeusz. 2007. Kukurydza – doskonały surowiec do produkcji biopaliw (Corn – an excellent raw material for the production of biofuel). *Agro Serwis* 3-9.
- Niedziółka Ignacy, Mariusz Szymanek. 2003. Przemysłowe i energetyczne wykorzystanie ziarna kukurydzy (Utilization of maize grain for industrial and energetistics purposes). *Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa* 5: 115-121.

Summary

The aim of the study was to assess the greenhouse gases emissions in different maize cultivation systems in monoculture compared to its cultivation in crop rotation systems. To assess the GHG emissions the Biograce 4 public calculator was used. Assessments were conducted for various maize cultivation systems in the years 2013-2014 in the two IUNG experimental stations: RZD Grabów and SD Baborówko. The results showed that the values of GHG emissions in maize – taking into account allocation of emissions to by-products – were determined mainly by the yield. In SD Baborówko the emission values ranged from 14.2 to 19.5 g CO₂ eq/kg/MJ of bioethanol, irrespectively of the cultivation system, and were lower than the standard value. In RZD Grabów only maize cultivated in monoculture in reduced tillage and maize cultivated in 2014 in ploughing system and crop rotation may be used for bioethanol production.

Adres do korespondencji
dr Zuzanna Jarosz (orcid.org/0000-0002-3428-5804)
prof. dr hab. Jerzy Książak
prof. dr hab. Antoni Faber (orcid.org/0000-0002-3055-1968)
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, tel. (81) 47 86 766
e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl