



ORIGINAL ARTICLE

ARTYKUŁ

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF MANAGING THE ORGANIC MATTER IN AGRICULTURE

ASPEKTY ŚRODOWISKOWE GOSPODAROWANIA MATERIAŁ ORGANICZNYM W ROLNICTWIE

Dorota Pikuła

Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute in Puławy
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

Pikuła D. (2015), *Aspekty środowiskowe gospodarowania materią organiczną w rolnictwie/ Environmental aspects of managing the organic matter in agriculture*. Economic and Regional Studies, vol. 8, no.2, pp. 98-112.

Summary: The article presents information concerning the function of organic matter in soil, natural factors affecting the content of organic matter in soils, environmental aspects and management of current problems in managing soil matter in agriculture. On the basis of author's own research and review of subject literature the results of several years of experience on the dynamics of changes and quality of organic matter in soil have been presented. Results of indicators of the organic matter in agricultural soils indicate a wide variation of humus content (0.5-10%). The average content of this substance in our soils is 2.2% (Stuczyński et al., 2007). The aim of this article is to pay special attention to broadening the scope of research on organic matter in order to develop norms that may be necessary when developing prevention programs targeted at reducing the content of organic matter in soils, in light of the increasing acreage crops in monocultures and reducing the use of natural fertilizers in agriculture. It is also necessary to draw attention to a broader perception of soil fertility from the environmental perspective, especially in order for the increase of the humus content through various agro-technical actions not to worsen quality of water, of food and of feed.

Key words: soil organic matter, crop rotation, rational management of soil environment, mineralization and humification of organic matter, carbon sequestration

Introduction

Organic matter- natural and contained in fertilizers, and the products created as a result of the activities of microorganisms interact favorably on the physical, chemical and biological properties of soils (Bednarek et al., 2005, Czyż et al., 2010, Pikuła 2006, Rutkowska and Pikuła 2013). Therefore, maintaining the level of humus or increasing

Streszczenie: W artykule przedstawiono informacje dotyczące funkcji materii organicznej w glebie, naturalne uwarunkowania wpływające na zawartość materii organicznej w glebach, aspekty środowiskowe i obecne problemy gospodarowania glebową materią w rolnictwie. Na podstawie badań własnych oraz przeglądu literatury przedstawiano wyniki szeregu wieloletnich doświadczeń nad dynamiką przemian i jakością materii organicznej w glebie. Wyniki oznaczeń zawartości materii organicznej w glebach użytków rolnych wskazują na duże zróżnicowanie zawartości próchnicy (0,5-10%). Średnia zawartość tej substancji w naszych glebach wynosi 2,2% (Stuczyński i in., 2007). Celem artykułu jest zwrócenie szczególnej uwagi na poszerzenie zakresu badań materii organicznej w celu opracowaniu normatywów, które mogą okazać się konieczne przy opracowywaniu programów zapobiegających zmniejszaniu się zawartości materii organicznej w glebach, w świetle rosnącego arealu upraw roślin w monokulturach i zmniejszenia stosowania nawozów naturalnych w rolnictwie. Konieczne jest również zwrócenie uwagi na szersze postrzeganie żyzności gleby w aspekcie środowiskowym, szczególnie na to by zwiększanie zawartości w niej próchnicy poprzez różne zabiegi agrotechniczne nie pogarszało jakości wód, jakości pasz i żywności.

Słowa kluczowe: glebowa materia organiczna, zmianowanie, racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym, mineralizacja i humifikacja materii organicznej, sekwestracja węgla

Wstęp

Materia organiczna- naturalna i wprowadzona w nawozach, oraz jej produkty powstałe w wyniku działalności mikroorganizmów oddziałują korzystnie na właściwości fizyczne, chemiczne oraz biologiczne gleb (Bednarek i in., 2005, Czyż i in., 2010, Pikuła 2006, Rutkowska i Pikuła 2012). W związku z tym utrzymanie poziomu próchnicy

Address for correspondence: dr inż. Dorota Pikuła, Institute of Soil Science and Plant Cultivation - State Research Institute in Puławy; Czartoryskich St. 8, 24-100 Puławy, Poland; phone:+48 81 886-34-21 wew. 258; **Full text PDF:** www.ers.edu.pl; Open-access article.
Copyright © Pope John Paul II State School of Higher Education in Białą Podlaska, Sidorska 95/97, 21-500 Białą Podlaska;
Indexation: Index Copernicus Journal Master List ICV 2014: 70.81 (6.96); Polish Ministry of Science and Higher Education 2014: 4 points.

its level is important not only for the environment protection but also for the agriculture. In the traditional meaning, the concept of soil confined only to their production functions, while research suggests a number of other functions key from the perspective of development of water retention and various substances, buffering and filtration of pollutants, habitat forming habitats of diverse communities of flora and fauna, performed by soil (Stuczyński, Łopatka 2009, Pikuła 2006, Czyż et al., 2010, Stevenson 1994). Soil-habitat determinants as well as social and historical ones also create a specific cultural context in the given area associated with the landscape and its structure, often referred to as the cultural function.

Over the past few years the European Union has witnessed an increase of interest in problems of soil protection. This follows from the proof of the loss of large areas of soil earmarked for purposes related to urbanization, development of the road network and the industry, and therefore non-agricultural (Wasilewski 2007). In addition to this loss, what is observed is a significant deterioration in the quality of soils and disruption of their functions (Horabik 2007, Gonet, Markiewicz 2007). Changes in land use and intensification of agricultural production in Europe lead to soil degradation and loss of Corg., and it also contributes, among other sources, to the so-called „Greenhouse effect”. Therefore, the European Union’s policy in recent years may be seen as clearly striving to give the protection of soils a rank equal to the protection of air and water. The importance of soil protection has been strongly emphasized in the 6th Environment Action Programme of the EU, which identifies eight main threats and soil degradation processes that are important from the point of view of nature conservation policy in the EU, i.e. erosion, soil pollution from local and scattered sources, loss of soil organic matter, biodiversity loss, compaction, salinisation, landslides and floods and the loss of area as a result of urbanization (COM (2002) 179; 2002). The problem of rational management of organic matter, neglected for many years, returned also in Poland, mainly due to changes in agriculture, which occurred after 2004.

Agricultural importance of soil organic matter

Agricultural usefulness of soil depends on many factors, but primarily on their content of organic matter. This substance has a much greater influence on the fertility of the soil as compared with other features, as both its biological, chemical and physical properties depend on the level of stabilized organic matter (Mazur 1995, Pałosz 2009, Gonet, Markiewicz 2007, Gantzer et al. 1991). The decrease in organic matter content in the soil has a negative impact on its fertility, which in turn translates into the size and the quality of yielded crops. Rating the richness of our soils in humus is extremely important,

lub zwiększenie jego poziomu jest ważne nie tylko z punktu widzenia ochrony środowiska ale i rolnictwa. W tradycyjnym rozumieniu pojęcie gleb ograniczało się tylko do ich funkcji produkcyjnych, tymczasem badania naukowe wskazują na szereg innych funkcji istotnych z punktu widzenia kształtowania retencji wody i różnych substancji, buforowania i filtracji zanieczyszczeń, kształtowania siedlisk różnorodnych zbiorowisk flory i fauny, jakie pełnią gleby (Stuczyński, Łopatka 2009, Pikuła 2006, Czyż i in., 2010, Stevenson 1994). Uwarunkowania glebo-siedliskowe, społeczne i historyczne na danym terenie tworzą także określony kontekst kulturowy związany z krajobrazem i jego strukturą, często określane mianem funkcji kulturowej.

Na przestrzeni ostatnich kilku lat w krajach Unii Europejskiej następuje wzrost zainteresowania problematyką ochrony gleb. Wynika to z udokumentowania utraty dużych powierzchni gleb przeznaczonych na cele związane z urbanizacją, rozwojem sieci drogowej i przemysłu, a więc pozarolnicze (Wasilewski 2007). Oprócz utraty zasobów obserwuje się znaczące pogorszenie jakości gleb i zakłócenie pełnionych przez nie funkcji (Horabik 2007, Gonet, Markiewicz 2007). Zmiany użytkowania ziemi oraz intensyfikacja produkcji rolniczej w Europie prowadzi do degradacji gleby i strat Corg., a także przyczynia się, obok innych źródeł do tzw. „efektu cieplarnianego”. W związku z powyższym w polityce Unii Europejskiej w ostatnich latach można dostrzec wyraźne dążenie do nadania ochronie gleb rangi równej ochronie powietrza i wody. Znaczenie ochrony gleb zostało mocno uwypuklone w 6 Programie Działań Środowiskowych UE, w którym wskazano osiem podstawowych zagrożeń i procesów degradacji gleb istotnych z punktu widzenia polityki ochrony zasobów przyrody w UE, tj. erozję, zanieczyszczenie gleb ze źródeł lokalnych i rozproszonych, ubytek glebowej materii organicznej, utratę bioróżnorodności, zagęszczenie, zasolenie, osuwiska i powodzie oraz utratę powierzchni w wyniku urbanizacji (COM (2002)179;2002). Pomijany przez wiele lat problem racjonalnego gospodarowania materią organiczną powrócił także w Polsce, głównie za sprawą zmian w rolnictwie, które nastąpiły po 2004 roku.

Rolnicze znaczenie glebowej materii organicznej

Przydatność rolnicza gleb zależy od wielu czynników ale przede wszystkim od zawartości w nich materii organicznej. Substancja ta ma znacznie większy wpływ na żyzność gleby w porównaniu z innymi cechami, ponieważ zarówno jej właściwości biologiczne, chemiczne i fizyczne, zależą od ustabilizowanego poziomu zawartości materii organicznej (Mazur 1995, Pałosz 2009, Gonet, Markiewicz 2007, Gantzer i in., 1991). Spadek zawartości materii organicznej w glebach wywiera niekorzystny wpływ na ich żyzność, co w konsekwencji przekłada się na wielkość i na jakość osiągniętych plonów roślin upraw-

not only from the point of view of assessing their productive potential, but also for the environmental effects. This issue is particularly relevant in Poland due to the advantage of light soils (35%) and very light ones (30%) within the total agricultural area, which in addition are characterized by very acidic and acidic, which adversely affects the accumulation of organic matter (Filipek and al., 2006, Fotyma et al., 2002). Such natural conditions lead to significant losses of organic matter in soils and due to the occurrence of water erosion or wind erosion in the long term they lead to degradation (Jadczyzyn 2010). The intensification of degradation processes can lead to total loss of the habitat, production or retention functions by the soil. The result is its exclusion from agricultural use (Glinski et al., 2011; Józefaciuk 1996). The principles of the Common Agricultural Policy of the EU and international conventions oblige the countries to reduce the risks to the environment and its elements: air, water and soil. At the national level, the requirement to maintain the appropriate for our soil-climate conditions level of organic matter in the soil is imposed by the Code of Good Agricultural Practice; obligations arising from the activities of the Common Agricultural Policy and the activities under the Rural Development Programme (RDP).

It is worth noting that the proper use of soils not only reduces the process of their degradation and allows to obtain high yields of crops, but also is an important factor in the binding of carbon in the form of humus, contributing to the reduction of the greenhouse effect (Foereid, Høgh-Jensen 2004). Intensive use of soil in monocultures destroys the soil structure, leading to excessive aeration of habitats and mineralization of humus (Gonet, Markiewicz 2007, Wiater 2000). As a result, a significant amounts of CO₂ are released into the atmosphere, the emission of which is a significant item in the balance sheet of the total CO₂ emissions from different sectors of the economy (Bienkowski, Jankowiak 2006).

Functions of organic matter within soil

Organic matter plays a key role in shaping the functional and ecological properties of soils (Bednarek et al., 2005). The most important properties of humus include the following: adjusting the capacity of the sorption complex, buffer properties of the soil, the formation of complexes with polyvalent cations, water retention (retention), the stabilization of soil aggregates, giving the color and density to the soil (Bednarek et al. 2005, Grzebisz, 2009, Stevenson, 1994). Humus is also a source of energy for the microorganisms; it stimulates the growth and development of plants and increases the biodiversity of soils. The soils rich in humus, are characterized by higher microbial activity in comparison

nych. Ocena zasobności naszych gleb w próchnicę jest niezwykle ważna, nie tylko z punktu widzenia oceny ich potencjału produkcyjnego, ale i skutków środowiskowych. Zagadnienie to jest szczególnie aktualne w Polsce z uwagi na przewagę gleb lekkich (35%) i bardzo lekkich (30%) w ogólnej powierzchni gruntów rolnych, w dodatku charakteryzujących się odczynem bardzo kwaśnym i kwaśnym, który wpływa niekorzystnie na akumulację materii organicznej (Filipek i in., 2006, Fotyma i in., 2002). Takie naturalne uwarunkowania prowadzą do znacznych strat materii organicznej w glebach i w wyniku działania erozji wodnej lub wietrznej w dłuższym aspekcie czasowym prowadzą do degradacji (Jadczyzyn 2010). Nasilenie procesów degradacyjnych może prowadzić do całkowitej utraty przez glebę jej funkcji siedliskowych, produkcyjnych czy retencyjnych. W efekcie następuje jej wykluczenie z użytkowania rolniczego (Gliński i in., 2011; Józefaciuk A. i Józefaciuk Cz., 1999). Zasady Wspólnej Polityki Rolnej UE i konwencje międzynarodowe zobowiązują więc do ograniczania zagrożeń środowiska przyrodniczego i jego elementów: powietrza, wód i gleb. Na szczeblu krajowym obowiązek utrzymania odpowiedniej dla naszych warunków glebowo-klimatycznych zawartości materii organicznej w glebie nakłada Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, zobowiązania wynikające z działań Wspólnej Polityki Rolnej i działań w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW).

Warto podkreślić, że prawidłowe użytkowanie gleb nie tylko ogranicza proces ich degradacji i pozwala uzyskać wysokie plony roślin uprawnych, ale także jest ważnym czynnikiem wiązania związków węgla w postaci próchnicy, przyczyniającym się do zmniejszania efektu cieplarnianego (Foereid, Høgh-Jensen 2004). Intensywne użytkowanie gleb w monokulturach niszczy strukturę gleb, prowadzi do nadmiernej aeracji siedlisk oraz mineralizacji próchnicy (Gonet, Markiewicz 2007, Wiater 2000). W efekcie uwalnia się dużo CO₂ do atmosfery, którego emisja stanowi istotną pozycję w całkowitym bilansie emisji CO₂ z różnych sektorów gospodarki (Bienkowski, Jankowiak 2006).

Funkcje materii organicznej w glebie

Materia organiczna pełni kluczową rolę w kształtowaniu użytkowych i ekologicznych właściwości gleb (Bednarek i in., 2005). Do najważniejszych właściwości próchnicy zalicza się: regulowanie pojemności kompleksu sorpcyjnego, właściwości buforowych gleby, tworzenie kompleksów z kationami wielowartościowymi, zatrzymywanie wody (retencja), stabilizację agregatów glebowych, nadawanie barwy i gęstości glebie (Bednarek i in., 2005, Grzebisz, 2009, Stevenson, 1994). Próchnica stanowi też źródło energii dla mikroorganizmów, stymuluje wzrost i rozwój roślin, zwiększa bioróżnorodność glebową. Gleby zasobne w próchnicę charakteryzują się większą aktywnością mikrobiologiczną w porównaniu

to the soils with a low content of humus. Soil microorganisms, through participating in the process of mineralization and humification of organic matter and along with the humic substances contribute to the formation of lumpy soil structure (Czyż et al., 2010 Gorlach, 2001, Stevensen, 1994).

Soil of various sizes of lumps, usually from 0.5 to 5 mm creates optimum conditions for water and air, and has a beneficial effect on the normal development of the roots, which in turn translates into higher yields of crops (Cwojdzński, Nowak 2002, Gonet, Markiewicz 2007). Spaces of various sizes formed within and between the lumps also provide optimum aeration, so that the soil can accumulate and retain a significantly larger amount of water. Creating due to growing treatments such channels is particularly advantageous and desirable in light soils, as this prevents them from drying out and allows them to store more water. In lighter soils, humic substances also increase the firmness and durability of lumps to washing (Fotyma et al., 2002). Whilst, in heavier soils, the presence of soil aggregates of different sizes loosens their structure, making the soil easier to cultivate in practice. Due to certain fractions of humus, characterized by a greater buffer capacity compared to the clay materials of soil, humus can stabilize the pH of the soil, while increasing the buffering properties. The individual fractions of the humus fulfill a protective function of the soil, as they stop, being a unique filter, heavy metals (Table 1) and organic compounds, for example: esticides-limiting bioavailability of harmful substances by the plants (Pikuła 2006 Stepień et al., 2004).

do gleb z niską jej zawartością. Mikroorganizmy glebowe uczestnicząc w procesie mineralizacji i humifikacji materii organicznej, wraz z substancjami humusowym, przyczyniają się do tworzenia struktury gruzełkowej gleby (Czyż i in. 2010, Gorlach, 2001, Stevensen, 1994). Gleba o zróżnicowanej wielkości gruzełek, przeważnie od 0,5 do 5 mm stwarza optymalne warunki wodno-powietrzne, i wpływa korzystnie na prawidłowy rozwój korzeni, co w efekcie przekłada się wyższe plony roślin uprawnych (Cwojdzński, Nowak 2002, Gonet, Markiewicz 2007). Przestwory o zróżnicowanej wielkości powstałe wewnątrz gruzełków oraz pomiędzy nimi zapewniają również optymalną aerację, dzięki temu gleba może akumulować i zatrzymywać znaczne większe ilości wody. Tworzenie dzięki zabiegom uprawowym takich kanalików jest szczególnie korzystne i pożądane na glebach lekkich, gdyż zapobiega to ich przesuszeniu i pozwala zmagazynować więcej wody. W glebach lżejszych substancje próchnicowe zwiększają również zwięzłość i wytrzymałość gruzełków na rozmywanie (Fotyma i in., 2002). Natomiast w glebach cięższych, obecność agregatów glebowych o różnej wielkości rozluźnia ich strukturę, czyniąc w praktyce glebę łatwiejszą w uprawie. Dzięki określonym frakcjom próchnicy, charakteryzujących się większą zdolnością buforową w porównaniu do materiałów ilastych gleby, próchnica może stabilizować odczyn gleb, zwiększając równocześnie ich właściwości buforowe. Poszczególne frakcje próchnicy spełniają także funkcję ochronną gleby, gdyż zatrzymują, na zasadzie filtra metale ciężkie (Tabela 1) i związki organiczne, np. pestycydy ograniczając bioprzyswajalność szkodliwych substancji przez rośliny (Pikuła 2006, Stepień i in., 2004).

Table 1. Impact of the level of Corg within soil on the content of heavy metals in wheat harvested green

Tabela 1. Wpływ poziomu Corg. w glebie na zawartość metali ciężkich w życie na zielonkę

Category of soil/ Kategoria gleby	Level of Corg. in soil in g/kg / Poziom zawartości Corg. w glebie w g/kg	Content of heavy metals/ Zwatość metali ciężkich							
		Zn		Pb		Cd		Cu	
		mg/kg s.m.	%	mg/kg s.m.	%	mg/kg s.m.	%	mg/kg s.m.	%
light/ lekka	6	163,8	100	1,67	100	0,50	100	11,8	100
	9	182,6	111	1,35	81	0,48	96	10,7	91
	12	110,6	67	1,14	68	0,33	66	9,0	76
	average/ średnio	152,3	-	1,40	-	0,44	-	10,3	-
average/ średnia	6	125,9	100	1,14	100	0,45	100	9,9	100
	9	103,1	82	0,80	70	0,30	67	6,4	65
	12	73,3	58	0,60	53	0,21	47	6,0	61
	average/ średnio	100,8	-	0,85	-	0,32	-	7,4	-

Source: Pikuła 2006.

Źródło: Pikuła 2006.

Soil organic matter is also a valuable source of nutrients for the plants, where as a result of its mineralization process macro and micronutrients are released, particularly nitrogen, phosphorus and sulfur, as well as significant amounts of copper, boron and

Glebowa materia organiczna gleb jest także cennym źródłem składników pokarmowych dla roślin, z której w wyniku procesu jej mineralizacji uwalniają się makro- i mikroelementy, szczególnie azot, fosfor i siarka, a także znaczne ilości miedzi, boru

zinc (Gorlach 2001). Table 2 presents the characteristics of soil properties shaped by organic matter (Stevenson 1994).

i cynku (Gorlach 2001). W tabeli 2 zaprezentowano charakterystykę właściwości gleby kształtowanych przez materię organiczną (Stevenson 1994).

Table 2. Characteristics of soil conditioned by organic matter

Tabela 2. Charakterystyka właściwości gleby warunkowanych materią organiczną

Properties/ Właściwości	Source/ Źródło	Result/ Skutek
Colour/ Barwa	Dark colour of soil is a result of the absence of organic matter/ Ciemna barwa gleby jest spowodowana obecnością materii organicznej	Faster warming of soil in spring. Increased albedo of the topsoil/ Szybsze nagrzewanie gleby wiosną. Zwiększone albedo warstwy ornej.
Retention/ Retencja	Organic matter may bind water in the amount 20 times higher than its mass./ Materia organiczna może wiązać wodę w ilości 20-krotnie przewyższającej jej masę.	Improvement of properties of light soils, decrease effects of drought./ Poprawa właściwości gleb lekkich, zmniejszenie skutków suszy.
Agregate structure/ Struktura agregatowa	Creating connections with clay minerals, cations, polysaccharides with participation of microorganisms./ Tworzenie połączeń z minerałami ilastymi, kationami, polisacharydami z udziałem mikroorganizmów.	Agregate structure shapes water and air conditions and permeability of soils./ Struktura agregatowa kształtuje stosunki wodne, powietrzne i przepuszczalność gleb.
Specific density/ Gęstość właściwa	Organic material has Lower density than mineral soil material./ Materiał organiczny posiada niższą gęstość niż materiał mineralny gleby.	Lower density of soil leads to an increase of porosity due to interactions of organic components and non-organic ones./ Mniejsza gęstość gleby powoduje wzrost porowatości, ze względu na interakcje składników organicznych i nieorganicznych.
Water solubility/ Rozpuszczalność w wodzie	Organic matter is insoluble in water due to the formation of clay minerals connections and polyvalent cations./ Materia organiczna jest nierozpuszczalna w wodzie ze względu na tworzenie połączeń z minerałami ilastymi i kationami wielowartościowymi.	Only a small portion of organic matter is migrating into the soil profile./ Tylko niewielka część materii organicznej ulega migracji w głąb profilu glebowego.
Buffering/ Buforowanie	Organic matter exhibits buffer features in the neutral slightly acidic or alkaline range/ Materia organiczna wykazuje właściwości buforowe w zakresie słabokwaśnym, obojętnym i zasadowym.	Maintaining a constant pH of the soil./ Utrzymywanie stałego odczynu gleby.
Cation exchange capacity (ICV)/ Pojemność wymiany kationów (PWK)	The total acidity of humic substances is in the range 300-1400 cmol (+) / kg/ Całkowita kwasowość substancji humusowych waha się w zakresie 300-1400 cmol (+)/kg	Increasing the number of PKW of many soils depends on the content of organic matter/ Zwiększenie PKW wielu gleb zależy od zawartości materii organicznej
Mineralization/ Mineralizacja	Decomposition of organic matter releases into the environment ie. CO ₂ , H ₂ O, NH ₃ , phosphorus, potassium, calcium, sulfur and magnesium/ Rozkład materii organicznej uwalnia do środowiska m.in CO ₂ , H ₂ O, NH ₃ , fosfor, potas, wapń, siarka i magnez	Source of nutrients necessary for the growth and development of plants/ Źródło składników pokarmowych niezbędnych dla wzrostu i rozwoju roślin
Chelation of heavy metal cations/ Chelatowanie kationów metali ciężkich	Organic matter forms complexes with multivalent cations/ Materia organiczna tworzy kompleksy z kationami wielowartościowymi	Binding of heavy metal cations, their partial detoxification and regulating their bioavailability of micronutrients./ Wiązanie kationów metali ciężkich, częściowa ich detoksykacja oraz regulowanie bioprzyswajalności mikrośladników.

Source: Stevenson 1994.

Źródło: Stevenson 1994.

The content of organic matter in Polish soils

Natural organic matter content in the soil depends on the soil formation process, climate and hydrology of the soil. Light soils located in upland areas, beyond the reach of ground water, tend to have a lower content of humus in the soil compared to the packed soils of mixed ground type of water management. Similarly hydrogenic soils (black soil and peat soil) occurring in water-dependent habitats are characterized by the highest content of organic matter (Stuczyński et al., 2007, Terelak et al., 2000). Research shows that the level of humus within cultivation soils in Poland is at the level of 31-96 t / ha in the case of fawn soil and for 42-109 t / ha of brown soils. However, for black earths the amounts of humus stocks are the highest and oscillate between 220-270 t / ha (Bednarek et al., 2005).

On the European scale we do not have the comparable data at our disposal concerning the content of organic matter in soils (Gonet, Markiewicz 2007). Data based on which the European Union assesses the resources of organic matter within the European soils come from various databases and vary in terms of measurement methods. According to the criteria of the European Soil Base (ESB) approx. 45% of European soils are characterized by low and very low contents of organic matter, and only 5% have its high contents (Table 3) (Gonet, Markiewicz 2007).

Table 3. Classes of Corg. in soils according to EDS**Tabela 3.** Klasy zawartości Corg. w glebach w/g ESB

Content/ Zawartość	Corg. %	Organic matter/ Materia organiczna
high/ wysoka	>6,0	>10
medium/ średnia	2,1-6,0	3,5-10,2
low/ niska	1,1-2,0	1,7-3,4
very low/ bardzo niska	<1,0	<1,7

Source: European Database on Soils (EDS).

Źródło: Europejska Baza Danych o Glebach (ESB).

However, according to the division used in Poland, soils with low humus content (<1.0%) account for about 6% of the agricultural land, while those with average one (1.1-2.0%) - about 50%. Soils rich in humus (> 2.0%) occupy about 43% of arable land in the country (Tab. 4) (Gonet, Markiewicz 2007, Stuczyński et al., 2007). The average content of humus in Poland is therefore slightly more than 2%. According to the criteria adopted by the international conventions, the humus content of less than 3.5% (approx. 2% Corg.) is considered as a manifestation of desertification. Soils with less than 2% organic matter have low fertility, are characterized by unfavorable air-to-water ratios and require large expenditures on fertilization and liming (Gonet, Markiewicz 2007).

Zawartość materii organicznej w glebach Polski

Naturalna zawartość materii organicznej w glebie uzależniona jest od przebiegu procesu glebotwórczego, klimatu oraz hydrologii gleby. Gleby lekkie położone na obszarach wyżynnych, poza zasięgiem wód gruntowych, charakteryzują się zazwyczaj niższą zawartością próchnicy w porównaniu do gleb zwięzłych o opadowo-gruntowym typie gospodarki wodnej. Analogicznie gleby hydrogeniczne (czarne ziemie i gleby torfowe), wytworzone w siedliskach uzależnionych od wody cechuje najwyższa zawartość materii organicznej (Stuczyński i in., 2007, Terelak i in., 2000). Badania naukowe wskazują, że zasoby próchnicy w poziomie próchnicznym gleb uprawnych Polski kształtują się na poziomie 31-96 t/ha w przypadku gleb płowych i 42-109 t/ha gleb brunatnych. Natomiast dla czarnoziemów zapasy próchnicy są najwyższe i oscylują w granicach 220-270 t/ha (Bednarek i in., 2005).

W skali europejskiej nie dysponujemy porównywalnymi danymi odnośnie zawartości materii organicznej w glebach (Gonet, Markiewicz 2007). Dane, w oparciu o które Unia Europejska ocenia zasoby materii organicznej w europejskich glebach pochodzą z różnych baz danych i różnią się metodami pomiarowymi. Zgodnie z kryteriami Europejskiej Bazy Danych o Glebach (ESB) ok. 45% gleb europejskich charakteryzuje się niską i bardzo niską zawartością węgla organicznego, a tylko 5% wysoką (Tabela 3) (Gonet, Markiewicz 2007).

Natomiast według podziału stosowanego w Polsce, gleby o niskiej zawartości próchnicy (<1,0%) stanowią około 6% powierzchni użytków rolnych, a o średniej (1,1-2,0%)- około 50%. Gleby zasobne w próchnicę (>2,0%) zajmują około 43% powierzchni użytków rolnych kraju (Tabela 4) (Gonet, Markiewicz 2007, Stuczyński i in., 2007). Przeciętna zawartość próchnicy w Polsce wynosi więc nieco ponad 2%. Według kryteriów przyjętych w konwencjach międzynarodowych zawartość próchnicy poniżej 3,5% (ok. 2% Corg.) uznaje się jako przejaw pustynnienia. Gleby o niższej niż 2% zawartości materii organicznej wykazują małą żyzność, charakteryzują się niekorzystnymi stosunkami powietrzno-wodnymi oraz wymagają dużych nakładów poniesionych na nawożenie oraz wapnowanie (Gonet, Markiewicz 2007).

Table 4. The content of organic matter in agricultural soils in Poland
Tabela 4. Zawartość materii organicznej w glebach użytków rolnych Polski

Average content of organic matter (%) / Średnia zawartość materii organicznej (%)	Share of samples with organic matter (%) / Udział próbek o zawartości materii organicznej (%)			
	<1,0	1,0-2,0	2,0-3,5	>3,5
	low/ niskiej	medium/ średniej	high/ wysokiej	higher/ bardzo wysokiej
2,20	6,2	49,8	33,4	10,6

Source: Stuczyński i in., 2007.
Źródło: Stuczyński i in., 2007.

Minimum content of humus in the light and medium soils, prevailing in our country should therefore be 2-3%. Such content would ensure proper physical condition of soils and would corroborate the correctness of the conducted cultivation actions (Mazur 1992, Wiater 2000).

Adjusting and long-term maintenance of organic matter in the soil

The natural content of organic matter in the soil is regulated by the activities of the farmer, who, through fertilization, soil cultivation technique (simplified or traditional) and crop rotation structure can affect the balance of resources of soil organic matter (Asmus, Görlitz 1978; Bednarek i in. 2005, Cwojdzński i Nowak, 2002, Fotyma i in., 2002, Gantzer i in., 1991, Gonet, Markiewicz, 2007, Gorlach 2001, Rutkowska, Pikuła 2013). The content of soil organic matter exert is grossly impacted by plant roots. Plants growing on the grasslands, have deep roots and spread in the deeper layers of the soil, while crops produce more biomass than roots (grains, potatoes) (Jurčová 1990 Jurčová, Bielek 1996). Thus, in soils under grassland, a systematic increase in the content of organic matter takes place while the soils of arable land the balance of mineralization and humification processes depends on the type and amount of fertilizers, selection of plant species in crop rotation and tillage method (Jurcova 1996, Kusińska 1999, Maćkowiak 2000, Mazur 1995, Pałosz 2009, Rutkowska i Pikuła, 2013, Sapek 2009).

The research shows that the cultivation of perennial crops, intercrops plowed as green manures, soil cultivation without plowing technology and regular use of manure all act in favour of the accumulation of organic matter in the soil (Cwojdzński i Nowak 2002, Kusińska 1999, Maćkowiak 2000, Mazur 1995, Rutkowska, Pikuła 2013, Wiater 2000). Whilst, growing root crops and grains, especially in monoculture, in the absence of natural and organic fertilization leads to a decline in soil organic matter (Cwojdzński i Nowak 2002, Kusińska 1999, Jurcova i Bielek 1996, Maćkowiak 2000, Mazur 1995, Rutkowska, Pikuła 2013). Growing plants in wide rows, interrow treatments and short circuit of canopy increases the distribution of humus in the soil and increases erosion. It is estimated that each year

Minimalna zawartość próchnicy w glebach lekkich i średnich, przeważających w naszym kraju powinna zatem wynosić 2-3%. Taka zawartość zapewniałaby prawidłowy stan fizyczny gleb i potwierdzałaby poprawność prowadzonych zabiegów uprawowych (Mazur 1992, Wiater 2000).

Regulowanie i długoterminowe utrzymywanie zawartości materii organicznej w glebie

Naturalna zawartość materii organicznej w glebie regulowana jest przez działania rolnika, który poprzez nawożenie, technikę uprawy gleby (uproszczona lub tradycyjna) oraz konstrukcję płodozmiarów może wpływać na saldo zasobów materii organicznej w glebie (Asmus, Görlitz 1978; Bednarek i in. 2005, Cwojdzński i Nowak, 2002, Fotyma i in., 2002, Gantzer i in., 1991, Gonet, Markiewicz, 2007, Gorlach 2001, Rutkowska, Pikuła 2013). Na zawartość materii organicznej w glebie ogromny wpływ wywierają korzenie roślin. Rośliny porastające zbiorowiska trawiaste, korzeniami się głęboko i rozkładają w głębszych warstwach gleby, natomiast rośliny uprawne wytwarzają więcej biomasy niż korzeni (zboża, ziemniaki) (Jurcova 1990, Jurcova, Bielek 1996). Stąd w glebach pod użytkami zielonymi następuje systematyczny przyrost zawartości materii organicznej, natomiast w glebach gruntów ornych równowaga procesów mineralizacji i humifikacji zależy od rodzaju i ilości stosowanych nawozów, doboru gatunków roślin w zmianowaniu i sposobu uprawy gleby (Jurcova 1996, Kusińska 1999, Maćkowiak 2000, Mazur 1995, Pałosz 2009, Rutkowska i Pikuła, 2013, Sapek 2009). Z badań wynika, że uprawa roślin wieloletnich, międzyplonów przyorowanych jako nawozy zielone, bezorkowa technologia uprawy gleby i regularne stosowanie obornika sprzyjają akumulacji materii organicznej w glebie (Cwojdzński i Nowak 2002, Kusińska 1999, Maćkowiak 2000, Mazur 1995, Rutkowska, Pikuła 2013, Wiater 2000). Uprawa natomiast roślin okopowych i zbóż, szczególnie w monokulturze, w warunkach braku nawożenia naturalnego i organicznego prowadzi do spadku zawartości materii organicznej w glebie (Cwojdzński i Nowak 2002, Kusińska 1999, Jurcova i Bielek 1996, Maćkowiak 2000, Mazur 1995, Rutkowska, Pikuła 2013). Uprawa roślin w szerokich rzędach, międzyrzędowe zabiegi pie-

during the cultivation of root crops mineralization occurs for approx. 1.0-1.5 t / ha of humus.

Research confirms that the humus content of the soil is not fixed and is subject to continuous processes of transformation of quantitative and qualitative nature (Mackowiak 2000 Myśków 1971, Rutkowska, Pikuła 2013 Wiater 2000). Changes in the content of organic matter in soils are associated with two opposing processes: mineralization and humification (deposition). The first process leads to a decrease of this substance within the soil, while the other process- to the accumulation (Körschens 2002, Mackowiak 2000 Myśków 1971, Rutkowska, Pikuła 2013 Stuczyński et al., 2007). Long-term maintenance of this substance in the soil at a fairly constant level is only possible through systematic delivery of fresh organic matter and high biological activity of the soil.

Decrease of organic matter in soil is an important indicator of the deterioration of soil fertility and of habitat conditions. In practice this is caused by too intensive cultivation or improperly conducted land reclamation drainage, which can accelerate mineralization of humus and consequently cause a decrease in the content of soil organic matter (Debicki, Rejman 1990 Stuczyński et al., 2007). The same effect is caused by the use of simplified crop rotation plants, with the dominance of grains which leave the field after harvest with little organic residues, which are an important component and the source of humus in the soil. Adverse balance of humus is also a continued trend in recent years in Poland of using large areas of agricultural land, where natural fertilizers are not applied, which are important elements of maintaining optimum balance of humus in the soil (Igras, Kopiński 2007 Stuczyński et al., 2007).

The effectiveness of different agro-technical treatments for the increase the content of organic matter in the soil is confirmed by numerous long-term studies conducted in IUNG-PIB, as well as in other scientific units (Cwojdzński, Nowak, 2002, Do et al., 2010 Kusińska 1999, Mazur 1995 Mackowiak, 2000, Rutkowska and Pikuła 2013 Stuczyński et al., 2007, Wiater 2000 Sapek 2009) What positively affects the increase of soil organic matter and water retention is the practice of leaving any residue after harvest plants, and also the use of natural fertilizers and organic cultivation of catch crops and grass-legume mixtures. The research carried out in Slovakia showed that the most valuable in terms of weight and organic carbon content are the remains after the harvest of winter oilseed rape, beans, alfalfa within the 3rd and 4th year of cultivation, as well as sunflower and mustard. The smallest amount of leftovers after the harvest is brought into the soil after the cultivation of grains and root crops (Jurčová 1990 Jurčová and Bielek 1996 Kusińska 1999, Mazur 1992).

Stuczyński et al. (2007) confirms that over the 30 years under the influence of the use of natural

legnacyjne oraz zwarcie ładu zwiększa rozkład próchnicy w glebie i nasila proces erozji. Szacuje się, że rocznie podczas uprawy roślin okopowych mineralizacji ulega ok. 1,0-1,5 t/ha próchnicy.

Badania naukowe potwierdzają, że zawartość próchnicy w glebie nie jest stała i podlega ciągłym procesom przemian ilościowych i jakościowych (Maćkowiak 2000, Myśków 1971, Rutkowska, Pikuła 2013, Wiater 2000). Zmiany zawartości materii organicznej w glebach związane są z dwoma przeciwstawnymi procesami: mineralizacją i humifikacją (depozycją). Pierwszy prowadzi do spadku zawartości tej substancji w glebie, drugi natomiast do akumulacji (Körschens 2002, Maćkowiak 2000, Myśków 1971, Rutkowska, Pikuła 2013, Stuczyński i in., 2007). Długoterminowe utrzymywanie zawartości tej substancji w glebie na w miarę stałym poziomie jest możliwe tylko dzięki systematycznemu dostarczaniu świeżej materii organicznej oraz wysokiej aktywności biologicznej gleby. Zmniejszenie zawartości materii organicznej w glebie jest ważnym wskaźnikiem pogorszenia żyzności gleby i warunków siedliskowych. W praktyce jest to spowodowane zbyt intensywną uprawą czy też przeprowadzonymi w nieodpowiedni sposób melioracjami odwadniającymi, które to mogą przyspieszać mineralizację próchnicy i w efekcie powodować obniżenie zawartości materii organicznej w glebie (Debicki, Rejman 1990, Stuczyński i in., 2007). Analogiczny skutek powoduje stosowanie uproszczonych płodozmianów roślin, z dominacją zbóż, które pozostawiają po zbiorze na polu mało resztek organicznych, będących ważnym składnikiem źródłem próchnicy w glebie. Niekorzystny dla bilansu próchnicy jest także utrzymujący się w ostatnich latach w Polsce trend wykorzystywania dużych obszarów użytków rolnych, na których nie stosuje się nawozów naturalnych, które są istotnymi elementami utrzymania optymalnego salda próchnicy w glebie (Igras, Kopiński 2007, Stuczyński i in., 2007).

Skuteczność różnych zabiegów agrotechnicznych na zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie potwierdzają liczne wieloletnie badania prowadzone w IUNG-PIB, jak i w innych jednostkach naukowych (Cwojdzński, Nowak, 2002, Czyż i in. 2010, Kusińska 1999, Mazur 1995, Maćkowiak, 2000, Rutkowska i Pikuła 2013, Stuczyński i in., 2007, Wiater 2000, Sapek 2009). Korzystnie na przyrost materii organicznej w glebie, jak i na retencję wody wpływa pozostawianie w glebie wszelkich resztek po zbiorach roślin, stosowanie nawozów naturalnych i organicznych, uprawa poplonów i mieszanek trawiasto-motylikowatych. Z badań przeprowadzonych na Słowacji wynika, że najcenniejsze pod względem masy i zawartości węgla organicznego są resztki po zbiorach rzepaku ozimego, bobu, lucerny w 3 i 4 roku uprawy, słonecznika oraz gorczycy. Najmniejsza ilość resztek po zbiorach wnosi się do gleby po uprawie zbóż i okopowych (Jurcova 1990, Jurcova i Bielek 1996, Kusińska 1999, Mazur 1992). Stuczyń-

fertilization and an increased amount of debris after plant harvests a trend is marked in light soils of an increase in humus. The beneficial effects of manure on the growth of humus in the soil is confirmed by tests carried out at the Agricultural Experimental Station in Grabowo. Data on the effects of fertilization with manure and selection of plant species in crop rotation on the content of soil organic matter (t Corg. Per ha) are presented in Table 5.

ski i in. (2007) potwierdza, że na przestrzeni 30 lat pod wpływem stosowania nawożenia naturalnego i zwiększenia ilości resztek po zbiorach roślin zaznacza się w glebach lekkich trend przyrostu próchnicy. Korzystne oddziaływanie obornika na przyrost próchnicy w glebie potwierdzają badania przeprowadzone w należącym do IUNG-PIB Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym w Grabowie. Dane o wpływie nawożenia obornikiem oraz doboru gatunków roślin w zmianowaniu na zawartość materii organicznej w glebie (t Corg. na ha) zamieszczono w tabeli 5.

Table 5. Effect of manure and of the selection of plants in crop rotation on the content of organic matter (t / ha Corg.) in the arable layer of soil after 16 years of research (Agricultural Experimental Station in Grabów belong to IUNG-PIB)

Tabela 5. Wpływ obornika i doboru roślin w zmianowaniu na zawartość materii organicznej (t/ha Corg.) w warstwie ornej gleby po 16 latach badań (Rolniczy Zakład Doświadczalny w Grabowie IUNG-PIB)

Amount of manure in t/ha/ Dawka obornika w t/ha	Crop rotation A-depleting B-enriching soil organic matter/ Zmianowanie A-zubożające B-wzbogacające glebę w materię organiczną	The content of organic carbon in soil/ Zawartość węgla organicznego w glebie		The increase in soil (deposition)/ Przyrost w glebie (depozycja)	
		(%)	(t/ha)	(t/ha)	(%)
0	A	0,62	18,6	0,9	5,1
	B	0,67	20,1	2,4	13,5
20	A	0,62	18,6	0,9	5,1
	B	0,72	21,6	3,9	22,0
40	A	0,68	20,4	2,7	15,2
	B	0,76	23,0	5,3	29,9
60	A	0,78	23,3	5,6	31,6
	B	0,83	25,0	7,3	41,2
80	A	0,75	22,4	4,7	26,5
	B	0,81	24,2	6,5	36,7

Source: Maćkowiak 2000.

Źródło: Maćkowiak 2000.

Within the sustainable management of organic matter, in addition to manure an important role in the rebuilding of humus in the soil is played by straw. Organic matter introduced with the straw into the soil depends on plant species and the degree of humification (Mazur 1992, Wiater 2000). Allocating for ploughing, for example, 4.5 t / h of grain straw, which contains an average of 42% Corg. it is possible to incorporate into the soil almost 2 t / ha of organic carbon ($0.42 \times 4500 \text{ kg} = 1890 \text{ kg}$). Assuming that the rate of humification (transformation of organic material in the permanent humus) is for the straw equal to 0.25, the soil will be left with almost 0.5 t / ha of newly formed humus ($1890 \times 0.25 = 472.5$).

In conditions of the cultivation of plants in monocultures, especially when it comes to grains it is extremely beneficial, for the renewal of humus, to change the system for a longer period of use of arable fields into commutative: arable-grazing. Losses of humus in the soil are also reduced by conservation tillage, which consists in reducing the frequency and depth of tillage, with plowing tools which do not replace the ploughing, leaving the surface of the soil or crop residues or intercrops as mulch (Czyż et al., 2010). Adherence to proper agricultural tech-

W zrównoważonej gospodarce materią organiczną, obok obornika ważną rolę w odtwarzaniu zasobów próchnicy w glebie odgrywa słoma. Ilość materii organicznej wprowadzonej ze słomą do gleby zależy od gatunku rośliny i stopnia humifikacji (Mazur 1992, Wiater 2000). Przeznaczając do przyorania na przykład 4,5 t/h słomy zbóż, która zawiera przeciętnie 42% Corg., można wprowadzić do gleby prawie 2 t/ha węgla organicznego ($4500 \text{ kg} \times 0,42 = 1890 \text{ kg}$). Zakładając, że współczynnik humifikacji (przemian materiału organicznego w trwałą próchnicę) wynosi dla słomy 0,25, to w glebie pozostanie prawie 0,5 t/ha nowo utworzonej próchnicy ($1890 \times 0,25 = 472,5$).

W warunkach uprawy roślin w monokulturach, zwłaszcza zbożowych niezwykle korzystna jest, w celu odnowienia ubytków próchnicy, zamiana na dłuższy okres systemu użytkowania pola z ornego na przemienny: orno-pastwiskowy. Straty próchnicy z gleby ogranicza również konserwująca uprawa roli, która polega na ograniczeniu częstotliwości i głębokości zabiegów uprawowych, zastąpieniu orki narzędziami nie odwracającymi roli, pozostawieniu na powierzchni gleby resztek poźniwnych lub międzyplonów w formie mulczu (Czyż i in., 2010). Przestrzeganie zasad poprawnej agrotech-

nology principles, which take into account the use of natural and organic fertilizers, regular liming of acidic soils is conducive not only to maintaining, but even to increasing the humus in the soil (Körschens et al., 2002, Mackowiak 2000, Rutkowska, Pikuła 2013 Stuczyński et al., 2007).

Current trends in the management of organic matter

The management of soil organic matter can be divided into four phases: initial, intense mineralization of organic matter, slow depletion of organic matter and degradation of soil fertility. In the initial phase there is a balance process flow and loss of organic matter (Gantzer et al., 1991). The second phase involves intensive processes of organic matter mineralization. Currently, this phenomenon occurs only in the tropics or incandescent farming systems. This phase lasts from a few to several years and causes great losses of native organic matter reaching 40-50%. In the next phase, which lasts many decades a slow depletion of organic matter takes place. The soil then loses productivity, showing the first signs of degradation of soil fertility. In the final, fourth phase of changes in the content of organic matter in the soil there is a complete degradation of its fertility. As a result of the loss of soil fertility, soil is not able to perform the basic production and environment functions (Gantzer et al., 1991).

Contemporary Polish agriculture is in the third, and in some parts of Poland frequently in the fourth phase of the cycle of changes in organic matter (Grzebisz 2009). This condition threatens the fertility of the soils and requires a number of quick treatments designed to restore soil fertility, including taking actions that increase the organic matter content in the soil (Gantzer et al. 1991, Gonet and Markiewicz 2007 Grzebisz 2009 Krasowicz et al., 2011).

One of the most commonly used measures of assessing the change of humus content in the soil is the balance of organic matter. With regards to the calculation of the balance of humus in the soil, currently 1kg of carbon Corg. is considered as the basic unit of the humified organic matter. Since 1 kg of humus contains 0.58 kg of carbon and thus 1 kg C corresponds to 1.724 kg of humus. The derivative unit used in Germany is 1 HE. HE unit corresponds to 1 t DM of humus and 580 kg Corg. (Kolbe 2005 and 2007, Körschens 2002 and 2004 Pałosz 2009). The balance of the given rotation is calculated from the difference in increase of organic matter that came as a result of growing of the plants, use of fertilizers and specific transformation of humus in the soil and plant cultivation technology. In Poland, the balance of humus is determined based on the no longer valid in Germany, but still applied in Poland reproduction rates and the degradation of organic matter (WRD) (Asmus, Görnitz 1978 Kundler et al., 1981).

niku, która uwzględni stosowanie nawozów naturalnych i organicznych, regularne wapnowanie zakwaszonych gleb sprzyja nie tylko utrzymaniu, ale nawet zwiększeniu próchnicy w glebie (Körschens i in., 2002, Maćkowiak 2000, Rutkowska, Pikuła 2013, Stuczyński i in., 2007).

Aktualne trendy w gospodarowaniu materią organiczną

W gospodarowaniu glebową materią organiczną można wyróżnić cztery fazy: inicjalną, intensywnej mineralizacji materii organicznej, powolnego wyczerpywania się zasobów materii organicznej oraz degradacji żyzności gleby. W fazie inicjalnej występuje równowaga procesów dopływu i strat materii organicznej (Gantzer i in., 1991). Druga faza obejmuje procesy intensywnej mineralizacji materii organicznej. Obecnie zjawisko to występuje jedynie w tropiku lub systemach rolnictwa żarowego. Faza ta trwa od kilku do kilkunastu lat i powoduje duże straty rodzimej materii organicznej sięgające 40-50%. W kolejnej fazie, trwającej wiele dziesiątków lat następuje powolne wyczerpywanie się zasobów materii organicznej. Gleba wówczas traci produktywność, widoczne są pierwsze objawy degradacji żyzności gleby. W ostatniej, czwartej fazie zmian zawartości materii organicznej w glebie następuje całkowita degradacja jej żyzności. W wyniku utraty żyzności, gleba nie jest w stanie pełnić podstawowych funkcji produkcyjnych i środowiskowych (Gantzer i in., 1991). Współczesne polskie rolnictwo znajduje się w trzeciej, a w niektórych rejonach Polski często czwartej fazie cyklu zmian zawartości materii organicznej (Grzebisz 2009). Stan taki zagraża żyzności gleb i wymaga szeregu szybkich zabiegów mających na celu przywrócenie jej żyzności, m.in. poprzez podejmowanie działań zwiększających zawartość materii organicznej w glebie (Gantzer i in. 1991, Gonet i Markiewicz 2007, Grzebisz 2009, Krasowicz i in., 2011).

Jednym z najczęściej stosowanych mierników oceny zmiany zawartości próchnicy w glebie jest bilans materii organicznej. W obliczeniach bilansu próchnicy w glebie za podstawową jednostkę przyjmuje się obecnie 1kg węgla Corg. w shumifikowanej masie organicznej. Ponieważ w 1 kg próchnicy znajduje się 0,58 kg węgla a więc 1 kg C odpowiada 1,724 kg próchnicy. Jednostką pochodną stosowaną w Niemczech jest 1 HE. Jednostka HE odpowiada 1 t s. m. próchnicy i 580 kg Corg. (Kolbe 2005 i 2007, Körschens 2002 i 2004, Pałosz 2009). Bilans danego zmianowania wylicza się z różnicy przychodu materii organicznej dostarczonej w wyniku uprawy roślin, stosowanych nawozów oraz specyfiki przemian próchnicy w glebie i agrotechniki roślin. W Polsce saldo próchnicy określane jest w oparciu o nie aktualne już w Niemczech, a wciąż stosowane w Polsce wartości współczynników reprodukcji i degradacji materii organicznej (WRD) (Asmus, Gör-

The values of these coefficients require quantification and adjustments for climatic and soil conditions of our country, because using them in the existing nomenclature does not reflect the actual balance of organic matter in the soil. The disadvantage is also the fact that the concept of WRD refers to 1 hectare of cultivation of the plants irrespective of the yield and the amount introduced into the soil and crop residue does not include the total carbon in the soil of the transferred mass of root crops. The root mass of plant matter growing technology always remains in the soil. Whereas plant production yields vary greatly between regions and similarly what varies is the amount of other leave residues in the soil after harvest plants and roots, which affects the processes of accumulation of organic matter in the soil (Krasowicz et al., 2011). Cultivated plants depending on the species leave differentiated root mass in the soil, which significantly affects the deposit of organic material. Literature indicates that the roots of crops are 60-70% of post-harvest residues of plants (Jurčová 1990, Mazur 1992). On average, the mass of the roots of annual plants contains 3-4 t / ha of organic carbon (Johnson et al. 2006, Jurčová 1990, Bielek 1996). This represents almost half the amount of carbon transferred into the soil with manure. In addition, the concept of reproduction and degradation rates of organic matter does not take into account the area of fallow land, which affects the balance of organic matter on the country scale.

Depending on the choice of the plant species and the rotation and amounts introduced into the soil and natural and organic manure, the balance of the organic matter can be the positive or negative balance. The balance of organic matter on a national scale is balanced, but there are large areas of arable land where it is negative. At the same time, these areas are characterized by a low share of grassland in the area of agricultural land and low levels of native humus in soils of arable land (Mazur 1995, Stuczyński et al., 2007, Stuczyński, Łopatka 2009). The negative balance of organic farms is mainly due to reduction in the use of manure, crops in monoculture and leaving too little mass of vegetable matter in the form of post-harvest residues in the soil (Mazur 1995, Stuczyński et al., 2007, Stuczyński, Łopatka 2009).

Loss prevention and carbon sequestration in soils

Rational management of organic matter in agriculture has also an environmental dimension. Changes in the use of meadows transforming them into arable land and „deforestation“ affect the continuous growth of CO₂ emissions, which is estimat-

litz 1978, Kundler i in., 1981). Wartości tych współczynników wymagają kwantyfikacji i dostosowania do specyfiki warunków klimatycznych i glebowych naszego kraju, gdyż posługiwanie się nimi w istniejącej nomenklaturze nie odzwierciedla faktycznego salda materii organicznej w glebie. Wadą ich jest również to, że koncepcja WRD odnosi się do 1 ha uprawy danej rośliny bez względu na wielkość plonu oraz ilość wprowadzanych do gleby resztek poźniwnych i nie uwzględnia puli węgla wnoszonego do gleby z masą korzeniową roślin uprawnych. Masa korzeniowa roślin niezależnie od technologii uprawy pozostaje zawsze w glebie. Wielkość plonów roślin jest przecież znacznie zróżnicowana pomiędzy województwami i podobnie zróżnicowana jest ilość pozostawianych w glebie resztek po zbiorach roślin oraz korzeni, co ma wpływ na procesy nagromadzenia materii organicznej w glebie (Krasowicz i in., 2011). Rośliny uprawne w zależności od gatunku pozostawiają w glebie zróżnicowaną masę korzeniową, która znacząco wpływa na depozyt materii organicznej. Literatura przedmiotu wskazuje, że korzenie roślin uprawnych stanowią 60-70% resztek pozbiornych roślin (Jurcova 1990, Mazur 1992). Przeciętnie z masą korzeni roślin jednorocznych trafia 3-4 t/ha węgla organicznego (Johnson i in. 2006, Jurcova 1990, Jurcova, Bielek 1996). To stanowi prawie połowę ilości węgla wnoszonego do gleby z obornikiem. Poza tym w koncepcji współczynników reprodukcji i degradacji materii organicznej nie uwzględnia się powierzchni ugorów i odłogów, co rzutuje na bilans materii organicznej w skali kraju.

W zależności od doboru gatunków roślin w zmianowaniu i ilości wprowadzanych do gleby nawozów naturalnych i organicznych, bilans materii organicznej może być dodatni, zrównoważony lub ujemny. Bilans materii organicznej w skali kraju jest zrównoważony, jednak występują duże obszary na gruntach ornych gdzie jest on ujemny. Jednocześnie obszary te charakteryzują się niskim udziałem użytków zielonych w powierzchni użytków rolnych i niską zawartością rodzimej próchnicy w glebach gruntów ornych (Mazur 1995, Stuczyński i in., 2007, Stuczyński, Łopatka 2009). Ujemny bilans materii organicznej w gospodarstwach rolnych wynika głównie ze zmniejszenia stosowania obornika, uprawy roślin w monokulturze oraz pozostawiania w glebie zbyt małej ilości masy resztek roślinnych w postaci resztek pozbiornych (Mazur 1995, Stuczyński i in., 2007, Stuczyński, Łopatka 2009).

Zapobieganie stratom i sekwestracja węgla w glebach

Racjonalne gospodarowanie materią organiczną w rolnictwie ma również wymiar środowiskowy. Zmiany użytkowania łąk na grunty orne oraz „wylesianie“ wpływają na ciągły przyrost emisji CO₂, którą szacuje się na około 23% całkowitej emisji tego

ed at about 23% of the total emissions of this gas to the atmosphere (Sapek 2000). The problem of greenhouse gas emissions, mainly carbon dioxide into the atmosphere has become recently one of the most serious and urgent to be solved. Although the impact of anthropogenic carbon dioxide emissions on global warming has not been fully confirmed the data obtained, among others, of ice cores from Vostok station in Antarctica confirm a very close correlation between the content of CO₂ in the atmosphere, and the temperature prevailing in the land over the past more than 400 thousand years (Stopa and Rychlicki 2007). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate dated 11 December 1997. (Journal of Laws 2005. No. 203, pos. 1684) requires countries to reduce CO₂ emissions and to take action sequestering carbon. This process is based on interception of the industrial carbon dioxide prior to its escape into the atmosphere, and then the injection of CO₂ in the rock pores of deep geological structures. Formations considered for geological sequestration include among others depleted oil and gas fields, coal beds and deep saline water-bearing formations (Knauss et al., 2005). One of the mechanisms of CO₂ capture, which uses organic material is mineral trapping - the CO₂ can react with minerals and with the organic matter contained in the geological formation, the result is that it is permanently bound to the matrix rock (Damen 2007, Gaus 2010).

The soil can also immobilize atmospheric CO₂ through sequestration phenomenon, but it is also the source of CO₂ emissions. From the agricultural point of view the process signifies bonding the sequestration of CO₂ by plants and their distribution and humification in the soil, which leads to an increase in total carbon in the soil, and reduction in the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. According to Lal (2000) natural, organic and mineral fertilization increases crop yields, while being conducive to increase the use of CO₂ and carbon sequestration. The author points to three lines of conduct aimed at increasing the sequestration of carbon in the soil. The first process involves preventing erosion by: mulching the soil, maintaining its plant cover, proper structure and abundance of soil nutrients. The second course of action is to improve the circulation of nutrients (return to the soil more biomass, the use of natural and organic fertilizers, improvement of water). The role of the sequester compost and sewage sludge is also confirmed by other authors (Czyż et al., 2010, Gonet, Markiewicz 2007 Wiater 2000). The third line contains the activities leading to an increase in carbon content in crop plants by the intensification of agricultural production, including in marginal areas.

gazu do atmosfery (Sapek 2000). Problem emisji gazów cieplarnianych, głównie dwutlenku węgla do atmosfery staje się więc w ostatnim czasie jednym z najpoważniejszych i najpilniejszych do rozwiązania. Choć wpływ antropogenicznej emisji dwutlenku węgla na globalne ocieplenie nie został do końca potwierdzony to dane uzyskane m.in. z rdzeni lodowych ze stacji Wostok na Antarktydzie potwierdzają bardzo ścisłą korelację pomiędzy zawartością CO₂ w atmosferze, a temperaturą panującą na ziemi w ciągu ostatnich ponad 400 tys. lat (Stopa i Rychlicki 2007). Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych na temat klimatu z dnia 11 grudnia 1997 r. (Dz.U. z 2005 r. Nr 203, poz. 1684) zobowiązuje kraje do ograniczenia emisji CO₂ i podjęcia działań sekwestrujących węgiel. Proces ten polega na przechwyceniu przemysłowego dwutlenku węgla przed jego ucieczką do atmosfery, a następnie na iniekcji CO₂ w pory skalne głębokich struktur geologicznych. Formacje rozpatrywane do geologicznej sekwestracji to m.in. wyczerpane złoża ropy i gazu ziemnego, złoża węgla oraz głębokie wodonośne formacje solankowe (Knauss i in., 2005). Jednym z mechanizmów wychwytywania CO₂, w którym wykorzystywana jest materia organiczna jest pułapkowanie mineralne - CO₂ może reagować z minerałami i materią organiczną zawartą w formacji geologicznej, w rezultacie zostaje trwale związany z matrycą skalną (Damen 2007, Gaus 2010).

Gleba również może unieruchamiać atmosferyczny CO₂ poprzez zjawisko sekwestracji, ale i stanowić źródło emisji CO₂. Z punktu widzenia rolnictwa proces sekwestracji polega na wiązaniu CO₂ przez rośliny i ich rozkładzie oraz humifikacji w glebie, co prowadzi do zwiększenia puli węgla w glebie, a obniżenia stężenia dwutlenku węgla w atmosferze. Jak podaje Lal (2000) nawożenie naturalne, organiczne oraz mineralne powoduje wzrost plonów roślin uprawnych, jednocześnie sprzyja intensywniejszemu wykorzystaniu CO₂ i wiązaniu węgla. Autor wskazuje na trzy kierunki postępowania mające na celu zwiększenie wiązania węgla w glebie. Pierwszy obejmuje przeciwdziałanie procesowi erozji poprzez: mulczowanie gleby, utrzymywanie na niej okrywy roślinnej, zachowanie właściwej struktury i zasobności gleby w składniki pokarmowe. Drugim kierunkiem działań jest doskonalenie obiegu składników pokarmowych (zwrot do gleby większej ilości biomasy, stosowanie nawozów naturalnych i organicznych, poprawa gospodarowania wodą). Rolę sekwestrującą kompostów i osadów ściekowych potwierdzają również inni autorzy (Czyż i in., 2010, Gonet, Markiewicz 2007, Wiater 2000). Trzeci kierunek zawiera natomiast działania prowadzące do zwiększenia zawartości węgla w plonach roślin przez intensyfikację produkcji rolnej, także na terenach marginalnych.

Conclusion

The low content of organic matter in Polish soils is primarily due to the climate and soil conditions that are not conducive to its accumulation (Fotyma et al., 2002, Krasowicz et al., 2011, Stuczyński, Łopatka 2009). Research conducted in IUNG-PIB revealed that permanent increase of the humus content in the soil under the traditional plow cultivation, lack of the use of straw for the purpose of reducing the amount of fertilizer and perennial forage crops in crop rotation is difficult, even with regular use of moderate doses of manure (Rutkowska, Pikuła 2013). It should be emphasized that the optimal management of organic matter without harm to the fertility of the soil and the environment is not possible without fertilization with manure. Using in our climate zone other forms of fertilization, for example straw- does not guarantee the maintenance of humus at a level allowing to obtain the optimal crops, especially on lighter soils (Rutkowska, Pikuła 2013). Currently increasing acreage of grain monocultures, reducing crop acreage of fabaceae plants and reducing production of natural fertilizers will promote further decline in soil organic matter. For this reason, people will continue to seek ways to improve or maintain the humus in the soil at a sustainable level. One such method is the use of so-called external organic matter in the form of compost, waste and sewage. In the future, based on scientific research on climate change, the use of soil organic matter and monitoring of biodiversity to determine the optimal content of organic matter in different soils, taking into account natural climate and soil conditions ought to be applied. Such data would be the basis for future assessment of the possible progressive degradation of soils. In Poland, what should be carried out is not only the continuous monitoring of changes in the content of organic matter in soils, but also we should develop new norms that would be helpful in developing programs to prevent the decline of organic matter in agricultural soils (Gonet, Markiewicz 2007 Krasowicz et al., 2011, Stuczyński, Łopatka 2009). In order to check the level of humus content in the soil, instead of drawing up its balance, what seems to be more reliable is an indication of soil Corg content rather than the use of the reproduction coefficient values and the degradation of organic matter.

Podsumowanie

Niska zawartość materii organicznej w polskich glebach wynika przede wszystkim z uwarunkowań klimatyczno-glebowych, które nie sprzyjają jej akumulacji (Fotyma i in., 2002, Krasowicz i in., 2011, Stuczyński, Łopatka 2009). Z badań prowadzonych w IUNG-PIB wynika, że trwałe zwiększanie zawartości próchnicy w glebie w warunkach tradycyjnej płużnej uprawy, nie wykorzystywanie słomy w celach nawozowych i zmniejszenie udziału wieloletnich roślin pastewnych w płodozmianie jest trudne, nawet przy regularnym stosowaniu średnich dawek obornika (Rutkowska, Pikuła 2013). Należy podkreślić, że optymalne gospodarowanie materią organiczną bez szkody dla żyzności gleby i środowiska nie jest możliwe bez nawożenia obornikiem. Wykorzystywanie w naszej strefie klimatycznej innych form nawożenia, np. słomą nie gwarantuje utrzymania próchnicy na poziomie umożliwiającym uzyskiwanie optymalnych polonów roślin uprawnych, szczególnie na glebach lżejszych (Rutkowska, Pikuła 2013). Zwiększający się obecnie areał monokultur zbożowych, zmniejszenie areału uprawy roślin bobowatych oraz zmniejszenie produkcji nawozów naturalnych będzie sprzyjało dalszemu spadkowi materii organicznej w glebie. Z tego względu nadal będzie się poszukiwać sposobów podwyższania lub utrzymania próchnicy w glebie na zrównoważonym poziomie. Jedną z takich metod jest stosowanie tzw. zewnętrznej materii organicznej w postaci kompostów, odpadów czy ścieków. W przyszłości należy, w oparciu o badania naukowe z zakresu zmian klimatu, użytkowania gleb, monitoringu materii organicznej i bioróżnorodności ustalić optymalne zawartości materii organicznej w różnych glebach, uwzględniając naturalne warunki klimatyczno-glebowe. Takie dane byłyby podstawą w przyszłości do oceny ewentualnej postępującej degradacji gleb. W Polsce należy prowadzić nie tylko stały monitoring zmian zawartości materii organicznej w glebach, ale i opracować nowe normatywy, które byłyby pomocne przy opracowywaniu programów zapobiegających spadkowi materii organicznej w glebach uprawnych (Gonet, Markiewicz 2007, Krasowicz i in., 2011, Stuczyński, Łopatka 2009). W celu sprawdzenia poziomu zawartości próchnicy w glebach, zamiast sporządzania jej bilansu bardziej miarodajne wydaje się oznaczenie w glebie zawartości Corg. niż posługiwanie się wartościami współczynników reprodukcji i degradacji materii organicznej.

References/ Literatura:

1. Asmus F., Görlitz H. (1978), *Einfluss organischer und mineralischer Düngung auf die organische Substanz und den Stickstoffgehalt einer Tiefland-Fahlerde*. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 22 (2), s. 123-129.
2. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z. (2005), *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Wydawnictwo PWN, Warszawa, cz. III. Materia organiczna, koloidy i roztwór glebowy jako przedmiot badań specjalistycznych, s. 113-173.

3. Bieńkowski J., Jankowiak J. (2006), *Zawartość węgla organicznego w glebie i jego zmiany pod wpływem różnych systemów produkcji*. *Fragm. Agron.*, 2, s. 216-225.
4. COM(2002)179. (2002), *Commission of the European Communities – COM(2002)179 final – Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Towards a Thematic Strategy for Soil Protection*. Brussels, 16.4.2002.
5. Cwojdzński W., Nowak K. (2002), *Wybrane właściwości gleby w prowadzonym od 28 lat statycznym doświadczeniu nawozowym*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 484, s. 87-94.
6. Czyż E., Dexter A.R., Gadjia A. (2010), *Wpływ uproszczonej uprawy roli na właściwości fizyczne i mikrobiologiczne wybranych gleb*. *Zesz. Nauk. Połud.-Wschod. Oddz. PTIE i PTG, Rzeszów*, 13, s. 33-35.
7. Damen K. (2007), *Reforming Fossil Fuel Use. The Merits, Costs and Risks of Carbon Dioxide Capture and Storage*. Doctoral thesis Utrecht University, Amsterdam.
8. Dębicki R., Rejman J. (1990), *Przewidywanie strat gleby w wyniku erozji wodnej*. *Problemy Agrofizyki* 59. PAN, Wrocław.
9. Filipek T., Fotyma M., Lipiński W. (2006), *Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce*. *Nawozy i Nawożenie*, 2 (27), s. 7-38.
10. Foeroid B., Hogh-Jensen H. (2004), *Carbon sequestration potential of organic agriculture in northern Europe – a modelling approach*. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 68(1), s. 13-24.
11. Fotyma M., Czyż E., Dexter A., Fotyma E., Terelak H. (2002), *Gehalt und Bilanz der organischer Substanz in Böden von Polen und ihrer Einfluss auf die Krümelbeständigkeit*. Beiträge zum: 9 Konsultativtreffen der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten der MOE- Länder sowie Österreichs und Deutschlands, vom 15 bis 17 Mai 2002 in Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Wien, s. 1-8.
12. Gantzer C., Anderson S., Thompson A., Brown J. (1991), *Evaluation of Soil Loss after 100 Years of Soil and Crop Management*. *Agronomy Journal* 83, s. 74-77.
13. Gaus I., (2010), *Role and impact of CO₂-rock interactions during CO₂ storage in sedimentary rocks*. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 4, s. 73-89.
14. Gliński J., Horabik J., Lipiec J. (2011), *Encyklopedia of Agrophysics*.
15. Gonet S., Markiewicz M. (red) (2007), *Rola materii organicznej w środowisku*. Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, Wrocław.
16. Górlach E. (2001), *Gleba i jej rola w odżywianiu roślin i nawożeniu*, W: Górlach E., Mazur T., (red.). *Chemia rolna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 72-79.
17. Grzebisz W. (2009), *Materia organiczna gleby i organiczne koloidy glebowe*. Nawożenie roślin uprawnych cz. I. Podstawy nawożenia, W: Grzebisz W. (red). Rozdział IV: s. 326-332.
18. Grzebisz W. (2009), *Gospodarka materią organiczną gleby*. Nawożenie roślin uprawnych, cz. II. Nawozy i Systemy Nawożenia, W: Grzebisz W. (red). Rozdział V, PWRiL, s. 251-263.
19. Horabik J. (2007), *Applications of Physical Methods in Agriculture and Environment*. 2nd Global Forum of Leaders for Agriculture Science and Technology. Beijing, 18-19.X.
20. Igras J., Kopiński J. (2007), *Zużycie nawozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym*. *Studia i Raporty IUNG -PIB* 5/2007, s. 107-117.
21. Jadczyzsyn J. (2010), *Spyw powierzchniowy i erozja gleby w użytkowanej rolniczo mikrozelewni stokowej (Rogalów, Wyżyna Lubelska)*. *Prace Studia Geograf.*, 45, s. 67-78.
22. Jankowiak J. (2005), *Zmiany w użytkowaniu ziemi w okresie transformacji gospodarki w Polsce*, W: Ryszkowski L., Kędzióra A. (red.), *Ochrona środowiska w gospodarce przestrzennej*, Prodrak, Poznań, s. 115-125.
23. Johnson J. M. F., Allmaras R. R., Reicosky D. C. (2006), *Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodepositis using the national grain-yield database*. *Agron. J.* 89, s. 622-636.
24. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz. (1999), *Ochrona gruntów przed erozją – poradnik MOŚrZNiL - NFOŚrGW - IUNG Puławy*.
25. Jurčová, O., (1990) *Koreňové a pozberové zvyšky rastlín ako súčasť bilancie pôdnej organickej hmoty* (Root and aboveground crop residues as a part of soil organic matter balance). In: *Humusové látky - Aktiní složka systému půda- rostlina*. Praha: VÚRV, s. 36- 41.
26. Jurčová, O, Bielek P. (1996), *Zabezpečenie bezdeficitneho hospodarenia s podnou organickou hmotu*. *Zbornik VSP, Nitra, sekcia C*, s. 203-207.
27. Knauss K. G., Johnson J. W., Steefel C. I. (2005), *Evaluation of the impact of CO₂ co-contaminant gas, aqueous fluid and reservoir rock interactions on the geologic sequestration of CO₂*. *Chemical Geology* 217, s. 339- 350.
28. Kolbe H. (2005), *Verification of the VDLUFA humus balance method using long-term field trials*. *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 51(2), s. 221-239.
29. Kolbe H., (2007), *Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität*. [Site adjusted humus balance method for use in arable farming systems of different intensity.] Paper at: Zwischen Tradition und Globalisierung - 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart, Deutschland, 20.23.03.2007, <http://orgprints.org/view/projects/wissenschaftstagung-2007.html>, (14 May 2007) <http://orgprints.org/9516/>
30. Körschens M. (2002), *Importance of soil organic matter (SOM) for biomass production and environment (areview)*. *Arch. Acker Pfl. Boden*, Vol. 48, pp. 89-94.
31. Körschens M. (red.) (2004), *Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland*. Standpunkt VDLUFA, Bonn.
32. Krasowicz S., W. Oleszek, Horabik J., Dębicki R., Jankowiak J., Stuczyński T., Jadczyzsyn J. (2011). *Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski*. *Polish Journal of Agronomy*, 7, s. 43-58.
33. Kundler P., Eich D., Liste H-J., Rauhe K. (1981), *Mehr tun als nur ersetzen*. *Neue Deutsche Bauernzeitung* 36, 8-9.
34. Kusińska A. (1999), *Zasoby i skład humusu glebowego pod niektórymi gatunkami roślin w dwóch systemach uprawy*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 465, s. 319-330.

35. Lal R. (2000), *Węgiel glebowy i nasilenie efektu cieplarnianego*. Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody. Zeszyty Edukacyjne, 6, s. 22-36.
36. Leithold G., Hülsbergen K.J., Michel D., Schönmeier H. (1997), *Humusbilanz- Methoden und Anwendung als Agrar- Umweltindikator, Initiativen zum Umweltschutz*. Osnabrück, 5, s. 43-54.
37. Maćkowiak Cz. (2000), *Wpływ doboru roślin w zmianowaniu, obornika i nawozów mineralnych na zawartość węgla organicznego w glebie i produktywność zmianowań*. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 4(5), s. 102-109.
38. Mazur T. (1992), *Znaczenie resztek poźniwnych w bilansie substancji organicznej gleb*. Mat. Konf. 1992, „Nawozy organiczne” Szczecin, 2, s. 4-11.
39. Mazur T. (1995), *Stan i perspektywa bilansu substancji organicznej w glebach uprawnych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 421 a, s. 267-276.
40. Myśków W. (1971), *Przemiany substancji organicznej i jej znaczenie dla żyzności gleb*. Nowe Rol., 18, s. 13-14.
41. Pałosz T. (2009), *Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu*. Rocznik Ochrony Środowiska, 11(1), s. 329-338.
42. Pikuła D. (2006), *Wpływ wybranych właściwości fizyko-chemicznych gleby na zawartość metali ciężkich w roślinach paszowych*. Praca doktorska, SGGW, Warszawa, s. 142.
43. Rutkowska A., Pikuła D. (2012), *Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on the quality and quantity of soil organic matter*. Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment. W: Maria C. Hernandez Soriano (edit.), InTech, s. 249-168.
44. Sapek B. (2000), *Gleba jako źródło i „pułapka” na gazy cieplarniane*. Zeszyty Edukacyjne, 6, s. 52-60.
45. Sapek B. (2009), *Zapobieganie stratom i sekwestracja węgla organicznego w glebach łąkowych*. Inż. Ekol. 21, s. 48-61.
46. Stępień W., Mercik S., Pikuła D. (2004), *Wpływ substancji organicznej na mobilność metali ciężkich w glebie w doświadczeniu mikropoletkowym*. Roczniki Gleboznawcze, Tom LV, Nr 4, s. 149-156.
47. Stevenson F. J. (1994), *Humus chemistry-genesis, composition reactions*. John Wiley and Sons, Chicester.
48. Stopa J., Rychlicki S. (2007), *Sekwestracja geologiczna dwutlenku węgla*. Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków. GLOBEnergia 2/2007.
49. Stuczyński T. i in. (2007), *Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce*. W: *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych. Studia i raporty IUNG-PIB*. Puławy, 14, s. 259-271.
50. Stuczyński T., Łopatka A. (2009), *Prognoza przekształceń gruntów rolnych na cele związane z urbanizacją w perspektywie 2030*. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 14, s. 259-271.
51. Terelak H. i in. (2000), *Środowisko glebowe Polski i racjonalne użytkowanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej*. Pam. Puł., 120 (II), s. 455-469.
52. Wasilewski A. (2007), *Zmiany zasobu użytków rolnych w Polsce*. Roczn. Nauk. SERIA, 9 (I), s. 508-512.
53. Wiater J. (2000), *Wpływ nawożenia organiczno-mineralnego na bilans węgla organicznego*. Fol. Univ. Agric. Stetin. 211, Agricultura 84, s. 515-520.

Submitted/ Zgłoszony: June/ czerwiec 2014

Accepted/ Zaakceptowany: August/ sierpień 2014