

Jan Kuś

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

GLEBOWA MATERIA ORGANICZNA – ZNACZENIE, ZAWARTOŚĆ I BILASOWANIE*

Słowa kluczowe: próchnica, glebowa materia organiczna, bilans glebowej materii organicznej, reprodukcja i degradacja glebowej materii organicznej, nawozy naturalne, nawozy organiczne, obsada zwierząt, specjalizacja gospodarstw

Wstęp

Problem zachowania żyzności i urodzajności gleb w ostatnim okresie znajduje odzwierciedlenie w dokumentach światowych, europejskich i krajowych. Zagadnień tych dotyczą: deklaracja przyjęta na Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r., konwencja ONZ w sprawie przeciwdziałania pustynnieniu i suszy uchwalona w 1994 r., Tematyczna Strategia Ochrony Gleb UE z 2003 r. oraz Strategia Zrównoważonego Rozwoju obowiązująca w Polsce od 2001 r. (2). Według tych dokumentów głównymi zagrożeniami dla żyzności gleb są: erozja, spadek zawartości materii organicznej (próchnicy), zanieczyszczenie ze źródeł lokalnych i rozproszonych, zasklepienie (zabudowa powierzchni), spadek bioróżnorodności, zasolenie oraz powodzie i masowe ruchy ziemi.

Podstawowym wskaźnikiem żyzności gleby jest zawartość próchnicy, która stabilizuje strukturę, zmniejsza podatność gleby na zagęszczenie oraz erozję wodną i wietrzną. Z mineralizacją glebowej materii organicznej wiąże się również zwiększona emisja CO₂ do atmosfery, co nasila efekt cieplarniany. Czynniki te powodują, że zawartość materii organicznej w glebach jest powszechnie traktowana jako ważny wskaźnik oceny poprawności gospodarowania w rolnictwie.

W skład glebowej materii organicznej wchodzi nierozłożone w pełni nawozy organiczne i naturalne, martwe resztki roślinne i zwierzęce oraz produkty ich rozkładu i wtórnej syntezy powstające w wyniku działalności życiowej mikroflory i fauny glebowej. Ta część glebowej materii organicznej, która utraciła anatomiczną

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

oraz morfologiczną strukturę tkanek i stanowi bezpostaciową substancję organiczną o ciemnej barwie jest określana jako próchnica (humus). W glebach użytkowanych rolniczo próchnica stanowi 80–90% całkowitej ilości glebowej materii organicznej (17). Powszechnie przyjmuje się, że pojęcie glebowa materia organiczna jest synonimem próchnicy. Zawartość próchnicy ma decydujący wpływ na fizyczne, fizykochemiczne i biologiczne właściwości gleby:

- dodatni jej wpływ na fizyczne właściwości wiąże się z tworzeniem wodoodpornej, gruzelkowatej struktury warunkującej korzystne stosunki wodno-powietrzne i termiczne gleby. Taka struktura zwiększa zdolność retencyjną gleby, ogranicza spływy powierzchniowe i nasilenie erozji oraz rozluźnia gleby cięższe, czyli ułatwia wykonywanie zabiegów uprawowych. Próchnica posiada dużą pojemność wodną i zatrzymuje 3–5-krotnie więcej wody dostępnej dla roślin w stosunku do swojej masy. Nadaje również glebie ciemniejszą barwę, co przyspiesza ogrzewanie się powierzchni gleby wiosną i stwarza korzystniejsze warunki wschodów i początkowego wzrostu roślin;
- wpływ próchnicy na właściwości fizykochemiczne i chemiczne wynika z dużej jej pojemności sorpcyjnej. Koloidalna struktura związków próchnicznych pozwala na sorpcję składników pokarmowych roślin w stopniu 4–12 razy większym niż mineralnych koloidów glebowych. Dzięki tym właściwościom regulują one stężenie kationów w roztworze glebowym i ich dostępność dla roślin. Związki próchniczne mają także właściwości buforowe i w glebach słabo kwaśnych, obojętnych i zasadowych umożliwiają utrzymanie stałego odczynu. Próchnica wykazuje również duże zdolności adsorpcji na swojej powierzchni metali ciężkich i innych toksycznych substancji (np. pestycydów), które następnie ulegają powolnemu rozkładowi przez mikroorganizmy glebowe;
- glebowa materia organiczna kształtuje również aktywność biologiczną gleby, gdyż jest źródłem węgla i azotu oraz innych składników pokarmowych dla mikroorganizmów żyjących w glebie. W glebach zasobnych w humus występują liczne populacje różnych grup mikroorganizmów, które często wykazują antagonistyczne oddziaływanie w stosunku do patogenów i zmniejszają ich przeżywalność w glebie, co ogranicza nasilenie niektórych chorób (biologiczna kontrola agrofagów). Gleby takie charakteryzują się również dużą różnorodnością flory i fauny glebowej.

Glebowa materia organiczna jest także ważnym źródłem niezbędnych dla roślin składników pokarmowych, gdyż zawiera ona ok. 6% azotu, 1,2% fosforu, 0,9% siarki oraz wiele mikroelementów niezbędnych dla roślin (20).

Zawartość materii organicznej w glebach Polski

Zawartość materii organicznej w glebach zależy od dwóch grup czynników:

- **siedliskowych (naturalnych)**, które determinuje skała macierzysta, z jakiej powstała gleba (skład granulometryczny i mineralogiczny), warunki klimatyczne

kształtujące stosunki wodne i powietrzne oraz naturalna pokrywa roślinna i topografia terenu. Występuje wyraźna korelacja pomiędzy udziałem frakcji spławialnej i ładu w składzie granulometrycznym gleby a zawartością próchnicy. Również w rejonach o niższych temperaturach i większych opadach jej zawartość jest większa niż w rejonach ciepłych i suchych, gdzie próchnica ulega szybkiej mineralizacji.

- **antropogenicznych** związanych przede wszystkim z regulacją stosunków wodno-powietrznych (melioracje) oraz agrotechniką. Podstawowymi elementami agrotechniki decydującymi o tempie akumulacji (reprodukcji) i rozkładu (degradacji) próchnicy są: nawozy naturalne (obornik lub gnojowica) i organiczne (słoma, nawozy zielone i komposty), dobór uprawianych roślin i płodozmian, a szczególne znaczenie ma udział roślin wieloletnich i okopowych oraz intensywność uprawy roli (głębokość i ilość mechanicznych zabiegów uprawowych).

Porównując informacje o zawartości glebowej substancji organicznej (MOG), przyjmuje się, że:

1% glebowej materii organicznej (MOG) = 0,58% węgla organicznego w glebie (C org.);

1% węgla organicznego w glebie (C org.) = 1,72% glebowej materii organicznej (MOG).

Europejskie Biuro Gleb – ESB (2) przyjmuje następujące kryteria oceny zawartości węgla organicznego w glebach Europy (tab. 1):

- bardzo niska <1,0% C org. = <1,72% MOG;
- niska 1,0–2,0% C org. = 1,72–3,44% MOG;
- średnia 2,0–6,0% C org. = 3,44–10,32% MOG;
- wysoka >6,0% C org. = >10,32% MOG.

Przyjęto również, że dla gleb zawierających poniżej 2,0% C organicznego (3,4% MOG) powinien być określony i wprowadzony sposób ich użytkowania sprzyjający wzrostowi zawartości materii organicznej, gdyż uznano takie gleby za zagrożone pustynnieniem.

Inne kryteria oceny zawartości glebowej materii organicznej stosuje się w Polsce, gdzie dominują gleby lekkie, wytworzone z różnego rodzaju piasków, w których następuje szybka mineralizacja próchnicy, przy małych możliwościach jej akumulacji (tab. 1). W Polsce 56% gruntów ornych charakteryzuje się niską i średnią zawartością materii organicznej, w granicach 1–2% (0,58–1,16% C org.). Według kryteriów oceny ESB są to gleby o bardzo niskiej zawartości próchnicy. Następne 33% gruntów ornych zawiera od 2,0 do 3,5% MOG (1,17–2,03% C org.), co dla naszych warunków przyjęto jako zawartość wysoką, zaś według klasyfikacji ESB odpowiada klasie niskiej zawartości C org. Wyższa zawartość glebowej materii organicznej (powyżej 3,5%) występuje jedynie w czarnoziemach, czarnych ziemiach, rędzinach i ciężkich madach, które stanowią ok. 11% ogółu naszych gleb (23).

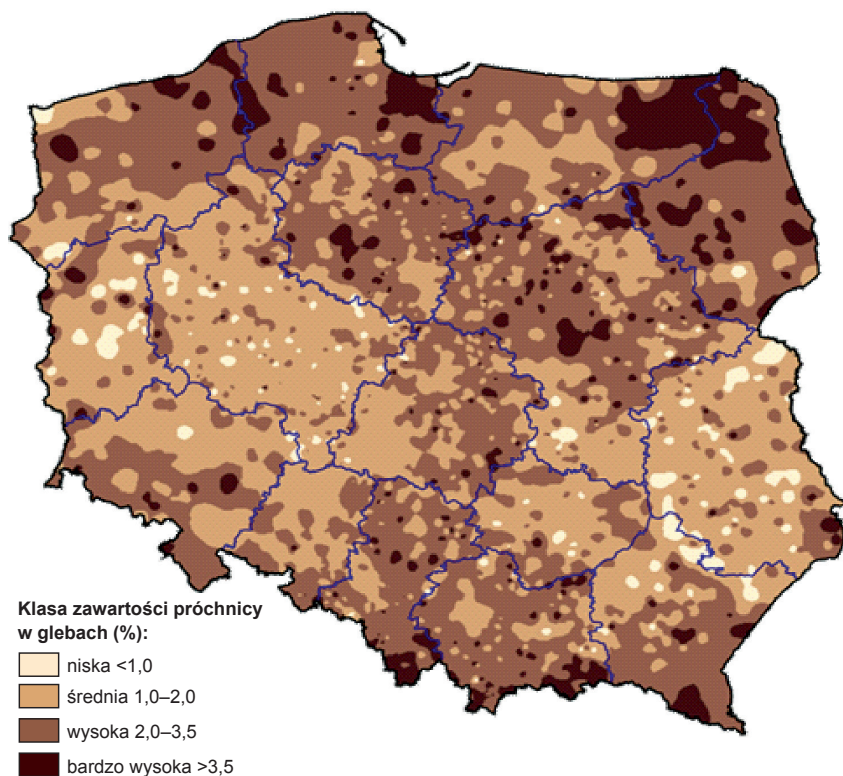
Tabela 1

Kryteria oceny zawartości węgla organicznego w glebach Polski i Europy

Klasa zawartości	Według IUNG ¹			Europejskie Biuro Gleb (ESB) ² zawartość C organicznego (%)
	materia organiczna GSO (%)	węgiel organiczny Corg.(%)	udział gleb (%)	
Niska	<1,0	<0,58	6	<1,0 bardzo niska
Średnia	1,0–2,0	0,58–1,16	50	
Wysoka	2,0–3,5	1,17–2,03	33	1,0–2,0 niska
Bardzo wysoka	>3,5	>2,04	11	2,1–6,0 średnia

Źródło: ¹ Terelak, 2001 (24); ² Gonet, 2007 (2)

Na obszarze Polski występuje bardzo duże przestrzenne zróżnicowanie zawartości glebowej materii organicznej (rys. 1). Największym udziałem gleb o niskiej i średniej zawartości próchnicy wyróżniają się województwa usytuowane w środkowym pasie kraju: lubuskie, wielkopolskie, świętokrzyskie, mazowieckie i lubelskie. Natomiast relatywnie mniej takich gleb jest w województwach położonych wzdłuż południowej i północnej granicy Polski.



Rys. 1. Przestrzenne rozmieszczenie gleb o różnej zawartości próchnicy w Polsce

Źródło: Jadczyżyn, 2010 (mapa niepublikowana)

W Polsce brak jest systematycznego monitoringu zawartości próchnicy w glebach. W latach 2002–2007 w IUNG przeprowadzono badania porównawcze ok. 1000 profili wzorcowych, które pierwotnie analizowano 40–50 lat temu w trakcie prac związanych z klasyfikacją gleb. Generalnie stwierdzono tendencję spadku zawartości próchnicy, który był szczególnie wyraźny na glebach o opadowo-gruntowym typie gospodarki wodnej. W przypadku tych gleb o spadku zawartości materii organicznej zadecydowała zmiana stosunków wodnych w następstwie melioracji, które przeprowadzono już po klasyfikacji. Z kolei na typowych gruntach ornych, wytworzonych głównie z piasków ubogich w próchnicę, odnotowano w tym okresie tendencję przyrostu jej zawartości, co można wiązać z większą ilością resztek poźniwnych w następstwie wyższego nawożenia i większych plonów (22).

Zasoby węgla organicznego w glebach użytkowanych rolniczo w Polsce

W skali globalnej najwięcej węgla jest zakumulowane w oceanach (ok. 38000 mld t), a drugim jego rezerwuarem są gleby. Szacuje się, że glebowa materia organiczna zawiera w sumie ponad 2-krotnie większą ilość węgla od całkowitej jego ilości występującej w atmosferze w formie CO₂, odpowiednio: 1500 i 750 mld t (25). W związku z tym spadek zawartości materii organicznej w glebach zwiększa emisję CO₂ do atmosfery, czyli nasila efekt cieplarniany, natomiast wzrost jej ilości w glebach (sekwestracja) jest czynnikiem ograniczającym to niekorzystne zjawisko, gdyż węgiel związany w MOG jest na dłuższy okres czasu wyłączony z globalnego obiegu. Szczególnie duże ilości węgla są zgromadzone w torfach oraz pozostałych glebach organicznych i organiczno-mineralnych, zaś mniejsze w glebach mineralnych.

Całkowita ilość węgla organicznego zawarta w materii organicznej powierzchniowej warstwy gleb (0–30 cm) użytkowanych rolniczo w Polsce przekracza 1 mld t, a wynika to z następującego oszacowania:

Grunty orne. Przeciętna zawartość glebowej materii organicznej (MOG) w warstwie powierzchniowej naszych gruntów ornych wynosi 1,95% (24). W związku z tym jej ilość na powierzchni 1 ha można wyliczyć w następujący sposób:

$$\begin{aligned} & \text{miąższość warstwy orno-próchnicznej} - 0,30 \text{ m} \times \text{gęstość gleby w tej warstwie} - \\ & 1,60 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} \times \text{zawartość MOG} - 1,95\% \times 10000 \text{ m}^2 \text{ (powierzchnia 1 ha)} = 93,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \\ & \text{MOG (glebowej materii organicznej)} \times 0,58\% \text{ (zawartość węgla w MOG)} = \\ & 54,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ węgla organicznego.} \end{aligned}$$

Można przyjąć, że zawartość MOG w gruntach ornych waha się od ok. 1% w glebach bardzo lekkich wytworzonych z piasków słabo gliniastych do ok. 3,5% w glebach zasobnych w próchnicę (czarnoziemy, mady i czarne ziemie). Tym samym ilość glebowej materii organicznej zawarta na powierzchni 1 ha gruntów ornych oscyluje w granicach od 48,0 do 168,9 t MOG, co w przeliczeniu na węgiel organiczny wynosi od 27,8 do 98,0 t·ha⁻¹.

Powierzchnia gruntów ornych (pod zasiewami, ugorowane, uprawy trwałe) w 2014 r. według GUS wynosiła ok. 11,3 mln ha, czyli zawierały one w sumie (11,3 mln ha $\times$ 54,3 t $\cdot$ ha⁻¹ Corg.) ok. 614 mln t węgla organicznego.

Trwale użytki zielone zawierają zdecydowanie więcej MOG w powierzchniowej warstwie gleby niż grunty orne, a szczególnie duża jej ilość występuje w glebach organicznych (torfowych), na których znajduje się część naszych łąk. W 2014 r. TUZ zajmowały łączną powierzchnię ok. 3,1 mln ha, w tym łąki trwałe – 2,63 oraz pastwiska trwałe – 0,49 mln ha. Przystępując do wyliczenia zasobów węgla organicznego w glebach zajętych przez TUZ, założono, że 0,8 mln ha łąk leży na glebach torfowo-murszowych, zaś pozostałe na glebach mineralnych (17).

- a) TUZ na glebach mineralnych – przyjęto, że zawartość glebowej substancji organicznej w powierzchniowej warstwie (0–30 cm) wynosi 3,2% (17, 23). W zawiązku z tym jej ilość na powierzchni 1 ha wyliczono w następujący sposób:

$$\begin{aligned} \text{miąższość warstwy orno-próchnicznej} &= 0,30 \text{ m} \times \text{gęstość gleby w tej warstwie} - \\ &= 1,60 \text{ t} \cdot \text{m}^3 \times 10000 \text{ m}^2 \text{ (powierzchnia 1 ha)} \times \text{zawartość GSO} - 3,2\% = 153,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \\ \text{MOG} &= 89,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ węgla organicznego.} \end{aligned}$$

Trwale użytki zielone na glebach mineralnych zawierają w sumie (2,3 mln ha $\times$ 89,1 t $\cdot$ ha⁻¹ Corg.) 205 mln t węgla organicznego.

- b) TUZ na glebach torfowo-murszowych. Gleby torfowe różnią się stopniem uwilgotnienia oraz miąższością warstwy torfu. W związku z tym wyliczenie wykonano tylko dla powierzchniowej warstwy gleby, aby wyniki były porównywalne z pozostałymi użytkami rolnymi. Do dalszych wyliczeń przyjęto na podstawie innych opracowań (1, 17) następujące wartości:

$$\begin{aligned} \text{gęstość gleby organicznej} &= 0,25 \text{ t} \cdot \text{m}^3 \times \text{zawartość materii organicznej} - 80\% \times \\ \text{miąższość ocenianej warstwy gleby} &= 0,30 \text{ m} \times 10000 \text{ m}^2 \text{ (powierzchnia 1 ha)} \\ &= 600 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ MOG, która zawiera ok. 50\% węgla organicznego, czyli } 300 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}. \end{aligned}$$

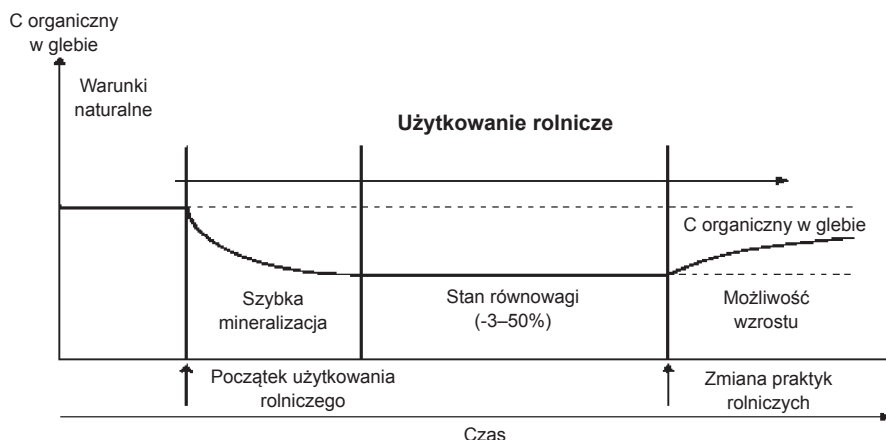
Trwale użytki zielone położone na glebach torfowo-murszowych (0,8 mln ha $\times$ 300 t $\cdot$ ha⁻¹) w warstwie gleby do głębokości 30 cm zawierają w sumie ok. 240 mln t węgla organicznego.

Należy podkreślić, że wyliczona ilość węgla organicznego w warstwie powierzchniowej TUZ położonych na glebach torfowo-murszowych stanowi poniżej 30% całkowitej jego ilości oszacowanej dla ogółu torfowisk niskich w Polsce (1).

Z przeprowadzonego szacunku wynika, że powierzchniowa warstwa (0–30 cm) gleb użytkowanych rolniczo w Polsce zawiera w sumie ok. 1059 mln t węgla organicznego. Należy dodatkowo podkreślić, że pewne ilości węgla organicznego zawierają również głębsze warstwy gleby (podorne). Ilość ta jest największa na glebach organicznych o dużej miąższości złoża torfu, a także na głębokich czarnoziemach i czarnych ziemiach, zaś zdecydowanie mniejsza na pozostałych glebach mineralnych. Warstwy te pominięto w prowadzonej ocenie, ponieważ wpływ sposobu gospodarowania na zmiany zawartość MOG w tych warstwach gleby są małe.

W glebowej materii organicznej jest względnie stały stosunek C:N, który wynosi ok. 10:1. Oznacza to, że na powierzchni 1 ha gruntów ornych MOG zawiera średnio ok. 5,5 t azotu związanego w różnych związkach organicznych, zaś na trwałych użytkach zielonych ilość ta jest odpowiednio większa.

W glebach użytkowanych rolniczo zawartość próchnicy utrzymuje się na względnie stałym poziomie, natomiast szybki spadek jej zawartości następuje w przypadku zmiany sposobu użytkowania gruntu, co w schematyczny sposób przedstawiono na rysunku 2. Szacuje się, że przekształcenie użytków naturalnych (łąka, las) w grunty orne wiąże się z utratą ok. 30–50% węgla organicznego zakumulowanego w powierzchniowej warstwie gleby pod użytkiem naturalnym. Szczególnie szybka mineralizacja MOG następuje w pierwszych latach po zmianie sposobu zagospodarowania. Mechaniczna uprawa zwiększa napowietrzenie gleby, co drastycznie przyspiesza mineralizację MOG oraz zwiększa dostępność składników nawozowych, a głównie azotu dla roślin. W kolejnych latach proces ten ulega stopniowemu spowolnieniu i ustala się nowy stan równowagi dla ornego użytkowania danego gruntu, po stracie 30–50% wyjściowej zawartości MOG. Okres ten w warunkach klimatu umiarkowanego wynosi ok. 40–60 lat, zaś w tropiku tylko 5–10 lat i w tamtych warunkach jest on dodatkowo silnie wzmagany przez procesy erozyjne (15). W stanie równowagi pewna ilość glebowej substancji organicznej – ok. 1–2% jej całkowitej ilości, ulega rozkładowi w ciągu roku i podobna jej ilość powstaje w wyniku działalności mikroflory i fauny glebowej, dla której pożywienie stanowią korzenie i reszki poźniwne uprawianych roślin oraz nawozy naturalne i organiczne.



Rys. 2. Zmiany zawartości węgla organicznego w glebie w czasie jej użytkowania jako grunt orny
Źródło: opracowanie własne

Szczególnie duże ilości materii organicznej ulegają mineralizacji w przypadku włączenia do użytkowania rolniczego gleb organicznych (torfowych) i organiczno-mineralnych. W glebach tych akumuluje się duża ilość masy organicznej, której rozkład jest ograniczony dzięki ochronnemu działaniu wody (warunki beztlenowe).

Wraz z obniżeniem poziomu wód gruntowych i zmniejszeniem uwilgotnienia tych gleb (np. melioracje) następuje szybka mineralizacja materii organicznej. Szacuje się, że roczne obniżenie się miąższości torfowiska spowodowane mineralizacją może przekraczać nawet 1,0 cm, czemu towarzyszy ubytek ponad $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ materii organicznej (ok. $5,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla organicznego). Oszacowano, że średnio dla 816 tys. ha łąk na torfowiskach w latach 1945–2000 każdego roku ubywało ok. $1,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ MOG (1, 21).

Z transformacją TUZ na grunt orny wiąże się spadek zawartości próchnicy w powierzchniowej warstwie gleby (0–30 cm) z ok. 3,20 do 1,95% (średnie zawartości dla TUZ i gruntów ornych), co oznacza mineralizację ok. $35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla organicznego. Wynika to z różnicy jego zawartości w warstwie gleby 0–30 cm pomiędzy TUZ na glebach mineralnych a gruntami ornymi (**$89,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$** węgla organicznego dla TUZ oraz **$54,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$** dla gruntów ornych).

W UE wdraża się regulacje prawne, które powinny ograniczać transformację w użytkowaniu gruntów prowadzące do zwiększonej mineralizacji glebowej materii organicznej i dużych emisji CO_2 do atmosfery. Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1307/2013 z 13.12.2013 r. jednym z komponentów płatności bezpośrednich jest zazielenienie (*greening*), które zobowiązuje rolników do utrzymywania stałej powierzchni trwałych użytków zielonych (19). W celu przeciwdziałania pozyskiwaniu dodatkowych gruntów pod uprawę roślin na cele energetyczne poprzez likwidację lasów lub użytków zielonych wprowadzono dla biopaliw silnikowych obowiązek ich certyfikacji pod względem emisji gazów cieplarnianych w następstwie pośrednich zmian w użytkowaniu gruntów – dyrektywa Indirect Land Use Change, ILUC (6).

Bilas glebowej materii organicznej

Racjonalna gospodarka glebową materią organiczną powinna zapewniać utrzymanie zrównoważonego jej bilansu w ramach zmianowania lub gospodarstwa, który wylicza się z następującego równania:

$$\text{saldo MOG} = a - b$$

gdzie:

a – przychód (reprodukcja) z nawozów naturalnych oraz nawozów organicznych, a także uprawy roślin wieloletnich i międzyplonów;

b – mineralizacja (degradacja) powodowana przez uprawę roślin w kolejnych latach rotacji zmianowania.

Celem łatwiejszego bilansowania glebowej materii organicznej wyznacza się liczbowe wskaźniki jej degradacji oraz reprodukcji. Do wyznaczenia tych współczynników wykorzystuje się wyniki wieloletnich doświadczeń nawozowych – prowadzonych zwykle przez okres ponad 20–30 lat oraz modele matematyczne. Prace te są najbardziej zaawansowane w Niemczech, gdzie szczególnie liczna jest sieć trwałych doświadczeń nawozowych. Pierwsze wartości takich współczynników obejmują-

cych w całościowy sposób bilansowanie glebowej materii organicznej opracowano w 1981 r. (12). W 2004 r. z inicjatywy VDLUFA (Stowarzyszenie Niemieckich Instytutów Naukowych i Badawczo-Wdrożeniowych) ukazało się poszerzone i zaktualizowane opracowanie na ten temat (9). Kolejna aktualizacja tych współczynników, wydana również przez VDLUFA, została opublikowana w 2014 r. (5).

Konieczność modyfikacji współczynników wynika ze zmian w technologii produkcji roślinnej, takich jak: skrócenie źdźbła umożliwiające większe zagęszczenie łanów roślin zbożowych, kombajnowy zbiór zwiększający ilość resztek poźniwnych pozostających na polu, nowe generacje maszyn umożliwiające ograniczanie liczby zabiegów uprawowych oraz coraz powszechniejsze stosowanie uprawy bezorkowej, pozostawianie na polu liści buraka cukrowego, coraz powszechniejsza uprawa międzyplonów, dodatni bilans azotu na większości pól itp. Czynniki te wpływają na ilość pozostających resztek poźniwnych oraz tempo ich przemian w glebie, a w konsekwencji na bilans glebowej materii organicznej.

Wartości współczynników podane w tabelach 2 i 3 informują o ilości ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) glebowej materii organicznej (próchnicy), o którą zostanie gleba zubożona (mineralizacja) lub wzbogacona (reprodukcja) w okresie roku w następstwie uprawy poszczególnych gatunków roślin. Z kolei w tabeli 4 podano wskaźniki reprodukcji glebowej materii organicznej w następstwie zastosowania różnych nawozów naturalnych i organicznych. Wartość współczynnika informuje o ile kg przyrośnie ilość glebowej materii organicznej w następstwie zastosowania 1 tony świeżej masy wymienionych nawozów. Wartości tych współczynników wyraźnie zależą od zawartości suchej masy w stosowanym nawozie.

Tabela 2

Wartości współczynników ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}$) degradacji glebowej materii organicznej dla poszczególnych gatunków roślin

Gatunek/Grupa roślin	Degradacja glebowej materii organicznej		
	wartości niskie ¹	wartości średnie ²	wartości wysokie ³
Burak cukrowy i pastewny	–760	–1300	–1840
Ziemniak, warzywa kapustne, por, seler, ogórek, cukinia, pomidor itp.	–760	–1000	–1240
Kukurydza na ziarno i kiszonkę, cykoria, papryka, czosnek, marchew itp.	–560	–800	–1040
Zboża, oleiste, fasola szparagowa, groszek zielony, cebula, pietruszka oraz zioła i rośliny przyprawowe	–280	–400	–520

¹ gleby w dobrej kulturze o niedoborze wilgoci i ograniczonym nawożeniu azotowym;

² gleby w dobrej kulturze przy poprawnej gospodarce nawozowej;

³ gleby w niskiej kulturze lub gospodarowanie ukierunkowane na duże wykorzystanie azotu glebowego (np. rolnictwo ekologiczne).

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

Tabela 3

Wartości współczynników ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) reprodukcji glebowej materii organicznej dla roślin wzbogacających glebę w materię organiczną

Gatunek/Grupa roślin	Reprodukcja glebowej materii organicznej	
	niski poziom plonów ¹	wysoki poziom plonów ²
Motylkowate wieloletnie, ich mieszanki z trawami i trawy w uprawie polowej:		
każdy rok użytkowania	600	800
rok wysiewu, jako:		
– wsiewka	200	300
– zasiew czysty wiosną	400	500
– zasiew czysty latem	100	150
Strączkowe na nasiona (łącznie ze słomą i resztkami poźniwnymi)	160	
Międzyplony – ozime	140	
– ścierniskowe	100	
– wsiewki	250	

¹ plon poniżej $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; ² plon powyżej $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ zielonej masy na rok użytkowania

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

Tabela 4

Reprodukcja glebowej materii organicznej w kg na 1 t świeżej masy różnych nawozów naturalnych i organicznych

Rodzaj nawozu	Zawartość suchej masy (%)	Współczynnik reprodukcji MOG* ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ nawozu)
Słoma	86	100
Liście buraka, marchewki, nawozy zielone, trawa z innych użytków	10 20	8 16
Obornik świeży	20 30	28 40
Obornik przefermentowany	25 35	40 56
Gnojowica świńska	4 8	4 8
Gnojowica bydłęca	4 7 10	6 9 12
Pomiot od drobiu	15 25 35 45	12 22 30 38
Odpady organiczne świeże	20 40	30 62
Odpady organiczne przekompostowane	40 50 60	46 58 70

cd. tab. 4

Rodzaj nawozu	Zawartość suchej masy (%)	Współczynnik reprodukcji MOG* (kg·t ⁻¹ nawozu)
Osady ściekowe stabilizowane wapnem	20	16
	25	20
	35	36
	45	46
	55	56
Osad pofermentacyjny z biogazowni rolniczej – płynny	4	6
	7	9
	10	12
Osad pofermentacyjny z biogazowni rolniczej – odwodniony	25	36
	35	50
Osad pofermentacyjny z biogazowni rolniczej – przekompostowany	30	40
	60	70

* glebowa materia organiczna

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

W tabeli 5 podano przyjęte przez VDLUFA w 2014 r. oceny i zalecenia w warunkach różnych wartości salda glebowej materii organicznej. W przypadku gospodarowania z dużą ujemną wartością salda (grupa A – powyżej 200 kg w okresie roku) następuje degradacja żyzności gleby i spadek plonów uprawianych roślin, a także zwiększona jest emisja CO₂ z gleby. Bardzo wysokie dodatnie saldo (grupa E) jest również niekorzystne, gdyż wówczas występuje nadmierna mineralizacja materii organicznej w glebie poza okresem wegetacji, czemu towarzyszy zwiększone uwalnianie składników nawozowych, których nie pobierają w tym czasie rośliny. Następstwem jest niebezpieczeństwo przemieszczania biogenów, głównie azotu i fosforu w okresie jesienno-zimowym, do wód gruntowych i powierzchniowych. Ponadto w takich warunkach niska jest efektywność nawożenia mineralnego.

Tabela 5

Ocena wielkości salda glebowej materii organicznej – następstwa i zalecenia

Saldo glebowej materii organicznej (kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	Grupa oceny wielkości salda	Następstwa i zalecenia
Poniżej –200	A bardzo niskie	spadek żyzności gleby i plonów – konieczne zwiększenie dopływu do gleby materii organicznej
Od –200 do –76	B niskie	okresowo dopuszczalne na glebach próchnicznych, jednak wskazana korekta nawożenia organicznego
Od –75 do 100	C optymalne	stan optymalny – nie wymaga korekt
Od 101 do 300	D wysokie	okresowo uzasadnione na glebach ubogich w próchnicę – w dłuższym okresie wskazana korekta nawożenia
Powyżej 300	E bardzo wysokie	nadmierna mineralizacja materii organicznej, możliwe duże straty azotu i ewentualnie fosforu oraz niska efektywność nawożenia mineralnego

Źródło: VDLUFA, 2014 (5)

Bilans glebowej materii organicznej w skali kraju, regionu i gospodarstwa

Wykorzystując współczynniki podane w tabelach 2–4, wyliczono bilans glebowej materii organicznej dla Polski w okresie ostatnich 30 lat, dla poszczególnych województw za lata 2007–2010 oraz dla przykładowych gospodarstw o różnych kierunkach produkcji. Bilanse dla kraju lub województw mają charakter informacyjny (poglądowy) i mogą być wykorzystywane do podejmowania działań z zakresu polityki rolnej oraz działań rolnośrodowiskowych, zaś analiza wykonana dla gospodarstwa służy rolnikowi do podejmowania konkretnych decyzji organizacyjnych i produkcyjnych. Do wyliczeń przyjęto średnie wartości współczynników degradacji glebowej (tab. 2) oraz mniejszy poziom plonów dla roślin wzbogacających glebę w materię organiczną (tab. 3).

Poziom kraju. W latach 1980–2010 odnotowano w Polsce duże zmiany w strukturze zasiewów (tab. 6). Łącznie udział zbóż i rzepaku, czyli upraw o małym ujemnym wpływie na bilans próchnicy, wzrósł w tym okresie z 56 do prawie 78%. Powierzchnia rzepaku szczególnie szybko przyrasta w ostatnim 10-leciu w związku z rozwojem produkcji biopaliw. Z kolei udział upraw prowadzących do szybszej degradacji próchnicy (ziemniak, burak, kukurydza i warzywa), w tym samym okresie, zmniejszył się w strukturze zasiewów z 25,8 do 14,2%. Szczególnie silnie, bo aż 4-krotnie spadł udział ziemniaka w zasiewach i 2-krotnie buraka cukrowego. Znaczący wpływ na bilans próchnicy ma także ograniczenie udziału w strukturze zasiewów roślin wieloletnich z 11 do 4%. Powyższe zmiany w strukturze zasiewów były następstwem drastycznego spadku w latach 90. pogłowia bydła i owiec, co ograniczyło zapotrzebowanie na pasze objętościowe. Z kolei w żywieniu trzody chlewnej ziemniaki zastąpiono ziarnem zbóż, a o spadku powierzchni uprawy buraka cukrowego zadecydowała głównie reforma rynku cukru wprowadzana w UE.

Wpływ zmian w strukturze zasiewów na bilans glebowej materii organicznej był jednak mały, gdyż w następstwie uprawy roślin w analizowanym okresie ulegało mineralizacji od 380 w 2009 r. do 408 kg·ha⁻¹ MOG w 2010 r. w przeliczeniu na 1 ha gruntów ornych, średnio w kraju (tab. 6).

Tabela 6

Bilans glebowej materii organicznej na gruntach ornych (kg·ha⁻¹·rok⁻¹), średnio dla Polski w latach 1980–2010

Grupy upraw roślin	Współczynnik (kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	Lata			
		1980	1990	2000	2010
struktura zasiewów (%):					
Zboża bez kukurydzy	–400	54,0	59,5	69,8	70,7
Rzepak	–400	2,2	3,5	3,5	7,0
Kukurydza na ziarno i kiszonkę	–800	4,7	2,7	2,5	6,8
Warzywa	–1000	1,8	1,8	2,0	1,5

cd. tab. 6

Grupy upraw roślin	Współczynnik (kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	Lata			
		1980	1990	2000	2010
Ziemniak	–1000	16,1	12,9	10,1	4,2
Burak cukrowy	–1300	3,2	3,1	2,7	1,7
Strączkowe	160	2,3	1,7	1,8	1,1
Rośliny wieloletnie	800	11,4	9,7	4,8	4,4
Średnia degradacja MOG (kg·ha ⁻¹ ·rok)		388	380	395	408
Średnia obsada zwierząt (DJP·ha ⁻¹ UR)		0,75	0,68	0,41	0,42
Średnia dawka obornika na GO (t·ha ⁻¹ ·rok)		9,4	8,5	5,1	5,2
Reprodukcja MOG z obornika (kg·ha ⁻¹)		376	340	204	208
Saldo bilansu MOG bez przyoranej słomy (kg·ha ⁻¹)		–12	–40	–191	–200

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS o strukturze zasiewów i obsadzie zwierząt (3) oraz współczynników podanych w tabelach 2–4

Większy wpływ na końcowy bilans glebowej materii organicznej miały zmiany w pogłowie zwierząt i możliwości reprodukcji ubytku próchnicy nawozami naturalnymi (tab. 6). W sumie w okresie 1980–2010 obsada zwierząt zmniejszyła się, średnio w kraju z 0,75 do 0,42 DJP·ha⁻¹ użytków rolnych. Przyjęto, że DJP (duża jednostka przeliczeniowa zwierząt) produkuje w ciągu roku 10 t obornika. Założono również, że nawozy naturalne stosuje się głównie na gruntach ornych. W tej sytuacji ich średnia dawka w skali kraju zmniejszyła się w ocenianym 30-leciu z ok. 9 t·ha⁻¹ w latach 90. do ok. 5 t·ha⁻¹ gruntów ornych w ostatnich latach. Dawka obornika wynosząca 9–10 t·ha⁻¹ praktycznie całkowicie kompensuje mineralizację glebowej materii organicznej powodowaną uprawą roślin przy średniej strukturze zasiewów występującej w kraju. Zmniejszenie jej natomiast do ok. 5 t·ha⁻¹, czyli do stanu występującego w ostatnich latach, prowadzi już do ujemnego salda glebowej materii organicznej wynoszącego ok. 200 kg·ha⁻¹·rok⁻¹. Zgodnie z zaleceniami podanymi w tabeli 5, taka wartość salda może występować tylko okresowo na glebach próchnicznych. Utrzymanie natomiast takiego stanu w dłuższym okresie czasu prowadzi do spadku ich żyzności, co jest szczególnie groźne na glebach o małej zawartości próchnicy, jakie dominują w Polsce.

Należy podkreślić, że zaprezentowana analiza nie jest precyzyjna, gdyż brak jest informacji dotyczących ilości stosowanych nawozów organicznych (słoma, liście buraka), powierzchni uprawy międzyplonów itp. oraz ilości nawozów naturalnych, a głównie gnojowicy, które stosuje się na użytkach zielonych. Analiza ta wskazuje jednak na ogólną tendencję występującą w praktyce i powinna wskazywać na celowość promocji działań rolnośrodowiskowych sprzyjających poprawie bilansu glebowej materii organicznej.

Poziom regionu. W poszczególnych województwach występuje znaczne zróżnicowanie salda bilansu MOG, o czym decyduje struktura zasiewów, a przede wszystkim obsada zwierząt (tab. 7).

Tabela 7

Saldo bilansu glebowej materii organicznej dla poszczególnych województw (średnio 2007–2010)

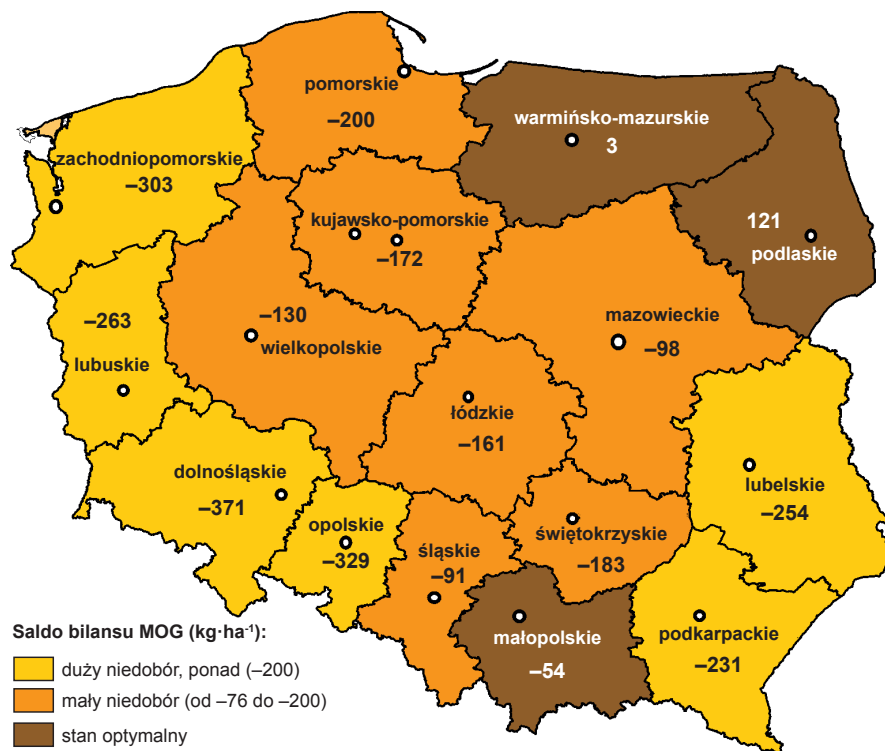
Województwo	Degradacja MOG (kg·ha ⁻¹ GO)	Obsada (DJP·ha ⁻¹ UR)	Dawka obornika (t·ha ⁻¹ GO)	Reprodukcja MOG z obornika (kg·ha ⁻¹ GO)	Saldo bilansu MOG (kg·ha ⁻¹ GO)
Dolnośląskie	451	0,17	2,0	80	–371
Kujawsko-pomorskie	412	0,52	6,0	240	–172
Lubelskie	402	0,31	3,7	148	–254
Lubuskie	379	0,23	2,9	116	–263
Łódzkie	393	0,49	5,8	232	–161
Małopolskie	322	0,41	6,7	268	–54
Mazowieckie	378	0,51	7,0	280	–98
Opolskie	457	0,30	3,2	128	–329
Podkarpackie	399	0,28	4,2	168	–231
Podlaskie	323	0,69	11,1	444	121
Pomorskie	372	0,35	4,3	172	–200
Śląskie	287	0,39	4,9	196	–91
Świętokrzyskie	371	0,37	4,7	188	–183
Warmińsko-mazurskie	285	0,48	7,2	288	3
Wielkopolskie	430	0,65	7,5	300	–130
Zachodniopomorskie	379	0,16	1,9	76	–303
Polska	408	0,42	5,2	208	–200

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS o strukturze zasiewów i obsadzie zwierząt (3) oraz współczynników podanych w tabelach 2–4

Niższe wartości wskaźnika degradacji MOG powodowanej uprawą roślin odnotowano w trzech województwach, tj. warmińsko-mazurskim, małopolskim i podlaskim, w których ok. 10% gruntów ornych zajmowały rośliny wieloletnie – bobowate z trawami oraz trawy w uprawie polowej. Z kolei w województwie dolnośląskim i opolskim zwiększoną degradację glebowej materii organicznej należy wiązać dużym udziałem w strukturze zasiewów kukurydzy i buraka cukrowego (łącznie ok. 15%), przy znikomej powierzchni roślin wieloletnich.

Niski stan pogłowia zwierząt w kilku województwach dodatkowo ogranicza możliwości reprodukcji glebowej materii organicznej z nawozów naturalnych. Obsada zwierząt w ostatnich latach waha się od ok. 0,2 DJP·ha⁻¹ UR w województwach zachodniopomorskim, dolnośląskim i lubuskim do powyżej 0,6 DJP·ha⁻¹ w województwach wielkopolskim i podlaskim (13). Jeszcze większe zróżnicowanie obsady zwierząt występuje przy przeliczeniu jej na powierzchnię gruntów ornych, na które stosuje się głównie nawozy naturalne. Wynika to z różnego udziału TUZ w strukturze użytkowania gruntów, który waha się od 9–15% w 4 województwach

(opolskie, wielkopolskie, kujawsko-pomorskie i śląskie) do 30–40% w kolejnych 4 województwach (warmińsko-mazurskie, podkarpackie, podlaskie i małopolskie). W sumie średnia dawka obornika w przeliczeniu na 1 ha gruntów ornych waha się od ok. 2–3 t (zachodniopomorskie, dolnośląskie, lubuskie i opolskie) do ponad 7 t w warmińsko-mazurskim i wielkopolskim oraz aż 11 t w woj. podlaskim.



Rys. 2. Saldo bilansu glebowej materii organicznej (kg·ha⁻¹ gruntów ornych) w latach 2007–2010 w poszczególnych województwach

Źródło: opracowanie własne

W dwóch województwach (warmińsko-mazurskie i mazowieckie) saldo bilansu glebowej materii organicznej mieści się w przedziale wartości optymalnych – grupa A (tab. 5). W województwie podlaskim tylko nieznacznie przekracza zakres wartości optymalnych, jednak w tym rejonie występują liczne gospodarstwa specjalizujące się w produkcji mleka, w których gnojowica jest stosowana do nawożenia TUZ. W tej sytuacji faktyczne zużycie nawozów naturalnych na gruntach ornych jest mniejsze i saldo MOG można zaliczyć do grupy optymalnych. W 7 województwach wartość salda waha się od -75 do -200 kg·ha⁻¹, czyli mieści się w grupie B (niskie). Taka sytuacja może występować jedynie okresowo na glebach próchnicznych i konieczna jest korekta nawożenia organicznego. W następnych 6 województwach występuje bardzo niska wartość salda MOG (grupa A), gdzie deficyt glebowej materii organicznej

w skali roku przekracza $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. Szczególnie niekorzystana sytuacja występuje w 3 województwach (dolnośląskie, opolskie i zachodnio-pomorskie), w których wartość ujemnego salda MOG przekracza $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ GO. W tych województwach w celu zrównoważenia bilansu glebowej materii organicznej konieczne jest nawożenie słomą w dawce ok. $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przeliczeniu na każdy ha gruntów ornych.

Poziom gospodarstwa. Przeanalizowano 6 przykładowych gospodarstw: 3 o roślinnym kierunku produkcji różniące się warunkami siedliskowymi i doбором uprawianych roślin i 3 prowadzące produkcję zwierzęcą (wielokierunkowe, mleczne i trzodowe).

W gospodarstwie A o najsłabszych glebach w strukturze zasiewów 6% zajmował ziemniak, zaś pozostałe grunty orne obsiewano zbożami i rzepakiem (tab. 8). W następstwie uprawy roślin mineralizacji ulegało w ciągu roku $419 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ glebowej materii organicznej. W gospodarstwie B kukurydzą zbieraną na ziarno obsiewano 20% gruntów ornych, co zwiększyło degradację glebowej materii organicznej do $488 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Jeszcze gorsza sytuacja występowała w gospodarstwie C, w którym kukurydza zajmowała 32%, a burak cukrowy kolejne 10% gruntów ornych. Następstwem takiej struktury zasiewów jest degradacja MOG wynosząca aż $670 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

W przypadku tych gospodarstw dla wyrównania ubytków próchnicy należało przyorywać od ok. 4 (gosp. A) do prawie 7 (gosp. C) $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ słomy. Można szacować, że przy osiąganey wydajności stanowi to 75–85% całego plonu słomy wszystkich uprawianych roślin.

Tabela 8

Bilans glebowej materii organicznej w gospodarstwach o roślinnym kierunku produkcji

Wyszczególnienie	Gospodarstwo		
	A	B	C
1. Średnia powierzchnia UR (ha)	113	84	117
2. Wskaźnik bonitacji gleb	0,80	0,98	1,15
3. Struktura zasiewów (%):			
– kłosowe	74	63	46
– kukurydza (na ziarno)	0	20	32
– rzepak	17	10	12
– burak cukrowy	0	0	10
– ziemniak	6	3	0
– międzyplony ścierniskowe	5	3	0
– międzyplony ozime	0	0	8
4. Wydajność w jedn. zbożowych	38,7	44,4	65,2
5. Degradacja MOG przez uprawiane rośliny ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	–419	–488	–670
6. Obsada zwierząt (DJP $\cdot \text{ha}^{-1}$)	0	0	0
7. Potrzeba przyorywania słomy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	4,2	4,9	6,7

Źródło: opracowanie własne

Odmierna sytuacja występuje w gospodarstwach z produkcją zwierzęcą (tab. 9). W gospodarstwach o wielokierunkowej produkcji mineralizacja glebowej materii organicznej w następstwie uprawy roślin wyliczona na podstawie podanych współczynników (tab. 2 i 3) wynosiła $371 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (tab. 9). Obsada zwierząt w przeliczeniu na cały areal użytków rolnych wynosiła $0,85 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$, a produkcja obornika ok. $11,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. Taka ilość obornika zapewniała utrzymanie optymalnej wartości salda MOG.

Tabela 9

Bilans glebowej materii organicznej w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji zwierzęcej

Wyszczególnienie	Kierunek produkcji		
	mieszany	mleczny	trzodowy
1. Powierzchnia GO	23,5	24,6	35,6
2. Powierzchnia TUZ (ha)	8,2	12,0	2,3
3. Struktura zasiewów (%):			
– zboża	79	37	92
– pastewne wieloletnie	6	27	0
– kukurydza na kiszonkę	0	35	0
– burak cukrowy	7	0	0
– ziemniak	2	1	1
– strączkowe	4	0	7
4. Wydajność w jedn. zbożowych	40,9	47,8	44,4
5. Degradacja MOG przez uprawiane rośliny ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	371	225	367
6. Obsada zwierząt ($\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$)	0,85	1,01	1,46
7. Produkcja obornika ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ GO}$)	11,5	15,0	15,5
8. Reprodukacja MOG z nawozów naturalnych ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ GO}$)	445	600	620
9. Saldo bilansu MOG ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ GO}$)	+74	+375	+253

Źródło: opracowanie własne

W gospodarstwie specjalizującym się w produkcji mleka, dzięki uprawie roślin wieloletnich degradacja MOG była mniejsza, gdyż wynosiła średnio $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Przy obsadzie zwierząt $1,0 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ oraz 33% udziale TUZ produkcja obornika wynosiła $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. W tej sytuacji dodatnie saldo MOG dochodziło do $375 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ gruntów ornych. Jest to wartość bardzo wysoka – grupa E (tab. 6). Stan taki prowadzi do dużego rozproszenia azotu i ewentualnie fosforu w środowisku, co zagraża czystości wód. W przypadku tego gospodarstwa dobrym rozwiązaniem jest stosowanie nawozów naturalnych również na trwałych użytkach zielonych.

W gospodarstwie specjalizującym się w tuczu trzody chlewnej bazującym na własnych paszach, gdzie obsada zwierząt wynosiła $1,46 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ występuje również wysokie (grupa D – tab. 6) dodatnie saldo MOG ($253 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ gruntów ornych). Stan taki może okresowo występować na glebach ubogich w próchnicę, natomiast

w dłuższym okresie wskazana jest korekta nawożenia organicznego. W tym przypadku dobrym rozwiązaniem może być sprzedaż części nawozów naturalnych.

W zaprezentowanej powyżej analizie uwzględniono jedynie bilans glebowej materii organicznej, a dla sformułowania pełniejszych zaleceń praktycznych konieczne jest wyliczenie bilansu NPK, czyli opracowanie planu nawozowego. Z nawozami naturalnymi wnosi się również duże ilości składników nawozowych, które powinny być także bilansowane.

Słoma – ważne źródło reprodukcji glebowej materii organicznej

Słoma jest podstawowym nawozem organicznym w gospodarstwach bezinwentarzowych. W Polsce w 2010 r. produkcji zwierzęcej nie prowadziło 42% ogółu gospodarstw rolnych, a w ich użytkowaniu znajdowało się ponad 30% ogółu gruntów ornych. Odsetek takich gospodarstw wahał się od ok. 20% w grupie gospodarstw średnich i większych (10–50 ha UR) do 55% w grupie gospodarstw dużych – powyżej 100 ha. Również drobne gospodarstwa, produkujące głównie na samozaopatrzenie, coraz częściej rezygnują z chowu zwierząt (14).

W celu ustalenia bilansu glebowej materii organicznej konieczne jest określenie ilości słomy wykorzystywanej jako nawóz organiczny. Ustalenie plonu słomy jest trudne, gdyż zależy od gatunku i odmiany uprawianego zboża, jakości gleby, przebiegu pogody oraz stosowanej technologii produkcji (nawożenie azotowe, przedplon, stosowanie regulatorów wzrostu itp.), a także wysokości koszenia i terminu zbioru słomy. Do określenia plonu słomy najczęściej wykorzystuje się współczynniki przeliczeniowe (indeksy) opisujące stosunek plonu ziarna do plonu słomy. W tabeli 10 podano wartości takich indeksów wyznaczonych na podstawie kilkuletnich pomiarów wykonanych w zakładach doświadczalnych IUNG (4). Przyjęto trzy grupy indeksów: najwyższe (grupa A) w przypadku wykorzystywania słomy jako nawozu organicznego, wówczas na polu pozostaje ściern, plewy, pokruszone reszki liści itp.; niższe (grupa B) w przypadku zbioru słomy bezpośrednio po omłocie na paszę, ściółkę, podłoża do produkcji grzybów itp. oraz najniższe (grupa C) przyjęto dla tzw. „szarej słomy” wykorzystywanej na cele energetyczne. Wówczas słomę pozostawia się na polu na okres kilkunastu dni, aby deszcz i rosa wyługowały związki chloru, potasu i siarki, co ogranicza korozyjne oddziaływanie spalin na kotły energetyczne. Taka słoma podczas zbioru kruszy się silnie, co obniża wielkość zebranego jej plonu.

Tabela 10

Współczynniki (indeksy) do szacowania plonu słomy na podstawie wielkości plonu ziarna
dla różnych sposobów zagospodarowania słomy

Gatunek zboża	A – słoma pozostająca na polu jako nawóz organiczny	B – słoma zbierana tuż po omłocie	C – słoma „szara” zbierana 7–14 dni po omłocie
Zboża ozime:			
– pszenica	1,2	0,9	0,6
– pszenżyto	1,3	1,0	0,7
– żyto	1,5	1,2	0,8
– jęczmień	1,1	0,8	0,5
Zboża jare:			
– pszenica	1,2	0,9	0,6
– pszenżyto	1,2	0,9	0,6
– jęczmień	1,1	0,8	0,5
– owies	1,4	1,1	0,7
– mieszanki	1,2	0,9	0,6
Rzepak*	1,5	0,8	-
Kukurydza na ziarno i CCM*	1,1	0,9	-

* szacunki autora opracowania

Źródło: Harasim, 2011 (4)

Obok tradycyjnych roślin zbożowych, słoma pozostaje również po zbiorze rzepaku oraz kukurydzy uprawianej na ziarno lub CCM. Można oszacować, że masa resztek pożywnych rzepaku (ściern, łuszczyzny, zaschłe liście itp.) pozostających na powierzchni pola jest co najmniej o 50% większa od zebranego polu nasion (tab. 10). Natomiast w przypadku zbioru rzepaczanki na inne cele jej plon jest ok. 10–20% mniejszy od plonu nasion. Plon słomy kukurydzy zbieranej na ziarno lub CCM jest zbliżony do plonu ziarna. Nie uwzględniono plonu słomy roślin strączkowych zbieranych na nasiona, gdyż przyjęty współczynnik reprodukcji glebowej materii organicznej dla tej grupy roślin (tab. 3) zakłada, że pokruszona słoma pozostaje na polu.

Słoma zbóż, w zależności od gatunku, zawiera: 45–55% celulozy (błonnik), 26–32% hemicelulozy (pentozany) i 16–21% ligniny (11). W chemicznym składzie słomy dominuje węgiel, który stanowi 44–47% jej suchej masy (tab. 11). Słoma zawiera również znaczne ilości potasu, ok. 12–16 kg K_2O w 1 tonie, oraz mniejsze ilości azotu i fosforu, a rzepaczanka dodatkowo jest dość zasobna w siarkę. Ze słomą wnosi się do gleby również pewne ilości mikroelementów niezbędnych dla wzrostu i rozwoju roślin.

Tabela 11

Skład chemiczny słomy podstawowych roślin uprawnych

Rodzaj słomy	Zawartość (% suchej masy)							Stosunek C:N
	C ¹	H ¹	O ¹	S ¹	N ²	P ₂ O ₅ ²	K ₂ O ²	
Żytnia	46,6	6,0	41,9	0,085	0,58	0,25	1,20	80:1
Pszenna	45,6	5,8	42,1	0,082	0,64	0,23	1,26	71:1
Pszennyżnia	43,9	5,9	43,5	0,056	0,61	0,25	1,28	72:1
Jęczmienna	47,5	5,9	45,6	0,089	0,73	0,25	1,61	63:1
Kukurydziana	45,7	5,3	41,1	0,117	0,72	0,46	1,25	38:1
Rzepakowa	47,1	5,9	39,3	0,270	1,09	0,30	2,12	55:1

Źródło: ¹ Harasim, 2011 (4), ² Maćkowiak, 1998 (16)

Czynnikiem spowalniającym rozkład słomy w glebie jest mała zawartość azotu, bo tylko 0,5–0,6% w słomie roślin kłosowych oraz 0,7–0,8% w rzepaczance i ok. 1,0% i kukurydziej (tab. 11). W słomie kłosowych stosunek C:N wynosi 60–80:1, zaś w słomie rzepaku i kukurydzy ok. 40–50:1. W próchnicy stosunek ten wynosi 10:1, a w przefermentowanym oborniku, nawozach zielonych lub liściach buraka ok. 20:1.

Przyjmuje się, że jeżeli stosunek C:N w biomase wprowadzanej do gleby jest szerszy niż 33:1, to jej rozkład w glebie jest bardzo spowolniony, a drobnoustroje ją rozkładające pobierają azot z zasobów glebowych, co może prowadzić do deficytu tego pierwiastka dla uprawianych roślin (uwstecznianie, zbiałczanie azotu). Sytuacja taka występuje w przypadku przyorywania słomy i w celu przyspieszenia tempa jej rozkładu konieczne jest stosowanie dodatkowego nawożenia azotem w dawce ok. 6–7 kg w przeliczeniu na 1 t przyorywanej słomy. Zwiększa to pulę azotu przypadającą na 1 t słomy do 12–13 kg (6 kg azotu zawartego w słomie + 6–7 kg wprowadzonego w nawozach mineralnych) i obniża stosunek C:N do ok. 35:1. Należy również podkreślić, że niedobór azotu może być czynnikiem ograniczającym powstawanie związków próchnicznych w glebie, pomimo znacznego dopływu do gleby nawozów organicznych zasobnych w węgiel.

W doświadczeniach wieloletnich prowadzonych głównie w Niemczech nie uzyskano jednoznacznej zależności pomiędzy ilością zastosowanej słomy w celach nawozowych a przyrostem zasobów glebowej materii organicznej (7). Na ogół większe jej przyrosty uzyskiwano na glebach cięższych, o większej zawartości próchnicy i większej aktywności biologicznej, a mniejsze na glebach lekkich, na których rozkład słomy z uwagi na deficyt wody jest spowolniony. Również dodatnie saldo azotu sprzyjało wzrostowi transformacji związków organicznych słomy w glebową materię organiczną.

Nawożenie słomą poprawia przede wszystkim bilans glebowej materii organicznej, natomiast jej oddziaływanie na pozostałe fizykochemiczne właściwości jest znacznie słabsze, co uwidacznia się szczególnie wyraźnie w porównaniu z obornikiem lub roślinami wieloletnimi (tab. 12). Na szczególne podkreślenie zasługuje wielostronny wpływ roślin bobowatych wieloletnich oraz ich mieszanek z trawami na cały kompleks

właściwości fizykochemicznych gleby. We współczesnym rolnictwie czynniki ekonomiczno-organizacyjne eliminują jednak tę grupę roślin z uprawy, co jest szczególnie niekorzystne dla żyzności gleb.

Tabela 12

Oddziaływanie różnych form nawozów organicznych i resztek poźniwnych na właściwości gleby
(oddziaływanie: x – słabe; xx – średnie; xxx – duże)

Wyszczególnienie	Obornik	Słoma	Międzyplony		Bobowate wieloletnie
			bobowate	krzyżowe	
Rozluźnienie podglebia	-	-	x	-	xx
Poprawa struktury	xx	x	x	x	xxx
Wzrost zawartości próchnicy	xx	xx	x	x	xxx
Wzrost zawartości N w glebie	xx	-	xx	-	xxx
Poprawa zasobności gleby w P, K, Ca, Mg i mikroelementy	xx	x	-	-	x

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Kahnt, 1981 (8)

W ostatnim okresie wzrasta również zainteresowanie alternatywnym zagospodarowaniem słomy, co zwiększa jej cenę. Najwięksi potencjalni jej odbiorcy to:

- wytwórcy podłoży do produkcji pieczarek i innych grzybów, którzy zużywają rocznie ok. 1 mln t słomy. Z rolniczego punktu widzenia jest to korzystny sposób zagospodarowania słomy, gdyż po zakończeniu cyklu produkcyjnego grzybów podłoża są wykorzystywane w rolnictwie jako wartościowy nawóz organiczny;
- producenci ciepła i energii elektrycznej. Sprzedają słomy dla energetyki są zainteresowane głównie większe gospodarstwa, w których do jej zbioru można wykorzystać wysoko wydajne maszyny. Wykorzystanie słomy w procesie współspalania (łączone spalanie z miałem węglowym) jest szczególnie niekorzystne, gdyż wszystkie składniki nawozowe trafiają do żużlu i są tracone. W przypadku spalania samej słomy lub łącznie z inną biomasą, popiół jest wartościowym nawozem, gdyż zawiera wszystkie składniki mineralne zawarte w słomie z wyjątkiem azotu.

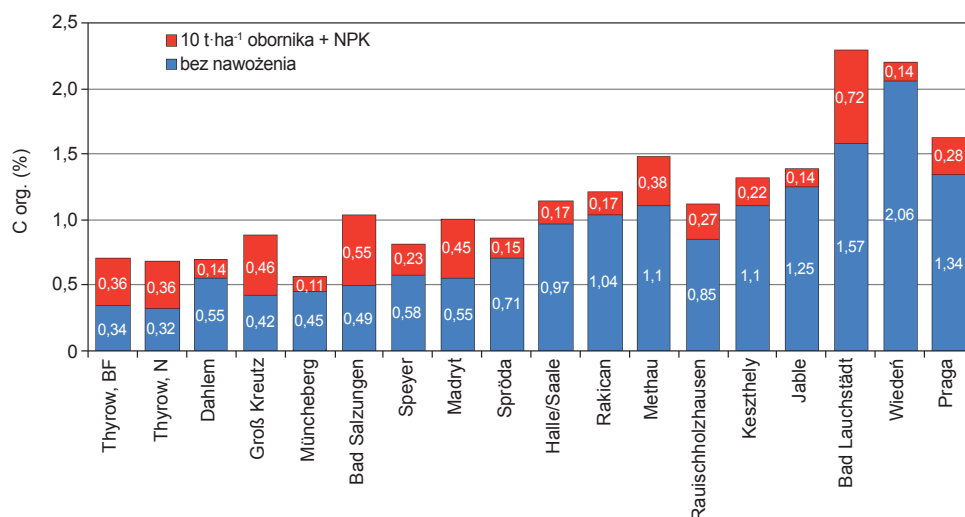
Należy sugerować, aby decyzja o sprzedaży słomy była poprzedzona opracowaniem bilansu glebowej materii organicznej dla całego gospodarstwa. Dopiero w przypadku dodatniego salda jej bilansu sprzedaż słomy może być uzasadniona, natomiast nieprzestrzeganie tej zasady może prowadzić do trwałego spadku żyzności gleb.

Praktyki rolnicze zwiększające zawartość materii organicznej w glebie

Zawartość materii organicznej w glebie jest uzależniona przede wszystkim od jej właściwości wodno-powietrznych. W warunkach rolniczego użytkowania gruntów można ją regulować tylko w stosunkowo małym zakresie, ale nawet te niewielkie zmiany wywierają znaczący wpływ na cały kompleks właściwości gleby i rolniczą wartość.

Tezę o względnie stałej zawartości węgla organicznego w gruntach ornych potwierdzają wyniki 18 wieloletnich doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych krajach europejskich (rys. 2). Poszczególne doświadczenia prowadzono przez okres od przynajmniej 50 do ponad 100 lat. Na rysunku 2 zaprezentowano wyniki z obiektu z optymalnym nawożeniem – obornik $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ i dodatkowo nawożenie mineralne NPK oraz z obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Na obiektach z optymalnym nawożeniem zawartość węgla organicznego w ornej warstwie gleby w poszczególnych miejscowościach była większa od 0,11 do 0,72% w porównaniu ze stwierdzoną na obiekcie bez nawożenia, a średnio dla wszystkich 18 doświadczeń różnica ta wynosiła 0,3%. Różne przyrosty zawartości Corg. odnotowane w poszczególnych miejscowościach pod wpływem optymalnego nawożenia należy wiązać ze stanem wyjściowym gleby przed rozpoczęciem doświadczeń. W warunkach wysokiej początkowej zasobności gleby w próchnicę przyrosty te były małe, zaś przy niskiej – odpowiednio większe. Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy składem granulometrycznym gleby a akumulacją węgla organicznego uzyskaną pod wpływem nawożenia.

Oznacza to, że pod wpływem systematycznego stosowania optymalnego nawożenia organiczno-mineralnego ilość węgla organicznego w glebie wzrosła w poszczególnych miejscowościach od 4,9 do $34,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, zaś średnio dla wszystkich miejscowości przyrost ten wyniósł $14,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu z obiektami bez nawożenia. Taki przyrost zawartości węgla organicznego w glebie, to sekwestracja od 18 do $127 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ CO}_2$ atmosferycznego.



Rys. 2. Zawartość węgla organicznego (%) w glebie 18 trwałych doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych krajach europejskich – gleby uszeregowano na podstawie wzrastającej zawartości części koloidalnych, a analizy gleby wykonano w latach 2001–2010

Źródło: Körschens, 2010 (10)

Stosunkowo małe zmiany w zawartości próchnicy w glebie mogą powodować znaczącą poprawę fizykochemicznych właściwości gleby (tab. 13). W wieloletnim doświadczeniu prowadzonym na bardzo lekkiej glebie w Thyrow stosowanie przez okres 70 lat pełnego nawożenia organiczno-mineralnego zwiększyło zawartość węgla organicznego w glebie z 0,42 do 0,72%. Następstwem tego był wyraźny wzrost pojemności wodnej gleby oraz zawartości wody dostępnej dla roślin. Istotnie poprawiły się także właściwości sorpcyjne gleby. Na obiektach, gdzie stosowano tylko nawozy mineralne lub sam obornik przyrost zawartości węgla organicznego w glebie był mniejszy oraz słabsze oddziaływanie na właściwości retencyjne gleby.

Tabela 13

Wpływ długotrwałego stosowania zróżnicowanego nawożenia na zawartość węgla organicznego i zdolność retencyjną gleby (dośw. w Thyrow założone w 1937 r.)

Nawożenie	Zawartość węgla organicznego (%)	Półowa pojemność wodna gleby (%)	Woda dostępna dla roślin (%)
Bez nawożenia	0,42a*	21,6a	17,8a
NPK + Ca	0,48b	22,6a	18,8a
Obornik (10 t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	0,57b	23,5a	19,3b
Obornik + NPK i Ca	0,72c	25,5b	20,5b

* wyniki oznaczone różnymi literami różnią się istotnie

Źródło: Körschens, 2010 (10)

Wpływ różnych praktyk rolniczych na przyrost zasobów glebowej materii organicznej można uszeregować w następującej kolejności:

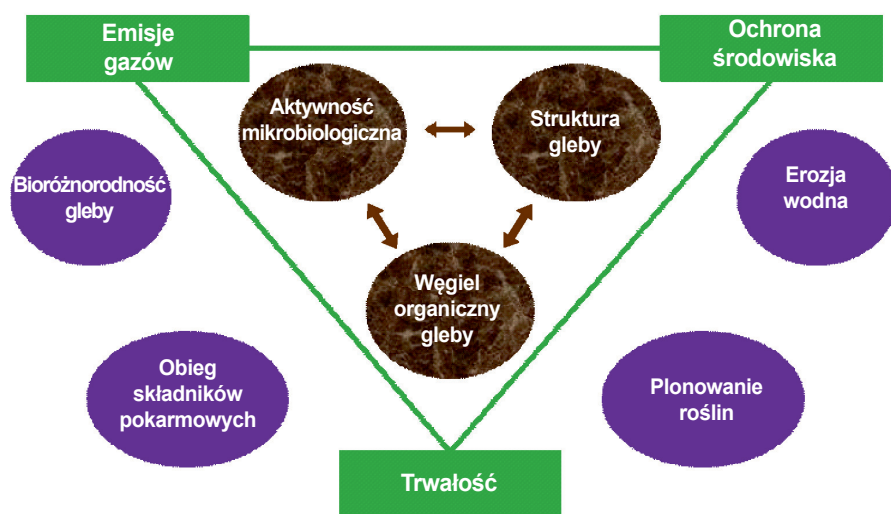
1. Zmiana sposobu użytkowania – zalesienie, założenie trwałego użytku zielonego lub przemienne użytkowanie.
2. Uprawa roślin bobowatych wieloletnich oraz ich mieszanek z trawami lub samych traw.
3. Stosowanie nawozów naturalnych, w szczególności obornika.
4. Stosowanie nawozów organicznych (słoma, liście buraka, osad pofermentacyjny z biogazowni, nawozy zielone itp.).
5. Uprawa międzyplonów.
6. Stosowanie bezorkowej uprawy roli lub siewu bezpośredniego.

W następstwie zmiany sposobu użytkowania (np. zalesienia gruntu ornego albo trwałego zadarnienia) następuje szybki przyrost zawartości glebowej materii organicznej wynoszący 1,0–1,5 t·ha⁻¹ w ciągu roku, w zależności od jakości gleby i szaty roślinnej. Przyrosty są największe w pierwszym okresie po transformacji użytkowania gruntu, a następnie systematycznie zmniejszają się do czasu powstania stanu równowagi typowej dla nowego sposobu użytkowania gruntu. Wartości liczbowe opisujące wpływ roślin wieloletnich (bobowate i trawy), różnych nawozów naturalnych i organicznych oraz uprawy międzyplonów na reprodukcję glebowej materii organicznej podano w tabelach 3 i 4. Pewnego komentarza wymaga natomiast znaczenie bezorkowej uprawy roli, której praktyczne znaczenie szybko wzrasta, szczególnie

w większych gospodarstwach. Można szacować, że w warunkach stosowania uprawy bezorkowej (konserwująca uprawa roli) mineralizacja glebowej materii organicznej jest mniejsza o ok. $150\text{--}200\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, w porównaniu z tradycyjną uprawą płużną. Jej akumulacja następuje głównie w powierzchniowej warstwie gleby $0\text{--}5\text{ cm}$. Większe różnice mogą występować w przypadku stosowania sewu bezpośredniego, jednak to rozwiązanie w naszych warunkach ma małe praktyczne znaczenie.

Należy również podkreślić, że zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej jest trudne i możliwe do osiągnięcia po kilku latach poprawnego gospodarowania z dodatnim jej saldem. Można szacować, że zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej o $0,01\%$ (np. z $1,50$ do $1,51\%$) oznacza przyrost jej masy w ornej warstwie gleby na powierzchni 1 ha o 480 kg , co odpowiada 278 kg węgla organicznego. Oznacza to również sekwestrację ponad 1 t CO_2 i wyłączenie go z globalnego obiegu. Uwzględniając stosunkowo małe możliwości zmian zawartości próchnicy glebowej oraz ilości wiążanego w niej CO_2 , należy wskazać, że ten sposób obniżania globalnego efektu cieplarnianego ma ograniczone znaczenie, które jednak w praktyce także należy wykorzystywać.

W przeszłości gospodarkę glebową materią organiczną traktowano głównie jako element żyzności gleby decydujący o jej strukturze, aktywności biologicznej gleby i plonowaniu roślin (rys. 3). We współczesnym gospodarowaniu zagadnienie to powinno być oceniane w szerszej perspektywie, gdyż spadek zawartości materii organicznej w glebie oznacza wzrost jej podatności na erozję wodną i wietrzną, ogranicza zdolność retencyjną gleby, zwiększa niebezpieczeństwo rozproszenia biogenów w środowisku, a także emisję CO_2 do atmosfery, nasilając efekt cieplarniany itp. Można więc wskazać, że ochrona glebowej materii organicznej w skali globalnej staje się ważnym elementem zrównoważonego rozwoju.



Rys. 3. Znaczenie glebowej materii organicznej dla rozwoju zrównoważonego

Źródło: Stuczynski, 2012 (23)

Wnioski

1. Gleby będące w użytkowaniu rolniczym w Polsce charakteryzują się stosunkowo małą zawartością glebowej materii organicznej (próchnicy), wynoszącą średnio ok. 2%. Jest to spowodowane dominacją gleb lekkich, wytworzonych z różnego rodzaju piasków, w których następuje szybka mineralizacja próchnicy przy małych możliwościach jej akumulacji. Akumulacji próchnicy w naszych warunkach dodatkowo nie sprzyja również mała ilość opadów i niski poziom zalegania wód gruntowych na przeważającym obszarze kraju.
2. Użytki rolne Polski, pomimo małej zawartości glebowej materii organicznej, zawierają w powierzchniowej warstwie gleby (0–30 cm) w sumie ponad 1 miliard ton węgla, związanego w różnych związkach organicznych, głównie w próchnicy. Szczególnie duże jego ilości zawierają gleby organiczne i organiczno-mineralne (wytworzone z torfów), zaś zdecydowanie mniej gleby mineralne. Racjonalna gospodarka tym zasobem ma decydujące znaczenie dla utrzymania żyzności i urodzajności gleb, ale wywiera także wpływ na emisję CO₂ do atmosfery. Przyspieszona mineralizacja próchnicy zwiększa emisję tego gazu do atmosfery, zaś wiązanie w glebowej materii organicznej (sekwestracja) wyłącza go na dłuższy okres czasu z globalnego obiegu, co może ograniczać „efekt cieplarniany”.
3. Podstawą racjonalnego gospodarowania glebową materią organiczną jest zrównoważony jej bilans w ramach gospodarstwa. Po stronie przychodowej bilansu występuje reprodukcja próchnicy z nawozów naturalnych i organicznych oraz uprawy roślin wieloletnich i międzyplonów, zaś po stronie rozchodowej jej mineralizacja (degradacja) powodowana przez uprawę roślin w kolejnych latach rotacji zmianowania, a szczególne znaczenie mają tu rośliny okopowe i kukurydza. W celu łatwiejszego bilansowania glebowej materii organicznej wyznacza się odpowiednie wskaźniki jej degradacji oraz reprodukcji.
4. W okresie ostatnich 30 lat stwierdza się w Polsce znaczne pogorszenie salda bilansu glebowej materii organicznej. Jest to spowodowane przede wszystkim spadkiem pogłowia zwierząt. Obsada zwierząt w latach 1980–2010, średnio w kraju, zmniejszyła się z 0,75 do 0,43 DJP·ha⁻¹ UR.
5. Saldo bilansu glebowej materii organicznej jest również bardzo zróżnicowane regionalnie, co wynika głównie z różnej obsady zwierząt, która w ostatnich latach waha się od poniżej 0,2 w województwach zachodniopomorskim i dolnośląskim do 0,6–0,7 DJP·ha⁻¹ UR w województwach wielkopolskim i podlaskim.
6. Problemy w gospodarowaniu glebową materią organiczną pogłębia postępująca specjalizacja gospodarstw rolnych. W ostatnim okresie ponad 30% gruntów ornych użytkują gospodarstwa bezinwentarzowe, w których podstawowym nawozem organicznym jest słoma. Z kolei gospodarstwa specjalizujące się w produkcji zwierzęcej posiadają zbyt dużą obsadę zwierząt i produkują zbyt dużo nawozów naturalnych, aby właściwie je zagospodarować, zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej.

7. Zwiększenie zawartości glebowej materii organicznej jest możliwe do osiągnięcia po kilku latach poprawnego gospodarowania z dodatnim jej saldem. Można szacować, że zwiększenie jej zawartości tylko o 0,01% (np. z 1,50 do 1,51%) oznacza przyrost jej masy w ornej warstwie gleby na powierzchni 1 ha o 480 kg, w tym 278 kg węgla organicznego.

Literatura

1. Czaplak I., Dembek W.: Torfowiska Polski jako źródło emisji dwutlenku węgla. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 2000, **6**: 61-71.
2. Gonet S.: Materia organiczna w tematycznej strategii ochrony gleb w Unii Europejskiej. Rocz. Glebozn., 2007, **58(3/4)**: 15-26.
3. GUS: Rocznik statystyczny rolnictwa. 2000, 2010 i 2014.
4. Harasim A.: Gospodarowanie słomą. IUNG-PIB Puławy, 2011, ss. 77.
5. Humusbilanzierung, VDLUFA-Standpunkt, 2014.
6. Jabłońska M.: Ocena wpływu wdrożenia koncepcji ILUC na rozwój przemysłu biopaliw. Nafta-Gaz, 2014, **70(4)**: 243-255.
7. Joschko M. et al.: Bewertung der Humusreproduktionsleistung (Abbaustabilität) von Stroh. W. Schlussbericht „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen“. VDELUFA, 2014, 91-86.
8. Kahnt G.: Grundriss der Bodenkunde. DLG-Verlag, Frankfurt (Main) 1981.
9. Körschens M. et al.: Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt VDELUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten), Bonn 2004.
10. Körschens M.: Der organische Kohlenstoff im Boden (Corg) – Bedeutung, Bestimmung, Bewertung. Arch. Agron. Soil Sci., 2010, **56(4)**: 375-392.
11. Król M., Smagacz J.: Rozkład resztek poźniowych w glebie. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2008, **21**.
12. Kunder P. et al.: Regeln und Richtwerte zur Echoing der Bodenfruchtbarkeit. Akademie der Landwirtschaftswissenschaft der DDR, agrabuch, Markkleeberg, 1981.
13. Kuś J., Kopyński J.: Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie. Zag. Doradz. Roln., 2012, **2(68)**: 5-26.
14. Kuś J., Matyka M.: Zmiany organizacyjne w polskim rolnictwie w ostatnim 10-leciu na tle rolnictwa UE. Zag. Ekon. Roln., 2014, **4(341)**: 50-67.
15. Lal R.: Węgiel glebowy i nasilenie efektu cieplarnianego. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 2000, **6**: 22-36.
16. Maćkowiak C.: Słoma jako nawóz w gospodarstwie bezinwentarzowym. Wieś Jutra, 1998, **5**: 46-48.
17. Mazur T.: Rolnicze i ekologiczne znaczenie glebowej substancji organicznej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1995, **422**: 9-19.
18. Miątkowski Z. i in.: Prognozy zmian aktywności w sektorze rolnictwa, zawierające informacje niezbędne do wyliczenia szacunkowej wielkości emisji gazów cieplarnianych. Raport dla MRiRW. IT-P Falenty, 2010.

19. MRiRW: Projekt systemu płatności bezpośrednich w Polsce w latach 2015–2020. Warszawa 2014.
 20. P a ł o s z T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. Wyd. Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska, 2009, **11**: 329-338.
 21. S a p e k B.: Gleba jako źródło i „pułapka” na gazy cieplarniane. Zesz. Eduk., IMUZ Falenty, 2000, **6**: 52-60.
 22. S t u c z y ń s k i T. i in.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.
 23. S t u c z y ń s k i T.: Current status and perspectives of organic matter management in European Soils. 2012, www.soilconference.eu/pl/pages/materialy-konferencyjne.php.
 23. T e r e l a k H. i in.: Mapa zawartości substancji organicznej w glebach użytków rolniczych Polski. IUNG Puławy, 2001.
 25. www.global-greenhouse-warming.com/global-carbon-cycle
-

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jan Kuś
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 806
e-mail: jankus@iung.pulawy.pl

