

**Dorota Pikula**

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

ZNACZENIE MATERII ORGANICZNEJ W OGRANICZANIU  
STRAT BIOGENÓW\*

**Słowa kluczowe:** związki fosforu, związki azotu, nawozy naturalne, następstwo roślin, międzyplony

**Wstęp**

Zrównoważone praktyki agrotechniczne prowadzone w sposób niedegradujący środowiska naturalnego to skuteczne narzędzie służące utrzymaniu żyznej gleby i czystej wody w obliczu postępujących zmian klimatu i intensyfikacji produkcji rolnej. Złożoność wyzwania, jakim jest ograniczenie strat biogenów – azotu (N) i fosforu (P), ma obecnie charakter priorytetowy nie tylko ze względów ekonomicznych, ale głównie środowiskowych, zwłaszcza że przeważająca część gleb Polski charakteryzuje się stosunkowo niską jakością. Gleba ze względu na swą budowę odznacza się zdolnością zatrzymywania i pochłaniania różnych składników, w tym jonów i cząsteczek (19). Właściwości te zależą od kompleksu sorpcyjnego gleby, czyli najbardziej aktywnej, rozdrobnionej części stałej fazy gleby (1, 2, 9, 19). Jak podaje Krasowicz i in. (14), ponad 70% gleb Polski powstało głównie z plejstocenijskich glin i piasków zwałowych. Z tego powodu polskie gleby charakteryzują się małą pojemnością sorpcyjną. Niska zawartość koloidów glebowych oraz minerałów ilastych to główne przyczyny mniejszej zdolności gleby do magazynowania wody i składników pokarmowych w wierzchniej warstwie i większych strat biogenów do wód. Obok wymienionych wyżej czynników podstawowym wskaźnikiem, który determinuje jakość gleb i decyduje o ich właściwościach jest zawartość materii organicznej (24, 26, 29). Optymalna zawartość tego komponentu glebowego nie tylko stabilizuje strukturę gleby, poprawia

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

jej kompleks sorpcyjny, ale także zmniejsza podatność gleby na degradację, erozję, zakwaszenie oraz utratę związków mineralnych azotu i fosforu. Próchnica posiada koloidalną strukturę, która sprawia, że znaczne powierzchnie wewnętrzne jej cząstek są zdolne zatrzymywać wodę w ilości kilkakrotnie większej od swojej masy (20). Struktura taka umożliwia także sorpcję wielu składników pokarmowych w stopniu 4–12 razy większym niż przez części mineralne, zatem zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie może skutecznie zapobiegać stratom biogenów z gleby. Dzięki temu, że glebowa materia organiczna jest cennym źródłem makro- i mikroelementów, szczególnie azotu, fosforu i siarki, a także miedzi, boru i cynku (8), można zredukować wielkości dawek tych składników wnoszone w nawozach mineralnych. O zawartości materii organicznej w glebie decydują czynniki środowiskowe – ilość opadów atmosferycznych oraz temperatura powietrza, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym, właściwości fizyczno-chemiczne i odczyn gleby, jak również stopień nasilenia antropopresji, m.in. wszystkie zabiegi, które zwiększają dopływ powietrza do gleby (orka) (23). Większa ilość powietrza w glebie powoduje też wzrost jej temperatury, co przyspiesza mineralizację, czyli rozkład próchnicy. Lal (16) wyróżnia trzy kierunki możliwości zwiększenia zawartości materii organicznej w glebie. Pierwszy to ograniczenie erozji poprzez stosowanie mulczowania gleby i racjonalnej gospodarki pastwiskowej oraz ograniczenie mineralizacji materii organicznej (uprawa roślin pozostawiających w glebie resztki trudniej rozkładające się, zachowanie gruzelkowatej struktury gleby). Drugim kierunkiem działań są wszelkie zabiegi skutkujące zwrotem węgla do gleby (stosowanie nawozów organicznych i naturalnych, uprawa międzyplonów, poprawa gospodarowania wodą). Ostatni sposób obejmuje zwiększenie zawartości węgla w plonach roślin uprawnych poprzez intensyfikację produkcji. Wszystkie wymienione powyżej kierunki są także korzystne dla ograniczenia strat związków azotu i fosforu z gleb. Celem opracowania jest przybliżenie wiedzy na temat wykorzystania różnych źródeł glebowej materii organicznej do zmniejszenia strat biogenów z gleb uprawnych do wód.

### **Zmianowanie roślin**

W celu zwiększenia akumulacji materii organicznej w glebie zalecane są różne praktyki agrotechniczne. Jedną z bardziej skutecznych jest powrót do stosowania zmianowań, co zapewnia nie tylko dopływ węgla organicznego do gleby, ale również umożliwia optymalny recykling składników pokarmowych (6, 26, 29). Według tego podejścia produkcja roślinna na danym obszarze w kolejnych latach może być prowadzona z dominacją uprawy jednego gatunku roślin lub następstwem po sobie uprawy różnych gatunków, co zgodnie z wytycznymi VDLUFA (Stowarzyszenie Niemieckich Rolniczych Instytutów Badawczych) może sprzyjać wzbogaceniu gleby w określoną ilość węgla organicznego po zbiorze roślin. Monokultura to następstwo po sobie uprawy tego samego gatunku roślin na danym polu w okresie dłuższym niż

jeden sezon wegetacyjny. W tym systemie uprawy nie są zachowane żadne kryteria ograniczające uprawę danego gatunku, niezależnie od skutków środowiskowych i ekonomicznych (10). Zmianowanie natomiast jest celowo zaplanowanym następstwem roślin różnych gatunków na tym samym polu, które uwzględniają uwarunkowania przyrodnicze uprawy kolejnych roślin po sobie. Częstotliwość powrotu każdego gatunku na danym polu informuje o liczbie uprawianych w płodozmianie roślin, określając jednocześnie rotację płodozmienu (10, 26). Każdy wymieniony powyżej system uprawy roślin można ocenić według różnych kryteriów, np. wpływu na właściwości gleby: fizyczne (gęstość objętościowa gleby, porowatość i struktura gleby), biologiczne (akumulacja i jakość materii organicznej, tempo mineralizacji resztek roślinnych) i agrotechniczne (odczyn gleby i zawartość składników pokarmowych) (4, 22).

Ważnym kryterium oceny uprawy roślin w zmianowaniach lub w monokulturze jest ocena skutków środowiskowych, między innymi wpływu na ograniczanie strat składników pokarmowych z gleby, głównie związków azotu i fosforu, powodujących eutrofizację wód. Do oszacowania wskaźnikowego zysku (+) glebowej materii organicznej w Polsce wykorzystuje się współczynniki reprodukcji glebowej materii organicznej według VDLUFA (29). Wartości tych współczynników odpowiadają ilości suchej masy materii organicznej w  $t \cdot ha^{-1}$ , o jaką gleba zostanie wzbogacona (+) w wyniku jednorocznej uprawy gatunku rośliny lub wprowadzenia do gleby określonego materiału organicznego (tab. 1 i 2). Zarówno zbyt małe, jak i nadmierne ilości materii organicznej dostarczane do gleby w określonych warunkach mogą generować niekorzystne skutki rolnicze i środowiskowe (zwiększone wymywanie składników pokarmowych z gleby, wzrost zapotrzebowania roślin na nawozy mineralne) (20). Poprawa żyzności gleby i dostępności składników pokarmowych dla kolejnej uprawy po przyoraniu międzyplonu wpływa również na zmniejszenie zapotrzebowania na dodatkowe nawozy. Literatura podaje, że 100 kg azotu związanego przez rośliny bobowate uprawiane w zmianowaniu może być ekwiwalentem 200 kg azotu zastosowanego w formie nawozu mineralnego (25).

Bardzo ważnym kryterium poprawnego następstwa roślin jest wzbogacenie gleby w odpowiednie składniki pokarmowe. W monokulturze zbożowej następuje wyczerpanie gleby ze składników pokarmowych, co wynika z wykorzystania ich do wzrostu i rozwoju roślin, a także ze strat związanych z wiązkową budową systemu korzeniowego zbóż. Z kolei głęboko korzeniące się rośliny uprawiane w zmianowaniu penetrują profil gleby, wykorzystując efektywnie składniki pokarmowe, co umożliwia zmniejszenie poziomu nawożenia mineralnego. Głęboki i gęsty korzeń, np. mieszanek bobowatych z trawami, ogranicza także wymywanie związków azotu i fosforu z gleb lekkich. Dobór roślin w określonym systemie uprawy skutkuje też różną dynamiką rozkładu pozostawianych resztek roślinnych w glebie ze względu na ich odmienny skład chemiczny, a więc stosunek C:N czy zawartość ligniny.

Tabela 1

Współczynniki reprodukcji glebowej materii organicznej dla roślin wzbogacających glebę w materię organiczną

Gatunek rośliny lub grupa roślin	Reprodukcja glebowej materii organicznej (+) $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$	Szacowana ilość azotu ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) wniesiona w 1 t s.m.***
	niski* i wysoki poziom plonów**	
Międzyplony ozime (rzepak ozimy, rzepik ozimy, rzodkiew oleista)	140–180	32
Poplony ścierniskowe (rzepa ścierniskowa, seradela, wyka, gorczyca biała, słonecznik, bobik, kapusta pastwna)	100–140	15,5–32,8
Wsiewki międzyplonowe (bobowate, trawy, mieszanki bobowatych z trawami, łubin żółty)	250–400	29,3–36,2

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

\*\*\*obliczenia własne

Źródło: VDLUFA (29), opracowanie własne

W glebie zachodzą w sposób ciągły dwa przeciwstawne procesy: humifikacja, czyli przekształcanie świeżej masy organicznej w trwałą próchnicę i mineralizacja, czyli rozkład rodzimej próchnicy i uwalnianie składników pokarmowych. Zgodnie z opracowanym przez Partona i in. (21) modelem CENTURY oraz na podstawie badań własnych poszczególne frakcje materii organicznej można podzielić na 4 grupy w zależności od szybkości rozkładu wpływającej na zwiększenie lub zmniejszenie rozmiaru strat biogenów, tj.:

- I – świeża materia organiczna wprowadzona do gleby i obecna w niej co najmniej rok (duże ryzyko strat biogenów);
- II – próchnica aktywna, w skład której wchodzi różne związki organiczne pochodzące z rozkładu wtórnego trwającego co najmniej 5 lat, których nie można rozpoznać i kwalifikować botanicznie, celuloza, węgiel zawarty w biomacie mikroorganizmów (duże ryzyko strat biogenów);
- III – próchnica labilna, wolno rozkładająca się, w skład której wchodzi związki próchniczne ulegające mineralizacji w okresie od 5 do 100 lat, frakcja ilościowo największa w glebie (duże ryzyko strat biogenów);
- IV – próchnica stabilna (trwała), która ulega rozkładowi w glebie najwolniej, w okresie ponad 100 lat, tworzy trwałe połączenia z fazą mineralną gleby, do której nie mają dostępu mikroorganizmy (minimalne ryzyko strat biogenów).

Dążąc zatem do zwiększenia zasobów materii organicznej w glebie, należy dodatkowo badać jej jakość. W aspekcie ochrony środowiska wodnego najbardziej pożądane jest wytworzenie się próchnicy glebowej trwałej (frakcja IV). Oczywiście uzyskanie tego w praktyce rolniczej jest niezwykle trudne, szczególnie na glebach lekkich, o małych zdolnościach sorpcyjnych i słabej zdolności gleby do akumulacji materii organicznej. Jak wynika z badań naukowych, w klimacie umiarkowanym, na glebach wytworzonych z glin piaszczystych, szybkość rozkładu materii organicznej szacuje się na poziomie ok. 2% rocznie, czyli stosunkowo dużo. Oczywiście wartość wskaźnika mineralizacji w glebach piaszczystych jest naturalnie większa w porównaniu z glebami cięższymi. Niekorzystnym zjawiskiem na takich glebach jest tzw. priming effect wynikający z wprowadzenia do gleby materii organicznej o wąskim stosunku C:N, a więc resztek roślinnych, liści buraków cukrowych, nawozów zielonych, gnojowicy, gnojówki, co intensyfikuje szybkość rozkładu rodzimej materii organicznej, a w konsekwencji może skutkować dużym ryzykiem uwolnienia znacznych związków azotu i fosforu, mogących przenikać do wód gruntowych.

Materiał organiczny wprowadzany do gleby w zmianowaniach zbożowych jest jednorodny pod względem składu chemicznego, charakteryzuje się znaczną zawartością ligniny i szerokim stosunkiem C:N, co przekłada się na powolne tempo rozkładu. W zmianowaniu z różnym doбором gatunków roślin do gleby trafia materiał organiczny zróżnicowany pod względem składu chemicznego, a tym samym z odmienną podatnością na rozkład (3, 10, 18). Poza zwiększeniem zawartości materii organicznej w glebie w wyniku uprawy określonych gatunków roślin (rośliny poplonowe) korzyści z tego faktu rozpatruje się również w aspekcie większego magazynowania wody przez próchnicę, co skutkuje zmniejszeniem pozasezonowego wymywania składników mineralnych z gleby i ograniczeniem erozji wodnej.

### Nawozy naturalne i organiczne

Nawozy naturalne, zwłaszcza obornik świński i drobiowy, są źródłem fosforu dla roślin, a poprzez wzbogacanie gleby w materię organiczną sprzyjają także uruchamianiu tego pierwiastka w glebie. W tabeli 2 podano przeliczniki dla zmian zapasów glebowej materii organicznej (wyrażone w  $\text{kg C próchnicy} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) dla różnych materiałów organicznych wnoszonych do gleby, opracowane przez VDLUFA (29). Wartości dolne dotyczą głównie gleb w dobrej kulturze przy optymalnym mineralnym nawożeniu N, a wartości górne – gleb z wieloletnim niedoborem próchnicy. Wykorzystując poniższe dane, oszacowano także ilości azotu wnoszone do gleby w wyniku stosowania różnych nawozów naturalnych oraz materiałów organicznych, które pozwalają ograniczyć nawożenie mineralne.

Tabela 2

Współczynniki reprodukcji próchnicy dla różnych materiałów organicznych wnoszonych do gleby w kg C na t materiału organicznego

Materiały organiczne (t)	% s.m.	Współczynnik reprodukcji próchnicy w kg C·t <sup>-1</sup> materiału organicznego	Szacowana ilość* kg N·ha <sup>-1</sup> wniesiona w 1 t s.m.
Słoma (w zależności od gatunku)	86	80–110	5,8–12,0
Nawozy zielone (tzw. zielony obornik), liście buraków	10	8	25–35
Trawa koszona (zielonka)	20	16	10–15
Obornik:			
świeży	20	28	5–8
	30	40	
przefermentowany	25	40	
przekompostowany	35	62	
	55	96	
Gnojowica:			
świńska	4	4	3,5–4,4
bydłęca	8	8	
	4	6	1,9–3,0
	7	10	
	10	12	
Pomiot ptasi	15	12	16–30
	25	22	
	35	30	
	45	38	
Odpadki organiczne bez suszenia	20	30	3,5–7,0
świeży kompost	40	62	
	30	40	7,5–15,0
	50	66	
dojrzały kompost	40	46	
	50	58	
	60	70	
Osady ściekowe bez przeróbki	10	8	9–18
	15	12	
	25	28	
	35	40	
Osady ściekowe stabilizowane wapnem	45	52	
	20	16	
	25	20	
	35	36	
	45	46	
	55	56	
Odpady z fermentacji płynne	4	6	2–8
	7	9	
	10	12	3–19
stałe	25	36	
	35	50	
kompostowane	30	40	29
	60	70	

cd. tab. 2

Materiały organiczne (t)	% s.m.	Współczynnik reprodukcji próchnicy w kg C·t <sup>-1</sup> materiału organicznego	Szacowana ilość* kg N·ha <sup>-1</sup> wniesiona w 1 t s.m.
Odpady specjalne kompost	30	60	2–4
bydlęcy	50	100	
szlam ze stawów i jezior	10	10	
	40	40	

Źródło: VDLUFA (29), \*opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonych szacunków (tab. 1 i 2) stwierdzono, że najwyższymi współczynnikami reprodukcji materii organicznej oraz zawartością N charakteryzują się wsiewki międzyplonowe (bobowate, trawy, mieszanki bobowatych z trawami, łubin żółty), które dostarczają 250–400 kg C, a szacowana ilość kg N wniesiona w 1 t s.m. wynosi 29,3–36,2 kg N·ha<sup>-1</sup>. Poplony ścierniskowe (rzepa ścierniskowa, seradela, wyka, gorczyca biała, słonecznik, bobik, kapusta pastewna) wnoszą do gleby 100–140 kg C, a szacowana ilość azotu w 1 tonie s.m. wynosi 29,3–36,2 kg N·ha<sup>-1</sup>. Spośród nawozów naturalnych i organicznych największym współczynnikiem reprodukcji materii organicznej charakteryzuje się słoma – współczynnik reprodukcji w zależności od gatunku roślin wynosi (+) 80–110 kg C·t<sup>-1</sup> s.m., oraz obornik przekompostowany i przefermentowany, odpowiednio (+) 60 i 40 kg C·t<sup>-1</sup> s.m. Największą szacowaną ilością N wniesioną z toną s.m. charakteryzują się nawozy zielone, tzw. zielony obornik – od 25 do 35 kg oraz pomiot ptasi – od 16 do 30 kg N, przy współczynniku reprodukcji materii organicznej wynoszącym (+) 30 kg C·t<sup>-1</sup> s.m. Biorąc pod uwagę zawartości azotu w roślinach wzbogacających glebę w materię organiczną, przyoranie 3 ton suchej masy międzyplonów zawierającej średnio 3,5 kg N umożliwi zmniejszenie dawki mineralnych nawozów azotowych przeciętnie o 100 kg.

Tabela 3

Współczynniki reprodukcji glebowej materii organicznej dla roślin wzbogacających glebę w materię organiczną (kg·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>)

Gatunek rośliny lub grupa roślin	Reprodukcja glebowej materii organicznej
	niski* i wysoki poziom plonów**
Międzyplony ozime	140
Międzyplony ścierniskowe	100
Wsiewki	250

\*plon poniżej 50 t·ha<sup>-1</sup>; \*\*plon powyżej 50 t·ha<sup>-1</sup> zielonej masy na rok użytkowania

Źródło: VDLUFA (29)

## Międzyplony

Międzyplony to rośliny uprawiane po zbiorze plonu głównego i zbierane przed siewem następnej rośliny. Rośliny uprawiane w międzyplonie w odróżnieniu od roślin plonu głównego rozwijają się w krótszym okresie, co uniemożliwia im przejście pełnego cyklu wegetacyjnego. Głównym ich zadaniem jest przerwanie częstego następstwa roślin w zmianowaniu, np. zbóż oraz poprawa żyzności gleby poprzez zwiększenie w niej zawartości próchnicy oraz tworzenie i utrzymywanie struktury gruzełkowatej gleby (31). Badania naukowe potwierdzają, że międzyplony poza produkcją wartościowej paszy zwiększają dopływ materii organicznej do gleby (29, 31, 33), a ich biomasa działa także przeciwerozyjnie (4). Rośliny międzyplonowe, stanowiąc znaczące źródło makroskładników i materii organicznej, przyczyniają się do mniejszej utraty składników mineralnych, które nie zostały wykorzystane w czasie wegetacji zbóż ozimych (30). Zaniewicz-Bajkowska i in. (34) zauważyli na przykład, że najwięcej azotu i fosforu w suchej masie akumuluje bobik; są to ilości większe w porównaniu z facelią, szarłatem i słonecznikiem. Zając i Antonkiewicz (33) wykazali jednocześnie, że w częściach nadziemnych międzyplonu ścierniskowego składającego się z mieszanki bobiku z wyką jarą i peluszką było więcej azotu niż w bobiku uprawianym w siewie czystym. Natomiast Wilczewski i Skinder (30) potwierdzili, że spośród roślin niebobowatych (dawniej: niemotylikowatych) uprawianych w międzyplonie ścierniskowym najbogatsze w azot zawarty w częściach nadziemnych były rzodkiew oleista, rzepak ozimy i gorczyca biała.

Według Eicha i Kundlera (13, 15) obowiązujące w Kodeksie Dobrej Praktyki Rolniczej współczynniki reprodukcji dla roślin bobowatych i ich mieszanek wynoszą odpowiednio: dla gleb bardzo lekkich +1,89, lekkich +1,96, a dla średnich +2,10. Natomiast wskaźniki reprodukcji (+) i degradacji (-) substancji organicznej podawanej przez Heylanda (11) dla międzyplonów na zielony nawóz o masie 10 t wynoszą +12. Współczynniki te wskazują na ogromną rolę międzyplonów i roślin bobowatych w zwiększaniu zawartości materii organicznej w glebie. Spośród uprawianych roślin w plonie głównym najkorzystniejszą na wartość współczynnika reprodukcji próchnicy oddziałują wieloletnie rośliny bobowate, trawy oraz ich mieszanki. Korzystnymi właściwościami charakteryzują się również jednoroczne rośliny strączkowe należące do rodziny bobowatych. Badania naukowe potwierdzają, że dobrze plonujący międzyplon uprawiany jako „zielony nawóz” ma wartość nawozową równą około połowy dawki obornika (20, 22). Wprowadzenie międzyplonów do zmianowania wzbogaca glebę nie tylko w próchnicę, ale również w składniki pokarmowe (tab. 4), wpływając korzystnie na życie mikrobiologiczne gleb.



Tabela 4

Nagromadzenie azotu i fosforu w międzyplonach ścierniskowych w  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 

Międzyplon	Azot	Fosfor
Gorzycza – część nadziemna	41,1	9,2
Gorzycza – korzenie	4,3	1,9
Mieszanka strączkowa – część nadziemna	81,7	10,2
Mieszanka strączkowa – korzenie	12,6	1,6

Źródło: Wojciechowski i Werwińska, 2016 (32)

Dane przedstawione w tabeli 4 potwierdzają, że międzyplony akumulują znaczne ilości azotu i fosforu, co zapobiega ich wymywaniu do głębszych warstw gleby i wód gruntowych, szczególnie na glebach lżejszych. Według badań Martineza i Guirauda (17) w okresie między plonami głównymi – pszenica-kukurydza, jesienią i zimą, z obiektów, w których nie uprawiano międzyplonów, uległo wypłukaniu  $110 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a na obiektach z ich uprawą – tylko  $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Korzystny wpływ międzyplonów jako sorbenta między innymi azotu i fosforu potwierdziły również badania Smukalskiego i Rogasik (27). Z mieszanką roślin strączkowych składającej się z grochu pastewnego i bobiku wprowadzono do gleby ponad dwukrotnie więcej azotu, mimo że plon suchej masy był tylko nieznacznie większy niż gorzycy. Ten międzyplon akumulował również więcej potasu i fosforu (31). Dodatkową zaletą uprawy międzyplonów, oprócz zwiększenia zawartości próchnicy w glebie, jest zdolność ograniczenia strat wody, dodatkowo ocienianie gleby i ochrona przed erozją wietrzną i wodną. Stredansky (28) wykazał, że międzyplony tworzą okrywą gleby i osłaniają ją od wiatru, przez co o 25–60% zmniejszają erozję w okresie od zbioru do siewu rośliny następczej (28). Dobrym rozwiązaniem jest więc uprawa roślin jarych, zrezygnowanie z orki przedzimowej i pozostawienie ich na polu przez zimę jako międzyplon, który po przemarznięciu utworzy tzw. mulcz chroniący glebę. Taki mulcz zaleca się pozostawić na polu aż do siewu rośliny jarej, zwłaszcza jeśli planowane są w następnym roku rośliny siane późno, jak kukurydza lub buraki. Wiosną mulcz z międzyplonów pełni również funkcję ochronną – poprzez ograniczanie powierzchniowego parowania wody zabezpiecza odpowiednią jej ilość dla wschodzących siewek. Należy jednak wspomnieć, że jakkolwiek międzyplony z uwagi na dużą ilość produkowanej biomasy pełnią funkcję ochronną przed erozją i wymywaniem azotanów oraz poprawiają właściwości biologiczne gleby, to w wyniku pobrania znacznych ilości zmagazynowanej wody w czasie wegetacji roślin może dochodzić do przesuszenia gleb, zwłaszcza lżejszych, co jest niekorzystne dla rośliny następczej.

## Wpływ różnorodnej materii organicznej na dynamikę azotu i fosforu

Próchnica glebowa ma znaczący wpływ na gospodarkę azotem i fosforem. Z jednej strony, podlegając mineralizacji, jest źródłem tych pierwiastków dla roślin, a z drugiej strony poprzez sorpcję wymienną może akumulować składniki pokarmowe, zapobiegając ich wymywaniu. Zasadniczą funkcję w sorbowaniu lub wymywaniu składników pokarmowych odgrywa kompleks sorpcyjny gleby, który tworzą mineralne i organiczne składniki stałej fazy gleby, przeważnie minerały ilaste (np. illit) i materia organiczna wraz z humusem (kwasy huminowe, kwasy fulwowe, huminy) (1, 5, 7). Wymienione swoiste związki próchniczne stanowią organiczną część składową kompleksu sorpcyjnego, a ich pojemność sorpcyjna ( $300\text{--}1400\text{ meq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ) przewyższa 4–12 razy pojemność części mineralnej. To sprawia, że próchnica odpowiada za 20–70% całkowitej pojemności sorpcyjnej gleby i wykazuje 2–30 razy większą pojemność niż koloidy mineralne. W naszych warunkach klimatyczno-glebowych kompleks sorpcyjny jest naładowany ujemnie, dlatego dominuje sorpcja kationów (np.  $\text{K}^+$ ) (2). Aniony (np.  $\text{NO}_3^-$ ) są natomiast sorbowane w stosunkowo niewielkich ilościach i ulegają wypłukaniu w głąb profilu glebowego. W ten sposób, na drodze wymywania, z pól produkcyjnych tracony jest azot (6). Istotna z punktu widzenia rolniczego jest też sorpcja chemiczna jonów fosforowych, które wchodząc w reakcje z kationami wapnia, żelaza i glinu, tworzą trudno rozpuszczalne fosforany. W zależności od odczynu gleby fosfor może być dostępny lub niedostępny dla roślin. Przy pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) wynoszącym 6,8 fosforany występują w glebie w dwóch formach jonowych: w postaci  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  i w postaci  $\text{HPO}_4^-$ . Zwiększenie odczynu gleby powyżej pH 6,8 daje przewagę jonów  $\text{HPO}_4^-$ . To zjawisko jest niekorzystne, ponieważ powoduje zmniejszenie przyswajalności fosforu, ale z drugiej strony zmniejsza straty fosforu w wyniku wymywania mogącego zachodzić w glebach zasobnych w fosfor. (5). Niepobrany przez rośliny lub niedostępny dla nich fosfor mimo małej ruchliwości w glebie (wynikającej z niskiej wartości współczynnika dyfuzji w glebie oraz bardzo dużej sorpcji przez stałą fazę gleby) może stanowić realne zagrożenie dla ekosystemów wodnych zlokalizowanych w pobliżu terenów użytkowanych rolniczo. Podatne na tego typu straty pierwiastka są gleby kwaśne i bardzo lekkie, szczególnie w okresie jesienno-zimowym, przy wysokim poziomie wód.

Fosfor wprowadzony do gleby z masą organiczną resztek roślinnych, w nawozach naturalnych i organicznych ulega mineralizacji biologicznej i biochemicznej. Biomasa gleb ornych zawiera do 5% fosforu ogólnego. Resztki roślinne zbóż (słoma) zawierają mało fosforu i po wprowadzeniu do gleby, dochodzi do jego uwsteczniania. Z kolei nawozy zielone z roślin młodych i nawozy naturalne zawierają dużo fosforu, który jest udostępniany w wyniku procesu mineralizacji (9). Korzystny wpływ materii organicznej na wzrost w glebie ilości przyswajanego fosforu pod wpływem nawożenia obornikiem i gnojowicą określa się jako tzw. efekt plonotwórczy. Efekt ten jest związany ze znaczą zawartością związków próchnicznych (szczególnie z obec-

nością kwasów huminowych). Produkty rozkładu materii organicznej, czyli kwasy organiczne rozpuszczają trudno rozpuszczalne ortofosforany wapnia, żelaza i glinu (10). Należy jednak mieć na uwadze, że przyorywanie obornika zwiększa zawartość labilnej frakcji materii organicznej w glebie, może zatem z jednej strony zwiększać ilość fosforu przyswajalnego dla roślin, z drugiej zaś potęgować straty związków fosforu z gleby. Zabiegiem przeciwdziałającym temu zjawisku jest regulowanie odczynu gleby, który wpływa na ruchliwość fosforu w glebie. Pola uprawne są zatem istotnym źródłem fosforu migrującego do wód. W celu ograniczenia jego migracji należy ściśle kontrolować dawki nawozów naturalnych i organicznych na podstawie aktualnej zawartości fosforu w tych nawozach, zapotrzebowania roślin na fosfor oraz zawartości P w resztkach roślinnych czy słomie.

W glebach istnieje duża pula związków fosforu, ale fosfor dostępny dla roślin stanowi tylko małą jej część. Należy zatem podjąć działania, by zintensyfikować proces uwalniania fosforu z trudno rozpuszczalnych połączeń, m.in. poprzez dbanie o poziom materii organicznej w glebie, co ograniczy potrzeby stosowania nawozów mineralnych. W skład próchnicy wchodzi różne związki organiczne o rozmaitych właściwościach chemicznych, fizycznych i mikrobiologicznych. Głównym jednak składnikiem próchnicy są substancje humusowe, które wywierają znaczący wpływ na utrzymanie optymalnej dostępności fosforu w glebie. Kwasy humusowe mają silne właściwości chelatujące (7, 26). Neutralizują toksyczny mangan, żelazo i glin oraz wapń, dzięki czemu fosfor nie wytrąca się w postaci nierozpuszczalnych związków. Substancje humusowe odgrywają znaczącą rolę w zapewnieniu wysokiej dostępności fosforu, zabezpieczają go przed uwstecznieniem oraz utrzymują wysoką aktywność mikrobiologiczną gleby. W glebach bogatych w materię organiczną biologiczne wiązanie przyswajalnych związków fosforu może być znaczące i spełniać pozytywną rolę poprzez uniemożliwianie powstawania nierozpuszczalnych form fosforu.

Azot wprowadzony do gleby z nawozów naturalnych i organicznych oraz reszek roślinnych uwalniany jest w dłuższym czasie w wyniku mineralizacji materii organicznej. Prawie cała zawartość azotu w glebie skumulowana jest w glebowej materii organicznej. Wykorzystanie przez rośliny azotu z nawozów naturalnych jest stosunkowo niewielkie, co przekłada się na duże konsekwencje środowiskowe, ponieważ pierwiastek ten wchodzi w obieg składników w agrosystemie i ulega stratom w wyniku ulatniania gazowych i wymywania jonowych połączeń azotu (9, 12). Wyróżnia się trzy główne fazy mineralizacji azotu organicznego: I – wymywanie (związki azotu rozpuszczalne w wodzie), II – akumulację i III – uwalnianie amoniaku. W zależności od rodzaju materiału organicznego wprowadzonego do gleby w postaci świeżej materii organicznej będzie on miał różną zawartość azotu – od poniżej 1% do 6%. Po wprowadzeniu do gleby nawozów zielonych, ze względu na znacząco większą ilość związków azotu łatwo rozpuszczalnych w wodzie (azotany, białka, aminokwasy), będzie zachodził proces wymywania, który oscyluje wokół 10%. Druga faza, czyli akumulacja azotu, związana jest ze zwiększeniem zawartości tego składnika w glebie.

Trzecia faza, czyli uwalniania azotu, zachodzi, gdy stosunek C:N w rozkładającej się masie organicznej oscyluje wokół 22:1. W tej fazie nie występuje wzrost zawartości azotu. Obornik, gnojowica i nawozy zielone (z dużą zawartością azotu), jeśli trafiają do gleby o optymalnej zawartości wody i temperatury, ulegają szybko rozkładowi i przechodzą tylko dwie pierwsze fazy, uwalniając azot do gleby. Ryzyko zagrożenia strat fosforu i azotu do wód w zależności od różnych zabiegów agrotechnicznych zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5

Ryzyko zagrożenia strat fosforu i azotu do wód w zależności od zabiegów agrotechnicznych

Zabieg agrotechniczny	Skutek	Straty biogenów*
Wieloletnie, duże dawki fosforu, azotu	wzrost zawartości fosforu labilnego w glebie, wymywanie nadmiaru azotu	duże
Nawożenie obornikiem, gnojowicą	wzrost zawartości fosforu labilnego w glebie, wymywanie nadmiaru azotu	duże
Wypas pastwiskowy	lokalny, miejscowy wzrost zawartości fosforu, lokalny wzrost zawartości nadmiaru azotu	duże
Pozostawienie jesienią stoku bez okrywy roślinnej	spliw powierzchniowy związków fosforu po stoku, wymywanie nadmiaru azotu	duże
Uprawa roli wzdłuż stoku	zwiększona podatność gleby na erozję wodną	duże
Uprawa roli w poprzek stoku	zmniejszona podatność gleby na erozję	małe
Zmniejszona dawka nawozów fosforowych, azotowych	zmniejszona ilość fosforu w glebie, zmniejszona zawartość azotu w glebie	małe
Melioracja	zwiększona infiltracja wód opadowych	małe
Nowoczesne technologie nawożenia	zlokalizowane umieszczenie fosforu w glebie, nawozy azotowe z inhibitorami, otoczkowane	małe
Brak stref buforowych wokół pól zlokalizowanych przy zbiornikach wodnych	zwiększona migracja fosforu i azotu do wód	duże
Brak zabiegów zwiększających zawartość materii organicznej w glebie	zwiększona migracja fosforu i azotu do wód	duże
Brak wapnowania	zwiększona migracja fosforu i azotu do wód	duże

Źródło: Grzebisz, 2009 (9) oraz \*opracowanie własne

## Podsumowanie

Materia organiczna nawozów naturalnych, organicznych oraz resztek roślinnych trafiających do gleby po zbiorach roślin jest znaczącym źródłem azotu i fosforu. Te dwa pierwiastki niezbędne do wzrostu i rozwoju roślin oraz utrzymania żyzności gleby mogą jednak w wyniku złych praktyk dostawać się do wód i powodować ich eutrofizację. Zatem zwiększenie materii organicznej w glebie jest niezbędną praktyką agrotechniczną, która rozszerza kompleks sorpcyjny gleby i dostarcza składników pokarmowych. Działanie to powinno być poprzedzone oznaczeniem zawartości węgla organicznego w glebie, oszacowaniem ilości azotu i fosforu w resztkach roślinnych oraz nawozach organicznych i naturalnych, oceną aktualnego odczynu gleby, zawartości przyswajalnego fosforu w glebie i azotu mineralnego oraz określeniem wymagań pokarmowych roślin. Zabiegi agrotechniczne, szczególnie poprawność ich wykonania, dostosowane do aktualnych warunków glebowych i klimatycznych mają decydujące znaczenie dla rozmiaru strat azotu i fosforu. Zwiększanie zawartości materii organicznej w glebach ponad optymalną zawartość może bowiem prowadzić do strat tych pierwiastków w wyniku nadmiernej mineralizacji, gdyż gleba przesycona próchnicą nie jest już zdolna do przekształcenia świeżej masy organicznej w trwałą próchnicę. Wdrażanie do praktyki rolniczej zaleceń uprawy międzyplonów i poplonów ścierniskowych oraz stosowania nawozów naturalnych, szczególnie obornika bydlęcego i świńskiego, będzie miało ogromne znaczenie dla zwiększenia zawartości materii organicznej w glebie, a tym samym zmniejszenie wymywania składników pokarmowych z gleb lekkich, które przeważają w Polsce. Dodatkowo w wyniku stosowania ww. praktyki będzie możliwe zmniejszenie stosowania nawozów mineralnych azotowych lub zredukowanie ich dawki uzupełniającej przeciętnie o 100 kg. Wdrożenie praktyki zakłada zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie oraz ograniczenie nawożenia azotem mineralnym poprzez stosowanie nawozów naturalnych, organicznych, popularyzację uprawy poplonów ścierniskowych, międzyplonów ozimych, wsiewek, szczególnie w regionach z przewagą monokultur zbożowych, na glebach lekkich i zakwaszonych oraz w gospodarstwach, w których nie ma produkcji zwierzęcej.

## Literatura

1. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojńska U., Prusinkiewicz Z.: *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Wydawnictwo PWN, Warszawa, cz. III. Materia organiczna, koloidy i roztwór glebowy jako przedmiot badań specjalistycznych, 2005, s. 113-173.
2. Czyż E., Reszkowska A.: *Wybrane właściwości fizykochemiczne gleb*. W: *Wademekum Klasyfikatora Gleb*, F. Woch (red.), Puławy 2007, ss. 51-99.
3. Dębska B.: *Rola resztek roślinnych w kształtowaniu żyzności gleb*. W: *Substancje humusowe w glebach i nawozach*, B. Dębska, S. Gonet (red.), PTSH Wrocław 2003, ss. 105-121.

4. D o p k a D., K o r s a k - A d a m o w i c z M., S t a r c z e w s k i J.: Biomasa międzyplonów ścierniskowych i ich wpływ na plonowanie żyta jarego w monokulturowej uprawie. *Fragmenta Agronomica*, 2012, **29(2)**: 27-32.
5. D z i a d o w i e c H.: Procesy przekształceń glebowej materii organicznej. W: *Badania ekologiczno-gleboznawcze*, R. Bednarek, H. Dziadowiec, U. Pokojska, Z. Prusinkiewicz (red.). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004, ss. 141-148.
6. G o n e t S., S m a l H., C h o j n i c k i J.: Właściwości chemiczne gleb. W: *Gleboznawstwo*, Polskie Wydawnictwo Naukowe, 2015, ss. 189-200.
7. G o n e t S.: Ochrona zasobów materii organicznej. W: *Rola materii organicznej w środowisku*, M. Markiewicz (red.). PTSH, Wrocław 2007, ss. 7-29.
8. G o r l a c h E.: Gleba i jej rola w odżywianiu roślin i nawożeniu. W: *Chemia rolna*, E. Gorlach, T. Mazur (red.). Wydawnictwo Naukowe PWN, 2001, ss. 72-79.
9. G r z e b i s z W.: Nawożenie roślin uprawnych. Cz. I. Podstawy nawożenia, PWRiL, 2009, Roz. 27, s. 351-359.
10. G r z e b i s z W.: Nawożenie roślin uprawnych. Cz. II. Systemy nawożenia, PWRiL, 2009, Roz. 7, s. 79-86.
11. H e y l a n d K.U., L o h m a n n G.: The assessment of crop rotation in reference to increasing different yields and yield assuring production methods. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis, Agricultura*, 1997, **64**: 185-192.
12. I g r a s J., F o t y m a M.: Chapter: Phosphorus utilization and diffuse losses in agricultural crop production. In: *Temporal and spatial differences in emission of nitrogen and phosphorus from Polish territory to the Baltic Sea*, J. Igrasa i M. Pastuszek (eds). Wyd. IUNG-PIB Puławy, MIR Gdynia, 2012, pp. 161-192.
13. Kodeks dobrej praktyki rolniczej: [http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Materialy\\_i\\_Informacje/Dyrektywy\\_Unijne/Azotowa/kodeks\\_dobrej\\_praktyki\\_rolniczej.pdf](http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Materialy_i_Informacje/Dyrektywy_Unijne/Azotowa/kodeks_dobrej_praktyki_rolniczej.pdf). Współczynniki reprodukcji materii organicznej przyjęto w Kodeksie Dobrej Praktyki Rolniczej, opublikowanym przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2004 r. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi & Ministerstwo Środowiska (2004).
14. K r a s o w i c z S., G ó r s k i T., B u d z y Ń s k a K., K o p i Ń s k i J.: Charakterystyka rolnicza obszaru Polski. W: *Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*, J. Igras, M. Pastuszek (red.). 2009, ss. 41-66.
15. K u n d l e r P., E i c h D., L i s t e H.J., R a u h e K.: Mehr tun als nur ersetzen, DBZ, 1981, **36**: 8-9.
16. L a l R.: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 2004, 304, **5677**: 1623-1627.
17. M a r t i n e z J., G u i r a u d G.: A lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and the following crop. *Journal of Soil Science*, 1990, **41**: 5-16.
18. M a r t y n i u k S., P i k u ł a D., K o z i e ł M.: Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*, Article number: 1878, 2019, **9**: 1-9, doi: 10.1038/s41598-018-37087-4.
19. M e r c i k S. (red.): *Chemia rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne*. SGGW, Warszawa 2002, s. 211-212.
20. P a ł o s z T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 2009, **11(I)**: 329-338.
21. P a r t o n W.J., S c h i m e l D.S., O j i m a D.S., C o l e C.V.: A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry, texture and management. In: *Quantitative modelling of soil forming processes*, R.B. Bryant, R.W. Arnold (eds). ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. SSSA Special Publications, 1994, **39**: 147-167.

22. Pi ku ł a D.: Aspekty środowiskowe gospodarowania materią organiczną w rolnictwie/Environmental aspects of managing the organic matter in agriculture. *Economic and Regional Studies*, 2015, **8(2)**: 98-112.
23. Pi ku ł a D.: Praktyki zapobiegające stratom węgla organicznego z gleby. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2019, **59(13)**: 77-91.
24. Pi ku ł a D., Rutkowska A.: Selected chemical properties of sandy soil after 36 years of differential fertilization with mineral nitrogen and manure without liming in two crop rotation. *Soil Scien. Annales*, 2020, **71(3)**: 246-251. <https://doi.org/10.37501/soilsa/12868>
25. Prusiński J., Kotecki A.: Współczesne problemy produkcji roślin motylkowatych. *Fragmenta Agronomica*, 2006, **23(3)**: 94-126.
26. Rutkowska A., Pi ku ł a D.: Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on the quality and quantity of soil organic matter. In: *Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment*, M.C. Hernandez Soriano (ed.). 2013, InTech: 249268. DOI: 10.5772/53229
27. Smukalski M., Rogasik J.: Stoppelfruchtanbau in Bestandteilökologisch begründeter Landbewirtschaftung. *Feldwirtschaft*, 1990, **8**: 356-358.
28. Sređanski J.: Possibilities of wind erosion impact elimination by agricultural plants. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Konf.*, 1995, **266**: 353-357.
29. VDLUFA. Körschens M. (red.): *Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt VDLUFA, Bonn, 2004. Humusbilanzierung Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland*, [https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt\\_Humusbilanzierung.pdf](https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt_Humusbilanzierung.pdf), Speyer, den 07. März 2014.
30. Wilczewski E., Skinder Z.: Zawartość i akumulacja makroskładników w biomase roślin niemotylkowatych uprawianych w międzyplonie ścierniskowym. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2005, **4(1)**: 163-173.
31. Wojciechowski W.: Międzyplony ścierniskowe jako czynnik zapobiegający negatywnym skutkom wysycenia struktury zasiewów zbożami. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1998, **5**: 29-36.
32. Wojciechowski W., Wermińska M.: Plonowanie i wartość nawozowa międzyplonów ścierniskowych uprawianych zgodnie z zasadami programu rolnośrodowiskowego. *Fragmenta Agronomica*, 2016, **33(2)**: 103-109.
33. Zając T., Antonkiewicz J.: Zawartość i nagromadzenie makroelementów w biomase międzyplonów ścierniskowych i wsiewek śródplonowych w zależności od doboru gatunków i sposobu ich siewu. *Pamiętnik Puławski*, 2006, **142**: 595-606.
34. Zaniewicz-Bajkowska A., Rosa R., Kosterna E., Franczuk J.: Catch crops for green manure: Biomass yield and macroelement content depending on the sowing date. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2013, **12(1)**: 65-79.

---

Adres do korespondencji:

*dr hab. inż. Dorota Pi ku ł a*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 837*  
*e-mail: dpikula@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Dorota Pi ku ł a	0000-0003-4173-197X