

# **Wpływ wieloletniego nawożenia na kształtowanie właściwości gleby<sup>1</sup>**

*Iwona Jaskulska, Dariusz Jaskulski*

*Katedra Ogólnej Uprawy Roli i Roślin, Akademia Techniczno-Rolnicza  
ul. A. Kordeckiego 20C, 85-225 Bydgoszcz*

**Słowa kluczowe:** nawożenie organiczne, nawożenie mineralne, właściwości chemiczne, fizyczne, biologiczne gleby

## **Wstęp**

Nawożenie jest jednym z podstawowych elementów agrotechniki roślin. Nawozy organiczne i mineralne wpływają na fizykochemiczne i biologiczne właściwości gleby, kształtują tym samym jej zasobność, żyzność i urodzajność. Z przeprowadzonych licznych badań wynika, że najlepszym sposobem nawożenia jest stosowanie nawozów organicznych, zwłaszcza obornika, wraz z nawozami mineralnymi oraz okresowe, w zależności od potrzeb, wapnowanie.

Zmiany strukturalne i uwarunkowania ekonomiczne polskiego rolnictwa spowodowały, że w wielu gospodarstwach system nawożenia odbiega od powszechnie przyjętego, co może, zwłaszcza w dłuższym okresie, prowadzić do zmniejszenia potencjału produkcyjnego gleby. Zapaść finansowa gospodarstw spowodowała, że w wielu z nich ograniczono, a nawet zaniechano nawożenia fosforowego, potasowego i wapniowo-magnezowego. Ilość nawozów sztucznych stosowanych na 1 ha użytków rolnych zmniejszyła się z 193 kg NPK w latach 1979/80 do 90 kg NPK w latach 1997/98 [47]. Wytworzyła się także grupa gospodarstw bezinwentarzowych, w których nawożenie organiczne sprowadza się do przyorywania słomy lub, co ma miejsce sporadycznie, biomasy międzyplonów. Z kolei w gospodarstwach ekologicznych dopuszcza się stosowanie jedynie nawozów organicznych. Nawozy mineralne używane są rzadko i tylko w formie zmielonych skał lub minerałów [51]. Mimo że gleba jest układem buforującym, to długotrwałe jednostronne nawożenie może prowadzić do

---

<sup>1</sup> W opracowaniu tematu wykorzystano wyniki badań realizowanych w ramach projektów KBN PB 400/P06/95/09 i PB 788/P06/99/16.

daleko idących, trudno odwracalnych zmian właściwości fizykochemicznych i biologicznych. Nawożenie niewłaściwie stosowane może być więc przyczyną degradacji gleby i zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

W niniejszym opracowaniu podjęto zagadnienie wpływu różnych systemów wieloletniego nawożenia na właściwości gleby, wykorzystując literaturę i wyniki badań własnych.

## **Wpływ systemów nawożenia na zawartość i przemiany węgla organicznego w glebie**

---

Żyzność i urodzajność gleb, głównie lekkich, zależy w dużym stopniu od zawartości materii organicznej, zwłaszcza zhumiifikowanej, czyli próchnicy. Udział próchnicy w ogólnej zawartości substancji organicznej gleb mineralnych wynosi około 85–90%. Źródłami węgla organicznego gleby w agroekosystemach są przede wszystkim resztki poźniwne roślin uprawnych i nawozy organiczne. Substancje i związki organiczne ulegają w glebie ciągłym przemianom. W wyniku rozkładu powstają proste mineralne związki lub jony z wydzielaniem  $\text{CO}_2$  (mineralizacja) lub tworzą się złożone organiczne połączenia – ciała próchniczne (humifikacja). Zawartość próchnicy w glebie zależy jednak nie tylko od dopływu substancji organicznych, ale także od czynników siedliskowych i agrotechnicznych. Znaczący wpływ mają: rodzaj, dawka i częstotliwość nawożenia organicznego, sposób nawożenia mineralnego, warunki wodne i termiczne siedliska, zmianowanie roślin oraz system uprawy roli [33, 41]. W klimacie umiarkowanym i w warunkach poprawnej agrotechniki, uwzględniającej nawożenie organiczne oraz zmianowanie roślin, zawartość materii organicznej w glebie jest względnie stała i trudna do trwałego zwiększenia. Poziom akumulacji węgla organicznego zależy bowiem w dużym stopniu od właściwości gleby, a zwłaszcza jej składu granulometrycznego. Nawożenie dużymi dawkami nawozów organicznych i mineralnych wzmacnia proces mineralizacji substancji organicznej [9, 19, 20, 60].

Systematyczne nawożenie organiczne jest podstawowym warunkiem akumulacji węgla organicznego w glebie (tab. 1). Wpływa ono korzystnie na zawartość materii organicznej zarówno bezpośrednio jako źródło węgla, jak i pośrednio poprzez zwiększenie produktywności roślin, a tym samym zwiększenie ilości resztek poźniwnych. W podobny sposób oddziałuje racjonalne, nieprowadzące do zakwaszenia gleby nawożenie mineralne [33].

Pozytywny wpływ obornika na akumulację węgla organicznego w glebie ma miejsce również w warunkach łącznego jego stosowania z nawozami mineralnymi i wapnowaniem [12, 24, 29, 40]. Brak jakiegokolwiek nawożenia, jak i intensywne nawożenie mineralne powodujące silny spadek pH gleby prowadzą natomiast na ogół do obniżenia zawartości węgla organicznego (tab. 1). Istotny spadek jego akumulacji

Tabela 1. Względne zmiany zawartości węgla organicznego w glebie pod wpływem wieloletniego nawożenia [%]

Autorzy	Okres badań [lata]	Rodzaj nawozu	Dawka [kg, t · ha <sup>-1</sup> · rok <sup>-1</sup> ]	Względna zmiana zawartości C <sub>org.</sub> w glebie [%]	
				w stosunku do roku wyjściowego	w stosunku do obiektu nienawożonego
Gawrońska-Kulesza i in. [16]	30	NPK obornik	249,4 26,7	-2,6	21,7
				1,7	27,2
Mazur i Sądej [35]	12	NPK obornik	396,8 23,8	—	8,82
				—	59,8
Krzywy i in. [24]	27	NPK obornik	338 30	0,98	6,45
				46,8	54,8
Cwojdzński i Chmara [4]	12	NPK obornik	426 10	-16,3	4,85
				-4,66	19,4
Kuszelewski i Łabętowicz [27]	15	NPK obornik	72 12,5	-13,56	41,7
				8,47	77,8
Rabikowska i Wilk [43]	12	brak nawożenia	—	-6,63	—
Gawrońska-Kulesza i in. [16]	30	brak nawożenia	—	-20,0	—

zachodzi zwłaszcza w pierwszych latach po zaprzestaniu nawożenia. W późniejszym okresie następuje często jego stabilizacja, choć na niższym poziomie. Na podstawie 75-letnich badań w Skierniewicach stwierdzono, że zawartość węgla organicznego w glebie nienawożonej, mimo wcześniejszego regresu, przez ostatnie 33 lata nie zmieniła się znacząco [40]. Z badań prowadzonych przez autorkę, opartych na wieloletnim doświadczeniu nawozowym, wynika jednak, że brak przez 46 lat jakiegokolwiek nawożenia powoduje istotny, sukcesywny spadek zawartości węgla organicznego w glebie lekkiej.

Mimo na ogół korzystnego wpływu nawożenia organicznego – a zwłaszcza organiczno-mineralnego – na zawartość próchnicy w glebie, oddziaływanie to jest złożone, a uzyskiwane wyniki badań często niejednoznaczne i trudne do interpretacji. W doświadczeniu prowadzonym w Mochełku k. Bydgoszczy wyłączne nawożenie obornikiem stosowane przez 41 lat w ilości  $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , a także obornikiem + NPK spowodowało znaczący spadek zawartości materii organicznej w glebie. Doświadczenie to realizowane jest jednak w rejonie o małej (437 mm) rocznej sumie opadów, a w pięcioletnim zmianowaniu występują cztery rośliny wpływające, według Kundlera i in. [28], degradująco na glebową materię organiczną. Według tych autorów, a także Asmusa i in. [1] roślinami powodującymi największy deficyt węgla organicznego w glebie są okopowe i kukurydza, natomiast rośliny strączkowe, motylkowe wieloletnie, trawy oraz międzyplony zwiększają jego ilość. Wieloletnie badania szwedzkie wskazują, że nawet w warunkach nawożenia obornikiem, większych sum opadów, niższej temperatury i uprawy roślin wieloletnich następuje spadek zawartości węgla organicznego w glebie [36]. Z kolei w wieloletnich badaniach niemieckich (Thyrow) pod wpływem nawożenia organicznego i organiczno-mineralnego w początkowych 20 latach obserwowano wzrost, a w kolejnych 30 latach spadek zawartości substancji organicznej w glebie [2, 12]. Gawrońska-Kulesza i in. [18] oraz Łabza [35] twierdzą, że wahania ilości C organicznego w glebie pod wpływem czynników klimatyczno-glebowych są większe niż w wyniku zróżnicowanego nawożenia. Zdaniem Suwary i Gawrońskiej-Kuleszy [54] zawartość węgla organicznego w warstwie ornej gleby wiosną i latem jest mniejsza, a po zbiorze roślin, w trakcie rozkładu resztek poźniwnych, wzrasta. Zależność ta jest jednak modyfikowana przez warunki wodne oraz aktywność mikrobiologiczną gleby [44].

Wyniki badań prowadzonych przez autorów niniejszego opracowania wskazują na tendencję wzrostu zawartości węgla organicznego także pod wpływem stosowania słomy i nawozów zielonych łącznie z nawożeniem mineralnym. Corocznie przez 6 lat przyorywana słoma i biomasa międzyplonów spowodowały przyrost zawartości węgla organicznego o 0,08 punktu procentowego.

System nawożenia wpływa nie tylko na ogólną zawartość węgla organicznego w glebie, ale także na skład próchnicy. Według Lipawskiego i in. [32], korzystne oddziaływanie nawożenia organicznego i mineralnego na zawartość substancji humusowych występuje głównie w glebach lekkich. Wieloletnie systematyczne stosowanie



obornika zwiększa na ogół udział kwasów huminowych i humin oraz ilość polisacharydów, a zmniejsza ilość kwasów fulwowych [14, 31]. Oddziaływanie intensywnego nawożenia mineralnego jest odmienne. Wpływa ono zazwyczaj na wzrost zawartości kwasów fulwowych [31]. Według Szulca i in. [56], zawartość węgla kwasów huminowych w glebie nawożonej obornikiem wraz z nawozami mineralnymi wynosiła od 12,4 do 16,3%, a przy wyłącznym nawożeniu mineralnym tylko 11,6–13,9%. Z kolei Niemyska-Łukaszuk i in. [43] obserwowali wzrost zawartości kwasów huminowych w połączeniach próchnicznych pod wpływem nawożenia azotem przy zastosowaniu saletry amonowej. Także wapnowanie, mimo niekorzystnego wpływu na akumulację węgla organicznego ogółem, spowodowało wzrost zawartości frakcji humin. W warunkach intensywnego rolnictwa następuje spadek stopnia humifikacji kwasów huminowych i wzrost ilości wolnych związków organicznych w glebie kosztem frakcji silnie związanych z częścią mineralną. Następuje rozbudowa kwasów huminowych związkami alifatycznymi oraz zwiększenie liczby grup  $-CH_3$  w części aromatycznej. Z badań Dechnika i Chmielewskiej [7] wynika, że również nawożenie organiczne zmniejszyło stopień humifikacji kwasów huminowych. Z badań własnych, prowadzonych w ramach grantu KBN PB 400/P06/95/09, wynika, że kilkuletnie stosowanie słomy spowodowało zwiększenie, a zielonej masy międzyplonów – zmniejszenie wartości stosunku węgla do wodoru, który świadczy o stopniu aromatyzacji substancji humusowych.

## Nawożenie a odczyn i zasobność gleby

Wieloletni brak nawożenia prowadzi na ogół do obniżenia zasobności gleby w składniki pokarmowe. Pogorszeniu ulegają także inne wskaźniki produktywności gleb, jak odczyn, kwasowość i wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi. W doświadczeniu statycznym w Mochelku odczyn gleby nienawożonej przez blisko 50 lat obniżył się z 6,6 do 4,6, a zasobność gleby w przyswajalną formę potasu zmniejszyła się z 86 mg do 56 mg  $K \cdot kg^{-1}$  gleby. Nie uległa natomiast zmianie zasobność gleby w przyswajalny fosfor.

Nawożenie organiczne obok wpływu na zawartość  $C_{org}$  oddziałuje także na zasobność gleby. W badaniach Mazura i Sądej [37] stwierdzono wzrost ilości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu w wyniku nawożenia obornikiem. Coroczne, przez ponad 30 lat stosowanie  $30 t \cdot ha^{-1}$  obornika może, zdaniem Grzebisza i in. [21] oraz Blecharczyka i Grzebisza [3], zwiększyć zawartość przyswajalnego potasu i fosforu w warstwie ornej odpowiednio o 73 i 9%, a w warstwie podornej o 34 i 4%. Na korzystny wpływ długotrwałego nawożenia obornikiem, zwłaszcza na zawartość potasu w glebie, wskazują także wyniki innych badań [54]. Ponadto obornik jest źródłem magnezu, a jego regularne stosowanie może prowadzić do wzrostu ilości tego pierwiastka w glebie [22]. Obok nawożenia obornikiem na uwagę zasługuje oddziaływanie in-

nych nawozów organicznych na zasobność gleby. Po 6 latach badań prowadzonych przez autorów (projekty KBN PB 400/P06/95/09 i PB 788/P06/99/16) zauważono (mimo pewnych różnic w poszczególnych latach) tendencję do zwiększania zasobności gleby w fosfor, a zmniejszania w potas pod wpływem corocznego przyorywania słomy i biomasy międzyplonów. Dzienia [11], stosując słomę wraz z międzyplonem ścierniskowym, stwierdził ubytek w glebie przyswajalnego fosforu o 6%, a potasu o 15%. Badania autorki, oparte na wieloletnim doświadczeniu nawozowym, wskazują, że również nawożenie obornikiem w dawce  $5\text{--}6\text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  nie jest w stanie znacząco podnieść zasobności gleby, zwłaszcza w potas i magnez, choć jest cennym źródłem mikroelementów.

Pod wpływem nawożenia organicznego, zwłaszcza obornikiem, korzystnym zmianom ulegają także inne właściwości chemiczne gleby, w tym jej odczyn [37]. Wpływ stosowania obornika na wzrost odczynu gleby uwidacznia się szczególnie na glebach lekkich, natomiast na glebach ciężkich oddziaływanie to jest mniejsze [17]. Regularne nawożenie obornikiem zwiększa na ogół także pojemność sorpcyjną gleby, zmienia ilość i proporcje kationów wymiennych, co ma szczególne znaczenie w warunkach współwystępującego intensywnego nawożenia mineralnego [34]. Dawki obornika stosowane w doświadczeniach nawozowych są niekiedy bardzo duże i sięgają nawet  $40\text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Taką ilość nawozu trudno wyprodukować w gospodarstwie, gdyż wymagałoby to wysokiej obsady zwierząt. Szacunkowe wyliczenie (tab. 2), przy założeniu, że sztuka duża produkuje w ciągu roku 10 t obornika, wskazuje, iż w gospodarstwie na każdy hektar powinny przypadać 3–4 sztuki duże. Taka obsada zwierząt i związane z nią nawożenie organiczne niesie jednak ze sobą niebezpieczeństwo wnoszenia do gleby zbyt dużej ilości składników pokarmowych, w tym biogennych azotu i fosforu. Jeśli przyjąć przeciętny skład chemiczny obornika [61], to w dawce 40 t obornika znajduje się 160–240 kg azotu. Zgodnie z Dyrektywą Azotanową i zasadami dobrej praktyki rolniczej dawka taka jest zbyt duża do jednorazowego stosowania na użytkach rolnych, zwłaszcza położonych na obszarach szczególnie wrażliwych na nadmiar azotanów [10, 16]. Z kolei ilość składników wnoszonych do gleby z dawką  $5\text{--}10\text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  nie pokrywa wymagań pokarmowych roślin.

Główną więc rolę w kształtowaniu zasobności gleby odgrywa nawożenie mineralne. Na podstawie wieloletnich badań stwierdzono, że racjonalne nawożenie fosforo-potasowe wpływa na ogół korzystnie na zawartość tych składników w glebie, choć zmiany jej zasobności zależą między innymi od początkowej zawartości składnika, od wielkości dawki nawozów i odczynu gleby [5, 27, 39]. Nawożenie mineralne, zwłaszcza azotem i potasem, prowadzi często do zakwaszenia gleby [6, 59]. W badaniach autorki, 46-letnie wyłączne nawożenie mineralne NPK, mimo korzystnego wpływu na zawartość fosforu i potasu w glebie, spowodowało zmniejszenie jej odczynu z  $\text{pH} = 6,6$  do 3,8. Wskutek nawożenia mineralnego, w wyniku antagonistycznego lub synergistycznego oddziaływania poszczególnych makro- i mikroelementów, dochodzi często do daleko idących zmian w kompleksie sorpcyjnym. Według Kusze-

**Tabela 2.** Niezbędna obsada zwierząt [ $SD \cdot ha^{-1}$ ] dla nawożenia gleby różnymi dawkami obornika oraz ilość składników pokarmowych [ $kg \cdot ha^{-1}$ ] wnoszonych do gleby

	Bydło mleczne				Bydło opasowe				Trzoda chlewna			
	SD	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	SD	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	SD	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
5	0,42	20	12,5	15,0	0,5	20	12,5	15,0	0,45	30	11	32
10	0,83	40	25,0	30,0	1,0	40	25,0	30,0	0,89	60	22	64
15	1,25	60	37,5	45,0	1,5	60	37,5	45,0	1,34	90	33	96
20	1,67	80	50,0	60,0	2,0	80	50,0	60,0	1,79	120	44	128
30	2,50	120	75,0	90,0	3,0	120	75,0	90,0	2,68	180	66	192
40	3,33	160	100,0	120,0	4,0	160	100,0	120,0	3,58	240	88	256
50	4,17	200	125,0	150,0	5,0	200	125,0	150,0	4,47	300	110	320

lewskiego i in. [30], długotrwałe nawożenie mineralne bez stosowania obornika i wapnowania prowadzi do spadku ilości wapnia i magnezu, a zwiększa zawartość glinu w kompleksie sorpcyjnym. Dostępność makro-, a zwłaszcza mikroelementów, dla roślin zależy w dużym stopniu od wzajemnego oddziaływania poszczególnych składników oraz od odczynu gleby [13]. Zakwaszenie gleby zwiększa bowiem przyswajalność większości mikroelementów [57]. Zatem najkorzystniejszym systemem nawożenia wydaje się być nawożenie organiczno-mineralne. Równoczesne stosowanie nawozów organicznych i mineralnych zapobiega nagłym zmianom właściwości chemicznych gleby. Poza tym nawożenie to daje możliwość doboru proporcji poszczególnych składników pokarmowych w zależności od potrzeb roślin i zasobności gleby.

## Rola nawożenia w kształtowaniu właściwości fizycznych gleby

Nawożenie jest jednym z czynników kształtujących właściwości fizyczne gleby. Pod wpływem wieloletniego nawożenia zmieniają strukturę gleby i jej trwałość, wodoodporność agregatów, gęstość objętościowa, porowatość i stosunki wodno-powietrzne, zwięzłość oraz wilgotność gleby [8, 23, 54]. Według Lenarta [31], nawożenie obornikiem zwiększa zawartość C organicznego w mikroagregatach glebowych i powoduje wzrost ilości polisacharydów, przez co przyczynia się do tworzenia trwałej, wodoodpornej struktury gruzełkowej. Obornik zwiększa także ilość porów, zwłaszcza kapilarnych, zdolnych do zatrzymywania wody [53]. Z badań autorów niniejszego opracowania wynika, że nawożenie organiczne, w postaci słomy i biomasy wsiewki międzyplonu wnoszonych do gleby w okresie późnym, wpływa na jej wilgotność i zwięzłość jesienią. Na glebie o większej ilości części spławialnych obserwowano zmniejszenie wilgotności, a zarazem wzrost zwięzłości warstwy ornej. Z kolei na glebie lżejszej takie nawożenie zmniejszyło zarówno wilgotność, jak

**Tabela 3.** Wilgotność [%] i zwięzłość [MPa] warstwy ornej gleby w zależności od rodzaju stosowanej masy roślinnej (wyniki własne)

Obiekt	Wilgotność	Odchylenie względne [%]	Zwięzłość	Odchylenie względne [%]
<b>Gleba średnia</b>				
Uprawa późna	11,4	0,0	3,58	0,0
Słoma + uprawa późna	11,1	-2,6	3,75	4,7
Wsiewka międzyplonu + uprawa późna	10,7	-6,1	4,17	16,5
Słoma + wsiewka + uprawa późna	10,7	-6,1	3,96	10,6
<b>Gleba lekka</b>				
Uprawa późna	8,5	0,0	3,22	0,0
Słoma + uprawa późna	7,9	-7,1	3,01	6,5



i zwięzłość wierzchniej warstwy gleby (tab. 3). Największą zdolność do zatrzymywania wody posiada gleba nawożona obornikiem wraz z nawozami mineralnymi i wapnowana, bowiem wyłączone nawożenie NPK wpływa niekorzystnie na strukturę gleby i powoduje pogorszenie jej właściwości wodno-powietrznych [55]. Nawożenie oddziałuje także pośrednio na właściwości fizyczne gleby, gdyż wpływa na przebieg podstawowych procesów fizjologicznych, jak fotosynteza czy transpiracja [45]. Decyduje więc o wzroście roślin, wielkości systemu korzeniowego, jego penetracji w głąb profilu glebowego. Wpływa także na wzrost organów nadziemnych ocieniających glebę i chroniących jej strukturę.

## **Wpływ nawożenia na właściwości biologiczne gleby**

---

Według Kowalińskiego, cyt. za Kucharskim [26], żyzność gleby determinowana jest przez zespół czynników morfologicznych, fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych oraz biochemicznych i biologicznych. Czynniki te, podlegające antropresji, oddziałując współzależnie, kształtują urodzajność gleby. Biologiczna aktywność gleb wyrażona intensywnością procesów oddychania, amonifikacji, nitrifikacji, aktywnością enzymów jest dodatnio skorelowana z biomasą drobnoustrojów [26, 50]. Przemiany mikrobiologiczne substancji organicznej i związków mineralnych decydują o ich obiegu w agroekosystemie i w przyrodzie.

Aktywność mikrobiologiczna gleby zależy w dużym stopniu od ilości organicznych związków węgla, będących źródłem energii dla drobnoustrojów. Szczególnie korzystnie na ilość i aktywność mikroorganizmów glebowych wpływa nawożenie organiczne, zwłaszcza obornikiem [48]. Powoduje ono, w porównaniu z wyłączeniem nawożenia mineralnym, zwiększenie liczebności mikroorganizmów i aktywności enzymatycznej gleby [58]. Źródłem węgla mogą być także nawozy zielone. Smoliński i in. [52] stwierdzili istotny wpływ biomasy międzyplonów ścierniskowych na ilość bakterii celulo-, amylo-, pektynolitycznych i amonifikacyjnych w warstwie ornej gleby. Autorzy ci wskazują jednocześnie na zróżnicowane oddziaływanie biomasy różnych gatunków roślin na liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów, co zapewne związane jest z różnym składem chemicznym tkanek roślinnych. Bogatym źródłem węgla organicznego, wykorzystywanym w nawożeniu, jest również słoma. Nawóz ten ze względu na szeroki stosunek C : N przyczynia się jednak do immobilizacji azotu w glebie i wymaga dodatku mineralnej formy tego pierwiastka. Wyłączone nawożenie mineralne, zwłaszcza dużymi dawkami azotu, wpływa na ogół niekorzystnie na biologiczną aktywność gleby [42]. W warunkach tych następuje zmniejszenie liczebności bakterii i promieniowców, zmniejsza się aktywność mikroorganizmów celulozowych i wiążących azot atmosferyczny, a także spada aktywność enzymatyczna gleby [48, 58]. Duże dawki azotu mineralnego zmniejszają także potencjał mineralizacyjny azotu organicznego w glebie [49].

Organiczne związki węgla i azotu znajdujące się w glebie ulegają przemianom mikrobiologicznym. Wynikiem tych przemian są proste związki mineralne, jak  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{CO}_2$  lub trwała próchnica glebowa. Przy szerokim stosunku C : N (powyżej 30 : 1) wprowadzanej do gleby substancji organicznej i zawartości azotu poniżej 1,2% następuje immobilizacja azotu. Stwierdza się zmniejszenie zawartości mineralnych form tego pierwiastka i wzrost ilości wydzielanego dwutlenku węgla. Gdy stosunek C : N jest mniejszy niż 20 : 1, a zawartość N w masie organicznej przekracza 1,8%, w glebie gromadzą się jony  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_3^-$ . Azot mineralny zarówno uwalniany z substancji organicznej, jak i wnoszony z nawozami ulega dalszym mikrobiologicznym przemianom oksydoredukcyjnym, jak nityfikacja, redukcja azotanów, wiązanie azotu cząsteczkowego [15]. Mimo że celem nawożenia jest zwiększenie zasobności, żyzności i urodzajności gleb, to część składników troficznych, w tym węgla i azotu, jest tracona. Pierwiastki te w formie różnych połączeń chemicznych przemieszczają się w głąb profilu glebowego oraz ulatniają w formie gazowej, zwiększając ilość gazów cieplarnianych – węgiel w postaci dwutlenku węgla, a azot jako  $\text{NH}_3$  oraz pośrednie ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) i końcowe ( $\text{N}_2\text{O}$  i  $\text{N}_2$ ) produkty redukcji azotanów.

Autorzy na podstawie wyników wieloletniego doświadczenia nawozowego oszacowali, że roczne straty węgla organicznego z gleby nienawożonej, w przeliczeniu na  $\text{CO}_2$ , wyniosły 622 kg, a z gleby nawożonej wyłącznie nawozami mineralnymi 670  $\text{kg CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Ubytek azotu ogólnego wyniósł natomiast 19,4  $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Mniejsze straty wystąpiły w warunkach nawożenia obornikiem, a zwłaszcza łącznego stosowania nawozów organicznych i mineralnych (tab. 4). Z badań nad wpływem nawożenia na respirację gleby wynika jednak, że nawozy organiczne zwiększają zdolność nityfikacyjną i wydzielanie  $\text{CO}_2$  [19, 20, 60], choć – według Mercika i in. [38] – głównym rodzajem strat azotu z gleby jest jego wymywanie poza profil glebowy, a nie ulatnianie amoniaku, tlenków azotu i azotu cząsteczkowego powstałych w wyniku denityfikacji. Nawozy organiczne wprowadzają do gleby związki węgla syntetyzowane z  $\text{CO}_2$  atmosferycznego i akumulują azot. Poza tym korzystny wpływ nawoże-

**Tabela 4.** Zmniejszenie zawartości  $C_{\text{org}}$  i  $N_{\text{og}}$  pod wpływem wieloletniego nawożenia (wyniki własne)

Sposób nawożenia	Węgiel			Azot		
	różnica bezwzględna [%]	różnica [kg $\text{CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	roczny ubytek $C_{\text{org}}$ [kg $\text{CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	różnica bezwzględna [%]	różnica [kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	roczny ubytek $N_{\text{og}}$ [kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]
Brak nawożenia	0,26	28603	622	0,033	990	19,4
NPK	0,28	30803	670	0,033	990	19,4
Obornik	0,24	26402	574	0,028	840	16,5
Obornik + NPK Ca	0,15	16502	359	0,020	600	11,8

nia organiczno-mineralnego na kompleks właściwości gleby stwarza warunki do większej produktywności roślin, a tym samym większej ilości resztek poźniwnych zwiększających pulę węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie. W cytowanych badaniach produktywność roślin na glebie nawożonej przez około 50 lat obornikiem wraz z nawozami mineralnymi i wapnowanej była 6-krotnie większa niż roślin nawożonych wyłącznie mineralnymi formami azotu, fosforu i potasu. Brak wystarczającej ilości analiz chemicznych nawozów organicznych, materiału roślinnego oraz pomiaru rodzaju strat  $C_{org}$  i  $N_{og}$  nie pozwala na pełne zbilansowanie tych pierwiastków. Jednak można wnioskować, że racjonalne nawożenie organiczno-mineralne ogranicza przemieszczanie się węgla i azotu poza agroekosystem.

## Podsumowanie

---

Wyniki licznych, przeprowadzonych w kraju i za granicą badań wskazują, że jednostronne nawożenie organiczne lub mineralne nie jest racjonalnym sposobem kształtowania żyzności i urodzajności gleby. Nie spełnia ono założeń dobrej praktyki rolniczej i nie gwarantuje przyjaznego środowiska oddziaływania na glebę i roślinę.

Głównym zadaniem nawożenia organicznego powinno być utrzymanie lub podnoszenie zawartości węgla organicznego w glebie, co jest warunkiem poprawnych właściwości fizycznych i biologicznych. Materia organiczna decyduje bowiem o strukturze gleby i jej trwałości, o stosunkach wodno-powietrznych i właściwościach agronomicznych roli. Próchnica tworzy również kompleks sorpcyjny, który wpływa między innymi na działanie nawozów mineralnych w glebie. Z kolei nawożenie mineralne powinno bilansować ilość składników pokarmowych wynoszonych z plonami, z uwzględnieniem warunków siedliskowych i gospodarczych.

Optymalnym systemem nawożenia jest zatem łączne stosowanie nawozów organicznych i mineralnych z okresowym wapnowaniem. Zrównoważone nawożenie organiczno-mineralne pozwala utrzymać lub prowadzi do wzrostu ilości materii organicznej w glebie. Wpływa korzystnie także na zasobność, odczyn, kwasowość hydrolytyczną gleby oraz pojemność sorpcyjną i wysycenie kationami wymiennymi. Stosowanie obornika z nawozami mineralnymi i wapnowania zwiększa ogólną i kapilarną porowatość, wodoodporność agregatów oraz zdolność gleby lekkiej do zatrzymywania wody.

## Literatura

---

- [1] Asmus F., Görlitz H., Koriath H. 1979. Ermittlung des Bedarfes der Böden an organischer Substanz. *Arch. Acker – u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, Berlin 23 (1): 13–20.
- [2] Baumacker M., Ellmer F. 1999. Development of soil organic matter content in long-term field trials at Thyrow (Germany). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 273–279.



- [3] Bleharczyk A., Grzebisz W. 1992. Plonotwórcze działanie obornika i nawożenia mineralnego w wieloletnim statycznym doświadczeniu płodozmiennym. *Mat. konf. nauk. Nawozy organiczne*, PAN – AR Szczecin 1: 14–19.
- [4] Cwojdzinski W., Chmara R. 1988. Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na wielkość plonu i niektóre właściwości gleby. *Mat. konf. nauk. Nawozy organiczne*, PAN – AR Szczecin 1: 51–56.
- [5] Czekąła J., Bleharczyk A., Szukała J. 1992. Wieloletnie badania nad wpływem obornika i nawozów mineralnych na zawartość kilku form fosforu w glebie. *Mat. konf. nauk. Nawozy organiczne*, PAN – AR Szczecin 1: 133–138.
- [6] Dechnik I., Bednarek W., Filipek T. 1993. Wpływ nawożenia azotem i potasem na niektóre właściwości gleby brunatnej wytworzonej z lessu. *Zesz. Nauk. AR Kraków 37 cz. I*: 133–141.
- [7] Dechnik I., Chmielewska B. 1988. Wpływ nawożenia obornikiem i odpadami organicznymi monokultury żyta na przemiany związków próchnicznych w glebie. *Roczn. Glebozn.* 39(4): 199–209.
- [8] Domżał H., Pranagal J. 1994. Wodoodporność agregatów glebowych jako wskaźnik degradacji gleb wywołanej użytkowaniem rolniczym. *Fragm. Agron.* 3(43): 22–35.
- [9] Duer I. 1996. Mulczujący wpływ międzyplonu na plonowanie jęczmienia jarego oraz zawartość wody i azotanów w glebie. *Fragm. Agron.* 1(49): 29–43.
- [10] Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzące ze źródeł rolniczych, 1997. W: *Prawo ochrony środowiska Wspólnoty Europejskiej. Suplement 2. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa.*
- [11] Dzienia S. 1989. Wpływ masy organicznej na plonowanie roślin i chemiczne właściwości gleby lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 377: 155–159.
- [12] Ellmer F., Baumacker M., Schweitzer K. 1999. Soil organic matter and P, K balances in the nutrient deficiency experiment at Thyrow (Germany) after 60-years. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 93–102.
- [13] Filipek T., Chmielewska B., Mazur J. 1990. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem na zawartość mikroelementów w glebie i buraku cukrowym. Cz. III. Cynk i miedź. *Rocz. Nauk Rol. A* 108(3): 153–159.
- [14] Flis-Bujak M., Turski R., Baran S., Żukowska G., Darwish Y. 1993. Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na substancję organiczną gleby lekkiej. *Zesz. Nauk. AR Kraków 37 cz. II*: 383–390.
- [15] Fotyma M. 1987. Węgiel i azot. W: *Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia.* PWRiL Warszawa: 57–95.
- [16] Fotyma M., Fotyma E. 1998. Dobra praktyka rolnicza w nawożeniu. *Mat. konf. Dobre praktyki w produkcji rolniczej*: 71–93.
- [17] Gawrońska-Kulesza A., Lenart S., Suwara I. 1989. Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na niektóre właściwości chemiczne warstwy ornej i podornej gleby. *Roczn. Glebozn.* 40(1): 21–26.
- [18] Gawrońska-Kulesza A., Lenart S., Suwara I. 1992. Rola wieloletniego nawożenia w utrzymaniu zasobów substancji organicznej w glebie. *Mat. konf. nauk. Nawozy organiczne*, PAN – AR Szczecin 2: 20–24.
- [19] Gawrońska-Kulesza A., Roszak W. 1984. System uprawy roślin i nawożenia a żyzność gleby. Cz. I. Wpływ uprawy żyta w monokulturze i zmianowaniu oraz nawożenia na niektóre wskaźniki żyzności gleby. *Rocz. Nauk Rol. A* 106(1): 83–98.



- [20] Gawrońska-Kulesza A., Roszak W. 1986. System uprawy roślin i nawożenia a żyzność gleby. Cz. II. Wpływ uprawy jęczmienia w monokulturze i zmianowaniu oraz nawożenia na niektóre wskaźniki żyzności gleby. *Rocz. Nauk Rol. A* 106(2): 63–77.
- [21] Grzebisz W., Kociałkowski W.Z., Gawrońska-Kulesza A. 1992. Wpływ wieloletniego nawożenia obornikiem na potencjalną zdolność gleby do zaopatrzenia roślin w potas. *Mat. konf. nauk. Nawozy organiczne, PAN – AR Szczecin* 2: 145–150.
- [22] Jarecki M., Meller E. 1992. Porównanie działania obornika i gnojowicy stosowanych wraz z nawozami mineralnymi na zawartość przyswajalnych form P, K i Mg w glebie lekkiej. *Mat. konf. nauk. Nawozy organiczne, PAN – AR Szczecin* 2: 81–88.
- [23] Jaskulski D., Kotwica K. 1999. Wpływ późniejszej uprawy roli na wilgotność i zwięzłość gleby w okresie wykonywania orki jesiennych. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz* 217 Rol. 43: 17–23.
- [24] Körschens M. 1999. Yield and quality of products depending on different fertilization in the last 20 years in the static fertilization experiment at Bad Lauchstädt. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 25–38.
- [25] Krzywy E., Krupa J., Wołoszyk C. 1996. Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na niektóre wskaźniki żyzności gleby. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 172 Rol. 62: 259–264.
- [26] Kucharski J. 1997. Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. *Mat. konf. nauk. Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie. AR Kraków:* 327–347.
- [27] Kulczycki G. 1998. Wpływ zróżnicowanego nawożenia potasem na wybrane właściwości gleby oraz plon i pobieranie składników pokarmowych przez kukurydzę. Cz.I. Właściwości glebowe. *Roczn. Glebozn.* 49(3–4): 51–62.
- [28] Kundler P., Eich D., Körschens M., Koriath H., Asmus F., Görlitz H., Baumann E. 1977. Empfehlungen zum effektiven Einsatz organischer Dünger zur Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. *Bodens. Broschüre agra:* 22 ss.
- [29] Kuszelewski L., Łabętowicz J. 1986. Współdziałanie nawożenia mineralnego i organicznego w kształtowaniu żyzności gleby. *Roczn. Glebozn.* 37(2–3): 411–419.
- [30] Kuszelewski L., Łabętowicz J., Korc M. 1995. Dynamika plonowania i zmiany kompleksu sorpcyjnego przy różnych systemach nawożenia na glebie lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 421a: 239–243.
- [31] Lenart S. 1999. Materia organiczna gleby a wodoodporność agregatów glebowych w warunkach wieloletniego nawożenia i zmianowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 289–302.
- [32] Lipawský J., Hanzlíková A., Kubát J. 1999. Soil organic matter content and quality in the polyfactorial long-term field experiments. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 281–287.
- [33] Łabętowicz J., Korc M., Szulc W. 1996. Akumulacja glebowej substancji organicznej pod wpływem nawożenia mineralnego na glebie lekkiej. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 172 Rol. 62: 297–303.
- [34] Łabętowicz J., Kuszelewski L., Korc M., Szulc W. 1999. Znaczenie nawożenia organicznego dla trwałości plonów i równowagi jonowej gleby lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 123–134.
- [35] Łabza T. 1995. Zawartość węgla organicznego w glebie lessowej w warunkach gospodarki płodozmiennej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 421a: 261–266.
- [36] Mattsson L. 1999. Systems of plant nutrient application and their impacts on soil fertility development at three Swedish long-term experimental sites. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 169–179.

- [37] Mazur T., Sądej W. 1989. Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą, obornikiem i NPK na niektóre właściwości chemiczne i fizyko-chemiczne gleby. *Roczn. Glebozn.* 40(1): 147–153.
- [38] Mercik S., Moskal S., Stępień W. 1995. Emisja do atmosfery podtlenku azotu ( $N_2O$ ) z użytków rolnych w Polsce w aspekcie efektu cieplarnianego. *Roczn. Glebozn.* 46(1/2): 135–148.
- [39] Mercik S., Stępień W. 1993. Działanie potasu przy różnym odczynie i zasobności gleb w magnez w doświadczeniach statycznych. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 37 cz. I: 15–26.
- [40] Mercik S., Stępień W., Gębski M. 1999. Plony roślin oraz niektóre właściwości chemiczne gleb w 75-letnich doświadczeniach nawozowych w Skierniewicach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 39–49.
- [41] Myśków W., Jaszczewska B., Stachyra A., Naglik E. 1986. Substancje organiczne gleby – ich rolnicze i ekologiczne znaczenie. *Roczn. Glebozn.* 37(2–3): 15–35.
- [42] Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D. 1996. Biological activity of soil as an index of its fertility. *Soil Sci. Ann.* 47(1/2): 89–99.
- [43] Niemyska-Lukaszuk J., Filipek-Mazur B., Nicica P. 1999. Zawartość i skład frakcyjny próchnicy w glebie łąki górskiej w 30-tym roku statycznego doświadczenia nawozowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 569–578.
- [44] Nowak W., Sowiński J. 1996. Zmiany zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego i mineralnego w glebie w czasie wegetacji buraka cukrowego. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 172 Rol. 62: 405–412.
- [45] Panak H., Wojnowska T., Sienkiewicz S. 1993. Wpływ nawożenia obornikiem i NPK na dynamikę wilgotności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 411: 96–100.
- [46] Rabikowska B., Wilk K. 1991. Wpływ wieloletniego nawożenia obornikiem i azotem na właściwości gleby gliniastej. Cz.I. Odczyn gleby oraz zawartość węgla i azotu. *Roczn. Glebozn.* 42(3–4): 27–35.
- [47] Rocznik statystyczny RP 1983, 1999. GUS, Warszawa: 574ss, 746ss.
- [48] Runowska-Hryńczuk B., Żurawski H. 1988. Porównanie działania wieloletniego nawożenia obornikiem i nawozami mineralnymi na wybrane chemiczne i biologiczne właściwości gleby lekkiej. *Fragm. Agron.* 4(20): 5–15.
- [49] Russel S., Kozanecka T., Gębski M. 1999. Potencjał mineralizacyjny azotu organicznego w glebie sadu jabłoniowego w zależności od wieloletniego nawożenia azotem i sposobu jej utrzymania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 465: 485–493.
- [50] Ružek L., Voříšek K., Šiša R., Barabasz W., Marcinowska K., Bis H. 1997. Microbial biomass carbon and correlations with some indicators of biological activity of arable soils (respiration, amination, nitrification and catalase activity). *Mat. konf. nauk. Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie.* AR Kraków: 619–623.
- [51] Siebeneicher G.E. 1997. Podręcznik rolnictwa ekologicznego. Tłumaczenie zbiorowe, Red. D. Ostrowska, PWN, Warszawa: 524 ss.
- [52] Smoliński S., Kotwica K., Jaskulski D., Tomalak S. 1997. Wpływ poplonu ścierniskowego na aktywność mikrobiologiczną gleby. Zmiany liczebności bakterii uczestniczących w przemianach C i N. *Mat. konf. nauk. Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie.* AR Kraków: 625–630.
- [53] Suwara I. 1999. Rola systemów nawożenia w kształtowaniu niektórych właściwości fizycznych gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 419–426.
- [54] Suwara I., Gawrońska-Kulesza A. 1994. Wpływ wieloletniego nawożenia na właściwości gleby i plonowanie roślin. Cz.I. Właściwości gleby. *Roczn. Nauk Rol.* A 110(3–4): 105–115.

- [55] Suwara I., Gawrońska-Kulesza A., Kuszelewski L. 1996. Wpływ nawożenia obornikiem i wapnowania na wybrane właściwości fizyczne gleby. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 172 Rol. 62: 491–495.
- [56] Szulc W., Łabętowicz J., Kuszelewski L. 1999. Zmiany ilościowe próchnicy i jej frakcji pod wpływem wieloletniego nawożenia mineralnego i organicznego w glebie lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 303–309.
- [57] Urbanowski S., Bilski J. 1988. Wpływ wieloletniego nawożenia na odczyn i zawartość makro- i mikroelementów w glebie. Cz.II. Zawartość boru, manganu, miedzi, cynku i molibdenu. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz* 145 Rol. 24: 61–67.
- [58] Weigel A., Russel S., Mercik S., Körschens M., Kubát J., Powlson D.S. 1999. Zależność biomasy i jej biologicznej aktywności od zawartości w glebie węgla organicznego w wieloletnich doświadczeniach nawozowych z czterech krajów europejskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465: 505–516.
- [59] Wojnowska T., Panak H., Sienkiewicz S., Wojtas A. 1993. Zmiany fizykochemicznych właściwości w warunkach wieloletniego nawożenia potasem, magnezem i sodem. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 37 cz. I: 65–74.
- [60] Wojnowska T., Sienkiewicz S., Wojtas A. 1993. Dynamika wydzielania CO<sub>2</sub> z gleby w zależności od nawożenia obornikiem i NPK oraz uprawianych roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 411: 101–106.
- [61] Wrześniowski Z., Sosnowska W., Stempel R. 1997. Tabele pomocnicze do planowania rolniczej działalności gospodarczej. ART Olsztyn: 112 ss.

## **Influence of many years' fertilization on the dynamics of soil properties**

---

**Key words:** organic fertilization, mineral fertilization, chemical, physical and biological properties of soil

### **Summary**

Paper presents a review of many years' research results on the influence of different fertilization manners on chemical, physical and biological soil properties. Analysed data showed that the irrational fertilization leads to decreasing of soil fertility and productivity, and even to its degradation. Organic-mineral fertilization is the best possible way. Organic fertilizers advantageously affect the physical and biological soil properties, while the mineral fertilizers properly balance the nutrients in soil and maintain its adequate reaction.