

Agnieszka Rutkowska, Jerzy Kopiński

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

## MOŻLIWOŚĆ OGRANICZENIA NAWOŻENIA FOSFOREM NA GRUNTACH ORNYCH\*

**Słowa kluczowe:** zasobność gleb w fosfor, produktywność roślin, bilans fosforu, zużycie nawozów fosforowych

### Wstęp

Zgodnie z danymi Fertilizers Europe w 2018 r. światowa produkcja nawozów fosforowych osiągnęła 62,7 mln ton, z czego produkcja przypadająca na UE-28 wyniosła 1,99 ml ton (4). Głównymi konsumentami fosforu w nawozach są kraje Azji i Ameryki, natomiast zużycie nawozów fosforowych w zachodniej i centralnej Europie szacuje się na zaledwie 6,6% (7). Ograniczenia w wytwarzaniu nawozów fosforowych w UE są związane przede wszystkim z barierami surowcowymi, transportowymi oraz energetycznymi. W przemyśle chemicznym do produkcji nawozów fosforowych wykorzystywane są naturalne fosforany, takie jak apatyty i fosforyty. Największe złoża fosforytowe znajdują się w południowym Kazachstanie, na Florydzie, w Chinach, na Bliskim Wschodzie, a także w krajach północno-afrykańskich. Mniejsze złoża występujące w Europie, w tym na terenie Polski, ze względów ekonomicznych nie są przydatne do eksploatacji na skalę przemysłową (2, 10, 15). Fosforyty jako złoża są zasobami nieodnawialnymi. Prognozy opracowane pod koniec ubiegłego wieku wskazują, że połowa dostępnych na świecie złóż fosforowych zostanie całkowicie wyczerpana w przeciągu 60–70 lat (21). Założenia planu działania Europejski Zielony Ład koncentrują się zatem wokół zmniejszenia poziomu zużycia nawozów w rolnictwie, również w aspekcie ochrony zasobów naturalnych.

Należy podkreślić, że nawozy fosforowe stanowią także poważny koszt w produkcji roślinnej, zwłaszcza po notowanym od 2020 r. gwałtownym wzroście cen tych

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 pt. „Doskonalenie internetowej bazy danych o produktach nawozowych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

środków produkcji. Według danych Instytutu Ekonomiki i Gospodarki Żywnościowej – Państwowego Instytutu Badawczego, w październiku 2021 r. za jedną tonę superfosfatu granulowanego należało zapłacić średnio 1 246 zł, tzn. 6,23 zł za kilogram  $P_2O_5$ . Stąd optymalizacja nawożenia fosforem uzasadniona jest nie tylko względami produkcyjnymi i środowiskowymi, ale także ekonomicznymi.

Celem opracowania jest ocena możliwości ograniczenia poziomu nawożenia fosforem na gruntach ornych w Polsce do 2030 r. Oceny tej dokonano na podstawie analizy zasobności gleb użytkowanych rolniczo w fosfor oraz prognoz zużycia nawozów fosforowych do 2030 r. Ocena została poparta wynikami wieloletnich badań nad produktywnością roślin oraz stanem żyzności gleby, prowadzonych na glebach o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości w fosfor przyswajalny, które przeważają w Polsce.

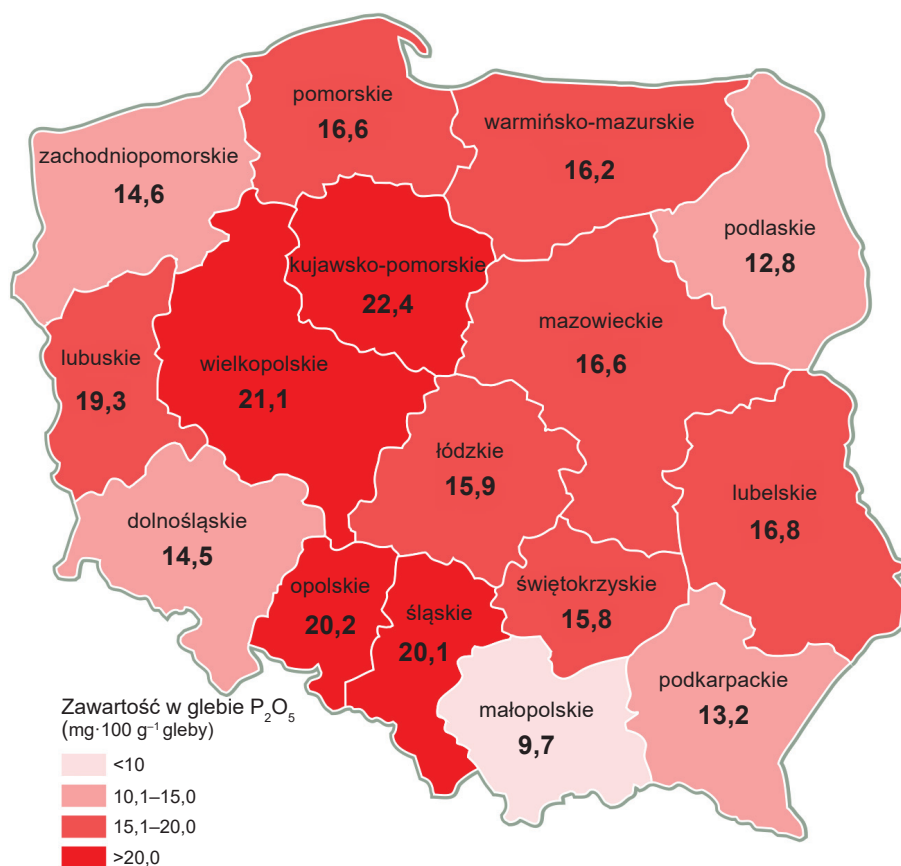
### Fosfor w produkcji rolniczej

Czynnikami decydującymi o dostępności fosforu (P) dla roślin są zarówno właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb, jak również aktywność roślin. Za najważniejsze czynniki wpływające na przemiany fosforu w glebie uznaje się odczyn gleby oraz obecność innych jonów w roztworze glebowym. Fosfor przyswajalny występuje w największych ilościach przy pH 6,5–7,0. W glebach o odczynie poniżej 5,0 pierwiastek ten występuje w połączeniach nierozpuszczalnych z glinem i żelazem, zaś w glebach o pH powyżej 7,0 tworzy z jonami wapnia nierozpuszczalną sól wapniowo-fosforową (1, 11). Fosfor stosowany w dużych dawkach kumuluje się w górnych warstwach profilu glebowego i ulega wymywaniu do wód w niewielkich ilościach, ponieważ w większości ulega sorpcji przez fazę stałą gleby (20). Zasoby zakumulowane w glebie określane są w literaturze światowej mianem „legacy phosphorus” (17, 18). Pomimo braku jednoznacznej definicji dla tego terminu rozpatruje się go zarówno w ujęciu agronomicznym, jak i środowiskowym. W ujęciu agronomicznym terminem tym określa się zwykle zawartość fosforu w glebie przekraczającą wartości rekomendowane w doradztwie nawozowym. W ujęciu środowiskowym legacy phosphorus oznacza zawartość P przekraczającą wartość progową, związaną z ryzykiem strat tego pierwiastka do środowiska (3, 4). Dlatego zarówno w Polsce, jak i w pozostałych krajach UE uznaje się, że dążenie do uzyskania zerowego bilansu fosforu jest działaniem służącym ograniczeniu presji rolnictwa w zakresie nawożenia fosforem na jakość wód (9, 19). Po przekroczeniu pojemności sorpcyjnej gleby w odniesieniu do P może bowiem dochodzić do strat tego pierwiastka do wód zarówno w formie rozpuszczalnych, reaktywnych związków, jak również w formie związków zawieszonych na cząstkach stałych gleby, na drodze splotu powierzchniowego, podpowierzchniowego oraz odpływu szczelinowego (6).

Wyniki badań agrochemicznych prowadzonych w Polsce potwierdzają systematyczny wzrost zasobności gleb w przyswajalny fosfor. W latach 1955–2019 udział gleb

o zawartości bardzo niskiej i niskiej zmniejszył się z 56% do 30%. Były to najbardziej dynamiczne zmiany spośród ocenianych chemicznych wskaźników żyzności gleby. W ciągu 64 lat badań nad tym pierwiastkiem, prowadzonych na potrzeby doradztwa nawozowego, w ponad 3 mln ha gruntów najuboższych w fosfor zasobność gleby uległa znacznej poprawie (12, 13).

Z badań monitoringowych prowadzonych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze w latach 2008–2016 wynika, że przeciętna zawartość fosforu przyswajalnego w glebach Polski wynosiła w tym okresie 16,9 mg  $P_2O_5$  na 100 gram gleby (17). Największą zawartość fosforu przyswajalnego w warstwie ornej gleby ( $P_2O_5$  powyżej 20,1 mg  $\cdot$  100 g<sup>-1</sup> gleby) stwierdzono w czterech województwach: kujawsko-pomorskim, opolskim, śląskim i wielkopolskim. Bardzo niską przeciętną zawartość odnotowano jedynie w województwie małopolskim (rys. 1).



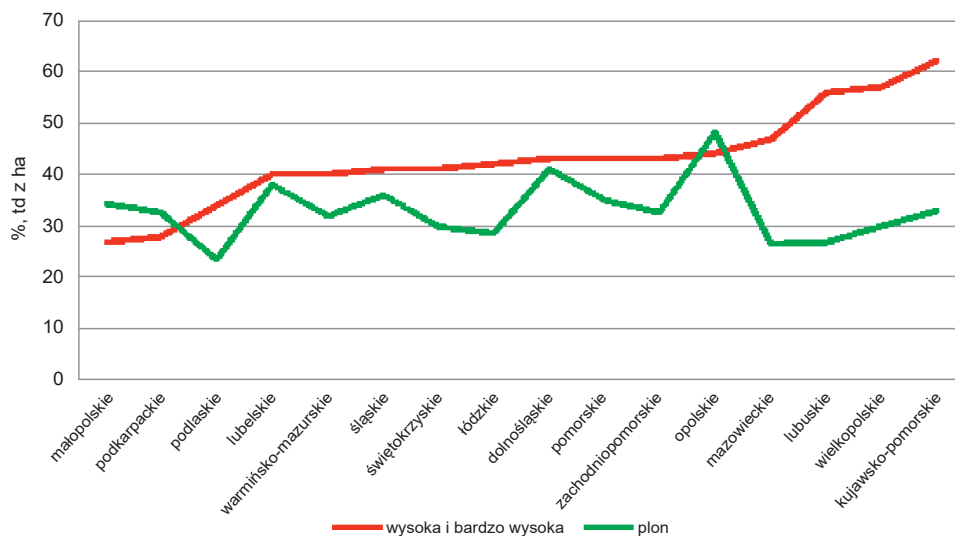
Rys. 1. Zróżnicowanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebach Polski w latach 2008–2016

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań monitoringowych OSChR

Jednocześnie badania Jadczyzyn (8) wykazały, że pokrycie zapotrzebowania na ten składnik w rolnictwie jest wyższe od optymalnego i prawie dwukrotnie większe aniżeli pokrycie zapotrzebowania na potas.

### Ocena produkcyjnych i środowiskowych skutków wieloletniego gospodarowania w warunkach zaprzestania nawożenia fosforem

Z opracowania Lipińskiego (dane niepublikowane) wynika, że wysokie i bardzo wysokie zawartości fosforu w glebie nie wpływają na zwiększenie plonu roślin. Przykładowo, w województwie kujawsko-pomorskim, w którym udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości fosforu przekracza 60%, średnie plony zbóż wynoszą  $33 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$  i są niższe w porównaniu z plonami uzyskiwanymi na glebach województwa dolnośląskiego, w którym gleby zasobne w potas stanowią 41% (rys. 2).

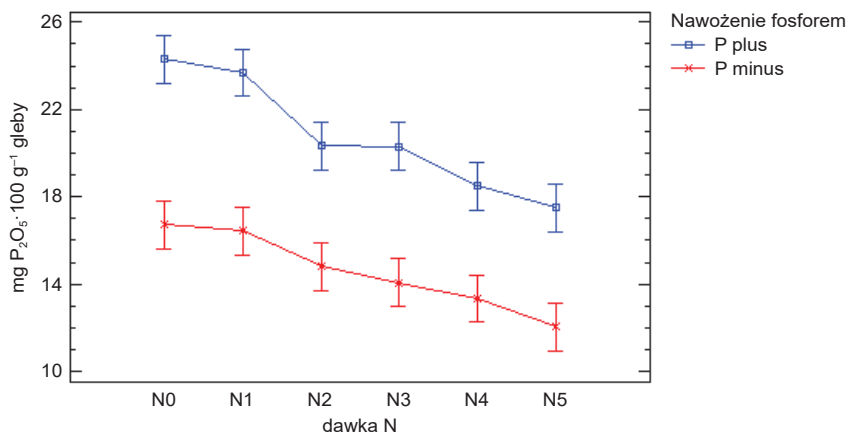


Rys. 2. Zależność pomiędzy plonowaniem zbóż i wysoką oraz bardzo wysoką zasobnością gleby w fosfor przyswajalny

Źródło: Lipiński W., dane niepublikowane

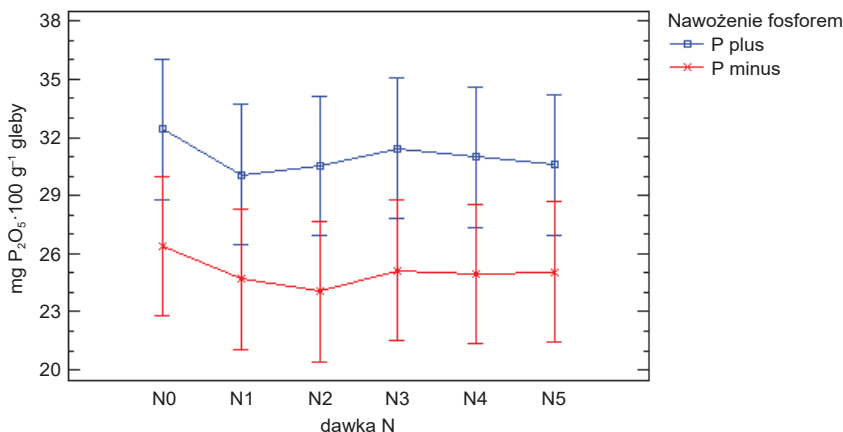
Wyniki wieloletnich badań prowadzonych w zakładach doświadczalnych IUNG-PIB zlokalizowanych w Polsce wschodniej i zachodniej, na glebach lekkich o uregulowanym odczynie, należących do klasy o wysokiej i bardzo wysokiej zasobności w fosfor przyswajalny, potwierdzają, że zmiany zawartości fosforu w warstwie ornej gleb zachodzą bardzo powoli (17). W ciągu szesnastu lat bez nawożenia fosforem w glebie o wyjściowej zawartości fosforu na poziomie  $16,9 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , w zmianowaniu, w którym uprawiano rzepak ozimy, pszenicę ozimą, kukurydzę na ziarno

i jęczmień jary, średnia zawartość tego składnika spadła zaledwie o 1,6 mg  $P_2O_5 \cdot 100 g^{-1}$  gleby czyli o 10% (rys. 3), natomiast w glebie o wyjściowej zawartości 26,9 mg  $P_2O_5 \cdot 100 g^{-1}$  gleby utrzymywała się na poziomie zbliżonym do wyjściowego (rys. 4). Regularne nawożenie fosforem takich gleb prowadziło natomiast do kumulacji tego pierwiastka w warstwie ornej, o czym świadczy wzrost zawartości fosforu przyswajalnego średnio o 29% w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym (RZD) w Grabowie (woj. mazowieckie) i o 21% w RZD w Baborówku (woj. wielkopolskie) (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Zawartość fosforu przyswajalnego w warstwie ornej gleby w latach 2003–2018 w RZD IUNG-PIB w Grabowie

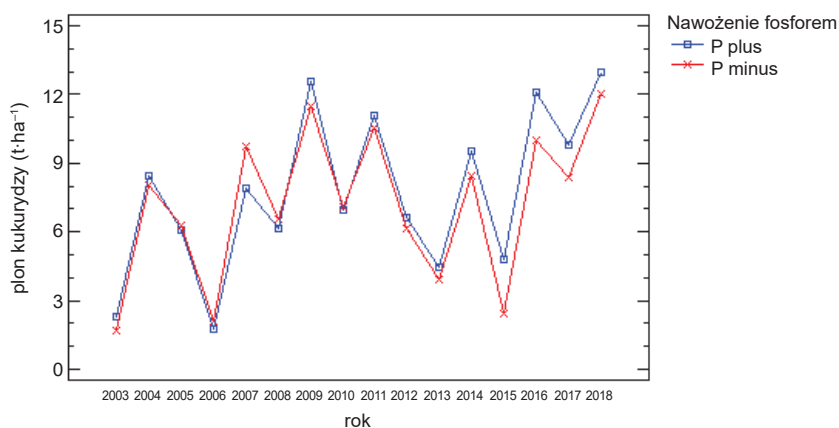
Źródło: Rutkowska i Skowron, 2020 (17)



Rys. 4. Zawartość fosforu przyswajalnego w warstwie ornej gleby w latach 2003–2018 w RZD IUNG-PIB w Baborówku

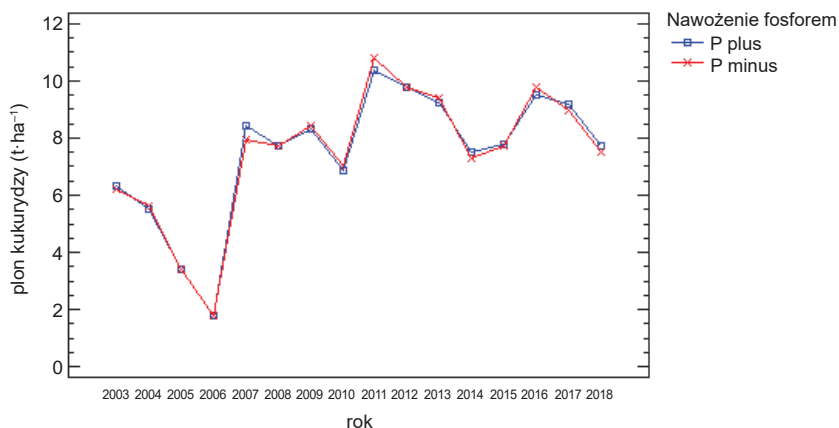
Źródło: Rutkowska i Skowron, 2020 (17)

W konsekwencji utrzymującej się na zbliżonym poziomie zawartości fosforu przyswajalnego w glebie, przez trzy pełne rotacje zmianowania rośliny nienawożone fosforem plonowały na zbliżonym poziomie do roślin, pod które corocznie stosowano nawozy fosforowe w formie superfosfatu prostego. Dopiero po 12 latach od zaprzestania nawożenia fosforem zaobserwowano tendencję niżki plonów rzepaku i kukurydzy (rys. 5) na glebie, której wyjściowa zawartość fosforu była niższa. Tendencji takiej nie potwierdzono natomiast na glebie o bardzo wysokiej wyjściowej zasobności w fosfor (rys. 6).



Rys. 5. Plony kukurydzy w latach 2003–2018 w RZD IUNG-PIB w Grabowie

Źródło: Rutkowska i Skowron, 2020 (17)



Rys. 6. Plony kukurydzy w latach 2003–2018 w RZD IUNG-PIB w Baborówku

Źródło: Rutkowska i Skowron, 2020 (17)

Biorąc zatem pod uwagę, że 44% gleb w Polsce charakteryzuje się odczynem obojętnym oraz bardzo wysoką i wysoką zawartością fosforu przyswajalnego (13), można założyć, że ograniczenie nawożenia na tych glebach o zamierzone w strategii Europejskiego Zielonego Ładu dwadzieścia procent nie wpłynie negatywnie na produkcję roślinną. Należy przewidywać, że w przypadku gleb, których pH mieści się w górnym zakresie odczynu lekko kwaśnego, na których przyswajalność fosforu jest stosunkowo duża, praktyki służące ograniczeniu zużycia nawozów fosforowych również nie wpłyną negatywnie na wielkość uzyskiwanych plonów.

Równocześnie należy mieć na uwadze, że blisko 30% gleb charakteryzuje się odczynem bardzo kwaśnym i kwaśnym, a przy tym bardzo niską i niską zasobnością w fosfor przyswajalny. Gleby takie wymagają większego poziomu nawożenia w celu przeciwdziałania dalszemu ich ubożeniu. Nawożenia fosforem wymaga ponadto 27% gleb wykazujących odczyn lekko kwaśny i średnią zawartość fosforu przyswajalnego.

W tabeli 1 podano aktualną (lata 2016–2019) strukturę zasobności gleb w przyswajalny fosfor w 16 województwach Polski. Najwięcej gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości fosforu występuje w województwach małopolskim i podkarpackim, w których udział takich gleb przekracza 50%. Na podstawie przeprowadzonej analizy trendów oraz przewidywanych interwencji w ramach obecnego Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) i opracowywanego Planu Strategicznego (PS) założeń Wspólnej Polityki Rolnej, w tabeli 2 podano przewidywany stan agrochemiczny gleb w zakresie zasobności w przyswajalny fosfor w roku 2030. Zgodnie z prognozami udział gleb o niskiej i bardzo niskiej zasobności zmniejszy się w ciągu kolejnych dziewięciu lat do 23%.

Tabela 1

Zasobność gleb w przyswajalny fosfor ( $P_2O_5$ ) w Polsce w latach 2016–2019

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Zasobność gleb w mg $P_2O_5$ , w kg gleby (%) (w % przebadanych próbek)				
			bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Dolnośląskie	120 659	349,4	10	25	25	16	24
Kujawsko-pomorskie	139 370	360,5	3	13	23	21	40
Lubelskie	134 915	120,2	8	26	28	18	20
Lubuskie	50 127	136	3	16	27	22	32
Łódzkie	99 422	158,7	6	24	29	17	24
Małopolskie	38 433	38,3	32	27	16	10	15
Mazowieckie	137 553	241,4	7	23	26	18	26
Opolskie	94 486	238,8	4	23	27	20	26
Podkarpackie	67 877	94,5	21	32	21	11	15
Podlaskie	64 824	140,8	14	28	25	15	18

cd. tab. 1

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Zasobność gleb w mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w kg gleby (%) (w % przebadanych próbek)				
			bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Pomorskie	118 026	325,2	6	22	29	18	25
Śląskie	40 061	87,4	11	25	25	16	23
Świętokrzyskie	33 367	44,5	16	27	20	13	24
Warmińsko-mazurskie	149 179	387,8	8	25	26	18	23
Wielkopolskie	228 050	593,7	5	17	24	20	34
Zachodniopomorskie	141 862	434,8	5	22	31	22	20
<b>POLSKA</b>	<b>1 658 211</b>	<b>3 751,8</b>	<b>9</b>	<b>18</b>	<b>27</b>	<b>19</b>	<b>27</b>

Źródło: GUS, 2021 (14) na podstawie danych Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (KSChR)

Tabela 2

Prognoza stanu zasobności gleb w przyswajalny fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) w Polsce w roku 2030

Województwo	Liczba przebadanych próbek (szt.)	Przebadana powierzchnia (tys. ha)	Zasobność gleb w mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w kg gleby (%)				
			bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Dolnośląskie	-	-	9	23	31	15	24
Kujawsko-pomorskie	-	-	4	10	28	22	36
Lubelskie	-	-	5	24	34	18	20
Lubuskie	-	-	3	16	29	21	32
Łódzkie	-	-	4	19	35	20	23
Małopolskie	-	-	29	23	21	13	15
Mazowieckie	-	-	6	20	30	19	25
Opolskie	-	-	3	20	32	22	24
Podkarpackie	-	-	20	28	27	11	15
Podlaskie	-	-	14	22	29	17	18
Pomorskie	-	-	7	19	35	18	23
Śląskie	-	-	9	21	34	17	20
Świętokrzyskie	-	-	9	26	28	17	21
Warmińsko-mazurskie	-	-	7	23	30	22	19
Wielkopolskie	-	-	3	15	29	22	32
Zachodniopomorskie	-	-	4	21	35	22	19
<b>POLSKA</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>33</b>	<b>23</b>	<b>23</b>

Źródło: GUS, 2021 (14) na podstawie danych Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (KSCh-R)



W celu oceny zapotrzebowania roślin w fosfor (poza właściwym stanem odżywienia roślin) powinno uwzględniać się stan zasobności gleby w przyswajalne formy tego składnika. Jako syntetyczny wskaźnik stanu zasobności gleb w fosfor, będący jednocześnie wskaźnikiem potrzeb nawożenia tym składnikiem, wykorzystano tzw. współczynnik bilansowy (RCBp) (20). Jego wartość zależy od stanu zasobności gleb w fosfor oraz od kategorii agronomicznej gleby (tab. 3).

Tabela 3

Współczynniki bilansowe dla fosforu (RCBp)

Zawartość fosforu w glebie	Kategoria agronomiczna gleb				Średni współczynnik bilansowy RCBp*
	bardzo lekkie	lekkie	średnie	ciężkie	
Bardzo niska	2,20	2,00	1,89	1,82	1,94
Niska	1,67	1,54	1,43	1,33	1,54
Średnia	1,25	1,18	1,11	1,05	1,24
Wysoka	0,77	0,71	0,70	0,67	0,73
Bardzo wysoka	0,38	0,36	0,35	0,33	0,33

\*na glebach o średniej zawartości fosforu współczynnik korekcyjny wynosi 1

Źródło: Fotyma, 2002 (5)

Jak można wnioskować na podstawie przeprowadzonych obliczeń, zalecany współczynnik bilansowy (RCBp) wynikający ze stanu zasobności gleb w fosfor w 2030 r. w Polsce będzie przyjmował średnią wartość 1,020, pozostając na poziomie zbliżonym do współczynnika aktualnie wyznaczonego (1,019). Zatem potrzeby nawożenia fosforem nie powinny ulec większym zmianom w stosunku do stosowanych w latach 2016–2019 dawek fosforu wynoszących 41 kg  $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$  UR w dkr, z czego 24 kg  $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$  UR w dkr wnoszone było w nawozach mineralnych, a 17 kg  $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$  UR w dkr w nawozach naturalnych, przy nawozochłonności tego składnika 1,1 kg  $P_2O_5 \cdot j.zb.^{-1}$ . Prognoza ta (tab. 2) wynika również z analizy obecnego trendu zmian zużycia fosforu w nawozach mineralnych, gdzie wielkość dawek nie ulega praktycznie zmianie, a średnioroczny przyrost wynosi 0,01 kg  $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$  UR w dkr ( $y = 0,0165x + 25,225$ ;  $r^2 = 0,0005$ ).

### Podsumowanie

Okolo połowa gleb użytkowanych rolniczo w Polsce charakteryzuje się wysoką i bardzo wysoką zawartością fosforu przyswajalnego w warstwie ornej, a wyniki badań agrochemicznych przeprowadzonych w ostatnich latach wskazują na systematyczny wzrost zawartości tego pierwiastka przy równoczesnym zmniejszeniu udziału gleb ubogich w fosfor. Dane pochodzące z wieloletnich doświadczeń prowadzonych w Rolniczych Zakładach Doświadczalnych IUNG-PIB usytuowanych w dwóch

różnych regionach Polski potwierdzają, że zmiany zawartości fosforu przyswajalnego w glebach zasobnych w ten pierwiastek zachodzą bardzo powoli, dzięki czemu możliwe jest długotrwałe gospodarowanie w warunkach zaniechania nawożenia tym makroskładnikiem bez negatywnych skutków produkcyjnych. Co więcej, stosowanie nawozów fosforowych w ilościach zabezpieczających potrzeby pokarmowe roślin uprawnych w stosunku do tego pierwiastka nie tylko nie przyczynia się do zwiększenia plonu, ale powoduje narastającą kumulację fosforu w warstwie ornej. Na glebach zasobnych w fosfor możliwe jest zatem znaczne ograniczenie zużycia nawozów fosforowych, co wpisuje się w założenia Europejskiego Zielonego Ładu. Równocześnie należy mieć na uwadze, że nawożenia fosforem wymaga ponadto 27% gleb wykazujących odczyn lekko kwaśny i średnią zawartość fosforu przyswajalnego. Zgodnie z prognozami zaprezentowanymi w niniejszym opracowaniu, biorąc pod uwagę zmiany zasobności gleb w fosfor związane z trendem zużycia nawozów fosforowych, należy przewidywać, że do roku 2030 potrzeby nawożenia fosforem nie powinny ulec większym zmianom w stosunku do stosowanych w latach 2016–2019 dawek fosforu wynoszących  $41 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$  UR w dkr.

## Literatura

1. B e d n a r e k W., L i p i ń s k i W.: Rozpuszczalne formy fosforu w glebie poddanej oddziaływaniu następczego, zróżnicowanego nawożenia mineralnego. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1995, **421a**: 15-20.
2. C i c h y B.: Odpady nieorganiczne przemysłu chemicznego. Foresight technologiczny, Raport końcowy, Projekt WND-POIG.01.01.01-00-009/09, Cursiva, Gliwice-Warszawa-Kraków 2012.
3. European Sustainable Phosphorus Platform, May 2022, <https://www.phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter142.pdf>
4. Fertilizers Europe. <https://www.fertilizerseurope.com/fertilizers-in-europe/facts-figures/> 21.07.2022 r.
5. F o t y m a M.: Zrównoważona gospodarka fosforem w rolnictwie polskim. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton, 2002, **4(13)**: 160-172.
6. H e a t h w a i t e A.L., D i l s R.M.: Characterizing phosphorus loss in surface and subsurface hydrological pathways. Science of Total Environment, 2000, **251/252**: 523-538.
7. International Fertilizer Association [https://www.ifastat.org/databases/graph/1\\_3](https://www.ifastat.org/databases/graph/1_3) (21.07.2022 r.)
8. J a d c z y s z y n T.: Ocena zrównoważenia gospodarki nawozowej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2012, **29(3)**: 135-142.
9. M c D o w e l l R., D o d d R., P l e t n y a c o v P., N o b l e A.: The ability to reduce soil legacy phosphorus at a country scale. Frontiers in Environmental Science, 2020, **8**: 6.
10. K o w a l D.: Metody wytwarzania granulowanych nawozów wieloskładnikowych z wykorzystaniem mocznika. Praca doktorska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, 2008.
11. L i p i ń s k i W.: Wpływ wapnowania i nawożenia magnezem na przemiany fosforu w glebie oraz pobranie tego składnika przez jęczmień jary. Cz. I. Mineralne frakcje i ruchome formy fosforu. Annales UMCS, 1997, sec. E, vol. LII, **29**: 235-244.
12. L i p i ń s k i W.: Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilizaton, 2005, **2**: 49-54.

13. Lipiński W.: Agrochemiczne właściwości gleb użytkowanych rolniczo. W: System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce, J. Sita, G. Borowski (red.). Politechnika Lubelska, 2019, s. 305-320.
14. Ochrona Środowiska 2020. GUS, Warszawa 2021.
15. Podraza Z, Krupa-Żuczek K., Wzorek Z.: Czasopismo Techniczne. Chemia, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2011, **108**, Z. 2-Ch, s. 185.
16. Rutkowska A., Rusek P.: Rynek nawozów fosforowych oraz zróżnicowanie zawartości fosforu w glebach Polski. Przemysł Chemiczny, 2020, **99/3**: 381-385.
17. Rutkowska A., Skowron P.: Productive and environmental consequences of sixteen years of unbalanced fertilization with nitrogen and phosphorus – trials in Poland with oilseed rape, wheat, maize and barley. Agronomy, 2020, **10(11)**: 1747.
18. Sharpley A., Jarvie H.P., Buda A., May L., Spears, B., Kleinman P.: Phosphorus Legacy: overcoming the effects of past management. Practices to mitigate future water quality impairment. Journal of Environmental Quality, 2013, **42**, 1308-1326.
19. Sharpley A., Tunney H.: Phosphorus research strategies to meet agricultural and environmental challenges of the 21st century. Journal of Environmental Quality, 2000, **29**: 176-181.
20. Smoroń S.: Obieg fosforu i zagrożenie jakości wody. Zeszyty Edukacyjne, IMUZ Falenty, 1996, **1/96**: 57-71.
21. Wzorek Z.: Odzysk związków fosforu z termicznie przetworzonych odpadów i ich zastosowanie jako substytutu naturalnych surowców fosforowych. Seria Inżynieria i Technologia Chemiczna, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Monografia 356, Kraków 2008, s. 9.

---

Adres do korespondencji:

*dr hab. Agnieszka Rutkowska; dr hab. Jerzy Kopiński*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia;*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 840; 81 4786 821*  
*e-mail: Agnieszka.Rutkowska@iung.pulawy.pl; jkop@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Agnieszka Rutkowska	0000-0001-9799-0327
Jerzy Kopiński	0000-0002-2887-4143