

Alicja Pecio, Jacek Niedźwiecki

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

OCENA POTRZEB NAWOŻENIA W ROLNICTWIE PRECYZYJNYM*

Słowa kluczowe: dawki nawozów, rolnictwo precyzyjne, doradztwo nawozowe

Wstęp

Koncepcja rolnictwa precyzyjnego polega na różnicowaniu zabiegów agrotechnicznych, zwłaszcza nawożenia, w obrębie jednego pola o zróżnicowanej pokrywie glebowej (5). Idea tego systemu wywodzi się z oceny, że zmienność siedliskowa powoduje zmienność we wzroście i rozwoju roślin, a przez to również zmienność plonu końcowego. Jednolita agrotechnika w obrębie pola o zróżnicowanych warunkach glebowych prowadzi do zmniejszenia średniego plonu i często nadmiernego zużycia środków produkcji. Dotyczy to w pierwszym rzędzie nawozów mineralnych. Zatem podstawowym założeniem rolnictwa precyzyjnego jest dostosowanie zabiegów agrotechnicznych do zmienności uprawianego pola, w celu zwiększenia efektywności ich działania, ograniczenia zużycia środków produkcji, a efektem – poprawa plonowania roślin, zwiększenie opłacalności produkcji, a także zmniejszenie presji na środowisko poprzez lepsze wykorzystanie nawozów i środków ochrony roślin. Do tej pory nie było to możliwe, ponieważ pole traktowano jako całość, a jako podstawę wyznaczania dawek nawozów przyjmowano średnią dla całego pola zasobność gleb w składniki pokarmowe.

Celem badań było porównanie potrzeb wapnowania oraz dawek nawożenia azotem, fosforem, potasem i magnezem pod pszenicę ozimą, określonych na podstawie szczegółowej analizy przestrzennej zmienności plonu ziarna i właściwości agrochemicznych wierzchniej warstwy gleby w stałej sieci punktów pomiarowych oraz metodą tradycyjną, uwzględniającą wartości średnie dla całego pola.

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.2 i 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Metodyka badań

Badania prowadzono w SD IUNG-PIB w Baborówku (16°38'50 E, 52°34'50 N) w latach 2013-2015 na polu o łącznej powierzchni 79,8 ha.

Potrzeby wapnowania oraz dawki składników pokarmowych pod pszenicę ozimą wyznaczano zgodnie z zaleceniami IUNG-PIB (1, 2, 4), na podstawie zasobności gleb oraz plonu. Dawki wapna określano na podstawie oceny potrzeb wapnowania, uwzględniającej odczyn pH i kategorię agronomiczną gleb. Dawki azotu, fosforu i magnezu wyznaczano na podstawie pobrania z plonem głównym, które obliczano jako iloczyn pobrania jednostkowego N, P₂O₅, K₂O i Mg (tab. 1) i plonu ziarna z jednostki powierzchni.

Tabela 1

Pobranie składników mineralnych z plonem głównym pszenicy ozimej (kg·t⁻¹)

Azot (N)	Fosfor P ₂ O ₅	Potas (K ₂ O)	Magnez (Mg)
18,9	8,24	5,16	1,3

Źródło: Jadczyzyn, 2013 (1)

Pobranie skorygowane odpowiednim współczynnikiem, zależnym od zasobności gleby w dany składnik (tab. 2), oznaczało potrzeby nawożenia (3). W przypadku azotu, wartość pobrania była jednoznaczna z potrzebami nawożenia tym składnikiem.

Tabela 2

Wartości współczynników korekcyjnych
zależnie od zasobności gleby w fosfor, potas i magnez

Zasobność	Bardzo niska	Niska	Średnia	Wysoka	Bardzo wysoka
Współczynnik	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5

Źródło: Jadczyzyn, 2006 (3)

Ze względu na to, że na polach wszystkich roślin płodozmianu zbierano wyłącznie plon główny, a pozostawioną na polu słomę przyorywano i nie stosowano nawożenia organicznego, jedynym źródłem dopływu składników pokarmowych były nawozy mineralne stosowane w dawkach jednolitych na poszczególnych polach płodozmiennych.

W badaniach uwzględniono dwa sposoby określania potrzeb nawożenia. Dla potrzeb tradycyjnego doradztwa nawozowego uwzględniono średnie wartości dla całego pola. Dla potrzeb doradztwa zgodnie z zasadami rolnictwa precyzyjnego uwzględniono zmienność warunków glebowych i plonu ziarna pszenicy ozimej w stałych punktach pomiarowych. Metody badawcze oraz wyniki rozpoznania tej zmienności opisano szczegółowo w pracy Pecio i in. w tym zeszycie.

Trzy pola (nr 5, 6 i 7), w których kolejno uprawiano pszenicę w latach 2013, 2015 i 2014 obejmowały łącznie 136 punktów, a pole nr 4, przeznaczone pod uprawę kukurydzy, 18 punktów (tab. 3).

Tabela 3

Charakterystyka pól płodozmiennych

Nr pola	4	5	6	7
Rok uprawy pszenicy ozimej	-	2013	2015	2014
Powierzchnia pola (ha)	9,3	19,7	19,7	31,1
Liczba punktów pomiarowych	18	38	38	60

Źródło: opracowanie własne

Zapotrzebowanie na nawozy obliczano jako iloczyn dawki składnika i powierzchni. W przypadku obliczeń tradycyjnych uwzględniono powierzchnie pól przedstawione w tabeli 3. W obliczeniach dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego, całkowite zapotrzebowanie na nawozy w poszczególnych polach wyznaczono jako sumę zużycia na poszczególnych powierzchniach reprezentowanych przez punkty pomiarowe (154 punkty, każdy o powierzchni 0,5184 ha). Taki sposób obliczeń był uzasadniony tym, że punkty te były rozmieszczone na polu w oczkach siatki kwadratowej o boku 72 m, a zatem wszystkie punkty reprezentowały jednakową powierzchnię.

Wyniki badań

Właściwości agrochemiczne gleb w obrębie pola oraz plon ziarna pszenicy ozimej określono na podstawie analizy próbek pobranych w stałych punktach pomiarowych. Ocenę kategorii agronomicznych oraz odczynu gleby w obrębie całego pola przeprowadzono na podstawie analizy próbek gleby pobranych w 154 punktach pomiarowych. W ocenie zróżnicowania zasobności gleby w fosfor, potas i magnez uwzględniono wyniki analiz tylko w tych punktach, gdzie określano jednocześnie plon ziarna pszenicy (136 punktów). Wyniki badań wykazywały duże zróżnicowanie przestrzenne. Dlatego też średnie dla poszczególnych pól płodozmiennych często różniły się od rzeczywistych wartości w punktach pomiarowych.

Zróżnicowanie właściwości gleb

Na podstawie analizy składu granulometrycznego gleby, według klasyfikacji zgodnej z normą branżową BN-78/9180-11, stwierdzono, że średnia dla całego pola (154 punkty) zawartość części spławialnych wynosiła ok. 10% (tab. 4). Oznacza to, że gleba należy do kategorii gleb bardzo lekkich. Jednakże współczynnik zmienności – ponad 50% – oznacza bardzo duże zróżnicowanie w obrębie pola.

Tabela 4

Procentowy udział części spławialnych (o średnicy $<0,02$ mm).

Charakterystyka statystyczna (n=154)

Charakterystyka statystyczna	Udział części spławialnych (%)
Średnia	9,75
Mediana	10,0
Odchylenie standardowe	4,9
Współczynnik zmienności	50,3
Minimum	1,7
Maksimum	22,7
Kategoria agronomiczna gleby	bardzo lekkie

Źródło: opracowanie własne

Analiza danych z próbek gleby pobranych w 154 punktach pomiarowych wykazała, że połowa z nich (50%) należała do kategorii gleb lekkich, a druga połowa (49%) – do kategorii gleb bardzo lekkich (tab. 5).

Tabela 5

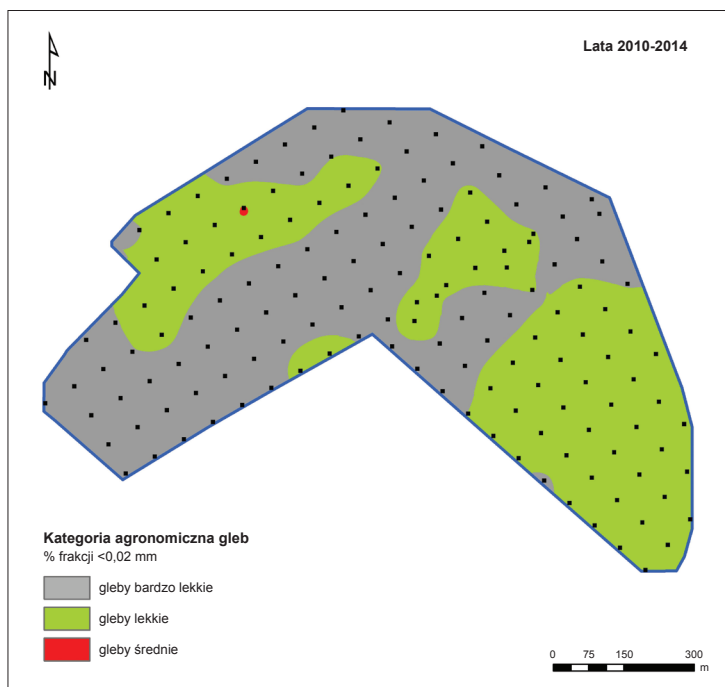
Udział punktów pomiarowych w klasach kategorii agronomicznych gleb

Kategoria agronomiczna	Udział części spławialnych (%)	Punkty pomiarowe	
		liczba	udział (%)
Gleby bardzo lekkie	5,49	77	50
Gleby lekkie	13,94	76	49
Gleby średnie	22,7	1	1
Średnio dla pola		Suma dla pola	
Gleby bardzo lekkie	9,75	154	100

Źródło: opracowanie własne

Gleba pobrana tylko w jednym punkcie należała do kategorii gleb średnich. Był to punkt nr 83 o współrzędnych 52°35'21 N, 16°38'24 (rys. 1).

W glebach trzech pól, na których uprawiano pszenicę (136 punktów), średni udział części spławialnych (10%) wskazywał kategorię gleb bardzo lekkich (tab. 6). Jednakże do tej kategorii należała gleba tylko na polach nr 5 i 6, gdzie średnia zawartość części spławialnych wynosiła odpowiednio 9,4 i 7,9%. Gleba pola nr 7, o zawartości części spławialnych ok. 11,8%, należała do kategorii gleb lekkich. Gleby pola nr 4, przeznaczone pod uprawę kukurydzy, oceniono średnio jako bardzo lekkie. Na każdym z pól stwierdzono jednak duży, aczkolwiek zróżnicowany, udział obu kategorii gleb.



Rys. 1. Mapa kategorii agronomicznych gleb

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6

Procentowy udział punktów pomiarowych w klasach kategorii agronomicznych pól płodozmiennych

Nr pola	4	5	6	7	Średnio 5, 6, 7
Gleby bardzo lekkie	78	55	68	27	46
Gleby lekkie	22	42	32	73	53
Gleby średnie	-	3	-	-	1
Zaw. cz. sypław. (%)	7,77	9,36	7,90	11,76	10,0
Kat. agronomiczna gleby	b. lekkie	b. lekkie	b. lekkie	lekkie	b. lekkie

Źródło: opracowanie własne

Średnia wartość pH gleby dla całego pola wynosiła 5,6. Pozwoliło to zaliczyć ją do gleb o odczynie lekko kwaśnym. Stwierdzono ponadto wysoką zawartość P_2O_5 , bardzo wysoką zawartość K_2O i bardzo wysoką zawartość Mg (tab. 7).

Tabela 7

Właściwości agrochemiczne gleby średnio z pola

Cecha	pH KCl n=154	Zawartość mg 100 g ⁻¹ gleby (n=136)		
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Wartość	5,6	15,3	22,6	6,3
Ocena	I. kwaśne	wysoka	b. wysoka	b. wysoka

Źródło: opracowanie własne

Zmienność wartości pH wynosiła ok. 16% i wahała się od 3,6 do 7,6, a zawartość składników pokarmowych od 41% do niemal 62% (tab. 8). Największą zmienność stwierdzono w przypadku zawartości Mg (62%), mniejszą dla zawartości P₂O₅ (56%), a najmniejszą, ale również bardzo dużą, w przypadku zawartości K₂O (41%).

Tabela 8

Zmienność właściwości agrochemicznych gleby w punktach pomiarowych.

Charakterystyka statystyczna

Charakterystyka statystyczna	pH _{KCl}	Zawartość w mg 100 g ⁻¹ gleby		
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Liczebność	154	136	136	136
Średnia	5,6	15,3	22,6	6,35
Mediana	5,7	13,7	20,45	5,20
Odchylenie standardowe	0,89	8,57	9,36	3,92
Współczynnik zmienności	15,7	56,1	41,4	61,8
Minimum	3,6	4,3	6,0	0,40
Maksimum	7,6	67,3	46,9	19,9

Źródło: opracowanie własne

Analiza właściwości chemicznych gleby z podziałem na pola płodozmienne wykazała duże zróżnicowanie pomiędzy średnimi (tab. 9). Gleba na polach nr 4, 5 i 7 wykazywała średnio odczyn lekko kwaśny. Jedynie na polu nr 6 gleba charakteryzowała się odczynem kwaśnym.

Tabela 9

Średni odczyn pH oraz ocena zakwaszenia gleb w polach płodozmiennych

Nr pola	Liczba punktów pomiarowych	pH _{KCl}	Ocena zakwaszenia gleb
4	18	5,7	lekko kwaśne
5	38	5,7	lekko kwaśne
6	38	5,3	kwaśne
7	60	5,8	lekko kwaśne

Źródło: opracowanie własne

Zasobność gleb w fosfor wahała się od średniej do wysokiej, w magnez od bardzo wysokiej do wysokiej, a w potas była bardzo wysoka na wszystkich polach (tab. 10).

Tabela 10

Średnia zasobność gleb pól płodozmiennych w makroelementy

Nr pola	Liczba punktów	Zasobność	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
5	38	wartość (mg 100 g ⁻¹ gleby)	13,9	21,9	7,97
		ocena	średnia	bardzo wysoka	bardzo wysoka
6	38	wartość (mg 100 g ⁻¹ gleby)	18,3	25,2	5,26
		ocena	wysoka	bardzo wysoka	wysoka
7	60	wartość (mg 100 g ⁻¹ gleby)	14,3	21,4	6,01
		ocena	średnia	bardzo wysoka	wysoka

Źródło: opracowanie własne

Zróźnicowanie przestrzenne odczynu gleby w obrębie poszczególnych pól płodozmiennych wahało się od ok. 12% na polu nr 7 do ponad 18% na polach nr 5 i 6. Wartości pH pozostawały w granicach – odpowiednio: 4,2-7,4 oraz 3,6-7,6 i 3,9-7,4 (tab. 11).

Tabela 11

Przestrzenna zmienność odczynu pH gleby w polach płodozmiennych.

Charakterystyka statystyczna

Nr pola	4	5	6	7
Liczebność	18	38	38	60
Średnia	5,7	5,7	5,3	5,8
Mediana	5,6	6,05	5,25	5,9
Odchylenie standardowe	0,74	1,05	0,97	0,71
Współczynnik zmienności	13,0	18,25	18,20	12,2
Minimum	4,20	3,6	3,9	4,2
Maksimum	7,30	7,6	7,4	7,4

Źródło: opracowanie własne

Zróznicowanie przestrzenne zasobności gleby w składniki pokarmowe w obrębie poszczególnych pól płodozmiennych, na których uprawiano pszenicę wynosiło od 31,7% w przypadku potasu w polu nr 7 do 67,5% dla magnezu w polu nr 6. Szczegółowe wartości podano w tabeli 12.

Tabela 12

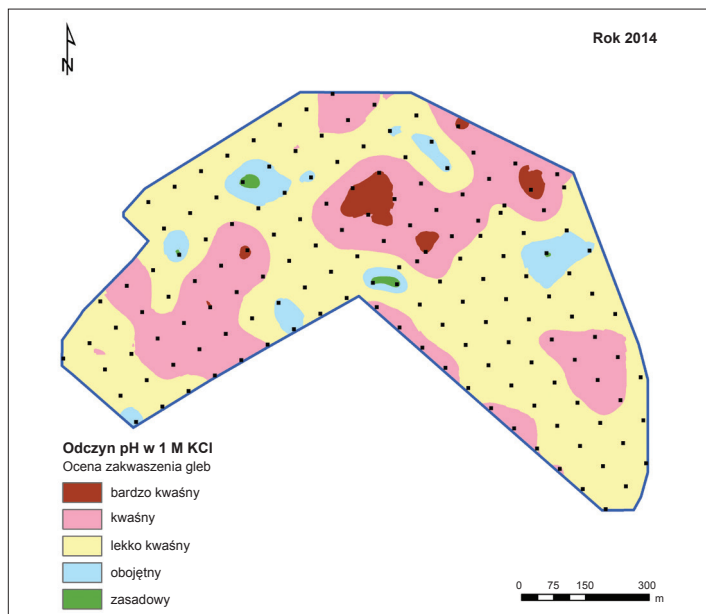
Przestrzenna zmienność zasobności gleby w makroelementy w polach płodozmiennych.

Charakterystyka statystyczna

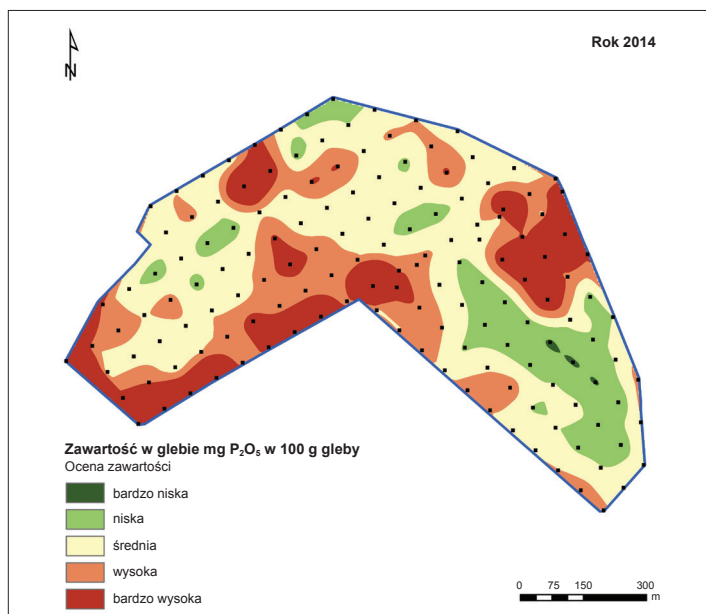
Charakterystyka statystyczna	Pole 5			Pole 6			Pole 7		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
	Zawartość w mg 100 g ⁻¹ gleby								
Liczebność	38	38	38	38	38	38	60	60	60
Średnia	13,9	21,9	7,97	18,3	25,2	5,26	14,3	21,4	6,01
Mediana	12,8	22,1	7,6	15,9	24,0	3,95	12,9	20,0	5,0
Odchylenie stand.	5,85	9,68	4,66	9,47	11,9	3,55	9,08	6,80	3,34
Wsp. zmienności	42,2	44,2	58,5	51,9	47,3	67,5	63,4	31,7	55,5
Minimum	6,7	6,0	0,4	8,20	9,00	1,50	4,3	8,7	1,0
Maksimum	37,5	43,5	19,9	52,3	46,9	19,3	67,3	41,8	14,7

Źródło: opracowanie własne

Na rys. 2 przedstawiono mapy zmienności właściwości agrochemicznych gleb według klas zakwaszenia i zasobności w makroelementy.



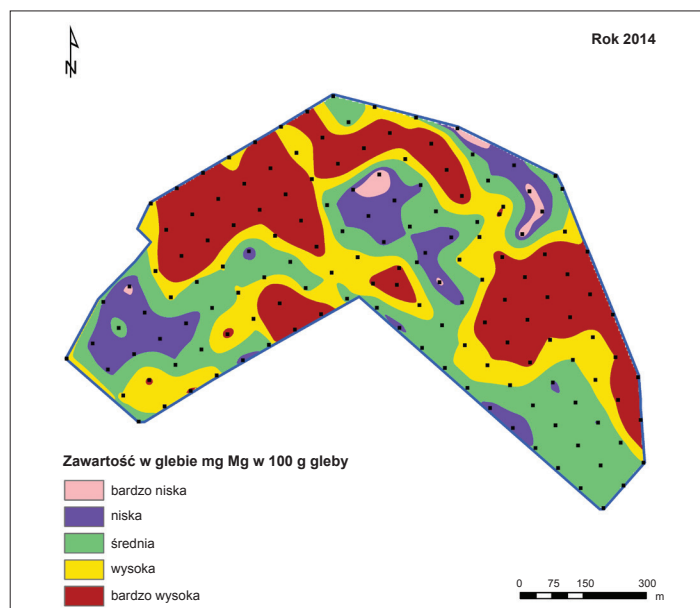
Odczyn gleb



Zasobność w fosfor



Zasobność w potas



Zasobność w magnez

Rys. 2. Mapy klas zakwaszenia oraz zasobności gleb w makroelementy

Źródło: opracowanie własne

Plon ziarna pszenicy ozimej

Średni plon ziarna pszenicy z trzech analizowanych pól (nr 5, 6 i 7), określony na podstawie próbek pobranych z 1 m² w punktach pomiarowych, wynosił 573 g·m⁻². Analiza plonu wykazała jednak zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi polami. Najwyższy średni plon ziarna zebrano z pola nr 7 w roku 2014, a najniższy z pola nr 6 w roku 2015 (tab. 13). Zróżnicowanie plonu ziarna średnio z trzech pól wynosiło 21%. Największe (28%) stwierdzono jednak na polu o najniższych plonach (nr 6), a najmniejsze (12%) w polu o największej produktywności (nr 7). Zakres zmienności w obrębie trzech pól pszenicy łącznie wahał się od 273 g·m⁻² do 800 g·m⁻², przy czym w polu nr 6 wynosił od 278 do 800 g·m⁻², a w polu nr 7 od 442 do 753 g·m⁻².

Tabela 13

Przestrzenna zmienność plonu ziarna pszenicy ozimej (g·m⁻²) na polach płodozmiennych.
Charakterystyka statystyczna

Nr pola (rok)	5-7 (2013-2015)	5 (2013)	6 (2015)	7 (2014)
Powierzchnia (ha)	70,5	19,7	19,7	31,1
Liczebność	136	38	38	60
Średnia	573	562	504	625
Mediana	603	575	463	631
Odchylenie standardowe	118	106	143	77,4
Współczynnik zmienności	20,5	18,9	28,4	12,4
Minimum	273	273	278	442
Maksimum	800	751	800	753

Źródło: opracowanie własne

Odpowiednie mapy zmienności plonu ziarna pszenicy w polach płodozmiennych zamieszczono w pracy *P e c i o i i n .* w tym zeszycie.

Dawki nawożenia w doradztwie tradycyjnym i precyzyjnym

W tabeli 14 zestawiono średnie potrzeby i dawki wapna, które wskazują, że żadne z pól płodozmiennych nie wymaga wapnowania. Jak wynika z danych przedstawionych w tabelach 7 i 8, średni odczyn pH z łącznej powierzchni 79,8 ha (154 punkty pomiarowe) wynosił 5,6, co dla kategorii agronomicznej – gleby bardzo lekkie – oznacza, że wapnowanie jest zbędne (6). Przypomnieć tu należy, że jak wskazano w tabeli 5, w obrębie całego pola gleby bardzo lekkie stanowiły 49%, a pozostałą

część (50%) – gleby lekkie i średnie (1%). Dla kategorii gleb lekkich średni odczyn pH równy 5,6 oznacza ograniczone potrzeby wapnowania, czyli również zerową dawkę wapna (2). Uogólniając, można uznać, że żadne z pól nie wymagało wapnowania.

Tabela 14

Średnie potrzeby wapnowania w polach płodozmiennych

Nr pola	4	5	6	7	4-7
Powierzchnia pola (ha)	9,3	19,7	19,7	31,1	79,8
Potrzeby wapnowania	zbędne	zbędne	ograniczone	ograniczone	zbędne
Dawka CaO ($t \cdot ha^{-1}$)	-	-	-	-	-

Źródło: opracowanie własne

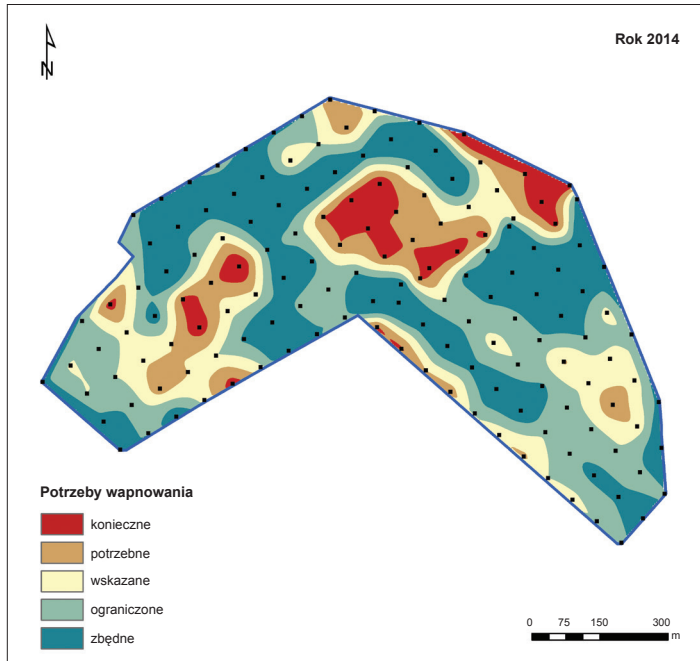
Analiza rzeczywistych potrzeb wapnowania w 154 punktach pomiarowych wykazała jednak ich przestrzenne zróżnicowanie (tab. 15). Suma zapotrzebowania na nawozy wapniowe, obliczona według dawek dla każdego punktu indywidualnie, waha się od 2,9 t w polu nr 4 do 21,3 t w polu nr 6. Łączne zużycie wapna na czterech polach płodozmiennych (nr 4-7) o łącznej powierzchni 79,8 ha wynosi 53 t i jest to rzeczywista ocena zapotrzebowania na nawozy wapniowe, która znacznie odbiega od oceny tradycyjnej, tzn. na podstawie średnich wartości odczynu.

Tabela 15

Liczba punktów pomiarowych oraz zużycie wapna w polach płodozmiennych

Potrzeby wapnowania	Numer i powierzchnia pola (ha)							
	4 (9,3)	5 (19,7)	6 (19,7)	7 (31,1)	4 (9,3)	5 (19,7)	6 (19,7)	7 (31,1)
	liczba punktów				zużycie wapna (t z pow. pola)			
Konieczne	-	4	5	1	-	6,22	8,81	1,81
Potrzebne	1	2	9	6	1,04	2,07	9,85	6,74
Wskazane	3	7	4	11	1,81	3,89	2,59	8,04
Ograniczone	6	2	7	17	-	-	-	-
Zbędne	8	23	13	25	-	-	-	-
Suma	18	38	38	60	2,85	12,2	21,3	16,6

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Mapa potrzeb wapnowania

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 3 zobrazowano przestrzenne zróżnicowanie potrzeb wapnowania w obrębie pola.

Na podstawie danych o plonie ziarna pszenicy ozimej (tab. 13) i pobrania, uwzględniając zasobność gleb (tab. 16), w punktach pomiarowych siatki geostatystycznej wyznaczono dawki składników pokarmowych. Wartości średnie uwzględniono w obliczeniach według tradycyjnego systemu zaleceń nawozowych, wartości minimalne i maksymalne oraz współczynnik zmienności charakteryzują zakres zróżnicowania wartości rzeczywistych w punktach pomiarowych, które uwzględniono w obliczeniach dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego (tab. 16-18).

Tabela 16

Charakterystyka statystyczna zróżnicowania pobrania makroelementów ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)
przez pszenicę ozimą w punktach pomiarowych pól płodozmiennych

Nr pola (liczba punktów)	Charakterystyka	N	P_2O_5	K_2O	Mg
5 (38 punktów)	średnia	106,1	46,3	29,0	7,30
	minimum	51,5	22,5	14,1	3,54
	maksimum	142,0	61,9	38,8	9,77
	wsp. zmienności (%)	18,9	18,9	18,9	18,9
6 (38 punktów)	średnia	95,3	41,6	26,0	6,56
	minimum	52,6	22,9	14,4	3,62
	maksimum	151,2	65,9	41,28	10,4
	wsp. zmienności (%)	28,4	28,4	28,4	28,4
7 (60 punktów)	średnia	118,1	51,5	32,2	8,12
	minimum	83,5	36,4	22,8	5,74
	maksimum	142,4	62,1	38,9	9,79
	wsp. zmienności (%)	12,4	12,4	12,4	12,4
5-7 (136 punktów)	średnia	108,4	47,3	29,6	7,46
	minimum	51,5	22,5	14,1	3,54
	maksimum	151,2	65,9	41,3	10,4
	wsp. zmienności (%)	20,5	20,5	20,5	20,5

Źródło: opracowanie własne

Potrzeby nawożenia odpowiadające dawkom nawozów mineralnych przedstawiono w tabeli 17. W porównaniu do średniej dawki wyznaczonej w sposób tradycyjny, dawki azotu wyliczone w punktach pomiarowych dla potrzeb nawożenia precyzyjnego wahały się od 48 do 158%, dawki fosforu od 36 do 201%, dawki potasu od 52 do 183%, a magnezu od 44 do 206%.

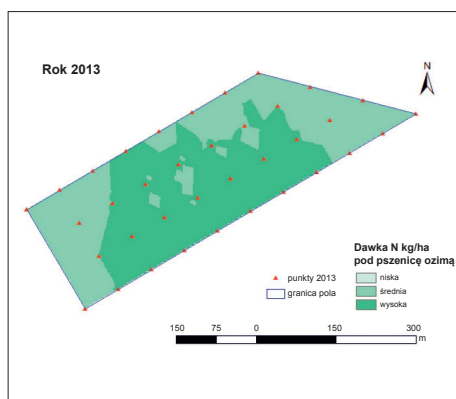
Tabela 17

Charakterystyka statystyczna zróżnicowania potrzeb nawożenia ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
pszenicy ozimej w punktach pomiarowych pól płodozmiennych

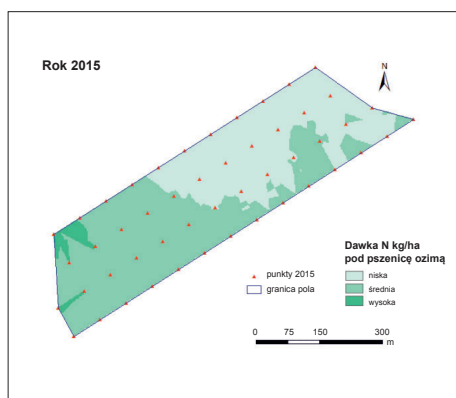
Nr pola (liczba punktów)	Charakterystyka	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
5 (38 punktów)	średnia	106,1	43,6	18,5	8,30
	minimum	51,5	18,6	11,7	4,82
	maksimum	142,0	72,2	31,3	15,76
	wsp. zmienności (%)	18,9	30,5	26,1	30,3
6 (38 punktów)	średnia	95,4	32,8	15,4	8,77
	minimum	52,6	16,7	9,55	4,89
	maksimum	151,2	63,0	28,2	16,6
	wsp. zmienności (%)	28,4	36,7	27,3	32,2
7 (60 punktów)	średnia	118,1	50,2	20,4	10,9
	minimum	83,5	18,2	11,4	4,78
	maksimum	142,4	87,3	32,1	19,8
	wsp. zmienności (%)	12,4	32,5	23,1	30,0
5-7 (136 punktów)	średnia	108,4	43,5	18,5	9,59
	minimum	51,5	16,7	9,55	4,78
	maksimum	151,2	87,3	32,1	19,8
	wsp. zmienności (%)	20,5	36,8	27,2	33,1

Źródło: opracowanie własne

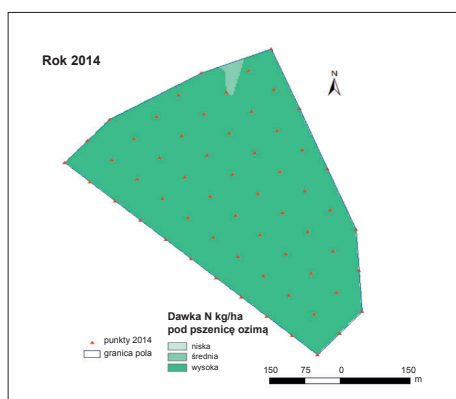
Dla poszczególnych pól płodozmiennych wykreślono odpowiednie mapy dawek (rys. 4-8). Na rysunku 4 przedstawiono strefy niskich, średnich i wysokich potrzeb nawożenia azotem, a na rysunku 5 przestrzenny rozkład dawek fosforu, potasu i magnezu w polach płodozmiennych pszenicy ozimej.



Pole nr 5

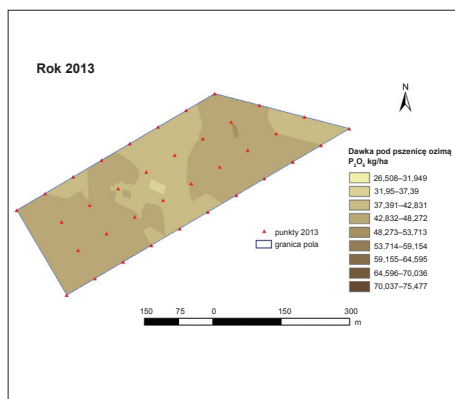


Pole nr 6

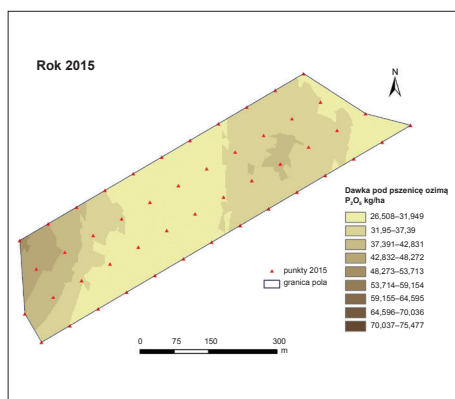


Pole nr 7

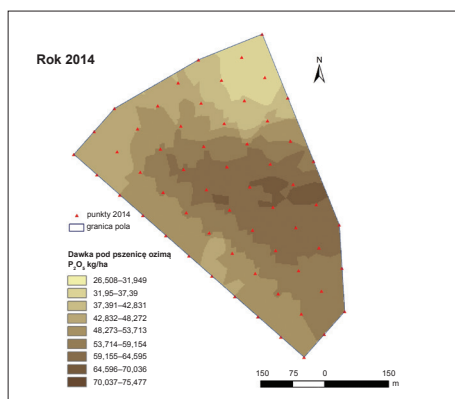
Rys. 4. Strefy niskich, średnich i wysokich dawek azotu (N) w polach płodozmiennych
Źródło: opracowanie własne

Dawki P_2O_5 

Pole nr 5

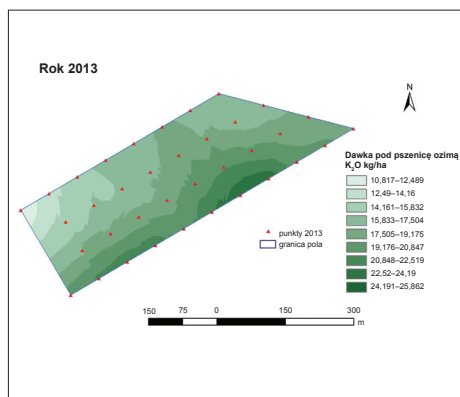


Pole nr 6

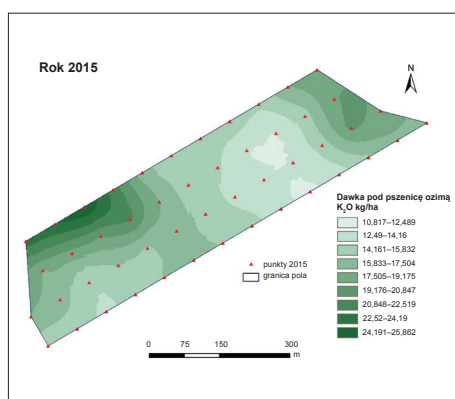


Pole nr 7

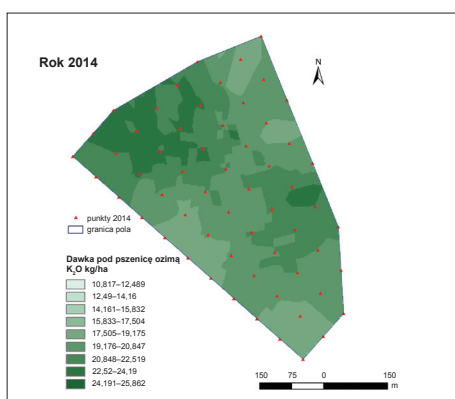
Rys. 5a. Mapy dawek makroelementów zalecanych pod pszenicę ozimą w polach płodozmiennych
Źródło: opracowanie własne

Dawki K_2O 

Pole nr 5



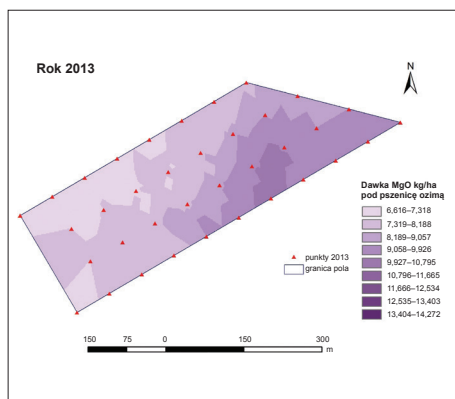
Pole nr 6



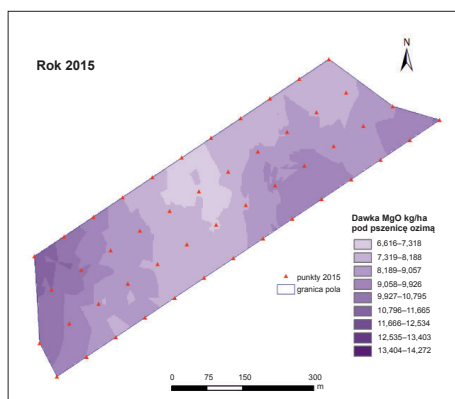
Pole nr 7

Rys. 5b. Mapy dawek makroelementów zalecanych pod pszenicę ozimą w polach płodozmiennych
Źródło: opracowanie własne

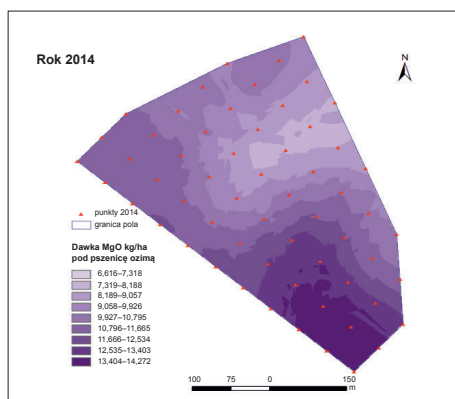
Dawki MgO



Pole nr 5



Pole nr 6



Pole nr 7

Rys. 5c. Mapy dawek makroelementów zalecanych pod pszenicę ozimą w polach płodozmiennych
Źródło: opracowanie własne

Różnice między dawką „precyzyjną” i „tradycyjną”

Dla każdego punktu pomiarowego określono różnice pomiędzy dawką składników obliczoną dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego (w punktach pomiarowych) i według zaleceń tradycyjnych dla pszenicy ozimej na podstawie średniej dla pola. Wartości ujemne ($<-10\%$) oznaczają, że potrzeby nawozowe w danym punkcie pola są mniejsze niż wynikałoby to z zaleceń tradycyjnych, określanych średnio dla całego pola. Wskazują jednocześnie możliwości ograniczenia dawek i zużycia nawozów. W punktach tych zatem nawożenie precyzyjne, według danych rzeczywistych, jest bardziej korzystne niż tradycyjne (średnio dla pola). Wartości dodatnie ($>10\%$) wskazują, że potrzeby nawożenia wyliczone „precyzyjnie” są większe niż wyliczone „tradycyjnie”. Oznacza to, że w punktach tych potrzeby nawożenia są większe niż średnie dla całego pola i wskazują na potrzebę zwiększenia dawek odpowiednich składników i jednocześnie możliwość zwiększenia plonu końcowego. Jeśli dawki w poszczególnych punktach wyliczone dwoma sposobami nie różniły się o więcej niż 10% , uznano je za optymalne.

Tabela 18

Udział punktów pomiarowych według potrzeb nawożenia w stosunku do średniej z pola jak w zaleceniach tradycyjnych

Nr pola (liczba punktów)	Potrzeby nawożenia	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		MgO	
		liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%
5 (38)	mniejsze	12	32	16	42	15	40	18	48
	równe	13	34	7	18	13	34	10	26
	większe	13	34	15	39	10	26	10	26
6 (38)	mniejsze	20	53	19	50	14	37	18	47
	równe	5	13	6	16	14	37	9	24
	większe	13	34	13	34	10	26	11	29
7 (60)	mniejsze	15	25	28	47	29	48	22	37
	równe	30	50	8	13	9	15	17	28
	większe	15	25	24	40	22	37	21	35
5-7 (136)	mniejsze	45	33	57	42	58	42	72	53
	równe	46	34	28	21	39	29	16	12
	większe	45	33	51	37	39	29	48	35

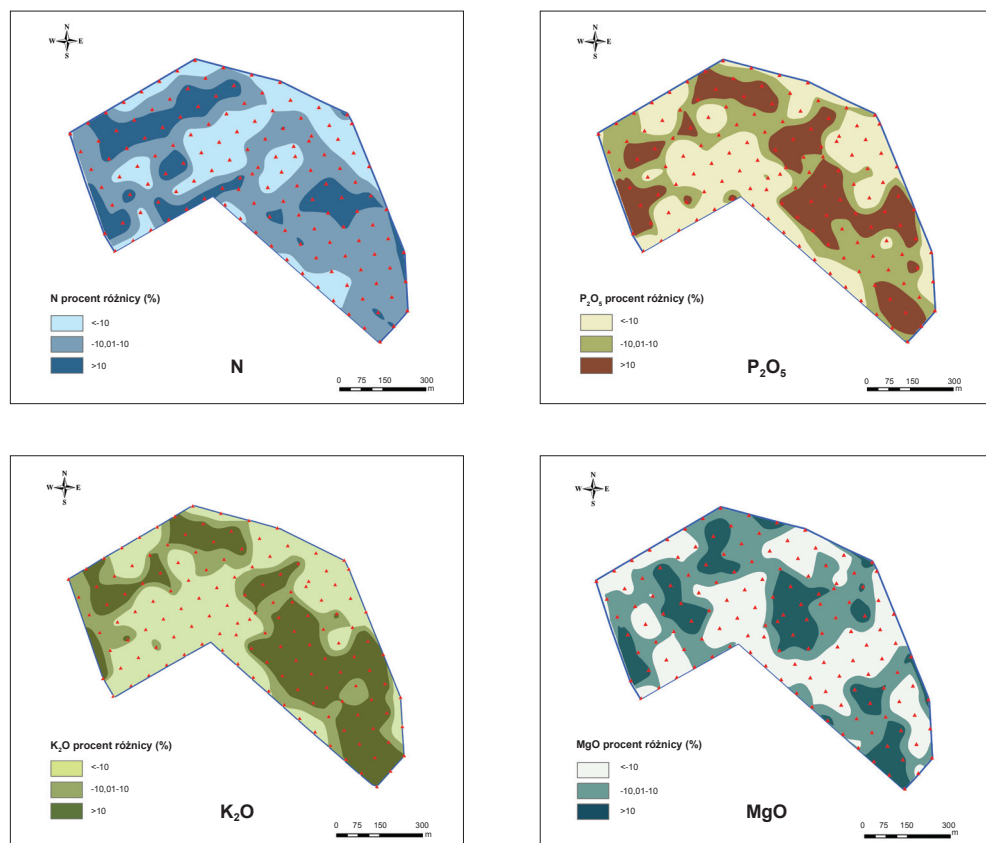
Źródło: opracowanie własne

Przy takich założeniach, nawożenie azotem – według oznaczeń zasobności gleby w punktach pomiarowych – pozwala na zmniejszenie dawek w porównaniu do zaleceń tradycyjnych w ponad połowie punktów pola nr 6, w 34% punktów, tzn. w nieco mniejszej liczbie punktów, wskazuje potrzebę zwiększenia dawek (ale umożliwia zwiększenie plonu) i w 13% nie różni się od tradycyjnego (tab. 18). W polu nr 7,

w 50% punktów potrzeby nawożenia azotem wyliczone w sposób precyzyjny i tradycyjny są jednakowe, w 25% punktów nawożenie precyzyjne umożliwia zmniejszenie dawki N i w takiej samej liczbie punktów (25%) wskazuje potrzebę zwiększenia dawki. W polu nr 5, a także średnio w trzech polach pszenicy, liczba punktów, w których dawka azotu w nawożeniu precyzyjnym jest mniejsza, większa i równa dawce w nawożeniu tradycyjnym, jest jednakowa.

Dawki fosforu, potasu i magnezu wyliczone dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego są mniejsze w stosunku do rolnictwa tradycyjnego w większej ilości punktów niż dawki większe czy równe. Jedynie w polu nr 6 dawki potasu wyznaczone zgodnie z systemem precyzyjnym były mniejsze w stosunku do dawki tradycyjnej w takiej samej liczbie punktów, co równe.

Na rysunku 6 przedstawiono mapy różnic pomiędzy dawką składników obliczoną dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego (w punktach pomiarowych) i według zaleceń tradycyjnych dla pszenicy ozimej na podstawie średniej dla pola.



Rys. 6. Mapy różnic pomiędzy dawką składników w rolnictwie precyzyjnym i tradycyjnym w polach pszenicy ozimej

Źródło: opracowanie własne

Zapotrzebowanie na nawozy

Czy zatem na analizowanym polu zastosowanie dawek wyznaczonych zgodnie z założeniami rolnictwa precyzyjnego przyniesie korzyści w zapotrzebowaniu na nawozy? Okazuje się, że tylko w przypadku nawozów fosforowych łączne zużycie nawozów w rolnictwie precyzyjnym będzie mniejsze niż w tradycyjnym (tab. 19). A zatem zróżnicowanie dawek nawozów w obrębie pola nie wpłynie na ograniczenie zużycia nawozów. Może jednak spowodować lepsze wyrównanie plonów roślin na skutek zrównoważonego nawożenia, zgodnie z potrzebami nawozowymi w każdym punkcie pola, co powinno przełożyć się na większe korzyści z uprawianej powierzchni.

Tabela 19

Zapotrzebowanie na nawozy w polach pszenicy ozimej

Nr pola (powierzchnia w ha)	Plon (t·ha ⁻¹)	System	Zużycie nawozów z pow. pola (kg)			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
5 (19,7)	5,6	tradycyjny	2092	912	286	120
		precyzyjny	2091	934	552	151
6 (19,7)	5,04	tradycyjny	1877	818	256	108
		precyzyjny	1878	764	450	144
7 (31,1)	6,20	tradycyjny	3673	1602	1005	317
		precyzyjny	3673	1532	945	289
5-7 (70,5)	5,73	tradycyjny	7635	3328	1565	438
		precyzyjny	7642	3230	1947	583

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Na przykładzie pola doświadczalnego w SD w Baborówku porównano dawki nawozów wyliczone zgodnie z zaleceniami dla rolnictwa precyzyjnego oraz według dotychczas stosowanych zaleceń tradycyjnych. Pierwszy sposób zakłada różnicowanie dawek nawożenia z uwzględnieniem zmienności plonów i warunków glebowych, a drugi polega na stosowaniu jednakowej średniej dawki w obrębie całego pola. Wykazano, że przy obecnym stanie pola precyzyjne wyznaczanie dawek nawożenia umożliwia identyfikację obszarów, gdzie istnieją potencjalne możliwości zmniejszenia dotychczas stosowanych dawek nawozów oraz takich, gdzie w warunkach zwiększonych dawek nawożenia istnieje możliwość zwiększenia plonu. W przypadku nawożenia azotem, w ponad połowie punktów pomiarowych pola nr 6 i od 25% do 32% punktów pól nr 5 i 7 wykazano mniejsze potrzeby nawożenia azotem niż średnio z pola. W punktach tych nawożenie precyzyjne jest bardziej korzystne niż tradycyjne. Średnio na trzech polach pszenicy liczba punktów, w których precyzyjne nawożenie

azotem jest korzystne, niekorzystne i optymalne jest jednakowa. Precyzyjne nawożenie fosforem, potasem i magnezem jest korzystne (mniejsze dawki) w stosunku do tradycyjnego w większej ilości punktów niż niekorzystne (większe dawki) czy obojętne (jednakowe dawki). Jedynie w polu nr 6 precyzyjne nawożenie potasem jest korzystne (mniejsze dawki) w takiej samej liczbie punktów, co obojętne (jednakowe dawki).

Precyzyjne rozpoznanie warunków glebowych w obrębie pola umożliwia wskazanie obszarów wymagających wapnowania. W porównaniu do tradycyjnego sposobu wyznaczania dawek wapna, który nie wykazywał zapotrzebowania na nawozy wapniowe, ich zużycie w systemie precyzyjnym waha się – zależnie od pola – od 2,85 do 21,3 t. Precyzyjne nawożenie pozostałymi makroelementami, z wyjątkiem nawozów fosforowych, nie wpłynie na ograniczenie zużycia nawozów na całym polu. Może jednak spowodować lepsze wyrównanie plonów na skutek zrównoważonego nawożenia zgodnie z potrzebami nawozowymi w każdym punkcie pola, co powinno przełożyć się na większe korzyści z uprawianej powierzchni.

Literatura

1. J a d c z y s z y n T.: Bilans podstawą zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi. Dobre praktyki rolnicze w nawożeniu użytków rolnych. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Radomiu, 2013, 6-14.
2. J a d c z y s z y n T., K o w a l c z y k J., L i p i ń s k i W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa, IUNG-PIB, Puławy, 2008, **151**: 22-24.
3. J a d c z y s z y n T.: Sporządzanie planu nawożenia z uwzględnieniem wyników badań gleby. Raporty PIB, Puławy, 2006, **1**: 37-43.
4. Materiały do opracowywania zaleceń nawozowych na gruntach ornych. PWRiL, Warszawa 1989, ss. 48.
5. Precision Agriculture – An opportunity for EU farmers – Potential support with the CAP 2014-2020, www.europarl.europa.eu, ss. 56.
6. Zalecenia nawozowe. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Wyd. II, Seria P(44), cz. I, IUNG Puławy, 1990, 18-37.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Alicja Pecio
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 834
e-mail: Alicja.Pecio@iung.pulawy.pl

