

Andrzej Madej, Alicja Pecio

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

MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA STRAT BIOGENÓW POPRZEZ  
OPTYMALIZACJĘ NAWOŻENIA W WARUNKACH ROLNICTWA  
PRECYZYJNEGO W POLSCE\*

**Słowa kluczowe:** rolnictwo precyzyjne, nawożenie mineralne, optymalizacja, straty biogenów, struktura obszarowa gospodarstw, gleby dobre i bardzo dobre

---

Wstęp

Rolnictwo precyzyjne, określane w literaturze anglosaskiej również jako *site specific management*, to zespół technologii, który tworzy kompleksowy system rolniczy uwzględniający dostosowanie różnych elementów agrotechniki do zmieniających warunków na poszczególnych polach uprawnych. Najprostszy opis rolnictwa precyzyjnego sprowadza się do *zastosowania właściwego zabiegu we właściwym miejscu i we właściwym czasie* (5), korzystając z odpowiedniej i jak najmniejszej ilości środków produkcji.

System obejmuje zastosowanie technologii i zasad agronomicznych w celu zarządzania zmianami przestrzennymi i czasowymi związanymi ze wszystkimi aspektami produkcji rolnej na rzecz poprawy wydajności upraw, optymalizacji zwrotów z nakładów i jakości środowiska oraz zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko (4, 14). Punktem wyjścia w przypadku produkcji roślinnej jest rozpoznanie przestrzennej zmienności cech gleby i plonowania roślin oraz ich odwzorowanie w postaci map cyfrowych. Rozpoznanie jest podstawą różnicowania zabiegów agrotechnicznych oraz dawek środków produkcji. Dlatego też rolnictwo precyzyjne jest zwykle związane z wykorzystaniem nawigacji GPS i satelitarnej GNSS, GIS, bezzałogowych samolotów i dronów, zmienności dawkowania, a także złożonych i wyszukanych systemów komputerowych i oprogramowania. Właściwe techniki rolnicze, odmia-

---

\*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.

ny roślin uprawnych i plodozmian, zużycie chemicznych środków ochrony roślin i nawozów, zróżnicowanie warunków między polami i w obrębie tego samego pola, jak również monitorowanie upraw itp. umożliwiają rolnikowi uzyskanie wysokich plonów, zminimalizowanie nakładów finansowych i zoptymalizowanie zysków.

Zainteresowanie rolnictwem precyzyjnym systematycznie zwiększa się, ponieważ ma ono związek z kluczowymi czynnikami bezpośrednio związanymi z kwestiami ogólnościowymi, takimi jak zrównoważone rolnictwo i bezpieczeństwo żywnościowe (5). Promowanie rolnictwa precyzyjnego w ramach wspólnej polityki rolnej jest konieczne w celu przewyciężenia szeregu wyzwań gospodarczych i środowiskowych oraz zapewnienia zrównoważonego rozwoju i ekologicznego wzrostu. Jak podają źródła Komisji Europejskiej (3), korzyści wynikające ze stosowania rolnictwa precyzyjnego to: zwiększona produkcja, dane i informacje o produkcji w czasie rzeczywistym, jak również lepsza jakość produktów, poprawa zdrowia zwierząt gospodarskich i zmniejszenie kosztów produkcji.

Wdrażanie zasad rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwie wymaga jednak znaczących nakładów finansowych, czasu i umiejętności. To, jak i czy kierujący gospodarstwem rolnym zdecyduje się na wdrożenie nowej technologii, jest zjawiskiem złożonym, ale w dużej mierze mają na to wpływ całkowite koszty i korzyści wynikające z nowej inwestycji (16). Bardzo obszernego przeglądu literatury dotyczącej opłacalności wdrażania rozmaitych rozwiązań rolnictwa precyzyjnego dokonali Lambert i LovenbergDeBoer (9), którzy wskazali, że spośród 108 różnych badań przeprowadzonych z wykorzystaniem modeli symulacyjnych i funkcji reakcji (ang. *response functions*), aż 63% wykazało dodatni wynik finansowy wdrożenia danego rozwiązania rolnictwa precyzyjnego. Jednak większość rolników, aby zastosować któreś z tych rozwiązań, potrzebuje wyraźnego określenia zalet – korzyści z niego wynikających. Mało prawdopodobne jest, aby przyjmowały się w gospodarstwach rozwiązania nieopłacalne bądź niedające rolnikom jakichkolwiek korzyści (18).

Jednym ze sposobów oceny opłacalności wdrożenia określonego rozwiązania rolnictwa precyzyjnego jest wyliczenie jego kosztów przy znanej wielkości gospodarstwa oraz znanych nakładach na nową technologię, kosztach usług i potencjalnych korzyściach. Przykładem takiego sposobu oceny opłacalności są badania wykonane w Wielkiej Brytanii przez Knighta i in. (8). Potencjalne korzyści z wdrożenia określonych rozwiązań rolnictwa precyzyjnego wyliczono dla gospodarstw o powierzchniach: 300, 500 i 750 ha, z takim samym zmianowaniem w każdym z nich. Stwierdzono, że zwiększenie powierzchni gospodarstwa sprawiało, że więcej rozwiązań rolnictwa precyzyjnego stawało się potencjalnie opłacalnymi, a uzyskiwane korzyści finansowe były większe w przeliczeniu na 1 ha. Uzasadnienie stosowania rozwiązań bardziej zaawansowanych technologicznie i własnego parku maszynowego było również większe w gospodarstwach o większej powierzchni.

W warunkach polskich, gdzie jest dużo małych i średnich gospodarstw, celowe staje się proponowanie uproszczonych form rolnictwa precyzyjnego, niewymagających

kosztownych urządzeń rejestrujących dane i sterujących pracą ciągników i maszyn (12). Według Muzalewskiego (11) systemy satelitarnego sterowania maszynami rolniczymi mogą być racjonalnie wykorzystane w gospodarstwach o minimalnej powierzchni wynoszącej średnio 90 ha (od 60 do 125 ha, w zależności od rodzaju uprawy i poziomu nawożenia). Natomiast Wójcicki (21) przypuszcza, że korzystając z wzajemnych usług, system rolnictwa precyzyjnego mogą stosować już rozwojowe gospodarstwa rodzinne o powierzchni 30–40 ha.

W przedstawionej analizie, której celem było określenie możliwości ograniczenia strat biogenów poprzez optymalizację nawożenia w warunkach rolnictwa precyzyjnego w Polsce w okresie do 2030 r., szczególną uwagę zwrócono na gospodarstwa większe, zlokalizowane w lepszych warunkach glebowych, które są potencjalnie bardziej dochodowe, co może sprzyjać wprowadzaniu nowych inwestycji i technik rolnictwa precyzyjnego.

### Material i metody

Przedmiotem analizy było oszacowanie dwóch podstawowych wskaźników ilościowych: powierzchni objętej rolnictwem precyzyjnym oraz poziomu jednostkowego nawożenia mineralnego podstawowymi makroskładnikami stosowanego w gospodarstwach realizujących zasady rolnictwa precyzyjnego w 2030 r.

W celu oszacowania powierzchni objętej rolnictwem precyzyjnym w 2030 r., na podstawie przeglądu literatury oraz danych statystycznych GUS (1) przyjęto założenie, że będzie to powierzchnia gospodarstw większych obszarowo ( $\geq 50$  ha UR), zlokalizowanych w lepszych warunkach glebowych (gleby bardzo dobre i dobre), które są potencjalnie bardziej dochodowe, co może sprzyjać wprowadzaniu nowych inwestycji, a tym samym technik rolnictwa precyzyjnego. W szacunku liczby i powierzchni zajmowanej przez gospodarstwa o powierzchni  $\geq 50$  ha UR posłużono się danymi statystycznymi GUS dotyczącymi użytkowania gruntów w gospodarstwach rolnych według grup obszarowych użytków rolnych w latach 2012–2018 (20). W pierwszym etapie oszacowano liczbę gospodarstw o powierzchni  $\geq 50$  ha UR z zastosowaniem równania regresji liniowej, a w drugim określono powierzchnię gleb bardzo dobrych i dobrych w tych gospodarstwach, wykorzystując dane statystyczne GUS dla 2000 r. (15) przedstawiające użytki rolne według klas bonitacyjnych i województw.

W Polsce do oznaczania jakości gleb za pomocą jednej liczby stosuje się współczynniki bonitacji gleby, zgodnie z ustawą o podatku rolnym (tekst jednolity) (Dz.U. 2020, poz. 333) (19). Mają one zastosowanie głównie w systemie podatkowym do wyrażania powierzchni gruntów gospodarstwa w ha przeliczeniowych. Liczba hektarów przeliczeniowych umożliwia scharakteryzowanie potencjału produkcyjnego użytków rolnych danego gospodarstwa lub obszaru. W badaniach GUS wykorzystywane są współczynniki przeliczeniowe (dla GO i TUZ) ustalone dla II okręgu podatkowego.

Natomiast według Harasima (6) do oceny jakości gleb w gospodarstwie na podstawie wskaźnika bonitacji gleb można posłużyć się przedziałami klasowymi zawartymi w tabeli 1.

Tabela 1

Jakość gleb na podstawie wskaźnika bonitacji

Jakość gleb	Wartość wskaźnika bonitacji gleb
Gleby słabe	≤0,80
Gleby średnie	0,81–1,20
Gleby dobre	1,21–1,60
Gleby bardzo dobre	>1,60

Źródło: Harasim, 2006 (6)

Według przyjętej wyżej klasyfikacji oraz uwzględniając współczynniki przeliczeniowe zgodnie z ustawą o podatku rolnym z 15 listopada 1984 r. (19) dla II okręgu podatkowego, do gleb dobrych zaliczyć możemy gleby klas IIIa i IIIb (GO) oraz klasy III (TUZ), a do gleb bardzo dobrych gleby GO i TUZ klas I i II<sup>1</sup>.

Przyjmując niezmiennosc, obliczonego dla 2000 r., udziału gleb bardzo dobrych i dobrych w ogólnej powierzchni UR w kolejnych latach oraz w gospodarstwach niezależnie od grup obszarowych UR, oszacowano prawdopodobną powierzchnię objętą elementami rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwach ≥50 ha UR w latach 2017 i 2030.

Drugim szacowanym wskaźnikiem był średni poziom jednostkowego nawożenia mineralnego podstawowymi makroskładnikami stosowanego w gospodarstwach ≥50 ha UR posługujących się elementami rolnictwa precyzyjnego w 2030 r. Wykorzystując dane statystyczne GUS dla 2016 r. (1) określono poziom jednostkowego nawożenia mineralnego w gospodarstwach ≥50 ha UR na powierzchnię użytków rolnych w dobrej kulturze oraz UR ogółem. Natomiast inne dane GUS (17), dotyczące proporcji zużycia nawozów mineralnych (NPK) w przeliczeniu na czysty składnik średnio w latach gospodarczych 2015/16–2017/18 według województw, wykorzystano do określenia tych proporcji dla gospodarstw o powierzchni ≥50 ha UR. Pozwoliło to na określenie jednostkowego zużycia podstawowych makroskładników (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) w analizowanych gospodarstwach w roku 2016, jak również w prognozowanym roku 2030.

Przedstawione metody szacowania w głównej mierze opierały się na urzędowych danych statystycznych publikowanych przez GUS, co zwiększa ich wiarygodność. Pewnym mankamentem może być fakt, że ostatnie dane publikowane przez GUS, dotyczące jakości użytków rolnych według klas bonitacyjnych, pochodziły z 2000 r., co może sprawiać, iż są one mniej aktualne w porównaniu z danymi GUS odnoszącymi się do lat 2016–2018. Sam dobór do analizy grupy gospodarstw ≥50 ha UR

<sup>1</sup>Według GUS (15) do gleb bardzo dobrych i dobrych zaliczane są gleby GO i pod sadami klas I, II i IIIa oraz pod TUZ klas I i II.

o lepszych glebach, jako grupy predystynowanej do stosowania rolnictwa precyzyjnego, wydaje się być subiektywny. Jednak, jak wskazano we wstępie, przedstawione dane literaturowe (11, 21) potwierdzają jego zasadność.

## Wyniki badań

### Powierzchnia objęta rolnictwem precyzyjnym

Według danych publikowanych przez GUS w opracowaniu „Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów” (20) liczba gospodarstw średnio w latach 2016–2018 wynosiła 1 412,8 tys., a powierzchnia użytków rolnych (UR) w tych gospodarstwach 14 555,1 tys. ha. Liczbę oraz powierzchnię UR gospodarstw według grup obszarowych UR przedstawiono w tabeli 2. Wynika z niej, że w kraju funkcjonowało 34,2 tys. gospodarstw o powierzchni  $\geq 50$  ha UR, które stanowiły jedynie 2,42% ogółu gospodarstw rolnych, a zajmowały one 4 470,5 tys. ha UR, co stanowiło 30,71% użytków rolnych ogółem.

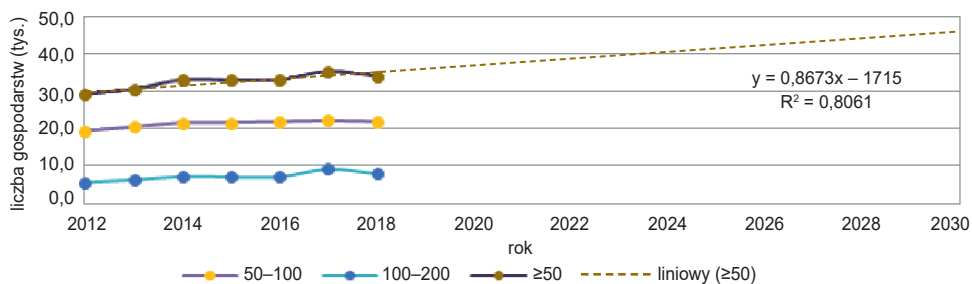
Tabela 2

Liczba i powierzchnia gospodarstw według grup obszarowych UR średnio w latach 2016–2018

Wyszczególnienie	Liczba gospodarstw	Powierzchnia UR w ha
Ogółem	1412766	14555138
1–5	721724	1850872
5–20	527907	5128132
20–50	105386	3088927
50–100	21962	1480787
100–200	8005	1069746
200–300	2076	505776
300–500	1181	453096
500–1000	703	477951
$\geq 1000$	253	483170
$\geq 50$	34180	4470526
$\geq 50$ (%)	2,42	30,71

Źródło: Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów, 2013–2019 (20)

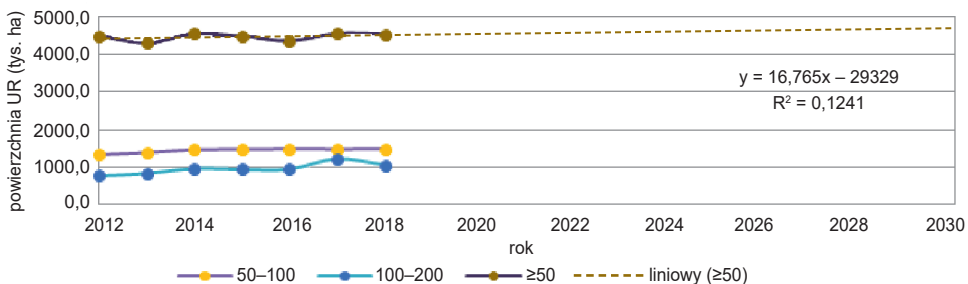
Zobrazowanie zmian w liczbie gospodarstw o powierzchni  $\geq 50$  ha UR na wykresie (rys. 1) wskazuje, że w latach 2012–2018 następował powolny wzrost ich liczby z 29,2 tys. w roku 2012 do 34,2 tys. w roku 2018. Wyznaczona dla tej zmiennej linia trendu liniowego została opisana równaniem przedstawionym na wykresie. Obliczona wartość  $R^2$  dla powyższego równania wynosiła 0,8061. Natomiast wyznaczona według powyższego równania prognozowana liczba gospodarstw o powierzchni  $\geq 50$  ha UR w 2030 r. wyniosła 45,6 tys. podmiotów.



Rys. 1. Liczba gospodarstw o powierzchni  $\geq 50$  ha UR (w liczbach bezwzględnych) w latach 2012–2018 wraz z linią trendu do 2030 r.

Źródło: Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów, 2013–2019 (20)

Na kolejnym wykresie przedstawiono zmianę w powierzchni UR gospodarstw o powierzchni  $\geq 50$  ha UR (rys. 2). Dane wskazują, że w latach 2012–2018 nastąpiły liczne wahania powierzchni UR będącej w ich posiadaniu z 4 481,2 tys. ha w roku 2012 do 4 470,5 tys. ha w roku 2018. Wyznaczona dla tych danych linia trendu liniowego została opisana równaniem przedstawionym na wykresie i charakteryzowała się niewielką tendencją wzrostową, a przedstawiona dla powyższego równania wartość  $R^2$  wynosiła 0,1241. Natomiast wyznaczona według powyższego równania prognozowana powierzchnia UR zajmowana przez tę grupę gospodarstw (o powierzchni  $\geq 50$  ha UR) dla 2030 r. wyniosła 4 705,0 tys. ha UR.



Rys. 2. Powierzchnia UR w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR w latach 2012–2018 wraz z linią trendu do 2030 r.

Źródło: Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów, 2013–2019 (20)

W „Roczniku statystycznym rolnictwa” dla 2012 r. (15) zamieszczono powierzchnię użytków rolnych dla Polski w 2000 r. według województw z podziałem na klasy bonitacyjne. Dane te wykorzystano w tabeli 3, gdzie przedstawiono udział powierzchni użytków rolnych na glebach dobrych i bardzo dobrych (klas I-III) w powierzchni UR ogółem w 2000 r. według GUS (15). Zamieszczono także powierzchnię UR

w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR według województw w 2017 r. Dane te, uwzględniając założenie, iż udział gleb dobrych i bardzo dobrych jest na takim samym poziomie, bez względu na grupy obszarowe UR gospodarstw, posłużyły do obliczenia powierzchni gleb dobrych i bardzo dobrych w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR.

Tabela 3

Udział gleb dobrych i b. dobrych w powierzchni UR ogółem w 2000 r. oraz powierzchnia UR w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR w 2017 r.

Województwo	Udział UR na glebach klas bonitacyjnych I-III w 2000 r. (%)	Powierzchnia UR w gospodarstwach $\geq 50$ ha UR w 2017 r. (ha)	Powierzchnia gleb dobrych i b. dobrych w gosp. $\geq 50$ ha UR w 2017 r. (ha)
<b>POLSKA</b>	<b>25,9</b>	<b>4 546 526</b>	<b>1 224 200</b>
Dolnośląskie	40,8	475 466	193 817
Kujawsko-pomorskie	34,5	374 680	129 163
Lubelskie	39,7	264 578	105 125
Lubuskie	16,5	233 768	38 652
Łódzkie	18,9	112 792	21 280
Małopolskie	33,2	69 540	23 076
Mazowieckie	17,8	267 963	47 669
Opolskie	41,9	277 785	116 509
Podkarpackie	29,6	104 084	30 859
Podlaskie	6,9	195 695	13 437
Pomorskie	27,9	375 169	104 841
Śląskie	20,2	107 573	21 700
Świętokrzyskie	31,5	40 729	12 847
Warmińsko-mazurskie	22,7	465 196	105 644
Wielkopolskie	22,2	624 890	138 959
Zachodniopomorskie	21,7	556 615	120 623

Źródło: Rocznik statystyczny rolnictwa, 2013, 2019 (15)

Warto odnotować, że według danych GUS za 2000 r. (15) udział gleb dobrych i bardzo dobrych ogółem wynosił dla kraju 11,5%. Natomiast w podziale na grunty orne i sady udział ten wynosił 14,4%, a na trwałych użytkach zielonych jedynie 1,6%. Wskazuje to, że gleby dobre i bardzo dobre znajdowały się przede wszystkim na obszarze gruntów ornych i sadów.

W trzeciej kolumnie tabeli 3 przedstawiono obliczoną dla 2017 r. powierzchnię gruntów dobrych i bardzo dobrych w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR poszczególnych województw oraz wynikowo dla kraju. Ogólna powierzchnia bardzo

dobrych i dobrych użytków rolnych dla kraju pozwoliła na wyznaczenie ich udziału w 2017 r., który wyniósł 26,9%.

Uwzględniając prognozę na 2030 r., według której gospodarstwa o powierzchni  $\geq 50$  ha będą zajmowały łącznie 4 705,0 tys. ha UR (rys. 2) i przyjmując stały udział gruntów dobrych i bardzo dobrych w powierzchni UR ogółem wynoszący w 2017 r. 26,9%, to ich powierzchnia w tej grupie gospodarstw w 2030 r. wyniesie 1 266,9 tys. ha UR, czyli w odniesieniu do roku 2017 zwiększy się o 42,7 tys. ha UR.

### Nawożenie w warunkach rolnictwa precyzyjnego

Zgodnie z charakterystyką gospodarstw rolnych o powierzchni powyżej 1 ha UR według klas wielkości gospodarstw pod względem zajmowanych użytków rolnych, dokonaną przez GUS (2017) (1), a dotyczącą danych za 2016 r., uwzględniono średnie zużycie nawozów NPK (w czystym składniku). Zużycie to w przeliczeniu na 1 ha UR ogółem w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR wynosiło  $159,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  UR, natomiast na 1 ha UR w dobrej kulturze –  $160,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Dla gospodarstw ogółem wysokość nawożenia w 2016 r. wynosiła odpowiednio:  $130,4 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$  UR i  $131,6 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$  UR w dobrej kulturze.

W publikacji GUS „Środki produkcji w rolnictwie” (17) przedstawiono proporcje pomiędzy składnikami N:P:K w zużyciu nawozów mineralnych. Proporcje te dotyczyły zużycia ogółem w przeliczeniu na czysty składnik na jednostkę powierzchni dla kraju i według województw (tab. 4)

Tabela 4

Proporcje w zużyciu nawozów mineralnych (NPK) w przeliczeniu na czysty składnik średnio w latach gospodarczych 2015/16–2017/18

Województwo	N	P	K
<b>POLSKA</b>	<b>1,00</b>	<b>0,30</b>	<b>0,49</b>
Dolnośląskie	1,00	0,27	0,46
Kujawsko-pomorskie	1,00	0,28	0,46
Lubelskie	1,00	0,39	0,60
Lubuskie	1,00	0,25	0,44
Łódzkie	1,00	0,30	0,51
Małopolskie	1,00	0,38	0,62
Mazowieckie	1,00	0,29	0,47
Opolskie	1,00	0,28	0,45
Podkarpackie	1,00	0,39	0,61
Podlaskie	1,00	0,35	0,51
Pomorskie	1,00	0,25	0,43



cd. tab. 4

Województwo	N	P	K
Śląskie	1,00	0,32	0,50
Świętokrzyskie	1,00	0,35	0,54
Warmińsko-mazurskie	1,00	0,23	0,36
Wielkopolskie	1,00	0,29	0,52
Zachodniopomorskie	1,00	0,27	0,45
Średnio*	1,00	0,27	0,45

\*dotyczy województw: dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, lubuskie, mazowieckie, opolskie, pomorskie, warmińsko-mazurskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie

Źródło: Środki produkcji..., 2017, 2018, 2019 (17)

Przedstawione proporcje różniły się pomiędzy województwami. W tych charakteryzujących się większym udziałem gospodarstw obszarowo mniejszych (lubelskie, łódzkie, małopolskie, podkarpackie, podlaskie, śląskie, świętokrzyskie) proporcje wyróżniały się relatywnie większym udziałem fosforu i potasu w ogólnym zużyciu nawozów mineralnych na jednostkę powierzchni niż w pozostałej grupie województw cechującej się relatywnie większym udziałem azotu w nawożeniu mineralnym na jednostkę powierzchni. Średnia wartość proporcji pomiędzy głównymi składnikami nawożenia mineralnego (N:P:K) w województwach charakteryzujących się większym udziałem gospodarstw o powierzchni  $\geq 50$  ha UR wynosiła średnio w latach gospodarczych 2015/16–2017/18 1,00:0,27:0,45. Wartość tej proporcji została wykorzystana w dalszych obliczeniach nawożenia mineralnego podstawowymi składnikami w roku 2016 w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR. Dla tak przyjętej proporcji pomiędzy głównymi składnikami nawożenia mineralnego jego wielkość w wymienionej grupie gospodarstw w 2016 r. wynosiła 92,41 kg N; 24,95 kg  $P_2O_5$  i 41,59 kg  $K_2O$  na 1 ha użytków rolnych oraz 93,24 kg N; 25,17 kg  $P_2O_5$  i 41,96 kg  $K_2O$  na 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze.

Prognozowane na 2030 r. przez Kopyńskiego (7) nawożenie mineralne dla gospodarstw ogółem na jednostkę powierzchni użytków rolnych w dobrej kulturze wyniesie 138,4 kg NPK. Zatem wielkość tego nawożenia w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR, uwzględniając opisaną wyżej zależność dla 2016 r., wyniesie odpowiednio 167,2 kg NPK·ha<sup>-1</sup> UR i 168,7 ha NPK·ha<sup>-1</sup> UR w dobrej kulturze. Natomiast zakładając, że proporcja pomiędzy głównymi składnikami nawożenia mineralnego (N:P:K) będzie na takim samym poziomie jak przyjęta do obliczeń dla 2016 r., to zużycie poszczególnych składników na hektar użytków rolnych według przyjętej prognozy wyniesie w 2030 r. 97,19 kg N; 26,24 kg  $P_2O_5$  i 43,74 kg  $K_2O$  oraz 98,05 kg N; 26,47 kg  $P_2O_5$  i 44,12 kg  $K_2O$  na 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze.

Według Muzalewskiego (11) zwiększenie dokładności pracy maszyn rolniczych w rolnictwie precyzyjnym z wykorzystaniem GPS daje największe efekty w uprawach

intensywnych, gdzie stosuje się wysokie dawki nawozów mineralnych. Jak podaje autor, zwiększenie precyzji pracy podczas nawożenia mineralnego przez zastosowanie nowoczesnych rozsiewaczy współpracujących z systemem GPS umożliwi efektywniejsze wykorzystanie nawozu poprzez dostosowanie jego ilości do zasobności gleby i potrzeb roślin. Oszczędności z tego tytułu szacuje się nawet na 15–25% przy równoczesnym wyrównaniu plonu roślin. Taka technika aplikacji nawozów ogranicza także szkodliwe oddziaływanie ich nadmiaru na środowisko, gdyż rośliny otrzymują tylko tyle nawozu, ile są w stanie pobrać z gleby, w związku z czym jego nadmiar nie przedostaje się do wód gruntowych i powierzchniowych. Z kolei Doruchowski (2), przytaczając badania Lowenberg-DeBoer (10) podsumowujące efekty lokalnego dawkowania azotu przy użyciu technologii N-Sensor w kilku krajach, donosi o zwiększonych plonach zbóż o 3–13% i oszczędności nawozów średnio o 14%.

Uwzględniając zatem oszczędności w nawożeniu mineralnym w rolnictwie precyzyjnym w 2030 r. na poziomie 15% w odniesieniu do zużycia występującego w technologiach tradycyjnych, poziom nawożenia mineralnego w gospodarstwach stosujących rolnictwo precyzyjne (posiadających  $\geq 50$  ha UR zlokalizowanych na glebach dobrych i bardzo dobrych) wyniesie odpowiednio na jednostkę powierzchni użytków rolnych 82,61 kg N; 22,30 kg  $P_2O_5$  i 37,17 kg  $K_2O$  oraz 83,34 kg N; 22,50 kg  $P_2O_5$  i 37,51 kg  $K_2O$  na 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze.

### **Możliwości wdrożenia zasad rolnictwa precyzyjnego w Polsce**

Według przyjętej prognozy można szacować, że w perspektywie 2030 r. zasady rolnictwa precyzyjnego, prowadzące do ograniczenia strat biogenów poprzez optymalizację nawożenia mineralnego w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR, posiadających gleby dobre i bardzo dobre, będą mogły być stosowane na powierzchni 1 266 880 ha UR. Czyli w odniesieniu do roku 2017 powierzchnia ta może zwiększyć się o 42 680 ha UR. Natomiast poziom stosowanego na tych gruntach nawożenia mineralnego NPK zmniejszy się o 15% i w analizowanej grupie gospodarstw w 2030 r. wyniesie 82,61 kg N; 22,30 kg  $P_2O_5$  i 37,17 kg  $K_2O$  na 1 hektar użytków rolnych oraz 83,34 kg N; 22,50 kg  $P_2O_5$  i 37,51 kg  $K_2O$  na 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze.

Analiza danych literaturowych (16, 18) pozwala na wskazanie podstawowych barier, z jakimi możemy mieć do czynienia podczas wdrażania tego systemu produkcji w gospodarstwach rolnych. Zaliczyć do nich należy przede wszystkim wysokie koszty wprowadzenia tego systemu w produkcji roślinnej, wiążące się z koniecznością rozpoznania przestrzennej zmienności cech gleby i plonowania roślin oraz ich odwzorowania w postaci map cyfrowych, które w dalszym etapie stanowią podstawę różnicowania dawek środków produkcji i zabiegów agrotechnicznych. Wiąże się to zwykle z wykorzystaniem nawigacji GPS i satelitarnej GNSS, GIS, a także złożonych i wyszukanych systemów komputerowych i oprogramowania. Zatem wdrożenie zasad

rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwie wymaga znaczących nakładów finansowych, czasu i umiejętności. To, jak i czy kierujący gospodarstwem rolnym zdecyduje się na wdrożenie nowej technologii, jest zjawiskiem złożonym, ale w dużej mierze decydują o tym całkowite koszty i korzyści wynikające z nowej inwestycji (16). Należy zaznaczyć, że mało prawdopodobne jest, aby przyjmowały się w gospodarstwach rozwiązania nieopłacalne bądź niedające rolnikom jakichkolwiek korzyści (18).

Dodatkowo w wyniku badań prowadzonych w Wielkiej Brytanii (8) stwierdzono, że zwiększenie powierzchni gospodarstwa sprawia, że więcej rozwiązań rolnictwa precyzyjnego staje się potencjalnie opłacalne, a uzyskiwane korzyści finansowe są wyższe w przeliczeniu na 1 ha. Struktura obszarowa gospodarstw w Polsce wskazuje, że tego typu gospodarstwa znajdują się w mniejszości, a dominują gospodarstwa mniejsze obszarowo (średnio w latach 2016–2018 gospodarstwa o powierzchni  $\geq 50$  ha UR stanowiły jedynie 2,42% ogółu gospodarstw rolnych, użytkując 30,71% UR ogółem). Dlatego w warunkach polskich celowe staje się proponowanie uproszczonych form rolnictwa precyzyjnego, niewymagających kosztownych urządzeń rejestrujących dane i sterujących pracą ciągników i maszyn (12).

Innym problemem, który może oddziaływać w sposób istotny na rozwój rolnictwa precyzyjnego jest sprawa „umiejętności” wdrażania jego zasad. Według danych GUS w 2016 r. (1) najwyższy odsetek właścicieli gospodarstw rolnych ogółem w Polsce stanowiły osoby w wieku 40–64 lata (68,0%), a osoby w wieku do 40 lat stanowiły 20,4% ich właścicieli. Ponadto niecałe 50% właścicieli gospodarstw (44,9%) legitymowało się wykształceniem rolniczym i udział ten wzrastał wraz z wielkością grupy obszarowej gospodarstwa. Natomiast odsetek właścicieli gospodarstw z wykształceniem wyższym, mimo iż wzrastał na zasadzie podobnej jak wykształcenie rolnicze ogółem, wynosił jedynie 2,8%. Sytuacja wieku i wykształcenia właścicieli gospodarstw przedstawiała się korzystniej w gospodarstwach o powierzchni powyżej 50 ha UR, predystynowanych do wdrażania systemu rolnictwa precyzyjnego. Właściciele w wieku 40–65 lat stanowili tam 65,3%, a w wieku do 40 lat 28,7%. Natomiast wykształcenie rolnicze posiadało aż 75,4% właścicieli gospodarstw, w tym 15,7% legitymowało się wykształceniem wyższym rolniczym, a 30,4% posiadało wykształcenie średnie zawodowe. Dane te pozwalają na optymistyczne spojrzenie związane z procesem wdrażania zasad rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwach większych obszarowo.

W celu upowszechnienia i wdrożenia zasad rolnictwa precyzyjnego w Polsce potrzebne jest wsparcie instytucjonalne. Dlatego też przydatne mogą być niektóre instrumenty Planu Strategicznego WPR (13), w tym między innymi:

- a) wsparcie w ramach II filaru – „Inwestycje przyczyniające się do ochrony środowiska i klimatu” (realizowane na podstawie art. 68 projektu rozp. o Planach strategicznych WPR) poprzez pokrycie *kosztów zakupu nowych maszyn i urządzeń m.in. do niskoemisyjnej aplikacji nawozów, czy precyzyjnego stosowania ś.o.r.* (13)

- b) wsparcie w ramach „Inwestycji w gospodarstwach rolnych zwiększające konkurencyjność (instrumenty finansowe)”, gdzie m.in. możliwa będzie realizacja inwestycji: *o charakterze innowacyjnym lub wpływającym na cyfryzację, automatyzację działalności rolniczej prowadzonej w gospodarstwie, w tym w rolnictwo precyzyjne, które nie zostaną objęte wsparciem w ramach innych instrumentów Planu* (13).
- c) pośrednie wsparcie w ramach I filaru – poprzez przystąpienie rolnika do realizacji ekoschematów, które mogłyby być realizowane w gospodarstwach realizujących elementy rolnictwa precyzyjnego: „Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia z wykorzystaniem narzędzia FaST” jak również ekoschematu „Prowadzenie produkcji roślinnej w systemie Integrowanej Produkcji Roślin”, czy też ekoschematu „Uproszczone systemy uprawy”, dedykowanego przede wszystkim gospodarstwom większym obszarowo (13).

### Podsumowanie

W opracowaniu przyjęto założenie dotyczące wykorzystania elementów rolnictwa precyzyjnego w gospodarstwach większych obszarowo, o powierzchni  $\geq 50$  ha UR, dysponujących glebami dobrymi i bardzo dobrymi pod względem agronomicznym, na których z reguły uprawiane są rośliny o większych wymaganiach pokarmowych w odniesieniu do azotu, co jednocześnie stwarza możliwość oszczędności w zakresie tego składnika. Tego typu gospodarstwa wyróżniają się większą towarowością produkcji, co pozwala im osiągać większe dochody. Ponadto gospodarstwa te zarządzane są w zdecydowanej większości przez osoby wyróżniające się wykształceniem rolniczym, a w 16% wykształceniem wyższym, co sprzyja wprowadzaniu w tych gospodarstwach innowacji, do których można zaliczyć także wdrażanie instrumentów rolnictwa precyzyjnego.

Przyjęta na podstawie przedstawionych danych literaturowych redukcja zużycia nawozów mineralnych o 15%, poprzez stosowanie w gospodarstwach o powierzchni  $\geq 50$  ha UR elementów rolnictwa precyzyjnego, może skutkować w skali kraju w perspektywie 2030 r. zmniejszeniem o 1%, w porównaniu z latami 2012–2014, poziomu nawożenia mineralnego, a tym samym ograniczeniem strat składników o  $0,9 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  UR w dkr,  $0,2 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$  UR w dkr i  $0,4 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$  UR w dkr.

### Literatura

1. Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2016 r. GUS, Warszawa 2017.
2. D o r u c h o w s k i G.: Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. Inżynieria Rolnicza, 2008, **9(107)**: 19-31.
3. European Commission (2016). The Internet of Things. Digital Agenda for Europe. European Commission.
4. Garibaldi L., Gemmill-Herren B., D'Annolfo R., Graeub B.E., Cunningham S.A., Breeze T.D.: Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. Trends in ecology & evolution, 2017, **32(1)**: 68-80. DOI: 10.1016/j.tree.2016.10.001.

5. G e b b e r s R., Adamchuk V.: Precision agriculture and food security. *Science*, 2010, **327(5967)**: 828-831, DOI: 10.1126/science.1183899.
6. H a r a s i m A.: Przewodnik ekonomiczno-rolniczy w zarysie. IUNG-PIB, Puławy 2006.
7. J o Ń c z y k K., Stalenga J., K o p i ń s k i J., M a d e j A.: Ocena ograniczenia strat biogenów na skutek możliwych zmian struktury użytkowania gruntów i zasiewów oraz wzrostu powierzchni rolnictwa ekologicznego w perspektywie do 2027 r. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2022, **69(23)**: 113-127.
8. K n i g h t S., Miller P., Orson J.: An up-to date cost/ benefit analysis of precision farming techniques to guide growers of cereals and oilseeds. *HGGA Research Review*, 2009, no **79**.
9. L a m b e r t D., L o v e n b e r g D e B o e r J.: Precision agriculture profitability review. Site-specific management center. Purdue University, 2000, pp. 154.
10. L o w e n b e r g - D e B o e r J.: The management time economics of on-the-go sensing for nitrogen application. *SSMC Newsletter*, 2004.
11. M u z a l e w s k i A.: Zasady doboru maszyn rolniczych w ramach PROW na lata 2014–2020, ITP, Warszawa 2015.
12. P a w l a k J.: Rolnictwo precyzyjne, jego rola i ekonomiczna efektywność. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2008, **1(60)**: 3-14.
13. Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej. MRiRW, Warszawa, grudzień 2020, ss. 154.
14. R e e s R.M., Griffiths B.S., Mc Vittie A.: Sustainable intensification of agriculture: Impacts on sustainable soil management. In: *International Yearbook of Soil Law and Policy*, H. Ginzky, E. Dooley, I. Heuser, E. Kasimbazi, T. Markus, T. Qin (eds). Vol. 2017, Cham: Springer, 2018.
15. Rocznik statystyczny rolnictwa. GUS, Warszawa, 2013, 2019.
16. S c h i m e l p f e n n i n g D.: Farm profits and adoption of precision agriculture. In: *Economic Research Report No 217*, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, 2016.
17. Środki produkcji w rolnictwie. GUS, Warszawa, 2017, 2018, 2019.
18. T e y Y.S., Brindal M.: Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precision Agriculture*, 2012, **13(6)**: 713-730, DOI: 10.1007/s11119-012-9273-6
19. Ustawa z dnia 15 listopada 1984 r. o podatku rolnym (tekst jednolity) (Dz.U. 2020, poz. 333).
20. Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów. GUS, Warszawa 2013–2019.
21. W ó j c i c k i Z.: Rozwój Rolnictwa zrównoważonego i precyzyjnego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2007, **15**: 5-12.

---

Adres do korespondencji:

*dr Andrzej Madej*  
*Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 809*  
*e-mail: Andrzej.Madej@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Andrzej Madej	0000-0002-3369-1077
Alicja Pecio	0000-0001-7780-8313