

# Spis treści

<b>Słowo wstępne</b> .....	13
<b>Wprowadzenie</b> .....	17
<b>Rozdział 1</b>	
<b>Zmienność pól jako podstawa zastosowania rolnictwa precyzyjnego w produkcji roślinnej</b> .....	21
<i>Michał Stępień, Rafał Pudetko</i>	
1.1. Wstęp .....	21
1.2. Zmienność pól uprawnych – źródła/przyczyny .....	22
1.2.1. Zmienność gleb (i budowy geologicznej) .....	23
1.2.1.1. Uziarnienie gleby .....	23
1.2.1.2. Inne właściwości gleby .....	29
1.2.1.3. Warunki geologiczne .....	35
1.2.2. Ukształtowanie terenu .....	35
1.2.3. Sąsiedztwo pola .....	39
1.2.4. Stosunki wodno-powietrzne na polu .....	41
1.2.5. Historia użytkowania i nawożenia .....	44
1.3. Ilościowe ujęcie zmienności pola (geostatystyka) .....	48
1.3.1. Wprowadzenie .....	48
1.3.2. Wstępna ocena stacjonarności zmienności przestrzennej .....	51
1.3.3. Rozpoznanie zmienności lokalnej .....	53
1.3.4. Ocena trendów w rozkładzie zmienności przestrzennej .....	55
1.3.5. Podsumowanie .....	57
1.4. Konsekwencje zmienności glebowej na jednym polu dla rolnictwa precyzyjnego .....	58
<b>Rozdział 2</b>	
<b>Globalne systemy pozycjonowania</b> .....	59
<i>Dariusz Gozdowski</i>	
<b>Rozdział 3</b>	
<b>Gromadzenie i organizacja danych przestrzennych w rolnictwie precyzyjnym</b> .....	65
<i>Dariusz Gozdowski</i>	
3.1. Dane wektorowe i rastrowe .....	65
3.2. Formaty plików w systemach informacji geograficznej (GIS) .....	69
3.2.1. Formaty plików wektorowych .....	69

3.2.2.	Formaty plików rastrowych.....	73
3.3.	Układy współrzędnych w GIS.....	74
3.4.	Metody transferu danych.....	76
3.5.	Struktura danych w oprogramowaniu GIS i w komputerze .....	77

## Rozdział 4

<b>Źródła danych spoza gospodarstwa rolnego .....</b>	<b>79</b>
---	-----------

*Michał Stępień, Dariusz Gozdowski, Rafał Pudętko*

4.1.	Rodzaje/treść/zawartość i źródła danych.....	79
4.2.	Archiwalne źródła danych.....	81
4.2.1.	Mapy topograficzne.....	82
4.2.2.	Mapy ewidencyjne.....	83
4.2.3.	Mapy bonitacyjne .....	84
4.2.3.1.	Typ gleby .....	84
4.2.3.2.	Rodzaj gleby .....	86
4.2.3.3.	Gatunek gleby .....	88
4.2.3.4.	Inne elementy treści map bonitacyjnych .....	88
4.2.3.5.	Możliwości pozyskania i potencjalna przydatność map bonitacyjnych dla rolnictwa precyzyjnego .....	89
4.2.4.	Mapy glebowo-rolnicze.....	89
4.2.4.1.	Kompleksy przydatności rolniczej .....	89
4.2.4.2.	Typ i podtyp gleby.....	90
4.2.4.3.	Uziarnienie gleby oznaczone na mapach glebowo-rolniczych.....	94
4.2.4.4.	Możliwości pozyskania i przydatność map glebowo-rolniczych .....	94
4.2.5.	Inne mapy .....	95
4.2.5.1.	Mapy geologiczne.....	95
4.2.5.2.	Mapy hydrograficzne.....	96
4.2.5.3.	Dane pogodowe .....	97
4.3.	Źródła współczesne .....	99
4.3.1.	Numeryczne modele terenu.....	99
4.3.2.	Dane lotnicze i satelitarne .....	101
4.3.2.1.	Zdjęcia lotnicze .....	101
4.3.2.2.	Zdjęcia satelitarne .....	105
4.4.	Geoportale i serwisy mapowe.....	110
4.5.	Podsumowanie .....	114

## Rozdział 5

<b>Zasady przygotowania danych przestrzennych do ich wykorzystania w rolnictwie precyzyjnym .....</b>	<b>115</b>
---	------------

*Rafał Pudętko*

5.1.	Wprowadzenie.....	115
5.2.	Budowa bazy danych .....	116
5.3.	Proces kodowania informacji przestrzennej.....	118
5.3.1.	Formaty danych.....	118
5.3.2.	Konwersja formatów danych przestrzennych.....	120
5.3.3.	Interpolacja danych przestrzennych.....	121

5.3.4.	Odwzorowanie danych przestrzennych.....	126
5.4.	Dokładność przestrzenna danych .....	127
5.5.	Wizualizacja danych przestrzennych .....	128
5.5.1.	Wizualizacja w środowisku GIS.....	128
5.5.2.	Zasady tworzenia map .....	136
5.5.3.	Jakość wydruku map.....	136
5.5.4.	Dobór palety kolorów map i ich konwersja .....	138

## Rozdział 6

<b>Oprogramowanie dla rolnictwa precyzyjnego .....</b>	<b>141</b>
--	------------

*Dariusz Gozdowski*

6.1.	Oprogramowanie GIS dla rolnictwa precyzyjnego .....	142
6.2.	Ogólnoużytkowe oprogramowanie GIS .....	149

## Rozdział 7

<b>Ocena właściwości gleby i rośliny z wykorzystaniem teledetekcji .....</b>	<b>153</b>
--	------------

*Rafał Pudelko, Eike Stefan Dobers*

7.1.	Wprowadzenie .....	153
7.2.	Zasady teledetekcji .....	155
7.3.	Czujniki i platformy używane w rolnictwie .....	159
7.4.	Interpretacja zdjęć lotniczych i satelitarnych .....	168
7.5.	Przykłady wykorzystania teledetekcji lotniczej w ocenie stanu pola .....	182
7.6.	Interpretacja danych z czujników teledetekcji naziemnej .....	187
7.7.	Podsumowanie .....	188

## Rozdział 8

<b>Ocena właściwości gleby na potrzeby rolnictwa precyzyjnego .....</b>	<b>191</b>
---	------------

*Michał Stępień, Stanisław Samborski*

8.1.	Wprowadzenie .....	191
8.2.	Mapowanie pól – zbieranie danych w gospodarstwie w dużej rozdzielczości przestrzennej oraz ich interpretacja .....	191
8.2.1.	Wprowadzenie .....	191
8.2.2.	Przewodność elektryczna gleby .....	192
8.2.2.1.	Informacje wstępne .....	192
8.2.2.2.	Czynniki wpływające na wartości EC/ECa gleby na polu i główne zastosowania mapowania .....	193
8.2.2.3.	Sposoby pomiaru .....	197
8.2.2.4.	Urządzenia wykorzystywane do pomiaru EC/ECa na polu .....	198
8.2.2.5.	Wykonanie i ocena wiarygodności pomiaru EC/ECa na polu .....	201
8.2.2.6.	Interpretacja wyników pomiarów EC/ECa na przykładzie uziarnienia .....	203
8.2.2.7.	Wybrane aspekty interpretacji EC/ECa .....	207
8.2.3.	Mapowanie pH gleby .....	208
8.2.3.1.	Informacje wstępne .....	208
8.2.3.2.	Systemy do mapowania pH .....	208
8.2.3.3.	Wiarygodność mapowania pH .....	210

8.2.3.4.	Kalibracja wyników .....	212
8.2.3.5.	Podsumowanie .....	215
8.2.4.	Spektrometria (spektroskopia) i mapowanie zawartości węgla organicznego.....	216
8.2.4.1.	Wprowadzenie .....	216
8.2.4.2.	Czynniki kształtujące odbicie promieniowania w paśmie widzialnym (VIS) i podczerwieni (IR) oraz wykorzystanie spektrometrii w badaniach gleb.....	217
8.2.4.3.	Urządzenia spektralne VIS-NIR do mapowania pól w rolnictwie precyzyjnym .....	218
8.2.5.	Ocena zwięzłości gleby .....	226
8.2.6.	Czujniki mapujące kilka właściwości gleby jednocześnie .....	227
8.2.7.	Podsumowanie .....	228
8.3.	Pośrednie wnioskowanie na temat właściwości gleby .....	228
8.3.1.	Mapy topograficzne .....	229
8.3.2.	Zdjęcia/zobrazowania lotnicze i satelitarne .....	229
8.3.3.	Dane zbierane w gospodarstwie – mapy wskaźników roślinnych i mapy pól .....	231
8.4.	Pobieranie próbek glebowych do analizy laboratoryjnej.....	232
8.4.1.	Informacje podstawowe .....	232
8.4.2.	Najczęściej stosowane schematy pobierania próbek.....	234
8.4.3.	Pobieranie próbek glebowych w rolnictwie precyzyjnym .....	237
8.4.3.1.	Podział pola na obszary pobierania próbek ogólnych/zbiorczych .....	237
8.4.3.2.	Gęstość pobierania próbek .....	237
8.4.3.	Schematy pobierania próbek.....	238
8.5.	Zautomatyzowane pobieranie próbek glebowych .....	239
8.6.	Wnioski końcowe .....	241

## Rozdział 9

<b>Kontrola sekcji maszyn do stosowania nawozów i oprysków oraz siewu nasion .....</b>	<b>243</b>
--	------------

*Dariusz Gozdowski*

9.1.	Systemy kontroli sekcji stosowane w opryskiwaczach rolniczych .....	243
9.2.	Systemy kontroli szerokości wysiewu stosowane w rozsiewaczach nawozów.....	247
9.3.	Systemy kontroli sekcji siewników .....	250

## Rozdział 10

<b>Systemy nawigacji ciągników i maszyn rolniczych .....</b>	<b>253</b>
--	------------

*Dariusz Gozdowski*

10.1.	Systemy satelitarne.....	253
10.2.	Inne systemy automatycznego prowadzenia.....	261
10.3.	Perspektywy rozwoju systemów nawigacji .....	263

## Rozdział 11

<b>Systemy kontroli dawkowania środków produkcji .....</b>	<b>265</b>
--	------------

*Dariusz Gozdowski*

11.1.	Technologie wykorzystujące mapy zaleceń .....	266
-------	---	-----

11.2. Technologie wykorzystujące czujniki .....	270
11.3. Rozwiązania techniczne w maszynach rolniczych do stosowania zmiennej dawki środków produkcji .....	270
11.3.1. Dawkowanie nawozów mineralnych.....	270
11.3.2. Dawkowanie nawozów naturalnych.....	272
11.3.3. Dawkowanie środków ochrony roślin.....	272
11.3.4. Stosowanie zmiennej ilości wysiewu nasion.....	274

## Rozdział 12

<b>Mapowanie plonów</b> .....	275
-------------------------------	-----

*Stanisław Samborski*

12.1. Założenia do pomiaru zróżnicowania plonów w obrębie pól .....	275
12.2. Sposoby szacowania plonów .....	280
12.3. Kalibracja systemu mapowania plonu.....	282
12.4. Przetwarzanie danych plonu.....	285
12.5. Interpretacja map plonów .....	287
12.6. Wykorzystanie map plonów .....	289
12.7. Tworzenie map plonów .....	293
12.8. Mapowanie jakości pól rolnych.....	293

## Rozdział 13

<b>Podział pól uprawnych na strefy produkcyjne</b> .....	297
--	-----

*Michał Stępień*

13.1. Podstawowe informacje dotyczące stref produkcyjnych i map tworzonych w rolnictwie precyzyjnym .....	297
13.2. Kryteria wydzielania stref produkcyjnych.....	299
13.2.1. Sąsiedztwo pola.....	300
13.2.2. Nachylenie i wystawa terenu .....	301
13.2.3. Uziarnienie warstwy ornej .....	301
13.2.4. Woda gruntowa.....	302
13.2.5. Trudność w uprawie.....	303
13.2.6. Stosunki wodne.....	304
13.2.6.1. Informacje ogólne .....	304
13.2.6.2. Skale wrażliwości na zaburzenia stosunków wodnych i kryteria ich ustalania .....	305
13.2.6.3. Kategorie uwilgotnienia i kryteria ich ustalania dla gruntów ornych .....	311
13.3. Określanie zasięgu stref produkcyjnych.....	316
13.4. Przykłady prostego podziału pola na strefy produkcyjne .....	316
13.5. Podsumowanie .....	318

## Rozdział 14

<b>Stosowanie zmiennej dawki nawozów</b> .....	319
--	-----

*Michał Stępień*

14.1. Informacje wstępne .....	319
--------------------------------	-----

14.2. Ukształtowanie terenu jako czynnik warunkujący różnicowanie dawek nawozów na polu uprawnym .....	320
14.3. Czynniki warunkujące dawki nawozów fosforowych i potasowych oraz ich zróżnicowanie w obrębie pola .....	321
14.4. Czynniki warunkujące dawki gnojowicy oraz ich zróżnicowanie w obrębie pola.....	323
14.5. Czynniki warunkujące dawki wapna oraz ich zróżnicowanie w obrębie pola.....	324
14.6. Czynniki warunkujące dawki obornika i kompostów oraz ich zróżnicowanie w obrębie pola.....	325
14.7. Podsumowanie .....	327

## Rozdział 15

<b>Stosowanie zmiennej dawki nawozów azotowych .....</b>	<b>329</b>
--	------------

*Stanisław Samborski*

15.1. Zasada działania systemów do nawożenia zmienną dawką azotu .....	336
15.2. Stosowanie zmiennej dawki azotu w uprawie rzepaku ozimego .....	347
15.3. Wymagania techniczne .....	348
15.4. Inne sposoby nawożenia zmienną dawką azotu.....	352
15.4.1. Nawożenie na podstawie analizy gleby na zawartość azotu mineralnego.....	352
15.4.2. Przygotowanie map stosowania zmiennej dawki azotu na podstawie wyników testu $N_{min}$ .....	353
15.4.3. Nawożenie na podstawie wielkości pobrania azotu z plonem roślin.....	355
15.5. Korzyści stosowania zmiennej dawki azotu .....	357
15.6. Inne możliwe zastosowania systemu do wysiewu zmiennej dawki azotu .....	359
15.7. Ograniczenia stosowania zmiennej dawki azotu.....	362

## Rozdział 16

<b>Stosowanie zmiennej dawki pestycydów .....</b>	<b>363</b>
---	------------

*Dariusz Gozdowski*

16.1. Herbicydy.....	364
16.2. Fungicydy .....	367
16.3. Insektycydy .....	368
16.4. Podsumowanie .....	369

## Rozdział 17

<b>Stosowanie zmiennej dawki polewowej .....</b>	<b>371</b>
--	------------

*Jan Szatyłowicz, Tomasz Gnatowski, Sarah Elliot*

17.1. Wstęp .....	371
17.2. Cele nawadniania.....	372
17.3. Systemy nawadniania.....	372
17.4. Efektywność nawodnienia .....	374
17.5. Dawka polewowa .....	376
17.6. Rurociągi deszczujące .....	381
17.7. Systemy nawodnień – zmienne dawki polewowe .....	383
17.8. Zalety nawodnień zmienną dawką polewową.....	386

## Rozdział 18

### **Stosowanie zmiennej ilości wysiewu nasion** ..... 387

*Stanisław Samborski*

- 18.1. Wstęp ..... 387
- 18.2. Założenia do stosowania zmiennej ilości wysiewu nasion..... 387
- 18.3. Sposoby stosowania zmiennej ilości wysiewu nasion ..... 388
- 18.4. Inne udogodnienia związane ze stosowaniem zmiennej ilości wysiewu nasion ..... 391

## Rozdział 19

### **Zróżnicowana uprawa roli** ..... 393

*Michał Stępień*

- 19.1. Informacje wstępne ..... 393
- 19.2. Główne aspekty uprawy i czynniki determinujące jej sposób..... 394
- 19.3. Różnicowanie uprawy mechanicznej w obrębie pola..... 397
  - 19.3.1. Propozycje różnicowania uprawy mechanicznej ..... 400

## Rozdział 20

### **Roboty i systemy autonomiczne w rolnictwie precyzyjnym** ..... 405

*Dariusz Gozdowski*

## Rozdział 21

### **Wykorzystanie rolnictwa precyzyjnego w prowadzeniu gospodarstwa** ..... 407

*Stanisław Samborski, Dariusz Gozdowski*

- 21.1. Internet rzeczy w rolnictwie precyzyjnym ..... 414

## Rozdział 22

### **Systemy wspomaganie decyzji w rolnictwie** ..... 415

*Anna Nieróbca, Jerzy Kozyra*

- 22.1. Wstęp ..... 415
- 22.2. Poziomy podejmowania decyzji ..... 415
- 22.3. Ocena warunków agrometeorologicznych ..... 417
- 22.4. Wybór odmiany rośliny uprawnej ..... 420
- 22.5. Wybór środków ochrony roślin, nawozów i środków wspomagających uprawę roślin ..... 421
- 22.6. Stosowanie nawozów ..... 422
  - 22.6.1. Doradcze programy nawozowe dostępne online ..... 423
  - 22.6.2. Doradcze programy nawozowe na komputery ..... 425
- 22.7. Ochrona roślin ..... 427
  - 22.7.1. Sygnalizacja pojawu agrofagów ..... 427
  - 22.7.2. Prognozowanie zabiegów ochronny roślin ..... 431
    - 22.7.2.1. Ochrona ziemniaka – NegFry ..... 431
    - 22.7.2.2. Ochrona sadów ..... 433
    - 22.7.2.3. Ochrona zbóż według zasad integrowanej ochrony..... 434
- 22.8. Nawadnianie..... 436

22.8.1. Zrównoważony system nawadniania .....	436
22.8.2. Systemy wspomagające nawadnianie .....	436
22.9. Zarządzanie gospodarstwem .....	439
22.10. Podsumowanie .....	440

## **Rozdział 23**

<b>Oplacalność i wdrażanie rolnictwa precyzyjnego .....</b>	<b>441</b>
---	------------

*Stanisław Samborski*

23.1. Czynniki wpływające na opłacalność rolnictwa precyzyjnego .....	444
23.2. Potencjalne korzyści ze stosowania zmiennej dawki środków produkcji .....	446
23.3. Mapa zróżnicowania dochodowości produkcji w obrębie pola.....	448
23.4. Korzyści niefinansowe – zalety wdrażania rolnictwa precyzyjnego .....	450
23.5. Podsumowanie .....	451

## **Rozdział 24**

<b>Studia przypadków gospodarstw wykorzystujących rozwiązania rolnictwa precyzyjnego .....</b>	<b>453</b>
--	------------

*Stanisław Samborski*

## **Rozdział 25**

<b>Rolnictwo precyzyjne w małych gospodarstwach .....</b>	<b>471</b>
---	------------

*Michał Stępień, Dariusz Gozdowski*

25.1. Wstęp .....	471
25.2. Niskokosztowe systemy nawigacji ciągników i maszyn rolniczych .....	472
25.3. Określanie właściwości gleby na polu .....	473
25.4. Orientacja na polu bez odbiornika GPS oraz wykonywanie prostych mapek.....	478
25.5. Możliwości różnicowania uprawy i zabiegów na polu.....	479

<b>Wykaz anglojęzycznych skrótów i wyrażeń .....</b>	<b>481</b>
--	------------

*Stanisław Samborski, Dariusz Gozdowski*

<b>Literatura .....</b>	<b>491</b>
-------------------------	------------

<b>Skorowidz .....</b>	<b>511</b>
------------------------	------------