

Grzegorz Doruchowski
Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa
Skierniewice

ELEMENTY ROLNICTWA PRECYZYJNEGO W OCHRONIE ROŚLIN

Streszczenie

Ochrona roślin prowadzona z wykorzystaniem instrumentów rolnictwa precyzyjnego jest tym elementem produkcji rolniczej, w którym nakłady inwestycyjne konieczne do korzystania z tych instrumentów mogą być najszybciej zbilansowane przez uzyskane korzyści. Wśród zagadnień rolnictwa precyzyjnego w ochronie roślin największe znaczenie mają systemy wspomagania decyzji (DSS) do prognozowania zagrożeń powodowanych przez agrofagi, systemy charakteryzacji, detekcji i identyfikacji obiektów służące do precyzyjnego określania celu zabiegów ochronnych oraz systemy nawigacji pomocne w sterowaniu pracą narzędzi wykonawczych realizujących precyzyjną aplikację środków ochrony roślin. Zaawansowane systemy pomiarowe i informatyczne stosowane w precyzyjnej ochronie roślin mogą być także wykorzystane do monitorowania procesów technologicznych w celu śledzeniu i odtwarzania poszczególnych etapów łańcucha produkcji.

Słowa kluczowe: rolnictwo precyzyjne, DSS, GPS, identyfikacja obiektów, analiza spektralna, analiza obrazu, ochrona roślin

Wstęp

W latach 1950-2000 populacja świata zwiększyła się 2,5-krotnie, podczas gdy produkcja żywności wzrosła ponad trzykrotnie (FAO, 2004). Było to możliwe dzięki zielonej rewolucji i intensyfikacji produkcji rolniczej oraz w decydującym stopniu, cokolwiek byśmy o tym nie myśleli, dzięki upowszechnianiu chemicznej ochrony roślin. Mimo jej stosowania globalne straty plonów w wyniku oddziaływania agrofagów wciąż wynoszą ponad 40%, a jej zaniechanie powodowałoby straty sięgające nawet 70% [Pruszyński 2003]. I choć ochrona roślin nie jest czynnikiem plonotwórczym, lecz stabilizującym plon to jej rola w utrzymaniu poziomu produkcji żywności jest kluczowa.

Postępujący przyrost populacji świata oraz rozbudzone apetyty konsumpcyjne szybko rozwijających się społeczeństw, głównie Chin, narzucają konieczność dalszego zwiększania produkcji żywności. Aby powstrzymać degradację środowiska naturalnego produkcja ta musi mieć charakter zrównoważony. Intensyfikacja chemicznej ochrony roślin mimo swych zasług dla podnoszenia poziomu produkcji rolniczej zaprowadziła nas w ślepią uliczkę. Jedną z dróg odwrotu z tego zaułka otwiera rolnictwo precyzyjne, które ochronie roślin, poza stabilizacją plonu, przydaje walor czynnika optymalizującego zużycie środków chemicznych, czyniąc go elementem zrównoważonej produkcji żywności.

Na obecnym etapie dodatni efekt ekonomiczny precyzyjnego rolnictwa jest kwestionowany. Uzyskiwane korzyści nie kompensują wciąż bardzo wysokich kosztów związanych z wykorzystaniem aparatury monitorującej i precyzyjnych narzędzi wykonawczych oraz stałym podnoszeniem kwalifikacji koniecznych do ich obsługi [Kilian i in. 2001]. Jeśli jednak istnieje jakiś obszar rolnictwa precyzyjnego, w którym po uwzględnieniu wszystkich kosztów można uzyskać korzystny efekt finansowy to jest nim na pewno precyzyjna ochrona roślin. Wykorzystanie technik informatycznych w zabiegach ochronnych pozwala ponadto na gromadzenie informacji na potrzeby monitoringu procesów produkcyjnych (*traceability*). Biorąc zatem pod uwagę potencjalne efekty ekonomiczne, ekologiczne i legislacyjno-organizacyjne można bez ryzyka stwierdzić, że precyzyjna ochrona roślin w profesjonalnych gospodarstwach towarowych jest uzasadniona.

Zarządzanie zmiennością w ochronie roślin

Rolnictwo precyzyjne polega na wykorzystaniu zaawansowanych systemów informatycznych do efektywnego zarządzania procesami produkcyjnymi. Ze względu na specyfikę tych procesów oraz środowisko, w którym one zachodzą sprowadza się to w znacznej mierze do zarządzania zmiennością przestrzenną w obrębie pola lub gospodarstwa, zmiennością chwilową, która określa zmiany w czasie (z dnia na dzień, z roku na rok) oraz zmiennością przewidywaną, czyli niezgodnością między wartością spodziewaną a rzeczywistą. Zarządzanie zmiennością musi przebiegać według spójnych strategii i procedur, do czego potrzebny jest pakiet wiarygodnych, dokładnych, aktualnych i lokalnych informacji. Ocz pozyskiwanie i wykorzystanie do zarządzania procesem produkcji jest możliwe tylko wtedy gdy zmienność jest mierzalna, zrozumiała (interpretowalna) i przetwarzalna. Aby spełnić kryteria rolnictwa precyzyjnego i produkcji zrównoważonej zabiegi ochrony roślin muszą być wykonywane w precyzyjnie określonym czasie, w sposób zróżnicowany, adekwatnie do aktualnych i lokalnych wymagań oraz z poszanowaniem technologicznych i prawnych zasad dotyczących ochrony środowiska.

Modele prognostyczne w systemach DSS

Podstawą skuteczności biologicznej zabiegów ochronnych jest ich terminowość, a warunkiem opłacalności ekonomicznej i bezpieczeństwa ekologicznego jest dawka preparatu dobrana odpowiednio do rzeczywistych potrzeb. Precyzyjne wyznaczenie zarówno terminu jak i dawki wymaga podjęcia decyzji na podstawie wielu, często wzajemnie zależnych od siebie czynników, których obiektywna i jednoczesna analiza może być procesem bardzo skomplikowanym. W takich sytuacjach doskonałym wsparciem okazuje się komputerowy system wspomagania decyzji – DSS (*Decision Support System*).

W przypadku ochrony roślin system ten na podstawie pomiarów parametrów meteorologicznych, uzyskiwanych z różnych źródeł, oraz danych wprowadzanych przez użytkownika, a dotyczących właściwości upraw i agrofagów oblicza indeks ryzyka (IR) wystąpienia choroby lub szkodnika. Wartość indeksu jest kluczowym parametrem wykorzystywanym w algorytmie modelu prognostycznego, który uwzględniając dodatkowe informacje wyznacza termin zabiegu, a w niektórych przypadkach także wielkości dawek środków chemicznych. Obliczanie indeksu ryzyka oraz prognozowanie zabiegu jest zwykle zintegrowane w formie jednolitego pakietu oprogramowania, które komunikuje się z wybranym programem monitorującym i systematyzującym dane meteorologiczne. Modele prognostyczne dla zarazy ziemniaka (*Phytophthora infestans*) obliczają indeks ryzyka uwzględniając takie parametry jak: temperatura i wilgotność powietrza, opady, czas zwilżenia powierzchni, prędkość wiatru, dawki nawadniania, stopień podatności odmiany ziemniaka na chorobę, data sadzenia, data kwitnienia, przewidywany czas zbioru. Jeden z najlepiej przebadanych modeli o nazwie *NEGFY* (prod. duńskiej) okazał się w pełni bezpieczny nawet w latach najbardziej sprzyjających rozwojowi zarazy ziemniaka. Na przestrzeni 10 lat (1986-1995) na polach gdzie prowadzono obserwacje (Dania, Szwecja i Norwegia) ani razu rzeczywiste zaistnienie infekcji nie poprzedziło terminu wyznaczonego przez model, otrzymujący dane drogą radiową z polowej stacji meteorologicznej umieszczonej na plantacji [Hansen 1995]. Z ograniczonej do rzeczywistych potrzeb liczby zabiegów wynika znaczna oszczędność środków ochrony roślin i robocizny oraz mniejsze obciążenie środowiska substancjami toksycznymi.

Wykorzystywanie sygnalizacji w ochronie sadów jabłoniowych przed parchem jabłoni (*Venturia inaequalis*) jest obecnie praktyką bardzo powszechną w Europie i coraz powszechniejszą w Polsce. Algorytm wyznaczający prawdopodobieństwo zaistnienia infekcji i tym samym określający datę zapobiegawczego zabiegu grzybobójczego oparty jest o kryteria zmodyfikowanej tabeli Mills'a i uwzględnia temperaturę i wilgotność powietrza, opad oraz czas zwilżenia liści. Sygnalizatory

parch jabłoni są przykładem najprostszego systemu DSS, działającego na poziomie indywidualnego gospodarstwa i stanowią jeden z elementów świadomej i racjonalnej ochrony roślin w zrównoważonej produkcji owoców.

Charakteryzacja, detekcja i identyfikacja obiektów

Kolejnym, zagadnieniem z punktu widzenia racjonalnego wykorzystania środków ochrony roślin jest określenie odpowiedniej do charakterystyki rośliny dawki preparatu oraz miejsce jego aplikacji, sprowadzone do skali pojedynczego obiektu, jakim jest chroniona roślina uprawna lub zwalczany chwast. Walklate i in. [2002] zastosowali opracowany dla celów wojskowych laserowy detektor typu LIDAR (*Light Detection And Range*) do pomiaru parametrów składających się na charakterystykę drzew (wymiary i miąższości koron, łączna powierzchnia liści, powierzchnia rzutu korony, indeks powierzchni liści (*LAI – leaf area Indeks*), gęstość korony (*LAD – leaf area density*)). Cross i in [2004] opracowali model o nazwie PACE (*Pesticide dose Adjustment to the Crop Environment*), który uwzględniając dane pozyskane z urządzenia LIDAR oblicza dawki środków ochrony w zależności od rzeczywistych i aktualnych właściwości drzew. Zachowując poprawną skuteczność ochrony przed parchem jabłoni, mączniakiem jabłoni (*Podosphaera leucotricha*), i owocówką jabłkóweczką (*Cydia pomonella*) uzyskali w ten sposób znaczące oszczędności środków ochrony roślin szczególnie w okresie przed i tuż po kwitnieniu jabłoni.

Nanoszenie preparatów tylko na określone rośliny z pominięciem ich otoczenia jest istotą precyzyjnej ochrony roślin. W sadach do detekcji obiektów stosowane są czujniki soniczne (ultradźwiękowe) oraz optyczne, które działają na zasadzie fotokomórki. Czujniki spektralne identyfikujące chlorofil stosowane są tam gdzie istnieje konieczność odróżnienia roślin od innych obiektów. Sprzężone z czujnikami rozpylacze lub sekcje rozpylaczy umieszczone na odpowiadających czujnikom wysokościach włączają się lub wyłączają w zależności czy przed rozpylaczami znajduje się obiekt (drzewo) czy wolna przestrzeń (przerwa między drzewami). Oszczędności środków chemicznych wynikające z selektywnego nanoszenia cieczy użytkowej są tym większe im więcej nieciągłości w ścianie wegetacji. Koch i Weisser [2000] przy użyciu detektorów optycznych uzyskali redukcję zużycia środków ochrony sięgającą 60% w sadzie wiśniowym i 52% w sadzie jabłoniowym przy jednoczesnej redukcji znoszenia cieczy o 50%. Stosując spektralny system identyfikacji drzew w zwartych szpalerach sadów jabłoniowych i gruszkowych Doruchowski i in. [1998] zredukowali zużycie preparatów chemicznych o 25%.

Bardziej zaawansowane systemy spektralne, które analizują światło odbite od obiektów w bardzo szerokim spektrum długości fal (zwykle od 500 do 2000 nm)

oraz porównują charakterystyki uzyskane dla różnych obiektów mogą być wykorzystane do rozpoznawania i odróżniania różnych gatunków roślin. Hahn i Muir [1994] w swoich badaniach z wykorzystaniem takich systemów uzyskali 100% efektywność odróżniania chwastów od warzyw z rodziny krzyżowych (kapusta, kalafior i brokuł).

Najszybciej rozwijającą się metodą identyfikacji obiektów jest technika wizyjna, polegająca na komputerowej analizie obrazu uzyskiwanego z kamery CCD. Metoda ta umożliwia odróżnianie obiektów na podstawie ich cech morfologicznych (wielkość, kolor, kształt, orientacji organów – liści i pędów), a przy wykorzystaniu globalnego systemu pozycjonowania pozwala dodatkowo na określenie koordynat obiektów. Dysponując dostępną obecnie mocą obliczeniową komputerów analizujących obraz w czasie kilku milisekund oraz mając dostęp do systemu precyzyjnego pozycjonowania z radiową korekcją sygnału (RTK-DGPS) identyfikację obiektów można przeprowadzać w czasie rzeczywistym lokalizując obiekty z dokładnością do 0,5-1,0 cm. Blasco [1998] uzyskał w warunkach polowych 90% efektywność identyfikacji i lokalizacji chwastów przy 1% pomyłek w odróżnianiu ich od roślin sałaty. Wstępnie przeprowadzona, precyzyjna lokalizacja poszczególnych roślin na polu (np. w czasie siewu lub sadzenia) może być wykorzystana do selektywnego nanoszenia środków chemicznych w różnych terminach. Zande i Achten [2005] donoszą, że w trakcie takich zabiegów redukcja ilości stosowanych środków chemicznych w zagonowych uprawach cebulowych roślin ozdobnych może sięgać 99% w stadium wschodów roślin (opryskiwanie punktowe) lub 25% w fazie formowania rzędów (opryskiwanie pasowe).

Do realizacji precyzyjnej aplikacji herbicydów nieselektywnych (np. glifosatu) sprowadzonej do skali pojedynczego, wschodzącego chwastu konieczne jest stosowanie odpowiednich narzędzi wykonawczych. Giles i in. [2002] zaproponowali zastosowanie zestawu mikro-rozpylaczy o średnicy 0,28 mm, rozmieszczonych w rozstawie co 2,5 mm i współpracujących z systemem wizyjnej identyfikacji obiektów. System ten klasyfikuje obiekty na chwasty i rośliny uprawne, a następnie zaznacza odpowiednio obszar nanoszenia i obszar zastrzeżony dla herbicydu. Jak donoszą autorzy rozwiązania skuteczność precyzyjnego zwalczania chwastów w pomidorach przy użyciu glifosatu była bardzo wysoka, a fitotoksyczność obserwowana na pomidorach mniejsza niż po zastosowaniu herbicydu selektywnego metodą tradycyjną [Giles i in. 2004].

Nawigacja satelitarna

W rolnictwie precyzyjnym bardzo ważną rolę odgrywa satelitarny system pozycjonowania GPS, który umożliwia nawigację opryskiwacza i zróżnicowane dawkowanie środków ochrony roślin w zależności od rzeczywistych i aktualnych potrzeb naniesionych na cyfrową mapę pola (rozkład chwastów, ogniskach chorób, rejony występowania szkodników). Pozyskiwanie informacji do tworzenia map drogą systematycznego i metodycznego monitoringu jest procedurą bardzo pracochłonna i kosztowną oraz nie gwarantuje aktualności map. Van Straten [2003] donosi o planach wykorzystania robotów polowych do pobierania próbek roślin celem określenia ich zdrowotności w sposób bardziej efektywny. Istnieją także nie destrukcyjne metody detekcji szkodników lub symptomów chorób przy użyciu tzw. biosensorów. Zarazę ziemniaka można wykryć na podstawie woni wydzielanej przez zakażone bulwy [Schutz 2000], a choroby grzybowe zbóż określając stres roślin za pomocą analizy spektralnej odbitego od liści światła [Hamed i Larsolle 2003].

Mapy pola do nawigacji opryskiwacza można także tworzyć pod kątem zabezpieczenia obiektów wrażliwych przed nanoszeniem środków ochrony. Do obiektów takich należą zbiorniki wodne, studnie i ujęcia wody pitnej, kanały i studzienki melioracyjne, a także domy mieszkalne i miejsca użyteczności publicznej. Korzystając z bazy danych GIS (*Geographic Information System*) z zaznaczonymi obiektami wrażliwymi można na mapie pola określić obszary o różnym stopniu ryzyka skażenia wody (Ganzelmeier, 2005). Kiedy opryskiwacz znajduje się w zaznaczonym na mapie obszarze o określonym stopniu ryzyka automatycznie włączane są rozpylacze redukujące znoszenie cieczy o 50, 75 lub 90%. System wyposażony w anemometr może przy zmianie lub wyłączeniu rozpylaczy uwzględniać także kierunek i prędkość wiatru.

Nawigacja satelitarna współpracująca z zestawem urządzeń rejestrujących parametry pracy opryskiwacza może gromadzić dane tworząc dokumentację zabiegów, która stanowi element monitoringu procesu produkcji [Zaske 2003]. Jest on wymagany w technologiach produkcji prowadzonych według standardów dobrej praktyki rolniczej EUREPGAP i HACCP, które współgrają z sadami zrównoważonej produkcji żywności.

Podsumowanie

Poprzez swoją specyfikę, pozycję w procesie produkcji oraz znaczenie dla jakości plonów i finalnych produktów żywnościowych ochrona roślin jest tą dziedziną, w której zastosowanie elementów rolnictwa precyzyjnego jest najbardziej opłacal-

ne ekonomicznie i najkorzystniejsze z ekologicznego punktu widzenia. Choć skala praktycznego stosowania precyzyjnej ochrony roślin jest na razie niewielka to w miarę zmniejszania się kosztów zaawansowanych systemów informatycznych, rosnącego poziomu wykształcenia producentów rolnych i zaostrzających się wymagań co do bezpieczeństwa żywności i ochrony środowiska praktyka ta będzie musiała być wdrażana w coraz większym tempie.

Bibliografia

Blasco J., Benlloch J.W., Agusti M., Molto E. 1998. Machine vision for precise control of weeds. *Precision Agriculture and Biological Quality, Proceedings of SPIE*, Eds. G.E. Meyer i J.A. DeShazer, Vol. 3543: 336-343.

Cross J.V., Murray R.A., Walklate P.J., Richardson G.M. 2004. Pesticide Dose Adjustment to the Crop Environment (PACE): Efficacy evaluation in UK apple orchards 2002-2003. *Aspects of Applied Biology* 71 (Vol.II): 287-294.

Doruchowski G., Jaeken P., Hołownicki R. 1998. Target detection as a tool of selective spray application on trees and weeds in orchards. *Precision Agriculture and Biological Quality, Proceedings of SPIE*, Eds. G.E. Meyer i J.A. DeShazer, Vol. 3543: 290-301.

FAO, 2004 - Statistics: www.fao.org

Ganzelmeier H. 2005. GIS-based applications of plant protection methods. *Annual Review of Agricultural Engineering*, 4(1), w druku.

Giles D.K., Slaughter D.C., Upadhyaya S.K. 2002. Biological target and sprayer control. *Aspects of Applied Biology* No. 66: 129-138.

Giles D.K., Slaughter D.C., Downey D., Brevis-Acuna J.C., Lanini W.T. 2004. Application design for machine vision guided selective spraying of weeds in high value crops. *Aspects of Applied Biology* No. 71: 75-81.

Hamed H.M., Larsolle A. 2003. Feature vector based analysis of hyperspectral crop reflectance data for discrimination and quantification of fungal disease severity in wheat. *Biosystems Engineering* 86(2003)2: 125-134.

Hansen J. G. 1995. Meteorological dataflow and management for potatoe late blight forecasting in Denmark. SP Report, Danish Institute of Plant and Soil Science, Vol 10: 57-63.

Kilian B., Hurley T.M., Malzer G. 2001. Economic aspects of precision agriculture: an economic assessment of different site-specific N-fertilization approaches. In: Proceeding of the 3rd European Conference on Precision Agriculture. Eds. G. Granier, S. Blackmore. Agro Montpellier, Vol 2: 521-526.

Koch H., Weisser P. 2000. Sensor equipped orchard spraying – efficacy, savings and drift reduction. Aspects of Applied Biology, Pesticide Application, Vol. 57: 357-362.

Pruszyński S. 2003. Ewolucja myśli i strategii działania w zakresie rozwoju ochrony roślin: wczoraj, dziś i jutro. Zeszyty Edukacyjne IMUZ, 9/2003: 9-23.

Schutz S., Weissbecker B., Koch U.T., Hummel H.E. 2000. Detection of volatiles released by diseased potato tubers using a biosensor on the basis of intact insect antennae. Biosensors & Bioelectronics 14(2000)2: 221-228.

Van Straten G. 2004. Field robot event, Wageningen, 5-6 June 2003. Computers and electronics in agriculture 42(2004): 51-58.

Walklate P.J., Cross J.V., Richardson G.M., Murray R.A., Baker D.E. 2002. Comparison of different spray volume deposition models using LIDAR measurements of apple orchards. Biosystems Engineering 82 (3): 253-267.

Zande J.C. Van de, Achten J.T.J.M. 2005. Precision agriculture in plant protection technique. Annual Review of Agricultural Engineering, 4(1), w druku.

Zaske J. 2003. Mechanization and traceability of agricultural production: a challenge for the future. System integration and certification. The market demand for clarity and transparency – Part 1. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development Invited overview Paper. Vol. V. February 2003. Presented at the Club of Bologna meeting, Nov. 16, 2002. Bologna, Italy.

ELEMENTS OF PRECISION AGRICULTURE IN PLANT PROTECTION

Summary

Precision agriculture is a method of intensification in agricultural production with respect to the principles of sustainable development. Plant protection with use of the instruments of precision agriculture is the element of agricultural production in which investments can be easily balanced by the obtained benefits. Among the issues of precision agriculture the most important ones are decision support systems (DSS) for prognosis of pest and disease incidences, characterization, detection and identification systems for precise determination of the spray target and navigation systems used to control the executive tools and devices for spray application. Advanced measuring and informatics systems used in precise plant protection can also be employed for traceability purposes in order to follow and control the each stage of production chain.

Key words: precision agriculture, DSS, GPS, target identification, spectral analysis, image analysis, plant protection