

Komputerowe systemy wspierania decyzji ochrony roślin w ogrodniczych uprawach polowych

Zbigniew T. Dąbrowski, Danuta Kropczyńska-Linkiewicz, Anna Pilko

*Katedra Entomologii Stosowanej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa*

Słowa kluczowe: integrowana ochrona roślin, systemy wspierania decyzji, programy komputerowe

W ostatnich dwóch latach zostały zorganizowane w Polsce dwie ważne konferencje naukowe poświęcone systemom wspomagania decyzji w rolnictwie. W dniach 11–12 czerwca 2001 r. odbyła się w Puławach konferencja zorganizowana przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) poświęcona „Systemom informacji i wspierania decyzji w rolnictwie” [13]. Większość referatów i wystąpień dotyczyła produkcji rolniczej, pominięto natomiast produkcję ogrodniczą. Jednocześnie jeden z ważniejszych elementów dyskusji podnoszonych przez uczestników konferencji dotyczył zapotrzebowania na komputerowe systemy wspomagania decyzji zgłaszane przez różne organizacje i producentów oraz ich możliwości finansowych w nabywaniu i korzystaniu z tych systemów.

Program sympozjum przedsesyjnego „Systemy wspomagania decyzji” XLII Sejsji Naukowej Instytutu Ochrony Roślin (6 lutego 2002 r.), co prawda zawierał referaty poświęcone komputerowym systemom wspomagania decyzji, ale wyłącznie ochronie upraw rolniczych. Informacje dotyczące takich systemów dla ochrony upraw ogrodniczych ograniczyły się do metod i technik monitoringu występowania chorób i szkodników [12].

Posiadane przez nas informacje wskazują, że część producentów-ogrodników w Polsce już korzysta z komputerowych systemów wspomagania decyzji, szczególnie dotyczących uprawy i ochrony roślin, jako ważnego elementu stosowania dobrych praktyk produkcyjnych. Firmy rozprowadzające wrogów naturalnych szkodników i patogenów również udostępniają coraz powszechniej informacje i zalecenia dotyczące aspektów technicznych i biologicznych oferowanych organizmów pożytecznych. Stosowanie biologicznej ochrony roślin wymaga znacznie głębszej wiedzy o czynnikach decydujących o jej skuteczności niż stosowanie chemicznych środków

ochrony roślin (ch.ś.o.r.). Dostęp do tych informacji poprzez Internet znacznie ułatwia pracę doradcom i samym producentom.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie możliwości przygotowania i korzystania z systemów wspomaganie decyzji ochrony roślin ogrodniczych – ich stosowania w uprawach polowych i w uprawach pod osłonami. Ważną część w przygotowywaniu takich systemów stanowi wybór odpowiedniego modelu. Dokonamy krytycznej oceny przydatności i łatwości korzystania z wybranych systemów przez służby doradcze i producentów ogrodników w Polsce. Pragniemy też zainteresować pracowników naukowo-badawczych i doradztwa zarówno z ośrodków akademickich, instytutów branżowych, jak i regionalnych ośrodków doradztwa rolniczego w przystosowaniu istniejących systemów opracowanych w krajach Unii Europejskiej czy USA do warunków Polski jak i przygotowaniu nowych programów. Na brak systemów wspomaganie decyzji ochrony roślin w języku polskim, szczególnie dostępnych poprzez Internet, zwracał uwagę Lipa [16].

Ewolucja koncepcji a metodyka podejmowania decyzji w integrowanej ochronie roślin

Podstawą podejmowania decyzji o konieczności przeprowadzenia zabiegu ochrony roślin jest analiza następujących informacji: danych biologiczno-ekologicznych dotyczących rośliny uprawnej i populacji agrofagów (chwastów, patogenów, szkodników), danych meteorologicznych i ekonomicznych. Decyzje te mogą być wspierane przez wykorzystanie różnych modeli komputerowych.

Większość opracowanych systemów wspomaganie decyzji ochrony roślin w uprawach ogrodniczych opiera się na zasadach obowiązujących w nadzorowanej ochronie roślin (Supervised Pest Management) czy też inteligentnym stosowaniu chemicznych środków ochrony roślin (Intelligent Pesticide Management), czyli:

1. Systematycznym monitoringu rozwoju i zagęszczenia populacji agrofaga dla wyznaczenia terminu zabiegu.
2. Wprowadzeniu elementów ekonomicznych poprzez stosowanie progów ekonomicznej szkodliwości przy podejmowaniu decyzji o zabiegu.
3. Stosowaniu pestycydów selektywnych o mniejszej toksyczności dla wrogów naturalnych i owadów zapylających.
4. Przeprowadzeniu zabiegu w takim okresie, aby zminimalizować jego negatywne działanie na wrogów naturalnych i środowisko.

Szczególnie wyznaczenie tzw. progów zagrożenia, ekonomicznej szkodliwości, opłacalności czy zwalczania (action threshold) pozwoliło na opracowanie modeli racjonalizujących podejmowanie decyzji o zabiegach ochrony roślin. Progi te przedstawiają zależności pomiędzy zagęszczeniem populacji agrofaga (lub wysokością uszkodzeń) a potencjalnym spadkiem plonu lub też pomiędzy kosztami zwalczania

a oczekiwanym zmniejszeniem strat plonu po zabiegu. Jednak i stosowanie tych progów jest obarczone pewnym stopniem niepewności, związanym z przewidywanym dochodem wynikającym ze zmniejszenia strat po zabiegu w plonie końcowym [5]. Należy też pamiętać, że uprawy tworzą dynamiczne agrocenozy, czyli systemy ekologiczne składające się z setek wzajemnie powiązanych ze sobą czynników, np. klimatycznych, zabiegów uprawowych, innych żywych organizmów i działań rolnika/ogrodnika związanych z ochroną roślin. Jednak stosując w praktyce zalecane obecnie progi zagrożenia, producent podejmuje w danym momencie decyzję dotyczącą tylko jednego gatunku agrofaga i jego potencjalnego wpływu na wartość plonu uratowanego. Nie uwzględnia on też wpływu zwalczania danego agrofaga na inne szkodniki, jak np. zastosowanie wybranego pestycydu może prowadzić do wtórnej gradacji szkodnika, pociągając za sobą dodatkowe wydatki na kolejne zabiegi, lub też jak dany zabieg może obniżyć szkodliwość innych agrofagów na traktowanej uprawie [5, 24]. Jednocześnie przy podejmowaniu decyzji o zwalczaniu zakłada się nierealistycznie, że skuteczność zabiegu w danym wypadku będzie miała taki sam wpływ bez względu na przebieg pogody, stosowania innych zabiegów uprawowych czy oddziaływania innych czynników stresowych na chronione rośliny.

Obecnie nadzorowana ochrona roślin przechodzi ewolucję poprzez proekologiczną integrowaną ochronę roślin (Integrated Pest Management – IPM) do integrowanego zarządzania zasobami naturalnymi w gospodarstwie (Ecologically Based Pest Management) [6, 14, 17]. W proekologicznych programach IPM pestycydy nadal odgrywają ważną rolę, ale tylko drugorzędną, a nacisk przesuwają się z działań czynnego zwalczania w wypadku wystąpienia gradacji czy epidemii agrofaga, w kierunku działań zapobiegawczych (prewencyjnych) powstawania tych gradacji czy epidemii. Obecna definicja IPM określa podejście „menadżerskie” (oparte na głębokiej wiedzy i potrzebach producenta), w którym wspomaga się naturalne procesy ograniczające rozwój populacji agrofagów poprzez działania uprzedzające pojawienie się szkód i niedopuszczające, aby populacje agrofagów osiągnęły poziom ekonomicznej szkodliwości [1].

Proces podejmowania decyzji w takim systemie IPM jest zupełnie odmienny niż w systemie nadzorowanej ochrony roślin. Stosowane modele i programy są znacznie rozbudowane w stosunku do podejmowania decyzji związanej z biologicznymi parametrami jednego gatunku agrofaga. Narzuca to konieczność podejmowania interdyscyplinarnych badań nad określeniem zależności pomiędzy różnymi składnikami i czynnikami działającymi w agrocenozach i ich wzajemnego oddziaływania na siebie. Przede wszystkim uwzględniać one muszą oddziaływania zabiegów uprawowych (głównie płodozmianu i systemów uprawowych) na rośliny i agrofagi; nawożenia (w tym dużej wartości nawożenie organiczne); różnorodności biologicznej agrocenoz i jej dynamiki w czasie i przestrzeni oraz innych czynników wynikających z podejmowania decyzji związanych z prowadzeniem gospodarstwa rolnego lub ogrodniczego [22, 25]. Analizy takie prowadzi się często za pomocą złożonych modeli kom-

puterowych, które stymulują działania wybranych elementów w agrocenozach, w tym konsekwencje różnych decyzji zarządzania i organizacji gospodarstw [11]. Porównanie zależności określonych w modelach symulacyjnych z wynikami badań polowych w wybranych gospodarstwach pozwoli na dostosowanie tych modeli do różnych warunków polowych.

Jednak do niedawna w większości krajów badania interdyscyplinarne nad opracowaniem proekologicznych programów IPM nie były w dostatecznym stopniu popierane przez instytucje rządowe finansujące działalność naukową. W wypadku opracowywania systemów wspierających proekologiczne decyzje ochrony roślin musimy brać pod uwagę dwa kryteria:

1. Konieczność integracji różnych taktyk ochrony roślin opracowywanych przez różne dyscypliny naukowe (entomologię stosowaną, fitopatologię, herbologię, uprawę roli, chemię rolną, hodowlę odpornościową itd.) w jeden nadający się do praktycznego zastosowania program.
2. Opracowanie tego programu musi się odbywać w normalnych warunkach produkcyjnych, czyli w gospodarstwach, a nie na mikroplotkach w stacjach doświadczalnych.

Spełnienie tych dwóch warunków zapewni, że wyniki tak prowadzonych badań będzie można upowszechnić wśród odbiorców.

Wykorzystanie różnych modeli i systemów w ochronie roślin

Nadal toczy się dyskusja nad strategią wyboru optymalnego modelu dla celów ochrony roślin. Rozważa się, czy mają być one od razu złożone i potem poprzez odgórną redukcję (wielkości i złożoności) doprowadzić do momentu, gdy można zweryfikować ich wiarygodność. Czy też zastosować metodykę oddolnego rozszerzania modelu od opracowanych na początek prostych zależności, które okazały się następnie niezadowalające w czasie weryfikacji. Wydaje się, że nie ma prostego rozwiązania. Każdy model i system jest odmienny, a jego granice i złożoność są zdeterminowane celem, jaki sobie stawiamy [7].

Podstawowe różnice pomiędzy modelami określane są zakresem geograficznym i przedziałem czasowym, w którym mają one funkcjonować. Modele taktyczne są przydatne dla pojedynczych upraw i określonych warunków polowych dla konkretnych gospodarstw. Modele strategiczne mają powszechniejsze zastosowanie, np. na poziomie systemów uprawy i epidemii chorób czy gradacji szkodników. Taktyczne modele są stosowane przy podejmowaniu szczegółowych decyzji odnoszących się do zabiegów uprawowych i ochrony roślin w danej uprawie w określonych warunkach polowych, jak np. czy zastosować, czy też nie zabieg chemicznego zwalczania w danym czasie. Modele te i dostarczane przez nie informacje muszą być wysoce wiarygodne. Dane wymagane do ich opracowania i weryfikacja prawdopodobieństwa kore-

lacji pomiędzy różnymi czynnikami muszą się opierać na pracochłonnych, szczegółowych i często długotrwałych badaniach laboratoryjnych i polowych. Dodatkowym utrudnieniem przy opracowywaniu i stosowaniu tych modeli jest udział rolnika/ogrodnika przy zbieraniu danych o stadiach rozwojowych roślin uprawnych, oceny porażenia przez choroby i szkodniki oraz danych meteorologicznych. Dlatego też zastosowanie takich modeli w praktyce jest ograniczone tylko do kilku intensywnie badanych systemów, jak: zboża, bawełna, ziemniaki, sady jabłoniowe i główne gatunki warzyw uprawiane w polu i pod osłonami. Monitoring biologiczny prowadzą producenci lub pracownicy doradztwa rolniczego. Obejmuje on liczenie zagęszczenia szkodników i ich wrogów naturalnych; wyłapywanie zarodników grzybów patogenicznych lub obserwację objawów pierwszych infekcji, jak i informację o stadiach rozwojowych rośliny uprawnej. Rolnicy mogą albo telefonicznie przekazywać te informacje do centrów koordynujących lub, mając własny komputer, wprowadzać te dane bezpośrednio do systemu. Modele dotyczące ochrony roślin wymagają wprowadzenia standardowych informacji meteorologicznych, jak: maksymalne i minimalne temperatury, opady, wilgotność powietrza oraz informacje dotyczące prognoz krótkoterminowych pogody.

Symulacyjne modele taktyczne są następnie wbudowywane w modele decyzyjne – menadżerskie. Pozwalają one na prognozowanie prawdopodobnego wzrostu zagęszczenia populacji szkodników lub patogenów, porównanie różnych wariantów zabiegów ochrony roślin i dostarczają informacji, będących podstawą do podejmowania decyzji o konieczności zabiegu ochrony roślin. Na potrzeby IPM modele taktyczne nie są przydatne, ponieważ wymagają one uwzględniania znacznie szerszego zakresu współzależności pomiędzy różnymi grupami czynników. Modele strategiczne IPM muszą dostarczać informacji o optymalizacji programu ochrony roślin poprzez zastosowanie różnych metod: walki biologicznej, uprawy odmian odpornych, zabiegów agrotechnicznych itd. Są one obecnie na etapie opracowywania przez naukowców i weryfikacji w wybranych warunkach ekologicznych.

Wybrane systemy wspomagające decyzje ochrony roślin

W ciągu ostatnich 10. lat obserwujemy dynamiczny rozwój systemów informacyjnych wspierających podejmowanie decyzji (w skrócie DSS – Decision Support System) w zakresie integrowanej produkcji i ochrony roślin (IPPM – Integrated Production and Pest Management). Systemy DSS mogą być wykorzystywane w rolnictwie i ogrodnictwie na różnych poziomach działania i zarządzania: bezpośrednio przez rolników/ogrodników, przemysł, doradztwo rolnicze, instytucje badawcze i edukacyjne, jak i jednostki administracyjne. Większość opracowanych systemów DSS opiera się na przystępnych interaktywnych programach, które dostarczają konkretne zalecenia produkcyjne i związane z ochroną roślin; pomagają w rozwiązywa-

niu aktualnych problemów produkcyjnych i pomagają zrozumieć, jak funkcjonują systemy upraw rolniczych i ogrodniczych [4]. Są one coraz powszechniej wykorzystywane w krajach Unii Europejskiej, USA, Kanadzie, Australii czy Nowej Zelandii.

Szereg modułów będących składnikami DSS opiera się na różnych modelach komputerowych pozwalających określić wzajemne interakcje pomiędzy różnymi czynnikami środowiska a rozwojem i zdrowotnością rośliny uprawnej; rozwojem populacji agrofagów; potencjalnymi stratami w plonie i ekonomicznymi konsekwencjami różnych zabiegów produkcyjnych, w tym chemicznego czy biologicznego zwalczania agrofagów. Jednak wzajemne interakcje pomiędzy tymi czynnikami są na tyle złożone, że włączenie wszystkich zmiennych do modelu jest prawie niemożliwe. Nawet pojedyncze czynniki mogą wchodzić w zróżnicowane i skomplikowane interakcje, np. zależności pomiędzy przebiegiem pogody, dynamiką populacji szkodników a wielkością uszkodzeń. Jeżeli do tego dodamy interakcje pomiędzy populacjami wrogów naturalnych a zabiegami uprawowymi lub uprawą odmian odpornych, to cały system przedstawia na tyle złożone zależności, że raczej trudno będzie przewidzieć znaczenie i efekt poszczególnych interakcji. DSS pozwalają na wyznaczenie optymalnych terminów zabiegów ochrony roślin i wyboru odpowiedniego środka chemicznego.

Systemy te dzielimy na trzy grupy: objawowe, meteorologiczne i złożone. W systemach objawowych wyznaczenie terminów zabiegu opiera się na przeprowadzeniu analizy zagęszczenia agrofagów, nasilenia uszkodzeń lub objawów chorobowych. Użytkownicy tych systemów muszą posiadać wiedzę z zakresu fitopatologii lub entomologii oraz poświęcać dużo czasu na przeprowadzenie szczegółowych lustracji (monitoringu) polowych na roślinie uprawnej. Dodatkowym utrudnieniem jest opracowanie prostych metod wprowadzenia danych do programu przez rolnika/ogrodnika. Od wiarygodności tych danych w dużym stopniu zależy podejmowanie właściwych decyzji.

Systemy meteorologiczne oparte na modelach matematycznych opisują rozwój chorób i szkodników w zależności od zaistniałych warunków meteorologicznych. Są one łatwe w obsłudze, ale wymagają precyzyjnych urządzeń pomiarowych, których dokładność w dużym stopniu decyduje o ich wiarygodności. Systemy złożone są najczęściej połączeniem systemów polowych i meteorologicznych, a czasem uwzględniają również wpływ innych elementów środowiska związanych z rozwojem chorób i szkodników oraz opłacalnością stosowania chemicznych środków ochrony roślin. Ich zalety i wady są wypadkową cech charakterystycznych elementów składowych.

Ostatnio wiele systemów wspierania decyzji związanych z ochroną roślin i produkcją roślin ogrodniczych opracowano według metodyki systemów eksperckich, zawierającej elementy sztucznej inteligencji. Są to programy komputerowe stosowane przy rozwiązywaniu problemów i podające gotowe zalecenia [10]. Systemy te dostarczają specjalistycznych narzędzi przy podejmowaniu decyzji, ponieważ starają się

naśladować sposób, w jaki specjalista-ekspert przeprowadza diagnozę problemu i podaje jego rozwiązanie [19].

Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu wiedzy i umiejętności podejmowania decyzji właściwego eksperta lub grupy ekspertów w czasie opracowywania takiego systemu. Eksperci włączają do programu dostępne informacje o agrofagach i czynnikach zmiennych wpływających na rozwój populacji agrofaga czy też powodowanych przez nie uszkodzeń i podają zalecenia ochrony roślin na podstawie tych informacji. Tak więc doświadczenia ekspertów przygotowujących takie programy są integrowane ze wszystkimi innymi informacjami w celu opracowania modelu decyzyjnego.

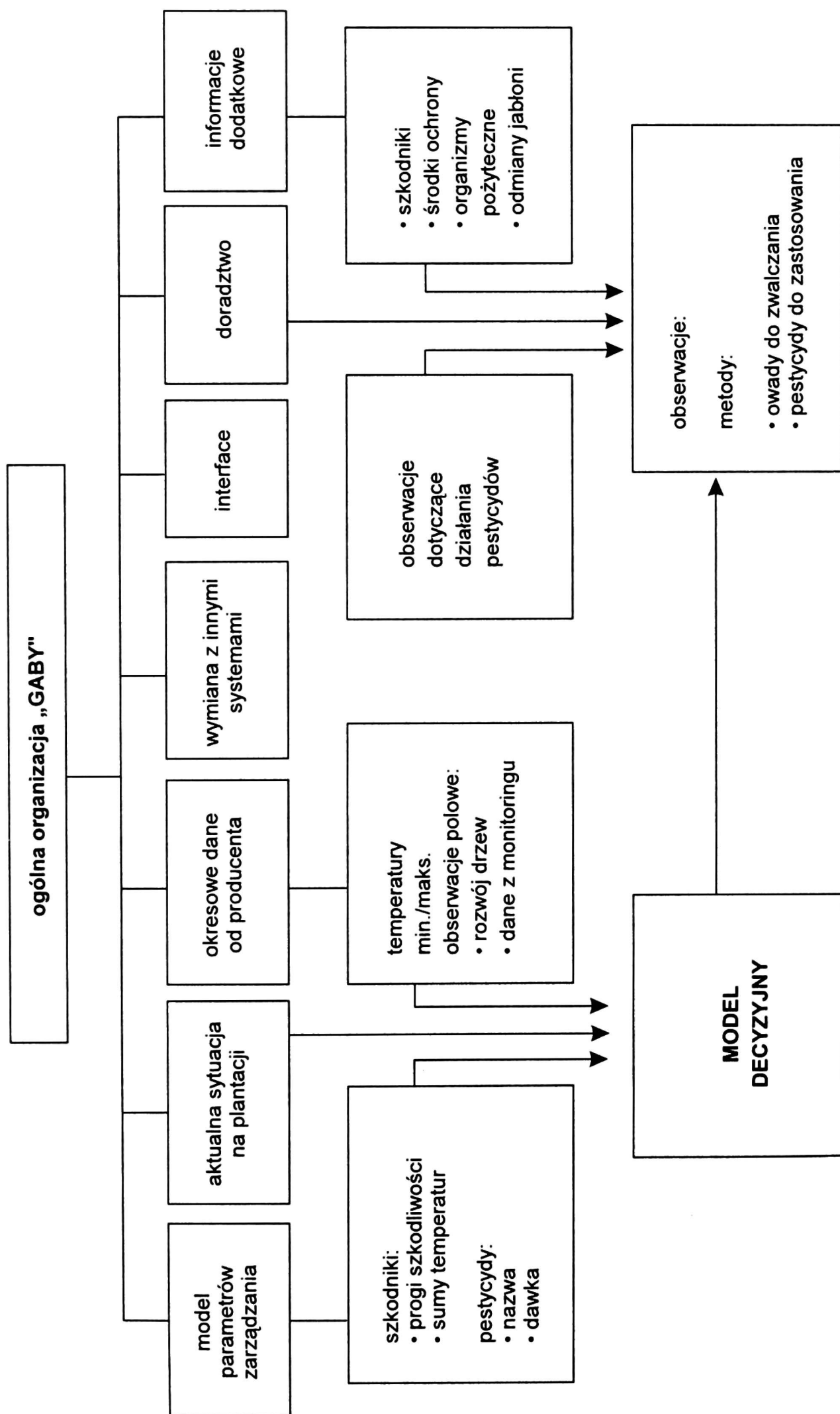
Systemy te muszą być oceniane na podstawie ich użyteczności, wiarygodności i jasności. Użyteczność w tym wypadku oznacza, że dany system ekspercki musi być przydatnym narzędziem przy rozwiązywaniu konkretnego problemu. Wiarygodność oznacza, że system musi właściwie łączyć istniejącą wiedzę z bardzo specjalistycznymi informacjami, które muszą charakteryzować ekspertyzę. Jasność odnosi się do poziomu zrozumienia programu przez szerokie spektrum użytkowników. Pracownicy ochrony roślin i producenci znający konkretne problemy ochrony roślin powinni też rozumieć zasady pracy systemów eksperckich [26]. Jest to o tyle ważne, ponieważ systemy eksperckie odgrywają ważną rolę w stymulowaniu współpracy pomiędzy pracownikami naukowo-badawczymi i służb doradztwa rolniczego, których w przeszłości (a wielu krajach nadal) oddzielały bariery instytucjonalne.

Systemy eksperckie pozwalają przede wszystkim pracownikom służb doradczych na lepsze zrozumienie zaleceń produkcyjnych i związanych z ochroną roślin, jak i dostarczają im wielu dodatkowych informacji wspierających podejmowanie decyzji. Systemy te wymuszają również rygorystyczne stosowanie metodyki opracowywania zaleceń ochrony roślin dla konkretnego gatunku agrofaga i dla specyficznych warunków uprawy danej rośliny.

Doświadczenia z wprowadzeniem ok. 20 dostępnych programów w Wielkiej Brytanii i Holandii wskazują, że systemy zalecane dla pojedynczych układów: roślina uprawna – wybrany gatunek agrofaga nie zostały powszechnie wykorzystane przez producentów lub doradztwo rolnicze. Okazało się, że potrzebują oni zintegrowanego systemu, który uwzględniłby oddziaływania pomiędzy różnymi działaniami produkcyjnymi w danym gospodarstwie [3].

Ze względu na złożoność interakcji pomiędzy różnymi czynnikami środowiska a agrofagami i stratami w plonie, które one powodują, najliczniej reprezentowane są programy doradcze obejmujące uprawy pod osłonami [15].

Dla zobrazowania złożoności programów doradczych przedstawiamy schemat komputerowego systemu doradczego „GABY” dla programu IPM w sadach jabłoniowych (rys. 1) [18]. Program ten został opracowany przez międzydyscyplinarny i międzyinstytucjonalny zespół pracowników następujących jednostek: Katedry Entomologii Uniwersytetu Rolniczego w Wageningen, Instytutu Badawczego Ochrony Roślin, Agrimatica – rządowego zespołu służb doradztwa rolniczego, Zespołu Doradców



Rysunek 1. Schemat systemu doradczego „GABY” dla integrowanej ochrony sadów jębloniowych (zmodyfikowany wg Molsa i in. [18])

Sadownictwa (FSAT) i Fundacji Informacyjnej Ogrodnictwa (SITU) w Holandii. System pozwala na uzyskanie przez indywidualnego sadownika lub lokalnych doradców informacji dotyczących optymalnego okresu monitoringu szkodników i ich chemicznego zwalczania, wykazu zalecanych preparatów i ich dawek. Zalecenia opierają się na danych wyjściowych, jak: odmiana jabłoni, stadium fenologiczne drzew, lokalna sytuacja sadu, rozwój agrofagów na podstawie sumy temperatur efektywnych. Zawierają również interpretację obserwacji polowych i oceniają następstwa stosowania danego insektycydu w przeszłości na obecny stan szkodników.

Doświadczenia uzyskane w czasie przygotowywania programów DSS w różnych krajach wskazują, że poza włączeniem do zespołu grup specjalistów z różnych dziedzin należy również nawiązać współpracę z sektorem prywatnym, i to już w pierwszej fazie opracowywania takich programów. Z drugiej strony problemy, które napotyka producent, służby doradcze i pracownicy naukowcy stają się coraz bardziej złożone i to zarówno z punktu widzenia technicznego, jak i ekonomicznego. Dlatego też przygotowanie nowego programu DSS tylko przez prywatną firmę informatyczną („developerskie”) nie będzie w stanie uwzględnić tych złożonych problemów. Systemy te muszą uwzględniać zależności pomiędzy różnymi decyzjami związanymi z uprawą i ochroną danej rośliny uprawnej i efektami ekonomicznymi tych decyzji. Potwierdzają to konkretne analizy metodyki przygotowywania systemów DSS w Wielkiej Brytanii [9].

Łatwość korzystania i zakres informacji w wybranych DSS dla ogrodnictwa

W związku z reorganizacją krajowych służb doradztwa polowego i ogrodniczego, związaną głównie z ograniczeniem ich finansowania ze środków rządowych (od USA, Wielkiej Brytanii, Holandii po kraje Europy Środkowej), gdzie obserwuje się podobne transformacje ekonomiczne i ustrojowe, należy wykorzystać inne metody przekazywania osiągnięć nauki do praktyki. Silna konkurencja zarówno na lokalnych, jak i światowych rynkach stawia przed producentem ogrodnikiem nowe, nieznane dotąd wyzwania. Aby sprostać konkurencji oraz wymaganiom stawianym w obrocie żywnością i roślinami, producent musi posiadać wszechstronną wiedzę z zakresu produkcji, ochrony roślin, ekonomiki, logistyki, a nawet tak odległych od rolnictwa zagadnień, jak prawo i ochrona zdrowia.

Doskonałym narzędziem zapewniającym szybki dostęp do dużych zasobów informacji jest Internet. Potencjał nieograniczonych, ciągle aktualizowanych zasobów światowej sieci może być wykorzystywany zarówno w badaniach, jak i praktyce ochrony roślin [2]. Na wzrastającą popularność internetowych programów komputerowych składa się wiele czynników, które niewątpliwie dają elektronicznemu przeka-

zowi przewagę nad innymi (tradycyjnymi) zasobami informacji. Programy internetowe są dostępne teoretycznie bez żadnych ograniczeń czasowych i geograficznych. Dane publikowane są praktycznie natychmiast, a następnie aktualizowane centralnie, co wyklucza powstawanie wielu różniących się od siebie, w zależności od czasu, publikacji. Dodatkowym atutem tego typu publikacji jest ich barwna interaktywna forma. Internetowe bazy danych oraz systemy wspierające podejmowanie decyzji cieszą się też coraz większym zainteresowaniem również ze względu na niewielkie wymagania sprzętowe oraz programowe ze strony indywidualnego odbiorcy [20, 21].

Informacje przydatne w ochronie roślin umieszczane są zarówno na edukacyjnych, jak i komercyjnych serwerach rozrzuconych po całym świecie i wciąż podlegają, mającym na celu ich ulepszenie, modyfikacjom. Zasadniczo możemy wyróżnić dwie grupy programów.

Pierwsza z nich to elektroniczne wersje materiałów drukowanych, takich jak biuletyny, książki oraz raporty naukowe. Choć korzystanie z tych zasobów ogranicza się do biernego przeglądania tekstów przez użytkownika, programy te pełnią ważne funkcje dydaktyczne oraz usprawniają przekaz danych pomiędzy badaczami, doradcami a praktykami ochrony roślin, inspirując i korygując ich poczynania. Usługi w tym zakresie oferują między innymi portale, takie jak : holenderski biuletyn biologicznej ochrony roślin <<http://spg.wau.nl/ento/index.htm>>; przygotowany w Teksasie (USA) poradnik ochrony roślin <<http://cygnus.tamu.edu/Textlab/tpdh.html>> lub elektroniczne wersje podręczników dotyczące zasad IPM <<http://ipmworld.umn.edu>> lub IPM w sadach pod adresem <<http://whatcom.wsu.edu/ag/comhort/nooksack/appleweb/toc/htm>>. Jedną z największych baz bibliograficznych z zakresu ogrodnictwa zapewnia Narodowa Biblioteka Rolnicza w ramach bazy „AGRICOLA” <<http://www.nal.usda.gov/ag98/>>.

Drugą grupę stanowią interaktywne programy udostępniane na stronach WWW. Te ostatnie cieszą się większą popularnością niż ich bliźniacze wersje dostępne na nośnikach fizycznych (płyty CD). Duński system doradczy „Vandregnskab”, który został stworzony dla użytkowników komputerów osobistych i rozprowadzany na nośnikach fizycznych po transformacji wersji PC na formę interaktywną oraz przyłączeniu programu doradczego do internetowego serwisu PL@nteInfo (<http://www.Plante-Info.dk>), zdobył w ciągu roku więcej użytkowników niż przez pięć kolejnych lat jego wersja na płycie kompaktowej [23]. Obecnie obserwuje się ewolucję wszelkich zasobów Internetu w kierunku interaktywnych, bardziej holistycznych narzędzi.

Ojczyzną Internetu są Stany Zjednoczone, tam też znajdujemy największą liczbę proponowanych serwisów. Dodatkowo liczne doświadczenia tego kraju związane z nauczaniem „na dystans” sprawiają, że dostępne serwisy są dopracowane i przyjazne dla użytkownika, a interaktywna forma i barwna szata graficzna czynią prezentowany temat bardziej atrakcyjnym.

Podstawowe informacje na temat komputerowych systemów wspierających podejmowanie decyzji (DSS), ich charakterystykę, zasady tworzenia, eksploatacji oraz oceniania przydatności dostępnych programów możemy znaleźć na stronie „DSS Re-

sources” (<http://www.dssresources.com>). Na stronie tej możemy również znaleźć odsyłacze do umieszczonych na różnych serwerach programów oraz danych bibliograficznych.

Z założenia komputerowy system doradczy wykorzystywany w ochronie roślin powinien zapewniać użytkownikowi wszystkie niezbędne do podjęcia decyzji informacje, takie jak: identyfikacja szkodnika i powodowanych przez niego uszkodzeń, cykle życiowe i opisy biologii, kryteria podejmowania decyzji, modele populacyjne bezpośrednio powiązane ze stacjami pogodowymi i w końcu zalecane środki ochrony (lista pestycydów, regulacje prawne dotyczące bezpiecznego stosowania oraz wpływu na środowisko naturalne). Dodatkowo konieczne jest umieszczenie w tego typu programie kalkulacji ekonomicznej dla stosowania poszczególnych praktyk.

Jak do tej pory nie udało się stworzyć dostępnego drogą Internetu programu, który spełniałby wszystkie te wymagania. Szczególnie trudne jest to dla programów, których ambicją jest doradztwo w zakresie ochrony roślin przed szkodnikami. Jak wyżej wykazano, zależności pomiędzy szkodnikami a innymi czynnikami środowiska i efektami ekonomicznymi są dużo bardziej złożone niż w przypadku infekcji roślin przez patogeny. W światowych zasobach WWW istnieje jednak wiele portali, które czekają tylko na właściwą integrację poszczególnych modułów. Doskonałym przykładem jest przygotowany w ramach projektu „UC IPM Online” przez University of California portal (<http://www.ipm.ucdavis.edu/GENERAL/tools.html>) poświęcony szeroko rozumianym zagadnieniom integrowanej ochrony roślin (IPM). Zawiera informacje oraz różnego rodzaju modele dla ponad 100 roślin, szkodników oraz ich wrogów naturalnych (drapieżców i parazytoidów). Informacje dostarczane są w postaci kompletnych „guide lines” dla poszczególnych upraw. Każdy z prezentowanych modeli zapewnia więcej niż jedną metodę kalkulacji danych, które użytkownik może dowolnie modyfikować. Cenną cechą tego programu jest możliwość wprowadzenia do systemu własnych danych meteorologicznych z dowolnie wybranej lokalizacji. Przemieszczając się po kolejnych poziomach uniwersyteckiego portalu, użytkownik jednym kliknięciem myszy uzyskuje dostęp do bogato ilustrowanych opisów umożliwiających zdiagnozowanie szkodnika oraz zalecenie odpowiedniej metody zwalczania dla podstawowych dla Kalifornii upraw polowych. Nową inicjatywą zespołu redagującego tę stronę jest zakładka „UC IPM special project on the web”, w ramach której znajdujemy eksperymentalne programy DSS, jak na przykład kalkulację kosztów ochrony drzew owocowych za pomocą środków chemicznych. W wirtualnym świecie, bez szkody dla środowiska oraz strat plonu, możemy eksperymentować z różnymi grupami związków chemicznych, analizując koszty oraz potencjalną efektywność rekomendowanego przez nas zabiegu. Trafność podejmowanych przez nas decyzji oraz ich długoterminowe efekty możemy przestudiować, ćwicząc umiejętności przy użyciu innych tego typu narzędzi, które różnią się stopniem komplikacji oraz zakresem przeprowadzanej symulacji. Na przykład dokładne koszty biologicznego zwalczania roślinożernych roztoczy na plantacji truskawki możemy analizować w zależności od

wielkości plantacji, wieku oraz stopnia porażenia roślin, jak również gatunku zastosowanego drapieżcy na stronie uniwersytetu Oregon:

<http://www.orst.edu/Dept/entomology/ipm/mcalc.html>.

Pośród różnego typu stron internetowych poświęconych identyfikacji szkodników na uwagę zasługuje przygotowany przez francuski Institut National de la Recherche Agronomique serwis HYPPZ (hypermédia en protection des plantes). Strona <http://www.inra.fr/Internet/Produits/HYPPZ/Species.htm> oferuje informacje dotyczące wyglądu, biologii, zachowania szkodników oraz ich wrogów naturalnych. Dostęp do żądanych informacji uzyskuje się poprzez moduł rośliny uprawnej bądź nazwę szkodnika. Użytkownik znajdzie na stronach tego serwisu opisy ponad 300 występujących w Zachodniej Europie szkodników oraz ich roślin żywicielskich. Niewątpliwą zaletą serwisu są fotografie ułatwiające identyfikację różnych stadiów rozwojowych szkodnika oraz powodowanych przez nie uszkodzeń. Opisy morfologii oraz biologii szkodników wyposażone są w odsyłacze tłumaczące bardziej skomplikowane, nieznane przeciętnemu użytkownikowi biologiczne terminy.

Firmowany przez Cornell University, a będący częścią współfinansowanego przez różne jednostki badawcze stanu Nowy York „A guide to natural enemies in North America” jest interaktywnym przewodnikiem po świecie organizmów pożytecznych. Zawiera opisy ponad 100 gatunków, które wykorzystywane są w walce ze szkodnikami, chorobami roślin oraz chwastami w integrowanych programach ochrony roślin. Pod adresem <http://www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/> na pojedynczych stronach, jak w tradycyjnej książce, kryją się liczne fotografie, opis biologii oraz zachowania, sposoby aplikacji, podatność na pestycydy oraz inne informacje o każdym z opisywanych gatunków.

Strony internetowe pełnią również funkcje wirtualnych klinik, zapewniając elektroniczne konsultacje eksperta. Gilman i Green [8] wskazują na szybko rosnące zainteresowanie tego typu usługami wśród producentów oraz amatorów upraw roślin. Eksperci udzielają porad na podstawie przesłanych pocztą elektroniczną zapytań, jak ma to na przykład miejsce w wirtualnym laboratorium Uniwersytetu Purdue (<http://www.ppd.l.purdue.edu/ppdl>), lub cyfrowych zdjęć, które następnie identyfikowane są przez specjalistów (<http://ddis.ifas.ufl.edu/>). Natomiast przygotowany przez specjalistów Uniwersytetu Stanowego Florydy system DDIS (Distance Diagnostic and Identification System) tworzy wirtualną bazę cyfrowych zdjęć o szkodnikach, objawach żerowania oraz uszkodzeniach roślin.

Prognozowanie pojawu oraz rozwoju populacji szkodnika jest podstawą sprawnego planowania oraz dostosowywania do lokalnych potrzeb systemu ochrony roślin. Wiele ośrodków uniwersyteckich stworzyło dynamiczne serwisy dostarczające dane pogodowe oraz sygnalizacyjne w czasie realnym lub zbliżonym do realnego. Tego typu narzędzia służą zwykle doradcom ochrony roślin oraz producentom, którzy – otrzymując dane meteorologiczne w czasie realnym lub zbliżonym do realnego – mogą je interpretować i dostosowywać do lokalnych warunków. Godna polecenia wydaje się sygnowana przez Uniwersytet Stanu Waszyngton strona poświęcona ochronie drzew owoco-

wych, oferująca użytkownikowi dostęp do licznych danych na temat zwalczania najgroźniejszych w tym stanie szkodników (<http://www.ncw.wsu.edu/pestman.htm>). Przez cały sezon zamieszczane są informacje dotyczące sygnalizacji szkodników. Na stronie zamieszczono również modele wspomagające podejmowanie decyzji o ewentualnym zabiegu, oparte na danych z biologii szkodnika (sygnalizacja wylotów poszczególnych pokoleń) oraz danych pogodowych. Wybór właściwego środka ochrony wspomagany jest informacjami uzyskanymi z serwisu: „Pesticide Information Center on line” <http://www.picol.cahe.wsu.edu> czy też <http://ceris.purdue.edu>, gdzie oprócz wykazu zarejestrowanych środków chemicznych możemy znaleźć dane na temat ich efektywności, wpływu na środowisko naturalne oraz rachunek ekonomiczny połączony z zaleceniami dla poszczególnych upraw.

Serwer owocówki jabłkówekczki (<http://ippc.orst.edu/codlingmoth>) jest adresem, gdzie można znaleźć informacje na temat biologii, szkodliwości, jak również dane fenologiczne i meteorologiczne związane z sygnalizacją. Odsyłacze do map pogodowych (<http://www.ces.ncsu.edu/deps/pp/bluemold>, <http://www.orst.edu/Dept/IPPC/wea> umożliwiają prześledzenie wpływu warunków atmosferycznych na zmiany liczebności populacji szkodnika, a wyliczone na podstawie danych meteorologicznych sumy temperatur efektywnych zastosowane w modelu służą do prognozowania pojawu i rozwoju tego szkodnika. Serwer ten oferuje również bogate dane literaturowe.

Dynamiczne strony zawierające interaktywne modele, wykorzystujące technologie pozycjonowania satelitarne (GIS), szczegółowe mapy profili glebowych oraz zasiewów – ze względu na wysokie koszty zastosowanych technologii – są dostępne w Internecie praktycznie tylko dla subskrybentów. Wraz z szybko rozwijającą się technologią maleją koszty dostępu do programów oraz poprawia się ich funkcjonalność pod względem przydatności dla praktyki. Praktyczne zastosowanie tego typu programów w rolnictwie precyzyjnym możemy prześledzić, monitorując, w czasie zbliżonym do rzeczywistego, rozwój populacji szkodników na stronie <http://nmeri.unm.edu>.

Liczba dostępnych w Internecie serwisów związanych z ochroną upraw polowych jest oczywiście znacznie większa i niemożliwe byłoby omówienie wszystkich w tak krótkim opracowaniu. Podstawową cechą prezentowanych serwisów jest ich przyjazna dla użytkownika konstrukcja i łatwość poruszania się po kolejnych poziomach programu. Niestety, większość serwisów skierowana jest do użytkownika władającego językiem angielskim i wciąż brakuje tego typu opracowań w języku polskim [15, 16].

Literatura

-
- [1] Anonim 1994. Towards a Goal of 75 Percent Cropland under IPM by 2000. National Coalition on Integrated Pest Management. Austin, TX, Jan. 1994: 36 ss.
 - [2] Bajawa K.M., Kogan M. 2000. Database management system for internet IPM information. W: M Shenh & M Kogan (red.), IPM in Oregon: Achievements and Future Directions. Oregon State University, Cornvalis, Oregon: 216–220.

- [3] Brooks D.H. 1998. Decision support system for arable crops (DESSAC): an integrated approach to decision support. The 1998 Brighton Conference Pests & Diseases 4B-1: 239–246.
- [4] Crossweller R.M., Travis J.W., Heinemann P.H., Rajotte E.G. 1993. The future use and development of expert system technology in horticulture. Hort Tech. Apr./June: 203–205.
- [5] Dąbrowski Z.T. 1999. Społeczne i ekonomiczne aspekty ochrony roślin. *Wiś Jutra* 5: 18–21.
- [6] Dąbrowski Z.T. 2000. Konieczność zmian metod w opracowywaniu i wdrażaniu integrowanych metod ochrony roślin. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 40(1): 334–342.
- [7] Dąbrowski Z.T., Kropczyńska-Linkiewicz D. 2001. Systemy wspomaganie decyzji w ochronie roślin – metodyka podejmowania decyzji w różnych systemach ochrony roślin. W: Systemy Informacji i Wspierania Decyzji w Rolnictwie *Pam. Puł.* 124: 25–36.
- [8] Gilman E.F., Green J.L. 1998. Efficient, collaborative, inquiry-driven electronic systems. *HortTech.* 8(3): 297–300.
- [9] Henley P.M. 2000. Issues in the design and delivery of commercial software applications for crop protection. The BCPC Conference – Pests & Diseases 2000: 1999–1202.
- [10] Holt J., Cheng J.A., Norton G.A. 1990. A system analysis approach to brown planthopper control on rice in Zhejiang Province, China. III. An expert system for making recommendations. *J. Appl. Ecology* 27: 113–122.
- [11] Huffaker C.B., Smith R.F. 1980. Rationale, organization and development of a national integrated pest management project. W: New Technology of Pest Control. Praca zbior. pod red. C.B. Huffaker. John Wiley & Sons, New York: 1–24.
- [12] Instytut Ochrony Roślin (IOR). 2002. Streszczenia. XLII Sesja Naukowa Instytutu Ochrony Roślin, Poznań, 7–8 lutego 2002: 274 ss.
- [13] Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG). 2001. Systemy Informacji i Wspierania Decyzji w Rolnictwie. Zeszyt Specjalny. *Pam. Puł.* 124: 477 ss.
- [14] Kogan M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Ann. Rev. Entomol.* 43: 243–270.
- [15] Kropczyńska-Linkiewicz D., Dąbrowski Z.T., Piłko A. (w druku). Komputerowe systemy wspierania decyzji w ochronie roślin w ogrodnich uprawach pod osłonami *Post. Nauk Rol.*
- [16] Lipa J.J. 2000. Główne internetowe źródła informacji o integrowaniu metod zwalczania chwastów, szkodników i chorób roślin. *Ochrona Roślin* 9: 21.
- [17] Lipa J.J. 2000. Integrowanie metod ochrony roślin. *Ochrona Roślin* 8: 2–3.
- [18] Mols P.J.M., Booij C.J.H., de Visser P. 1992. „GABY” a computerized advisory system for IPM in apple orchards. *Acta Phytopatologica et Entomologica Hungarica* 27(1–4): 461–464.
- [19] Norton G.A., Mumford J.D. 1983. Decision making in pest control. W: Advances in Applied Biology, Vol. VIII. Academic Press, London: 87–119.
- [20] Power D.J., Kaparthy S. 1998. The changing technological context of decision support systems. W: Context-sensitive decision support systems, D. Berkeley, G. Widmeyer, P. Brezillion, V. Rajkovic (red.). London: Chapman and Hall: 41–54.
- [21] Power D.J. 2002. Decision Support Systems Web tour. World Wide Web, dssresources.com/tour version 3.1, 2002.

- [22] Shoemaker C.A., Onstad D.W. 1983. Optimization analysis of the integration of biological, cultural and chemical control of alfalfa weevil (*Coleoptera: Curculionidae*). *Environm. Entomology* 12: 286–295.
- [23] Thyssen I. 1998. Trends in information technology in agriculture. First Asian conference for information technology in agriculture. Wakayama-City, Japan January 24–26 1998, [Online] (<http://www.sp.dk/~iver/afita98/it-trend.htm>).
- [24] Waibel H. 1996. The economics of crop health management. *Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung* 23: 31–44.
- [25] Wijnands F.G. 1995. A methodology to develop prototypes of integrated and ecological arable farming systems in Europe, illustrated by experience in the Netherlands. *European Jour. P. Path., Abstracts XIII Intern. Plant Prot. Congress, The Hague, 2–7 July 1995*: 38.
- [26] Zarri G.P. 1984. Expert systems and knowledge bases: modern tools for the modelling of human inductive processes. W: *Statistical and mathematical methods in population dynamics and pest control. Proceedings of the EC Experts' Group, Parma 26–28 October 1983.* (R. Cavalloro red.). A.A. Balkema, Rotterdam and Boston : 217–235.

Computer supporting decision systems in plant protection on horticulture field crops

Key words: Integrated Pest Management (IPM), models and decision supporting programmes, expert systems, horticultural crops

Summary

Paper reviews existing computer aided systems developed for various plant protection programmes for horticultural crops grown under open field conditions. Simple models and linear programming are applied to develop the support systems for the Supervised Pest Management (Intelligent Pesticide Management). To develop computer programmes for Ecologically Based Pest Management extended application of simulation modelling and dynamic programming is often required. Available expert systems used in various countries for plant protection decisions in horticultural crops are presented. The user's friendliness and value of internet information sources on plant protection for research workers, extension service staff and the growers, are compared to other sources of information on plant protection in Poland.