

Rozwój systemów wspierających podejmowanie decyzji w ochronie ziemniaka przed *Phytophthora infestans* [(MONT.) DE BARY]

Andrzej Wójtowicz¹, Jerzy J. Lipa¹, Erich Jörg²

¹ *Instytut Ochrony Roślin*

ul. Miczurina 20, 60-318 Poznań, Polska

² *State Institute for Agronomy and plant Protection of Rheinland-Pfalz
Essenheimer Str. 144, D-55128 Mainz, Germany*

Słowa kluczowe: system wspierający podejmowanie decyzji, *Phytophthora infestans*, model

Wstęp

Zaraza ziemniaka jest jedną z najgroźniejszych chorób ziemniaka i niektórych innych roślin z rodziny psiankowatych [32]. W latach silnych epifitoz zarazy, straty w plonie ziemniaka w Polsce sięgają 26%, a w plonach pomidora nawet 70% [7, 26]. Według Frya i Shitenberga [13] straty w plonie w niektórych latach lub rejonach klimatycznych mogą przekroczyć nawet 75%, a w skrajnych przypadkach wynikiem wystąpienia zarazy ziemniaka jest całkowita utrata plonu. Szkodliwość zarazy ziemniaka związana jest nie tylko ze spadkiem plonu wskutek zniszczenia liści, ale także z bezpośrednim porażeniem bulw, które łatwo gniją podczas przechowywania. W wyniku takiej szkodliwości zaraza ziemniaka była przyczyną przerażającej klęski głodu w latach czterdziestych XIX wieku w Irlandii, wynikiem czego była śmierć miliona osób oraz masowa emigracja ludności do Stanów Zjednoczonych [4].

Z powyższych względów ochrona ziemniaka od ponad dwustu lat stanowi niezwykle ważne zagadnienie naukowe, gospodarcze, a nawet polityczno-demograficzne [10, 4, 24, 22]. Ziemniak jest bowiem uprawiany w 125 krajach na łącznym areale ponad 18 mln ha, dzięki czemu jako roślina uprawna zajmuje w świecie piąte miejsce po pszenicy, kukurydzy, ryżu i jęczmieniu [24].

Racjonalna ochrona ziemniaka przed zarazą ziemniaka polega na stosowaniu metody chemicznej tylko w terminach zapewniających maksymalną skuteczność w zapobieganiu infekcji roślin oraz ograniczaniu rozwoju patogena. Zasada ta stanowi

fundament wszelkich systemów wspierających podejmowanie decyzji w ochronie ziemniaka przed *P. infestans*. Kluczowym zagadnieniem warunkującym wiarygodność systemów wspierających podejmowanie decyzji w zakresie zwalczania zarazy ziemniaka jest opracowanie metody prognozującej precyzyjnie termin infekcji i nasilenie rozwoju objawów chorobowych.

W prognozowaniu zarazy ziemniaka można wyróżnić dwa podejścia [19]. Pierwsze – retrospektywne – polega na przewidywaniu rozwoju choroby na podstawie zarejestrowanych wcześniej danych meteorologicznych. Istotą drugiego jest wykorzystanie prognozy pogody do określenia terminu wystąpienia choroby.

Systemy oparte na podejściu retrospektywnym

W zależności od sposobu określania potrzeby zastosowania środka ochrony roślin systemy retrospektywne można podzielić na dwie kategorie: meteorologiczne i złożone. Systemy meteorologiczne oparte są na modelach matematycznych opisujących rozwój choroby wyłącznie na podstawie analizy warunków atmosferycznych. Natomiast systemy złożone oprócz parametrów meteorologicznych uwzględniają również wpływ innych elementów środowiska, takich jak podatność odmian, fazę rozwojową rośliny czy odporność patogena na fungicydy.

Systemy meteorologiczne

Powszechnie uważa się, że autorem pierwszego systemu prognozującego termin wystąpienia zarazy ziemniaka był van Everdingen [35], który wykazał, że zaraza ziemniaka występuje jeżeli spełnione są następujące warunki: w nocy występuje mgła przez przynajmniej 4 godziny, minimalna temperatura powietrza jest wyższa niż 10°C, a następnego dnia pada deszcz i średnie zachmurzenie osiąga wartość co najmniej 0,8.

Według Moore'a [25] do prognozowania zarazy ziemniaka wystarczy pomiar jednego parametru meteorologicznego, jakim jest opad deszczu. Choroba wystąpi jeżeli w ciągu ostatnich dziewięciu dni suma opadów przekroczy 76,2 mm, a cztery dni w tym okresie będą charakteryzowały się opadem powyżej 10,2 mm.

Beaumont [1] zaproponował system oparty na pomiarach temperatury i wilgotności względnej powietrza, a wystąpienia pierwszych objawów chorobowych należało oczekiwać jeżeli przez przynajmniej 48 godzin temperatura nie spada poniżej 10°C, a wilgotność względna powietrza – poniżej 75%.

Pomiary średniej dziennej temperatury powietrza oraz opadu deszczu są niezbędne do postawienia prognozy wystąpienia zarazy ziemniaka według systemu Cooka [8]. Jeżeli w ciągu ostatnich siedmiu dni od daty prognozy wystąpi opad deszczu wy-

noszący co najmniej 30 mm, a średnia dzienna temperatura powietrza w tym okresie nie spadnie poniżej 24°C, to należy oczekiwać wystąpienia zarazy ziemniaka.

Nowością systemu opracowanego przez Wallina [36] było wprowadzenie tzw. jednostek zagrożenia wyrażających zależności pomiędzy temperaturą a liczbą kolejnych godzin, w których wilgotność względna powietrza nie spada poniżej 90%. Posługując się tym systemem można spodziewać się wystąpienia zarazy ziemniaka po 7–14 dniach od momentu zakumulowania się osiemnastu jednostek zagrożenia.

Rozwinięciem tego sposobu prognozowania był system opracowany przez Hyre [20], zakładający że choroba pojawia się po 7–14 dniach od zarejestrowania dziesięciu kolejnych dni, w których średnia temperatura powietrza jest wyższa od 7,2°C, a ponadto każdego dnia spełnione są następujące warunki: średnia temperatura powietrza z pięciu ostatnich dni nie przekracza 25,5°C, a suma opadów w ostatnich dziesięciu dniach wynosi co najmniej 30 mm.

Smith [29], podobnie jak większość twórców systemów prognozujących wystąpienie zarazy ziemniaka, koncentrował się na dwóch parametrach: temperaturze i wilgotności względnej powietrza. Jeżeli przez co najmniej jedenaście godzin każdego z dwóch kolejnych dni wilgotność względna powietrza jest równa lub większa od 90%, a temperatura nie spada poniżej 10°C, to według Smitha można oczekiwać wystąpienia zarazy ziemniaka.

Uhlig [33] również dostrzegł znaczenie deszczu w prognozowaniu wystąpienia zarazy ziemniaka ustalając, że choroba pojawia się jeżeli wystąpi sprzyjający układ warunków pogodowych; w pierwszym okresie trwającym przynajmniej piętnaście godzin wilgotność względna powietrza utrzymuje się powyżej 87%, a temperatura powietrza waha się pomiędzy 12 a 16°C. Następnie przez co najmniej dwadzieścia dwie godziny temperatura nie powinna spadać poniżej 20°C. Spełnienie takich warunków jest konieczne w przypadku braku opadów deszczu. Natomiast jeżeli deszcz wystąpi to wystarczy, aby warunki wymagane w pierwszym okresie utrzymywały się przez jedenaście godzin.

System Stephana [31] pozwala prognozować wystąpienie zarazy ziemniaka na podstawie wartości dwóch parametrów: temperatury i wilgotności względnej powietrza. W zależności od ich wielkości obliczany jest czas trwania tzw. okresów wilgotności czynnej, które następnie przekształca się na wykładniki okresów wilgotności czynnej. Przekształcenie to polega na pomniejszeniu okresów wilgotności czynnej o wartości korygujące, których wielkość zależy od panującej w tym czasie temperatury. Następnie wykładniki okresów wilgotności czynnej podlegają przekształceniu do wartości składowych fali infekcyjnej, których łączna wartość po zsumowaniu decyduje o terminie zastosowania zabiegu chemicznego.

Bardzo interesującym i przydatnym systemem jest prognoza negatywna opracowana przez Ullricha i Schrödtera [34], którzy do prognozowania wystąpienia zarazy ziemniaka zaproponowali funkcję regresji wielokrotnej uwzględniającej następujące parametry biometeorologiczne: wpływ deszczu, temperatury i wilgotności względnej

powietrza na powstawanie zarodni *P. infestans*, temperatury, wilgotności względnej powietrza i deszczu na kiełkowanie zarodników i infekcję, temperatury na rozwój grzybni oraz wpływ wilgotności względnej powietrza na zahamowanie rozprzestrzeniania patogena.

Połączeniem systemów Walina i Smitha był system Blightcast opracowany przez Krausego i Massiego [23]. Autorzy tego systemu uzależnili termin wystąpienia zarazy ziemniaka od wielkości cyfry informacyjnej (message number) będącej wypadkową liczby zakumulowanych jednostek zagrożenia w okresie ostatnich siedmiu dni poprzedzających dzień obliczeń oraz liczby dni z opadami.

System zaproponowany przez Frya, Apple'a i Bruhna [12] wyróżnia się na tle wcześniejszych opracowań tym, że uwzględnia wpływ odmiany ziemniaka na tempo rozwoju choroby. Nie nadaje się wprawdzie do prognozowania wystąpienia zarazy ziemniaka, a tym samym określenia terminu pierwszego zabiegu ochronnego, ale umożliwia wyznaczanie terminów pozostałych zabiegów w okresie całego sezonu wegetacyjnego. System ten składa się z dwóch modeli. Model pierwszy – opisuje wpływ odporności roślin oraz warunków atmosferycznych na rozwój *P. infestans*, a zależności te wyrażane są liczbowo w postaci jednostek zarazowych (blight units) obliczanych na podstawie pomiaru temperatury oraz liczby kolejnych godzin, w których wilgotność względna powietrza nie spada poniżej 90%. Model drugi pozwala ustalić terminy stosowania fungicydów na podstawie opadów deszczu oraz liczby dni, które minęły od wykonania poprzedniego zabiegu.

Forsund [14] opracował system uwzględniający parametry meteorologiczne: temperaturę powietrza, wilgotność względną powietrza i opad deszczu. Jeżeli przez dwa kolejne dni temperatura minimalna nie spada poniżej 10°C, a maksymalna temperatura zawiera się w przedziale 17–24°C, wilgotność względna powietrza zmierzona w południe osiąga wartość co najmniej 75%, a opad deszczu jest równy lub większy od 0,1 mm, to należy oczekiwać wystąpienia zarazy ziemniaka. Spełnienie tych warunków jest konieczne do wykonania zarówno pierwszego, jak i wszystkich pozostałych zabiegów.

Winstel [37] również uznał potrzebę pomiaru liczby godzin z wilgotnością względną powietrza nie niższą od 90%. Jego system pozwala prognozować wystąpienie zarazy ziemniaka jeżeli w odstępie nie przekraczającym 24 godzin wystąpią najpierw warunki umożliwiające infekcję, a potem wzrost patogena. Do infekcji dochodzi jeżeli po dniu charakteryzującym się średnią dzienną temperaturą powietrza z przedziału 10–23°C, następuje przynajmniej 10 kolejnych godzin, w których temperatura nie spada poniżej 10°C, a wilgotność względna powietrza nie spada poniżej 90%. Rozwój patogena jest możliwy jeżeli przez dwa kolejne dni maksymalna temperatura jest wyższa od 20°C, ale nie przekracza 30°C.

Schepers [28] opracował system ProPhy, który zaleca rozpoczęcie zabiegów chemicznych przeciwko *P. infestans* z chwilą zaobserwowania w regionie pierwszych objawów chorobowych charakterystycznych dla zarazy ziemniaka, względnie po

osiągnięciu przez rośliny odmian podatnych wysokości 15 cm. W przypadku odmian odpornych zabieg ustala się dziesięć dni później. Terminy kolejnych zabiegów zależą od długości okresu, w którym fungicydy zabezpieczają rośliny przed infekcją patogena oraz od prognozy pogody. System zakłada, że zastosowane fungicydy o działaniu kontaktowym zapewniają dostateczną ochronę roślin podatnych odmian ziemniaka przez osiem dni. W przypadku odmian odpornych okres ten można wydłużyć o 1–3 dni w zależności od stopnia odporności odmiany, dawki fungicydu zastosowanego poprzednio, tempa rozwoju roślin i warunków pogodowych. Jeżeli upłynie termin efektywnej ochrony roślin ziemniaka przez poprzednio zastosowany fungicyd, a na podstawie prognozy pogody można spodziewać się wystąpienia warunków meteorologicznych sprzyjających rozwojowi patogena, należy wykonać kolejny zabieg chemiczny.

Johnson, Alldredge i Vakoč [21] zaproponowali prognozowanie wystąpienia zarazy ziemniaka na podstawie dwóch funkcji dyskryminacyjnych. Zmiennymi zastosowanymi w pierwszej funkcji są: liczba dni z opadami równymi przynajmniej 0,25 mm oraz suma opadów w maju, przy czym obliczenia dotyczą tylko tych dni, w których temperatura nie spada poniżej 5°C. Trzecia zmienna przyjmuje wartości 0 lub 1 w zależności od tego czy w roku poprzednim odnotowano wystąpienie zarazy ziemniaka. W drugiej funkcji zamiast sumy opadów w maju obliczeniom podlega suma opadów z lipca i sierpnia. W związku z tym pierwszą z opisanych funkcji można stosować od początku czerwca, a drugą dopiero od pierwszego września.

Istotą systemu Cao, Ruckstuhl i Forrera [6] jest kalkulacja tzw. krytycznych warunków pogodowych (crucial weather conditions), nazywanych także okresami infekcji i zarodnikowania. Obliczenia dokonywane są na podstawie pomiarów temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza oraz opadów deszczu. Według tego systemu zabieg chemiczny przeciwko *P. infestans* powinien być wykonany jeżeli w ciągu 24 godzin zostanie zarejestrowanych 6 godzin z opadami deszczu i temperaturą nie niższą od 10°C oraz 6 lub więcej kolejnych godzin z wilgotnością przynajmniej 90%.

Systemy złożone

Pierwszym systemem, uwzględniającym oprócz warunków atmosferycznych inne elementy były tzw. reguły irlandzkie (Irish rules), opracowane przez Bourkego [2], który wziął również pod uwagę długość okresu zwilżenia liści. Według tego systemu objawy chorobowe pojawiają się jeżeli przez szesnaście godzin temperatura nie spada poniżej 10°C, a wilgotność względna powietrza wynosi co najmniej 90% lub gdy warunki te są spełnione przez dwanaście godzin, a przez następne cztery godziny liście ziemniaka pozostaną wilgotne.

Gutsche [16] opracował system Simphyt, w którym przy prognozowaniu terminu wystąpienia choroby uwzględniono różnice w podatności odmian ziemniaka na *P. in-*

festans. Pozostałymi parametrami niezbędnymi do realizacji tego zadania za pomocą modułu Simphyt I są dane meteorologiczne rejestrowane przynajmniej co trzy godziny oraz data wschodów ziemniaka. Na podstawie prognozy wystąpienia choroby określany jest termin pierwszego zabiegu ochronnego. Natomiast terminy pozostałych zabiegów ustalane są za pomocą modułu Simphyt II w oparciu o dane meteorologiczne, informacje o podatności odmian ziemniaka oraz nasilenie choroby w roku poprzednim, a także ewentualna odporność patogena na metalaksyl.

Forrer, Gujer i Fried [11] twórcy systemu PhytoPre również widzą potrzebę uzależnienia terminów wykonywania zabiegów chemicznych przeciwko *P. infestans* od odporności odmiany ziemniaka. Elementem wyróżniającym PhytoPre na tle innych systemów jest uwzględnienie w kalkulacjach dotyczących zabiegów chemicznych odległości plantacji ziemniaka od plantacji odmian wczesnych. Oprócz tego przy wyznaczaniu terminów zabiegów system uwzględnia fazę rozwojową rośliny, rodzaj fungicydu, sumę opadów i liczbę dni od ostatniego zabiegu, a także prawdopodobieństwo wystąpienia infekcji szacowane na podstawie zaproponowanej przez autorów systemu funkcji logitowej.

Osiągnięcia Frya, Apple'a i Bruhna [12] oraz Ullricha i Schrödtera [34] w dziedzinie tworzenia systemów wspierających podejmowanie decyzji dotyczących ochrony ziemniaka przed *P. infestans* zostały wykorzystane przez Hansena, Anderssona i Hermansena [18]. Opracowany przez tych autorów system NegFry jest połączeniem dwóch wcześniejszych modeli decyzyjnych: Ullricha i Schrödtera [34], który znajduje zastosowanie w prognozowaniu wystąpienia zarazy ziemniaka i wyznaczenia terminu pierwszego zabiegu chemicznego oraz modelu Frya i in. [12], służącego do określania terminów kolejnych zabiegów ochronnych.

Schepers [28] opracował system ProPhy, który zaleca rozpoczęcie zabiegów chemicznych przeciwko *P. infestans* z chwilą zaobserwowania w regionie pierwszych objawów chorobowych charakterystycznych dla zarazy ziemniaka, względnie po osiągnięciu przez rośliny odmian podatnych wysokości 15 cm. W przypadku odmian odpornych zabieg ustala się dziesięć dni później. Terminy kolejnych zabiegów zależą od długości okresu, w którym fungicydy zabezpieczają rośliny przed infekcją patogena oraz od prognozy pogody. System zakłada, że zastosowane fungicydy o działaniu kontaktowym zapewniają dostateczną ochronę roślin podatnych odmian ziemniaka przez osiem dni. W przypadku odmian odpornych okres ten można wydłużyć o 1–3 dni w zależności od stopnia odporności odmiany, dawki fungicydu zastosowanego poprzednio, tempa rozwoju roślin i warunków pogodowych. Jeżeli upłynie termin efektywnej ochrony roślin ziemniaka przez poprzednio zastosowany fungicyd, a na podstawie prognozy pogody można spodziewać się wystąpienia warunków meteorologicznych sprzyjających rozwojowi patogena, należy wykonać kolejny zabieg chemiczny.

Hadders [17] opracował system Plant Plus składający się z dwóch części. Pierwsza – wykorzystuje informacje dotyczące fazy rozwojowej ziemniaka oraz nasłonecznienia i opadów deszczu lub ewentualnego nawadniania roślin i pozwala szacować

tempo zanikania zastosowanych preparatów chemicznych. Na podstawie tych danych system określa jak duża część rośliny nie jest w danym momencie pokryta przez fungicyd. Druga część modułu koncentruje się na cyklu rozwojowym patogena i dostarcza odpowiedzi na pytanie kiedy spełnione są warunki niezbędne do wzrostu zarodni, ich uwalniania i rozprzestrzeniania, kiełkowania zarodników i penetracji tkanki roślinnej przez patogena oraz jego inkubacji. Jeżeli układ warunków pogodowych umożliwia kiełkowanie zarodników, a duża powierzchnia roślin nie jest chroniona przez fungicyd to należy wykonać zabieg ochronny. Typ zalecanego fungicydu jest zależny od liczby godzin pomiędzy infekcją a planowanym terminem zabiegu.

Systemy oparte na prognozie pogody

To podejście znalazło wyraz w pracach następujących autorów Bourke [3], Forsund i Flatten [15] oraz Royer i in. [27].

Bourke [3] prognozował wystąpienie zarazy ziemniaka na podstawie analizy map synoptycznych. Korzystne warunki do rozwoju zarazy ziemniaka miały być wynikiem pojawienia się otwartych ciepłych sektorów morskiego powietrza, względnie stacjonarnych lub wolno poruszających się niżów, a także prawie stacjonarnych frontów przynoszących wilgotną pogodę.

Forsund i Flatten [15] opracowali system, według którego sprzyjające warunki do rozwoju choroby są generowane za sprawą wystąpienia stacjonarnych niżów i frontów atmosferycznych nad powierzchnią morza, ciepłych sektorów z wilgotnym powietrzem nad lądem, mgły lub przemieszczania się wilgotnego powietrza z nad morza.

System opracowany przez Royera i in. [27] jest kolejnym przykładem systemu, w którym uwzględniono prognozę pogody. Przewidywane z 24 godzinnym wyprzedzeniem wartości podstawowych parametrów meteorologicznych, takich jak wilgotność względna powietrza, temperatura powietrza i opady deszczu stanowią dane wejściowe systemu opartego na procedurach zaproponowanych przez Wallina [36] i Hyre'a [20].

Prognozy rozwoju systemów decyzyjnych

Powyższy przegląd wskazuje, że do chwili obecnej, więcej systemów poświęconych zwalczaniu *P. infestans* opierało się na danych meteorologicznych zarejestrowanych niż na prognozowanych. Wynikało to najprawdopodobniej z niewystarczającej wiarygodności prognozy pogody. Jednakże obecnie precyzyjność prognoz krótkoterminowych wyraźnie się poprawiła, więc należy oczekiwać zwiększenia zainteresowania systemami uwzględniającymi prognozę pogody. Przykładem potwierdzającym powyższą tezę jest najnowsza wersja programu NegFry, która definiuje strategię zwalczania *P. infestans* na podstawie analizy warunków meteorologicznych zarejestrowanych i prognozowanych.

Podsumowanie

Konieczność opracowywania systemów wspierających podejmowanie decyzji w zakresie zwalczania zarazy ziemniaka wynika z przekonania, że nadrzędnym elementem optymalnej ochrony ziemniaka przed *P. infestans* jest termin zastosowania środka ochrony roślin, który zależy od odporności odmiany ziemniaka na tego patogena oraz przebiegu warunków atmosferycznych.

Podstawową zaletą prowadzenia ochrony ziemniaka wg zaleceń definiowanych za pomocą systemów decyzyjnych jest możliwość obniżenia liczby zabiegów ochronnych, co prowadzi do zmniejszenia kosztów produkcji oraz ryzyka skażenia środowiska. Powyższy pogląd ilustrują między innymi wyniki doświadczeń polowych przeprowadzonych w Irlandii [9], Włoszech [5] i Holandii [30].

W Polsce od roku 1997 w Instytucie Ochrony Roślin prowadzone są badania nad wiarygodnością systemów NegFry i SimPhyt [38, 39]. Uzyskane wyniki potwierdzają tezę o większej opłacalności ochrony ziemniaka wg zaleceń definiowanych za pomocą systemów decyzyjnych niż w przypadku aplikacji środków ochrony roślin prowadzonych rutynowo. W chwili obecnej prace nad wdrożeniem systemu NegFry do praktyki rolniczej są kontynuowane przez pracowników Instytutu Ochrony Roślin, Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin oraz Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa.

Literatura

- [1] Beaumont A. 1947. The dependence on the weather of the dates of outbreak of potato blight epidemics. *Transactions of the British Mycological Society* 31: 45–53.
- [2] Bourke P.M.A. 1953. Potato blight and the weather: a fresh approach. *Irish Meteorological Service Technical Note* 12: 11.
- [3] Bourke P.M.A. 1957. The use of synoptic weather maps in potato blight epidemiology. *Irish Meteorological Service Technical Note* 23: 35.
- [4] Brown C.R. 1993. Origin and history of the potato. *American Potato Journal* 70: 363–373
- [5] Bugiani R., Govani P., Cobelli L. 2000. Field evaluation of the combined use of IPI and different forecasting criteria for potato late blight control. PAV-Special Report No. 6: 266–275.
- [6] Cao K. Q., Ruckstuhl M., Forrer H. R. 1997. Crucial weather conditions for *Phytophthora infestans*: A reliable tool for improved control of potato late blight? PAV-Special Report No. 1: 85–90.
- [7] Chotkowski J., Gaziński B., Rembeza J. 1995. Problemy ochrony ziemniaka przed chorobami i szkodnikami. *Post. Nauk Roln.* 6: 59–66.
- [8] Cook H.T. 1949. Forecasting late blight epiphytotics on potatoes and tomatoes. *J. Agric. Res.* 78: 545–563.
- [9] Dowley L.J., Leonard R., Rice B., Ward S. 2002. Efficacy of the NegFry decision support system in the control of potato late blight in Ireland. PAV-Special Report No. 8: 81–92.

- [10] Erwin D.C., Ribeiro O.K. (red.). 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. APS Press, St. Paul, USA: 562 ss.
- [11] Forrer H.R., Gujer H.U., Fried P.M. 1993. PhytoPRE – A comprehensive information and decision support system for late blight in potatoes. *Proceedings of the Workshop on Computer-based DSS on Crop Protection, Parma, Italy*: 173–181.
- [12] Fry W.E., Apple A.E., Bruhn J.A. 1983. Evaluation of potato blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. *Phytopathology* 73: 1054–1059.
- [13] Fry W.E., Shitienberg D. 1990. Integration of host resistance and fungicide to manage potato diseases. *Can. J. Plant Pathology* 12: 111–116.
- [14] Forsund E. 1983. Late blight forecasting in Norway 1957–1980. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 13(2): 255–258.
- [15] Forsund E., Flatten H.K. 1959. The interrelationship between climate and outbreaks of late blight epiphytotics. *Meldinger fra Norges Landbrukshogskole* 38: 61.
- [16] Gutsche V. 1993. PROGEB—a model aided forecasting service for pest management in cereals and potatoes. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 23: 577–581.
- [17] Hadders J. 1997. Experience with late blight DSS (PLANT-Plus) in starch potato area of the Netherlands in 1995 and 1996. PAV-Special Report No. 1: 117–122.
- [18] Hansen J.G., Andersson B., Hermansen A. 1995. NEGFRY – a system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. *Proceedings „PHYTOPHTHORA 150 Sesquicentennial Scientific Conference, Dublin, Ireland, Boole Prese Ltd.*: 201–208.
- [19] Harrison J.G. 1992. Effect of the aerial environment on late blight of potato foliage – a review. *Plant Pathology* 41: 384–416.
- [20] Hyre R.A. 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reporter* 38: 245–253.
- [21] Johnson D.A., Alldredge J.R., Vakoch D.L. 1996. Potato late blight forecasting models for semiarid environment of south-central Washington. *Phytopathology* 86: 480–484.
- [22] Kapsa J. 2001. Nowoczesne fungicydy do zwalczania zarazy ziemniaka. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 41(1): 249–257.
- [23] Krause R.A., Massi L.B. 1975. Predictive systems: modern approaches to disease control. *Ann. Rev. Phytopathol.* 13: 31–47.
- [24] Lipa J.J. 1999. Ochrona ziemniaka: wczoraj, dzisiaj, jutro. Materiały konferencji „Ochrona Ziemniaka”. IHAR, Oddział Bonin. Kołobrzeg 23–24.03.1999: 7–13.
- [25] Moore W. D. 1937. The relation of rainfall to the development of late blight of Irish potatoes in the coastal section of South Carolina. *South Carolina Agricultural Experiment Station of Clemson Agricultural College, Circular* 5: 3–8.
- [26] Pietkiewicz J. 1986. Efekty zwalczania zarazy ziemniaka w doświadczeniach produkcyjnych w latach 1984–1985. Materiały XXVI Sesji Naukowej IOR, Część I, Referaty 73–83.
- [27] Royer M.H., Russo J.M., Kelly J.G. W. 1989. Plant disease prediction using a mesoscale weather forecasting technique. *Plant Disease* 73: 618–624.
- [28] Schepers H.T.A.M. 1995. ProPhy: a computerised expert system for control of late blight in potatoes in the Netherlands. *Proceedings XIII International Plant Protection Congress*: 948.
- [29] Smith L.P. 1956. Potato blight forecasting by 90 per cent humidity criteria. *Plant Pathology* 5: 83–87.

- [30] Spits H.G., Wander J.G.N. 2001. Field evaluation of four decision support systems for potato late blight in the Netherlands in 2000. PAV-Special Report No. 7: 77–90.
- [31] Stephan S. 1968. Methoden des Warndienst zur gezielten Krautfäulebekämpfung. *Nachr. Deutsch. Pflanzenschutzd. DDR* 22: 240–244.
- [32] Stevenson W.R., Loria R., Franc G.D., Weingartner D.P. (red.). 2001. Compendium of Potato Diseases. 2nd edition. APS Press, St. Paul, USA: 106 ss.
- [33] Uhlig J. 1957. Untersuchungen zum Problem der Phytophthora-Warnungen. *Bericht des deutschen Wetterdienstes* 5: 27–37.
- [34] Ullrich J., Schrödter H. 1966. Das Problem der Vorhersage des Auftretens der Kartoffelkrautfäule (*Phytophthora infestans*) und die Möglichkeit seiner Lösung durch eine „Negativprognose“. *Nachrichtenblatt Deut. Pflanzenschutzd.* 3: 33–40.
- [35] Van Everdingen E. 1926. Het verband tusschen de weersgesteldheid en de aardappelziekte (*Phytophthora infestans*). *Tijdschrift over Plantenziekten* 32: 129–140.
- [36] Wallin J.R. 1951. Forecasting tomato and potato late blight in the north-central region. *Phytopathology* 41: 37.
- [37] Winstel K. 1993. Kraut – und knollenfaule der Kartoffel eine neue Prognosemöglichkeit – sowie Bekämpfungsstrategien. *Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent* 58/3b: 1477–1483.
- [38] Wójtowicz A. Bubniewicz P. 1999. Wykorzystanie komputerowego programu doradczego SimPhyt do optymalizacji ochrony plantacji ziemniaka. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 39(2): 403–406.
- [39] Wójtowicz A. Piekarczyk J. 1989. Porównanie skuteczności wybranych systemów wspierających podejmowanie decyzji w zwalczaniu zarazy ziemniaka. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 38(2): 358–359.

Development of decision support systems to control *Phytophthora infestans* (MONT) DE BARY on potatoes

Key words: decision support system, *Phytophthora infestans*, model

Summary

Paper reviews most of decision support systems developed for *Phytophthora infestans* control. There are two main approaches to forecasting the disease. The first one – retrospective approach – is based on meteorological parameters that have already been registered. The second one – forecasting approach – is based on the assessment of future weather conditions. The first model representing retrospective approach was proposed by van Everdingen. The forecasting approach was introduced by Bourke.

The latest generation of DSS includes besides weather conditions also the host resistance and list of fungicides registered in particular country for *P. infestans* control. PhytoPre, Prophy and Simphyt belong to this group.