Systemy i modele prognozowania zarazy ogniowej (*Erwinia amylovora*)

KRZYSZTOF KIELAK¹, PIOTR SOBICZEWSKI²

¹ Katedra Fitopatologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

² Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa, ul. Pomologiczna 18, 96-100 Skierniewice

Kielak K., Sobiczewski P. (¹ Dept. of Plant Pathology, Warsaw Agricultural University, Nowoursynowska 166, 02-787 Warsaw, Poland, ² Research Institute of Pomology and Floriculture, Pomologiczna 18, 96-100 Skierniewice, Poland). Systems and models of fire blight (*Erwinia amylovora*) prediction.

(Otrzymano dn. 15 czerwca 2002)

Summary

The paper presents fire blight prediction models and systems, developed in Europe (system Billing – versions: BOS, BRS, BIS95 and originated from this system: Firescreen, FEUERBRA and ANLAFBRA) and in United States (Californian system, model Maryblyt and system Cougarblight). Use of above models and systems in various climatic-geographic conditions and comparison of obtained prognostic data to real fire blight occurrence is reviewed. The newest trends in research on improvement of prognostic analyses parameters with their adjustment to particular conditions and consideration of infection source occurrence are also presented.

Key words: fire blight, *Erwinia amylovora*, prediction, apple, pear

WSTĘP

Zależności, jakie występują między różnymi parametrami warunków klimatycznych, a rozwojem i rozprzestrzenianiem się zarazy ogniowej interesują naukowców i sadowników niemal od początku po wykryciu jej pierwszych ognisk na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej. Już w latach dwudziestych ubiegłego stulecia B r o o k s (1926) zauważył, że temperatura od

18,3 do 29,4°C (65-85°F), wysoka wilgotność powietrza i opady deszczu sprzyjały rozwojowi epidemii zarazy ogniowej. Jednak prace nad praktycznym wykorzystaniem tych obserwacji w ochronie sadów zapoczątkowały dopiero badania przeprowadzone przez M i l l s a (1955). Na podstawie analizy statystycznej historii choroby w stanie Nowy Jork, badacz ten doszedł do przekonania, że pierwszy zabieg chemiczny (przy użyciu cieczy bordoskiej) powinien być wykonany dzień po rozpoczęciu kwitnienia, jeżeli temperatura dobową wynosi wtedy przynajmniej 18°C i jednocześnie występują opady deszczu albo, gdy wilgotność powietrza wynosi co najmniej 70% niezależnie od opadów. Jedynie w takich warunkach dochodziło bowiem do infekcji kwiatów, przy czym silnemu ich porażeniu towarzyszyła zazwyczaj temperatura przekraczająca 24°C. Zaobserwowano również, że utrzymywanie się temperatury powyżej 21°C skracało okres inkubacji choroby i przyspieszało pojawianie się pierwszych objawów. Wyniki tych obserwacji, zostały potwierdzone w Europie przez szczegółowe badania nad rozmnażaniem się *E. amylovora* w warunkach *in vitro* (B i l l i n g 1974). Stwierdzono, że w temperaturze poniżej 18°C okres potrzebny do podwojenia się populacji bakterii ulegał wyraźnemu skróceniu wraz ze wzrostem temperatury (z 26 godzin przy 6,5°C do 2 godzin przy 18°C). Natomiast wzrost temperatury powyżej 18°C miał już stosunkowo niewielki wpływ na intensywność rozmnażania się patogena. Powyżej 24°C tempo to zaczynało znowu słabnąć, a przy 30°C rozmnażanie bakterii ulegało prawie zupełnemu zahamowaniu. Za temperaturę optymalną dla rozwoju zarazy ogniowej przyjęto około 21-24°C (B i l l i n g, 1979).

System Billing i inne systemy europejskie

Analiza aktywności zarazy ogniowej na przestrzeni wielu lat w sadach położonych na terenie Wysp Brytyjskich, wskazała na istotne znaczenie opadów atmosferycznych w rozwoju choroby (B i l l i n g, 1976). Nowych infekcjom towarzyszyły zazwyczaj, obok odpowiedniej temperatury, opady deszczu w ilości co najmniej 2,5 mm. Okazało się również, że długość okresu inkubacji choroby jest uzależniona nie tylko od temperatury otoczenia, ale i wilgotności. Obserwacje te, w połączeniu z wynikami badań przeprowadzonych w warunkach *in vitro*, pozwoliły na opracowanie praktycznego systemu, umożliwiającego określenie dnia teoretycznej infekcji i pojawienia się pierwszych objawów chorobowych (B i l l i n g 1980a; 1980b; 1984). System ten, nazwany później BOS (B i l l i n g Original System), opierał się w swych założeniach na szybkości rozmnażania się *E. amylovora*, wyrażonej w ilości potencjalnych podziałów bakterii w ciągu doby (daily potential doublings – PD). Odczytywanie wartości PD na podstawie minimalnej i maksymalnej dobowej temperatury powietrza umożliwiała opracowana tabela, oparta na wcześniejszych badaniach *in vitro*. Za najniższą temperaturę, przy której może dojść do infekcji uznano 18°C (3,5 PD), pod warunkiem, że towarzyszą jej opady deszczu w ilości większej bądź równej 2,5 mm. Przy wyższej temperaturze powietrza wilgotność odgrywa jednak mniejsze znaczenie a infekcja może zająć przy występowaniu mniejszej ilości opadów deszczu. System uwzględniał także możliwość infekcji kwiatów przy całkowitym braku opadów, pod warunkiem występowania wysokiej wartości PD. Poza wskazaniem potencjalnych dni infekcji system BOS

pozwalał również, na podstawie wzajemnej relacji wartości PD i ilości opadów (określanych symbolem R; przy czym $R=1$ przy opadach $\geq 2,5$ mm; $R=0,5$ przy opadach $< 2,5$ mm; $R=0$ przy braku opadów), na określenie stopnia zagrożenia (IR – infection risk), jakie mogło wystąpić w tych dniach. Okresy inkubacji, rozpoczęte w dniach, w których system wskazał na ryzyko infekcji, powinny się zakończyć, gdy spełnione zostanie równanie $\Sigma PD \geq (36 t / \Sigma R) - 6$, gdzie ΣPD jest sumą wartości PD naliczanych od dnia spodziewanej infekcji, t – liczbą dni, jakie upłynęły od tego dnia (w dniu infekcji $t=0$) a ΣR jest sumą opadów w tym okresie. W zależności od ilości następujących po sobie okresów inkubacji i ich długości wnioskowano o potencjalnej aktywności zarazy ogniowej. System umożliwiał również graficzne przedstawienie wyników obliczeń.

W roku 1990 B i l l i n g przedstawiła poprawioną wersję swojego systemu nazywając ją BRS (Billing Revised System). Podstawowe zmiany dotyczyły obliczania wartości PD, które zaproponował holenderski badacz S c h o u t e n (1991). Zmieniła się również tabela określania wartości IR poprzez zwiększenie liczby przedziałów wskazujących na intensywność opadów oraz wartości PD. Co więcej, dla ułatwienia korzystania z systemu wprowadzono wartości liczbowe (7 stopni) wskazujące na poziom zagrożenia zarazą ogniową.

Słabą stroną obu wersji systemu było jednak to, że nie uwzględniały one wpływu pogody na występowanie i możliwości rozmnażania się bakterii w okresie poprzedzającym spodziewaną infekcję i założeniu, że źródło infekcji jest wystarczająco wysokie, aby doszło do porażenia roślin. Badania prowadzone prawie równolegle przez innych autorów wskazywały, że warunkiem infekcji kwiatów jest obecność na ich powierzchni odpowiednio licznych epifitycznych populacji patogena (T h o m s o n i in., 1975; T h o m p s o n i in., 1977). Dla zobrazowania tych zależności Z o l l e r i S i s e v i c h (1979), sumowali stopniogodziny powyżej $18,3^{\circ}\text{C}$ (1 stopniogodzina oznacza utrzymywanie się temperatury wyższej o 1 stopień od temperatury wyjściowej – w tym przypadku $18,3^{\circ}\text{C}$ – przez 1 godzinę) od ostatniego, trwającego przynajmniej 3 dni spadku temperatury poniżej $18,3^{\circ}\text{C}$ do momentu pobierania próbek kwiatów do badań. Uwzględniając wyniki tych doświadczeń B i l l i n g zaprezentowała w 1996 roku ostateczną wersję swojego systemu, nazywając ją BIS95 (Billing Integrated System). Termin teoretycznych infekcji pędów oznacza się według tej wersji systemu, podobnie jak we wcześniejszych wersjach, na podstawie średniej dobowej temperatury powietrza i opadów. Poziom zagrożenia, wyrażany jest wskaźnikiem WW (warmth/wetness score), przedstawiającym zależność między temperaturą a ilością opadów. Natomiast w prognozowaniu infekcji kwiatów nowy system uwzględnia głównie temperaturę panującą przed spodziewaną infekcją. W tym celu od pierwszego dnia kwitnienia rozpoczyna się naliczanie stopniodni DD18 (Degree Day 18), przez sumowanie wartości, o jakie dobową temperaturę maksymalną przekroczyła 18°C w kolejnych dniach. Infekcji należy się spodziewać w dniu, w którym suma DD 18 osiągnie wartość 17 lub jej wielokrotność, przy jednoczesnym zwilżeniu kwiatów. Możliwa jest również infekcja mimo braku zwilżenia kwiatów, pod warunkiem występowania wysokiej temperatury powietrza (maksymalna temperatura = 27°C i/lub średnia temperatura = 20°C). W celu obliczania długości

okresu inkubacji sumuje się stopniodni DD13 (analogicznie jak DD 18, z temperaturą wyjściową równą 13°C), rozpoczynając ich naliczanie w dniu spodziewanej infekcji. Pierwsze objawy porażenia powinny być widoczne na kwiatach lub pędach roślin gospodarzy, gdy suma stopniodni przekroczy wartość 17. Wyjątkiem są kwiaty jabłoni, na których objawy pojawiają się znacznie później - w tym przypadku suma stopniodni musi wynieść 47.

System opracowany przez Billing, dostosowany do warunków panujących na Wyspach Brytyjskich, został dobrze przyjęty w Europie kontynentalnej. W Holandii i Francji system BOS prawidłowo sygnalizował niebezpieczeństwo infekcji kwiatów (Meijneke i van Teylingen, 1981; Jacquart-Ramonin, 1984). W Szwecji z powodzeniem zastosowano BIS95 przy analizie rozwoju zarazy ogniowej na terenie tego kraju (Persson, 1996). Również w Polsce BOS i BIS95 okazały się dość wiarygodne w prognozowaniu aktywności zarazy ogniowej w czasie kwitnienia, choć były się mniej dokładne w przypadku infekcji pędów (Sobiczewski i Berczyński, 1993a; Sobiczewski i Berczyński 1993b; Krupiński i Sobiczewski, 2002). Pierwotna wersja systemu (BOS) sprawdziła się również w warunkach panujących w Egipcie, prawidłowo odzwierciedlając faktyczną aktywność choroby. Duża liczba potencjalnych okresów inkubacji sygnalizowanych przez system utrudniła jednak dokładne ustalenie terminów zabiegów chemicznych na podstawie wskazań systemu (Abou-El-Dachabi in., 1990). Badania przeprowadzone w innych rejonach klimatycznych wykazały jednak, że istnieje konieczność adaptacji systemu do warunków panujących na tych obszarach. W Turcji objawy zarazy ogniowej na kwiatach pojawiały się bowiem wcześniej niż wskazywał na to BIS 95 (Demiri Üstün, 1999). Z kolei w USA dane prognostyczne uzyskiwane z BRS nie zawsze odzwierciedlały rzeczywistą aktywność choroby (Van der Zet in., 1990).

System opracowany przez Billing, uwzględniający podstawowe założenia prognostyczne, stał się podstawą różnych modyfikacji. Bazując na założeniach BOS Jacquart-Ramonin (1987) opracowali program komputerowy wyznaczający optymalne terminy lustracji sadów i wykonywania zabiegów ochronnych. Interesującą innowacją wprowadzoną w tym programie jest uwzględnienie, poza aktualnymi danymi meteorologicznymi, również prognozy pogody na dwa kolejne dni. Ważniejsze jest jednak, że wskazania programu uzależniono – w przeciwieństwie do BOS - od obecności źródła infekcji, określanej na podstawie historii choroby w konkretnym sadzie. We Francji program ten stosowano z powodzeniem przy planowaniu zabiegów ochronnych (Jacquart-Ramonin i Paulin, 1990). Również skomputeryzowany francuski program Firescreens, testowany w ostatnich latach w Grecji opiera się na zasadach opracowanych przez Billing. System ten, co prawda prawidłowo prognozował zagrożenie zarazą ogniową w trakcie sezonów o niskiej aktywności choroby, jednak jego wskazania okazały się mniej dokładne, gdy choroba występowała w dużym nasileniu (Tsiantos i Psallidas, 1996; Tsiantos i Psallidas, 1999).

W Niemczech opracowano system komputerowy, składający się z dwóch niezależnych programów: FEUEBRRA - prognozującego regionalne zagrożenie zarazą ogniową i ANLAFBRA - prognozującego ryzyko dla konkretnego sadu. Według tego systemu, termin potencjalnej infekcji obliczany jest tak jak w systemie BRS, natomiast długość okresu inkubacji została uzależniona od temperatury, opadów i podatności rośliny gospodarza. ANLAFBRA, w przeciwieństwie do FEUEBRRA uwzględnia w przewidywaniu ryzyka charakterystykę konkretnego sadu, a więc fazy fenologiczne roślin oraz ewentualne uszkodzenia tkanek, również te spowodowane w wyniku zabiegów agrotechnicznych. System ten został pozytywnie oceniony na podstawie badań przeprowadzonych w różnych landach Niemiec (B e r g e r i in., 1996).

Systemy oparte na monitorowaniu epifitycznych populacji *Erwinia amylovora*

O ile wskazania uzyskiwane z różnych wersji systemu Billing były oparte na analizie przebiegu warunków pogodowych, to głównym założeniem systemu opracowanego w Kalifornii było monitorowanie epifitycznych populacji *E. amylovora* na kwiatach i podporządkowanie uzyskanym wynikom terminów zabiegów ochronnych. T h o m p s o n i in. (1975), stosując selektywne podłoże opracowane przez M i l l e r a i S c h r o t h a (1972) zauważyli, że patogen pojawiał się na kwiatach gruszy na 2-3 tygodnie przed wystąpieniem pierwszych objawów chorobowych. Ustalenie to było pomocne w określeniu terminu wykonania zabiegu ochronnego. Dalsze obserwacje zależności między występowaniem *E. amylovora* a pogodą wykazały, że pierwsze bakterie stanowiące źródło infekcji można było wykryć, gdy średnia dobową temperatura przekroczyła tzw. temperaturową linię prognozowania (wykreśloną przez połączenie punktów wyznaczających wartość 62°F (16,7°C) 1 marca i 58°F (14,4°C) 1 maja. Ryzyko zakażenia zwiększały dodatkowo towarzyszące wysokiej temperaturze opady deszczu (T h o m s o n i in., 1977, T h o m s o n i in., 1982). Słuszność tych obserwacji potwierdzono przeprowadzając analizę aktywności zarazy ogniowej i warunków pogodowych w różnych sadach w Kalifornii w latach 1904-1977 (R e i l i in., 1979). Dzięki wprowadzeniu systemu do praktyki sadownicy ograniczyli wykonywanie zabiegów chemicznych jedynie do dni, w których temperatura powietrza przekroczyła wyznaczoną linię (pozwoliło to na ich zredukowanie z przeciętnie 14 do 6 w ciągu sezonu) (T h o m s o n i in., 1977). O ile jednak system ten sprawdził się w Kalifornii, to próby jego zastosowania w innych stanach USA oraz Kanadzie zakończyły się niepowodzeniem (S u t t o n i J o n e s, 1975; B e e r i O p g e n o r t h, 1976; B o n n, 1981). Nie zniechęciło to badaczy niemieckich, którzy ostatnio powrócili do tej koncepcji, przedstawiając nowe propozycje prognozowania choroby oparte na stwierdzeniu obecności patogena w sadzie technikami molekularnymi (B e r g e r i Z e l l e r, 1996). Również na Węgrzech prowadzone są badania nad opracowaniem metody z zastosowaniem techniki PCR, umożliwiającej monitorowanie liczebności epifitycznych populacji bakterii na kwiatach. Uzyskane w ten sposób dane mogłyby być następnie uwzględniane przy planowaniu zabiegów chemicznych w zestawieniu ze wskazaniami innych programów (D o r g a i B u b a n, 2001).

Model Maryblyt

Opracowana przez Z o l l e r a i S i s e v i c h a (1979) tabela obrazująca zależności między temperaturą a rozmnażaniem się bakterii *E. amylovora* na kwiatach została wykorzystana przy projektowaniu skomputeryzowanego modelu Maryblyt (S t e i n e r, 1990a; S t e i n e r, 1990b; L i g h t n e r i S t e i n e r 1990). Na podstawie danych dotyczących pogody i faz fenologicznych roślin gospodarzy, model umożliwia wskazanie dni, w których potencjalnie może dojść do infekcji kwiatów, pędów i różnych tkanek uszkodzonych mechanicznie (np. wskutek gradobicia) oraz dni, w których należy spodziewać się wystąpienia pierwszych objawów choroby. Jednak w przeciwieństwie do systemu Billing, model Maryblyt nie informuje o nasileniu choroby.

Dzień infekcji kwiatów, po uwzględnieniu poprawek dotyczących sposobu naliczania stopniodni i stopniogodzin ustalonych przez L i g h t n e r a i S t e i n e r a (1993), model Maryblyt sygnalizuje, gdy spełnione są 4 następujące warunki: otwarte kwiaty, skumulowanie 110 stopniogodzin powyżej 18,3°C od pierwszego dnia kwitnienia, wystąpienie w dniu spodziewanej infekcji opadów deszczu $\geq 0,25$ mm bądź mgły lub wystąpienie dzień wcześniej opadów $\geq 2,5$ mm, średnia dobową temperatura $\geq 15,6^\circ\text{C}$. Pierwsze objawy infekcji kwiatów powinny się pojawić przy kumulacji 57,2 stopniodni dla temperatury $> 12,7^\circ\text{C}$ od dnia infekcji.

Z kolei infekcji pędów można się spodziewać, gdy w sadzie pojawią się owady mogące rozprzestrzeniać bakterie (co sygnalizuje suma stopniodni $> 4,4^\circ\text{C}$ przekraczająca wartość 375, których naliczanie rozpoczęto od początku fazy zielonego pąka) przy czym jednocześnie uaktywnią się zeszłoroczne zgorzele lub też wcześniej doszło do infekcji kwiatów. Natomiast infekcji przez uszkodzenia tkanek można oczekiwać, jeżeli po skumulowaniu 300 stopniogodzin powyżej 18,3°C, naliczanych od rozpoczęcia fazy różowego pąka wystąpią przymrozki lub grad. Pierwsze objawy na porażonych roślinach powinny być widoczne w obu przypadkach po skumulowaniu 57,2 stopniodni $\text{DD} > 12,7^\circ\text{C}$ od dnia infekcji.

Model Maryblyt, podobnie jak System Billing, jest dobrze oceniany na obszarach, dla których został zaprojektowany - a więc na kontynencie północno amerykańskim (Van der Z w e t i in., 1990; Van der Z w e t i in., 1994; H o l t z i in., 2001). Dużą jego zaletą, często podkreślaną w literaturze, jest bardzo dokładne przewidywanie terminu pojawienia się pierwszych objawów chorobowych (często z dokładnością do 1 dnia), co zostało potwierdzone zarówno w obserwacjach polowych, jak i doświadczeniach modelowych na sztucznie inokulowanych roślinach. (Van der Z w e t i in., 1990; Van der Z w e t i L i g h t n e r, 1993; Van der Z w e t i in., 1994). W Kanadzie zastosowanie modelu pozwoliło na znaczne ograniczenie liczby zabiegów chemicznych (B o n n, 1996). Jednak w Turcji objawy na kwiatach pojawiały się wcześniej niż wskazywał to Maryblyt (D e m i r i Ü s t ü n, 1999). Podobnie w Grecji model ten zbyt późno sygnalizował konieczność wykonania pierwszego zabiegu chemicznego (T s i a n t o s i P s a l l i d a s, 1999). Z kolei w Niemczech objawy na kwiatach gruszy pojawiały się około 1 tygodnia później niż prognozował to Maryblyt (M o l t m a n, 1996). W warunkach panujących w Polsce model ten, podobnie jak BOS i BIS95, dość wiarygodnie prognozował aktywność

choroby w czasie kwitnienia, jednak okazał się mniej dokładny w przypadku infekcji pędów (S o b i c z e w s k i i B e r c z y Ń s k i, 1993a; S o b i c z e w s k i i B e r c z y Ń s k i 1993b; K r u p i Ń s k i i S o b i c z e w s k i, 2002).

G o u k i in. (1999) z Nowej Zelandii zaprezentowali program FireWorks bazujący na założeniach zbliżonych do modelu Maryblyt, pracujący w systemie Windows, ale służący jedynie do prognozowania infekcji kwiatów.

System Cougarblight

Podobnie, jak w modelu Maryblyt również w projektowaniu systemu Cougarblight, przyjęto założenie, że o porażeniu roślin przez *E. amylovora* decydują zarówno warunki atmosferyczne panujące w możliwym dniu infekcji, jak i w okresie bezpośrednio ją poprzedzającym (S m i t h, 1993). Stopień zagrożenia określa się na podstawie temperatury występującej w danym dniu oraz podczas trzech dni wcześniejszych. W tym celu dla każdego dnia oblicza się sumę stopniogodzin (daily C degree hour value), dla których jako temperaturę wyjściową przyjęto 15,5°C. Stopniogodziny nalicza się przy temperaturze powietrza niższej niż 31°C, którą uznano za maksymalną dla wzrostu bakterii. Po jej przekroczeniu dodawane wartości nie zwiększają się wraz ze wzrostem temperatury, lecz są zmniejszane w sposób liniowy, osiągając zero przy temperaturze 38°C. W celu ułatwienia korzystania z systemu w warunkach polowych opracowano tabelę, z której, na podstawie minimalnej i maksymalnej dobowej temperatury powietrza, można odczytać szacunkową wartość dziennej sumy stopniogodzin (S m i t h, 1996). Warunkiem zajścia infekcji jest przekroczenie przez sumę stopniogodzin - naliczaną przez cztery kolejne dni - wartości wyznaczającej próg zagrożenia (określany na podstawie historii choroby w sadzie i jego bezpośrednim otoczeniu), przy jednoczesnym zwilżeniu roślin. W wersji systemu zaprezentowanej w 1996 roku autor nie precyzował ilości opadów koniecznych dla infekcji; ograniczył się do przedstawienia obserwacji, z których wynika, że większość ognisk chorobowych rozwinęła się przy opadach wyższych niż śladowe. W kolejnej pracy uznał jednak, że infekcja jest uzależniona nie tyle od ilości opadów, lecz od czasu zwilżenia powierzchni roślin, której wartość progową określił na trzy godziny (S m i t h, 1999). Obecnie możliwe jest zastosowanie oprogramowania komputerowego, w celu obliczania dziennego poziomu ryzyka..

W oparciu o system Cougarblight J o h n s o n i in. (2002) opracowali model służący do planowania ochrony sadu przed zarazą ogniową z zastosowaniem preparatów biologicznych. Obok stopnia zagrożenia chorobą model ten uwzględnia wpływ warunków środowiskowych na rozwój bakterii antagonistycznych dla *E. amylovora*, wskazując dni optymalne do ich introdukcji.

Systemy kompleksowe

Wszystkie opisane dotychczas systemy i modele prognozowania zarazy ogniowej, uwzględniają jedynie część czynników mających wpływ na infekcję oraz przebieg procesu chorobowego. Prowadzone jednak były i są nadal prace nad systemami kompleksowymi, uwzględniającymi jak największą liczbę elementów warunkujących aktywność zarazy ogniowej. Jeden z pierwszych takich modeli

przedstawili B e e r i in. w 1984 roku. Zaproponowany system uwzględniał podatność odmiany rośliny gospodarza (zarówno odmiany szlachetnej, jak i podkładki), charakter gleby, wiek drzew, historię choroby w sadzie, itp. Na podstawie tych danych określano stopień ryzyka dla sadu. Oddzielnie szacowano, opierając się na uproszczonych zasadach systemu BOS, stopień ryzyka determinowany przez warunki pogodowe. Zestawienie obu wartości informowało o stopniu zagrożenia chorobą dla danego sadu i ewentualnie konieczności wykonania zabiegów chemicznych.

W Belgii podjęto prace nad dużo bardziej skomplikowanym modelem, który miał uwzględniać m.in. źródło zarówno pierwotnych, jak i wtórnych infekcji, różne sposoby rozprzestrzeniania się bakterii (deszcz, owady), przebieg warunków pogodowych, charakterystykę rośliny gospodarza (wrażliwość na zarzę ogniewą, liczbę kwiatów i młodych pędów mogących być miejscem infekcji) (T i m m e r m a n s, 1990). Nie zaprezentowano jednak ostatecznej wersji modelu.

Z kolei w Izraelu opracowano skomputeryzowany model dostosowany do pracy w warunkach polowych nazwany FBCA (Fire Blight Control Advisory). Kompleksowa analiza wykonywana jest dwustopniowo - najpierw określane jest ryzyko infekcji dla konkretnego sadu na podstawie jego historii. Uwzględnia się tu takie czynniki jak podatność odmiany rośliny gospodarza, wiek roślin, tempo wzrostu, fazą fenologiczną, a także historię choroby i informację o wykonywanych zabiegach ochronnych. Ocenę taką wykonuje się na początku sezonu i codziennie w czasie kwitnienia. Oddzielnie wykonywana jest analiza warunków pogodowych. Po zestawieniu wyników obu analiz podejmuje się decyzję o konieczności zastosowania zabiegu ochronnego. Wyniki pierwszych doświadczeń nad możliwościami praktycznego wykorzystania tego systemu, przeprowadzone na terenie Izraela wskazują na jego bardzo wysoką zgodność z rzeczywistą aktywnością choroby (S h t i e n b e r g i in., 1999, S h w a r t z i in., 2001).

PODSUMOWANIE

Pośród zaprezentowanych systemów i modeli prognozowania występowania i oceny aktywności zarazy ogniewej największe znaczenie mają obecnie model Maryblyt i system autorstwa B i l l i n g a, mniejsze Cauragblight i system kalifornijski opracowany przez zespół pod kierunkiem T h o m s o n a. W wielu krajach prowadzone są prace nad możliwością wykorzystania tych systemów w praktyce sadowniczej. Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że systemy te charakteryzuje duża wiarygodność w prognozowaniu występowania choroby na obszarach, dla których zostały opracowane, jednak próby ich zastosowania w innych rejonach klimatycznych wskazują na konieczność dalszej ich adaptacji. Systemy kompleksowe, uwzględniające większą liczbę czynników warunkujących rozwój choroby i teoretycznie charakteryzujące się większą dokładnością, nie spotkały się z większym zainteresowaniem. Być może stało się tak dlatego, że zebranie wszystkich wymaganych przez nie danych może być dla sadownika kłopotliwe oraz, co jest zapewne ważniejsze, stosowanie takich systemów wymagałoby prowadzenia dla jednego sadu kilku lub więcej niezależnych obliczeń jednocześnie.

Większość z opisanych systemów i modeli zakłada obecność w sadzie, lub jego bezpośrednim otoczeniu źródła pierwotnego inokulum, które w sprzyjających warunkach pogodowych powinno się ujawnić, prowadząc do infekcji roślin. Jednak tylko niektóre z nich, jak Caugarblight, uwzględniają faktyczną obecność źródła infekcji. Powoduje to, że systemy te charakteryzują się pewną nadwrażliwością. Zdarza się więc, że mimo sygnalizowanego zagrożenia zarazą ogniową w rzeczywistości nie obserwuje się porażenia roślin (S o b i c z e w s k i i in., 1987; T o k g ö n ü l i Ç i n a r, 1999 M o l t m a n n, 1999, S h w a r t z i n., 2001; K r u p i ń s k i i S o b i c z e w s k i, 2002). Jednak określenie czy bakterie są wczesną wiosną obecne w sadzie nie jest możliwe (przynajmniej obecnie) nawet przy dokładnej znajomości historii choroby na danym obszarze. Trudno jest bowiem odpowiedzieć na pytanie w jak wielu zgorzelach *E. amylovora* przeżyła okres zimy. W literaturze naukowej można spotkać informacje o wykrywaniu bakterii w od zaledwie 2,5 do aż 70% zeszłorocznych zgorzeli, w zależności od sadu i zastosowanej techniki badawczej (B r o o k s, 1926, K i e l a k i inni 2001). Potencjał inokulacyjny może być ograniczony również w czasie wiosny przez przymrozki (T o k g ö n ü l i Ç i n a r, 1999). Już w 1965 roku Powell wskazywał na znaczenie temperatury panującej przed kwitnieniem dla rozwoju choroby. Według tego badacza potrzeba aż 18 dni z temperaturą powyżej 18°C od wystąpienia ostatnich przymrozków do rozpoczęcia kwitnienia, aby mogło dojść do infekcji kwiatów (za S o b i c z e w s k i m i P i o t r o w i c z, 1985). Mimo to niektóre z prezentowanych systemów i modeli nie uwzględniają temperatury panującej przed kwitnieniem.

Pewna nadwrażliwość opisanych modeli nie jest jednak cechą je dyskwalifikującą - znacznie ważniejsze jest z praktycznego punktu widzenia to, że nie są opisywane przypadki, w których mimo braku sygnalizowanego zagrożenia choroba wystąpiła z dużą aktywnością (S o b i c z e w s k i i B e r c z y ń s k i, 1993b; D e m i r i Ü s t ü n, 1999). Stosowanie opisanych systemów w praktyce wymaga jednak czynnego udziału sadownika przy interpretacji wskazań i uwzględnienia warunków panujących w konkretnych obiektach.

LITERATURA

- A b o - E l - D a c h a b M. A., E l - G o o r a n i M. A., S c h o e i b A. A., Z e l l e r W., 1990. Prediction of fire blight disease in Egypt. Acta Hort. 273: 115-119.
- B e e r S. V., O p p e n o r t h D. C., 1976. *Erwinia amylovora* on fire blight canker surfaces and blossom in relation to disease occurrence. Phytopath. 66: 317-322.
- B e e r S. V., S c h w a g e r S. J., N o r e l l i J. L., A l d w i n c k l e H. S., B u r r T. J., 1984. Towards practical warning system for fire blight blossom infection. Acta Hort. 151: 23-36.
- B e r g e r F., Z e l l e r W., 1996a. Monitoring of *Erwinia amylovora* with polymerase chain relation (PCR) in orchards. Acta Hort. 411: 91-96.
- B e r g e r F., Z e l l e r W., G u t s c h e V., R o s s b e r g D., 1996b. A new fire blight forecasting system with first results in Southwest Germany. Acta Hort. 411: 155-161.
- B i l l i n g E., 1974. The effect of temperature on the growth of the fire blight pathogen, *Erwinia amylovora*. J. Appl. Bact. 37: 643-648.

- Billing E., 1976. Weather and fireblight in England. *Ann. Appl. Biol.* 82: 259-266.
- Billing E., 1979. Warning Systems for fire blight, *EPPO Bull.* 9: 45-51.
- Billing E., 1980a. Fireblight in Kent, England in relation to weather (1955-1976). *Ann. Appl. Biol.* 95: 341-367.
- Billing E., 1980b. Fireblight (*Erwinia amylovora*) and weather: a comparison of warning systems. *ann. Appl. Biol.* 95: 367-377.
- Billing E., 1984. Principles and applications of fire blight risk assessment systems. *Acta Hort.* 151: 15-22.
- Billing E., 1990. Fire blight concepts and revised approach to risk assessment. *Acta Hort.* 273: 163-170.
- Billing E., 1996. BIS95, an improved approach to fire blight risk assessment. *Acta Hort.* 411: 121-126.
- Bonn W.G., 1981. Monitoring of epiphytic *Erwinia amylovora* and the incidence of fire blight of apple and pear in Southwestern Ontario. *Acta Hort.* 117: 31-36.
- Bonn W.G., 1996. Maryblyt 4.2: evaluating the program for prediction of blossom blight of apple and pear. *Acta Hort.* 411: 173-175.
- Brooks A.N., 1926. Studies of the epidemiology and control of fireblight of apple. *Phytopath.* 16: 665-696.
- Demir G., Üstün N., 1999. Comparison of different prediction systems for blossom blight risk assessment on pear and apple in Aegean region of Turkey. *Acta Hort.* 489: 419-428.
- Drogai L., Buban T., 2001. Rapid estimation of the epiphytic population size of *Erwinia amylovora* by PCR. 9th International Workshop on Fire Blight. 8-12 October 2001, Napier, Hawke's Bay, New Zealand. Book of Abstracts. P18.
- Gouk S.C., Spin M., Laurenson M.R., 1999. Fireworks – a windows-based computer program for prediction of fire blight on apples. *Acta Hort.* 489: 407-413.
- Holtz B., Teviotdale B., Hoffman E., 2001. Predicting occurrence of fire blight in the San Joaquin Valley of California. 9th International Workshop on Fire Blight. 8-12 October 2001, Napier, Hawke's Bay, New Zealand. Book of Abstracts. P16.
- Jacquart-Romon C., Paulin J.P., 1990. Preliminary experimentation of a computerised warning system for the control of fire blight. *Acta Hort.* 273: 131-137.
- Jacquart-Romon C., Paulin J.P., Payen D., 1984. Climatic assessment of the risks of fire blight at bloom. *Acta Hort.* 151: 129-135.
- Jacquart-Romon C., Payen D., Paulin J.P., 1987. A computer program based on Billing's system 1 for timing of control measures against fire blight. *Acta Hort.* 217: 119-123.
- Johnson K.B., Sawyer T.L., Stockwell V.O., 2001. Development of forecasting model to optimise biological control of blossom infection by *Erwinia amylovora*. 9th International Workshop on Fire Blight. 8-12 October 2001, Napier, Hawke's Bay, New Zealand. Book of Abstracts. P 17.
- Kielak K., Sobiczewski P., Puławska J., 2001. Overwintering of *Erwinia amylovora* in naturally and artificially infected apple shoots. 9th International Workshop on Fire Blight. 8-12 October 2001, Napier, Hawke's Bay, New Zealand. Book of Abstracts. P13.
- Krupiński G., Sobiczewski P., 2002. Prognozowanie zagrożenia jabłoni przez zarazę ogniową (*Erwinia amylovora*) w rejonie Krakowa. Zeszyty naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie. (w druku).
- Lightner G.W., Steiner P.W., 1990. Computerisation of blossom blight predicting model. *Acta Hort.* 273: 159-162.

- Lightner G.W., Steiner P.W., 1993. An update version 4.1 of the Maryblyt™ computer program for predicting fire blight. Acta Hort. 338: 131-136.
- Meijneke C.A.R., van Teylingen M., 1981. The development of fire blight in the Netherlands during 1979 and its explanation by the System Billing. Acta Hort. 117: 25-30.
- Miller T.D., Shroth M.N., 1972. Monitoring of epiphytic population of *Erwinia amylovora* on pear with a selective medium. Phytopath. 62: 1175-1182.
- Mills W.D., 1955. Fireblight development in western New York. Plant Dis. Rept. 39: 206-207.
- Moltmann E., 1996. Experience with different prediction systems for control of fire blight in Southwest Germany. Acta Hort. 411: 131-137.
- Moltmann E., 1999. Fire blight control with Streptomycin according to prediction systems in South-West Germany. Acta Hort. 489: 393-387.
- Persson P., 1996. Weather observations and fire blight outbreaks in Sweden 1986-1995. Acta Hort. 411: 139-142.
- Reil W.O., Moller W.J., Thomson S.V., 1979. An historical analysis of fireblight epidemics in the Central Valley of California. Plant Dis. Repr. 63: 545-549.
- Schouten H.J., 1991. Studies on fireblight. Rozprawa doktorska, Landbouwniversitet te Wageningen, Holandia, 143 s.
- Shtienberg D., Kritzman G., Herzog Z., Openhaim D., 1999. Development and evaluation of decision support system for management of fire blight in pears. Acta Hort. 489: 385-392.
- Shwartz H., Shtienberg D., Openhaim D., Zilberstaine M., Herzog Z., Peres M., Kritzman G., 2001. Is it possible to import decision support systems? a case study of fire blight in pears. 9th International Workshop on Fire Blight. 8-12 October 2001, Napier, Hawke's Bay, New Zealand. Book of Abstracts. P 21.
- Smith T.J., 1993. A predictive model for forecasting fire blight of pear and apple in Washington State. Acta Hort. 338: 153-160.
- Smith T.J., 1996. A risk assessment model for fire blight of apple and pear. Acta Hort. 411: 97-104.
- Smith T.J., 1999. Report on the development and use of Cougarblight 98C – a situation specific fire blight risk assessment model for apple and pear. Acta Hort. 489: 429-436.
- Sobiczewski P., Berczyński S., 1993a. Evaluation of Maryblyt for prediction of fire blight on apples in Poland. Acta Hort. 338: 167.
- Sobiczewski P., Berczyński S., 1993b. Porównanie modelu Billing i modelu Maryblyt w prognozowaniu występowania zarazy ogniowej na jabłoniach w Polsce. Materiały z sympozjum "Biotyczne środowisko uprawowe a zagrożenie chorobowe roślin". Olsztyn 7-9 września 1993 str.: 385-391.
- Sobiczewski P., Berczyński S., Piotrowicz L., 1987. Weather analysis with Billing's system and fire blight occurrence in Poland. Acta Hort. 217: 113-118.
- Sobiczewski P., Piotrowicz L., 1985. Prognozowanie występowania zarazy ogniowej. Postępy Nauk Rolniczych. 5: 91-100.
- Steiner P.W., 1990a. Predicting apple blossom infections by *Erwinia amylovora* using the Maryblyt model. Acta Hort. 273: 139-148.
- Steiner P.W., 1990b. Predicting canker, shoot and trauma blight phases of apple fire blight epidemics using the Maryblyt model. Acta Hort. 273: 149-158.
- Sutton T.B., Jones A.L., 1975. Monitoring *Erwinia amylovora* populations on apple in relation to disease incidence. Phytopath. 65: 1009-1012.

- Thomson S.V., Schroth M.N., Moller W.J., Reil W.O., 1975. Occurrence of fire blight of pears in relation to weather and epiphytic populations of *Erwinia amylovora*. *Phytopath.* 65: 353-358.
- Thomson S.V., Schroth M.N., Moller W.J., Reil W.O., 1982. A forecasting model for fire blight of pear. *Plant Dis.* 66: 576-579.
- Thomson S.V., Schroth M.N., Moller W.J., Reil W.O., Beutel J.B., Davis C.S., 1977. Pesticide applications can be reduced by forecasting the occurrence of fireblight bacteria. *Calif. Agric.* 31: 12-14.
- Timmermans Y., 1990. A Warning system for fire blight on pears in Belgium: preliminary model and practical prospects. *Acta Hort.* 273: 121-129.
- Tokgönlü S., Çinar Ö., 1999. Studies on the control possibilities of fire blight by Billing's Revised System in the East Mediterranean region of Turkey. *Acta Hort.* 489: 413-418.
- Tsiantos J., Psallidas P.G., 1996. First evaluation of „FIRESCREENS” for predicting fire blight epidemics in Greece. *Acta Hort.* 411: 145-153.
- Tsiantos J., Psallidas P.G., 1999. Comparison of different fireblight prediction systems under Greek climatic conditions. *Acta Hort.* 489: 491-494.
- Van der Zwet T., Biggs A.R., Heflebower R., Lightner G.W., 1994. Evaluation of the Maryblyt computer model for predicting blossom blight on apple in West Virginia and Maryland. *Plant Disease* 78: 225-230.
- Van der Zwet T., Lightner G., Walter J., Steiner P.W., 1990. Comparison of the Maryblyt predictive model with Billing's revised system for blossom blight risk assessment in apple. *Acta Hort.* 273:171-183.
- Van der Zwet T., Lightner G.W., 1993. Efficacy of the Maryblyt forecasting system to predict blossom blight in West Virginia (1984-1992). *Acta Hort.* 338: 137-143.
- Zoller B.G., Sisevich J., 1979. Blossom populations of *Erwinia amylovora* in pear orchards vs. accumulated degreehours over 18,3C (65F) 1972-1976. *Phytopathology* 69:1050.

Systemy i modele prognozowania zarazy ogniowej (*Erwinia amylovora*)

Streszczenie

W pracy opisano systemy i modele prognozowania zarazy ogniowej opracowane w Europie (system Billing - wersje BOS, BRS, BIS95 i wywodzące się z tego systemu: Firescreen, FEUERBRA i ANLAFBRA) oraz w Stanach Zjednoczonych (system kalifornijski, model Maryblyt i system Cougarblight). Dokonano przeglądu ich wykorzystania w różnych warunkach klimatyczno-geograficznych z uwzględnieniem porównania uzyskanych wskazań prognostycznych z faktycznym występowaniem zarazy ogniowej. Ponadto przedstawiono najnowsze tendencje w badaniach nad dopracowaniem parametrów analizy prognostycznej dla konkretnych warunków uwzględniającej występowanie źródła infekcji.