

Oksana Mykhayliv¹, Zbigniew Sierota²

Zagrożenie drzewostanów ze strony huby korzeni w zależności od temperatury gleby i opadów

Threat caused to forests by the root rot *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. in relation to soil temperature and precipitation

Abstract. The statistical analysis of the relationship between the area where the root rot (*Heterobasidion annosum*) occurred and soil temperature and precipitation was performed for averaged values from all over Poland and additionally, from three regions differing in terms of climate (the Regional Directorates of State Forests in Białystok, Kraków and Poznań). The data used for comparison comprises occurrence of the root rot in years 1975-2007, divided into the age category up to 20 years and over 20 years. The relationship between the area where the root rot occurs in an n -year and the analysed weather components in years $n-1$ (where $l = 0, 1, 2, 3$) was investigated with the use of multiple regression analysis following the SAS Enterprise Guide 4 statistical package (2007).

In most cases the pattern of soil temperature changes in September, October and in December and precipitation level in June had decisive effects on disease development. The relationship between the root rot and soil temperature and humidity was of regional character and resulted from the tree stand age category under analysis. The obtained values of determination coefficient indicate that the impact of the analysed climatic factors on root rot development was stronger in tree stands over 20 years of age. The strongest correlation relationship was found between the root rot area in tree stands and the analysed weather components in the previous year

Key words: area of occurrence of disease in forests, predisposition of disease

1. Wstęp

Dotychczasowe badania nad wpływem czynników środowiska na przebieg huby korzeni, choroby powodowanej przez *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., wskazują na istotny wpływ temperatury powietrza dla kiełkowania zarodników i wzrostu grzybni (Korhonen et Stenlid 1998, Negrutskij 1973). Fedorov (1984), badając przebieg zarodnikowania *Heterobasidion* na terenie Białorusi, wykazał, że średnia dobowa temperatura powietrza w granicach 14-20°C stwarza optymalne warunki dla tworzenia i rozsiewu zarodników patogena. Interesujące jest również to, że upalne lata z temperaturą powyżej 35°C wpływają silnie ograniczająco na zakażanie pniaków przez *Heterobasidion annosum* (Gording et al. 1966). Ponieważ

proces chorobowy zachodzi w systemie korzeniowym, bezpośrednim środowiskiem zewnętrznym huby korzeni jest gleba, w której znajduje się inokulum patogenu oraz rozwija się system korzeniowy rośliny-gospodarza. Z przeglądu literatury wynika, że analiza oddziaływania temperatury gleby na rozwój choroby nie była przedmiotem szerszego zainteresowania badaczy.

Celem prezentowanych analiz jest określenie zależności pomiędzy przebiegiem choroby w drzewostanie a temperaturą i wilgotnością gleby na podstawie gromadzonych przez nadleśnictwa od 35 lat danych o występowaniu huby korzeni w drzewostanach oraz na podstawie przebiegu wybranych elementów pogody. Przyjęto przy tym hipotezę, że wpływ temperatury i wilgotności jest statystycznie istotny.

¹ National Forestry and Wood Technology University of Ukraine, 79057 Lviv, 103 Gen. Chuprynka str., Ukraine, Fax: +38 0322352269; e-mail o.mykhayliv@gmail.com

² Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ochrony Lasu, ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn, Poland

2. Materiał i metody

Z racji zróżnicowania geograficznego i klimatycznego obszaru Polski, jak również rejonizacji występowania huby korzeni w drzewostanach na gruntach porolnych, analizy statystyczne przeprowadzono dla obszaru całej Polski, a także dla trzech wybranych regionów różniących się pod względem klimatycznym. Był to obszar regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku, w Krakowie i w Poznaniu, dla których – dzięki stałości ich granic administracyjnych – dane dotyczące arealu występowania huby są porównywalne dla całego badanego okresu.

W badaniach analitycznych wykorzystano dane wymienionych dyrekcji z lat 1975–2007 o powierzchni występowania huby korzeni, z podziałem na drzewostany do 20 lat i powyżej 20 lat. Źródłem informacji były coroczne krótkoterminowe prognozy występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce, opracowywane przez Instytut Badawczy Leśnictwa na podstawie informacji z dyrekcji regionalnych LP i zespołów ochrony lasu.

Jako elementy pogody do analiz wybrano średnią miesięczną temperaturę gleby na głębokości 5 cm, grubość pokrywy śnieżnej oraz miesięczną sumę opadów atmosferycznych, jako pośredni wskaźnik wilgotności gleby. Źródłem informacji dla założenia bazy danych o przebiegu warunków pogodowych były biuletyny państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej z lat 1972–2007.

Oddziaływanie temperatury i opadów atmosferycznych na organizmy żywe ma charakter kompleksowy, a efekt jest niejednokrotnie synergistyczny, stąd zastosowano metodę regresji wielokrotnej. W celu redukcji zmiennych w modelu posłużono się metodą tzw. eliminacji wstecznej (eliminacji poprzednich), za pomocą pakietu statystycznego SAS *Enterprise Guide 4* (2007). Dany model opiera się na ocenie istotności wpływu kilku zmiennych niezależnych X na zmienną zależną Y , eliminując z modelu kolejno te zmienne niezależne, których wpływ na zmienną zależną jest nieistotny lub najmniej istotny statystycznie.

Liniowym modelem regresji wielokrotnej jest równanie:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

gdzie: β_i ($i = 1, 2, \dots, k$) – parametry modelu (współczynniki regresji) opisujące wpływ i -tej zmiennej (Stanisz A. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 1, 2. Wyd. 3. StatSoft Polska, Kraków. 2007).

Stosując się do zasad poprawnej konstrukcji modeli regresji, przyjęto że:

1) w każdym modelu liczba obserwacji (lat) n jest większa niż liczba szacowanych parametrów k , to jest: $n \geq k + 1$;

2) żadna ze zmiennych niezależnych nie jest kombinacją innych zmiennych niezależnych;

3) reszty są nieskorelowane (w celu weryfikacji tego założenia stosowano test W Durбина-Watsona; wartość statystyki d bliska 2 wskazuje na brak autokorelacji);

4) reszty mają rozkład normalny (zgodność reszt z rozkładem normalnym weryfikowano testem Shapiro-Wilka; jeżeli $p_{s-w} > 0,05$, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu reszt).

W ostatnim etapie eliminacji zmiennych nieistotnych uzyskuje się model ze zmiennymi istotnie wpływającymi na zmienną zależną. Jakość dopasowania tak uzyskanego modelu jest określona wysoką wartością skorygowanego współczynnika determinacji R^2 (Adj R Sq) przy poziomie istotności modelu $p < 0,05$. Wartość współczynnika determinacji R^2 opisuje stopień wyjaśnienia zgodności powierzchni występowania choroby za pomocą ujętych w modelu zmiennych klimatycznych.

Wybrane do analiz czynniki: temperatura gleby na głębokości 5 cm i opady atmosferyczne, zostały zgrupowane w dwa warianty:

I wariant – średniomiesięczne temperatury gleby od stycznia do grudnia oraz miesięczne sumy opadów od marca do listopada bieżącego roku;

II wariant – średniomiesięczne temperatury gleby od stycznia do sierpnia oraz miesięczne sumy opadów od marca do sierpnia roku bieżącego, a także temperatura gleby od września do grudnia i suma opadów od września do listopada roku poprzedniego.

Z uwagi na rolę inokulum patogenu (materiału zakaźnego) w inicjowaniu i rozwoju procesu chorobowego, co podkreśla Mańka (2005), do analizy wybrano również wymienione czynniki pogodowe z 3 okresów poprzedzających rozwój choroby: a) z roku poprzedniego $n-1$ (za okres 1974–2006), b) z roku $n-2$ (odpowiednio za okres 1973–2005) oraz c) z roku $n-3$ (okres 1972–2004).

Związek pomiędzy powierzchnią występowania huby korzeni w n -tym roku a warunkami pogodowymi w latach $n-l$ (gdzie $l = 0, 1, 2, 3$) badano za pomocą analizy regresji. Do interpretacji wyników wybrano elementy pogody z takiego okresu $n-l$ lat, dla którego współczynnik determinacji R^2 modelu wyjaśniającego powierzchnię występowania choroby za pomocą ujętych w modelu zmiennych klimatycznych był najwyższy.

3. Wyniki

W skali całego kraju, w badanym okresie 1975–2007, począwszy od roku 1993 r. następował corocznie wzrost powierzchni występowania huby korzeni (ryc. 1). Największy udział tej choroby w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat stwierdzono w latach 2002–2003, kiedy to areal występowania wynosił 211–214 tys. ha. Najmniejszą natomiast powierzchnię występowania korzeniowca wieloletniego w drzewostanach zarejestrowano w latach 1982 i 1985; zawierała się ona w przedziale 71–75 tys. ha. W uprawach i młodnikach hubę korzeni rejestrowano na znacznie mniejszych powierzchniach, niemniej szczyt zagrożenia przypadła na lata 1982, 1984 i 1987, a powierzchnia drzewostanów zagrożonych przez hubę korzeni wynosiła 23–24 tys. ha.

Wybrane do badań regiony różniły się warunkami klimatycznymi (tab. 1). W analizowanym 40-letnim okresie (lata 1968–2007) średnia roczna temperatura powietrza na terenie RDLP w Białymstoku wynosiła 6,7°C i była o 1,1 stopnia niższa od średniej w skali całego kraju. Natomiast na terenie RDLP w Poznaniu wspomniana temperatura powietrza wynosiła 8,6°C i była wyższa o 0,8 stopnia niż w skali całego kraju i o 1,9 stopnia niż na terenie RDLP w Białymstoku. Jeśli chodzi o roczną sumę opadów, to była ona największa na terenie RDLP w Krakowie. W analizowanym okresie średnia roczna suma opadów wyniosła 880 mm, co stanowiło 142% sumy opadów w skali całego kraju i 172% sumy opadów na terenie RDLP w Poznaniu.

Średnia roczna temperatura gleby w skali kraju była znacznie zróżnicowana w analizowanym okresie (ryc. 2). Wielomianowa linia trendu wykazała tendencję wzrostową wartości średniej rocznej temperatury gleby. W przypadku rocznej sumy opadów wahania były dość duże, a przebieg wielomianowej linii trendu wskazuje na falowy charakter zmian – po kolejnym wzroście sumy rocznych opadów następowało kolejne jej zmniejszenie.

W okresie 1972–2007 (ryc. 2) rok 1982 okazał się najbardziej suchy, gdyż suma opadów wyniosła jedynie 435 mm, przy czym na sezon wegetacyjny przypadło 286 mm. Z kolei w latach 1974 i 2001 odnotowano największą sumę opadów rocznych (odpowiednio 798 i 741 mm) i w sezonie wegetacyjnym (odpowiednio 601 i 565 mm).

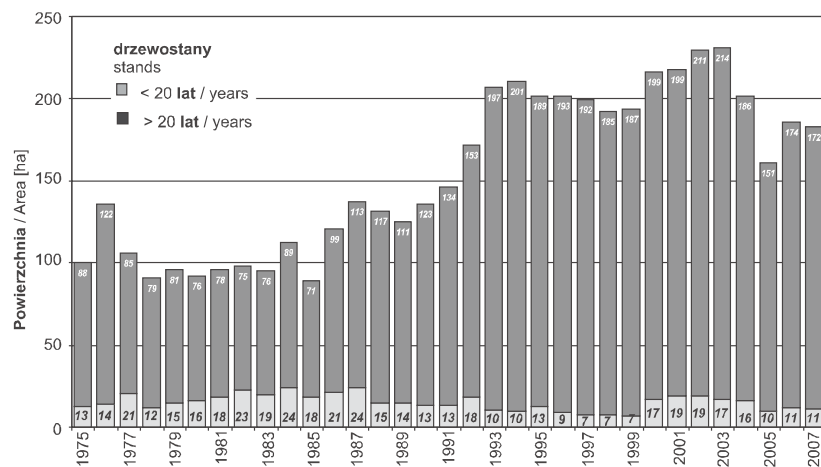
Najniższą średnią roczną temperaturę gleby odnotowano w 1980 r., najwyższą natomiast w latach 2000 i 2002; w analizowanym okresie jej wartości zawierały się w przedziale 7,1–10,5°C.

Tabela 1. Średnie wieloletnie temperatury powietrza i gleby (°C) oraz sumy opadów (mm)

Table 1. Multi-annual averages of air and soil temperatures (°C) and total precipitation amounts (mm)

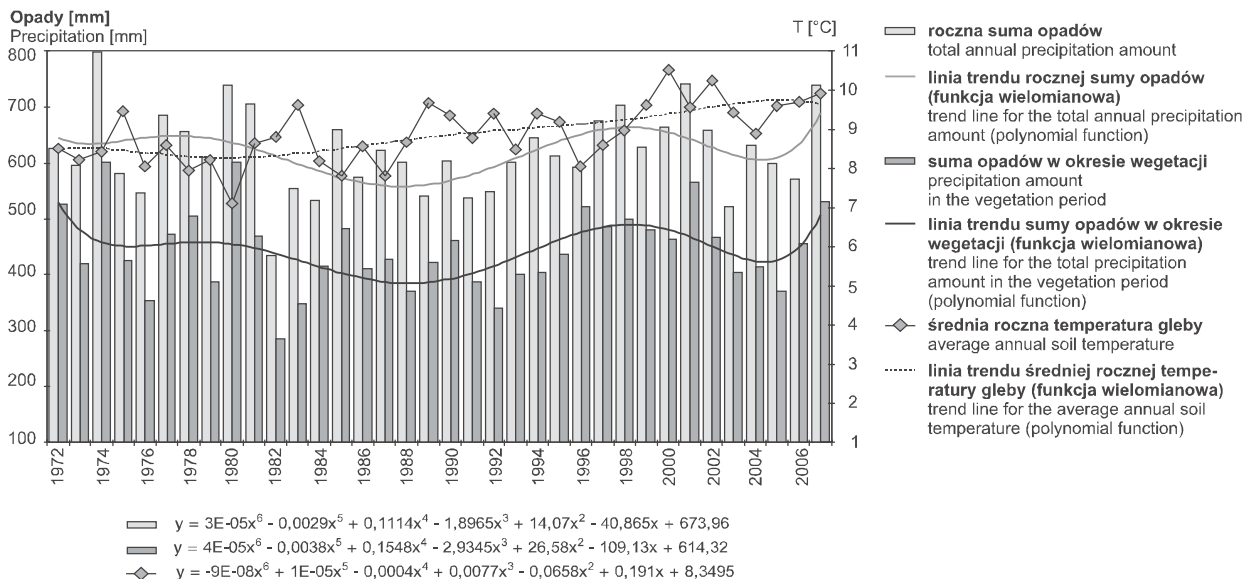
Wyszczególnienie Specification		W skali całego kraju On the all-Poland scale	RDLP w Białymstoku RDLP* in Białystok	RDLP w Krakowie RDLP in Kraków	RDLP w Poznaniu RDLP in Poznań
Roczna suma opadów atmosferycznych Annual total precipitation amount	1968-2007	620	585	888	502
	1968-1977	628	601	903	482
	1978-1987	609	586	874	478
	1988-1997	596	580	839	510
	1998-2007	646	575	937	538
Średnioroczna temperatura powietrza Average annual air temperature	1968-2007	7,8	6,7	6,8	8,6
	1968-1977	7,5	6,4	6,5	8,2
	1978-1987	7,1	5,9	6,3	7,9
	1988-1997	8,0	7,0	7,0	8,8
	1998-2007	8,4	7,5	7,5	9,4
Średnioroczna temperatura gleby Average annual soil temperature	1968-2007	8,9	8,3	9,1	9,6
	1968-1977	8,5	7,9	8,6	9,6
	1978-1987	8,3	7,7	8,6	9,1
	1988-1997	9,0	8,4	9,3	9,6
	1998-2007	9,6	9,1	10,0	10,1

* Regional Directorate of State Forests



Rycina 1. Powierzchnia występowania huby korzeni w lasach Polski

Figure 1. Area of occurrence of the root rot in Polish forests



Rycina 2. Średnie dla kraju wartości rocznej temperatury gleby oraz sumy opadów

Figure 2. Multi-annual averages of soil temperature and total precipitation amount on the all-Poland scale

W wykonanych analizach regresji wielokrotnej wysoka wartość skorygowanego współczynnika determinacji R^2 , a równocześnie istotnego na poziomie $p > 0,05$, wskazuje, że niemal cała zmienność powierzchni występowania huby korzeni może być wyjaśniona przebiegiem włączonych do modelu wartości temperatury gleby oraz wilgotności gleby, wyrażonej sumą opadów. Jest to zrozumiałe, gdyż z fitopatologicznego punktu widzenia proces chorobowy przebiega w środowisku glebowym. Rozwój huby korzeni w drzewostanie musi być poprzedzony silnym osłabieniem systemu korzeniowego drzew, zwykle spowodowanym przez czynniki abiotyczne, co predysponuje korzenie do infekcji i ułatwia rozwój patogenu w zaatakowanych tkankach.

Huba korzeni w uprawach i młodnikach

RDLP w Białymstoku

Przeprowadzone analizy (tab. 2) wykazały istotny, ale niezbyt silny związek (niskie wartości R^2) między rozprzestrzenieniem się huby korzeni w uprawach i młodnikach a temperaturą gleby i opadami atmosferycznymi. Najbardziej wiarygodny model regresji wielokrotnej [1] opisuje oceniane zależności z dokładnością 40% i odnosi się do zmienności występowania huby korzeni i warunków meteorologicznych w roku poprzedzającym o 2 lata rok oceny choroby.

$$R^2=0,40; p=0,0010; (p_{S-W} = 0,941; d_{D-W} = 1,641)$$

$$Y = -2597 - 385,8Tgl_{n-2}(I) + 183,1Tgl_{n-2}(V) + 299,8Tgl_{n-3}(XII) + 11,1\sum O_{n-2}(VI)$$

[1]

gdzie (legenda odnosi się do wszystkich algorytmów):

$Tgl(I) \dots (XII)$ – średnia temperatura gleby w danym miesiącu,

$\sum O(III) \dots (XI)$ – miesięczna suma opadów w danym miesiącu

Głęb.śn. – średnioroczna głębokość śniegu, mm;

Licz_dni_O – liczba dni z opadami w sezonie wegetacyjnym,

$(n = 0, 1, 2, 3)$ – liczba lat przed rokiem wykonania oceny występowania choroby

Według tego modelu wraz ze wzrostem temperatury gleby w maju i grudniu oraz wzrostem opadów atmosferycznych w czerwcu następuje zwiększenie intensywności choroby i arealu jej występowania w drzewostanie. Z kolei „ciepła zima”, wyrażona wyższą temperaturą gleby w styczniu, wpływa ograniczająco na rozprzestrzenianie się choroby w młodych drzewostanach na tym terenie.

RDLP w Krakowie

Z analiz danych dla terenu RDLP w Krakowie wynika, że model regresji wielokrotnej [2] opisuje zmienność występowania huby korzeni w drzewostanach w wieku do 20 lat z dokładnością 67%.

$$R^2 = 0,67; p > 0,0001; (p_{S-W} = 0,638; d_{D-W} = 2,403)$$

$$Y = 821 - 42,1Tgl_{n-1}(VI) - 19,3Tgl_{n-1}(VIII) + 20,5Tgl_{n-2}(IX) + 35,9Tgl_{n-2}(X) - 26,9Tgl_{n-2}(XII) - 1,2\sum O_{n-1}(III) + -1,1\sum O_{n-1}(IV) + 0,6\sum O_{n-1}(VI) - 1,1\sum O_{n-1}(VIII) + 1,2\sum O_{n-2}(X) - 1,4Licz_dni_O_{n-1}$$

[2]

Tabela 2. Wybrane charakterystyki klimatyczne istotnie skorelowane z występowaniem huby korzeni w lasach na terenie Polski oraz w wybranych regionach (RDLP)

Table 2. Selected climatic features significantly correlated with occurrence of the root rot in forests in Poland and in selected regions (regionale directorates of State Forests)

Wskaźnik Index		Uprawy i młodniki Plantations and young tree stands				Drzewostany w wieku powyżej 20 lat Tree stands over 20 years of age			
		Polska Poland	RDLP Białystok	RDLP Kraków	RDLP Poznań	Polska Poland	RDLP Białystok	RDLP Kraków	RDLP Poznań
Współczynnik determinacji R^2 Coefficient of determination R^2		0,51	0,40	0,67	0,40	0,71	0,75	0,75	0,46
<i>p</i>-wartości <i>p</i> -value		<0,0001	0,0010	<0,0001	0,0010	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004
Głębokość śniegu (cm) Snow depth (cm)		+1				-1		-1	
Liczba dni z opadami w okresie wegetacji Number of days with precipitation in the vegetation period				-1				-1	-1
Średnia miesięczna temperatura gleby (°C) Mean monthly soil temperature (°C)	I		-2			-1	-1		
	II	-1			+0	-1		-1	
	III	+1			-0				
	IV					+1	+1		
	V		+2						
	VI			-1		+1			-1
	VII					+1	+1		
	VIII	-1		-1					
	IX	+2		+2	-1	-2	-1	+1	
	X	+2		+2	+1				-1
	XI								
	XII	+2	+3	-2			-1	-1	
Miesięczna suma opadów atmosferycznych (mm) Monthly total precipitation amount	III			-1					
	IV			-1				-1	
	V						+1	+1	
	VI	+1	+2	+1			-1	+1	
	VII							-1	
	VIII	-1		-1					
	IX						-1		
	X			+2				+1	-1
	XI							+1	+1
	XII								

Symbole / Symboles:

0, 1, 2, 3 – liczba lat przed wystąpieniem zjawiska chorobowego / number of years before disease occurrence

„+” / „-” – pozytywny lub negatywny wpływ czynnika na występowanie huby korzeni / positive or negative impact on rot root occurrence

pogrubiona czcionka – zmienna istotna na poziomie $p<0,05$ bolded – variable significant at $p<0,05$

Najbardziej wiarygodny model zależności występowania powierzchni choroby od warunków meteorologicznych uzyskano w przypadku RDLP w Krakowie, na co wpłynęła temperatura gleby oraz opady zarówno w roku poprzedzającym wystąpienie choroby, jak i 2 lata wcześniej. Istotny, dodatni wpływ na wzrost areału huby korzeni miała zwłaszcza wysoka temperatura gleby i opady we wrześniu i październiku przed dwoma laty Tgl_{n-2} (IX) i (X). Negatywne oddziaływanie na wystąpienia patogenu w tym regionie miały: wyższe od przeciętnej temperatura gleby i opady atmosferyczne występujące w sierpniu. Podobne zależności (spowolnienie

procesu chorobowego) wynikające z modelu 2 odnoszą się do warunków wilgotnego marca i kwietnia w roku poprzedzającym występowanie huby korzeni. Uzyskane wyniki potwierdzają, że dobre zaopatrzenie systemu korzeniowego w wodę, zwłaszcza na początku sezonu wegetacyjnego, dodaje roślinie witalności i zwiększa jej oporność względem rozprzestrzeniającego się w korzeniach patogenu.

RDLP w Poznaniu

Dla terenu RDLP w Poznaniu analiza wielokrotnie wykazała niezbyt silną ($R^2=0,40$), ale statystycznie

istotną zależność pomiędzy arealem huby korzeni a temperaturą gleby w okresie zimy (koniec roku poprzedniego i początek bieżącego). Według modelu opisującego związek pomiędzy występowaniem korzeniowca w tym regionie a wybranymi elementami pogody [3], wzrost arealu choroby jest stymulowany wysoką temperaturą gleby w październiku poprzedniego roku i w lutym w roku oceny. Równocześnie wykazano, że wpływ temperatury gleby wyższej niż przeciętna w marcu i wrześniu danego roku na hubę korzeni jest negatywny.

$$R^2=0,40 ; p=0,0010; (p_{S-W} = 0,327; d_{D-W} = 1,422)$$

$$Y = 1521,7 + 145,9Tgl_{n-0}^{(II)} - 89,3Tgl_{n-0}^{(III)} + \\ - 102,7Tgl_{n-1}^{(IX)} + 87,7Tgl_{n-1}^{(X)} \quad [3]$$

Obszar całego kraju

W wyniku analizy przeprowadzonej dla uśrednionych wartości w skali całego kraju skonstruowano model [4], który wskazuje, że o rozwoju huby korzeni w młodnikach i uprawach decyduje przede wszystkim temperatura i wilgotność gleby w okresie 1–2 lat przed wystąpieniem choroby (zależności te w 51% wyjaśniają zmienność powierzchni tego zjawiska chorobowego). Dodatni znak zależności występowania choroby od temperatury gleby był znamieny dla wartości tego wskaźnika we wrześniu, październiku i grudniu oraz w marcu, ujemny natomiast dla średniej temperatury gleby w lutym i sierpniu, a także dla opadów atmosferycznych w sierpniu.

$$R^2=0,51 ; p=0,0012; (p_{S-W} = 0,033; d_{D-W} = 1,963)$$

$$Y = -0,87 - 2,64Tgl_{n-1}^{(II)} + 2,11Tgl_{n-1}^{(III)} - 1,52Tgl_{n-1}^{(VIII)} + \\ + 1,45Tgl_{n-2}^{(IX)} + 2,48Tgl_{n-2}^{(X)} - 1,81Tgl_{n-2}^{(XII)} + \\ + 0,05\sum O_{n-1}^{(VI)} - 0,10\sum O_{n-1}^{(VIII)} + 0,27\text{Głęb. śn}_{n-1} \quad [4]$$

Huba korzeni w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat

Wyniki analizy regresji wielokrotnej wskazują, że w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat zależności korelacyjne między rozwojem choroby a temperaturą gleby i opadami atmosferycznymi są silniejsze niż w przypadku upraw i młodników.

RDLP w Białymstoku

Jak wynika z przeprowadzonych analiz, między powierzchnią występowania huby korzeni a temperaturą gleby i opadami z roku poprzedniego istnieje istotny związek korelacyjny ($R^2=0,75$). W modelu [5] zwraca uwagę dodatnia wartość współczynników regresji w przypadku zależności pomiędzy arealem choroby a temperaturą gleby w kwietniu i lipcu oraz sumą opadów

maju. Z kolei ujemny znak tej zależności stwierdzono dla średniej miesięcznej temperatury gleby we wrześniu, grudniu i styczniu oraz dla sumy opadów w czerwcu i we wrześniu.

$$R^2=0,75; p<0,0001 (p_{S-W}=0,344; d_{D-W}=1,930)$$

$$Y = -9096,8 - 2503,1Tgl_{n-1}^{(I)} + 2351Tgl_{n-1}^{(IV)} + 921,8Tgl_{n-1}^{(VII)} + \\ - 1214,5Tgl_{n-1}^{(IX)} - 1836,6Tgl_{n-1}^{(XII)} + 86,3\sum O_{n-1}^{(V)} + \\ - 43,4\sum O_{n-1}^{(VI)} - 47,5\sum O_{n-1}^{(IX)} \quad [5]$$

RDLP w Krakowie

W drzewostanach RDLP w Krakowie również wykazano istotne zależności pomiędzy występowaniem choroby a temperaturą gleby i opadami atmosferycznymi w roku poprzednim ($R^2=0,75$). W tym regionie wpływ na występowanie choroby miała temperatura gleby w grudniu, lutym i we wrześniu. Dodatnia wartość współczynnika regresji w modelu [6] wskazuje, że rozwój huby korzeni jest stymulowany zarówno poprzez wyższą temperaturę gleby we wrześniu, jak i większe opady atmosferyczne w maju-czerwcu oraz październiku-listopadzie. Jak wynika z modelu, wyższa temperatura gleby w okresie zimowym (grudzień, luty), utrzymująca się pokrywa śniegu, a także częste opady w okresie wegetacji spowalniają rozwój choroby.

$$R^2=0,75; p<0,0001 (p_{S-W}=0,636; d_{D-W}=2,343)$$

$$Y = -6230 - 1775Tgl_{n-1}^{(II)} + 938Tgl_{n-1}^{(IX)} - 1868Tgl_{n-1}^{(XII)} + \\ + 56\sum O_{n-1}^{(IV)} + 32\sum O_{n-1}^{(V)} + 29\sum O_{n-1}^{(VI)} - 11\sum O_{n-1}^{(VII)} + \\ + 29\sum O_{n-1}^{(X)} + 156\sum O_{n-1}^{(XI)} - 467\sum O_{n-1}^{(IV)} \text{Głęb. śn}_{n-1} + \\ - 98\text{Liczn}_d_{n-1} \quad [6]$$

RDLP w Poznaniu

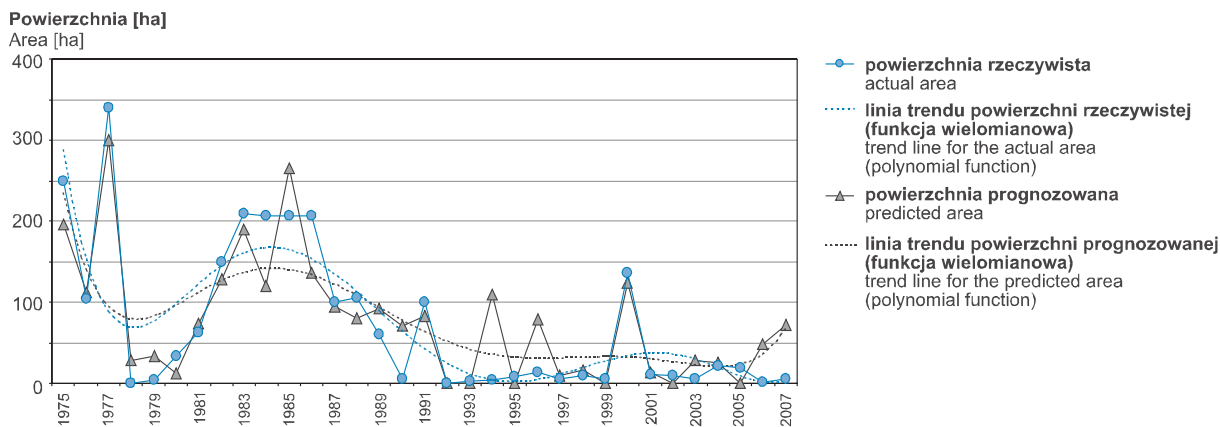
Dla terenu RDLP w Poznaniu analiza wielokrotna wykazała niezbyt silną ($R^2=0,46$), ale statystycznie istotną korelację pomiędzy arealem występowania huby korzeni a temperaturą gleby i opadami w roku poprzednim. Według uzyskanego modelu [7] rozwój huby korzeni jest spowalniany przez wysoką temperaturę gleby w czerwcu i wrześniu, częste opady w sezonie wegetacyjnym, a także obfite opady w październiku.

$$R^2=0,46, p=0,0004; (p_{S-W}=0,609; d_{D-W}=1,125)$$

$$Y = 25874 - 244\text{Głęb. śn}_{n-1} - 559Tgl_{n-1}^{(VI)} - 861Tgl_{n-1}^{(X)} + \\ - 716\sum O_{n-1}^{(X)} + 63\sum O_{n-1}^{(XI)} \quad [7]$$

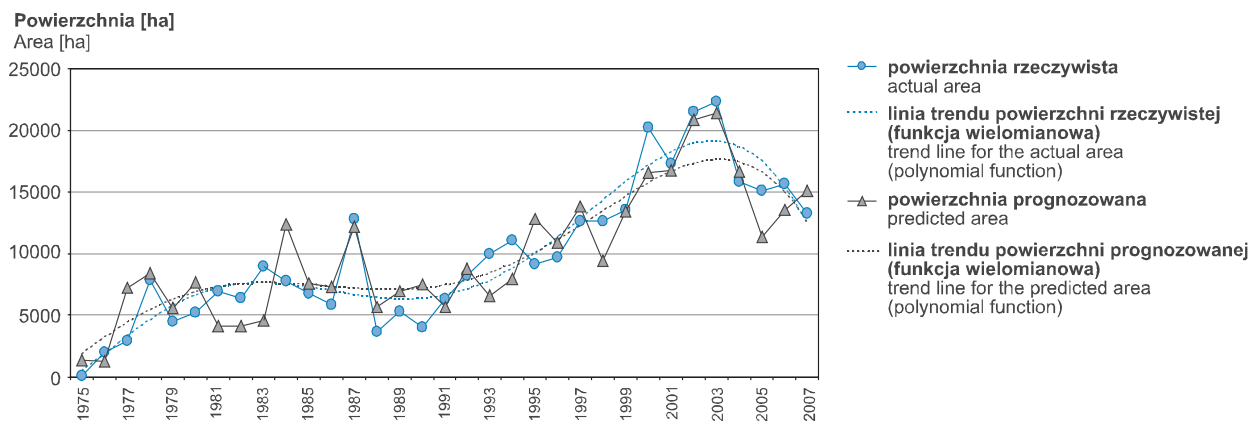
Obszar całego kraju

W skali całego kraju, między powierzchnią występowania choroby i temperaturą i wilgotnością gleby stwierdzono zależność dość silną i istotną statystycznie ($R^2=0,71$). Według modelu [8] rozwój huby korzeni jest



Rycina 3. Rzeczywista i prognozowana według modelu [2] powierzchnia występowania huby korzeni w uprawach i młodnikach na terenie RDLP w Krakowie ($R^2=0,67$, $p<0,0001$)

Figure 3. Actual and predicted (basing on the model [2]) area of rot root occurrence in plantations and young tree stands in RDLP in Kraków ($R^2=0,67$, $p<0,0001$)



Rycina 4. Rzeczywista i prognozowana według modelu [5] powierzchnia występowania huby korzeni w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat na terenie RDLP w Białymstoku ($R^2=0,75$, $p<0,0001$)

Figure 4. Actual and predicted (basing on the model [5]) area of rot root occurrence in tree stands over 20 years of age in RDLP in Białystok ($R^2=0,75$, $p<0,0001$)

determinowany wzrostem temperatury gleby w kwietniu, czerwcu i lipcu.

$$R^2=0,71 ; p<0,0001; (p_{S-W}=0,102; d_{D-W}=1,831)$$

$$Y = -162 - 21,26Tg_{n-1}(I) - 8,13Tg_{n-1}(III) + 15,13Tg_{n-1}(IV) + 13,59Tg_{n-1}(VI) + 10,33Tg_{n-1}(VII) - 14,26Tg_{n-2}(IX) + - 5,34 \text{ Głęb. śn}_{n-1} \quad [8]$$

Dodatnia temperatura gleby w styczniu oraz marcu i wrześniu, jak również wysoka pokrywa śnieżna, wywiera odwrotny wpływ, ograniczając areał występowania choroby.

Otrzymane wzory modeli zostały wykorzystane do obliczenia powierzchni występowania huby korzeni przy wystąpieniu odpowiednich warunków meteorologicznych gleby. Dane rzeczywiste porównano z danymi obliczonymi według modelu dla wybranych RDLP i kategorii wieku drzewostanów (ryc. 3 i 4). W

poszczególnych latach pomiędzy powierzchnią obserwowaną i obliczoną były pewne niezgodności, lecz pomimo tych odchyżeń trend zagrożeń obliczonych według zaproponowanych wzorów w dużym stopniu odpowiadał powierzchni zagrożenia rzeczywistego.

4. Dyskusja

Przeprowadzone analizy regresji wielokrotnej pozwoliły wyróżnić te miesięczne wartości temperatury gleby i sumy opadów atmosferycznych, które są istotnie skorelowane z przebiegiem procesu chorobowego powodowanego przez patogen w systemach korzeniowych. W tabeli 2 zestawiono parametry, dla których uzyskano statystycznie istotne wartości współczynnika determinacji w analizie regresji wielokrotnej.

Z analiz wynika, że w większości przypadków decydujący wpływ na rozwój choroby ma przebieg temperatury gleby we wrześniu, październiku i grudniu oraz suma opadów w czerwcu. Zależność występowania huby korzeni w lasach Polski od przebiegu temperatury i wilgotności gleby w dużym stopniu ma charakter regionalny i zależy od dominującego typu klimatu danego regionu, a także od wieku drzewostanów.

Otrzymane wartości współczynnika determinacji wskazują, że wpływ wybranych czynników klimatycznych na rozwój huby korzeni jest większy w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat niż w drzewostanach młodszych. Świadczyć to może o tym, że w drzewostanach starszych temperatura gleby i opady wpływają na rozwój choroby przede wszystkim pośrednio, przez zaburzenia w funkcjonowaniu systemów korzeniowych. Najsilniejszą zależność korelacyjną stwierdzono pomiędzy arealem huby korzeni w drzewostanach a temperaturą gleby i opadami w roku poprzednim

Z doświadczeń Fedorova (1984) wynika, że w warunkach Białorusi zarodnikowanie patogenu zaczyna się już w końcu kwietnia - na początku maja, kiedy średnia dobowa temperatura gleby, nagrzewającej się po okresie zimy, osiąga 5–8°C; wysiew zarodników ustaje z nastaniem trwałych mrozów. Maksymalna aktywność wytwarzania zarodników osiągana jest w lipcu – sierpniu. Wyniki te w warunkach Polski zostały pośrednio potwierdzone przez prezentowane tu analizy statystyczne. Wzrost temperatury gleby w kwietniu i lipcu związany ze wzrostem aktywności patogenu zwiększa areal występowania huby korzeni (dodatnia wartość współczynnika regresji), ciepła natomiast pogoda we wrześniu, grudniu i styczniu wyraża się spowolnieniem rozwoju procesu chorobowego.

Uzyskane wyniki wskazują również na dodatni wpływ obfitych opadów w maju i w listopadzie na rozwój choroby w drzewostanach starszych klas wieku. Z kolei częste opady w okresie wegetacyjnym i głęboka pokrywa śnieżna zimą zwiększają oporność drzewostanów na rozprzestrzenianie się choroby.

W uprawach i młodnikach choroba jest powodowana przede wszystkim w wyniku infekcji pierwotnej przez zarodniki obecne w glebie oraz przez infekcje wtórne pomiędzy korzeniami zainfekowanych drzew. Na istotny statystycznie wzrost powierzchni występowania choroby najsilniejszy wpływ miały temperatura gleby i opady występujące w drzewostanach 2 lata wcześniej. Taka odległość czasowa jest przesłanką do stwierdzenia, że anomalie temperatury gleby i opadów mają w pierwszej kolejności wpływ na osłabienie fizjologiczne drzew (np. przemrożenie czy wysuszenie korzeni).

Sprzyja to infekcji korzeni w tak osłabionych drzewach i ich zamieraniu, co wpływa na rozprzestrzenianie się choroby w drzewostanie. Okres 2 lat okazuje się być optymalnym dla rozwoju patogenu w systemach korzeniowych i znacznego wzrostu arealu choroby. Jedynie w uprawach i młodnikach na terenie RDLP w Poznaniu (region obniżonych opadów) istotny wpływ na rozwój choroby miała temperatura gleby już jesienią roku poprzedniego, a nawet wiosną roku bieżącego. Wynikać może to z faktu, że w tym regionie spory jest udział upraw i młodników założonych na glebach porolnych¹, w których większą rolę w rozwoju choroby mogą odgrywać infekcje pierwotne. W takiej sytuacji temperatura i wilgotność gleby może mieć bezpośrednio większy wpływ na żywotność systemów korzeniowych i proces ich zakażenia, niż na przemieszczanie się grzybni pomiędzy systemami korzeniowymi (infekcje wtórne).

Korhonen i in. (1998) podają, że dla wzrostu grzybni w warunkach laboratoryjnych optymalne warunki temperatury powietrza to 20–22°C, w których dobowy przyrost grzybni może osiągać 6,5–9 mm. Temperatura gleby, zwłaszcza w okresie wegetacji, jest w znacznym stopniu wprost proporcjonalna do temperatury powietrza. Prezentowane tu badania dotyczące wielkości zagrożenia upraw i młodników nie potwierdziły statystycznie istotnych zależności z temperaturą gleby w okresie wegetacji. Z dodatnich wartości współczynnika regresji wynika, że rozwój huby w uprawach i młodnikach jest stymulowany raczej przy stosunkowo wysokiej temperaturze gleby pod koniec okresu wegetacji (wrzesień–październik) i na początku zimy (w grudniu), a także w warunkach opadów atmosferycznych w czerwcu. I odwrotnie - w warunkach ciepłej i wilgotnej gleby w sierpniu stwierdza się zahamowanie rozwoju huby korzeni w drzewostanie. Może to oznaczać, że na skutek opadów atmosferycznych wysoka wilgotność gleby sprzyja dobremu zaopatrzeniu korzeni w wodę i substancje pokarmowe z gleby, a tym samym zwiększa aktywność reakcji odpornościowych na atak patogenu.

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Zależność występowania huby korzeni w lasach Polski od przebiegu temperatury i wilgotności gleby ma charakter regionalny i jest uwarunkowana kategorią wieku drzewostanów.

¹ Z. Sierota (red.) Wpływ chorób infekcyjnych na gospodarkę leśną – aspekt ekologiczny, ekonomiczny, granice ryzyka. Dokumentacja. Warszawa IBL, 2006

2. Wpływ wybranych wskaźników meteorologicznych na rozwój huby korzeni jest większy w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat.

3. Najsilniejszą zależność korelacyjną uzyskano pomiędzy areałem huby korzeni w drzewostanach starszych a temperaturą gleby i opadami atmosferycznymi w roku ubiegłym.

4. Rozwój huby w uprawach i młodnikach jest stymulowany przy stosunkowo wysokiej temperaturze gleby pod koniec okresu wegetacji (wrzesień–październik) i na początku zimy (w grudniu), a także przy wystarczających opadach w czerwcu. W warunkach cieplej i wilgotnej gleby w sierpniu stwierdza się natomiast zahamowanie rozwoju huby korzeni w drzewostanie.

5. W drzewostanach w wieku powyżej 20 lat wzrost temperatury gleby w kwietniu i lipcu powoduje wzrost aktywności huby korzeni, natomiast ciepła pogoda we wrześniu, grudniu i styczniu spowalnia proces chorobowy.

6. Znaczący wpływ na rozwój choroby w większości przypadków ma temperatura gleby we wrześniu, październiku i grudniu oraz suma opadów w czerwcu.

Literatura

- Fedorov N.I. 1984. Kornevyje gnili hvojnynh porod. Moskva, Lesnaja promyšlennost.
- Cooding G.V., Hodges C.S., Ross E.W. 1966. Effect of temperature on growth and survival of *Fomes annosus*. *Forest Science*, 12, 325–333.
- Korhonen K. & Stenlid J. 1998. Biology of *Heterobasidion annosum* [w:] Woodward S., Stenlid J., Karjalainen R. & Hüttermann A. (eds). *Heterobasidion annosum*. Biology, ecology, impact and control. CABI International, ISBN 9780851992754; 43–70.
- Mańka, K. 2005. Fitopatologia leśna. Wyd. 6. PWRiL, Warszawa.
- Mozolevskaja, E.G., Davidenko, M.V. 1987. Prognoz odpada sosny w oćagah kornevoj gubki. *Lesnoe hozjajstvo*, 3: 61–62.
- Niegrutskij, S.F. 1973. Kornevaja gubka. Moskva, Lesnaja promyšlennost, 200.