

Elżbieta Chomicz¹ ✉, Stanisław Niemtur¹

Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich

Occurrence of butt rot in selected spruce stands in the Western Carpathians

Abstract: Occurrence and extent of butt rot in 5 selected spruce stands in the Western Carpathians was assessed. In each stand 30-tree sample (60-tree sample in 2 stands) was diagnosed with aid of Picus Sonic Tomograph, found as credible instrument for quantification of decay. The proportion of trees with butt rot ranged from 27 to 90 % and hinged on stand age and elevation. The highest level of damage caused by wood decaying fungi occurred in the oldest stands in Wisła Forest District; the difference was statistically significant. This indicated that silviculture principles, especially felling age, for being in rot danger stands should be improved in order to avoid serious economic losses and tree stability impairment.

Key words: *Picea abies*, spruce stands, butt rot, wood decay fungi, acoustic tomography, Picus Sonic Tomograph, Western Carpathians.

1. WSTĘP

Lasy Karpat Zachodnich charakteryzują się nienaturalnie dużym udziałem świerka (*Picea abies*) w strukturze gatunkowej drzewostanów. W niektórych nadleśnictwach beskidzkich udział drzewostanów świerkowych przekracza 90% (Wisła – 96,8%, Ujsoły – 92,5%) (Niemtur 2007). Jednym z głównych problemów w hodowli tego gatunku jest podatność drewna na zgniliznę powodowaną przez grzyby (Kohnle et Kändler 2007). Szczególne znaczenie ma obecność zgnilizny w odziomkowej części pnia, oznaczająca z jednej strony deprecjację najwartościowszego surowca, z drugiej – większe ryzyko wiatrołomów i wiatrowałów, będących poważnym zagrożeniem trwałości lasów w górach.

Wśród licznych mikroorganizmów mogących powodować zgniliznę odziomkową świerków (Norokorpi 1979), najczęściej wymieniane są grzyby z rodzaju korzeniowiec *Heterobasidion* spp. oraz opieńka *Armillaria* spp. (Domański 1968, Krzan 1986, Kohnle et Kändler 2007). Działalność tych patogenów powoduje rozkład drewna korzeni, po czym zgnilizna przenika do pnia, gdzie długość strefy uszkodzonego drewna przekracza nieraz 5 m, a w ekstremalnych przypadkach sięga nawet do 25 m wysokości strzały (Bruchwald 1984).

Na rozwój choroby ma wpływ szereg czynników środowiskowych i drzewostanowych. Autorzy zajmujący się problematyką zgnilizny w drzewostanach świerkowych wskazują na wzrost udziału pni dotkniętych rozkładem drewna wraz ze wzrostem udziału świerka w składzie gatunkowym drzewostanu (Bruchwald 1984, Lech et Żółciak 2006) oraz z wiekiem (Norokorpi 1979, Krzan 1985, Bernadzki 2003, Barszcz 2004) i wzrostem zapasu drzewostanu (Bruchwald 1984, Rymer-Dużińska 1986). Rozprzestrzenienie choroby zależy także od jakości siedliska (Twarowski et Twarowska 1959, Lech et Żółciak 2006), warunków pogodowych i klimatycznych, różniących się w zależności od położenia drzewostanu na różnych wysokościach n.p.m. (Twarowski et Twarowska 1959, Mańka 1998) oraz innych czynników stresowych.

Brak wyraźnego związku między ogólną kondycją poszczególnych świerków a występowaniem zgnilizny drewna twardzielowego w ich odziomkach (Krzan 1985) powoduje, że działalność grzybów w drzewostanie jest często trudna do stwierdzenia, a chorobę można zdiagnozować zwykle dopiero po ścięciu drzewa (Mańka 1998).

Dotychczasowe badania nad występowaniem i zasięgiem zgnilizny drewna w drzewostanach, ze względu

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Gospodarki Leśnej Regionów Górskich, Fredry 39, 30–605 Kraków,

✉ Fax 00 48 122528211, e-mail: E.Chomicz@ibles.waw.pl

na ograniczone możliwości techniczne, opierały się zasadniczo na ocenie zasiedlenia pniaków, uzupełnionej obserwacją zewnętrznych objawów obecności patogenów grzybowych, w przypadku zaś drzew stojących – na analizie wywierćw dordzeniowych pobieranych na wysokości pierśnicy (Mattila et Nuutinen 2007) lub w szyi korzeniowej (Krzan 1985). Oba sposoby dostarczają przybliżonych informacji na temat obecności i zasięgu zgnilizny drewna, ale właściwa ocena patogenicznej aktywności grzyba w starszym drzewostanie wymaga specjalnych metod naukowo-diagnostycznych (Domański 1968). Krzan (1985) stwierdza, że precyzyjna ocena rozmiarów choroby w drzewostanach świerkowych może być dokonana jedynie przy zastosowaniu dwóch metod: ścięcia i analizy strzał wszystkich świerków na powierzchniach badawczych lub przy zastosowaniu tomografii komputerowej.

Tomografia jest zbiorem metod diagnostycznych pozwalających na rekonstrukcję przekroju poprzecznego pnia poprzez pomiar przemieszczającej się przez niego energii, przy czym różne rodzaje energii dostarczają informacji na temat poszczególnych właściwości drewna (Nicolotti et al. 2003). Jedną z technik tomograficznych, które znalazły zastosowanie w diagnostyce uszkodzeń drzew, jest tomografia akustyczna, opierająca się na związku prędkości rozchodzenia się fali dźwiękowej z gęstością ośrodka. Obecność zgnilizny w pniu wiąże się zwykle ze zmniejszeniem gęstości drewna, powodując tym samym zmniejszenie prędkości fali akustycznej w momencie przechodzenia przez uszkodzony obszar (Nicolotti et Miglietta 1998). Wzbudzenie impulsów akustycznych w punktach pomiarowych rozmieszczonych na obwodzie pnia, a następnie rejestracja prędkości dźwięków rozchodzących się pomiędzy nimi, pozwala na uzyskanie swego rodzaju mapy gęstości drewna przekroju poprzecznego pnia, czyli tomogramu.

Celem badań była ocena rozmiaru występowania zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych na terenie Karpat Zachodnich. Wiedza na ten temat jest istotna dla określenia znaczenia gospodarczego problemu oraz ustalenia możliwości ograniczenia patogenicznej działalności grzybów. W badaniach, po raz pierwszy w Polsce, zastosowano technikę tomografii

akustycznej, przy użyciu tomografu Picus Sonic. Urządzenie było dotychczas stosowane na świeczie do określenia zdrowotności pojedynczych drzew, stąd celem badań było również sprawdzenie przydatności przyjętej metodyki w diagnozowaniu całych drzewostanów.

2. Obiekt badań

Badania prowadzono na obszarze Beskidu Śląskiego i Żywieckiego, na terenie Nadleśnictw: Myślenice, Nowy Targ, Wisła i Węgierska Górka (ryc. 1).

Do analiz wybrano lite świerczyny. Jedynie na powierzchni w Leśnictwie Bukowiec w drzewostanie występowała sporadyczna domieszka jodły i modrzewia oraz rzadkie podokapowe piętro bukowe.

Powierzchnie badawcze były położone na wysokości od 658 do 1210 m n.p.m. (tab. 1).

Przyjęte w pracy nazwy powierzchni pochodzą od nazw leśnictw, w których zostały one zlokalizowane.

Powierzchnie Sidzina i Police zlokalizowano na stokach Policy (1369 m n.p.m.), w strefie przejściowej regla dolnego i górnego.

Powierzchnie Bukowiec i Zapowiedź założono w piętrze regla dolnego, w wyłączonych drzewostanach nasiennych (WDN) świerka istebniańskiego. Drzewostany, reprezentujące najcenniejsze ekotypy świerka w

Tabela 1. Lokalizacja powierzchni badawczych

Table 1. Location of study plots

Nadleśnictwo Forest district	Leśnictwo Forest inspectorate	Oddz. Comp.	Lokalizacja GPS GPS location		Wysokość n.p.m. Elevation
			N	E	
Myślenice	Sidzina	146a	49°36'31"	19°38'94"	1050
Nowy Targ	Police	204d	49°37'17"	19°35'90"	1150
Wisła	Bukowiec	149h	49°34'41"	18°50'40"	658
Węgierska Górka	Sikorczane	205	49°36'64"	19°00'66"	1210
Wisła	Zapowiedź	109b	49°32'14"	18°55'43"	680



Rycina 1. Położenie powierzchni badawczych

Figure 1. Location of study plots

Tabela 2. Charakterystyka drzewostanów na powierzchniach badawczych

Table 2. Stand characteristics on the study plots

Nazwa powierzchni Plot name	<i>W</i> [lata]	<i>B</i>	<i>Z</i>	<i>N</i> [szt./ha]	<i>D</i> [cm]	<i>G</i> [m ² /ha]	<i>H</i> [m]	<i>V</i> [m ³ /ha]	<i>P</i> [%]
Sidzina	100	II	0,8	600	31,0	45,38	26,3	552	1,5
Police	69	II	1,1	940	28,0	57,92	22,6	601	2,0
Bukowiec	157	I	1,4	220	55,7	53,71	46,1	1092	0
Sikorczane	83	IV	1,1	640	29,5	43,68	18,2	362	12,3
Zapowiedź	111	I	1,0	236	48,8	43,45	39,3	790	2,5

Objaśnienia: *W* – wiek, *B* – klasa bonitacji, *Z* – wskaźnik zadrzewienia, *N* – liczba drzew, *D* – przeciętna pierśnica, *G* – pierśnicowe pole przekroju, *H* – średnia wysokość, *V* – zasobność, *P* – udział posuszu w masie drzewostanu

Explanation: *W* – age [years]; *B* – bonitation class; *Z* – stand density; *N* – number of trees [trees/ha]; *D* – mean D.B.H.; *G* – stand basal area; *H* – mean height; *V* – stock; *P* – share of dead wood in stand volume

całym jego zasięgu, wyraźnie przewyższały pozostałe pod względem wieku, wymiarów drzew i zasobności (tab. 2). Rekordową zasobność osiągał drzewostan na powierzchni Bukowiec, pomimo widocznego przerzedzenia. W drzewostanie Bukowiec obserwowano zamieranie świerków atakowanych przez owady kambiofagiczne.

Powierzchnia Sikorzane położona była w przy-szczytowych partiach Baraniej Góry i reprezentowała górnoregłowy bór świerkowy. Drzewostan wyróżniał się najniższą zasobnością przy największym udziale posuszu (tab. 2). W sąsiedztwie północnej granicy powierzchni udział drzew obumarłych w drzewostanie miejscami przekraczał 50%. Występowała także znaczna ilość drzew z uszkodzeniami koron. Wysoki udział posuszu spowodowany był czynnikami biotycznymi.

3. Metodyka badań

W badaniach zastosowano tomograf Picus Sonic, firmy Argus Electronic gmbh, Rostock, Niemcy. Urządzenie, działając na zasadzie tomografii akustycznej, w bezinwazyjny sposób rozpoznaje wewnętrzną strukturę drewna, dostarczając informacji nie tylko o obecności zgnilizny, ale także o jej rozmiarze i lokalizacji wewnątrz pnia drzewa stojącego (Rust et Göcke 2000). W konstrukcji tomografu Picus Sonic rozwiązaniem nowym w stosunku do innych tego typu urządzeń jest zastosowanie prędkości względnej w algorytmach rekonstruujących przekrój poprzeczny pnia (Göcke et al. 2007). System pomiarowy kalibruje się automatycznie przy każdym pomiarze, poprzez porównywanie prędkości dźwięków rejestrowanych na danym poziomie pomiarowym, dzięki czemu możliwe jest wykrycie uszkodzeń także o mniejszych rozmiarach (Rabe et al. 2004). Obszerniejsze informacje na temat tomografu

Picus Sonic znajdują się we wcześniejszej publikacji autorki (Chomicz 2007).

Prace terenowe

W każdym obiekcie, w reprezentatywnej dla danego wydzielenia części drzewostanu, założono powierzchnię o wymiarach 50×50 m. Drzewa na powierzchni ponumerowano, pomierzono ich pierśnice, a dla kilkunastu drzew w różnych klasach grubości określono wysokość. Pomiarem pierśnic objęto także drzewa martwe i obumierające, rejestrując je jako posusz. Za pomocą świdra Presslera nawiercono po 30 drzew z drzewostanu głównego (według klasyfikacji Krafca) na wysokości pierśnicy. Z populacji drzew na powierzchni badawczej wybrano próbę losową 30 sztuk, które przebadano za pomocą tomografu Picus Sonic. Na powierzchniach Sidzina i Police wybrano po 60 drzew w celu lepszego rozpoznania prawidłowości funkcjonowania tomografu.

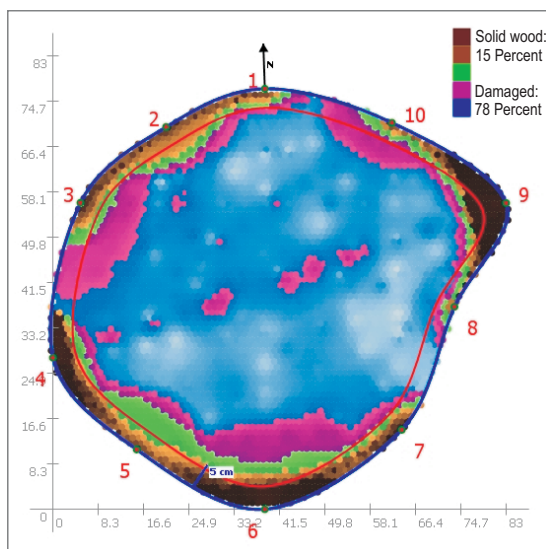
Do badania tomografem używano 8 do 10 punktów pomiarowych, w zależności od rozmiarów drzew. Poziom pomiarów określano na każdym pniu na wysokości 10 cm od powierzchni ściółki, mierząc od górnej strony stoku. Elektrody umieszczano dookoła pnia w płaszczynie poziomej, na nabiegach korzeniowych i w zagłębieniach pomiędzy nimi, zgodnie z instrukcją producenta. Czujnik numer 1 umieszczano zawsze od strony północnej. W każdym punkcie pomiarowym wbijano elektrodę do momentu uzyskania jej kontaktu z drewnem, łączono magnetycznie z czujnikiem, po czym 3-krotnie, metalowym młotkiem wersji Lite, wzbudzano impuls dźwiękowy na kolejnych elektrodach. Kształt przekroju poprzecznego pnia odtwarzany był przez pomiar odpowiednich odległości pomiędzy punktami pomiarowymi za pomocą urządzenia Picus Calliper. Po przesłaniu drogą radiową informacji z czujników do notebooka, tomogramy przekrojów poprzecznych pnia

były generowane przez program Picus PC Programm Version Q71.6.

Na powierzchniach Sidzina i Police ścięto po 10 drzew z tak określoną zgnilizną wewnętrzną odziomków, w celu sprawdzenia prawidłowości wskazań tomografu. Tomogramy porównano z powierzchnią pniaków, wzrokowo oceniając podobieństwo rozmiaru i kształtu obszaru drewna uszkodzonego. Jako dokumentację wykonano zdjęcia powierzchni pniaków. Poczynione obserwacje miały charakter orientacyjny, stąd nie wykonywano analiz statystycznych odnoszących się do zgodności tomogramu z fotografią.

Opracowanie wyników

Na podstawie pomiarów na powierzchniach badawczych określono liczbę drzew N , przeciętną pierśnicę drzewostanu D , pierśnicowe pole przekroju drzewostanu G , średnią wysokość drzewostanu H , zasobność V oraz udział procentowy posuszu w masie drzewostanu P . Przeciętną pierśnicę określono z przeciętnego przekroju poprzecznego drzewostanu, średnią wysokość obliczono wzorem Loreya, miąższość określono za pomocą tablic miąższości drzew stojących (Czuraj et al. 1966). Za wiek drzewostanu W przyjęto wiek pierśnicowy, określony na podstawie wywierćów świdrem przyrostowym według udziału miąższościowego, zgodnie ze wzorem Block'a (Szymkiewicz 1971). Określono klasę bonitacji drzewostanu B oraz wskaźnik zadrzewienia Z .



Rycina 2. Szczegółowy tomogram świerka nr 79 z powierzchni Bukowiec. Numery 1–10 oznaczają miejsca umieszczenia punktów pomiarowych (elektrod i czujników), strzałką zaznaczono kierunek północy
Figure 2. Tomogram of spruce no. 79 from Bukowiec study plot. Numbers 1–10 indicate location of measurement points (electrodes and sensors), arrow shows the North direction

Analiza tomogramów

Drewno przekroju poprzecznego pnia każdego badanego drzewa przydzielono do jednej z trzech kategorii: *drewno zdrowe* – kolor ciemnobrazowy i jasnobrazowy na tomogramie, *drewno uszkodzone* – kolor niebieski i fioletowy, oraz *drewno niezidentyfikowane* – kolor zielony. Udział drewna danej kategorii obliczany był przez program Picus automatycznie, jako procent powierzchni odpowiedniego koloru w stosunku do całej powierzchni tomogramu. Na tomogramie udział kategorii drewna został wygenerowany w formie legendy (ryc. 2).

Na podstawie udziału procentowego powierzchni drewna uszkodzonego na tomogramach, badane drzewa zakwalifikowano do następujących klas:

Klasa uszkodzenia	Udział drewna uszkodzonego na powierzchni tomogramu (%)
0	0
1	1–10
2	11–20
3	21–30
4	31–40
5	41–50
6	>50

Przykłady tomogramów przedstawione na rycinie 3 ilustrują, jaki zasięg zgnilizny reprezentują poszczególne klasy.

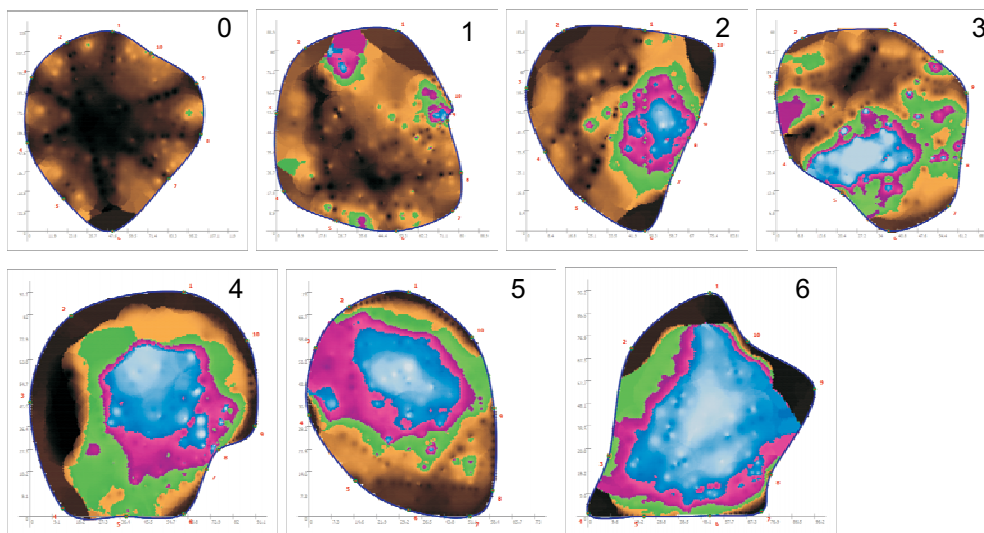
Analiza statystyczna

Dane na temat liczby drzew zdrowych (klasa 0) na powierzchni oraz drzew ze stwierdzoną zgnilizną (suma drzew w klasach 1–6) zostały poddane analizie frekwencji metodą tablic kontyngencji (Tadeusiewicz et al. 1993).

Powierzchnie zostały porównane pod względem średniego udziału procentowego powierzchni drewna uszkodzonego na tomogramie. Ze względu na charakter danych (brak rozkładu normalnego, niejednorodność wariancji), do badania statystycznej istotności różnic zastosowano nieparametryczną analizę wariancji z wykorzystaniem testów Kruskala-Wallisa oraz mediany χ^2 .

Dla drzew ze stwierdzoną zgnilizną sprawdzono, czy występuje istotny statystycznie związek pomiędzy udziałem procentowym powierzchni drewna uszkodzonego na tomogramie a pierśnicą drzewa. Współczynnik korelacji Pearsona obliczono dla drzew z 5 powierzchni łącznie.

Obliczenia wykonano za pomocą procedur zawartych w pakiecie Statistica 8.0.



Rycina 3. Tomogramy świerków z powierzchni Bukowiec: 0 – klasa 0 (0% drewna uszkodzonego), 1 – kl. 1 (6% d. uszk.), 2 – kl. 2 (18% d. uszk.), 3 – kl. 3 (25% d. uszk.), 4 – kl. 4 (34% d. uszk.), 5 – kl. 5 (46% d. uszk.), 6 – kl. 6 (68% d. uszk.)

Figure 3. Tomograms of spruces from Bukowiec study plot: 0 – class 0 (no damaged wood recorded); 1 – class 1 (6% of damaged wood); 2 – class 2 (18%); 3 – class 3 (25%); 4 – class 4 (34%); 5 – class 5 (46%); 6 – class 6 (68%)

4. Wyniki

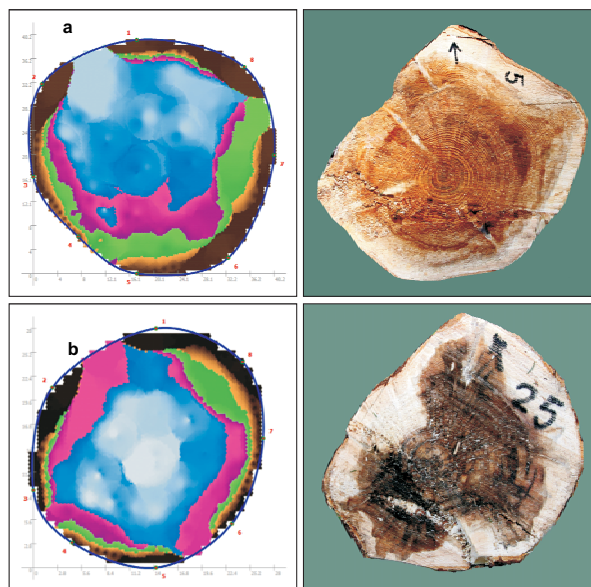
Wszystkie przypadki zidentyfikowania zgnilizny za pomocą tomografu zostały potwierdzone po ścięciu drzewa. Porównanie tomogramów z obrazami powierzchni pniaków po ścinie potwierdziło także dużą zbieżność wskazań tomografu z rzeczywistym rozmiarem i kształtem obszaru uszkodzonego drewna na przekroju poprzecznym pnia (ryc. 4).

Pewne odchylenia kształtu tomogramów od przekroju pnia na zdjęciach wynikają z różnic w wysokości ścinki, nie zawsze możliwej do wykonania na poziomie pomiaru (ścinka wykonywana była zwykle nieco wyżej) oraz od sposobu odwzorowywania geometrii przekroju przez program Picus (wygładzanie linii pomiędzy punktami pomiarowymi). Z tych względów odniesienie kształtu tomogramu do kształtu pniaka na fotografii nie może być podstawą jednoznacznych informacji liczbowych na temat dokładności pomiaru.

Drzewostany na poszczególnych powierzchniach badawczych były w różnym stopniu zaatakowane przez grzyby powodujące zgniliznę odziomkową. Udział pni ze zgnilizną mieścił się w zakresie od 27% przebadanych drzew na powierzchni Sikorzczane do 90% na powierzchni Bukowiec (tab. 3). Analiza frekwencji wykazała istotne statystycznie różnice w liczbie drzew zdrowych i dotkniętych rozkładem pomiędzy powierzchniami ($\chi^2 = 34,87$; $\alpha = 0,05$). Dalsze porównanie powierzchni metodą „każda z każdą” pozwoliła stwierdzić, że brak istotnych różnic występuje jedynie w parach Police

–Sikorzczane ($\chi^2 = 0,16$), Police–Zapowiedź ($\chi^2 = 3,33$) oraz Sidzina–Zapowiedź ($\chi^2 = 0,36$).

Największy udział zgnilizny drewna stwierdzono w drzewostanie nasiennym na powierzchni Bukowiec. W przebadanej próbie prawie wszystkie drzewa były w



Rycina 4. Porównanie tomogramu z powierzchnią pniaka po ścinie – przykłady. Powierzchnia Sidzina: a – drzewo nr 5, b – drzewo nr 25.

Figure 4. Examples of tomograms – stump surface pictures comparisons. Study plot Sidzina: a – tree no. 5; b – tree no. 25

Tabela 3. Udział drzew w klasach według udziału drewna uszkodzonego na tomogramie

Table 3. Share of trees in classes* of butt rot extend as revealed by Picus Sonic measurements

Powierzchnia badawcza Study plot	Jednostki Unit	Liczba / udział drzew w klasach Number / share of trees in classes							Suma (1–6) Total (1–6)
		0	1	2	3	4	5	6	
Sidzina	szt.	24	12	13	5	1	2	3	36
	%	40	20	22	8	2	3	5	60
Police	szt.	40	9	2	2	2	3	2	20
	%	68	15	3	3	3	5	3	32
Bukowiec	szt.	3	5	5	5	3	7	2	27
	%	10	17	17	17	10	22	7	90
Sikorczane	szt.	22	6	2	-	-	-	-	8
	%	73	20	7	-	-	-	-	27
Zapowiedź	szt.	14	2	5	5	1	-	3	16
	%	46	7	17	17	3	-	10	54

* Share of damaged wood in different classes is as follow: class 0 – 0%, class 1 – 1-10%, class 2 – 11-20%, class 3 – 21-30%, class 4 – 31-40%, class 5 – 41-50%, class 6 – >50%

jakimś stopniu dotknięte zgnilizną odziomkową, przy czym największy był udział drzew zaliczonych do klasy 5, w której zgnilizna wewnętrzna zajmuje od 41 do 50% powierzchni tomogramu (tab. 3). Na tej powierzchni również zdiagnozowano drzewa o największym udziale drewna uszkodzonego na przekroju poprzecznym (68 i 79% powierzchni tomogramu zajmowała zgnilizna wewnętrzna).

Mniej uszkodzony przez grzyby powodujące zgnilizny wewnętrzne okazał się drzewostan nasienny w leśnictwie Zapowiedź, jednak i tu ponad połowa z przebadanych drzew wykazywała zmiany chorobowe w wewnętrznej strukturze drewna (tab. 3).

Wśród powierzchni założonych na stokach Policy, drzewostan na powierzchni Sidzina był w większym stopniu dotknięty problemem zgnilizny odziomkowej niż drzewostan na powierzchni Police, gdzie zdiagnozowano prawie dwukrotnie mniej drzew przedstawiających różne fazy rozkładu drewna (tab. 3). Liczba drzew silnie uszkodzonych – klasy 5 i 6 – była niewielka i podobna na obu powierzchniach.

Górnoreglowy drzewostan na powierzchni Sikorzane wyróżniał się wśród przebadanych drzewostanów najmniejszym udziałem drzew zainfekowanych przez grzyby powodujące rozkład drewna. Zdecydowana większość drzew nie przedstawiała śladów uszkodzeń wewnątrz pnia oraz brak było drzew, u których drewno uszkodzone zajmowałoby więcej niż 20% powierzchni tomogramów (tab. 3).

Próby drzew różniły się także pod względem udziału powierzchni drewna uszkodzonego wykazanej na tomogramach (ryc. 5, tab. 4).

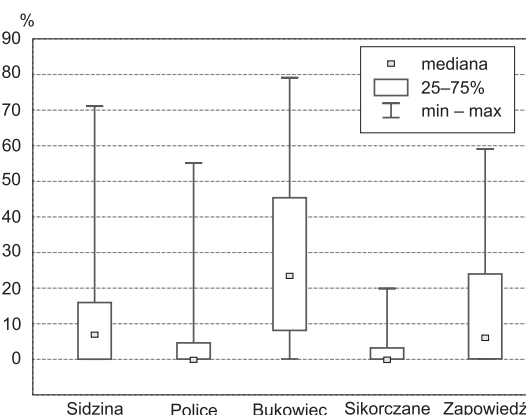
**Rycina 5. Porównanie grup drzew z poszczególnych powierzchni badawczych pod względem udziału powierzchni drewna uszkodzonego na tomogramach**

Figure 5. Comparison of shares of damaged wood on the tomograms of trees from study plots

Tabela 4. Średni udział drewna uszkodzonego na powierzchni tomogramu

Table 4. Average share of damaged wood on the tomogram

Powierzchnia badawcza Study plot	%
Sidzina	11,7
Police	7,3
Bukowiec	26,9
Sikorczane	2,5
Zapowiedź	14,4

Wynik nieparametrycznej analizy wariancji względem tej cechy wskazuje na obecność istotnych różnic pomiędzy średnimi w grupach (test mediany $\chi^2 = 36,62$; $p < 0,0001$, test Kruskala-Wallisa $H = 42,98$; $p < 0,0001$). Porównania wielokrotne wskazują, że drzewostan na powierzchni Bukowiec różnił się istotnie od pozostałych (test Kruskala-Wallisa $H = 42,98$; Bukowiec – Sidzina $p = 0,0071$; Bukowiec – Police $p < 0,0001$; Bukowiec – Sikorczone $p < 0,0001$; Bukowiec – Zapowiedź $p = 0,0497$); istotna różnica wystąpiła też pomiędzy drzewostanami na powierzchniach Sidzina i Sikorczone ($p = 0,0473$). Test nie wykazał istotnych różnic pomiędzy pozostałymi grupami, przy czym w przypadku porównania par powierzchni Sidzina i Zapowiedź oraz Police i Sikorczone wartość prawdopodobieństwa homogeniczności była największa (wynik testu Kruskala-Wallisa dla obu grup $H = 42,98$, $p = 1,0$). Powierzchnie były także najbardziej podobne do siebie pod względem liczby drzew ze zgnilizną (tab. 3).

Nie stwierdzono istotnego związku pomiędzy rozmiarem zgnilizny na przekroju poprzecznym a pierśnicą drzewa ($r = 0,208$; $p = 0,0321$).

5. Dyskusja wyników

Przeprowadzone badania potwierdzają dużą zgodność tomogramów z rzeczywistym stanem drewna stwierdzonym na powierzchniach pniaków, jednak szczegółowa analiza dokładności pomiarów wymaga dalszych prac ze spełnieniem dodatkowych założeń (Gilbert et Smiley 2004). Przy interpretacji wyników pewną wątpliwość budziła obecność koloru zielonego na tomogramie, czyli *drewno niezidentyfikowane*. Obszar ten stanowi strefę przejściową między drewnem zdrowym i uszkodzonym i nie daje się jednoznacznie zdefiniować bez porównania ze stanem rzeczywistym. Obecność tej kategorii może wynikać z charakteru pomiaru akustycznego lub reprezentować wstępną fazę rozkładu drewna (Schwarze et al. 2004), pośrednio udziela też informacji o szybkości reakcji obronnych drzewa (jakość strefy reakcyjnej) (Rust et Göcke 2000). Poprawna interpretacja wymaga analizowania każdego przypadku indywidualnie, co jest utrudnione przy pomiarach seryjnych wykonywanych dla charakterystyki całego drzewostanu.

Doświadczenia użytkowników tomografu Picus Sonic z innych krajów potwierdzają wysoką skuteczność urządzenia przy określaniu rozmiarów i lokalizacji zgnilizny wewnątrz pnia. Według Schwarze i in. (2004) wskazania tomografu są wiarygodne, jeśli chodzi o rozmiar zgnilizny, a umiarkowanie dokładne w przypadku jej lokalizacji na przekroju poprzecznym. Autor zwraca również uwagę na wpływ kształtu obwodu pnia

na dokładność pomiaru (im bardziej odchylony jest on od okręgu, tym mniejsza dokładność) oraz niewykrywalność zmian o niewielkich rozmiarach (jak np. 3–4 cm strefa reakcyjna, drewna o zwiększonej gęstości, oddzielająca obszar drewna zdrowego od dotkniętego zgnilizną).

Z kolei Wang (2007) dowodzi, że urządzenie nie jest zdolne wykazać różnicy pomiędzy zgnilizną twardzielową a rozległym pęknięciem wewnątrz pnia.

Gilbert i Smiley (2004), na podstawie szczegółowej analizy tomogramów i odpowiadających im fotografii przekrojów poprzecznych (oceniono 27 przekrojów), wskazują na ścisłą korelację pomiędzy diagnozami tomografu i rzeczywistym stanem drewna. W ich badaniach tomograf bezbłędnie stwierdzał brak zgnilizny w pniu, a w przypadku obecności zgnilizny wizualizowany obszar drewna uszkodzonego był zazwyczaj mniejszy niż w rzeczywistości (w 14 przypadkach na 17 przekrojów ze stwierdzoną zgnilizną). W większości przypadków rozbieżności były nieznaczne (średnio 5% powierzchni przekroju poprzecznego). Niewielkie błędy autorzy ci stwierdzili również w dokładności lokalizacji obszaru rozkładanego drewna. Średnio 3% powierzchni tomogramu określano jako fałszywie pozytywną, gdzie wykazana została obecność zgnilizny, podczas gdy nie było jej w tym miejscu na przekroju poprzecznym, a 8% jako fałszywie negatywną (tomogram nie wskazywał zgnilizny obecnej na przekroju poprzecznym).

Zróznicowanie rozmiarów zjawiska zgnilizny drewna w poszczególnych drzewostanach znajduje uzasadnienie w prawidłowościach opisywanych także przez innych autorów.

Najmniejszy udział zgnilizny drewna w drzewostanie na powierzchni Sikorczone należy tłumaczyć warunkami klimatycznymi regla górnego. Według Twarowskich (1959) zmniejszanie się udziału zgnilizny w drzewostanie wraz z wysokością bezwzględna stanowisk świerka wynika ze zwiększenia się ilości opadów w miarę zwiększania się wysokości względnej, obniżenia się temperatury i skrócenia okresu wegetacyjnego. Mańka (1998), opisując drzewostan świerkowy na szczycie Romanki (ponad 1300 m n.p.m.), w którym brak zagrożenia przez opieńki, wskazuje na niskie temperatury występujące na tej wysokości, jako czynnik ograniczający rozwój grzybów. Mniejszą ilość drzew ze zgnilizną w drzewostanach regla górnego stwierdza też Barszcz (2004), uznając je za stabilniejsze od położonych w reglu dolnym, pomimo ich niskiej jakości technicznej (znaczna zbieżystość strzał, liczne sęki i krzywizny).

Wyraźnie największy udział pni ze zgnilizną stwierdzono w wyłączonym drzewostanie nasiennym na powierzchni Bukowiec. Mimo wspaniałej jakości strzał drzew oraz uznanej najwyższej wartości genetycznej i

hodowlanej drzewostanu, niemal u wszystkich świerków stwierdzono występowanie zgnilizny drewna w części odziomkowej. Według Barszcz (2004) niska jakość drewna świerków może wynikać ze starszego wieku drzewostanu, związanego z zaawansowaniem naturalnych procesów dekompozycji drewna. Także Bernadzki (2003), badając stare drzewostany sosnowe na niżu, stwierdza, że przetrzymywanie drzew do bardzo późnego wieku wiąże się z dużym, szybko rosnącym z wiekiem, ryzykiem pojawienia się zgnilizny drewna. Norkorpi (1979) dochodzi do wniosku, że problem zgnilizny odziomkowej pojawia się w świerczynach w wieku poniżej 100 lat i prawdopodobnie dotyczy wszystkich drzew w wieku 300–400 lat.

Analizując wyniki badań z pozostałych powierzchni również nasuwa się wniosek o związku wieku drzew i rozprzestrzenienia się zgnilizny w drzewostanie. Analiza statystyczna wskazuje na brak istotnych różnic w ilości drewna uszkodzonego na przekroju poprzecznym pnia pomiędzy drzewostanami o zbliżonym wieku. W młodszym drzewostanie na powierzchni Police zanotowano niemal o połowę mniejszy udział pni ze zgnilizną, niż w starszych, zbliżonych wiekiem drzewostanach na powierzchniach Sidzina i Zapowiedź. Zbieżność tę potwierdzają obserwacje innych autorów. Krzan (1985) na przykładzie rębnych drzewostanów świerkowych regla dolnego w Tatrzańskim Parku Narodowym wskazuje na wzrost częstotliwości występowania zgnilizny w miarę wzrostu wieku drzewostanu, natomiast Barszcz (2004) podobną prawidłowość opisuje w drzewostanach świerkowych Beskidu Żywieckiego. Z kolei Rymer-Duzińska (1986), badając udział drzew zainfekowanych przez hubę korzeni w drzewostanach Puszczy Augustowskiej i Puszczy Knyszyńskiej stwierdziła, że stopień porażenia roślin z wiekiem i miąższością całkowitą drzewostanu i jest największy w litych drzewostanach świerkowych o dużym zapasie. Według Bruchwalda (1984) jednak, większy udział drzew ze zgnilizną w drzewostanach starszych wynika głównie ze wzrostu zapasu, a w mniejszym stopniu zależy od zaawansowanego wieku drzew.

Postępowanie rozkładu drewna wraz z wiekiem, niosące określone straty gospodarcze, a nawet ryzyko utraty trwałości lasu ze względu na pogorszenie stabilności, nasuwa pytanie, jak długo należy utrzymywać zagrożone drzewostany na pniu. W przypadku drzewostanów, w których istnieje problem zgnilizny, należałoby rozważyć skrócenie wieku rębności, uwzględniając tempo rozprzestrzeniania się zjawiska w drzewostanie oraz postępowania rozkładu w pniach poszczególnych drzew. Przetrzymywanie drzewostanów do zaawansowanego wieku jest uzasadnione w przypadku wyłączonych drzewostanów nasiennych, jednakże i tutaj należy racjonalnie wybrać moment wycięcia drzew,

uwzględniając możliwość uzyskania najbogatszego genetycznie odnowienia naturalnego.

Kontynuacja badań nad zgnilizną w karpackich drzewostanach świerkowych może pomóc udzielić odpowiedzi na postawione pytanie. Powtarzając w odpowiednich odstępach czasu diagnozy tomografem Picus Sonic na tych samych próbach drzew, można śledzić tempo rozwoju zgnilizny w poszczególnych pniach w celu optymalizacji późniejszych decyzji hodowlanych.

Możliwa jest również obserwacja rozwoju zgnilizny w kierunku pionowym, poprzez wykonanie pomiaru na kilku wysokościach wzdłuż pnia. Według Domańskiego (1968) wysokość do jakiej sięga zgnilizna w pniu, jest najczęściej wprost proporcjonalnie skorelowana ze stadium rozwojowym zgnilizny i jej zasięgiem na przekroju poprzecznym odziomka. Dalsze badania z zastosowaniem tomografu Picus Sonic mogą pozwolić zweryfikować także tę hipotezę.

6. Wnioski

1. Bezbłędne stwierdzanie obecności zgnilizny odziomkowej i wysoka dokładność określenia jej rozmiaru wskazują, że tomograf dźwiękowy Picus Sonic jest użytecznym narzędziem do bezinwazyjnej oceny wewnętrznej struktury drewna drzew stojących oraz określenia zagrożenia drzewostanów ze strony sprawców zgnilizny drewna.

2. Stwierdzona na powierzchniach zależność stopnia rozwoju zgnilizny wewnętrznej drzew powodowanej przez grzyby od wieku drzewostanów i wysokości położenia nad poziomem morza wskazuje na konieczność doskonalenia zasad hodowli zagrożonych karpackich drzewostanów świerkowych, szczególnie odnośnie do wieku rębności oraz wyprzedzającej rozpad drzewostanu przebudowy w niższych położeniach.

Podziękowanie

Autorzy dziękują prof. Zbigniewowi Sierocie za zainteresowanie problemem i cenne uwagi w trakcie prowadzenia badań.

Literatura

Barszcz A. 2004. The dependency of the quality and size structure and of the value of timber on the origin and age of stands. *EJPAU* 7(2). <http://www.ejpau.media.pl/volume7/issue2/forestry/art-08.html>, dostęp z dnia 20.04.2008.

- Bernadzki E. 2003. Struktura wieku i zagrożenie zgnilizną drewna starych drzewostanów sosnowych. *Sylwan*, 5: 3–12.
- Bruchwald A. 1984. Estimation of attacking spruce trees by root rot (*Fomes annosus* Fr.) in spruce-pine stands of Puszcza Romincka. *Annals of Warsaw Agricultural University*, 32: 7–11.
- Chomicz E. 2007. Bezinwazyjne metody wykrywania defektów wewnątrz pni drzew stojących (Tomograf PiCUS[®] Sonic i PiCUS Tretronic[®]). *Leśne Prace Badawcze*, 3: 117–122.
- Czuraj M., Radwański B., Strzemeski S. 1966. Tablice miąższości drzew stojących. Świerk. PWRiL Warszawa.
- Domański S. 1968. Wstępne studium nad zgniliznami odziomkowymi w drzewostanie świerkowym. *Sylwan*, 2: 13–27.
- Gilbert E. A., Smiley E. 2004. Picus sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya* spp.). *Journal of Arboriculture*, 30(5): 277–280.
- Göcke L., Rust S., Weihs U., Günther T., Rücker C. 2007. Combining Sonic and Electrical Impedance Tomography for the Nondestructive Testing of Trees. *Proceedings of the 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood*, Duluth, Minnesota U.S.A September 10–12, 2007.
- Kohnle U., Kändler G. 2007. Is Silver fir (*Abies alba*) less vulnerable to extraction damage than Norway spruce (*Picea abies*)? *European Journal of Forest Research*, 126: 121–129.
- Krzan Z. 1985. Występowanie zgnilizny odziomkowej świerków w drzewostanach regla dolnego Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Parki Narodowe, Rezerwy Przyrody*, 6(2): 5–16.
- Krzan Z. 1986. Grzyby zasiedlające drewno twarde świerków, ich rola w powodowaniu i rozwoju zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Parki Narodowe, Rezerwy Przyrody*, 7(1): 21–33.
- Lech P., Żółciak A. 2006. Uwarunkowania występowania opieńkowej zgnilizny korzeni w lasach Beskidu Żywieckiego. *Leśne Prace Badawcze*, 2: 33–49.
- Mańka M. 1998. Ważniejsze choroby infekcyjne. Huba korzeni [w:] Boratyński A., Bugała W. (red.), *Biologia świerka pospolitego*. Bogucki WN, Poznań: 444–448.
- Mattila, U., Nuutinen, T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica*, 41(1): 29–43.
- Nicolotti G., Miglietta P. 1998: Using high-technology instruments to assess defects in trees. *Journal of Arboriculture*, 24(6): 297–302.
- Nicolotti G., Socco L.V., Martinis R., Godio A., Sambuelli L. 2003: Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *Journal of Arboriculture*, 29(2): 66–77.
- Niemtur S. 2007. Lasy karpackie: stan aktualny i próba prognozy. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 54: 31–44.
- Norokorpi Y. 1979. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay causing microbes in Northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 97(6): 1–77.
- Rabe C., Ferner D., Fink S., Schwarze F. W. M. R. 2004. Detection of decay in trees with stress waves and interpretation of acoustic tomograms. *Arboricultural Journal*, 28: 3–19.
- Rust S., Göcke L. 2000. A new tomographic device for the non-destructive testing of standing trees. *Proceedings of the 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood*. University of Western Hungary, Sopron, 13–15 September 2000. 233–238.
- Rymer-Dudzińska T. 1986. Udział świerków opianych przez hubę korzeniową (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) w miąższości i przyroście miąższości drzewostanów mieszanych Puszczy Knyszynskiej i Puszczy Augustowskiej. *Folia Forestalia Polonica, Ser. A*, 28: 67–81.
- Szymkiewicz B. 1971. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- Tadeusiewicz R., Izworski A., Majewski J. 1993. *Biometria*. Wydaw. AGH, Kraków.
- Twarowski Z., Twarowska I. 1959. Studia i obserwacje nad opieńką miodową *Armillaria mellea* (Vahl.) Quel. jako przyczyną masowego zamierania drzewostanów. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 192: 1–62.
- Wang X., Allison R. B., Wang L., Ross R. J. 2007. Acoustic tomography for decay detection in red oak trees. Research Paper FPL-RP-642. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 7 p.