

## Występowanie zgnilizny odziomkowej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w obszarach chronionych

Occurrence of the silver fir (*Abies alba* Mill.) butt rot in protected areas

Stanisław Niemtur\*, Elżbieta Chomicz, Mariusz Kapsa

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Gospodarki Leśnej Regionów Górskich, ul. Fredry 39, 30-605 Kraków, Poland

\*Tel. +48 12 2528210, fax +48 12 2528202, e-mail: S.Niemtur@ibles.waw.pl

**Abstract.** The aim of the study was to analyze butt rot incidences in silver fir stands of selected nature reserves and national parks. The study included 11 stands in Carpathian forests and for comparison 4 stands outside the Carpathians. To identify butt rot in fir trees, we used the non-invasive method of acoustic tomography. We tested 30 randomly selected fir trees in each of the 15 stands using Picus Sonic tomography to determine butt rot occurrence and to assess the proportion (%) of healthy wood in cross-sections of the tree trunk.

The results indicate significant differences in the frequency of butt rot in silver fir at the individual level as well as the population level. This variability in frequency was not dependent on geographical location of the investigated stands.

**Key words:** silver fir, butt rot, nature reserve, national park, acoustic tomography, Picus Sonic, Carpathians

### 1. Wstęp

Jodła pospolita *Abies alba* Mill. należy do głównych gatunków lasotwórczych Krainy Karpackiej, gdzie zajmuje drugie miejsce po buku pod względem zajmowanej powierzchni oraz zapasu (Niemtur 2007). W 2006 r. charakterystyczne dla krajobrazu karpackiego drzewostany z panującą jodłą stanowiły ok. 21% obszaru polskich Karpat. Jest to wyraźny spadek w stosunku do 1967 r., kiedy to jedliny występowały na około 28,3% powierzchni. W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia przyspieszone obumieranie drzewostanów jodłowych w Karpatach wynikało z niekorzystnych czynników abiotycznych i biotycznych (Zięba 2010).

Aktualnie jodła pospolita jest gatunkiem, którego drzewostany po okresie zagrożenia wykazują wyraźne cechy rewitalizacji w zakresie wzrostu, jak i odnowienia. Drugą przesłanką, która wskazuje na rosnące znaczenie drzewostanów jodłowych w przyszłości jest wielkoob-

szarowy rozpad drzewostanów świerkowych i prowadzona na masową skalę ich przebudowa na mieszane z licznym udziałem jodły (Niemtur 2007; Jaworski, Pach 2014).

Jodła w lasach gospodarczych, mimo wolnego wzrostu w pierwszej klasie wieku, tworzy drzewostany o bardzo wysokiej zasobności. Wielkością produkcji drewna przewyższa sosnę, a w odpowiednich warunkach siedliskowych nawet świerk (Dobrowolska 1999). Z zagadnieniem produktywności drzewostanów związana jest kwestia jakości otrzymywanego surowca. Drewno jodły pod względem wyglądu i właściwości technicznych jest podobne do drewna świerka i w wielu przypadkach może znajdować te same zastosowania (Surmiński 1983). Jednocześnie w drzewostanach świerkowych znaczne straty surowca związane są ze zgnilizną drewna, które dotyczą zwykle najcenniejszych części strzały, przy czym procesy rozkładu nasilają się wraz z wiekiem drzewostanów (Norkorpi 1979; Bernadzki 2003).

Świerk pospolity *Picea abies* (L.) Karst. należy do gatunków często opianowanych przez sprawców zgnilizny korzeni i odziomkowej partii pnia, stąd temu gatunkowi poświęcona jest większość opracowań dotyczących występowania zgnilizny odziomkowej pni (Norokorpi 1979; Stenlid, Wästerlund 1986; Krzan 1985; Mattila, Nuutinen 2007; Kohnle, Kändler 2007). W przypadku jodły problem nie jest dokładnie rozpoznany. W literaturze wymienia się szereg grzybów powodujących zgniliznę drewna jodły (Siwecki, Krzan 1983), ale brak jest informacji na temat rozmiarów szkód, jakie wywołują one w drzewostanach jodłowych. Istnieją doniesienia o mniejszej podatności drewna jodły na uszkodzenia w wyniku patogenicznej działalności grzyba (Kohnle, Kändler 2007), jednak wyniki badań tomograficznych przeprowadzonych w lasach gospodarczych Beskidu Śląskiego i Żywieckiego wskazują, że problem zgnilizny odziomkowej może dotyczyć świerka i jodły w podobnym stopniu (Niemtur et al. 2013).

Brak pniaków w drzewostanach wyłączonych z użytkowania, na których można by określić częstość występowania zgnilizny powoduje, że diagnozę należy przeprowadzić na drzewach stojących. Dotychczasowe badania drzew stojących opierały się zasadniczo na analizie wywierćwózków pobieranych na wysokości pierśnicy (Mattila, Nuutinen 2007) lub w szyi korzeniowej (Krzan 1985). Metoda ta jednak wiąże się z mechaniczną ingerencją w wewnętrzne tkanki drzewa, przez co umożliwia rozprzestrzenianie się chorób. Jednocześnie szacuje się, że wykonywanie nawięrtów na wysokości pierśnicy pozwala wykryć tylko 50% faktycznie obecnych uszkodzeń (Stenlid, Wästerlund

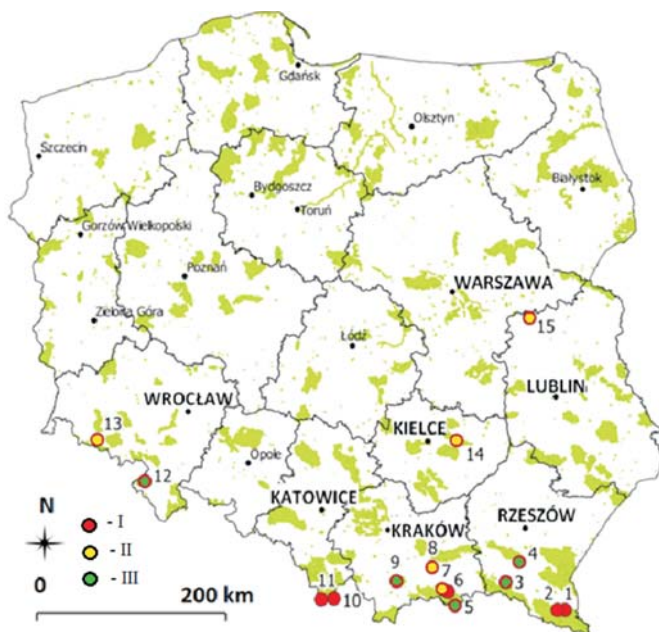
1986). W parkach narodowych i rezerwach ocena rozmiarów uszkodzeń jodły przez zgniliznę odziomkową wymaga ograniczenia destrukcyjnych metod badawczych i może być dokonana przy zastosowaniu bezinwazyjnej metody za pomocą tomografu akustycznego.

Celem przeprowadzonych badań była identyfikacja w wybranych rezerwach i parkach narodowych drzewostanów jodły lub pojedynczych drzew o niskim stopniu zagrożenia zgnilizną. Wyniki mogą być wstępem do badań nad możliwościami hodowli mniej wrażliwych genotypów jodły na działanie patogenów grzybowych powodujących zgniliznę odziomkową drewna.

## 2. Metodyka

### Obiekt badań

Badania przeprowadzono w latach 2010–2013 w drzewostanach jodłowych lub z przeważającym udziałem jodły. Na terenie Karpackiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej wybrano drzewostany w Gorczańskim Parku Narodowym oraz w 10 rezerwach przyrody tak zlokalizowanych, aby reprezentowały cały maszyn górski tej Krainy – od Beskidu Żywieckiego (rezerwaty Oszaś i Śrubita) po Bieszczady (rezerwaty Hulskie i Sine Wiry) (ryc. 1). W badaniach uwzględniono również drzewostany zlokalizowane w Karkonoskim PN, PN Gór Stołowych oraz w Świętokrzyskim PN. Dodatkowo do badań włączono drzewostan jodłowy położony poza zwartym zasięgiem gatunku w rezerwacie Jata (ryc. 1). Charakterystykę i lokalizację poszczególnych obiektów badawczych przedstawiono na rycinie 1 i w tabeli 1.



Rycina 1. Rozmieszczenie powierzchni badawczych I, II, III – waloryzacja powierzchni (patrz: Wyniki)

Figure 1. Location of research plots. I, II, III – valorization of the plots (see: Results)

1 – Hulskie, 2 – Sine Wiry, 3 – Cergowa G., 4 – Kretówki, 5 – Hajnik, 6 – Uhryń, 7 – Barnowiec, 8 – Białowodzka G., 9 – Gorczański PN, 10 – Oszaś, 11 – Śrubita, 12 – PN Gór Stołowych, 13 – Karkonoski PN, 14 – Świętokrzyski PN, 15 – Jata

**Tabela 1. Charakterystyka obiektów badawczych**

Table 1. Characteristics of research plots

Lp. No	Rezerwat/PN Reserve/National Park	Wysokość n.p.m. Height a.s.l.	Wystawa Exposure	Współrzędne Coordinates		Gatunki główne drzewostanu Main species of stands	Powierz- chnia Area ha	Rok utworzenia Year of creation
1	Hulskie	800	W	49°15'20.9"N	22°33'11.4"E	Bk, Jd	189,87	1983
2	Sine Wiry	750	SW	49°15'41.4"N	22°25'28.7"E	Bk, Jd	450,49	1987
3	Cergowa G.	650	N	49°32'7.8"N	21°42'17.2"E	Bk, Jd, Jw	61,35	1963
4	Kretówki	400'	NE	49°42'50.7"N	21°54'45.1"E	Bk, Jd	95,27	1959
5	Hajnik	700	SE	49°19'50.54"N	20°57'38.57"E	Jd	16,9	1974
6	Uhryń	750	NW	49°27'44"N	20°51'32"E	Bk, Jd	16,52	1957
7	Barnowiec	860	NE	49°29'17.8"N	20°46'20.6"E	Bk, Jd, Jw	21,61	1924
8	Białowodzka Góra	400	NE	49°41'23"N	20°37'53"E	Bk, Jd	67,74	1961
9	Gorczański PN	750	SW	49°34'28"N	20°05'39"E	Jd	-	1981
10	Oszast	925–1147	NE	49°25'54"N	19°11'16"E	Bk, Jd, Św, Jw	48,8	1971
11	Śrubita	780–960	N	49°24'22"N	19°0'42"E	Bk, Jd	25,86	1958
12	PN Gór Stołowych	720	plasko / flat	50°29'32"N	16°19'28"E	Jd	-	1993
13	Karkonoski PN	500	N	50°50'16"N	15°38'50"E	Bk, Jd	-	1959
14	Świętokrzyski PN	570	S	50°53'39"N	20°54'37"E	Jd	-	1924
15	Jata	170	plasko / flat	51°57'53.9"N	22°12'41.6"E	Jd	1116,8	1933

Notes: Bk – *Fagus sylvatica* L., Jd – *Abies alba* Mill., Św – *Picea abies* (L.) H. Karst, Jw – *Acer pseudoplatanus* L.

## Badania tomograficzne

Występowanie zgnilizny odziomkowej na przekroju poprzecznym pnia określano za pomocą tomografu akustycznego Picus Sonic, firmy Argus Electronic, Rosstock, Niemcy. Urządzenie wykorzystuje zależność prędkości fali dźwiękowej od właściwości drewna i w sposób bezinwazyjny informuje o obecności zgnilizny, jej rozmiarze i lokalizacji na przekroju poprzecznym pnia. Dokładny opis techniczny aparatu i zasada działania znajdują się na stronie producenta <http://www.argus-electronic.de>.

W każdym drzewostanie badania tomograficzne przeprowadzono na próbie 30 losowo wybranych jodeł, położonych w bezpośrednim sąsiedztwie. Pomierzono także pierśnicę i wysokość wybranych drzew oraz określono ich wiek na wywiertach pobranych świdrem Preslera.

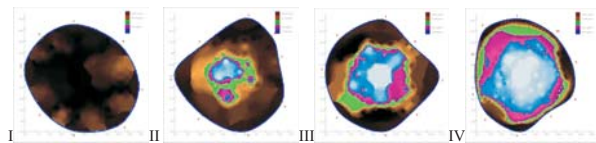
Poziom pomiaru tomograficznego określono na wysokości ok. 10 cm od powierzchni gruntu, mierząc od strony stoku. Na obwodzie drzewa zakładano od 8 do 10 punktów pomiarowych, w zależności od grubości drzewa, zgodnie z instrukcją obsługi aparatu. Punkt numer 1 umieszczano zawsze od strony północnej. W każdym punkcie pomiarowym umieszczano elektrodę do momentu uzyskania jej kontaktu z drewnem, po czym łączono ją magnetycznie z czujnikiem. Impuls dźwiękowy na kolejnych punktach pomiarowych wzbudzano 3-krotnie, uderzając metalowym młotkiem wersji Lite.

Geometria przekroju poprzecznego pnia odtwarzana była przez pomiar odległości pomiędzy punktami pomiarowymi za pomocą klipy Picus Calliper. Po przesłaniu drogą radiową informacji z czujników do komputera, tomogramy przekrojów poprzecznych pni jodeł były generowane przez oprogramowanie Picus Expert wersji Q72.

## Analiza tomogramów

Tomogram stanowi wizualizację stanu drewna na przekroju poprzecznym pnia w miejscu przeprowadzonego pomiaru. Poszczególne kolory na tomogramie oznaczają obszary drewna o różnym stopniu zaawansowania zgnilizny w wyniku patogenicznej działalności grzybów. Na podstawie analizy barw na tomogramie drewno przekroju poprzecznego pnia każdego drzewa zostało przydzielone do jednej z 3 kategorii: drewno zdrowe (niewykazujące rozkładu) – kolor ciemnobrązowy i jasnobrązowy na tomogramie, drewno uszkodzone – kolor niebieski i fioletowy, drewno niezidentyfikowane – kolor zielony. Procentowy udział drewna danej kategorii w powierzchni przekroju poprzecznego obliczany był przez program Picus Expert automatycznie.

Na podstawie otrzymanych wyników określono średni udział drewna zdrowego na tomogramie w każdym drzewostanie oraz obliczono współczynnik zmienności tej cechy dla 30 badanych jodeł. Łącznie przeanalizowano tomogramy 450 jodeł z 15 drzewostanów.



**Rycina 2. Tomogramy jodeł w różnych klasach uszkodzeń: I klasa – 100% drewna zdrowego, II klasa – 76–99% drewna zdrowego, III klasa – 50–75% drewna zdrowego, IV klasa – 2% drewna zdrowego**

Figure 2. Tomograms of firs in classes of damages: Class I – 100% of the undamaged wood, Class II – 76–99% of the undamaged wood, III class – 50–75% of the undamaged wood, IV class – 2% of the undamaged wood

Na podstawie procentowego udziału drewna zdrowego na przekroju poprzecznym badane jodły przydzielono do jednej z czterech klas zdrowotności. Wyróżniono następujące klasy zdrowotności: I – 100% drewna zdrowego na tomogramie, II – 76–99%, III – 50–75%, IV – poniżej 50%. Przykłady tomogramów przedstawione na rycinie 2 ilustrują, jaki zasięg zgnilizny reprezentują poszczególne klasy.

W celu waloryzacji badanych jodeł na poszczególnych powierzchniach wprowadzono ocenę punktową: drzewo w I klasie – 10 punktów, II – 7, III – 4, IV – 0. Suma punktów dla 30 jodeł stanowiła sumaryczną ocenę stopnia uszkodzeń drzewostanu na danej powierzchni.

### Analizy statystyczne

Badane drzewostany zostały porównane pod względem średniego z 30 drzew udziału drewna zdrowego na tomogramie. Porównanie średnich wykonano za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA). Porównania *post hoc* (*po fakcie*) wykonano testem HSD Tukeya, służącym do określenia istotności różnic pomiędzy średnimi grupowymi w układzie analizy wariancji. Na podstawie wyników testu wyszczególniono grupy jednorodne, tj. grupy drzewostanów nieróżniące się istotnie pod względem badanej cechy.

Analogiczne porównania wykonano także dla wyróżnionych klas zdrowotności. Ze względu na różną liczbę drzew w poszczególnych klasach (I klasa – 73 drzewa, II – 159, III – 162, IV – 56) różnice pomiędzy średnimi analizowano za pomocą testu Kruskala-Wallis, będącego nieparametrycznym odpowiednikiem ANOVA. Na podstawie testu określono występowanie istotnych statystycznie różnic pomiędzy klasami w zakresie średnich dla klasy: udziału drewna zdrowego na tomogramie, wieku drzew oraz pierśnicy. Porównania *post-hoc* średnich rang dla wszystkich prób wykonano metodą porównań wielokrotnych, obliczając statystykę testową  $Z$  w sposób opisany przez Siegel, Castellan (1988).

Wszystkie obliczenia wykonano za pomocą narzędzi zawartych w pakiecie Statistica 9.

### 3. Wyniki

Wygenerowane tomogramy wskazały na znaczne zróżnicowanie częstości występowania zgnilizny odziomkowej w badanych drzewostanach (tab. 3). Zróżnicowanie to było widoczne zarówno dla 30 jodeł w poszczególnych drzewostanach, jak i pomiędzy 15 drzewostanami. Największe różnice w zakresie liczby drzew dotkniętych rozkładem drewna odnotowano pomiędzy drzewostanami w rezerwacie Uhryń (tab. 2, ryc. 3A) i w Gorczańskim Parku Narodowym (tab. 2, ryc. 3B).

Duże różnice stwierdzono także pomiędzy jodłami w rezerwacie Uhryń i w położonym również w Beskidzie Sądeckim (Góry Leluchowskie) rezerwacie Hajnik. W rezerwacie Hajnik dla dziesięciu jodeł nie wykazano żadnych uszkodzeń (100% drewna zdrowego na przekroju poprzecznym), podczas gdy w rezerwacie Uhryń spośród 30 przebadanych drzew tylko jedno nie wykazało śladów zgnilizny odziomkowej (tab. 2, ryc. 3), pomimo podobnych warunków siedliskowych w obu rezerwach. W wyniku przeprowadzonej waloryzacji jodły w rezerwacie Uhryń otrzymały najmniejszą liczbę punktów spośród badanych obiektów – 98 (tab. 2) podczas gdy w Gorczańskim PN – 266, a rezerwacie Hajnik – 213. Dla badanych jodeł ważnym czynnikiem był ich wiek, którego średnia wartość dla 30 jodeł wynosiła w rezerwacie Uhryń – 135 lat, w rezerwacie Hajnik – 79 lat i w Gorczańskim PN – 99 lat. Dominacja wieku, jako czynnika decydującego o stopniu porażenia jodeł przez zgniliznę odziomkową, nie tłumaczy identycznej liczby punktów – 121 (tab. 2) dla 30 jodeł z rezerwatów Oszat i Śrubita. Rezerваты te różniły się znacznie wiekiem badanych jodeł – 109 i 150 lat (tab. 3).

Przeprowadzona waloryzacja punktowa badanych drzewostanów nie wykazała zależności natężenia zgnilizny drewna jodły od rozmieszczenia drzewostanów w poszczególnych rezerwach i parkach narodowych (ryc. 4).

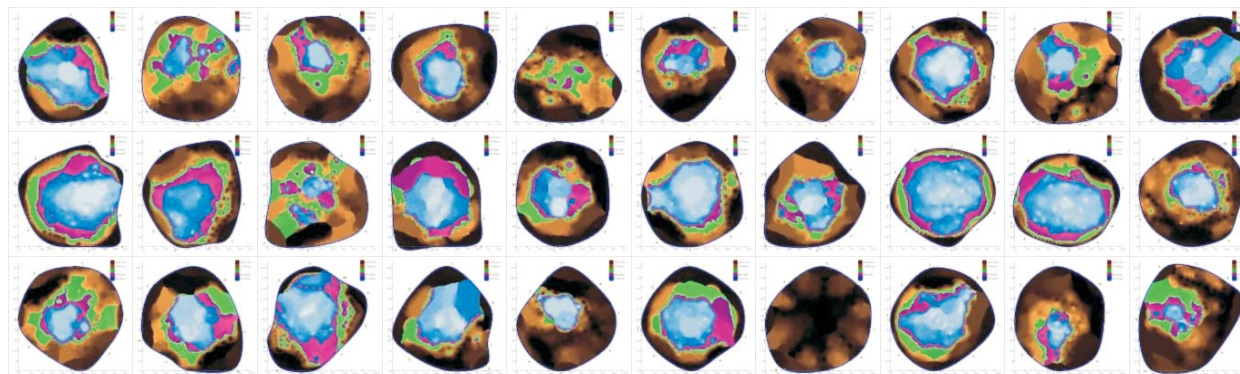
Drzewostany różniły się istotnie pod względem średniego udziału drewna zdrowego na tomogramie (ANOVA  $F=8489,470$ ;  $p<0,000$ ). Największa różnica w zakresie tej cechy wystąpiła pomiędzy najsilniej uszkodzonymi jodłami w rezerwacie Uhryń i najmniej dotkniętymi zgnilizną odziomkową jodłami w Gorczańskim Parku Narodowym (tab. 3,  $p<0,000$ ). Testy *post hoc* pozwoliły na wyróżnienie czterech grup jednorodnych pod względem średniego dla drzewostanu udziału drewna zdrowego na przekroju poprzecznym. W skład poszczególnych grup jednorodnych weszły drzewostany pochodzące z różnych części Krainy

**Tabela 2. Waloryzacja punktowa badanych drzewostanów jodlowych**

Table 2. Valorization of the research plots

Lp. No	Rezerwat / PN Reserve / National Park	Liczba drzew w klasach uszkodzeń: Number of trees in classes of damages:				Suma punktów Sum of points
		I	II	III	IV	
		100% 10 pkt / pts	75–99% 7 pkt / pts	50–76% 4 pkt / pts	2% 0 pkt / pts	
1	Hulskie	0×10	117	12×4	7×0	125
2	Sine Wiry	1	6	14	9	108
3	Cergowa Góra	3	23	4	0	207
4	Kretówki	8	13	9	0	207
5	Hajnik	10	11	9	0	213
6	Uhryń	1	4	15	10	98
7	Barnowiec	2	10	12	6	138
8	Białowodzka G.	3	10	16	1	164
9	Gorczański PN	23	4	2	1	266
10	Oszast	1	9	12	8	121
11	Śrubita	0	7	18	5	121
12	PN Gór St.	7	18	5	0	216
13	Karkonoski PN	4	7	16	3	153
14	Świętokrzyski PN	8	13	3	6	183
15	Jata	2	13	15	0	171
<b>Razem / Total</b>		73	159	162	56	

A



B

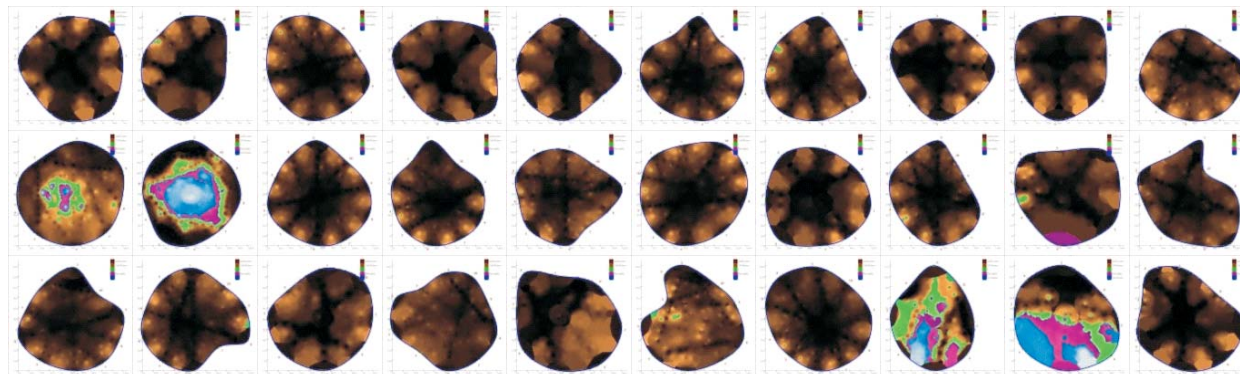
**Rycina 3. Tomogramy badanych jodeł w: A – Rezerwacie Uhryń, B – Gorczańskim Parku Narodowym**

Figure 3. Tomograms of examined firs in: A – Reserve Uhryń, B – Gorczański National Park

**Tabela 3. Średni udział drewna zdrowego na tomogramach 30 jodeł, pierśnica i wiek badanych drzew**

Table 3. The average percentage of undamaged wood on tomograms of 30 firs, diameter at breast height and age of the examined trees

Rezerwat / PN Reserve / National Park	Wiek Age	Pierśnica Diameter at breast height		Udział drewna zdrowego na 30 tomogramach The average percentage of undamaged wood on 30 tomograms				$R_{d,zp}$
		$d_{30}$ [cm]	$Wz$ [%]	$m_{30}$ [%]	$Wz$ [%]	grupy jednorodne test HSD Tukeya homogeneous groups Tukey HSD test		
I.								
Uhryń	135	75,4	30,3	58,2	33,7	X		<b>-0,669</b>
Sine Wiry	92	57,3	24,2	61,5	26,7	X	X	<b>0,377</b>
Oszast	109	59,5	34,5	61,7	32,9	X	X	-0,205
Śrubita	150	64,8	25,0	62,6	27,9	X	X	<b>-0,644</b>
Hulskie	124	69,0	31,0	63,5	33,3	X	X	<b>-0,366</b>
II.								
Barnowiec	145	73,5	25,2	67,7	27,1	X	X	<b>-0,341</b>
Karkonoski PN	95	44,5	24,1	72,1	26,3	X	X	<b>0,422</b>
Białowodzka G.	78	54,9	20,5	74,3	17,3		X	0,089
Świętokrzyski PN	121	58,2	38,1	74,8	33,14		X	<b>-0,436</b>
Jata	98	56,6	20,1	74,9	15,7		X	-0,032
III.								
Hajnik	79	59,1	23,1	84,0	17,9		X	-0,058
Kretówki	80	50,8	17,2	84,9	15,2		X	0,193
Cergowa G.	128	49,8	17,1	85,9	13,1		X	<b>-0,366</b>
PN Gór St.	96	53,4	17,9	86,1	13,6		X	-0,212
Gorczański PN	99	76,2	22,7	94,5	15,5		X	0,005

**Oznaczenia:**  $m_{30}$  – średnia arytmetyczna z 30 drzew,  $Wz$  – współczynnik zmienności,  $R_{d,zp}$  – współczynnik korelacji liniowej pomiędzy % drewna zdrowego i pierśnicą dla 30 drzew na powierzchni. I, II, III – grupy jak na rycinie 1. Druk tłusty – korelacje istotne statystycznie.  
 Notation:  $m_{30}$  – the arithmetic mean of percentage from 30 trees,  $Wz$  – coefficient of variation,  $R_{d,zp}$  – correlation coefficient between % of undamaged wood and diameter at breast height for 30 trees on the experimental plots. I, II, III – groups as in Figure 1. Bold print – statistically significant correlations.

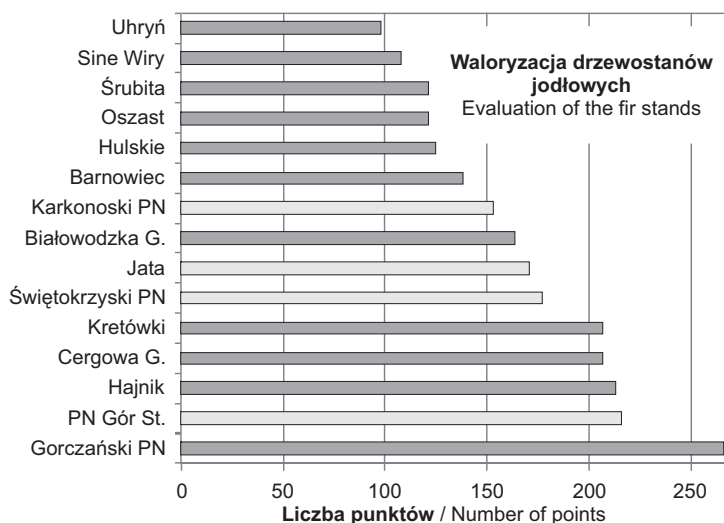
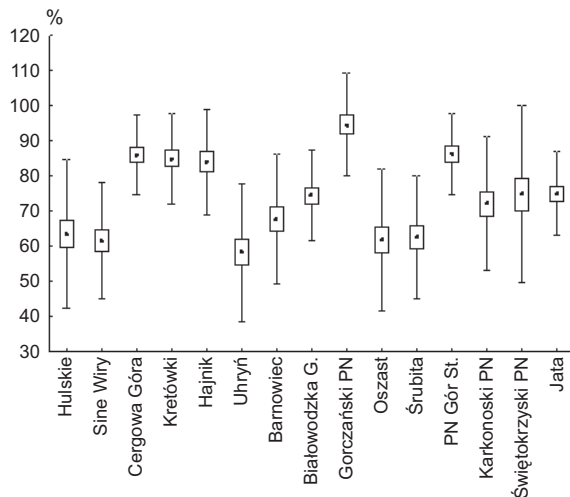
**Rycina 4. Waloryzacja punktowa badanych drzewostanów w 11 rezerwach (ciemniejszy kolor) i 4 parkach narodowych wg udziału 30 jodeł w poszczególnych klasach zdrowotności drewna**

Figure 4. Evaluation of stands in 11 reserves (darker color) and 4 national parks by the participation of 30 firs in classes of wood damages



**Rycina 5. Procentowy udział drewna zdrowego jodeł na tomogramach: średnia (znacznik), błąd standardowy (ramka), odchylenie standardowe (odcinki)**

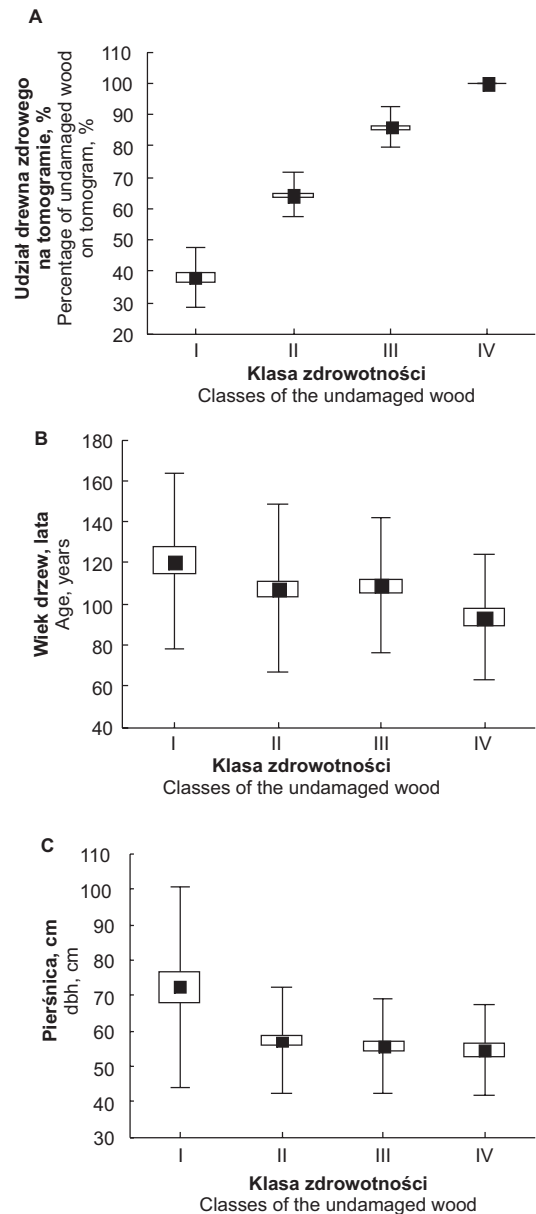
Figure 5 Percentage of undamaged wood of firs on tomograms: average (tag), standard error (box), standard deviation (line segments)

Karpackiej, a także spoza tego obszaru. Granice między grupami były nieostre, (dlatego na ryc. 1 wyróżniono trzy grupy), ponieważ nie stwierdzono zmienności uwarunkowanej położeniem geograficznym drzewostanu. Drzewostany z Krainy Karpackiej nie wyróżniały się na tle drzewostanów z innych regionów Polski (drzewostany karpackie nie tworzyły osobnej grupy jednorodnej).

Mimo braku wyraźnego trendu w rozmieszczeniu geograficznym drzewostanów o podobnym stopniu oparowania przez zgniliznę można zauważyć, że drzewostany znajdujące się w bliskim sąsiedztwie wykazywały często podobny rozmiar uszkodzeń, np. drzewostany Hulskie i Sine Wiry lub Oszast i Śrubita (ryc. 4).

Obliczony współczynnik korelacji pomiędzy udziałem zdrowego drewna na przekroju poprzecznym drzew na danej powierzchni a ich pierśnicą wykazał wartości ujemne, istotne statystycznie, ale tylko dla drzew w wieku powyżej 120 lat. Młodsze drzewa takiej korelacji nie wykazały, a w przypadku Karkonoskiego PN i rezerwatu Sine Wiry była to nawet korelacja ujemna (tab. 3).

Znaczne różnice w porażeniu jodeł przez zgniliznę odziomkową zaobserwowano zarówno na poziomie populacyjnym – drzewostanów (ryc. 3, 5), jak i osobniczym. Na 450 jodeł zbadanych w 15 drzewostanach odnotowano 73 osobniki niewykazujące żadnych objawów rozkładu drewna w odziomku – klasa zdrowotności I (tab. 2) oraz 56 drzew, u których ponad połowa drewna na przekroju poprzecznym pnia była objęta zgnilizną – klasa zdrowotności IV (tab. 2). Przeprowadzone analizy statystyczne (test Kruskala-Wallisa) wykazały, że drze-



**Rycina 6. Procentowy udział drewna zdrowego na tomogramach (A), wiek (B) oraz pierśnica (C) jodeł w poszczególnych klasach zdrowotności. Średnia dla 30 drzew (znacznik), błąd standardowy (ramka) oraz odchylenie standardowe (linie).**

Figure 6. Percentage of undamaged wood on tomograms (A), age (B) and diameter at breast height (C) of firs in the classes of health. Average for 30 trees (the tag), standard error (box) and standard deviation (line segments).

wa należące do poszczególnych klas zdrowotności różniły się istotnie w zakresie wieku drzew ( $H=12,035$ ;  $p=0,007$ ), pierśnicy ( $H=15,604$ ;  $p=0,001$ ) oraz udziału drewna zdrowego ( $H=303,399$ ;  $p=0,000$ ).

Różnice w zakresie średniego udziału drewna zdrowego, średniego wieku drzew oraz średniej pierśnicy

w poszczególnych klasach zdrowotności przedstawiono na wykresach (ryc. 6A, B, C).

#### 4. Dyskusja

W Polsce badania nad zgnilizną drewna w odziomkowych partiach strzał jodeł na obszarze rezerwatów i parków narodowych nie były dotąd podejmowane na większą skalę. Przeprowadzone pomiary są pierwszą próbą oszacowania rozmiarów występowania zgnilizny odziomkowej w drzewostanach jodłowych w zaawansowanym wieku.

Jodła jest uważana za ekologiczny stabilizator najszybszych lasów. Cechuje ją dobre naturalne odnawianie, znoszenie ocienienia w młodości, łatwe reagowanie na zabiegi hodowlane. Jest doskonała do kształtowania drzewostanów wielogeneracyjnych i o zróżnicowanej strukturze, sprzyjających zwiększeniu różnorodności biologicznej lasu. Jednocześnie, obok walorów ekologicznych, jodła osiąga także wysokie wyniki produkcyjne. Jest gatunkiem o dużej plastyczności, dobrze rosnącym nawet poza naturalnym zasięgiem (Jaworski et al. 1995; Dobrowolska 1999; Bijak 2010).

W przyszłości znaczenie drzewostanów jodłowych będzie zwiększać się ze względu na wielkoobszarowy rozpad drzewostanów świerkowych w górach oraz prowadzoną na masową skalę przebudowę monokultur świerkowych na drzewostany mieszane z licznym udziałem jodły (Jaworski, Pach 2014). Także w kontekście prognozowanych zmian klimatu przewiduje się nasilenie zamierania sosny i świerka, podczas gdy jodłę wymienia się wśród gatunków zdolnych rozwijać się w zmienionych warunkach środowiska (Kräuchi 1994; Ziemia 2010; Tinner et al. 2013; Jaworski, Pach 2014). Zmiany te będą wymuszać dostosowanie dotychczasowych składów gatunkowych upraw, a tym samym struktury przyszłych drzewostanów karpaccich. Dla obszaru Karpat przewiduje się wzrost temperatury w granicach 2–4°C do końca XXI wieku (IPCC 2013) oraz zwiększenie opadów atmosferycznych w okresie zimy i zmniejszenie w okresie wegetacyjnym przy nierównomiernym rozkładzie. Tym samym, zwiększać się będzie częstotliwość anomalii pogodowych z negatywnymi skutkami dla ekosystemów leśnych, szczególnie w warunkach górskich (Gori 2013; Ciscar 2014).

Przyjmując najbardziej ostrożną prognozę Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2013), tj. średni wzrost temperatury o 2°C do 2100 r., można zauważyć, że wyróżnione przez Hessa (1965) piętra klimatyczne podniosą swój zasięg o jedno piętro. Można więc przypuszczać z dużym prawdopodobieństwem, że podobnie zareagują piętra roślinności, a w dzisiejszym

reglu dolnym odpowiednie warunki klimatyczne do swojego rozwoju znajdą gatunki drzew występujące dziś w niższych położeniach. Dla jodły może to oznaczać zwiększenie konkurencji z gatunkami liściastymi w reglu dolnym, głównie z bukiem i zwiększenie udziału w składzie drzewostanów w reglu górnym.

Przeprowadzone badania nie wskazały wyraźnego trendu w rozmieszczeniu geograficznym drzewostanów jodłowych o podobnym stopniu opanowania przez zgniliznę. Nie stwierdzono też, aby karpaccie drzewostany jodłowe różniły się pod tym względem od jodeł z innych polskich pochodzeń. Wskazuje to, że zróżnicowanie w występowaniu zgnilizny odziomkowej jodły zależy od uwarunkowań lokalnych.

Czynnikiem najsilniej determinującym częstość występowania zgnilizny w badanych drzewostanach był wiek drzew. Nasilenie występowania zgnilizny odziomkowej z wiekiem drzewostanów, jako efekt zaawansowania procesów dekompozycji drewna, zostało szeroko opisane dla drzewostanów świerkowych (Norokorpi 1979; Krzan 1985; Bernadzki 2003; Chomicz, Niemtur 2008; Niemtur, Chomicz 2008; Niemtur, Chomicz 2009). Według Norkorpi (1979) problem zgnilizny odziomkowej pojawia się w świerczynach w wieku poniżej 100 lat i prawdopodobnie dotyczy wszystkich drzew w wieku 300–400 lat. Z kolei 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 odziomkowej i szacuje prawdopodobieństwo wystąpienia zgnilizny na około 30% w wieku 120 lat i 60% w wieku 200 lat. W odniesieniu do wieku drzewostanów jodłowych przeprowadzono wstępne badania w drzewostanach gospodarczych Nadl. Ujsoly (Niemtur et al. 2013), gdzie stwierdzono podobne zależności.

Prowadzone wcześniej badania w drzewostanach świerkowych (Niemtur, Chomicz 2008), a także w trzech drzewostanach nasiennych jodły na terenie Nadleśnictw Węgierska Górka, Limanowa i Baligród (Niemtur et al. 2011) wykazały, że u ponad 90% badanych starszych drzew występują zmiany patologiczne w odziomkach, a jednocześnie zachowały się pojedyncze egzemplarze jodeł, u których brak jakichkolwiek śladów uszkodzeń pomimo zaawansowanego wieku.

Problem zróżnicowania wrażliwości drzew na działanie patogenów grzybowych jest opisany między innymi w pracy Pautasso i in. (2005). Autorzy uważają, że zróżnicowanie to jest naturalną strategią obronną ekosystemów leśnych, która wynika bezpośrednio z różnorodności biologicznej. Występowanie klonów świerka o obniżonej podatności na uszkodzenia drewna przez *Heterobasidion parviporum* opisują Rodriguez i in. (2009). Żółciak i in. (2006) piszą, że na przebieg cho-

roby w uprawie sosny mają wpływ właściwości osobnicze drzew, ponieważ nie wszystkie drzewa rosnące obok zainokulowanych pniaków ulegają porażeniu przez *Heterobasidion annosum*. Znacznie więcej informacji można znaleźć o zróżnicowaniu genetycznym patogenów (Łakomy 2007; Zamponi 2007; van Diepen 2013).

Ochrona przyrody w rezerwach i w parkach narodowych to między innymi ochrona *in situ* zasobów genowych ekotypów drzew przystosowanych do zróżnicowanych warunków górskich. Te bezcenne zasoby genowe drzew objęte ochroną w parkach narodowych i rezerwach przyrody pozostają praktycznie niewykorzystane w hodowli wielofunkcyjnych lasów, ponieważ są wyłączone z krajowych programów selekcji. Jest to ogromna strata, tym bardziej, że występują tu drzewa o unikalnych cechach, których cenne genotypy mogłyby w procesie restytucji wzmocnić różnorodność biologiczną lasów produkcyjnych. Dotyczy to szczególnie zagrożonych gatunków oraz gatunków wprowadzanych w Karpatach i Sudetach, zarówno w ramach przebudowy świerczyn, jak i na uprawy pokłeskowe. Przykładem takiego gatunku jest właśnie jodła pospolita, której udział powierzchniowy w lasach górskich zwiększa się z każdym rokiem w wyniku odnowień sztucznych i naturalnych (Przybylska, Ziemia 2007). Identyfikacja i zbiór nasion z drzew genetycznie bardziej odpornych na działanie patogenów grzybowych (Rodriguez et al. 2009) może przyczynić się do wzbogacenia istniejącej puli genetycznej leśnego materiału rozmnożeniowego, dla hodowli nowych i przebudowy istniejących drzewostanów.

## 5. Wnioski

Wiek badanych jodeł był najważniejszym czynnikiem decydującym o stopniu ich porażenia przez grzyby powodujące zgniliznę odziomkową drewna, niezależnie od lokalizacji badanych drzewostanów.

Występują jednak wyjątki od zależności związanej z wiekiem, które wskazują na występowanie innych warunków zagrożenia zgnilizną drewna.

Wyjaśnienie przyczyn stwierdzonych różnic w procentowym udziale drewna zdrowego na przekroju poprzecznym badanych jodeł na poszczególnych powierzchniach oraz między powierzchniami wymaga dalszych badań.

Przeprowadzenie badań w drzewostanach na obszarze rezerwatów przyrody i parków narodowych umożliwiło dostęp do drzew znacznie starszych niż spotykane w lasach gospodarczych. Uzyskane wyniki wskazują, że obiekty te są szczególnie przydatne między innymi do badań nad selekcją cennych genotypów drzew.

## Podziękowania

W publikacji przedstawiono wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu badawczego pt. „Zastosowanie tomografii komputerowej do analizy zagrożenia zgnilizną odziomkową jodły w drzewostanach objętych ochroną rezerwatową w Karpackiej Krainie Przyrodniczo-Leśnej” sfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków budżetowych na naukę w latach 2010–2013 (umowa nr 1008/B/P01/2010/39).

## Literatura

- Bijak S. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (Northern Poland). *Geochronometria*, 35: 91–94.
- Bernadzki E. 2003. Struktura wieku i zagrożenie zgnilizną drewna starych drzewostanów sosnowych. *Sylwan*, 5: 3–12.
- Chomicz E., Niemtur S. 2008. Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich. *Leśne Prace Badawcze*, 69(3): 233–241.
- Ciscar J. C. (editor) 2014. Climate Impacts in Europe. The JRC PESETA II project. Publications Office of the European Union, Luxembourg: 1–151. <ftp.jrc.es/EURdoc/JRC87011.pdf> [6.02.2014] ISBN 978-92-79-36833-2.
- Dobrowolska D. 1999. Przyszłość jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w naszych lasach, w: Stan i perspektywy badań z zakresu hodowli lasu. Materiały I Konferencji Leśnej, Sękocin Las, 8–19 maja 1999, s. 179–185.
- Gori Y., P. Cherubini, F. Camin, N. La Porta, 2013. Fungal root pathogen (*Heterobasidion parviporum*) increases drought stress in Norway spruce stand at low elevation in the Alps. *European Journal of Forest Research*, 132: 607–619.
- Hess M. 1965. Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 11.
- IPCC. 2013. Climate change. 12. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. The Physical Science Basis. <http://www.ipcc.ch/> [6.02.2014]. ISBN 978-1-107-05799-1.
- Jaworski A., Pach M. 2014. A comparison of lower montane natural forest (*Abies*, *Fagus*, *Picea*) in Oszastr Reserve and spruce monocultures in the Żywiecki Beskid and Śląski Beskid. *Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers)*, 75(1): 13–23. DOI 10.2478/frp-2014-0002.
- 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.
- Kräuchi N. 1994. Modelling forest succession as influenced by a changing environment. *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft*, 2: 143–271.
- Krzysztof Z. 1985. Występowanie zgnilizny odziomkowej świerków w drzewostanach regla dolnego Tatrzańskiego Parku

- Narodowego. *Parki Narodowe, Rezerwaty Przyrody*, 2: 5–16.
- Łakomy P., Broda Z., Werner A. 2007. Genetic diversity of *Heterobasidion* spp. in Scots pine, Norway spruce and European silver fir stands. *Acta Mycologica*, 42(2): 203–210.
- Mattila U., Nuutinen T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica*, 1: 29–43.
- Niemtur S. 2007. Lasy karpackie: stan aktualny i próba prognozy. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 54: 31–44.
- Niemtur S., Chomicz E. 2008. Tomografia komputerowa świerków w zagrożonych drzewostanach o różnym statusie ochronnym. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 55: 99–112.
- Niemtur S., Chomicz E. 2009. Root rot diseases and bark beetles infestation in spruce stands of Silesian and Żywiec Beskid. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 56: 49–58.
- Niemtur S., Sierota Z., Głaz J., Nowakowska J., Jachym M., Małecka M., Matras J., Piszczek J., Wójcik J., Chomicz E., Kapsa M., Kowalik W. 2011. Kierunki zagospodarowania lasów beskidzkich na terenach pokłeszkowych. Dokumentacja naukowa z realizacji tematu BLP 340, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 1–185.
- Niemtur S., Chomicz E., Kapsa M. 2013. Computer tomography in wood-decay assessment of silver fir (*Abies alba* Mill.) stands in Polish part of Carpathians, in: Integrating Nature and Society towards Sustainability (J. Kozak, K. Ostapowicz, A. Bytnerowicz, B. Wyżga), Springer Verlag, ISBN 978-3-642-12724-3.
- 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.
- Siegel S., Castellan N. J. 1988. Nonparametric statistics for the behavioral sciences (2nd ed.) New York, McGraw-Hill Book Company.
- Pautasso M., Holdenrieder O., Stenlid J. 2005. Susceptibility to fungal pathogens of forests differing in tree diversity. *Ecological Studies*, 176: 263–289.
- Rodriguez Y. P., Gerendiaín A. Z., Pappinen A., Peltola H., Pulkkinen P. 2009. Differences in wood decay by *Heterobasidion parviporum* in cloned Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 39(1): 26–35.
- Siwecki R., Krzan Z. 1983. Ważniejsze choroby i szkodniki, w: Jodła pospolita *Abies alba* Mill., (red. S. Białobok), Warszawa-Poznań, PWN. ISBN 83-01-04028-9.
- Stenlid J., Wästerlund I. 1986. Estimating the frequency of stem rot in *Picea abies* using an increment borer. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1: 303–308.
- Surmiński J. 1983. Właściwości techniczne i możliwości zastosowania drewna jodły, w: Jodła pospolita *Abies alba* Mill. (red. S. Białobok), Warszawa-Poznań, PWN. ISBN 83-01-04028-9.
- Tinner W., Colombaroli D., Heiri O., Henne P. D., Steinacher M., Untenecker J., Vescovi E., Allen J.R. M., Carraro G., Conedera M., Joos F., Lotter A. F., Luterbacher J., Samartin S., Valsecchi V. 2013. The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs*, 83: 419–439.
- van Diepen L.T.A., Olson A., Ihrmark K., Stenlid J., James T. Y. 2013. Extensive Trans-Specific Polymorphism at the Mating Type Locus of the Root Decay Fungus *Heterobasidion*. <http://mbe.oxfordjournals.org/> at University of Michigan on November 24.
- Zamponi L., Paffetti D., Tegli S., Łakomy P., Capretti P., 2007. Genetic variation in *Heterobasidion abietinum* populations detected with the M13 minisatellite marker. The Authors Journal compilation, Berlin, Blackwell Verlag: 328–322.
- Zięba S. 2010. Wskaźnikowa analiza stanu lasów karpackich w latach 1967-2006. *Sylwan*, 154(7): 478–487.
- Żółciak A., Sierota Z., Małecka M. 2006. Przebieg choroby w uprawie sosny zwyczajnej w następstwie sztucznej inokulacji pniaków grzybnią korzeniowca wieloletniego. *Leśne Prace Badawcze*, 1: 37–55.

## Wkład autorów

S.N. – pomysł podjęcia przedstawionej tematyki oraz opieka merytoryczna nad całością tekstu, udział w pracach terenowych, E.Ch. – udział w pracach terenowych, obliczenia statystyczne, M.K. – udział w pracach terenowych.

## Occurrence of the silver fir (*Abies alba* Mill.) butt rot in protected areas

Stanisław Niemtur\*, Elżbieta Chomicz, Mariusz Kapsa

Forest Research Institute, Department of Mountain Forestry, ul. Fredry 39, 30–605 Kraków, Poland

\*Tel. +48 12 252 8210, fax +48 12 252 8202, e-mail: S.Niemtur@ibles.waw.pl

**Abstract.** The aim of the study was to analyse butt rot incidences in silver fir stands of selected nature reserves and national parks. The study included 11 stands in Carpathian forests and for comparison 4 stands outside the Carpathians. To identify butt rot in fir trees, we used the non-invasive method of acoustic tomography. We tested 30 randomly selected fir trees in each of the 15 stands using Picus Sonic tomography to determine butt rot occurrence and to assess the proportion (%) of healthy wood in cross-sections of the tree trunk. The results indicate significant differences in the frequency of butt rot in silver fir at the individual level as well as the population level. This variability in frequency was not dependent on geographical location of the investigated stands.

**Key words:** silver fir, butt rot, nature reserve, national park, acoustic tomography, Picus Sonic, Carpathians

### 1. Introduction

Silver fir *Abies alba* Mill. is one of the main forest-forming tree species in the Carpathian region. It holds the second position after the common beech with regard to the area covered and standing volume (Niemtur 2007). In 2006, forest stands with silver fir dominance, typical for the Carpathians landscape, covered app. 21% of the area of the Carpathians in Poland. This indicates a distinctive decrease with comparison to 1967, when fir stands grew on app. 28.3% of the area. In the 1960s and 1970s, accelerated dieback of silver fir stands occurred in the Carpathians as a result of combined negative effects of biotic and abiotic factors (Zięba 2010).

After their perilous phase, at the present time, silver fir stands indicate visible symptoms of recovery in terms of regeneration and development. All this goes to show that in the future, the importance of silver fir will increase, also because of widespread dieback of spruce stands and their all-encompassing reconstruction into mixed stands with a considerable share of silver fir (Niemtur 2007; Jaworski, Pach 2014).

In managed forests, even though silver fir trees grow slowly in the first class of age (1–20 years), they form bulky volume stands in mature phase. Silver fir trees produce larger timber volume than that of pine trees, and given appropriate site conditions, fir production can be even higher than that of Norway spruce (Dobrowolska 1999). Stand productivity is associated with the quality of timber obtained. Silver fir timber reminds spruce in terms of the look and technical features, and therefore, it can be used for same purposes as that of spruce (Surmiński 1983). However, in spruce stands, big timber losses have been observed due to wood rot occurring regularly in the most valuable bottom part of the trunk. Wood decay processes progress significantly with stand age (Norkorpi 1979; Bernadzki 2003).

The susceptibility of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. to wood decay caused by fungi is commonly known, and thus the majority of studies on butt rot have been focused on this species (Norkorpi 1979; Stenlid, Wåsterlund 1986; Krzan 1985; Mattila, Nuutinen 2007; Kohnle, Kändler 2007). On the other hand, the significance of butt rot problem in silver fir has not been ad-

equately recognised. In subject literature, a number of fungi have been reported as the prospective cause of wood decay in silver fir. However, there is a lack of information on the extent of damage caused by fungal activity in silver fir stands. In comparison to Norway spruce, there has been reported lesser vulnerability of silver fir to wood decay (Kohnle, Kändler 2007). Quite the opposite, the results of the study carried out with the use of sonic tomography in managed forests of the Żywiec and Silesian Beskid indicated that butt rot problem concerned spruce and fir trees to a similar degree (Niemtur et al. 2013).

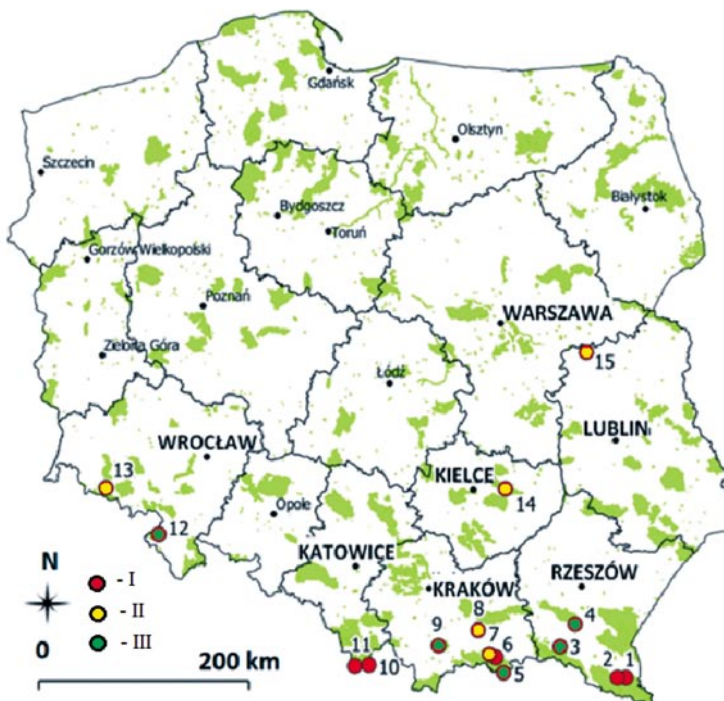
Taking into consideration the lack of tree stumps in unmanaged forests, analysis of butt rot frequency in these areas have to be performed on standing trees. Up-to-date studies on standing trees have been essentially based on examination of core samples extracted at breast or root collar height (Krzan 1985). The method involves mechanical intrusion inside living tree tissues and, consequently, can add to disease spreading. Furthermore, it has been estimated that core sampling at breast height allows for identifying only 50% of real pathogen damages (Stenlid, Wästerlund 1986). In the protected areas, such as national parks and nature reserves, butt rot damage assessments involve avoiding destructive research methods and can be performed by means of a non-invasive procedure with the use of sonic tomography.

The aim of the present study is to identify in selected national parks and nature reserves, silver fir individual trees or stands representing low susceptibility to butt rot. The results obtained can serve as preliminary data for further studies on possibilities of breeding silver fir genotypes less vulnerable to fungal pathogens that cause butt rot.

## 2. Methods

### Research plots

The study was carried out in the years 2010–2013 in silver fir stands or those with prevailing silver fir share. In the Carpathian natural-forest region, there were selected tree stands in Gorce National Park and in 10 nature reserves as representative for the whole mountain range in the region – from the Żywiec Beskid Mts. (reserves Oszastr and Śrubita) to the Bieszczady Mts. (reserves Hulskie and Sine Wiry) (Fig. 1). Besides, the study comprised silver fir stands situated in the National Parks: Karkonosze, Góry Stołowe and Świętokrzyski. Additionally, there was included silver fir stand in Jata nature reserve situated beyond silver fir natural range (Fig. 1). Characteristics and location of the research plots are presented in Fig. 1 and Table 1.



**Figure 1.** Location of research plots I, II, III – plot evaluation categories (see Results)

1 – Hulskie, 2 – Sine Wiry, 3 – Cergowa G., 4 – Kretówki, 5 – Hajnik, 6 – Uhryń, 7 – Barnowiec, 8 – Białowodzka G., 9 – Gorce NP, 10 – Oszastr, 11 – Śrubita, 12 – Góry Stołowe NP, 13 – Karkonosze NP, 14 – Świętokrzyski NP, 15 – Jata

**Table 1.** Characteristics of research plots

No	Reserve/National Park	Height a.s.l.	Exposure	Coordinates		Main species of stands	Area ha	Year of creation
1	Hulskie	800	W	49°15'20.9"N	22°33'11.4"E	Bk, Jd	189.87	1983
2	Sine Wiry	750	SW	49°15'41.4"N	22°25'28.7"E	Bk, Jd	450.49	1987
3	Cergowa G.	650	N	49°32'7.8"N	21°42'17.2"E	Bk, Jd, Jw	61.35	1963
4	Kretówki	400'	NE	49°42'50.7"N	21° 54'45.1"E	Bk, Jd	95.27	1959
5	Hajnik	700	SE	49°19'50.54"N	20°57'38.57"E	Jd	16.9	1974
6	Uhryń	750	NW	49°27'44"N	20°51'32"E	Bk, Jd	16.52	1957
7	Barnowiec	860	NE	49°29'17.8"N	20°46'20.6"E	Bk, Jd, Jw	21.61	1924
8	Białowodzka Góra	400	NE	49°41'23"N	20°37'53"E	Bk, Jd	67.74	1961
9	Gorce NP	750	SW	49°34'28"N	20°05'39"E	Jd	-	1981
10	Oszast	925–1147	NE	49°25'54"N	19°11'16"E	Bk, Jd, Św, Jw	48.8	1971
11	Śrubita	780–960	N	49°24'22"N	19°0'42"E	Bk, Jd	25.86	1958
12	Góry Stołowe NP	720	flat	50°29'32"N	16°19'28"E	Jd	-	1993
13	Karkonosze NP	500	N	50°50'16"N	15°38'50"E	Bk, Jd	-	1959
14	Świętokrzyski NP	570	S	50°53'39"N	20°54'37"E	Jd	-	1924
15	Jata	170	flat	51°57'53.9"N	22°12'41.6"E	Jd	1116.8	1933

Notes: Bk – *Fagus sylvatica* L., Jd – *Abies alba* Mill., Św – *Picea abies* (L.) Karst, Jw – *Acer pseudoplatanus* L.

## Tomographic evaluations

Butt rot incidence in tree trunk cross-section was determined by means of the Picus Sonic Tomograph (Argus Electronic, Rostock, Germany). The apparatus records differences in the speed of sound wave transmission in wood depending on its features, and in a non-invasive way collects information on rot occurrence and infection size in tree trunk cross-section. Detailed description of the Picus Sonic Tomograph and the principles of how it works are available at the producer's webpage: <http://www.argus-electronic.de>.

In each tested stand, tomographic evaluations were carried out on 30 randomly selected silver fir trees growing in the immediate vicinity. Concurrently, tree height and diameter at breast height (DBH) were measured, and tree age was determined using Pressler increment borer.

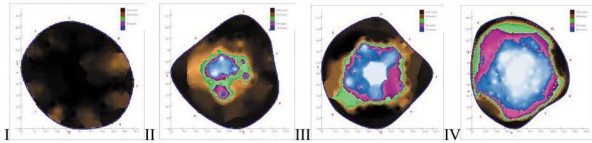
Tomographic data were collected at the height of 10 cm above the ground level. In accordance with the producer's manual, on trunk circumference line, there were marked 8–10 measuring points depending on tree thickness. The point number 1 was always established at the northern side of the trunk. At each point, there was introduced an electrode that contacted trunk wood,

and then the electrode was magnetically contacted with a sensor. At each measuring point, three sonic impulses were induced with the use of a hammer (version Lite). The geometry of trunk cross-section was projected using appropriate distances between the measuring points, determined using a Picus caliper. Sensor information was radio transmitted to Picus Expert computer software (version Q72), which generated tomograms of silver fir trunk cross-sections.

## Tomogram examinations

A tomogram gives an image of tree trunk cross-section at the point of measurement. Different colours visible in the tomogram indicate different stages of wood decay caused by the activity of pathogenic fungi. The colours observed in the images obtained from each tree allowed for distinction of three wood categories: healthy (with no signs of decay) – dark and light brown colour, damaged wood – blue and purple, and unknown – green. The percentage of each category in the total area of cross-section was automatically computed by Picus Expert software.

Based on the results of tomogram examinations in 30 silver fir trees in each stand observed, the mean share



**Figure 2.** Tomograms of firs in health classes: Class I – 100% of undamaged wood; class II – 76–99% of undamaged wood; class III – 50–75% of undamaged wood; class IV – <50% of undamaged wood

of healthy wood and the coefficient of variation for this feature were determined. Altogether, tomograms of 450 silver fir trees from 15 stands were analysed.

In line with tomogram results, tested trees were assigned to four classes of wood health: I class – 100% of healthy wood; II – 76–99%; III – 50–75%; IV – less than 50%. The examples of tomograms presented in Fig. 2 demonstrate decay ranges observed in the health classes.

Designed for valuation of silver fir trees on different areas studied, there was used tree scoring system for the specimens assigned to the above health classes: when in class I – 10 points, II – 7 points, III class – 4 points, and IV – 0 points. The total score of 30 silver fir trees represented the stand damage extent in a given study area.

### Statistical analyses

Investigated fir stands were compared in terms of the average (for 30 trees) share of healthy wood on the tomogram. Mean comparisons were carried out with the use of one-way analysis of variance (ANOVA). Post-hoc analysis was performed using Tukey's tests. Based on the results obtained, determination of homogeneous groups were made, that is, silver fir stands not significantly different with regard to a given feature.

Analogous comparisons were performed for the determined tree health classes. Taking into account different numbers of trees in the classes (class I – 73, II – 159, III – 162, IV – 56 trees), the differences between the mean values were tested with the use of the Kruskal–Wallis test (nonparametric equivalent for one-way ANOVA). There were determined statistically significant differences between the classes with regard to the mean values of: healthy wood share determined in the tomogram, tree age and DBH. Post-hoc analysis of mean ranks for all samples was performed with the use of multiple comparison tests with computed Z statistics as described by Siegel, Castellan (1988).

All tests were performed using the tools available in Statistica 9 software.

### 3. Results

The tomograms obtained indicated considerable variability of butt rot frequency observed in the analysed stands (Table 3). Differences were notable both at an individual tree level in the groups of 30 silver fir trees and between the 15 stands tested. The largest differences with regard to the number of trees with decaying wood were observed in Uhryń (Table 2, Fig. 3A) and in Gorce National Park (Table 2, Fig. 3B).

Large differences were also found between silver fir trees in nature reserves Uhryń and Hajnik – also situated in the Beskid Sądecki Mts. (Leluchowskie Mts.) In Hajnik, no damage was observed in 10 silver fir trees (100% of healthy wood in trunk cross-section), whereas in Uhryń, among 30 tested trees, only 1 showed no symptoms of butt rot infection (Table 2, Fig. 3) – even though site conditions were similar in both nature reserves. The results of tree valuation in Uhryń showed the lowest score when compared to the rest of the areas analysed, that is, 98 points (Table 2); while in Gorce National Park, the trees tested scored 266 points, and in Hajnik – 213 points. An important factor was the age of examined silver fir trees, which on average ( $n = 30$ ) was: Uhryń – 135 years, Hajnik – 79 years and Gorce National Park – 99 years. However, tree age as a decisive factor for the extent of butt rot infection in silver firs does not clarify why the firs examined in nature reserves Oszast and Śrubita (30 specimens in each) scored the same number of points – 121. These reserves were considerably different in terms of silver fir age – 109 and 150 years, respectively (Table 3).

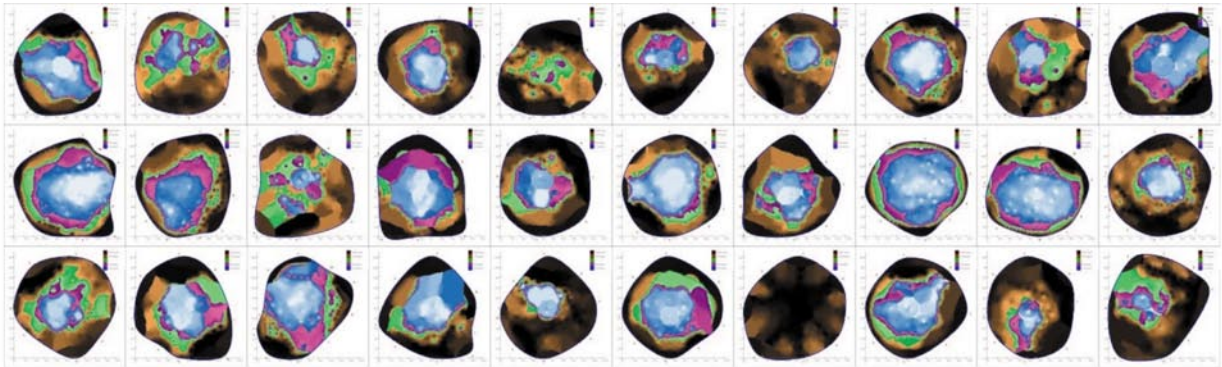
The results of tree valuation carried out based on the scoring system showed no relationship between butt rot infection intensity in the wood of silver fir and distribution of silver fir stands in the nature reserves and national parks observed (Fig. 4).

The stands examined differed significantly with regard to the mean percentage share of healthy wood evaluated in tree cross-section tomograms (ANOVA  $F = 8489.470$ ;  $p < 0.000$ ). The largest difference was observed between silver fir trees in Uhryń, the most damaged by butt rot, and the Gorce National Park, the least affected by rot (Table 3,  $p < 0.000$ ). Post-hoc tests allowed for the distinction of four homogeneous groups with reference to the stand percentage mean share of healthy wood in silver fir trunk cross-section. The groups comprised silver fir stands from different locations in the Carpathian region and also those from the areas outside the region. The differences reliant upon

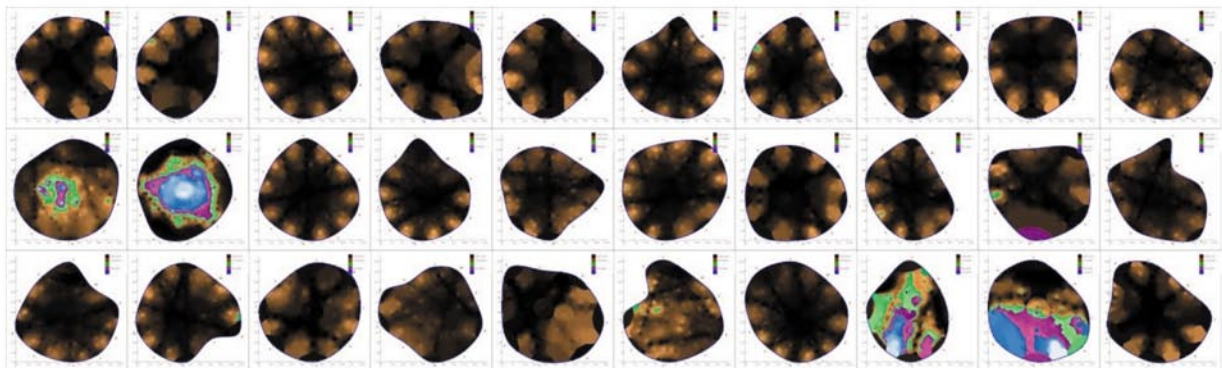
**Table 2.** Tree valuation scores in studied silver fir stands

No	Reserve / National Park	Number of trees in health classes:				Sum of points
		I	II	III	IV	
		100% 10 pts	75–99% 7 pts	50–76% 4 pts	<50% 0 pts	
1	Hulskie	0×10	11×7	12×4	7×0	125
2	Sine Wiry	1	6	14	9	108
3	Cergowa Góra	3	23	4	0	207
4	Kretówki	8	13	9	0	207
5	Hajnik	10	11	9	0	213
6	Uhryń	1	4	15	10	98
7	Barnowiec	2	10	12	6	138
8	Białowodzka G.	3	10	16	1	164
9	Gorce NP	23	4	2	1	266
10	Oszast	1	9	12	8	121
11	Śrubita	0	7	18	5	121
12	Góry Stołowe NP	7	18	5	0	216
13	Karkonosze NP	4	7	16	3	153
14	Świętokrzyski NP	8	13	3	6	183
15	Jata	2	13	15	0	171
Total		73	159	162	56	

A.



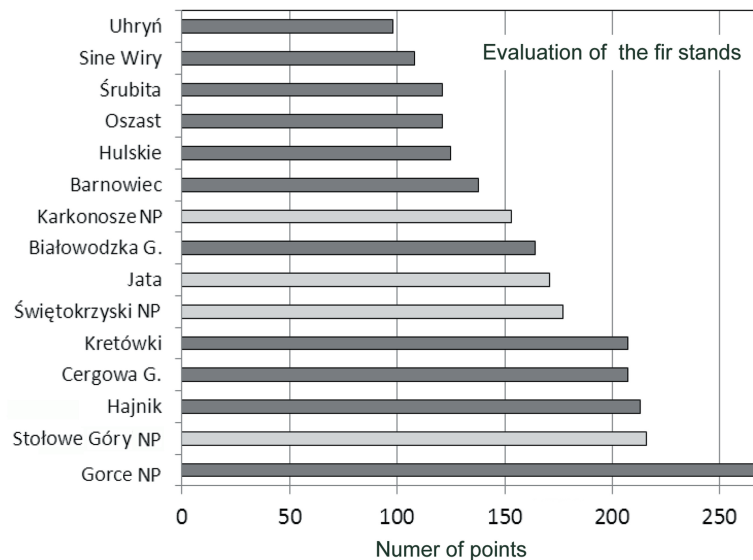
B.

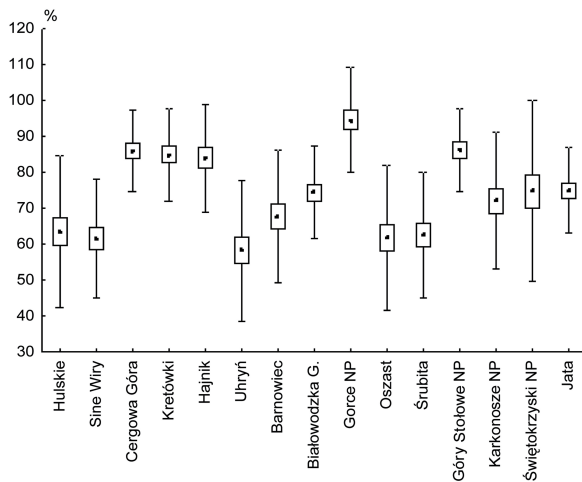
**Figure 3.** Tomograms of silver fir trees examined in: A. – Uhryń Reserve, B. – Gorce National Park

**Table 3.** Mean percentage of healthy wood on tomograms of 30 silver firs, DBH and age of examined trees

Reserve / National Park	Tree age	Diameter at breast height		Mean % share of healthy wood on 30 tomograms			$R_{d,zp}$
		$d_{30}$ [cm]	$Wz$ [%]	$m_{30}$ [%]	$Wz$ [%]	homogeneous groups Tukey HSD test	
I.							
Uhryń	135	75.4	30.3	58.2	33.7	X	<b>-0.669</b>
Sine Wiry	92	57.3	24.2	61.5	26.7	X X	<b>0.377</b>
Oszast	109	59.5	34.5	61.7	32.9	X X	-0.205
Śrubita	150	64.8	25.0	62.6	27.9	X X	<b>-0.644</b>
Hulskie	124	69.0	31.0	63.5	33.3	X X	<b>-0.366</b>
II.							
Barnowiec	145	73.5	25.2	67.7	27.1	X X	<b>-0.341</b>
Karkonosze NP	95	44.5	24.1	72.1	26.3	X X X	<b>0.422</b>
Białowodzka G.	78	54.9	20.5	74.3	17.3	X X	0.089
Świętokrzyski NP	121	58.2	38.1	74.8	33.14	X X	<b>-0.436</b>
Jata	98	56.6	20.1	74.9	15.7	X X	-0.032
III.							
Hajnik	79	59.1	23.1	84.0	17.9	X X	-0.058
Kretówki	80	50.8	17.2	84.9	15.2	X X	0.193
Cergowa G.	128	49.8	17.1	85.9	13.1	X X	<b>-0.366</b>
Góry Stołowe NP	96	53.4	17.9	86.1	13.6	X X	-0.212
Gorce NP	99	76.2	22.7	94.5	15.5	X	0.005

Notation:  $m_{30}$  – arithmetic mean (30 trees),  $Wz$  – coefficient of variation,  $R_{d,zp}$  – correlation coefficient of healthy wood percentage and DBH of 30 trees examined on experimental plots; I, II, III – stand evaluation categories as in Figure 1.

**Figure 4.** Evaluation of investigated stands in 11 nature reserves (marked darker) and 4 national parks.



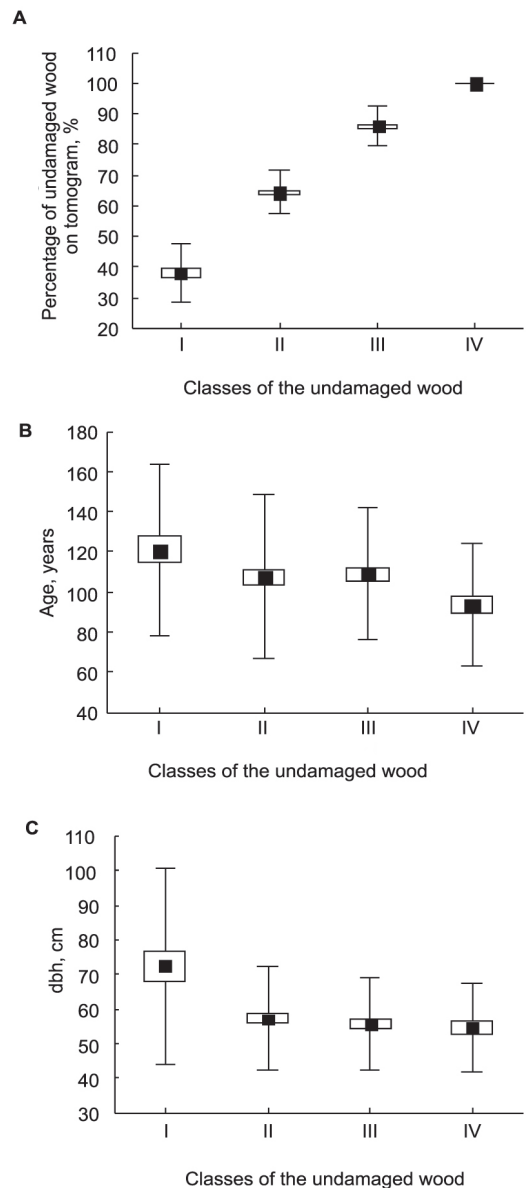
**Figure 5.** Percentage of healthy wood on tomograms: mean (tag), standard error (box), standard deviation (line segments)

stand geographical situation were not found, hence differentiation between the groups was indefinite (as a result, just three groups are presented in Fig. 1). Silver fir stands in the Carpathian region were not distinguishable from those in other regions (did not form a separate homogeneous group).

Even though no obvious trend was observed in the distribution of stands with analogous extent of butt rot infection, comparable damage amounts were noticeable in neighbouring stands, for example, those growing in nature reserves Hulskie and Sine Wiry or else Oszast and Śrubita (Fig. 4).

The correlation coefficients of the percentage of healthy wood in tree cross-section and tree DBH on a given area showed negative values and the relationships were statistically significant, however, only for silver firs older than 120 years. Younger trees did not show this kind of correlation or else – negative correlations as in the case of the Karkonosze National Park or Sine Wiry (Table 3).

Considerable differences in butt rot infection levels were observed in silver firs equally at a population (stand) level (Fig. 3 and 5) and between individual trees. Among 450 silver fir trees examined in 15 stands, there were observed 73 specimens showing no symptoms of decaying wood in their butts (I health class, Table 2) and 56 trees with one-half of wood in trunk cross-section affected by butt rot (IV health class, Table 2). Statistical analysis performed (Kruskal–Wallis test) showed, that trees in different health classes differed significant-



**Figure 6.** Percentage of healthy wood on tomograms (A), tree age (B) and DBH (C) in silver firs assigned to four health classes: mean (tag), standard error (box), standard deviation (line segments).

ly with reference to: the age ( $H = 12.035$ ;  $p = 0.007$ ), DBH ( $H = 15.604$ ;  $p = 0.001$ ) and the percentage share of healthy wood ( $H = 303.399$ ;  $p = 0.000$ ).

The differences in the percentage of healthy wood, mean tree age and mean DBH with reference to the health classes are presented below, in Fig. 6 A, B, C.

### 3. Discussion

In Poland, studies on butt rot frequency in silver fir trees growing within nature reserves and national parks have not so far been conducted on a wide scale. The present study comprises the first measurement trial to evaluate a range of butt rot occurrence in silver fir stands in advanced age.

The silver fir has been perceived as the ‘ecological balance keeper’ in our forests. This species is characteristic of good natural regeneration, its young growth stages are shade tolerant and it generally is receptive to silvicultural practices. The silver fir is superior for building multi-generation stands with differentiated structure, enhancing forest biodiversity. Besides representing ecological value, this tree species achieves high production results. It shows great adaptation capability and grows well even beyond its natural range (Jaworski et al. 1995; Dobrowolska 1999; Bijak 2010).

The importance of silver fir stands will increase in the future, taking into account large-scale dieback of spruce stands in mountainous regions, and also in view of currently carried out extensive conversion of spruce monocultures into mixed stands with substantial silver fir admixture (Jaworski, Pach 2014). Furthermore, in the context of ongoing climate changes, further decline of pine and spruce stands has been forecasted, whereas the silver fir has been listed among tree species capable of enduring changeable environment conditions (Kräuchi 1994; Ziemia 2010; Tinner et al. 2013; Jaworski, Pach 2014). Climate change will force adjusting tree species composition in reforestation areas, and consequently – the structure of future Carpathian tree stands. For the Carpathian Mts., there is predicted temperature increase by 2–4°C until the end of 21st century (IPCC 2013). Simultaneously, there are forecasted increased precipitation during the winter and decreased rainfall with irregular distribution in the vegetation season. At the same time, incidence of weather anomalies will grow, which will negatively affect ecosystems, especially in mountainous conditions (Gori 2013; Ciscar 2014).

Assuming the most precautionous prediction by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2013), that is, average temperature increase by 2°C at the end of 2100, it can be adjudged that altitudinal zonation in the Carpathian Mts. described by Hess (1965) will be shifted up. Therefore, it is highly probable that vegetation layers will react in the same way, and that

tree species now occurring in the lower parts of the mountains will find appropriate climate conditions for their development at higher elevations. For the silver fir, this may result in enhanced competition with deciduous tree species growing at lower elevations, mainly the common beech, and also an increased share in forests at higher elevations.

The results of the present study showed no clear trend in geographical distribution of silver fir stands with analogous extent of butt rot infection. Also, no differences in this regard were found between Carpathian silver fir stands and those with other Poland’s silver fir provenances. This means that variability of butt rot occurrence is not reliant upon local conditions.

The age of the stands examined was the factor with the biggest effect on butt rot frequency. Increasing butt rot incidence and effectual advanced wood decomposition have been well documented for spruce stands (Norokorpi 1979; Krzan 1985; Bernadzki 2003; Chomicz, Niemtur 2008; Niemtur, Chomicz 2008; Niemtur, Chomicz 2009). According to Norkopi (1979), butt rot problem starts to develop in spruce stands less than 100 years of age and most probably concerns all 300–400 years old spruce trees. Bernadzki (2003) concludes his studies on old pine stands growing on lowlands that upholding trees in forests until old age increases significantly the risk of butt rot infection. The author estimated probability of butt rot incidence of about 30% in 120-year-old and 60% in 200-year-old stands. Similar relationships were observed in managed silver fir stands examined during preliminary studies with regard to stand age and butt rot infection carried out in the Forest District Ujszoły (Niemtur et al. 2013).

The results of earlier studies conducted in spruce stands (Niemtur, Chomicz 2008), and in three silver fir seed orchards within the area of the Forest Districts Węgierska Górka, Limanowa and Baligród (Niemtur et al. 2011) indicated that in more than 90% of examined older trees, there occur pathological changes in tree butts. At the same time, individual silver fir specimens with no traces of damage were found, notwithstanding their old age.

The question of varied tree susceptibility to fungal pathogens was discussed, for example, by Pautasso et al. (2005). The authors believe that this variability is a direct result of natural defense strategy undertaken by forest ecosystems. The occurrence of spruce clones with lower vulnerability to damage due to *Heterobasidion parviporum* was described by Rodriguez et al. (2009). Żolciak et al. (2006) state fungal disease spread in pine

reforestation areas is much influenced by individual tree features since not all trees growing in vicinity of *Heterobasidion annosum* infected stumps are affected by this fungus. On the other hand, genetic variability in pathogens has been widely documented (Łakomy 2007; Zamponi 2007; van Diepen 2013).

Nature protection in the national parks and reserves is among others connected with *in situ* conservation of genetic resources of tree ecotypes with capability to adapt to wide-ranging mountainous conditions. These invaluable genetic resources are guarded within the protected areas, and being excluded from national programs on seed selection, in practice they are not used in silviculture of multifunctional forests. This is a great loss since the trees growing within protected areas often have unique features and their genotypes could enhance biodiversity in reconstructed forests. The issue concerns particularly endangered tree species and those introduced into forests in the Carpathian and Sudety Mts. as a result of spruce forest reconstruction or afforestation of calamity areas. The silver fir is a good example of tree species whose area share in mountainous forests is constantly growing as a result of artificial and natural regeneration (Przybylska, Ziemia 2007). Identification and collection of silver fir seeds less susceptible to fungal pathogens (Rodriguez et al. 2009) could enrich genetic pool of forest breeding material and improve silviculture of new forest stands or else advance reconstruction of old ones.

## 5. Conclusions

Regardless of geographical location of the stands examined, the age of silver fir trees was the key factor that determined the extent of tree infection by butt rot pathogenic fungi that cause trunk wood decay.

However, in the above age-infection relationship, the exceptions were observed, which indicated responsibility of other factors involved in butt rot spreading.

Explanation of reasons behind the differences in the percentage share of healthy wood in tree trunk cross-section observed between individual silver fir trees as well as at a level of the stand within the areas studied needs further research.

The study carried out within the areas of nature reserves and national parks allowed for examination of silver fir trees much older than those growing in managed forests. The results obtained indicated that protected trees could be more than ever useful, especially in the studies on valuable tree genotypes.

## Acknowledgement

The paper comprises the results of the study carried out in a framework of the research project “The use of tomography in the analysis of butt rot of silver fir trees in forest stands in protected nature reserves in the Carpathian Land of Nature and Forest” financed by the Ministry of Science and Higher Education from the budget funds in the years 2010–2013 (grant 1008/B/P01/2010/39).

## References

- Bijak S. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (Northern Poland). *Geochronometria*, 35: 91–94.
- Bernadzki E. 2003. Struktura wieku i zagrożenie zgnilizną drewna starych drzewostanów sosnowych. *Sylwan*, 5: 3–12.
- Chomicz E., Niemtur S. 2008. Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich. *Leśne Prace Badawcze*, 69(3): 233–241.
- Ciscar J. C. (editor) 2014. Climate Impacts in Europe. The JRC PESETA II project. Publications Office of the European Union, Luxembourg: 1–151. <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC87011.pdf> [6.02.2014] ISBN 978-92-79-36833-2.
- Dobrowolska D. 1999. Przyszłość jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w naszych lasach, in: Stan i perspektywy badań z zakresu hodowli lasu. Materiały I Konferencji Leśnej, Sękocin Las, 8–19 maja 1999, p. 179–185.
- Gori Y., P. Cherubini, F. Camin, N. La Porta, 2013. Fungal root pathogen (*Heterobasidion parviporum*) increases drought stress in Norway spruce stand at low elevation in the Alps. *European Journal of Forest Research*, 132: 607–619.
- Hess M. 1965. Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 11.
- IPCC. 2013. Climate change. 12. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. The Physical Science Basis. <http://www.ipcc.ch/> [6.02.2014]. ISBN 978-1-107-05799-1.
- Jaworski A., Pach M. 2014. A comparison of lower montane natural forest (*Abies*, *Fagus*, *Picea*) in Oszastr Reserve and spruce monocultures in the Żywiecki Beskid and Śląski Beskid. *Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers)*, 75(1): 13–23. DOI 10.2478/frp-2014-0002.
- 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.
- Kräuchi N. 1994. Modelling forest succession as influenced by a changing environment. *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft*, 2: 143–271.
- Krzan Z. 1985. Występowanie zgnilizny odziomkowej świerków w drzewostanach regla dolnego Tatrzańskiego Parku

- Narodowego. *Parki Narodowe, Rezerwy Przyrody*, 2: 5–16.
- Łakomy P., Broda Z., Werner A. 2007. Genetic diversity of *Heterobasidion* spp. in Scots pine, Norway spruce and European silver fir stands. *Acta Mycologica*, 42(2): 203–210.
- Mattila U., Nuutinen T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica*, 1: 29–43.
- Niemtur S. 2007. Lasy karpackie: stan aktualny i próba prognozy. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 54: 31–44.
- Niemtur S., Chomicz E. 2008. Tomografia komputerowa świerków w zagrożonych drzewostanach o różnym statusie ochronnym. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 55: 99–112.
- Niemtur S., Chomicz E. 2009. Root rot diseases and bark beetles infestation in spruce stands of Silesian and Żywiec Beskid. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 56: 49–58.
- Niemtur S., Sierota Z., Głaz J., Nowakowska J., Jachym M., Małecka M., Matras J., Piszczek J., Wójcik J., Chomicz E., Kapsa M., Kowalik W. 2011. Kierunki zagospodarowania lasów beskidzkich na terenach pokłęskowych. Dokumentacja naukowa z realizacji tematu BLP 340, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 1–185.
- Niemtur S., Chomicz E., Kapsa M. 2013. Computer tomography in wood-decay assessment of Silver fir (*Abies alba* Mill.) stands in Polish part of Carpathians, in: Integrating Nature and Society towards Sustainability (J. Kozak, K. Ostapowicz, A. Bytnerowicz, B. Wyżga), Springer Verlag, ISBN 978-3-642-12724-3.
- Norokorpi Y. 1979. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay causing microbes in northern Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae*, 97(6): 1–77.
- Siegel S., Castellan N. J. 1988. Nonparametric statistics for the behavioral sciences (2nd ed.) New York, McGraw-Hill Book Company.
- Pautasso M., Holdenrieder O., Stenlid J. 2005. Susceptibility to fungal pathogens of forests differing in tree diversity. *Ecological Studies*, 176: 263–289.
- Rodriguez Y. P., Gerendia A. Z., Pappinen A., Peltola H., Pulkkinen P. 2009. Differences in wood decay by *Heterobasidion parviporum* in cloned Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 39(1): 26–35.
- Siwecki R., Krzan Z. 1983. Ważniejsze choroby i szkodniki, in: Jodła pospolita *Abies alba* Mill., (ed. S. Białobok), Warszawa-Poznań, PWN. ISBN 83-01-04028-9.
- Stenlid J., Wästerlund I. 1986. Estimating the frequency of stem rot in *Picea abies* using an increment borer. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1: 303–308.
- Surmiński J. 1983. Właściwości techniczne i możliwości zastosowania drewna jodły, in: Jodła pospolita *Abies alba* Mill. (ed. S. Białobok), Warszawa-Poznań, PWN. ISBN 83-01-04028-9.
- Tinner W., Colombaroli D., Heiri O., Henne P. D., Steinacher M., Untenecker J., Vescovi E., Allen J.R. M., Carraro G., Conedera M., Joos F., Lotter A. F., Luterbacher J., Samartin S., Valsecchi V. 2013. The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs*, 83: 419–439.
- van Diepen L.T.A., Olson A., Ihrmark K., Stenlid J., James T. Y. 2013. Extensive Trans-Specific Polymorphism at the Mating Type Locus of the Root Decay Fungus *Heterobasidion*. <http://mbe.oxfordjournals.org/> at University of Michigan on November 24.
- Zamponi L., Paffetti D., Tegli S., Łakomy P., Capretti P., 2007. Genetic variation in *Heterobasidion abietinum* populations detected with the M13 minisatellite marker. The Authors Journal compilation, Berlin, Blackwell Verlag: 328–322.
- Zięba S. 2010. Wskaźnikowa analiza stanu lasów karpackich w latach 1967-2006. *Sylwan*, 154(7): 478–487.
- Żółciak A., Sierota Z., Małecka M. 2006. Przebieg choroby w uprawie sosny zwyczajnej w następstwie sztucznej inokulacji pniaków grzybnią korzeniowca wieloletniego. *Leśne Prace Badawcze*, 1: 37–55.

## Authors' contribution

S.N. – concept, manuscript preparation care, participation in fieldwork, E.Ch. – participation in fieldwork, statistical analysis, M.K. – participation in fieldwork.