

Występowanie zgnilizny odziomkowej drzew matecznych jodły pospolitej *Abies alba* Mill. i świerka pospolitego *Picea abies* (L.) z nadleśnictw karpackich

Butt rot occurrence in plus trees of Silver fir *Abies alba* Mill. and Norway spruce *Picea abies* (L.) from the Carpathians

Elżbieta Chomicz-Zegar*, Stanisław Niemtur, Mariusz Kapsa, Sławomir Ambroży

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Lasów Górskich, ul. Fredry 39, 30-605 Kraków

*Tel. +48 12 2528214, e-mail: E.Chomicz@ibles.waw.pl

Abstract. Due to its hidden character, butt rot occurrence is not commonly included in the assessment of plus trees' health status. Thus, the trees' varied susceptibility to wood decay is not a target of breeding efforts. The aim of the study was to determine the extent of butt rot in fir and spruce plus trees from Carpathian seed stands.

We employed the novel and non-invasive diagnostic method of sonic tomography to determine presence and severity of decay at the base of 110 plus trees of silver fir and 42 of Norway spruce.

Butt rot in various stages of development occurred in 63% of investigated fir trees and in 45% of spruce trees. The proportion of damaged wood on the tomogram ranged from 0–38% in fir and 0–47% in spruce with similar average proportions of solid wood in all forest districts. The vast majority of trees was in the range of 80–90% solid wood. Plus trees of fir and spruce were affected by butt rot to a similar extent and the degree of damage increased with age in both species.

However, a large variation in susceptibility to butt rot was found between individual trees leading to the conclusion that the identification of old trees, which wood is not decayed, may be the basis for further research on the resistance to butt rot.

Keywords: butt rot, sonic tomography, plus trees, resistance, *Abies alba*, *Picea abies*

1. Wstęp

Hodowla selekcyjna drzew leśnych w praktyce gospodarczej Lasów Państwowych opiera się na dwóch metodach: selekcji populacyjnej, bazującej na drzewostanach nasiennych oraz selekcji indywidualnej, obejmującej drzewa mateczne. Głównym celem prowadzonej selekcji jest intensyfikacja produkcji oraz ulepszenie cech jakościowych drzew. W mniejszym stopniu natomiast uwzględnione są kwestie odporności drzew na czynniki biotyczne. Jak wskazują badania, selekcję drzew pod kątem odporności należy skoncentrować raczej na poziomie osobniczym niż populacyjnym (Delatour et al. 1998). Zatem w przyjętym modelu hodowli selekcyjnej drzew leśnych przedmiotem zainteresowania hodowli odpornościowej powinny być przede wszystkim drzewa mateczne.

Warunkiem wyboru drzew matecznych jest ich dobry stan zdrowia (DGLP 2013). Jednakże zdrowotność drzew podlegających selekcji oceniana jest jedynie na podstawie zewnętrznych oznak obecności organizmów szkodliwych. Powodowana przez grzyby zgnilizna wewnętrzna, obejmująca

fizjologicznie nieczynne drewno twarde, może długo przebiegać bez naruszenia funkcji życiowych drzewa. W efekcie proces chorobowy często postępuje bez widocznych objawów czy zewnętrznych śladów obecności grzybów zgniliznowych, a drzewa mogą dożywać późnego wieku, pomimo zaawansowanego rozkładu drewna wewnątrz pnia. W związku z utajonym charakterem procesu rozkładu drewna, występowanie zgnilizny wewnątrz pni drzew zazwyczaj nie jest uwzględnione we wspomnianej ocenie stanu zdrowotnego drzew matecznych. Tym samym zróżnicowana podatność drzew na uleganie zgniliznie odziomkowej nie jest elementem prowadzonych prac selekcyjnych.

Świerk pospolity *Picea abies* (L.) H. Karst. i jodła pospolita *Abies alba* Mill. należą do głównych gatunków lasotwórczych w terenach górskich w Polsce. Świerk jest gatunkiem często opanowywanym przez sprawców zgnilizny korzeni i odziomkowej partii pnia, stąd temu gatunkowi poświęcona jest większość opracowań dotyczących występowania zgnilizny odziomkowej (Norokorpi 1980; Krzan 1985; Stenlid, Wästerlund 1986; Kohnle, Kändler 2007; Mattila, Nuutinen

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. Badania tomograficzne wskazują, że problem zgnilizny odziomkowej może dotyczyć w podobnym stopniu świerka, jak i jodły, szczególnie w starszym wieku (Niemtur et al. 2013; Niemtur et al. 2014).

Celem badań było określenie rozmiaru występowania zgnilizny odziomkowej drzew macecznych jodły i świerka w górskich drzewostanach nasiennych, z zastosowaniem nowej metody diagnostycznej – tomografii akustycznej. Metoda dostarcza precyzyjniejszych informacji na temat lokalizacji i rozmiaru zgnilizny wewnątrz pnia niż stosowane dotychczas tradycyjne metody diagnostyczne. Jednocześnie, ze względu na bezinwazyjny charakter pomiaru, jako jedyna umożliwia diagnozowanie szczególnie cennych obiektów, jakimi są drzewa maceczne, bez naruszania integralności wewnętrznych tkanek pnia.

Idęą badań było ogólne rozpoznanie problemu występowania zgnilizny odziomkowej wśród drzew macecznych jodły i świerka, jak również szczegółowe określenie zróżnicowania pomiędzy poszczególnymi drzewami w zakresie stopnia rozkładu drewna w odziomku. Identyfikacja drzew, których drewno nie uległo rozkładowi, może być wstępem do dalszych badań nad wyjaśnieniem podłoża tej odporności, ze szczególnym uwzględnieniem czynnika genetycznego.

Korzystając z informacji dostępnych w rejestrze drzew macecznych, określono także związek pomiędzy wiekiem drzew i rozmiarem zgnilizny w odziomkowej części pnia.

2. Metodyka

2.1. Obiekt badań

Obiektem badań były drzewa maceczne (DM) jodły pospolitej i świerka pospolitego (dawniej drzewa doborowe), rosnące na terenie górskich nadleśnictw RDLP Katowice, Kraków i Krosno.

Do badań tomograficznych wybrano 110 drzew macecznych jodły zlokalizowanych na terenie 10 nadleśnictw: Sucha, Ujsoły (RDLP Katowice), Gromnik, Łosie, Nawojowa, Piwniczna (RDLP Kraków), Bircza, Lesko, Stuposiany i Ustrzyki Dolne (RDLP Krosno) oraz 42 drzewa maceczne świerka z terenu 3 nadleśnictw: Wisła, Ujsoły (RDLP Katowice) i Nowy Targ (RDLP Kraków). W przypadku świerka były to wszystkie drzewa maceczne występujące na terenie badań (pozostałe, figurujące w różnych wykazach, uległy zniszczeniu przez wiatr lub obumarły w wyniku zasiedlenia przez owady).

2.2. Pomiar akustyczny

Występowanie zgnilizny odziomkowej na przekroju poprzecznym pnia badanych drzew macecznych określano za pomocą tomografu akustycznego Picus Sonic, firmy Argus

Electronic, Rostock, Niemcy. Urządzenie, wykorzystując zależność prędkości fali dźwiękowej od właściwości drewna, informuje o obecności zgnilizny, jej rozmiarze i lokalizacji na przekroju poprzecznym pnia. Działanie tomografu, ze względu na niską inwazyjność pomiaru, nie wpływa na pogorszenie stanu zdrowotnego badanych drzew. Dokładny opis i zasada działania tomografu zostały przedstawione w pracy Chomicz (2007).

Pomiaru tomograficznego dokonano 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. W każdym punkcie umieszczano elektrodę, zagłębiając ją do momentu zetknięcia się 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 średnicomierza Picus Calliper. Po przesłaniu drogą radiową informacji z czujników do komputera tomogramy przekrojów poprzecznych pnia były generowane przez oprogramowanie Picus Expert wersji Q72.

2.3. Interpretacja 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, powstałej 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 (*Z*), bez śladu rozkładu – kolor ciemnobrązowy i jasnobrązowy na tomogramie, drewno uszkodzone (*U*) – kolor niebieski i fioletowy, drewno niezidentyfikowane (*N*) – kolor zielony. Znaczenie koloru zielonego na tomogramie zależy od rodzaju uszkodzenia i powinno być rozpatrywane indywidualnie dla każdego drzewa. Kolor zielony często oznacza obszar przejściowy pomiędzy drewnem zdrowym i uszkodzonym, ale może także wskazywać na wczesne stadia infekcji przez grzyby (dodatkowe informacje znajdują się w instrukcji obsługi tomografu). Udział drewna danej kategorii obliczany był automatycznie przez program Picus Expert jako procent powierzchni odpowiedniego koloru w stosunku do całej powierzchni tomogramu. Na tomogramie udział kategorii drewna został wygenerowany w formie legendy (kolorowy pasek na gorze tomogramu).

2.4. Analiza statystyczna

Analizę statystyczną wyników badań tomograficznych przeprowadzono na podstawie udziału drewna zdrowego na tomogramie. Ze względu na charakter danych (wartość procentową), w celu ustabilizowania wariancji zastosowano transformację Bliss, zgodnie ze wzorem:

$$Z = \arcsin \sqrt{x},$$

gdzie:

Z – udział drewna zdrowego,

x – udział procentowy drewna zdrowego na tomogramie, wyrażony w formie ułamka dziesiętnego.

Za pomocą testu t-Studenta dla 2 grup niezależnych sprawdzono, czy istnieją istotne różnice pomiędzy jodłą i świerkiem w zakresie stopnia uszkodzenia drzew przez zgniliznę odziomkową. Analogiczne różnice pomiędzy nadleśnictwami testowano dla każdego gatunku za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA.

Przeanalizowano także wpływ wieku drzew na stopień uszkodzenia przez zgniliznę odziomkową. Wiek drzew określono na podstawie danych widniejących w rejestrze drzew matecznych prowadzonym przez Instytut Badawczy Leśnictwa. Wiek wpisany w rejestrze powiększono o różnice lat pomiędzy datą wyboru drzewa matecznego i rokiem bieżącym (2016). Badane drzewa mateczne jodły i świerka przydzielono do różnych grup wiekowych. Zakres wiekowy dla grupy ustalono w taki sposób, żeby zapewnić zbliżoną liczbę drzew w każdej grupie. Dla jodły wyróżniono 3 grupy wiekowe:

- 1 – drzewa w wieku od 91 do 122 lat (36 drzew),
- 2 – drzewa w wieku od 126 do 134 lat (39 drzew),
- 3 – drzewa w wieku 141 do 158 lat (35 drzew).

W przypadku świerka, ze względu na mniejszą liczbę badanych drzew matecznych, jak również mniejszą rozpiętość wieku (różnica między najstarszym i najmłodszym świerkiem wynosiła 51 lat, podczas gdy u jodły 67 lat) wyróżniono 2 grupy wiekowe:

- 1 – drzewa w wieku od 117 do 137 lat (18 drzew),
- 2 – drzewa w wieku od 141 do 168 lat (16 drzew).

Wyróżnione grupy wiekowe porównano pod względem średniego udziału drewna zdrowego na tomogramie. Dla jodły porównanie przeprowadzono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji, w przypadku świerka zastosowano test t-Studenta dla 2 grup niezależnych.

Wszystkie obliczenia statystyczne wykonano w programie Statistica 9.0.

3. Wyniki

Drzewa mateczne jodły i świerka były w podobnym stopniu dotknięte zgnilizną odziomkową. Średni udział drewna zdrowego na tomogramie dla wszystkich badanych jodeł wynosił 84,7%, a dla świerków 85,9% (tab. 2). Różnica między gatunkami nie była istotna statystycznie ($p=0,205$). W przypadku najsilniej porażonej jodły drewno uszkodzone zajmowało 38% powierzchni tomogramu (drzewo mateczne nr 6201, Nadleśnictwo Lesko; tab. 1A), natomiast świerka 47% (drzewo mateczne numer 7992, Nadleśnictwo Nowy Targ; tab. 1B). Zanotowano więcej drzew matecznych świerka bez oznak zgnilizny (brak drewna uszkodzonego na tomogramie, 55% badanych świerków) niż jodły (37%). Jednakże udział drzew ze zgnilizną o niewielkich rozmiarach (od 0 do 10% drewna uszkodzonego na tomogramie) był zbliżony dla obu gatunków (jodła 72%, świerk 74% drzew).

Średni udział drewna zdrowego na tomogramie był podobny we wszystkich nadleśnictwach, w przeważającej większości mieścił się w przedziale 80–90% (tab. 1). W przypadku jodły najwyższy średni udział drewna zdrowego na tomogramie zaobserwowano w nadleśnictwach Nawojowa (90,5%) i Sucha (92,4%), a najniższy w nadleśnictwach Gromnik

Tabela 1. Udział drewna zdrowego (Z), uszkodzonego (U) oraz niezidentyfikowanego (N) na tomogramach oraz wiek badanych drzew matecznych (DM)

Table 1. The share of solid (S) damaged (D) and unidentified (U) wood on the tomograms and the age of investigated plus trees (PT)

A. Jodły pospolitej / Silver fir

Nadleśnictwo Forest District	Nr DM PT No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age [lata] [years]	Nadleśnictwo Forest District	Nr DM PT No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age [lata] [years]
		Z	U	N				Z	U	N	
		S	D	U				S	D	U	
Bircza	4376	80	9	11	127	Nawojowa	7169	87	3	10	119
Bircza	4377	67	13	20	127	Nawojowa	7170	92	0	8	119
Bircza	4378	92	2	6	127	Nawojowa	7171	98	0	2	119
Bircza	4379	65	11	24	127	Piwniczna	4150	68	19	13	153
Bircza	6731	100	0	0	158	Piwniczna	4151	76	12	12	153
Bircza	6732	53	32	15	158	Piwniczna	4152	88	3	9	153
Bircza	6733	75	7	18	158	Piwniczna	4153	95	0	5	153

Nadleśnictwo Forest District	Nr <i>DM</i> <i>PT</i> No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age	Nadleśnictwo Forest District	Nr <i>DM</i> <i>PT</i> No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age
		<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>N</i>				<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>N</i>	
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	[lata] [years]			<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	[%]
Bircza	6734	56	29	15	158	Piwniczna	4154	93	1	6	153
Bircza	6736	77	8	15	158	Piwniczna	4155	76	7	17	153
Bircza	6737	91	2	7	158	Piwniczna	7177	100	0	0	134
Bircza	6738	90	2	8	158	Piwniczna	7178	69	9	22	134
Bircza	9314	100	0	0	130	Piwniczna	7179	70	11	19	134
Bircza	9315	97	0	3	130	Piwniczna	7180	79	0	21	134
Bircza	9316	98	0	2	130	Stuposiany	6078	89	5	6	153
Bircza	9317	81	10	9	130	Stuposiany	6079	67	23	10	153
Bircza	9318	79	3	18	130	Stuposiany	6080	100	0	0	153
Gromnik	3099	94	0	6	153	Stuposiany	6081	77	19	4	153
Gromnik	3100	74	19	7	153	Stuposiany	6082	62	27	11	153
Gromnik	3104	59	32	9	153	Stuposiany	6083	68	19	13	153
Gromnik	3105	77	13	10	153	Stuposiany	6084	59	22	19	153
Gromnik	3106	75	9	16	153	Stuposiany	6085	89	4	7	153
Gromnik	7122	100	0	0	104	Stuposiany	6086	84	9	7	153
Lesko	6199	95	0	5	131	Stuposiany	6087	73	11	16	153
Lesko	6201	53	38	9	131	Stuposiany	6089	100	0	0	154
Lesko	6204	74	13	13	131	Stuposiany	6090	74	16	10	154
Lesko	6207	83	0	17	131	Sucha	5454	77	7	16	126
Lesko	6210	100	0	0	141	Sucha	5456	100	0	0	126
Lesko	6211	94	1	5	129	Sucha	5457	98	0	2	126
Lesko	6213	87	5	8	129	Sucha	5458	89	1	10	126
Łosie	7150	88	4	8	122	Sucha	5459	100	0	0	126
Łosie	7151	100	0	0	122	Sucha	5460	100	0	0	126
Łosie	7152	67	22	11	122	Sucha	5461	91	2	7	126
Łosie	7153	82	8	10	122	Sucha	5465	71	16	13	126
Łosie	7154	100	0	0	122	Sucha	9521	100	0	0	103
Łosie	7155	75	16	9	122	Sucha	9523	89	2	9	103
Łosie	7156	77	16	7	122	Sucha	9524	100	0	0	103
Łosie	7157	100	0	0	122	Sucha	9525	100	0	0	103

Nadleśnictwo Forest District	Nr <i>DM</i> <i>PT</i> No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age	Nadleśnictwo Forest District	Nr <i>DM</i> <i>PT</i> No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age
		<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>N</i>				<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>N</i>	
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	[lata] [years]			<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	[lata] [years]
Łosie	7158	100	0	0	122	Sucha	9526	86	5	9	103
Łosie	7159	73	16	11	122	Ujszoły	2956	72	22	6	157
Łosie	7160	97	0	3	122	Ujszoły	5491	80	9	11	108
Nawojowa	4160	89	1	10	148	Ujszoły	5496	70	17	13	148
Nawojowa	4161	100	0	0	148	Ustrzyki D.	4249	100	0	0	128
Nawojowa	4162	92	2	6	128	Ustrzyki D.	4250	70	18	12	128
Nawojowa	4163	100	0	0	128	Ustrzyki D.	4251	56	27	17	128
Nawojowa	4164	83	6	11	128	Ustrzyki D.	6218	88	1	11	107
Nawojowa	4165	69	7	24	128	Ustrzyki D.	6219	89	4	7	107
Nawojowa	4166	100	0	0	128	Ustrzyki D.	6220	78	12	10	112
Nawojowa	4167	63	33	4	128	Ustrzyki D.	6221	100	0	0	112
Nawojowa	7161	95	0	5	109	Ustrzyki D.	6222	100	0	0	112
Nawojowa	7162	92	0	8	119	Ustrzyki D.	6223	79	8	13	112
Nawojowa	7163	100	0	0	129	Ustrzyki D.	6224	97	0	3	112
Nawojowa	7164	86	3	11	134	Ustrzyki D.	6225	86	10	4	112
Nawojowa	7165	93	0	7	134	Ustrzyki D.	6226	88	1	11	107
Nawojowa	7166	100	0	0	114	Ustrzyki D.	6227	56	35	9	91
Nawojowa	7167	90	3	7	114	Ustrzyki D.	6228	100	0	0	91

B. Świerka pospolitego / Norway spruce

Nadleśnictwo Forest District	Nr <i>DM</i> <i>PT</i> No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age	Nadleśnictwo Forest District	Nr <i>DM</i> <i>PT</i> No.	Udział drewna The share of wood			Wiek Age
		<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>N</i>				<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>N</i>	
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	[lata] [years]			<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	[lata] [years]
Nowy Targ	5303	100	0	0	134	Wisła	5187	100	0	0	141
Nowy Targ	5306	69	15	16	134	Wisła	5193	72	10	18	141
Nowy Targ	5307	100	0	0	134	Wisła	5197	87	3	10	141
Nowy Targ	5325	100	0	0	124	Wisła	5198	100	0	0	141
Nowy Targ	5332	65	23	12	119	Wisła	5201	73	20	7	136
Nowy Targ	7991	100	0	0	152	Wisła	5207	100	0	0	136

Nowy Targ	7992	45	47	8	152	Wisła	5214	100	0	0	136
Nowy Targ	7993	59	27	14	152	Wisła	5215	89	5	6	136
Nowy Targ	7994	86	0	14	-	Wisła	5216	81	7	12	136
Nowy Targ	7996	100	0	0	152	Wisła	5219	100	0	0	136
Nowy Targ	7997	63	17	20	152	Ujszoły	5483	68	12	20	128
Nowy Targ	7998	100	0	0	117	Ujszoły	5484	100	0	0	128
Nowy Targ	8200	100	0	0	117	Ujszoły	5485	62	28	10	128
Nowy Targ	8201	83	0	17	-	Ujszoły	5487	69	15	16	128
Nowy Targ	8202	86	2	12	-	Ujszoły	5492	74	10	16	168
Nowy Targ	8203	100	0	0	-	Ujszoły	5493	100	0	0	168
Nowy Targ	8205	55	24	21	-	Ujszoły	5494	100	0	0	168
Wisła	92	100	0	0	149	Ujszoły	2956	82	7	11	-
Wisła	2928	100	0	0	142	Ujszoły	2957	65	26	9	-
Wisła	2930	100	0	0	137	Ujszoły	5495	91	0	9	148
Wisła	5177	82	7	11	141	Ujszoły	5471	100	0	0	-

(79,8%), Stuposiany (78,5%) i Ujszoły (74%, ale to nadleśnictwo było reprezentowane tylko przez 3 drzewa mateczne). W odniesieniu do świerka najwyższy udział drewna zdrowego na tomogramie zanotowano w Nadleśnictwie Wisła (91,7%). Zaobserwowane różnice pomiędzy nadleśnictwami w zakresie średniego udziału drewna zdrowego na tomogramie okazały się nieistotne statystycznie, zarówno w przypadku jodły ($F=1,698$; $p=0,099$), jak i świerka ($F=1,006$; $p=0,375$). Największe różnice w zakresie obecności i rozmiarów zgnilizny występowały pomiędzy poszczególnymi drzewami w obrębie nadleśnictwa. Duże różnice dotyczyły także drzew występujących w jednym drzewostanie, o podobnym wieku i rosnących w zbliżonych warunkach siedliskowych (np. drzewa mateczne jodły nr 6731 i 6732 w Nadl. Bircza, drzewa mateczne świerka nr 7991 i 7992 w Nadl. Nowy Targ).

Średni udział drewna zdrowego na tomogramie zmniejszał się wraz z wiekiem drzew (ryc. 1). Zależność okazała się istotna statystycznie w przypadku jodły ($F=4,749$; $p=0,011$). Znaczące różnice stwierdzono pomiędzy grupami najmłodszych (1) i najstarszych (3) jodeł ($p=0,008$). W przypadku świerka różnice pomiędzy grupami nie były istotne statystycznie ($p=0,779$).

4. Dyskusja

Badane drzewa mateczne były w różnym stopniu dotknięte zgnilizną odziomkową. Udział drewna uszkodzonego na tomogramie wahał się od 0 do 38% u jodły oraz od 0 do 47% u świerka. Biorąc pod uwagę wyniki badań tomograficznych

przebiegających w drzewostanach jodłowych i świerkowych w zaawansowanym wieku (Chomicz 2013; Niemtur et al. 2014), zwraca uwagę duży udział drzew zdrowych lub uszkodzonych tylko w niewielkim stopniu, jak również wysoki udział drewna zdrowego na tomogramach wśród drzew matecznych. Niemtur i in. (2014) badali występowanie zgnilizny odziomkowej w 15 drzewostanach jodłowych objętych ochroną prawną w parkach narodowych i rezerwach przyrody. W drzewostanach karpacczych, w wieku powyżej 100 lat (6 drzewostanów), udział jodeł bez oznak zgnilizny (100% drewna zdrowego na tomogramie) kształtował się w zakresie od 0 do 10% badanych drzew, a średni udział drewna zdrowego na tomogramie przyjmował wartości z przedziału 58–86%. Ponadto aż u 36 jodeł, na 180 zdiagnozowanych, zgnilizna obejmowała ponad połowę przekroju poprzecznego pnia (udział drewna zdrowego na tomogramie był mniejszy niż 50%). W tym kontekście, drzewa mateczne jodły, objęte diagnozą tomograficzną w niniejszym projekcie, charakteryzowały się lepszą kondycją zdrowotną. Określony w analogiczny sposób udział jodeł bez oznak zgnilizny wynosił 24% badanych drzew matecznych, a średni udział drewna zdrowego na tomogramie w poszczególnych nadleśnictwach przyjmował wartości z zakresu 74–92% (tab. 2A). Ponadto nie stwierdzono drzew, u których zgnilizna obejmowałaby więcej niż połowę powierzchni przekroju pnia (minimalny udział drewna zdrowego na tomogramie wynosił 53%; udział drewna zdrowego mniejszy niż 60% stwierdzono tylko u 6 jodeł na 110 badanych). W przypadku świerka, materiał porównawczy mogą stanowić wyniki badań Chomicz (2013), dotyczące występowania zgnilizny odziomkowej w 12 karpac-

Tabela 2. Średni udział drewna zdrowego (Z) i uszkodzonego (U) na tomogramach

Table 2. The share of solid (S) and damaged (D) wood on the tomograms

A. Jodły pospolitej / Silver fir

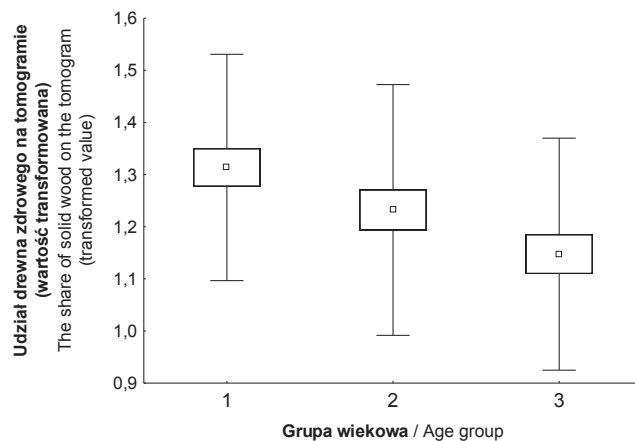
Nadleśnictwo Forest District	Średni udział drewna [%] Average share of wood [%]	
	Z / S	U / D
Bircza	81,3	8,0
Gromnik	79,8	12,2
Lesko	83,7	8,1
Łosie	87,2	7,5
Nawojowa	90,5	3,2
Piwniczna	81,4	6,2
Stuposiany	78,5	12,9
Sucha	92,4	2,5
Ujszoły	74,0	16,0
Ustrzyki D.	84,8	8,3
Jodla / Fir	84,7	7,4

B. Świerka pospolitego / Norway spruce

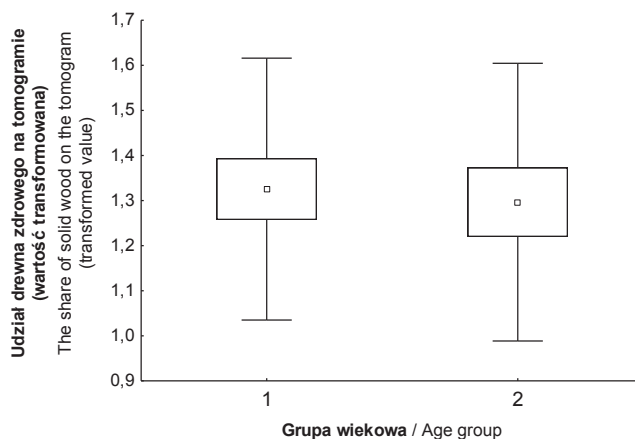
Nadleśnictwo Forest District	Średni udział drewna [%] Average share of wood [%]	
	Z / S	U / D
Nowy Targ	83,0	9,1
Wisła	91,7	3,7
Ujszoły	82,8	8,9
Świerk / Spruce	85,9	7,3

kich drzewostanach nasiennych, w wieku od 100 do 170 lat. Świerki w różnym stopniu dotknięte zgnilizną odziomkową (udział drewna uszkodzonego na tomogramie powyżej 6%) stanowiły od 47 do 87% drzew badanych w poszczególnych drzewostanach nasiennych. Na 360 diagnozowanych drzew udział drewna uszkodzonego na tomogramie mieścił się w zakresie 25–50% w przypadku 78 drzew, a u 10 drzew przekraczał 50%. Z kolei średni dla drzewostanu udział drewna uszkodzonego na tomogramie przyjmował wartości z zakresu 11–27%. Określony w analogiczny sposób udział drzew macecznych świerka ze zgnilizną wynosił 38%, przy czym tylko u 4 drzew, na 42 badane, udział drewna uszkodzonego na tomogramie przekraczał 25%. Ponadto nie stwierdzono obecności drzew, u których zgnilizna obejmowałaby ponad połowę powierzchni przekroju pnia. Średni udział drewna uszkodzonego na tomogramie w poszczególnych nadleśnictwach przyjmował wartości z zakresu 4–9% (tab. 2B).

A



B



Rycina 1. Średni udział drewna uszkodzonego na tomogramie w grupach wiekowych drzew macecznych A. jodły pospolitej, B. świerka pospolitego (znacznik oznacza średnią, ramka – błąd standardowy, wąsy – odchylenie standardowe)

Figure 1. The average share of damaged wood on the tomogram in age groups of plus trees of A. Silver fir, B. Norway spruce (tag means the average, box – the standard error, whiskers – the standard deviation)

Przedstawione powyżej porównania wskazują, że badane drzewa maceczne charakteryzują się lepszą niż przeciętna zdrowotnością, także w zakresie występowania zgnilizny odziomkowej. Może to świadczyć o trafności wyboru drzew macecznych, które z założenia mają być zdrowe i w pełni żywotne (DGLP 2013). Niemniej jednak trzeba zauważyć, że zgnilizna odziomkowa w różnym stadium rozwoju występuje w znacznej części badanych drzew macecznych (drzewa maceczne z obecnością drewna uszkodzonego na tomogramie stanowią 63% badanych jodeł oraz 45% badanych świerków). Jednocześnie, z uwagi na utajony przebieg procesu rozkładu, informacja ta nie jest obecna w krajowym rejestrze leśnego materiału podstawowego.

Drzewa maceczne jodły i świerka były w podobnym stopniu dotknięte rozkładem drewna odziomkowej części strzały. Co prawda stwierdzono nieco więcej drzew świerka bez oznak zgnilizny niż jodły (tab. 1). Trzeba jednak pamiętać, że obserwa-

cje świerka opierały się na mniejszej próbie, a jej wielkość była zdeterminowana liczbą drzew matecznych obecnych w terenie (w badaniach uwzględniono wszystkie drzewa mateczne występujące w określonym terenie badań). Znaczna część drzew matecznych świerka obumarła, podobnie jak inne drzewostany świerkowe w ostatnich latach na znacznych obszarach. Niewykluczone, że świerki ze zgnilizną obumarły w pierwszej kolejności, a badane egzemplarze drzew matecznych stanowią reprezentację drzew o lepszej kondycji zdrowotnej. Należy też podkreślić, że zaobserwowane różnice pomiędzy jodłą i świerkiem w zakresie częstości występowania zgnilizny odziomkowej nie okazały się istotne statystycznie.

Nie stwierdzono również istotnych statystycznie różnic w występowaniu zgnilizny odziomkowej w poszczególnych nadleśnictwach. Tym samym nie wykazano zależności pomiędzy nasileniem występowania zgnilizny a lokalizacją geograficzną drzewostanu w układzie 'wschód – zachód' (od Bieszczad po Beskid Śląski). Brak związku pomiędzy częstością występowania zgnilizny a rozmieszczeniem przestrzennym drzewostanów zaobserwował także Niemtur i in. (2014), prowadząc badania tomograficzne jodeł w wybranych rezerwatach i parkach narodowych.

Stwierdzono wzrost stopnia rozkładu drewna w odziomku wraz z wiekiem drzew, zarówno u jodły, jak i u świerka (ryc. 1). W przypadku jodły średni udział drewna zdrowego na tomogramie był znacząco wyższy w grupie drzew najmłodszych niż w grupie drzew najstarszych. Z kolei u świerka brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupami wiekowymi może wynikać z mniejszej rozpiętości wieku badanych drzew (rozpiętość wieku świerka wynosiła 116–166 lat, a jodły 91–158 lat), jak również mniejszej liczby drzew uwzględnionych w analizie statystycznej (znany był wiek 26 świerków i 110 jodeł; tab. 1). Należy mieć też na uwadze, że wiek analizowanych drzew nie został określony w drodze precyzyjnego pomiaru (zliczenie liczby stojów na wywiercie pobranym świdrem Presslera), lecz poprzez oszacowanie w momencie wyboru drzewa matecznego. Ewentualna niedokładność określenia wieku drzew może być źródłem niedoszacowania wpływu wieku na rozmiar występowania zgnilizny odziomkowej badanych drzew matecznych.

Zwiększanie się rozmiaru występowania zgnilizny odziomkowej w drzewostanach wraz z wiekiem drzew był opisywany wielokrotnie (Bruchwald 1984; Krzan 1985; Rymer-Dudzińska 1986; Bernadzki 2003; Chomicz, Niemtur 2008; Chomicz 2013). Badania prowadzone w starodrzewach świerkowych w Finlandii pozwoliły sformułować wniosek, że problem zgnilizny odziomkowej pojawia się w świerczynach w wieku poniżej 100 lat i prawdopodobnie dotyczy wszystkich drzew w wieku 300–400 lat (Norokorpi 1980). Na podstawie tych obserwacji występowanie zgnilizny odziomkowej można uznać za zjawisko typowe dla starych drzew, związane z zaawansowaniem naturalnych procesów dekompozycji drewna. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że nie ma drzew całkowicie odpornych na rozkład drewna powodowany przez grzyby i z czasem każde drzewo ulegnie zgniliznie. Badania wskazują jednak, że istnieje duże zróżnicowanie osobnicze w zakresie tempa rozkładu drewna jodły i świerka.

Natomiast to, czy drewno drzewa ulegnie zgniliznie w wieku 100 czy 160 lat, ma kolosalne znaczenie dla gospodarki leśnej, zarówno ze względów ekonomicznych, jak i przyrodniczych. Współcześnie zagadnienie to nabiera dodatkowego znaczenia w kontekście roli lasu w redukcji dwutlenku węgla w atmosferze. Jak pokazują badania, tempo wiązania węgla przez drzewa o dużych rozmiarach jest większe (Stephenson et al. 2014), stąd stare drzewostany mogą akumulować więcej węgla niż drzewostany młode (Luysaert et al. 2008). Z kolei pojawiająca się z wiekiem zgnilizna związana jest z produkcją dwutlenku węgla w procesie rozkładu związków chemicznych budujących drewno (Sierota 2012). W związku z tym im później drewno drzewa ulega zgniliznie, tym dłużej i skuteczniej pełni rolę magazynu węgla.

Stwierdzono duże zróżnicowanie osobnicze w zakresie podatności drzew na zgniliznę. Drzewa w tym samym wieku rosnące w zbliżonych warunkach siedliskowych (to samo wydzielenie) znacznie różniły się rozmiarem zgnilizny w odziomkowej części strzały. Podłoże zróżnicowanej odporności na zgniliznę, objawiające się wcześniejszym (drzewa podatne) lub późniejszym (drzewa odporne) wiekiem rozpoczynania się rozkładu drewna w pniu, wymaga wyjaśnienia. Większa odporność drzew na zgniliznę może wynikać z wewnętrznych, determinowanych genetycznie, właściwości drzewa, ale także być efektem działania odpowiedniego układu warunków zewnętrznych (np. lepszych warunków siedliskowych w skali mikro, lepszej jakości organizmów ryzosferowych, w tym mykoryz, braku mechanicznych uszkodzeń drewna, także w przeszłości). W dalszych badaniach warto zwrócić uwagę na najstarsze drzewa mateczne, których drewno nie uległo rozkładowi. W pierwszej kolejności należałoby się przyjrzeć wegetatywnemu potomstwu tych drzew na plantacjach nasiennych. Klony badanych drzew matecznych są prawdopodobnie zbyt młode, by obserwować wśród nich zróżnicowanie w zakresie stopnia zaawansowania zgnilizny odziomkowej. Istnieje jednak możliwość, że klony drzew matecznych, niewykazujących śladów rozkładu w badaniach tomograficznych, posiadają cechy predysponujące je do mniejszej podatności na zgniliznę w przyszłości i wyróżniają się na tle potomstwa pozostałych drzew. Cechy te mogą dotyczyć ogólnej kondycji czy cech przyrostowych drzew, ale także fizycznych i chemicznych właściwości drewna. Potwierdzenie tej hipotezy wskazywałoby na genetyczne uwarunkowanie cech drewna związanych z odpornością na zgniliznę, jako że klony reprezentują dokładnie ten sam genotyp co drzewa mateczne. Kolejnym etapem mogłyby wówczas być badania potomstwa generatywnego drzew matecznych w celu ustalenia sposobu dziedziczenia cech związanych z odpornością na zgniliznę odziomkową.

5. Podsumowanie i wnioski

- Zgnilizna odziomkowa w różnym stadium rozwoju występuje w znacznej części badanych drzew matecznych. Drzewa z drewnem uszkodzonym na tomogramie stanowią 63% jodeł oraz 45% świerków.

- Drzewa mateczne charakteryzują się większą niż przeciętna zdrowotnością w zakresie występowania zgnilizny odziomkowej. Zwraca uwagę duży udział drzew zdrowych lub uszkodzonych tylko w niewielkim stopniu, jak również wysoki udział drewna zdrowego na tomogramie.
- Drzewa mateczne jodły i świerka były w podobnym stopniu dotknięte rozkładem drewna w odziomkowej części pnia.
- Nie stwierdzono zależności pomiędzy częstością występowania zgnilizny a lokalizacją geograficzną drzewostanu w układzie ‘wschód – zachód’ (brak istotnych różnic pomiędzy nadleśnictwami w zakresie występowania zgnilizny odziomkowej drzew matecznych).
- Stopień zaawansowania zgnilizny odziomkowej wzrastał wraz z wiekiem drzew matecznych, zarówno jodły, jak i świerka.
- Stwierdzono duże zróżnicowanie osobnicze w zakresie podatności drzew na zgniliznę.
- Podłoże zróżnicowanej odporności na zgniliznę wymaga wyjaśnienia. W dalszych badaniach warto zwrócić uwagę na najstarsze drzewa mateczne, których drewno nie uległo rozkładowi. W pierwszej kolejności należałoby poświęcić uwagę wegetatywnemu potomstwu tych drzew na plantacjach nasiennych.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródło finansowania badań

Badania zrealizowano w ramach tematu 500403, finansowanego przez Dyрекcyję Generalną Lasów Państwowych w latach 2013–2016. Autorzy dziękują pracownikom nadleśnictw wymienionych w pracy za pomoc w zlokalizowaniu drzew matecznych.

Literatura

- 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 Rominka. *Annals of Warsaw Agricultural University SGGW-AR. Forestry and Wood Technology* 32: 7–11.
- Chomicz E. 2007. Bezinwazyjne metody wykrywania defektów wewnątrz pni drzew stojących (Tomograf PiCUS® Sonic i PiCUS Treetric®). *Leśne Prace Badawcze* 3: 117–122.
- Chomicz E. 2013. Incidence of butt rot in Norway spruce seed stands in Poland's mountain regions assessed with sonic tomography. *Folia Forestalia Polonica, series A* 55(4): 174–180.
- Chomicz E., Niemtur S. 2008. Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich. *Leśne Prace Badawcze* 69(3): 233–241.
- Delatour C., von Weissenberg K., Dimitri L. 1998. Host Resistance, w: *Heterobasidion annosum*. Biology, Ecology, Impact and

- Control (red. Woodward, J. Stenlid, R. Karjalainen, A. Hüttermann)], 195–211.
- 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 i Rezerваты Przyrody* 6(2): 5–16.
- Luyssaert S., Schulze E-D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- Mattila U., Nuutinen T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica* 41(1): 29–43.
- 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.
- Niemtur S., Chomicz E., Kapsa M. 2014. Występowanie zgnilizny odziomkowej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w obszarach chronionych. *Leśne Prace Badawcze* 75(4): 343–352.
- Norokorpi Y. 1980. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay causing microbes in northern Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 97(6): 1–7.
- Rymer-Dudzińska T. 1986. Udział świerków opanowanych przez hubę korzeniową (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) w miąższości i przyroście miąższości drzewostanów mieszanych Puszczy Knyszyńskiej i Puszczy Augustowskiej. *Folia Forestalia Polonica, seria A*: 28: 67–81.
- Sierota Z. 2012. Wpływ grzybów rozkładających korzenie drzew leśnych na uwalnianie CO₂ – próba waloryzacji. *Sylwan* 156(2): 128–136.
- 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., Wåsterlund I. 1986. Estimating the frequency of stem rot in *Picea abies* using an increment borer. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 303–308.
- Stephenson N.L., Das A.J., Condit R., Russo S.E., Baker P.J. et al. 2014. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature* 507: 90–93.

Materiały źródłowe

DGLP 2013. Zarządzenie nr 29 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 marca 2013 r. w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa i hodowli drzew leśnych (ZH-7132-7/2013). Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.

Wkład autorów

E.Ch-Z. – koncepcja artykułu, wykonanie tomografii, opracowanie wyników, napisanie pracy; S.N. – koncepcja badań; M.K., S.A. – wykonanie tomografii.

Butt rot occurrence in plus trees of Silver fir *Abies alba* Mill. and Norway spruce *Picea abies* (L.) from the Carpathians

Elżbieta Chomicz-Zegar* , Stanisław Niemtur , Mariusz Kapsa , Sławomir Ambroży

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

Tel. +48 12 2528214, e-mail: E.Chomicz@ibles.waw.pl

Abstract. Due to its hidden character, butt rot occurrence is not commonly included in the assessment of plus trees' health status. Thus, the trees' varied susceptibility to wood decay is not a target of breeding efforts. The aim of the study was to determine the extent of butt rot in fir and spruce plus trees from Carpathian seed stands. We employed the novel and non-invasive diagnostic method of sonic tomography to determine presence and severity of decay at the base of 110 plus trees of silver fir and 42 of Norway spruce.

Butt rot in various stages of development occurred in 63% of investigated fir trees and in 45% of spruce trees. The proportion of damaged wood on the tomogram ranged from 0–38% in fir and 0–47% in spruce with similar average proportions of solid wood in all forest districts. The vast majority of trees was in the range of 80–90% solid wood. Plus trees of fir and spruce were affected by butt rot to a similar extent and the degree of damage increased with age in both species.

However, a large variation in susceptibility to butt rot was found between individual trees leading to the conclusion that the identification of old trees, which wood is not decayed, may be the basis for further research on the resistance to butt rot.

Keywords: butt rot, sonic tomography, plus trees, resistance, *Abies alba*, *Picea abies*

1. Introduction

Management of Poland's State Forests includes selective tree breeding programs, founded on two approaches: the population selection process in seed stands and the selection of individual plus trees. The main objectives of selection include intensification of production and improvement of tree qualitative traits. On the other hand, issues such as tree resistance to biotic factors are recognised to a lesser extent. As indicated by research results, the selection of forest trees with regard to resistance should be focused on individual trees rather than on population (Delatour et al. 1998). Therefore, in the assumed model of forest tree selection, plus (mother) trees should primarily be of interest when breeding for resistance.

Good health condition is a decisive factor in the selection of plus trees (General Directorate of The State Forests (Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych 2013)). In the selec-

tion process, as a rule, the health status of trees is evaluated with reference to any visible external symptoms of infection caused by harmful organisms. However, internal rot of tree heartwood (physiologically not active) can develop for a long time without rapid effects on a tree's life functions. As a result, in an affected tree, the disease process can progress with no visible symptoms of rot fungi activity, what allows the tree to live to an old age, regardless of advanced decay inside its stem. Due to the latent nature of decay, incidence of butt rot has often been neglected in the previously mentioned evaluations of health condition of plus trees. Therefore, differential susceptibility of forest trees to butt rot has not been a part of the ongoing selection activities.

Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst. and the European silver fir *Abies alba* Mill. are considered to be the main forest forming species in Poland's mountainous regions. Norway spruce is often infected by root rot and butt rot fungi, hence, this species has been the focus of majority

Submitted: 4.04.2016, reviewed: 18.04.2016, accepted after revision: 4.05.2016.

of studies on butt rot disease (Norokorpi 1980; Krzan 1985; Stenlid, Wåsterlund 1986; Kohnle, Kändler 2007; Mattila, Nuutinen 2007). Rot disease problem has not been fully recognised in the case of silver fir. In the subject literature, some fungal species that cause butt rot in silver fir have been described (Siwecki, Krzan 1983); however, no information has been provided on the extent of damage they cause in silver fir stands. The results of tomography analysis indicate that butt rot disease can affect silver fir in the same way as Norway spruce, especially when the trees reach old age (Niemtur et al. 2013; Niemtur et al. 2014).

The aim of the present study was to assess the extent of butt rot incidence in silver fir and Norway spruce plus trees selected in mountainous seed stands, with the use of a novel diagnostic method – sonic tomography. When compared to traditional methods applied for the diagnosis of tree diseases, sonic tomography allows for more accurate detection of position and extent of butt rot inside the trunk of a tree. At the same time, due to non-invasive measurement method, it is possible to diagnose especially valuable tree specimens such as plus trees, without disturbing the integrity of internal tissues of the trunk.

The objective of the study was to recognise the complete butt rot problem concerning the plus trees of Norway spruce and silver fir, as well as to comprehensively determine the differences between individual trees with regard to decay progression in the tree butt. Identification of trees devoid of decayed wood can be a basis for further research on butt rot resistance, with special attention focused on the genetic factor.

A relationship between tree age and butt rot damage extent in the tree trunk was also determined using the data available from the register of plus trees.

2. Methods

2.1. Study object

The study was carried out on Norway spruce and silver fir plus trees (mother trees) growing in the mountainous forest districts, situated within the areas administered by the Regional Forest Directorates (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych (RDLP)) in Katowice, Kraków and Krosno.

Sonic tomography measurements comprised 110 silver fir plus trees growing in 10 forest districts: Sucha, Ujsoły (RDLP Katowice), Gromnik, Łosie, Nawojowa, Piwniczna (RDLP Kraków), Bircza, Lesko, Stuposiany and Ustrzyki-Dolne (RDLP Krosno), as well as 42 Norway spruce plus trees from 3 forest districts: Wisła, Ujsoły (RDLP Katowice) and Nowy Targ (RDLP Kraków). In the case of Norway spruce, all the plus trees growing in the study area were included in the study (other specimens registered in various

databases were either wind-thrown or had died due to insect infestations).

2.2 Sonic measurements

Butt rot incidence on tree trunk cross-section was detected with the use of the PiCUS Sonic Tomograph, Argus Electronic, Rostock, Germany. The instrument measures the velocity of sound in wood, which depends on its characteristics, and provides information on the presence of decay, extent of wood damage and rot position in the cross-section of the tree trunk. The method is non-invasive and therefore has no negative effects on the health status of the examined trees. A detailed description of tomography mechanism of action is available in the paper by Chomicz (2007).

Sonic measurements were performed on standing trees, at a height 10 cm above the ground (at a slope side). In keeping with the PiCUS Sonic Tomograph manual, there were 8–10 designated measurement points, depending on the thickness of the trunk. At each measurement point, an electrode was inserted until it reached the wood, and then it was connected with a magnetic sensor. The sonic impulse was instigated three times at each measurement point by tapping with a metal hammer (version Lite). The geometry of the cross-section was determined using a digital PiCUS Caliper that measured the distances between the measurement points. After sending a radio signal from the sensors to the computer, the respective tomograms were generated by PiCUS Expert software, v. Q72.

2.3. Tomogram interpretation

A tomogram represents the visualization of wood condition in the tree cross-section at the measurement point. The colour scale displayed in the tomogram identifies the wood areas with different levels of decay due to pathogenic fungi. The analysis of colours in the tomograms allowed identification of 3 categories of wood: solid (*S*) - with no decay – dark or light brown, damaged (*D*) – blue and purple, not identified (*N*) – green. Implication of green colour shown in the tomogram depends on wood damage type and should be considered at an individual tree level. Green often indicates the transitional area in between solid and damaged wood; however, it can also demonstrate early stages of fungal infection (additional information can be found in the PiCUS Sonic Tomograph manual). The proportions of wood from the designated categories were computed by PiCUS Expert software as the percentage area of a given colour in the total area of the tomogram. The share of a given wood category was displayed in the tomogram as the legend (band of colours in the upper part of the tomogram).

2.4. Statistical analyses

Statistical analysis was performed based on the results of the shares of solid (*S*) wood in the tomograms. Given that the obtained data concerned percentage values, variance was stabilised by transformation according to the Bliss formula:

$$S = \arcsin \sqrt{x},$$

where:

S – solid wood share,

x – percentage of solid wood in the tomogram, expressed as a decimal number

The Student's *t*-test was used for two independent samples to assess the significance of differences between silver fir and Norway spruce with regard to butt rot extent. Analogous differences between the tree species with reference to specific forest districts were tested using one-way analysis of variance (ANOVA).

Also, the effect of tree age on the degree of butt rot was tested. The tree age was determined based on data compiled in the register of plus trees (Forest Research Institute, Poland). For the purpose of the study, tree age recorded in the register was adjusted to the year of analyses (2016). The plus trees examined were divided into specific age groups (each with similar number of trees). Three age groups of silver fir were distinguished:

- 1 – from 91 to 122 years old (36 trees),
- 2 – from 126 to 134 years old (39 trees),
- 3 – from 141 to 158 years old (35 trees).

In view of the fact that compared to silver fir, a smaller number of Norway spruce plus trees were examined that had 51 years maximum age difference between each other

(maximum 67 years between silver fir trees), Norway spruce trees were divided into two groups:

- 1 – from 117 to 137 years old (18 trees),
- 2 – from 141 to 168 years old (16 trees).

The age groups were compared with regard to the average share of solid wood in the tomogram. Silver fir trees were tested using one-way ANOVA and those of Norway spruce – by means of Student's *t*-test for two independent groups.

All the calculations were performed using Statistica 9.0 software.

3. Results

Norway spruce and silver fir plus trees were affected by butt rot at similar levels. The average share of solid wood in the silver fir trees examined was 84.7%, and in Norway spruces was 85.9% (Table 2). The difference between the two species were not statistically significant ($p = 0.205$). In the most damaged fir tree, the image of decayed wood covered 38% of the tomogram area (plus tree no. 6201, Forest District Lesko; Table 1A), whereas, in the case of Norway spruce, it was 47% (plus tree no. 7992, Forest District NowyTarg; Table 1B). More number of Norway spruce plus trees were recorded with no signs of butt rot (no damaged wood in the tomogram, 55% of examined Norway spruce trees) compared to silver fir (37%). However, in both tree species, similar proportions of trees with butt rot of limited extent (0 to 10% of damaged wood in the tomogram, silver fir: 72% of trees, Norway spruce: 74% of trees) were observed.

The average share of solid wood in the tomogram was similar in all the forest districts that were studied and mostly, the

Table 1. The share of solid (*S*) damaged (*D*) and unidentified (*U*) wood on the tomograms and the age of investigated plus trees (*PT*)

A. Silver fir

Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]						[%]			
Bircza	4376	80	9	11	127	Nawojowa	7169	87	3	10	119
Bircza	4377	67	13	20	127	Nawojowa	7170	92	0	8	119
Bircza	4378	92	2	6	127	Nawojowa	7171	98	0	2	119
Bircza	4379	65	11	24	127	Piwniczna	4150	68	19	13	153
Bircza	6731	100	0	0	158	Piwniczna	4151	76	12	12	153
Bircza	6732	53	32	15	158	Piwniczna	4152	88	3	9	153
Bircza	6733	75	7	18	158	Piwniczna	4153	95	0	5	153

Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]						[%]			
Bircza	6734	56	29	15	158	Piwniczna	4154	93	1	6	153
Bircza	6736	77	8	15	158	Piwniczna	4155	76	7	17	153
Bircza	6737	91	2	7	158	Piwniczna	7177	100	0	0	134
Bircza	6738	90	2	8	158	Piwniczna	7178	69	9	22	134
Bircza	9314	100	0	0	130	Piwniczna	7179	70	11	19	134
Bircza	9315	97	0	3	130	Piwniczna	7180	79	0	21	134
Bircza	9316	98	0	2	130	Stuposiany	6078	89	5	6	153
Bircza	9317	81	10	9	130	Stuposiany	6079	67	23	10	153
Bircza	9318	79	3	18	130	Stuposiany	6080	100	0	0	153
Gromnik	3099	94	0	6	153	Stuposiany	6081	77	19	4	153
Gromnik	3100	74	19	7	153	Stuposiany	6082	62	27	11	153
Gromnik	3104	59	32	9	153	Stuposiany	6083	68	19	13	153
Gromnik	3105	77	13	10	153	Stuposiany	6084	59	22	19	153
Gromnik	3106	75	9	16	153	Stuposiany	6085	89	4	7	153
Gromnik	7122	100	0	0	104	Stuposiany	6086	84	9	7	153
Lesko	6199	95	0	5	131	Stuposiany	6087	73	11	16	153
Lesko	6201	53	38	9	131	Stuposiany	6089	100	0	0	154
Lesko	6204	74	13	13	131	Stuposiany	6090	74	16	10	154
Lesko	6207	83	0	17	131	Sucha	5454	77	7	16	126
Lesko	6210	100	0	0	141	Sucha	5456	100	0	0	126
Lesko	6211	94	1	5	129	Sucha	5457	98	0	2	126
Lesko	6213	87	5	8	129	Sucha	5458	89	1	10	126
Łosie	7150	88	4	8	122	Sucha	5459	100	0	0	126
Łosie	7151	100	0	0	122	Sucha	5460	100	0	0	126
Łosie	7152	67	22	11	122	Sucha	5461	91	2	7	126
Łosie	7153	82	8	10	122	Sucha	5465	71	16	13	126
Łosie	7154	100	0	0	122	Sucha	9521	100	0	0	103
Łosie	7155	75	16	9	122	Sucha	9523	89	2	9	103
Łosie	7156	77	16	7	122	Sucha	9524	100	0	0	103
Łosie	7157	100	0	0	122	Sucha	9525	100	0	0	103

Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]						[%]			
Łosie	7158	100	0	0	122	Sucha	9526	86	5	9	103
Łosie	7159	73	16	11	122	Ujsoły	2956	72	22	6	157
Łosie	7160	97	0	3	122	Ujsoły	5491	80	9	11	108
Nawojowa	4160	89	1	10	148	Ujsoły	5496	70	17	13	148
Nawojowa	4161	100	0	0	148	Ustrzyki D.	4249	100	0	0	128
Nawojowa	4162	92	2	6	128	Ustrzyki D.	4250	70	18	12	128
Nawojowa	4163	100	0	0	128	Ustrzyki D.	4251	56	27	17	128
Nawojowa	4164	83	6	11	128	Ustrzyki D.	6218	88	1	11	107
Nawojowa	4165	69	7	24	128	Ustrzyki D.	6219	89	4	7	107
Nawojowa	4166	100	0	0	128	Ustrzyki D.	6220	78	12	10	112
Nawojowa	4167	63	33	4	128	Ustrzyki D.	6221	100	0	0	112
Nawojowa	7161	95	0	5	109	Ustrzyki D.	6222	100	0	0	112
Nawojowa	7162	92	0	8	119	Ustrzyki D.	6223	79	8	13	112
Nawojowa	7163	100	0	0	129	Ustrzyki D.	6224	97	0	3	112
Nawojowa	7164	86	3	11	134	Ustrzyki D.	6225	86	10	4	112
Nawojowa	7165	93	0	7	134	Ustrzyki D.	6226	88	1	11	107
Nawojowa	7166	100	0	0	114	Ustrzyki D.	6227	56	35	9	91
Nawojowa	7167	90	3	7	114	Ustrzyki D.	6228	100	0	0	91

B. Norway spruce

Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]						[%]			
Nowy Targ	5303	100	0	0	134	Wisła	5187	100	0	0	141
Nowy Targ	5306	69	15	16	134	Wisła	5193	72	10	18	141
Nowy Targ	5307	100	0	0	134	Wisła	5197	87	3	10	141
Nowy Targ	5325	100	0	0	124	Wisła	5198	100	0	0	141
Nowy Targ	5332	65	23	12	119	Wisła	5201	73	20	7	136
Nowy Targ	7991	100	0	0	152	Wisła	5207	100	0	0	136
Nowy Targ	7992	45	47	8	152	Wisła	5214	100	0	0	136
Nowy Targ	7993	59	27	14	152	Wisła	5215	89	5	6	136
Nowy Targ	7994	86	0	14	-	Wisła	5216	81	7	12	136
Nowy Targ	7996	100	0	0	152	Wisła	5219	100	0	0	136
Nowy Targ	7997	63	17	20	152	Ujsoły	5483	68	12	20	128
Nowy Targ	7998	100	0	0	117	Ujsoły	5484	100	0	0	128
Nowy Targ	8200	100	0	0	117	Ujsoły	5485	62	28	10	128

Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]					[%]				
Nowy Targ	8201	83	0	17	-	Ujsoly	5487	69	15	16	128
Nowy Targ	8202	86	2	12	-	Ujsoly	5492	74	10	16	168
Nowy Targ	8203	100	0	0	-	Ujsoly	5493	100	0	0	168
Nowy Targ	8205	55	24	21	-	Ujsoly	5494	100	0	0	168
Wisła	92	100	0	0	149	Ujsoly	2956	82	7	11	-
Wisła	2928	100	0	0	142	Ujsoly	2957	65	26	9	-
Wisła	2930	100	0	0	137	Ujsoly	5495	91	0	9	148
Wisła	5177	82	7	11	141	Ujsoly	5471	100	0	0	-

solid wood proportions ranged from 80 to 90% (Table 1). In the case of silver fir, the highest average percentages of solid wood in the tomogram were observed in the Forest Districts (FDs): Nawojowa (90.5%) and Sucha (92.4%), whereas the lowest were observed in FDs: Gromnik (79.8%), Stuposiany (78.5%) and Ujsoly (74%, yet the latter FD was represented by only three plus trees). The highest percentage of Norway spruce solid wood was observed in FD Wisła (91.7%). The differences between the forest districts with regard to solid wood in the tomogram were not statistically significant, both for silver fir ($F = 1.698$; $p = 0.099$) and Norway spruce ($F = 1.006$; $p = 0.375$). The largest differences in terms of butt rot incidence and damage extent were observed between plus trees growing within the area of individual forest district. Considerable differences were also observed between trees in a given stand, representing similar age and growing under comparable site conditions (e.g., silver fir plus trees no. 6731 and 6732 in FD Bircza; Norway spruce plus trees no. 7991 and 7992 in FD Nowy Targ).

The average proportion of solid wood in the tomogram decreased with age of tree (Fig. 1). This relationship was statistically significant in silver fir ($F = 4.749$; $p = 0.011$). Considerable differences were found between the youngest (1) and oldest (3) silver fir groups ($p = 0.008$). Differences between Norway spruce plus trees were not statistically significant ($p = 0.779$).

4. Discussion

The plus trees examined were affected by butt rot to different degrees. The proportions of damaged wood on the tomograms ranged from 0% to 38% in silver fir and 0% to 47% in Norway spruce. In comparison to the results of sonic tomography studies conducted in old silver fir and Norway spruce stands (Chomicz 2013; Niemtur et al. 2014), a considerable share of healthy or slightly damaged plus trees, as

well as a high proportion of solid wood were observed in the tomogram under the conditions of the present study. Niemtur et al. (2014) investigated butt rot incidence in 15 silver fir stands under protection in Poland's national parks and nature reserves. In more than 100-year-old Carpathian stands (6), the share of silver firs not having butt rot (100% of solid wood on the tomogram) ranged from 0–10% of the total number of examined trees, and the average percentage of solid wood on the tomogram ranged from 58%–86%. Moreover, in 36 of the 180 silver fir specimens examined, butt rot was observed in more than half of the tomogram area (solid wood share was lower than 50%). Hence, in the present study, silver fir plus trees, that were investigated with the use of sonic tomography, showed comparatively better health condition. The share of silver fir specimens not affected by butt rot, assessed through analogous methodology that was used by Niemtur et al. (2014), was 24% of all the plus trees examined, and the average proportions of solid wood on the tomogram ranged from 74% to 92% (Table 2A). At the same time, there were no trees found with butt rot greater than one-half of the cross-section (the least share of solid wood observed on the tomogram was 53%; less than 60% share of solid wood on the tomogram was observed only in 6 of 110 silver fir specimens examined). In the case of Norway spruce, the results of the study conducted by Chomicz (2013) can be used as reference. In this study, the data was obtained on butt rot incidence in 12 Carpathian Norway spruce seed stands (100–170 years old). The observed Norway spruce specimens were affected by butt rot at different levels, and the proportion of trees with more than 6% damaged wood in the tomogram ranged from 47% to 87% of the total numbers of trees in the seed stands under the study. In the group of 360 inspected trees, the share of damaged wood in the tomogram ranging from 25% to 50% was recorded in 78 specimens, and 10 trees showed more than 50% damage. On the other hand, the average proportion of damaged wood

Table 2. The share of solid (*S*) and damaged (*D*) wood on the tomograms**A. Silver fir**

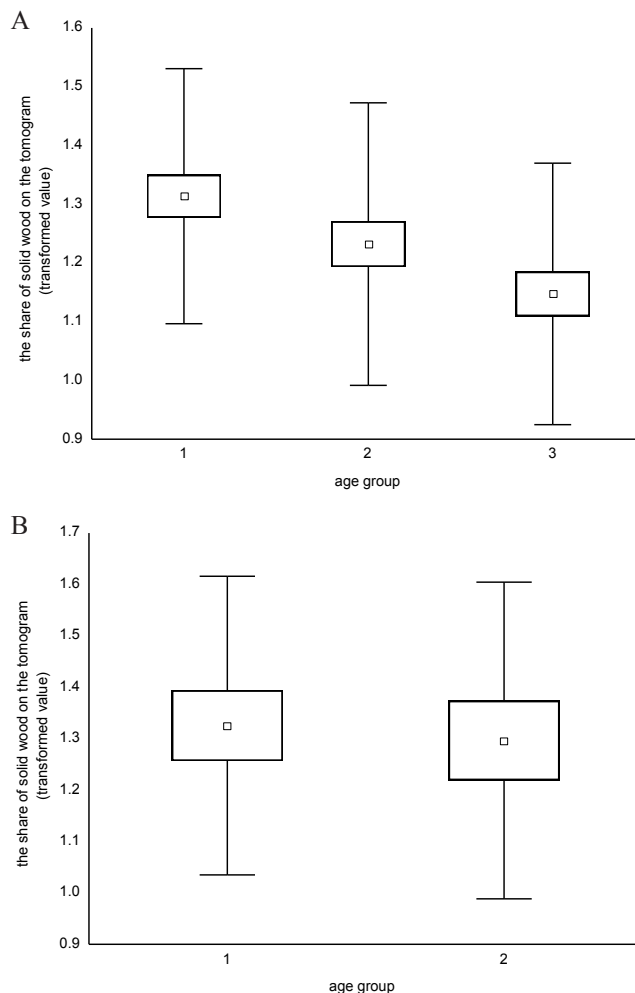
Forest District	Average share of wood [%]	
	<i>S</i>	<i>D</i>
Bircza	81.3	8.0
Gromnik	79.8	12.2
Lesko	83.7	8.1
Łosie	87.2	7.5
Nawojowa	90.5	3.2
Piwniczna	81.4	6.2
Stuposiany	78.5	12.9
Sucha	92.4	2.5
Ujsoły	74.0	16.0
Ustrzyki D.	84.8	8.3
Fir	84.7	7.4

B. Norway spruce

Forest District	Average share of wood [%]	
	<i>S</i>	<i>D</i>
Nowy Targ	83.0	9.1
Wisła	91.7	3.7
Ujsoły	82.8	8.9
Spruce	85.9	7.3

on the tomogram per Norway spruce stand ranged from 11% to 27%. In the present study, the share of Norway spruce plus trees affected by butt rot, assessed in the analogous way, was 38%, and only four Norway spruce trees out of the 42 investigated showed more than 25% damaged wood in the tomogram. Furthermore, butt rot higher than 50% was not recorded in the cross-section of any tree. The average percentage of damaged wood on the tomogram in individual forest districts under the study ranged from 4% to 9% (Table 2B).

The comparisons presented above indicate that the plus trees investigated in the present study were in better than average health condition with regard to butt rot occurrence. This confirms appropriate selection of plus trees, which by definition should be vigorous and in good physical condition (DGLP 2013). However, it must be noted that different levels of butt rot

**Figure 1.** The average share of damaged wood on the tomogram in age groups of plus trees of A. Silver fir, B. Norway spruce (tag means the average, box – the standard error, whiskers – the standard deviation)

development were observed in quite a few plus trees examined in the present study (butt rot damage was observed on tomograms of 63% silver fir plus trees and 45% Norway spruce plus trees). At the same time, provided that wood decay processes are of hidden nature, this information is not currently included in the national register of forest basic material.

Silver fir and Norway spruce plus trees were similarly affected by wood decay in the butt part of the stem. As a matter of fact, it was observed that there were a few more Norway spruce trees not affected by butt rot when compared to silver firs (Table 1). However, one has to bear in mind that the results on Norway spruce were concluded based on a smaller sample, which was determined by the number of plus trees present in the study area (all of them were included in the study). Lately, a considerable number of Norway spruce plus

trees have died, likewise many stands of this species affected by forest decline on large areas of Beskids. It is possible that, the dead Norway spruce specimens had been affected by butt rot and the investigated plus tree specimens represented a population with a superior health status. It should be emphasised that the differences observed between silver fir and Norway spruce trees with regard to butt rot incidence were not statistically significant.

Also, no statistically significant differences were found between the forest districts with regard to butt rot incidence. Hence, it was shown that there was no relation between butt rot incidence and stand geographic situation along the east–west axis (the Bieszczady Mts. – Silesian Beskids). No relationship between butt rot frequency and spatial stand distribution was observed by Niemtur et al. (2014) during a sonic tomography study carried out in selected national parks and reserves on silver firs under protection.

It was observed that the incidence of butt rot in Norway spruce and silver fir trees increased with the age of the tree (Fig. 1). In the case of silver fir, the proportion of solid wood on the tomogram was considerably greater in the youngest trees compared to oldest trees. The lack of statistically significant differences between the age groups of Norway spruce can be explained by lesser difference in age of Norway spruce specimens examined when compared to those of silver fir (the age of Norway spruce plus specimens ranged from 116 to 166 years and that of silver fir – from 91 to 158 years). Also, the number of trees of a given tree species that were statistically tested was different (information on tree age was available for 26 Norway spruces and 110 silver firs, Table 1). However, it should be noted that, in the present study, tree age was not determined based on precise measurements (tree-ring dating in samples obtained using the Pressler drill), but was evaluated at the time of plus tree selection. Inconsistency of tree age data could lead to underestimation of tree age effects on abundance of butt rot in the plus trees examined.

Enhancement of butt rot incidence in aging forest stands has been reported by several authors (Bruchwald 1984; Krzan 1985; Rymer-Dudzińska 1986; Bernadzki 2003; Chomicz, Niemtur 2008; Chomicz 2013). Studies carried out in Finland allowed for the conclusion that butt rot problem arises in Norway spruce stands that were less than 100 years old, and probably concerns all the trees reaching age 300–400 years (Norokorpi 1980). In view of the latter, it can be stated that butt rot, in general, affects old trees and is associated with the progress of natural wood decomposition processes. There is a strong likelihood that trees absolutely resistant to wood rot caused by fungal activity do not exist, and with time each tree will decay. Nonetheless, research results show high variability between the specimens of Norway spruce and silver fir in terms of decay rates. In view of economic and ecological aspects of forest management, it makes a big difference if the

tree starts to decay in the age of 100 or 160 years. This issue has currently become more and more vital in the context of the role of forests in reduction of carbon dioxide in the atmosphere. Research results indicated that trees of bigger size absorb carbon at higher rates (Stephenson et al. 2014), thus old stands could accumulate more carbon in comparison to younger ones (Luyssaert et al. 2008). At the same time, butt rot, which affects aging trees, is conjoined with carbon dioxide production, which is released during the process of decomposition of wood chemical compounds (Sierota 2012). Thus, the later the tree is infected by butt rot, the longer and more effectively it plays a role of carbon storage.

Considerable differences were found between individual trees with regard to susceptibility to butt rot. Same age trees growing under similar site conditions (in the same forest management unit) showed different levels of butt rot. The reasons behind varied resistance to butt rot, as well as earlier or later development of fungal decay (susceptible trees and resistant trees, respectively), have not been yet fully understood. Stronger resistance to butt rot can be a result of determined genetic wood features, or else – the effect of suitable external factors (e.g., better site conditions at a micro-scale; better quality of rhizosphere organisms, including mycorrhizas; no mechanical damages to the tree - also in the past). In future research, special attention should be paid to the oldest plus trees in which wood has not decayed. First, vegetative progeny of such trees should be examined in seed plantations. Clones of the trees examined in the present study are probably too young to show variability with regard to a level of butt rot disease development. However, there exists a possibility that the clones of plus trees with no signs of wood decay, evaluated with the use of sonic tomography, have some features predisposing them to show lesser susceptibility to butt rot in the future, when compared to the progeny of other trees. Such features can concern the general health status or increment capability, and also physical and chemical wood properties. If this hypothesis is confirmed, wood resistance to butt rot could be linked to genetic mechanisms, since the clone shares the same genotype with its parent tree. Then, the next step could be a study on generative progeny of plus trees, so as to better understand a mechanism of inheritance of traits associated with butt rot resistance.

5. Summary and conclusions

- Butt rot at different developmental stages was observed in great part of the studied plus trees. Silver fir trees with damaged wood on the tomogram constituted 63% of the total number of examined specimens and those of Norway spruce constituted 45%.

- Plus trees showed better than average health condition with regard to butt rot incidence. There are noteworthy si-

zeable proportions of healthy or slightly damaged trees, as well as high share of solid wood on the tomograms.

- Silver fir and Norway spruce plus trees were similarly affected by wood decay in the butt of the tree trunk.
- No relationship between butt rot frequency and tree geographical situation along the east-west axis was observed (no statistical differences were found between the forest districts studied with regard to butt rot incidence in plus trees).
- Butt rot advancement increased with age of plus trees, both in silver fir and Norway spruce.
- Considerable variability of butt rot susceptibility was observed between individual tree specimens.
- The reasons behind butt rot resistance have not yet been fully understood. In further research, attention should be paid to the oldest plus trees with no decay symptoms. In seed plantations, vegetative progeny of these trees should be investigated first.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgements and funding sources

The study was carried out in a framework of the project 500403, supported financially by the General Directorate of State Forests in the years 2013–2016. The authors would like to thank employees of the forest district under the study for their help in identifying the plus trees.

References

- 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 SGGW-AR. Forestry and Wood Technology* 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.
- Chomicz E. 2013. Incidence of butt rot in Norway spruce seed stands in Poland's mountain regions assessed with sonic tomography. *Folia Forestalia Polonica, series A* 55(4): 174–180.
- Chomicz E., Niemtur S. 2008. Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich. *Leśne Prace Badawcze* 69(3): 233–241.
- Delatour C., von Weissenberg K., Dimitri L. 1998. Host Resistance. In: *Heterobasidion annosum*. Biology, Ecology, Impact and Control (eds. Woodward, J. Stenlid, R. Karjalainen, A. Hüttermann), 195–211.
- 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.
- Krzzan Z. 1985. Występowanie zgnilizny odziomkowej świerków w drzewostanach regla dolnego Tatrzańkiego Parku Narodowego. *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody* 6(2): 5–16.
- Luysaert S., Schulze E-D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- Mattila U., Nuutinen T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica* 41(1): 29–43.
- 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.
- Niemtur S., Chomicz E., Kapsa M. 2014. Występowanie zgnilizny odziomkowej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w obszarach chronionych. *Leśne Prace Badawcze* 75(4): 343–352.
- Norokorpi Y. 1980. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay causing microbes in northern Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 97(6): 1–77.
- Rymer-Dudzińska T. 1986. Udział świerków opianowanych przez hubę korzeniową (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) w miąższości i przyroście miąższości drzewostanów mieszanych Puszczy Knyszyńskiej i Puszczy Augustowskiej. *Folia Forestalia Polonica, seria A*: 28: 67–81.
- Sierota Z. 2012. Wpływ grzybów rozkładających korzenie drzew leśnych na uwalnianie CO₂ – próba waloryzacji. *Sylwan* 156(2): 128–136.
- 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.
- Stephenson N.L., Das A.J., Condit R., Russo S.E., Baker P.J. et al. 2014. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature* 507: 90–93.

Source materials

DGLP 2013. Zarządzenie nr 29 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 marca 2013 r. w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa i hodowli drzew leśnych (ZH-7132-7/2013). Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.

Authors' contribution

E.Ch-Z. – manuscript conception, sonic tomography measurements, preparation of the results, manuscript writing; S.N. – research conception; M.K., S.A. – sonic tomography measurements.

Butt rot occurrence in plus trees of Silver fir *Abies alba* Mill. and Norway spruce *Picea abies* (L.) from the Carpathians

Elżbieta Chomicz-Zegar* , Stanisław Niemtur , Mariusz Kapsa , Sławomir Ambroży

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

Tel. +48 12 2528214, e-mail: E.Chomicz@ibles.waw.pl

Abstract. Due to its hidden character, butt rot occurrence is not commonly included in the assessment of plus trees' health status. Thus, the trees' varied susceptibility to wood decay is not a target of breeding efforts. The aim of the study was to determine the extent of butt rot in fir and spruce plus trees from Carpathian seed stands. We employed the novel and non-invasive diagnostic method of sonic tomography to determine presence and severity of decay at the base of 110 plus trees of silver fir and 42 of Norway spruce.

Butt rot in various stages of development occurred in 63% of investigated fir trees and in 45% of spruce trees. The proportion of damaged wood on the tomogram ranged from 0–38% in fir and 0–47% in spruce with similar average proportions of solid wood in all forest districts. The vast majority of trees was in the range of 80–90% solid wood. Plus trees of fir and spruce were affected by butt rot to a similar extent and the degree of damage increased with age in both species.

However, a large variation in susceptibility to butt rot was found between individual trees leading to the conclusion that the identification of old trees, which wood is not decayed, may be the basis for further research on the resistance to butt rot.

Keywords: butt rot, sonic tomography, plus trees, resistance, *Abies alba*, *Picea abies*

1. Introduction

Management of Poland's State Forests includes selective tree breeding programs, founded on two approaches: the population selection process in seed stands and the selection of individual plus trees. The main objectives of selection include intensification of production and improvement of tree qualitative traits. On the other hand, issues such as tree resistance to biotic factors are recognised to a lesser extent. As indicated by research results, the selection of forest trees with regard to resistance should be focused on individual trees rather than on population (Delatour et al. 1998). Therefore, in the assumed model of forest tree selection, plus (mother) trees should primarily be of interest when breeding for resistance.

Good health condition is a decisive factor in the selection of plus trees (General Directorate of The State Forests (Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych 2013)). In the selec-

tion process, as a rule, the health status of trees is evaluated with reference to any visible external symptoms of infection caused by harmful organisms. However, internal rot of tree heartwood (physiologically not active) can develop for a long time without rapid effects on a tree's life functions. As a result, in an affected tree, the disease process can progress with no visible symptoms of rot fungi activity, what allows the tree to live to an old age, regardless of advanced decay inside its stem. Due to the latent nature of decay, incidence of butt rot has often been neglected in the previously mentioned evaluations of health condition of plus trees. Therefore, differential susceptibility of forest trees to butt rot has not been a part of the ongoing selection activities.

Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst. and the European silver fir *Abies alba* Mill. are considered to be the main forest forming species in Poland's mountainous regions. Norway spruce is often infected by root rot and butt rot fungi, hence, this species has been the focus of majority

Submitted: 4.04.2016, reviewed: 18.04.2016, accepted after revision: 4.05.2016.

of studies on butt rot disease (Norokorpi 1980; Krzan 1985; Stenlid, Wästerlund 1986; Kohnle, Kändler 2007; Mattila, Nuutinen 2007). Rot disease problem has not been fully recognised in the case of silver fir. In the subject literature, some fungal species that cause butt rot in silver fir have been described (Siwecki, Krzan 1983); however, no information has been provided on the extent of damage they cause in silver fir stands. The results of tomography analysis indicate that butt rot disease can affect silver fir in the same way as Norway spruce, especially when the trees reach old age (Niemtur et al. 2013; Niemtur et al. 2014).

The aim of the present study was to assess the extent of butt rot incidence in silver fir and Norway spruce plus trees selected in mountainous seed stands, with the use of a novel diagnostic method – sonic tomography. When compared to traditional methods applied for the diagnosis of tree diseases, sonic tomography allows for more accurate detection of position and extent of butt rot inside the trunk of a tree. At the same time, due to non-invasive measurement method, it is possible to diagnose especially valuable tree specimens such as plus trees, without disturbing the integrity of internal tissues of the trunk.

The objective of the study was to recognise the complete butt rot problem concerning the plus trees of Norway spruce and silver fir, as well as to comprehensively determine the differences between individual trees with regard to decay progression in the tree butt. Identification of trees devoid of decayed wood can be a basis for further research on butt rot resistance, with special attention focused on the genetic factor.

A relationship between tree age and butt rot damage extent in the tree trunk was also determined using the data available from the register of plus trees.

2. Methods

2.1. Study object

The study was carried out on Norway spruce and silver fir plus trees (mother trees) growing in the mountainous forest districts, situated within the areas administered by the Regional Forest Directorates (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych (RDLP)) in Katowice, Kraków and Krosno.

Sonic tomography measurements comprised 110 silver fir plus trees growing in 10 forest districts: Sucha, Ujsoły (RDLP Katowice), Gromnik, Łosie, Nawojowa, Piwniczna (RDLP Kraków), Bircza, Lesko, Stuposiany and Ustrzyki-Dolne (RDLP Krosno), as well as 42 Norway spruce plus trees from 3 forest districts: Wisła, Ujsoły (RDLP Katowice) and Nowy Targ (RDLP Kraków). In the case of Norway spruce, all the plus trees growing in the study area were included in the study (other specimens registered in various

databases were either wind-thrown or had died due to insect infestations).

2.2 Sonic measurements

Butt rot incidence on tree trunk cross-section was detected with the use of the PiCUS Sonic Tomograph, Argus Electronic, Rostock, Germany. The instrument measures the velocity of sound in wood, which depends on its characteristics, and provides information on the presence of decay, extent of wood damage and rot position in the cross-section of the tree trunk. The method is non-invasive and therefore has no negative effects on the health status of the examined trees. A detailed description of tomography mechanism of action is available in the paper by Chomicz (2007).

Sonic measurements were performed on standing trees, at a height 10 cm above the ground (at a slope side). In keeping with the PiCUS Sonic Tomograph manual, there were 8–10 designated measurement points, depending on the thickness of the trunk. At each measurement point, an electrode was inserted until it reached the wood, and then it was connected with a magnetic sensor. The sonic impulse was instigated three times at each measurement point by tapping with a metal hammer (version Lite). The geometry of the cross-section was determined using a digital PiCUS Caliper that measured the distances between the measurement points. After sending a radio signal from the sensors to the computer, the respective tomograms were generated by PiCUS Expert software, v. Q72.

2.3. Tomogram interpretation

A tomogram represents the visualization of wood condition in the tree cross-section at the measurement point. The colour scale displayed in the tomogram identifies the wood areas with different levels of decay due to pathogenic fungi. The analysis of colours in the tomograms allowed identification of 3 categories of wood: solid (*S*) - with no decay – dark or light brown, damaged (*D*) – blue and purple, not identified (*N*) – green. Implication of green colour shown in the tomogram depends on wood damage type and should be considered at an individual tree level. Green often indicates the transitional area in between solid and damaged wood; however, it can also demonstrate early stages of fungal infection (additional information can be found in the PiCUS Sonic Tomograph manual). The proportions of wood from the designated categories were computed by PiCUS Expert software as the percentage area of a given colour in the total area of the tomogram. The share of a given wood category was displayed in the tomogram as the legend (band of colours in the upper part of the tomogram).

2.4. Statistical analyses

Statistical analysis was performed based on the results of the shares of solid (*S*) wood in the tomograms. Given that the obtained data concerned percentage values, variance was stabilised by transformation according to the Bliss formula:

$$S = \arcsin \sqrt{x},$$

where:

S – solid wood share,

x – percentage of solid wood in the tomogram, expressed as a decimal number

The Student's *t*-test was used for two independent samples to assess the significance of differences between silver fir and Norway spruce with regard to butt rot extent. Analogous differences between the tree species with reference to specific forest districts were tested using one-way analysis of variance (ANOVA).

Also, the effect of tree age on the degree of butt rot was tested. The tree age was determined based on data compiled in the register of plus trees (Forest Research Institute, Poland). For the purpose of the study, tree age recorded in the register was adjusted to the year of analyses (2016). The plus trees examined were divided into specific age groups (each with similar number of trees). Three age groups of silver fir were distinguished:

- 1 – from 91 to 122 years old (36 trees),
- 2 – from 126 to 134 years old (39 trees),
- 3 – from 141 to 158 years old (35 trees).

In view of the fact that compared to silver fir, a smaller number of Norway spruce plus trees were examined that had 51 years maximum age difference between each other

(maximum 67 years between silver fir trees), Norway spruce trees were divided into two groups:

- 1 – from 117 to 137 years old (18 trees),
- 2 – from 141 to 168 years old (16 trees).

The age groups were compared with regard to the average share of solid wood in the tomogram. Silver fir trees were tested using one-way ANOVA and those of Norway spruce – by means of Student's *t*-test for two independent groups.

All the calculations were performed using Statistica 9.0 software.

3. Results

Norway spruce and silver fir plus trees were affected by butt rot at similar levels. The average share of solid wood in the silver fir trees examined was 84.7%, and in Norway spruces was 85.9% (Table 2). The difference between the two species were not statistically significant ($p = 0.205$). In the most damaged fir tree, the image of decayed wood covered 38% of the tomogram area (plus tree no. 6201, Forest District Lesko; Table 1A), whereas, in the case of Norway spruce, it was 47% (plus tree no. 7992, Forest District NowyTarg; Table 1B). More number of Norway spruce plus trees were recorded with no signs of butt rot (no damaged wood in the tomogram, 55% of examined Norway spruce trees) compared to silver fir (37%). However, in both tree species, similar proportions of trees with butt rot of limited extent (0 to 10% of damaged wood in the tomogram, silver fir: 72% of trees, Norway spruce: 74% of trees) were observed.

The average share of solid wood in the tomogram was similar in all the forest districts that were studied and mostly, the

Table 1. The share of solid (*S*) damaged (*D*) and unidentified (*U*) wood on the tomograms and the age of investigated plus trees (*PT*)

A. Silver fir

Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]						[%]			
Bircza	4376	80	9	11	127	Nawojowa	7169	87	3	10	119
Bircza	4377	67	13	20	127	Nawojowa	7170	92	0	8	119
Bircza	4378	92	2	6	127	Nawojowa	7171	98	0	2	119
Bircza	4379	65	11	24	127	Piwniczna	4150	68	19	13	153
Bircza	6731	100	0	0	158	Piwniczna	4151	76	12	12	153
Bircza	6732	53	32	15	158	Piwniczna	4152	88	3	9	153
Bircza	6733	75	7	18	158	Piwniczna	4153	95	0	5	153

Forest District	PT No.	The share of wood			Age	Forest District	PT No.	The share of wood			Age
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]						[%]			
Bircza	6734	56	29	15	158	Piwniczna	4154	93	1	6	153
Bircza	6736	77	8	15	158	Piwniczna	4155	76	7	17	153
Bircza	6737	91	2	7	158	Piwniczna	7177	100	0	0	134
Bircza	6738	90	2	8	158	Piwniczna	7178	69	9	22	134
Bircza	9314	100	0	0	130	Piwniczna	7179	70	11	19	134
Bircza	9315	97	0	3	130	Piwniczna	7180	79	0	21	134
Bircza	9316	98	0	2	130	Stuposiany	6078	89	5	6	153
Bircza	9317	81	10	9	130	Stuposiany	6079	67	23	10	153
Bircza	9318	79	3	18	130	Stuposiany	6080	100	0	0	153
Gromnik	3099	94	0	6	153	Stuposiany	6081	77	19	4	153
Gromnik	3100	74	19	7	153	Stuposiany	6082	62	27	11	153
Gromnik	3104	59	32	9	153	Stuposiany	6083	68	19	13	153
Gromnik	3105	77	13	10	153	Stuposiany	6084	59	22	19	153
Gromnik	3106	75	9	16	153	Stuposiany	6085	89	4	7	153
Gromnik	7122	100	0	0	104	Stuposiany	6086	84	9	7	153
Lesko	6199	95	0	5	131	Stuposiany	6087	73	11	16	153
Lesko	6201	53	38	9	131	Stuposiany	6089	100	0	0	154
Lesko	6204	74	13	13	131	Stuposiany	6090	74	16	10	154
Lesko	6207	83	0	17	131	Sucha	5454	77	7	16	126
Lesko	6210	100	0	0	141	Sucha	5456	100	0	0	126
Lesko	6211	94	1	5	129	Sucha	5457	98	0	2	126
Lesko	6213	87	5	8	129	Sucha	5458	89	1	10	126
Łosie	7150	88	4	8	122	Sucha	5459	100	0	0	126
Łosie	7151	100	0	0	122	Sucha	5460	100	0	0	126
Łosie	7152	67	22	11	122	Sucha	5461	91	2	7	126
Łosie	7153	82	8	10	122	Sucha	5465	71	16	13	126
Łosie	7154	100	0	0	122	Sucha	9521	100	0	0	103
Łosie	7155	75	16	9	122	Sucha	9523	89	2	9	103
Łosie	7156	77	16	7	122	Sucha	9524	100	0	0	103
Łosie	7157	100	0	0	122	Sucha	9525	100	0	0	103

Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]					[%]				
Łosie	7158	100	0	0	122	Sucha	9526	86	5	9	103
Łosie	7159	73	16	11	122	Ujsoły	2956	72	22	6	157
Łosie	7160	97	0	3	122	Ujsoły	5491	80	9	11	108
Nawojowa	4160	89	1	10	148	Ujsoły	5496	70	17	13	148
Nawojowa	4161	100	0	0	148	Ustrzyki D.	4249	100	0	0	128
Nawojowa	4162	92	2	6	128	Ustrzyki D.	4250	70	18	12	128
Nawojowa	4163	100	0	0	128	Ustrzyki D.	4251	56	27	17	128
Nawojowa	4164	83	6	11	128	Ustrzyki D.	6218	88	1	11	107
Nawojowa	4165	69	7	24	128	Ustrzyki D.	6219	89	4	7	107
Nawojowa	4166	100	0	0	128	Ustrzyki D.	6220	78	12	10	112
Nawojowa	4167	63	33	4	128	Ustrzyki D.	6221	100	0	0	112
Nawojowa	7161	95	0	5	109	Ustrzyki D.	6222	100	0	0	112
Nawojowa	7162	92	0	8	119	Ustrzyki D.	6223	79	8	13	112
Nawojowa	7163	100	0	0	129	Ustrzyki D.	6224	97	0	3	112
Nawojowa	7164	86	3	11	134	Ustrzyki D.	6225	86	10	4	112
Nawojowa	7165	93	0	7	134	Ustrzyki D.	6226	88	1	11	107
Nawojowa	7166	100	0	0	114	Ustrzyki D.	6227	56	35	9	91
Nawojowa	7167	90	3	7	114	Ustrzyki D.	6228	100	0	0	91

B. Norway spruce

Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	PT No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]					[%]				
Nowy Targ	5303	100	0	0	134	Wisła	5187	100	0	0	141
Nowy Targ	5306	69	15	16	134	Wisła	5193	72	10	18	141
Nowy Targ	5307	100	0	0	134	Wisła	5197	87	3	10	141
Nowy Targ	5325	100	0	0	124	Wisła	5198	100	0	0	141
Nowy Targ	5332	65	23	12	119	Wisła	5201	73	20	7	136
Nowy Targ	7991	100	0	0	152	Wisła	5207	100	0	0	136
Nowy Targ	7992	45	47	8	152	Wisła	5214	100	0	0	136
Nowy Targ	7993	59	27	14	152	Wisła	5215	89	5	6	136
Nowy Targ	7994	86	0	14	-	Wisła	5216	81	7	12	136
Nowy Targ	7996	100	0	0	152	Wisła	5219	100	0	0	136
Nowy Targ	7997	63	17	20	152	Ujsoły	5483	68	12	20	128
Nowy Targ	7998	100	0	0	117	Ujsoły	5484	100	0	0	128
Nowy Targ	8200	100	0	0	117	Ujsoły	5485	62	28	10	128

Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]	Forest District	<i>PT</i> No.	The share of wood			Age [years]
		<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>				<i>S</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	
		[%]						[%]			
Nowy Targ	8201	83	0	17	-	Ujsoly	5487	69	15	16	128
Nowy Targ	8202	86	2	12	-	Ujsoly	5492	74	10	16	168
Nowy Targ	8203	100	0	0	-	Ujsoly	5493	100	0	0	168
Nowy Targ	8205	55	24	21	-	Ujsoly	5494	100	0	0	168
Wisła	92	100	0	0	149	Ujsoly	2956	82	7	11	-
Wisła	2928	100	0	0	142	Ujsoly	2957	65	26	9	-
Wisła	2930	100	0	0	137	Ujsoly	5495	91	0	9	148
Wisła	5177	82	7	11	141	Ujsoly	5471	100	0	0	-

solid wood proportions ranged from 80 to 90% (Table 1). In the case of silver fir, the highest average percentages of solid wood in the tomogram were observed in the Forest Districts (FDs): Nawojowa (90.5%) and Sucha (92.4%), whereas the lowest were observed in FDs: Gromnik (79.8%), Stuposiany (78.5%) and Ujsoly (74%, yet the latter FD was represented by only three plus trees). The highest percentage of Norway spruce solid wood was observed in FD Wisła (91.7%). The differences between the forest districts with regard to solid wood in the tomogram were not statistically significant, both for silver fir ($F = 1.698$; $p = 0.099$) and Norway spruce ($F = 1.006$; $p = 0.375$). The largest differences in terms of butt rot incidence and damage extent were observed between plus trees growing within the area of individual forest district. Considerable differences were also observed between trees in a given stand, representing similar age and growing under comparable site conditions (e.g., silver fir plus trees no. 6731 and 6732 in FD Bircza; Norway spruce plus trees no. 7991 and 7992 in FD Nowy Targ).

The average proportion of solid wood in the tomogram decreased with age of tree (Fig. 1). This relationship was statistically significant in silver fir ($F = 4.749$; $p = 0.011$). Considerable differences were found between the youngest (1) and oldest (3) silver fir groups ($p = 0.008$). Differences between Norway spruce plus trees were not statistically significant ($p = 0.779$).

4. Discussion

The plus trees examined were affected by butt rot to different degrees. The proportions of damaged wood on the tomograms ranged from 0% to 38% in silver fir and 0% to 47% in Norway spruce. In comparison to the results of sonic tomography studies conducted in old silver fir and Norway spruce stands (Chomicz 2013; Niemtur et al. 2014), a considerable share of healthy or slightly damaged plus trees, as

well as a high proportion of solid wood were observed in the tomogram under the conditions of the present study. Niemtur et al. (2014) investigated butt rot incidence in 15 silver fir stands under protection in Poland's national parks and nature reserves. In more than 100-year-old Carpathian stands (6), the share of silver firs not having butt rot (100% of solid wood on the tomogram) ranged from 0–10% of the total number of examined trees, and the average percentage of solid wood on the tomogram ranged from 58%–86%. Moreover, in 36 of the 180 silver fir specimens examined, butt rot was observed in more than half of the tomogram area (solid wood share was lower than 50%). Hence, in the present study, silver fir plus trees, that were investigated with the use of sonic tomography, showed comparatively better health condition. The share of silver fir specimens not affected by butt rot, assessed through analogous methodology that was used by Niemtur et al. (2014), was 24% of all the plus trees examined, and the average proportions of solid wood on the tomogram ranged from 74% to 92% (Table 2A). At the same time, there were no trees found with butt rot greater than one-half of the cross-section (the least share of solid wood observed on the tomogram was 53%; less than 60% share of solid wood on the tomogram was observed only in 6 of 110 silver fir specimens examined). In the case of Norway spruce, the results of the study conducted by Chomicz (2013) can be used as reference. In this study, the data was obtained on butt rot incidence in 12 Carpathian Norway spruce seed stands (100–170 years old). The observed Norway spruce specimens were affected by butt rot at different levels, and the proportion of trees with more than 6% damaged wood in the tomogram ranged from 47% to 87% of the total numbers of trees in the seed stands under the study. In the group of 360 inspected trees, the share of damaged wood in the tomogram ranging from 25% to 50% was recorded in 78 specimens, and 10 trees showed more than 50% damage. On the other hand, the average proportion of damaged wood

Table 2. The share of solid (*S*) and damaged (*D*) wood on the tomograms**A. Silver fir**

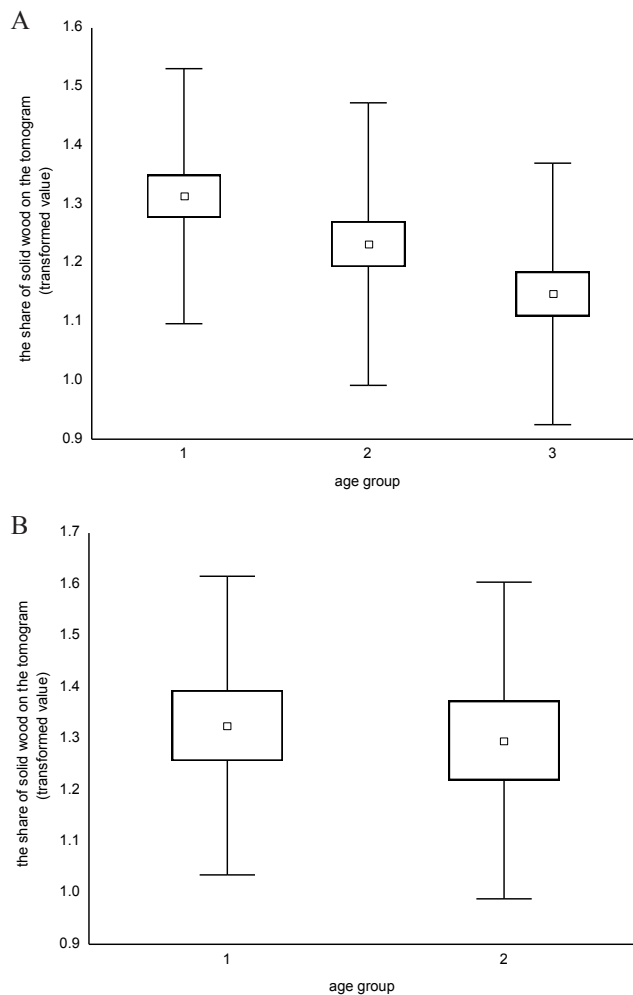
Forest District	Average share of wood [%]	
	<i>S</i>	<i>D</i>
Bircza	81.3	8.0
Gromnik	79.8	12.2
Lesko	83.7	8.1
Łosie	87.2	7.5
Nawojowa	90.5	3.2
Piwniczna	81.4	6.2
Stuposiany	78.5	12.9
Sucha	92.4	2.5
Ujsoły	74.0	16.0
Ustrzyki D.	84.8	8.3
Fir	84.7	7.4

B. Norway spruce

Forest District	Average share of wood [%]	
	<i>S</i>	<i>D</i>
Nowy Targ	83.0	9.1
Wisła	91.7	3.7
Ujsoły	82.8	8.9
Spruce	85.9	7.3

on the tomogram per Norway spruce stand ranged from 11% to 27%. In the present study, the share of Norway spruce plus trees affected by butt rot, assessed in the analogous way, was 38%, and only four Norway spruce trees out of the 42 investigated showed more than 25% damaged wood in the tomogram. Furthermore, butt rot higher than 50% was not recorded in the cross-section of any tree. The average percentage of damaged wood on the tomogram in individual forest districts under the study ranged from 4% to 9% (Table 2B).

The comparisons presented above indicate that the plus trees investigated in the present study were in better than average health condition with regard to butt rot occurrence. This confirms appropriate selection of plus trees, which by definition should be vigorous and in good physical condition (DGLP 2013). However, it must be noted that different levels of butt rot

**Figure 1.** The average share of damaged wood on the tomogram in age groups of plus trees of A. Silver fir, B. Norway spruce (tag means the average, box – the standard error, whiskers – the standard deviation)

development were observed in quite a few plus trees examined in the present study (butt rot damage was observed on tomograms of 63% silver fir plus trees and 45% Norway spruce plus trees). At the same time, provided that wood decay processes are of hidden nature, this information is not currently included in the national register of forest basic material.

Silver fir and Norway spruce plus trees were similarly affected by wood decay in the butt part of the stem. As a matter of fact, it was observed that there were a few more Norway spruce trees not affected by butt rot when compared to silver firs (Table 1). However, one has to bear in mind that the results on Norway spruce were concluded based on a smaller sample, which was determined by the number of plus trees present in the study area (all of them were included in the study). Lately, a considerable number of Norway spruce plus

trees have died, likewise many stands of this species affected by forest decline on large areas of Beskids. It is possible that, the dead Norway spruce specimens had been affected by butt rot and the investigated plus tree specimens represented a population with a superior health status. It should be emphasised that the differences observed between silver fir and Norway spruce trees with regard to butt rot incidence were not statistically significant.

Also, no statistically significant differences were found between the forest districts with regard to butt rot incidence. Hence, it was shown that there was no relation between butt rot incidence and stand geographic situation along the east–west axis (the Bieszczady Mts. – Silesian Beskids). No relationship between butt rot frequency and spatial stand distribution was observed by Niemtur et al. (2014) during a sonic tomography study carried out in selected national parks and reserves on silver firs under protection.

It was observed that the incidence of butt rot in Norway spruce and silver fir trees increased with the age of the tree (Fig. 1). In the case of silver fir, the proportion of solid wood on the tomogram was considerably greater in the youngest trees compared to oldest trees. The lack of statistically significant differences between the age groups of Norway spruce can be explained by lesser difference in age of Norway spruce specimens examined when compared to those of silver fir (the age of Norway spruce plus specimens ranged from 116 to 166 years and that of silver fir – from 91 to 158 years). Also, the number of trees of a given tree species that were statistically tested was different (information on tree age was available for 26 Norway spruces and 110 silver firs, Table 1). However, it should be noted that, in the present study, tree age was not determined based on precise measurements (tree-ring dating in samples obtained using the Pressler drill), but was evaluated at the time of plus tree selection. Inconsistency of tree age data could lead to underestimation of tree age effects on abundance of butt rot in the plus trees examined.

Enhancement of butt rot incidence in aging forest stands has been reported by several authors (Bruchwald 1984; Krzan 1985; Rymer-Dudzińska 1986; Bernadzki 2003; Chomicz, Niemtur 2008; Chomicz 2013). Studies carried out in Finland allowed for the conclusion that butt rot problem arises in Norway spruce stands that were less than 100 years old, and probably concerns all the trees reaching age 300–400 years (Norokorpi 1980). In view of the latter, it can be stated that butt rot, in general, affects old trees and is associated with the progress of natural wood decomposition processes. There is a strong likelihood that trees absolutely resistant to wood rot caused by fungal activity do not exist, and with time each tree will decay. Nonetheless, research results show high variability between the specimens of Norway spruce and silver fir in terms of decay rates. In view of economic and ecological aspects of forest management, it makes a big difference if the

tree starts to decay in the age of 100 or 160 years. This issue has currently become more and more vital in the context of the role of forests in reduction of carbon dioxide in the atmosphere. Research results indicated that trees of bigger size absorb carbon at higher rates (Stephenson et al. 2014), thus old stands could accumulate more carbon in comparison to younger ones (Luyssaert et al. 2008). At the same time, butt rot, which affects aging trees, is conjoined with carbon dioxide production, which is released during the process of decomposition of wood chemical compounds (Sierota 2012). Thus, the later the tree is infected by butt rot, the longer and more effectively it plays a role of carbon storage.

Considerable differences were found between individual trees with regard to susceptibility to butt rot. Same age trees growing under similar site conditions (in the same forest management unit) showed different levels of butt rot. The reasons behind varied resistance to butt rot, as well as earlier or later development of fungal decay (susceptible trees and resistant trees, respectively), have not been yet fully understood. Stronger resistance to butt rot can be a result of determined genetic wood features, or else – the effect of suitable external factors (e.g., better site conditions at a micro-scale; better quality of rhizosphere organisms, including mycorrhizas; no mechanical damages to the tree - also in the past). In future research, special attention should be paid to the oldest plus trees in which wood has not decayed. First, vegetative progeny of such trees should be examined in seed plantations. Clones of the trees examined in the present study are probably too young to show variability with regard to a level of butt rot disease development. However, there exists a possibility that the clones of plus trees with no signs of wood decay, evaluated with the use of sonic tomography, have some features predisposing them to show lesser susceptibility to butt rot in the future, when compared to the progeny of other trees. Such features can concern the general health status or increment capability, and also physical and chemical wood properties. If this hypothesis is confirmed, wood resistance to butt rot could be linked to genetic mechanisms, since the clone shares the same genotype with its parent tree. Then, the next step could be a study on generative progeny of plus trees, so as to better understand a mechanism of inheritance of traits associated with butt rot resistance.

5. Summary and conclusions

- Butt rot at different developmental stages was observed in great part of the studied plus trees. Silver fir trees with damaged wood on the tomogram constituted 63% of the total number of examined specimens and those of Norway spruce constituted 45%.

- Plus trees showed better than average health condition with regard to butt rot incidence. There are noteworthy si-

zeable proportions of healthy or slightly damaged trees, as well as high share of solid wood on the tomograms.

- Silver fir and Norway spruce plus trees were similarly affected by wood decay in the butt of the tree trunk.
- No relationship between butt rot frequency and tree geographical situation along the east-west axis was observed (no statistical differences were found between the forest districts studied with regard to butt rot incidence in plus trees).
- Butt rot advancement increased with age of plus trees, both in silver fir and Norway spruce.
- Considerable variability of butt rot susceptibility was observed between individual tree specimens.
- The reasons behind butt rot resistance have not yet been fully understood. In further research, attention should be paid to the oldest plus trees with no decay symptoms. In seed plantations, vegetative progeny of these trees should be investigated first.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgements and funding sources

The study was carried out in a framework of the project 500403, supported financially by the General Directorate of State Forests in the years 2013–2016. The authors would like to thank employees of the forest district under the study for their help in identifying the plus trees.

References

- 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 SGGW-AR. Forestry and Wood Technology* 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.
- Chomicz E. 2013. Incidence of butt rot in Norway spruce seed stands in Poland's mountain regions assessed with sonic tomography. *Folia Forestalia Polonica, series A* 55(4): 174–180.
- Chomicz E., Niemtur S. 2008. Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich. *Leśne Prace Badawcze* 69(3): 233–241.
- Delatour C., von Weissenberg K., Dimitri L. 1998. Host Resistance. In: *Heterobasidion annosum*. Biology, Ecology, Impact and Control (eds. Woodward, J. Stenlid, R. Karjalainen, A. Hüttermann), 195–211.
- 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.
- Krzzan Z. 1985. Występowanie zgnilizny odziomkowej świerków w drzewostanach regla dolnego Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody* 6(2): 5–16.
- Luysaert S., Schulze E-D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- Mattila U., Nuutinen T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica* 41(1): 29–43.
- 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.
- Niemtur S., Chomicz E., Kapsa M. 2014. Występowanie zgnilizny odziomkowej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w obszarach chronionych. *Leśne Prace Badawcze* 75(4): 343–352.
- Norokorpi Y. 1980. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay causing microbes in northern Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 97(6): 1–77.
- Rymer-Dudzińska T. 1986. Udział świerków opianowanych przez hubę korzeniową (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) w miąższości i przyroście miąższości drzewostanów mieszanych Puszczy Knyszyńskiej i Puszczy Augustowskiej. *Folia Forestalia Polonica, seria A*: 28: 67–81.
- Sierota Z. 2012. Wpływ grzybów rozkładających korzenie drzew leśnych na uwalnianie CO₂ – próba waloryzacji. *Sylwan* 156(2): 128–136.
- 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.
- Stephenson N.L., Das A.J., Condit R., Russo S.E., Baker P.J. et al. 2014. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature* 507: 90–93.

Source materials

DGLP 2013. Zarządzenie nr 29 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 marca 2013 r. w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa i hodowli drzew leśnych (ZH-7132-7/2013). Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.

Authors' contribution

E.Ch-Z. – manuscript conception, sonic tomography measurements, preparation of the results, manuscript writing; S.N. – research conception; M.K., S.A. – sonic tomography measurements.