

Wpływ wybranych elementów charakterystyki drzewostanów na intensywność występowania kornika drukarza *Ips typographus* (L.) w Beskidzie Żywieckim

Impact of selected stand characteristics on the occurrence of the bark beetle *Ips typographus* (L.) in the Beskid Żywiecki Mountains

Wojciech Grodzki¹, Jerzy R. Starzyk², Mieczysław Kosibowicz¹

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

²Katedra Ochrony Lasu, Entomologii i Klimatologii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31–425 Kraków

Tel. +48 12 252 82 12, e-mail: w.grodzki@ibles.waw.pl

Abstract. Recently, Norway spruce stands in Beskid Żywiecki (Western Carpathians) have been plagued by bark beetle outbreak affecting an extensive area over a large range of altitudes. Georeferenced data (2356 records) from 2009–2011 of the volume of felled spruces showing insect infestation in forest sub-compartments were analysed with respect to selected site and stand characteristics. The infestation intensity varied between individual parts of the examined area. Spruce mortality, recorded evenly across all slope expositions, was higher in the zones 800 m – 1000 m and above 1000 m than in the zone below 800 m. The infestation intensity increased slightly with spruce representation in the stands and was higher in stands older than 80 years. There was no clear correlation between spruce mortality and site quality. However, in areas with more diverse and fertile sites mortality was lower. In overall, the results obtained in this study are in line with previous knowledge on the subject, but patterns describing bark beetle preferences in infested areas appear to be less pronounced than those found in earlier publications. Risk assessment and current planning of forest protection measures in stands affected by bark beetle outbreaks should be based on the here described characteristics of spruce susceptibility to insect infection.

Key words: insect outbreak, site, stand characteristics, spatial analysis, *Picea abies*

1. Wstęp

Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) jest najgroźniejszym kambiofagiem świerka, który często wykazuje tendencje do masowych, gradacyjnych pojawów, mogących skutkować zamieraniem całych drzewostanów. Gradacje ciągną się nieraz przez wiele lat, obejmując rozległe obszary. W Polsce były one notowane już w XVIII wieku, zarówno na południu, jak i na północy kraju (Capecki 1986; Michalski 1998; Michalski et al. 2004; Grodzki, Michalski 2013).

Jeszcze w ostatniej dekadzie XX wieku drzewostany Beskidu Żywieckiego były uważane, w przeciwieństwie

do lasów Beskidu Śląskiego, za zdrowe, odporne i wolne od choroby opieńkowej (Capecki 1994). Począwszy od roku 2002 w Beskidzie Śląskim i Żywieckim rozwinęła się dynamiczna gradacja kornika drukarza, która w początkowych latach obejmowała drzewostany świerkowe rosnące na niewielkich wysokościach (Grodzki 2004). Proces ten stopniowo rozszerzał się na coraz wyższe położenia górskie, aż do partii szczytowych, przy stałym wzroście zasięgu i intensywności. Głównym czynnikiem sprzyjającym gradacji na tym obszarze jest podatność świerczyn objętych epifitozą choroby opieńkowej (Grodzki 2007a, 2009a), której symptomy stwierdzane są na znacznych obszarach Beskidu Żywieckiego (Lech,

Żółciak 2006). W kulminacyjnym okresie gradacji – w latach 2007–2008 (Szabla 2013) obserwowano, że przy wysokiej liczebności populacji i sprzyjających warunkach pogodowych kornik drukarz atakował również świerczyny w wyższych położeniach górskich (Grodzki 2009b, 2010).

Gradacyjne występowanie kornika drukarza pozostaje zawsze w zależności od dwóch elementów: stanu jego populacji oraz odporności/podatności drzew na jego atak (Christiansen et al. 1987). Stan populacji kornika to oprócz liczebności także struktura płciowa (Lobinger 1996) oraz rozrodczość i stopień wyniszczenia przez zespół wrogów naturalnych, decydujące o dynamice jego liczebności. O podatności świerczyny na atak kornika drukarza decydują m.in. wiek i udział świerka, położenie (wysokość n.p.m. i ekspozycja), warunki siedliskowe oraz stan fizjologiczny i zdrowotny drzew, związany głównie z warunkami hydrotermicznymi (Nef 1994; Jakuš 1995; Dutilleul et al. 2000; Netherer, Nopp-Mayr 2005; Grodzki 2007a,b).

Netherer i Nopp-Mayr (2005), na podstawie wieloczynnikowej analizy wybranych cech drzewostanów rosnących w obszarach chronionych, zaproponowały stosunkowo prosty system oceny podatności drzewostanów, znany jako tzw. system PAS (Predisposition Assessment System). W warunkach polskich gór istotność niektórych spośród tych cech jako źródeł zmienności potwierdzono w odniesieniu do danych dotyczących odłowów chrząszczy kornika drukarza do pułapek feromonowych (Grodzki 2007b), a także – do pewnego stopnia – poprzez analizy przestrzenne nasilenia wydziałania się posuszu zasiedlonego przez owady kambiofagiczne, zarówno w lasach chronionych (Grodzki et al. 2006), jak i gospodarczych (Grodzki 2009b).

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu wybranych cech opisujących siedliska i drzewostany na nasilenie wydziałania się posuszu w końcowej fazie gradacji kornika drukarza w świerczynach Beskidu Żywieckiego, z zastosowaniem analizy danych przestrzennych. Wydaje się bowiem, że wobec dostępności danych cha-

rakteryzujących ukształtowanie terenu oraz cechy drzewostanów, zawartych w Systemie Informacji Przestrzennej Lasów Państwowych (bazy danych i mapy numeryczne), możliwe byłoby ich wykorzystanie do prognozowania zagrożenia gradacyjnym występowaniem kornika drukarza.

2. Teren i metodyka badań

Analizy prezentowane w niniejszej pracy przeprowadzono z wykorzystaniem danych o wydziałaniu się posuszu w latach 2009–2011 w drzewostanach leżących na obszarze Beskidu Żywieckiego w zasięgu dwóch Nadleśnictw: Jeleśnia i Ujsoły. Położone między nimi drzewostany Nadl. Węgierska Górka pominięto, z uwagi na dokonane już w latach wcześniejszych znaczne wylesienia spowodowane gradacyjnym występowaniem kornika drukarza *I. typographus*. Od roku 2002 na obszarze tym miała miejsce jego dynamiczna gradacja, której kulminacja przypadła na lata 2007–2008 (Szabla 2013). Przebieg gradacji był zróżnicowany przestrzennie (Grodzki 2009b), stąd też możliwe było wybranie części tego obszaru znajdujących się w różnych jej fazach.

Dla potrzeb analiz wykonanych w ramach niniejszej pracy zebrano dane dotyczące wielkości cięć sanitarnych w wydziałeniach leśnych Nadleśnictw: Jeleśnia (lata 2009–2010) i Ujsoły (lata 2010–2011), przyporządkowane do 9 kategorii uszkodzeń (tab. 1). Wszystkie dane pochodziły z baz Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP).

Z uzyskanych baz odfiltrowano rekordy dotyczące świerka, a do dalszych analiz wykorzystano wyłącznie dane odnoszące się do drzew zasiedlonych przez owady kambiofagiczne, opisane w systemie symbolem PZ (kod 23).

Do analizy wybranych cech siedliskowo-drzewostanowych, mogących mieć wpływ na wydziałanie się posuszu zasiedlonego, wykorzystano opisy taksacyjne

Tabela 1. Kategorie drewna usuniętego w ramach cięć sanitarnych, rejestrowane w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych (SILP)

Table 1. Categories of timber processed within sanitary felling, registered in the State Forests IT System (SILP)

Kategorie Category	Kod rodzaju uszkodzenia Damage code		
	posusz standing dead trees	złomy broken trees	wywroty uprooted trees
Nieokreślony Undetermined	PN (13)	ZN (11)	WN (12)
Zasiedlony Infested by bark beetles	PZ (23)	ZZ (21)	WZ (22)
Opuszczony Left by bark beetles	PO (33)	ZO (31)	WO (23)

zawarte w odpowiednich tabelach baz SILP z nadleśnictw objętych badaniami. Były to w szczególności następujące dane:

- powierzchnia wydzielenia leśnego,
- typ siedliskowy lasu,
- udział świerka (w klasach 10-procentowych)
- wiek świerka (do 80, 81–100 oraz ponad 100 lat).

Dla potrzeb analiz przestrzennych uzyskano z nadleśnictw kopie wybranych warstw map numerycznych, zawierające podział powierzchniowy (oddziały i wydzielenia leśne) oraz warstwice.

Opisy taksacyjne oraz dane dotyczące wydzielenia się posuszu zasiedlonego przez owady kambiofagiczne połączono z warstwą wydzieleni mapy numerycznej, uzyskując geometryczną bazę danych. Uzupełniono ją o atrybuty przestrzenne – wysokość n.p.m. i ekspozycję stoku, uzyskane z cyfrowego modelu terenu wygenerowanego z warstwic. Dla uzyskania tych danych warstwę wydzieleni (poligony) sprowadzono do postaci punktowej, przyporządkowując odpowiednie dane do centroid poligonów. Dane dotyczące wydzielenia się posuszu zasiedlonego poddano standaryzacji, obliczając dla poszczególnych poligonów miąższość pozyskanych drzew przypadającą na 1 ha. W celu urealnienia wyników powierzchnie wydzieleni, do których odnoszono dane zredukowano, przemnażając je przez udział procentowy świerka. Do obliczeń użyto wyłącznie wydzieleni, w których w danym roku zarejestrowano pozyskanie drzew zasiedlonych przez owady kambiofagiczne.

Dane źródłowe zebrane w postaci geometrycznej bazy danych poddano wizualizacji, w celu zobrazowania przestrzennego zróżnicowania nasilenia wydzielenia się świerków zasiedlonych przez kornika drukarza w obszarze badań. Do obróbki danych przestrzennych wykorzystano oprogramowanie ArcView 3.2 z rozszerzeniami.

Przeprowadzono także analizy statystyczne w celu przetestowania istotności wpływu wybranych czynników (cech siedliskowo-drzewostanowych) na zmienność nasilenia wydzielenia się posuszu. Analizy statystyczne prowadzono w kierunku testowania istotności różnic metodą analizy wariancji i testów post-hoc (RIR Tukeya). Obliczenia wykonywano z zastosowaniem oprogramowania MSEXcel oraz Statistica v. 5.0 (StatSoft, Inc. 1997).

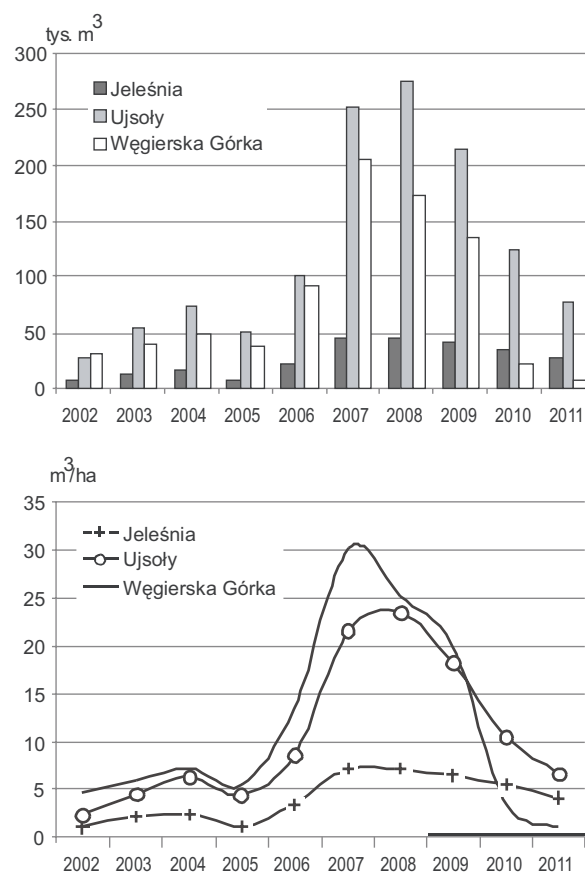
3. Wyniki badań

Charakterystyka obszaru badań

Dane dotyczące nasilenia wydzielenia się drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w latach 2002–2011 wskazują, że ostatnia gradacja, która osiągnęła kulmi-

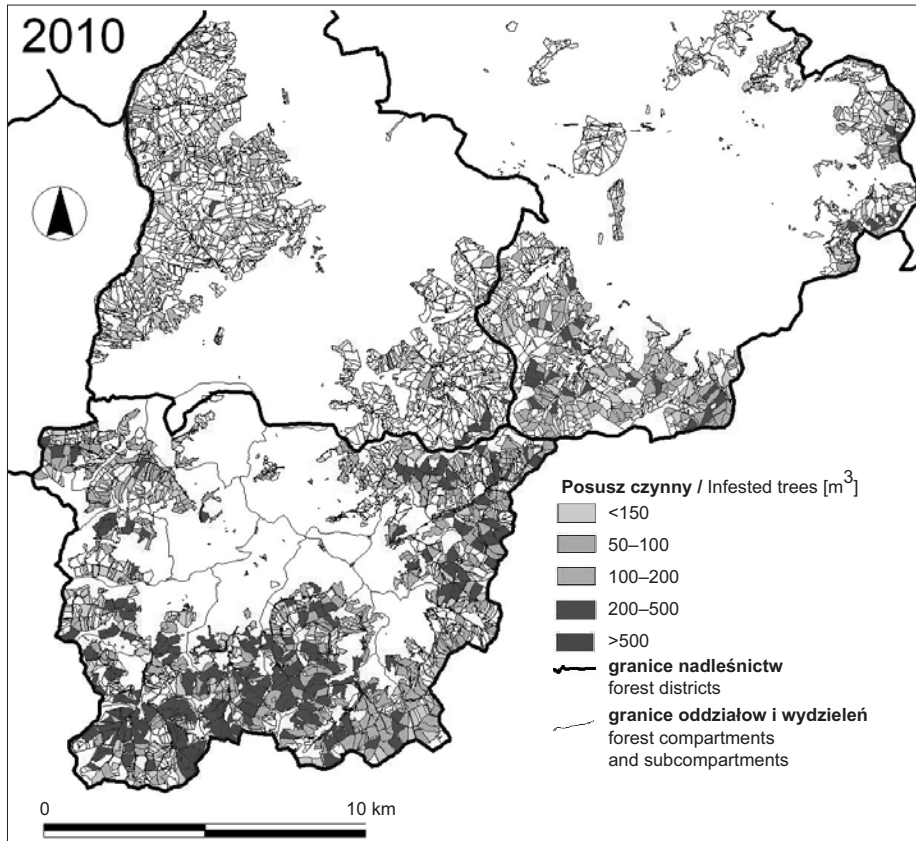
nację w latach 2007–2008, miała przebieg odmienny na terenie każdego z analizowanych nadleśnictw (ryc. 1), jednak we wszystkich jednostkach w okresie prowadzenia badań populacje kornika drukarza znajdowały się w fazie retrogradacji (Nadl. Ujsoły i Węgierska Górka) lub w okresie względnej stabilizacji (Nadl. Jeleśnia).

Dowodem przestrzennego zróżnicowania przebiegu gradacji są wyniki wizualizacji przestrzennego rozkładu miąższości drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w latach 2010–2011 (ryc. 2), zwłaszcza pomiędzy częścią południową tego obszaru, obejmującą Nadl. Ujsoły i Węgierska Górka (retrogradacja) a częścią wschodnią w Nadl. Jeleśnia (stabilizacja). Dla dwóch spośród tych jednostek przeprowadzono analizę szczegółową, której wyniki zamieszczono w dalszej części artykułu. W celu



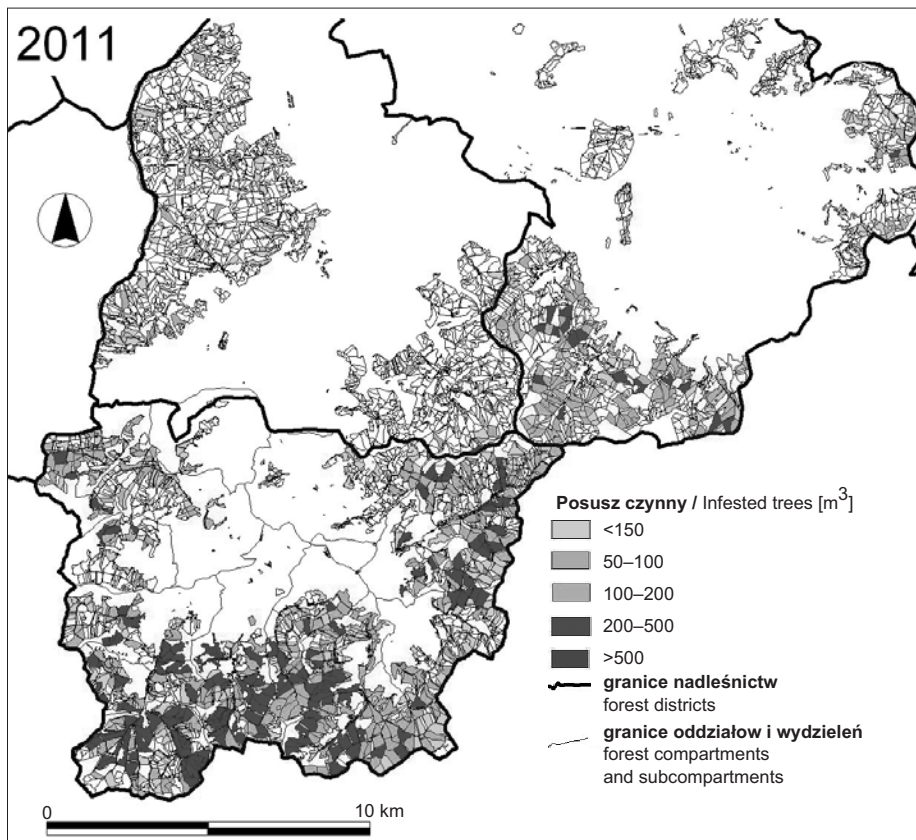
Rycina 1. Miąższość drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w nadleśnictwach Jeleśnia, Ujsoły i Węgierska Górka w latach 2002-2011; u góry – ogółem, u dołu – w przeliczeniu na 1 ha. Zaznaczono okres objęty badaniami.

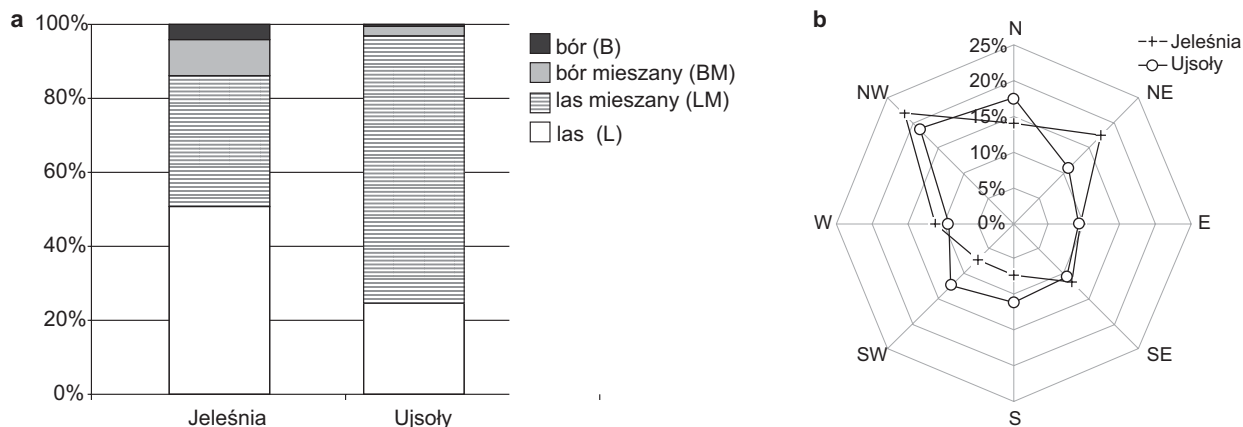
Figure 1. Volume of trees infested by bark beetles in the Forest Districts Jeleśnia, Ujsoły and Węgierska Górka in 2002-2011; in total (above) and per 1 ha of stands (below). The period of research marked by solid line.



Rycina 2. Nasilenie wydziałania się posuszu czynnego w rejonie badań w roku 2010 i 2011

Figure 2. Intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation in the study area in 2010 and 2011





Rycina 3. Udział procentowy grup typów siedliskowych lasu (a) oraz rozkład powierzchniowy drzewostanów na poszczególnych ekspozycjach (b) w obrębie Jeleśnia i w Nadl. Ujsoły

Figure 3. The percentage of poor (B) to rich (L) site types (a) and distribution of stands among slope exposures (b) in the Forest Sub-district Jeleśnia and in the Forest District Ujsoły

zachowania jednorodności warunków w obrębie jednego masywu górskiego zakres analizy zawężono do obszaru całego Nadl. Ujsoły (obręby: Ujsoły, Rycerka) oraz obrębu Jeleśnia w Nadl. Jeleśnia, leżącego w Beskidzie Żywieckim (ryc. 2).

Drzewostany objęte badaniami w Nadl. Ujsoły zajmują powierzchnię niecałych 13,1 tys. ha, a w obrębie Jeleśnia – ok. 5,8 tys. ha. Rosną one na zasobnych siedliskach: w obrębie Jeleśnia przeważają grupy siedlisk lasu górskiego (51%) i lasu mieszanego górskiego (35%), a w Nadl. Ujsoły dominują siedliska lasu mieszanego górskiego (72%), przy znacznym (25%) udziale lasu górskiego (ryc. 3a). W ukształtowaniu terenu w obu jednostkach dominują ekspozycje północne (od NE do NW), stanowiące odpowiednio 53 i 47%, przy mniejszym udziale wystaw południowych (ryc. 3b).

Czynniki wpływające na wydzielanie się posuszu

Dla potrzeb pracy zestawiono bazy danych z dwóch analizowanych nadleśnictw. Baza z Nadl. Ujsoły obejmowała 1712 rekordów z obu obrębów, w tym 850 z 2009 roku i 862 z 2010 roku, a baza z obrębu Jeleśnia zawierała 644 rekordy, w tym 334 z 2010 roku i 310 z 2011 roku. Średnia wartość rzeczywista nasilenia wydzielania się posuszu czynnego (przypadająca na 1 ha wydzielania leśnego) w Nadl. Ujsoły w latach 2009–2010 wyniosła 14,51 m³/ha, a w Nadl. Jeleśnia w latach 2010–2011 – 7,70 m³/ha, natomiast wartości odniesione do powierzchni zredukowanej udziałem świerka – odpowiednio 15,68 i 12,21 m³/ha. Wartości rzeczywiste i zredukowane były silnie skorelowane w Nadl. Jeleśnia ($r^2=0,51$; $p<0,05$), a bardzo słabo w Nadl. Ujsoły ($r^2=0,12$; $p<0,05$).

Strefa wysokości n.p.m.

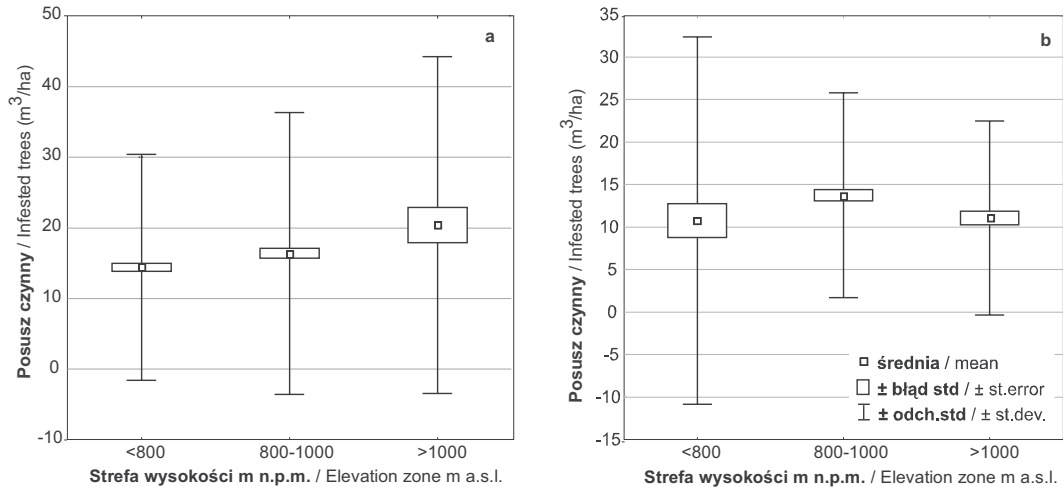
W Nadl. Ujsoły miąższość drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w latach 2009–2010 była największa (20,41 m³/ha) w drzewostanach rosnących w strefie wysokości ponad 1000 m n.p.m. (ryc. 4a), przy czym wpływ czynnika wysokości był statystycznie istotny (tab. 2). Natomiast w Nadl. Jeleśnia w latach 2010–2011 miąższość drzew zasiedlonych była największa (13,6 m³/ha) w drzewostanach rosnących w strefie wysokości 800–1000 m n.p.m. (ryc. 4b), a różnice wynikające z czynnika wysokości także były statystycznie istotne (tab. 2).

Ekspozycja stoku

W obu analizowanych jednostkach posusz czynny wydzieliał się na wszystkich ekspozycjach (ryc. 5), a jego miąższość przeliczona na 1 ha powierzchni zredukowanej wynosiła średnio 15,63 m³ w Nadl. Ujsoły i 12,05 m³ w Nadl. Jeleśnia. W Nadl. Ujsoły najwięcej posuszu czynnego wydzielano na ekspozycji południowo-wschodniej (17,88 m³/ha) oraz zachodniej i południowo-zachodniej (odpowiednio 17,29 i 16,08 m³/ha). W Nadl. Jeleśnia najwięcej posuszu czynnego stwierdzano na ekspozycji wschodniej (14,24 m³/ha) oraz północno-zachodniej i południowo-zachodniej (odpowiednio 13,12 i 12,94 m³/ha). Wpływ czynnika wystawy w żadnym z nadleśnictw nie był statystycznie istotny (tab. 2).

Udział świerka

Nasilenie wydzielania się posuszu czynnego w wartościach rzeczywistych było silnie skorelowane z udziałem świerka w drzewostanie (Nadl. Ujsoły:



Rycina 4. Miąższość drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w strefach wysokości n.p.m. w Nadl. Ujsoły w latach 2009–2010 (a) i w Nadl. Jeleśnia w latach 2010–2011 (b)

Figure 4. Volume of trees infested by bark beetles in elevation zones in Forest District Ujsoły in 2009–2010 (a) and in Forest District Jeleśnia in 2010–2011 (b)

Tabela 2. Wpływ wybranych czynników na wydzielanie się posuszu czynnego w Nadl. Ujsoły i obr. Jeleśnia w latach 2009–2011 roku – wyniki analizy wariancji

Table 2. Effect of selected factors on the spruce mortality due to bark beetle infestation in the Forest District Ujsoły and Forest Sub-district Jeleśnia in 2009–2011 – results of one-way ANOVA

Czynnik Factor	Ujsoły		Jeleśnia	
	F	p	F	p
Strefa wysokości n.p.m. Elevation zone (m a.s.l.)	5,456	**	3,625	*
Ekspozycja stoku Slope exposition	0,790	n.s.	1,311	n.s.
Udział świerka Percentage of spruce	2,192	*	4,062	***
Wiek świerka (przedział) Age of spruce	18,292	***	4,055	*
Typ siedliskowy lasu Forest site type	5,837	**	3,860	**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. – brak istotnych różnic / no significant differences

$r^2=0,90$; $p < 0,001$; Nadl. Jeleśnia: $r^2=0,86$; $p < 0,001$). Przy zastosowaniu danych przeliczonych na powierzchnię zredukowaną najwyższe wskaźniki nasilenia wydzielania się posuszu czynnego uzyskano dla drzewostanów o niskim udziale świerka, przy zaznaczającej się w obu nadleśnictwach słabej tendencji wzrostowej wraz ze wzrostem jego reprezentacji w składzie, widocznej zwłaszcza w klasach 4–10 (ryc. 6). Wpływ udziału świerka był statystycznie istotny, zaznaczając się silniej w Nadl. Jeleśnia (tab. 2).

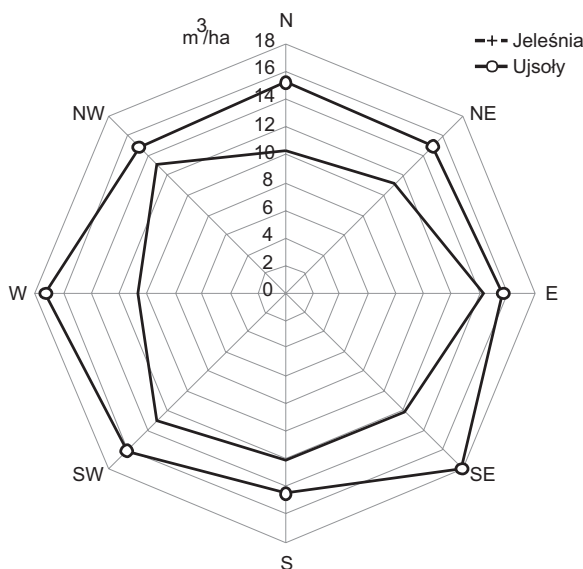
Wiek świerka

Nasilenie wydzielania się posuszu czynnego przyjmowało najwyższe wartości w drzewostanach w

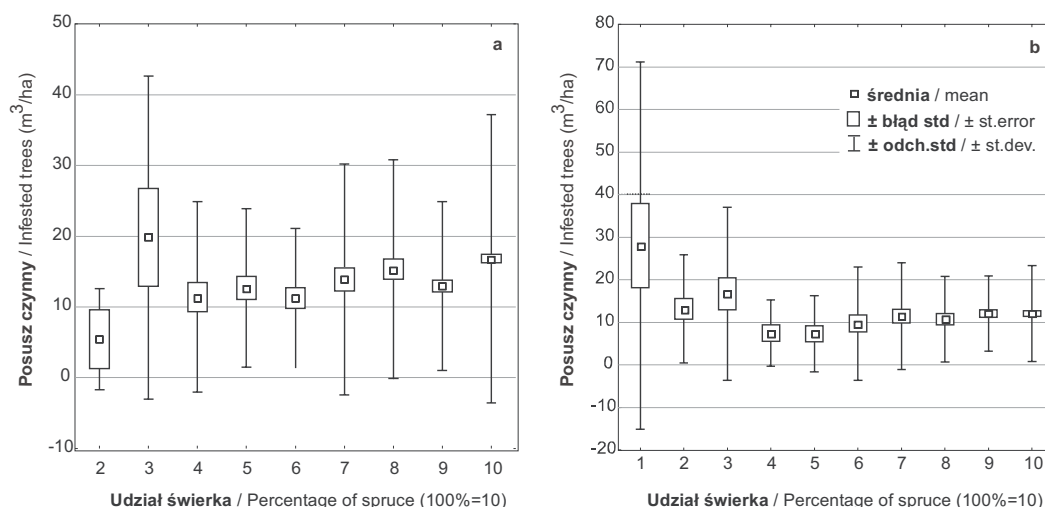
wieku 80–100 lat, a nieco niższe (zwłaszcza w Nadl. Ujsoły) w świerczynach ponad 100-letnich. W obu jednostkach wpływ czynnika wieku był statystycznie istotny, przy czym zaznaczał się silniej w Nadl. Ujsoły (tab. 2), a układ różnic między rozpatrywanymi przedziałami wieku był w obu nadleśnictwach nieco odmienny (ryc. 7).

Siedlisko

W Nadl. Ujsoły wydzielanie się posuszu w roku 2009 obejmowało cztery, a w 2010 – trzy typy siedliskowe lasu. W obu latach dotyczyło ono drzewostanów rosnących na siedliskach lasu górskiego (LG), lasu łęgowego górskiego (LŁG), lasu mieszanego górskiego



Rycina 5. Ilość posuszu zasiedlonego przez kornika drukarza, przypadająca na 1 ha drzewostanów w Nadl. Ujsoły (lata 2009–2010) i Jeleśnia (lata 2010–2011) według ekspozycji stoku
 Figure 5. Volume of trees infested by bark beetles per 1 ha of stands in the Forest District Ujsoły (2009–2010) and Jeleśnia (2010–2011) by the slope exposition

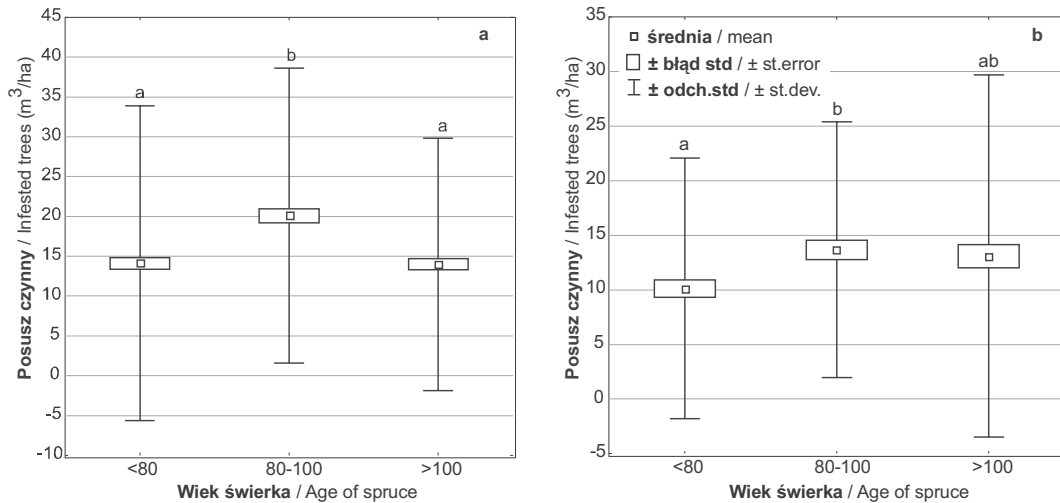


Rycina 6. Miąższość drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w drzewostanach o różnym udziale świerka w Nadl. Ujsoły w latach 2009 i 2010 (a) i w Nadl. Jeleśnia w latach 2010–2011 (b)

Figure 6. Volume of trees infested by bark beetles in the stands with various percentage of spruce in the Forest District Ujsoły in 2009–2010 (a) and Jeleśnia in 2010–2011 (b)

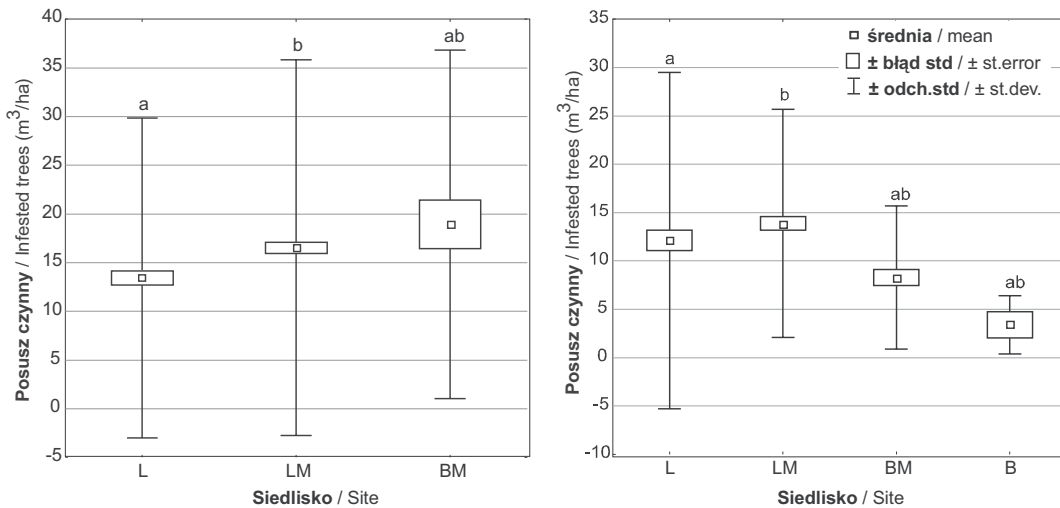
(LMG) i boru mieszanego górskiego (BMG). Natomiast w Nadl. Jeleśnia obejmowało ono 7 typów siedliskowych lasu: lasu górskiego (LG) w dwóch wariantach uwilgotnienia, lasu łągowego górskiego (LŁG), lasu mieszanego górskiego (LMG) w dwóch wariantach uwilgotnienia, boru mieszanego górskiego (BMG) i boru wysokogórskiego (BWG). Dla potrzeb analizy wyróżnione typy siedliskowe zagregowano w cztery grupy żywności: las, las mieszany, bór mieszany i bór. W Nadl. Ujsoły najwyższy średni wskaźnik wydzielania się posuszu czynnego stwierdzono na siedliskach najuboższych (boru mieszanego), a najniższy – na najbogatszych – lasowych (ryc. 8a). Natomiast w Nadl. Jeleśnia wskaź-

nik ten przyjmował najwyższą wartość na siedlisku lasu mieszanego, a nieco niższą na siedlisku boru mieszanego, natomiast na najuboższym siedlisku boru wysokogórskiego wskaźnik ten był najniższy (ryc. 8b). Warto jednak dodać, że w Nadl. Ujsoły na wysokości ponad 1000 m n.p.m. drzewostany z wydzielającym się posuszem występowały jedynie na siedliskach lasu mieszanego i boru mieszanego, podczas gdy w Nadl. Jeleśnia w tej samej strefie wysokości było to 5 typów siedlisk – od borowych po lasowe. Generalnie zasobność siedliska miała istotny wpływ na wydzielanie się posuszu czynnego (tab. 2), jednak kierunek tego wpływu nie był jednakowy w obu jednostkach.



Rycina 7. Miąższość drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w drzewostanach w trzech przedziałach wieku świerka w Nadl. Ujsoły w latach 2009–2010 (a) i w Nadl. Jeleśnia w latach 2010–2011 (b) Różne litery oznaczają różnice statystycznie istotne.

Figure 7. Volume of trees infested by bark beetles in the stands with various age of spruce in the Forest District Ujsoły in 2009–2010 (a) and Jeleśnia in 2010–2011 (b). Different letters indicate statistically significant differences.



Rycina 8. Miąższość drzew zasiedlonych przez kornika drukarza w zależności od siedliskowego typu lasu w Nadl. Ujsoły w latach 2009–2010 (a) oraz Jeleśnia w latach 2010–2011 (b) Różne litery oznaczają różnice statystycznie istotne.

Figure 8. Volume of trees infested by bark beetles in the stands on various site types – from rich (L) to poor (B) in the Forest District Ujsoły in 2009–2010 (a) and Jeleśnia in 2010–2011 (b). Different letters indicate statistically significant differences.

4. Podsumowanie i dyskusja

Podczas badań przeprowadzonych na obszarze dwóch nadleśnictw w ciągu trzech sezonów wegetacyjnych zebrano i przeanalizowano dane opisujące dynamikę wydzielania się świerków zasiedlonych przez kornika drukarza oraz charakteryzujących drzewostany objęte niedawną jego gradacją. Z analizy tej wyłania się skomplikowany układ wpływów cech kształtujących podatność drzewostanów na gradacyjne występowanie

I. typographus. Wiadomo bowiem, że sukces ataku kornika drukarza na świerku zależy zarówno od liczebności populacji atakujących chrząszczy, jak i podatności drzew i wynikających z niej ich zdolności do obrony (Christiansen et al. 1987). Na ryzyko wystąpienia ataku ze strony kornika drukarza wpływają warunki wilgotnościowe (dostępność wody w glebie), a także ekspozycja stoku, udział świerka i trend jego przyrostu (Lexer 1997). Stwierdzone zależności, określone na podstawie danych zebranych w Beskidzie Żywieckim,

pozostają generalnie w zgodności z dotychczasową wiedzą w tym zakresie, potwierdzającą rolę tych czynników w kształtowaniu się podatności drzewostanów na gradację *I. typographus* (Netherer, Nopp-Mayr 2005).

W warunkach górskich istotne znaczenie dla podatności świerka na atak *I. typographus* ma czynnik wysokości nad poziomem morza. W Nadl. Węgierska Górka, leżącym w Beskidzie Śląskim i Żywieckim, gdzie gradacja kornika drukarza przebiegała nieco wcześniej, nasilenie wydzielania się posuszu świerkowego w jej kulminacyjnej fazie (w roku 2008) osiągało najwyższe wartości w strefach 800–1000 i ponad 1000 m n.p.m. (Grodzki 2010). Podobna prawidłowość zarysowała się kilka lat później w sąsiednich nadleśnictwach Beskidu Żywieckiego, gdzie intensywność zamierania zasiedlonych świerków była największa w strefach leżących ponad 800 m n.p.m. Jest to wynik rozszerzania się w ostatnich dziesięcioleciach pionowego zasięgu choroby opieńkowej, kształtującej kondycję świerczyn i ich podatność na atak kornika drukarza (Grodzki 2009b), a obszar Beskidu Żywieckiego to obecnie jeden z najsilniej opanowanych przez tę chorobę regionów Polski (Lech, Żółciak 2006). Mimo odmiennych przyczyn i przebiegu ostatniej gradacji w Beskidach oraz tej z lat 80. XX wieku w Sudetach Zachodnich, w obu przypadkach drzewostany rosnące w wyższych położeniach górskich okazały się być najbardziej podatne na atak kornika drukarza (Grodzki 2009a).

W obu analizowanych jednostkach posusz czynny wydzieliał się na wszystkich ekspozycjach, a różnice między nimi były niewielkie. Najwyższe jego nasilenie stwierdzono na wystawach od wschodniej przez południową do zachodniej, choć w terenie badań wyraźnie dominują ekspozycje zbliżone do północnej. Jest to generalnie zgodne z dotychczasową wiedzą o preferencjach kornika drukarza (Grodzki et al. 2006), zwłaszcza względem nasłonecznienia drzewostanu (Lobinger, Skatulla 1996; Turčani et al. 2000; Netherer, Nopp-Mayr 2005). Silne wydzielanie się posuszu na wszystkich wystawach wskazuje jednak, że w warunkach gradacji mechanizmy wyboru u kornika drukarza ulegają znacznemu osłabieniu (Grodzki 2013).

Istotną cechą determinującą ryzyko rozrodu kornika drukarza jest duży udział świerka, zwłaszcza w formie monokultur, a także jego wysoki wiek (Lexer 1997; Netherer, Nopp Mayr 2005; Grodzki 2007b). W obu nadleśnictwach wydzielanie się posuszu czynnego wyrażone w wartościach rzeczywistych wzrastało wraz ze zwiększającym się udziałem świerka, co jest bezpośrednim efektem ilości dostępnego materiału lęgowego. Wysokie zredukowane wskaźniki miąższościowe wydzielania się posuszu czynnego w drzewostanach o niskim (10–30%) udziale świerka, także tam, gdzie drzewostany takie otoczone są litymi lub niemal litymi

świerczynami, mogą wskazywać na wspomniane wcześniej osłabienie mechanizmów wyboru w warunkach gradacji. Biorąc pod uwagę wysoki udział świerka w drzewostanach obu jednostek, wynoszący 75% na obszarze obrębu Jeleśnia oraz 93% w Nadl. Ujsoły (Wyniki aktualizacji stanu powierzchni leśnej 2010), można przyjąć, że sytuacje takie zdarzają się powszechnie. Wyrównane (o słabym trendzie wzrostowym) ilości posuszu drzewostanach w kolejnych klasach udziału świerka dowodzą wysokiej presji kornika drukarza na drzewostany, w których występuje ten gatunek drzewa.

Ryzyko wystąpienia gradacji kornika drukarza wzrasta wraz z wiekiem świerka. O odporności drzew w pierwszej połowie życia decyduje ich znaczna żywotność, objawiająca się zwiększającym się – do ok. 50–65 lat – przyrostem (Capecki 1981). Najbardziej podatne na ten atak są drzewostany w wieku ponad 100 lat (Becker, Schröter 2000; Netherer, Nopp Mayr 2005). W naturalnych drzewostanach Tatrzańskiego Parku Narodowego intensywność zamierania drzew zasiedlonych przez kornika drukarza wzrastała liniowo wraz z wiekiem świerka, a największa była w świerczynach ponad 180-letnich (Grodzki et al. 2006). Stwierdzone w Nadl. Ujsoły najwyższe tempo wydzielania się drzew zasiedlonych w drzewostanach w wieku 80–100 lat, a w Nadl. Jeleśnia – w wieku powyżej 100 lat, wpisuje się w prawidłowości znane z literatury. Oczywistym jest także, że w starszych i najstarszych drzewostanach zapas jest większy, co z pewnością także wpłynęło na uzyskanie wartości wskaźników miąższościowych.

Warunki siedliskowe, zwłaszcza zawartość składników odżywczych w glebie, mają istotne znaczenie dla podatności świerczyn na atak kornika drukarza (Nef 1994; Dutilleul et al. 2000). Kula (1992) wspomina o typach siedliskowych zbliżonych do lasu mieszanego, w których stwierdził zwiększone wydzielanie się posuszu. Natomiast wyniki z Beskidów są niejednoznaczne. W Nadl. Ujsoły, o mniejszym zróżnicowaniu siedlisk, wydzielanie się posuszu czynnego było największe na siedliskach uboższych (bór mieszany), których udział powierzchniowy był największy (72%), a najmniejsze – na siedliskach najbogatszych (las). Natomiast w bardziej urozmaiconym siedliskowo Nadl. Jeleśnia posusz wydzieliał się najsilniej na siedlisku lasu mieszanego i boru mieszanego, stanowiących w sumie 45% powierzchni obrębu, a najsłabiej na najuboższym siedlisku boru wysokogórskiego, którego udział wynosił 4%. Możliwym jest, że na taki układ wyników decydujący wpływ miał udział poszczególnych typów siedliskowych lasu. Warto natomiast zauważyć, że na obszarze obrębu Jeleśnia, o generalnie zasobniejszych siedliskach, ogólny poziom wydzielania się posuszu czynnego był niższy niż na terenie Nadl. Ujsoły.

5. Wnioski

1. Największy wpływ na nasilenie wydzielania się posuszu czynnego w analizowanych nadleśnictwach Beskidu Żywieckiego miały: udział procentowy i wiek świerka w drzewostanach, a mniejszy – strefa wysokości n.p.m. i warunki siedliskowe. Ekspozycja stoku nie miała istotnego znaczenia dla podatności drzewostanów na występowanie kornika drukarza.

2. Niejednoznaczne wyniki analiz dotyczących preferencji kornika drukarza w zakresie badanych cech drzewostanów wskazują na rozluźnienie mechanizmów wyboru przez niego drzew do zasiedlenia w warunkach gradacji i silnej presji na drzewostany.

3. Analiza wybranych cech drzew i drzewostanów świerkowych w warunkach górskich może być wykorzystana do prognozowania ich podatności na gradacje kornika drukarza.

4. Metoda ta powinna znaleźć zastosowanie w planowaniu i realizacji aktywnej ochrony przed kornikiem drukarzem zarówno drzewostanów gospodarczych, jak i lasów w obszarach objętych statusem ochrony czynnej.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy, na podstawie decyzji nr 4278/B/P01/2010/38.

Autorzy serdecznie dziękują nadleśnictwom Ujsoły i Jeleśnia za udostępnienie danych z baz SILP oraz warstw mapy numerycznej, wykorzystanych w niniejszej pracy.

Literatura

Becker T., Schröter H. 2000. Ausbreitung von rindenbrütenden Borkenkäfern nach Sturmschäden. *Allgemeine Forstzeitung*, 55: 280–282.

Capecki Z. 1981. Zasady prognozowania zagrożenia oraz ochrona górskich lasów świerkowych przed owadami na tle szkód wyrządzanych przez wiatr i okiść. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 584: 3–44.

Capecki Z. 1986. Gradacja zagrożenia lasów górskich i możliwości ich ochrony. *Sylwan*, 2/3: 13–23.

Capecki Z. 1994. Rejony zdrowotności lasów zachodniej części Karpat. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 778/782: 61–125.

Christiansen E., Waring R.H., Berryman A.A. 1987. Resistance of Conifers to Bark Beetle Attack: Searching for General Relationships. *Forest Ecology and Management*, 22: 89–106.

Dutilleul P., Nef L., Frigon D. 2000. Assessment of site characteristics as predictors of the vulnerability of Norway

spruce (*Picea abies* Karst.) stands to attack by *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 124: 1–5.

Grodzki W. 2004. Zagrożenie górskich drzewostanów świerkowych w zachodniej części Beskidów ze strony szkodników owadzi. *Leśne Prace Badawcze*, 2: 35–47.

Grodzki W. 2007a. Spatio-temporal patterns of the Norway spruce decline in the Beskid Śląski and Żywiecki (Western Carpathians) in southern Poland. *Journal of Forest Science*, 53 (Special Issue): 38–44.

Grodzki W. 2007b. Wykorzystanie pułapek feromonowych w monitoringu kornika drukarza w wybranych parkach narodowych w Karpatach. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Rozprawy i monografie*. 8, Sękocin Stary Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 1–127. ISBN 978-83-87647-69-8.

Grodzki W. 2009a. Forest decline in mountain spruce stands affected by bark beetle outbreaks in Poland. Attempt to spatial characteristics. *Forest, Wildlife and Wood Sciences for Society Development*. Prague, 16–18. April 2009: 259–266.

Grodzki W. 2009b. Przestrzenne uwarunkowania rozwoju obecnej gradacji kornika drukarza *Ips typographus* (L.) w Beskidzie Śląskim i Żywieckim. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAU*, 11: 73–82.

Grodzki W. 2010. The decline of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. stands in Beskid Śląski and Żywiecki: theoretical concept and reality. *Beskydy*, 3(1): 19–26.

Grodzki W. 2013. Cechy siedliska i drzewostanu. w: W. Grodzki (red.) *Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) i jego rola w ekosystemach leśnych*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 95–99.

Grodzki W., Jakuš R., Lajzová E., Sitková Z., Mączka T., Škvarenina J. 2006. Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Annals of Forest Science*, 63: 55–61.

Grodzki W., Michalski J. 2013. Historia gradacji kornika drukarza. w: W. Grodzki (red.) *Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) i jego rola w ekosystemach leśnych*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 109–125.

Jakuš R. 1995. Bark beetle (Col. Scolytidae) communities and host and site factors on tree level in Norway spruce primeval natural forest. *Journal of Applied Entomology*, 119: 643–651.

Kula E. 1992. Poznámky k disperzi kůrovcové hmoty v porostech Lesního závodu Horní Blatná. *Lesnictví – Forestry*, 38(3–4): 221–238.

Lech P., Żółciak A. 2006. Uwarunkowania występowania opieńkowej zgnilizny korzeni w lasach Beskidu Żywieckiego. *Leśne Prace Badawcze*, 2: 33–49.

Lexer M.J. 1997. Risikoanalyse und Ableitung waldbaulicher Massnahmen zur Beeinflussung des Borkenkäferisikos in Fichtenbeständen. W: Müller F. (Hrsg.). *Waldbau an der unteren Waldgrenze. FBVA-Berichte*, 95: 79–89.

Lobinger G. 1996. Variations in sex ratio during an outbreak of *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) in Southern Bavaria. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz Umweltschutz*, 69: 51–53.

- Lobinger G., Skatulla U. 1996. Untersuchungen zum Einfluss von Sonnenlicht auf das Schwärmverhalten von Borkenkäfern. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz Umweltschutz*, 69, 183–185.
- Michalski J. 1998. Gradacje kornikowe w ostatnim 50-leciu w drzewostanach świerkowych Polski. w: A. Boratyński, W. Bugała (red.) *Biologia świerka pospolitego*. Poznań, Bogucki Wydawnictwo Naukowe: 468–508.
- Michalski J., Starzyk J.R., Kolk A., Grodzki W. 2004. Zagrożenie świerka przez kornika drukarza – *Ips typographus* (L.) w drzewostanach Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Puszcza Białowieska” w latach 2000–2002. *Leśne Prace Badawcze*, 3: 5–30.
- Nef L. 1994. Estimation de la vulnérabilité de pessières aux attaques d'*Ips typographus* L. à partir de caractéristiques stationnelles. *Silva Belgica*, 101, 4: 7–14.
- Netherer S., Nopp-Mayr U. 2005. Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management – rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management*, 207: 99–107.
- StatSoft, Inc. 1997. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK. StatSoft, Inc., <http://www.statsoft.com>
- Szabla K. 2013. Praktyczna realizacja strategii ograniczania liczebności kornika drukarza na przykładzie świerczyn Beskidu Śląskiego i Żywieckiego w latach 2007–2010. w: W. Grodzki (red.). *Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) i jego rola w ekosystemach leśnych*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 161–178.
- Turčani M., Pajtik J., Pôbis I., Zúbrik M. 2000. Relationship between amounts of trees killed by *Ips typographus* and orientation of slopes in model area Vajskovska – Lomnista valley in Slovakia. w: Knižek M., Forster B., Grodzki W. *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe. Proceedings of the IUFRO WP 7.03.10 Workshop, September 24–28, 2000, Bușteni, Romania: 178–180.*
- Wyniki aktualizacji stanu powierzchni leśnej i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych na dzień 1 stycznia 2009 r. Praca wykonana przez Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej na zamówienie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych. DGLP Warszawa, 2010.

Wkład autorów

W.G. – koncepcja i projekt badań, opracowanie metodyki, analiza i interpretacja danych, przegląd literatury, przygotowanie maszynopisu; J.R.S. – projekt badań, opracowanie metodyki, przegląd literatury, przygotowanie maszynopisu; M.K. – opracowanie metodyki, pozyskanie i zestawienie danych, przygotowanie maszynopisu.

Impact of selected stand characteristics on the occurrence of the bark beetle *Ips typographus* (L.) in the Beskid Żywiecki Mountains

Wojciech Grodzki¹, Jerzy R. Starzyk², Mieczysław Kosibowicz¹

¹Department of Mountain Forestry, Forest Research Institute, ul. Fredry 39, 30–605 Kraków;

²Chair of Forest Protection, Entomology and Climatology, Hugo Kołłątaj University of Agriculture,
Al. 29 Listopada 46, 31–425 Kraków, Poland.

Tel. +48 12 2528212, e-mail: w.grodzki@ibles.waw.pl

Abstract. Recently, Norway spruce stands in Beskid Żywiecki (Western Carpathians) have been plagued by bark beetle outbreak affecting an extensive area over a large range of altitudes. Georeferenced data (2356 records) from 2009–2011 of the volume of felled spruces showing insect infestation in forest sub-compartments were analysed with respect to selected site and stand characteristics. The infestation intensity varied between individual parts of the examined area. Spruce mortality, recorded evenly across all slope expositions, was higher in the zones 800 m – 1000 m and above 1000 m than in the zone below 800 m. The infestation intensity increased slightly with spruce representation in the stands and was higher in stands older than 80 years. There was no clear correlation between spruce mortality and site quality. However, in areas with more diverse and fertile sites mortality was lower. In overall, the results obtained in this study are in line with previous knowledge on the subject, but patterns describing bark beetle preferences in infested areas appear to be less pronounced than those found in earlier publications. Risk assessment and current planning of forest protection measures in stands affected by bark beetle outbreaks should be based on the here described characteristics of spruce susceptibility to insect infection.

Key words: insect outbreak, site, stand characteristics, spatial analysis, *Picea abies*

1. Introduction

Bark beetle *Ips typographus* (L.) is the most dangerous insect feeding on spruce cambium, which often tends to occur in mass outbreaks that would result in dieback of entire stands. Gradations last sometimes for many years, covering vast areas. In Poland, they were observed as early as in the eighteenth century, both in the south and the north of the country (Capecki 1986; Michalski 1998; Michalski et al. 2004; Grodzki, Michalski 2013).

In the last decade of the twentieth century, Norway spruce stands in the Beskid Żywiecki were still considered, in contrast to the forests of the Silesian Beskid, healthy, resistant and free of *Armillaria* dis-

ease (Capecki 1994). Since 2002, both in the Silesian and Żywiecki Beskids, the outbreak of bark beetles has developed dynamically, which initially affected spruce stands growing at low altitudes (Grodzki 2004). This process has gradually spread to higher positions to the top of the mountains, with a steady increase in extent and intensity. The main factor contributing to the outbreak in this area is susceptibility of spruce suffering from *Armillaria* disease (Grodzki 2007a, 2009a) whose symptoms have been observed in large areas of the Beskid Żywiecki (Lech, Żółciak 2006). During the culmination phase – in 2007–2008 (Szabla 2013) – it was observed that in case of high population and favourable weather conditions, bark beetle also attacked spruce at higher altitudes (Grodzki 2009b, 2010).

Bark beetle outbreaks always depend on two elements: the status of its population and the resistance/susceptibility of trees (Christiansen et al. 1987). The state of bark beetle population, apart from its size, results from sex structure (Lobinger 1996), reproduction rate and degree of destruction by its natural enemies, which determine the dynamics of its numbers. The susceptibility of spruce to bark beetle attack depends on, inter alia, age, share of spruce, location (altitude and exposition), habitat conditions and physiological state and health of trees, mainly related to hydrothermal conditions (Nef 1994; Jakuš 1995; Dutilleul et al. 2000; Netherer, Nopp-Mayr 2005; Grodzki 2007a, 2007b).

Netherer and Nopp-Mayr (2005), based on multifactorial analysis of selected characteristics of forest stands growing in the protected areas, proposed a relatively simple system of stand vulnerability assessment known as Predisposition Assessment System. In the Polish mountains, significance of some of these characteristics as sources of variation in relation to data on catches of bark beetles to pheromone traps (Grodzki 2007b) was confirmed, and – to some extent – through the spatial analysis of tree mortality due to infestation by cambio-phagous insects, both in protected forests (Grodzki et al. 2006) and the managed ones (Grodzki 2009b).

The aim of this study was to evaluate the effect of selected characteristics describing habitats and stands on the intensity of tree mortality in the final phase of bark beetle outbreak in the spruce forests of the Beskid Żywiecki, using analysis of spatial data. It seems that, given the availability of data from the Spatial Information System of State Forests (databases and digital maps) describing the terrain and the characteristics of forests, it would be possible to use it to predict the threat of bark beetle outbreak.

2. Study area and methods

The analyses presented in this paper were carried out using data on the mortality of spruces infested by bark beetles in the years 2009–2011 in the stands within

the area of the Beskid Żywiecki in two forest districts: Jeleśnia and Ujsoły. Located between them, the stands of Węgierska Górka Forest District were omitted because of the significant deforestation already made in previous years due to mass occurrence of bark beetle *I. typographus*. Since 2002, this area was influenced by its dynamic outbreak, with the culmination phase in 2007–2008 (Szabla 2013). The outbreak varied spatially (Grodzki 2009b); hence it was possible to select parts of the area in various phases.

Source, structure and analysis of data

For purposes of analyses performed in this work, we collected data on the size of the sanitary felling in forest sub-compartments of districts, Jeleśnia (2009–2010) and Ujsoły (2010–2011), assigned to the nine categories of damage (Table 1). All data were derived from the databases of the State Forests Information System (SILP).

Records concerning spruce were extracted from the obtained database and for further analysis only the ones relating to trees infested by cambio-phagous insects were used, described in the system by the PZ symbol (code 23).

For the analysis of selected site and stand characteristics, which may affect tree mortality, forest inventory descriptions contained in the relevant SILP database tables of the forest districts studied were used. These were the features in particular:

- area of forest sub-compartment,
- forest site type,
- share of spruce (rounding to 10%),
- age of spruce (up to 80, 81–100 and over 100 years).

For the purposes of spatial analyses, copies of selected layers of digital maps were obtained from forest districts, containing:

- administrative division (forest compartments and sub-compartments),
- elevation isolines.

Forest survey descriptions and data on the tree mortality due to cambio-phagous insects were com-

Table 1. Categories of timber processed within sanitary felling, registered in the State Forests IT System (SILP)

Category	Damage code		
	standing dead trees	broken trees	uprooted trees
Undetermined	PN (13)	ZN (11)	WN (12)
Infested by bark beetles	PZ (23)	ZZ (21)	WZ (22)
Left by bark beetles	PO (33)	ZO (31)	WO (23)

bined with a digital map layer of sub-compartments, obtaining a geometric database. It was supplemented with spatial attributes – altitude and slope exposition – derived from a digital terrain model generated from isolines. It was obtained by converting the compartment layer (polygons) into points by assigning the appropriate data to the centroids of polygons. Data on the dynamics of the mortality of trees infested by bark beetles were standardised by calculating the volume of trees per 1 ha for each polygon. In order to make the results more realistic, the area of referenced sub-compartments was reduced by multiplying it by the percentage of spruce. For the calculations, only sub-compartments where the felling of trees infested by bark beetles took place were used.

Source data collected in the form of a geometric database were visualised in order to illustrate the spatial diversity of the mortality of spruces infested by bark beetles in the area of research. For spatial data processing, ArcView 3.2 software with extensions was used.

Statistical analyses were also conducted to test the significance of the influence of selected factors (site and stand characteristics) on the dynamics of spruce mortality. Correlations, analysis of variance and post-hoc testing (Tukey HSD) were applied. Calculations were performed using MSEXcel and STATISTICA v. 5.0 (StatSoft, Inc. 1997) software.

3. Results

Characteristics of the study area

Data on the intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation in the years 2002–2011 indicate that the last outbreak, which culminated in 2007–2008, took a different course in each of the analysed forest districts (Fig. 1). However, in all of them during the study period, bark beetle populations were in retrogradation (Ujsoły and Węgierska Górk forest districts) or in a relative stabilisation (the Jeleśnia Forest District) phase.

The evidence of spatial diversity of the outbreak is seen in the results of visualisation of the spatial distribution of volume of trees infested by bark beetles in 2010–2011 (Fig. 2), especially between the southern part of the area, including Ujsoły and Węgierska Górk forest districts (retrogradation) and the eastern part of the Jeleśnia Forest District (stabilisation). For two of these units, detailed analyses were carried out, the results of which are given later in this article. In order to maintain uniform conditions within a massif, the scope

of the analysis was narrowed to the whole Ujsoły Forest District (sub-districts: Ujsoły, Rycerka) and the Jeleśnia Sub-District in the Jeleśnia Forest District, lying in the Beskid Żywiecki (Fig. 2).

Stands surveyed in the Ujsoły Forest District occupy an area of almost 13.1 thousand ha, and within the Jeleśnia Forest District about 5.8 thousand ha. They grow on rich sites: the Jeleśnia District is dominated by the site group of the richest mountain forest (L – 51%) and rich mountain mixed forest (LM – 35%), while in the Ujsoły Forest District the rich mountain mixed forest prevails (LM – 72%), with a significant (25%) share of the richest mountain forest (L) (Fig. 3a). In both units, northern slope expositions dominate (from NE to NW), which are 53% and 47%, respectively, with a smaller percentage of southern expositions (Fig. 3b).

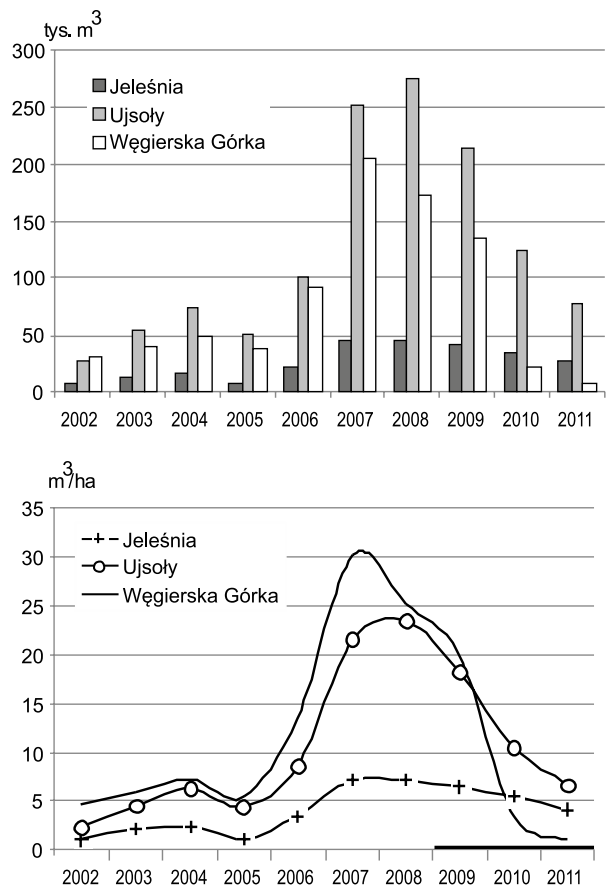
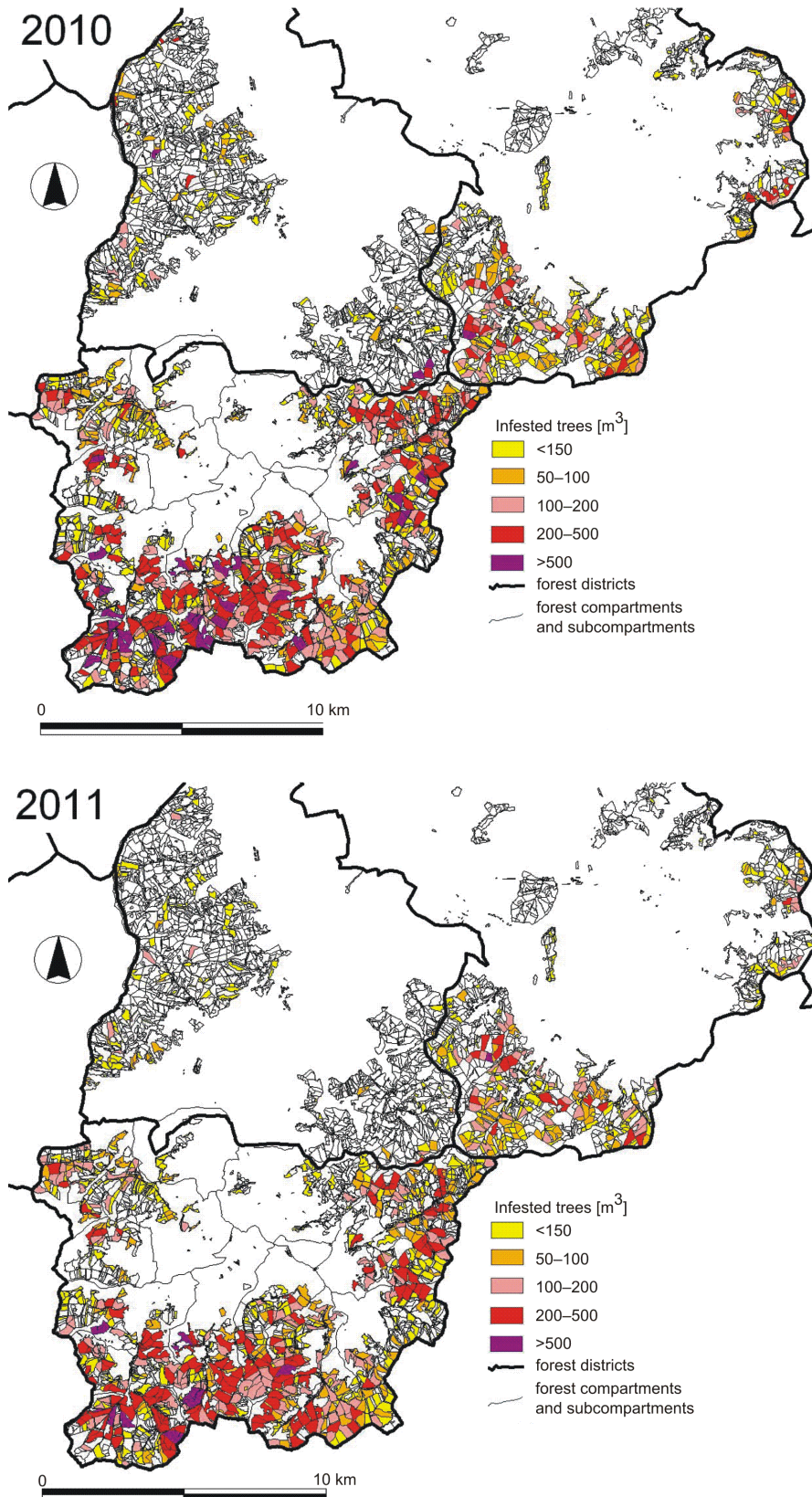


Figure 1. Volume of trees infested by bark beetles in the Forest Districts Jeleśnia, Ujsoły and Węgierska Górk in 2002–2011 – in total (above) and per 1 ha of stands (below). The period of research is marked by solid line.

Figure 2. Intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation in the study area in 2010 and 2011



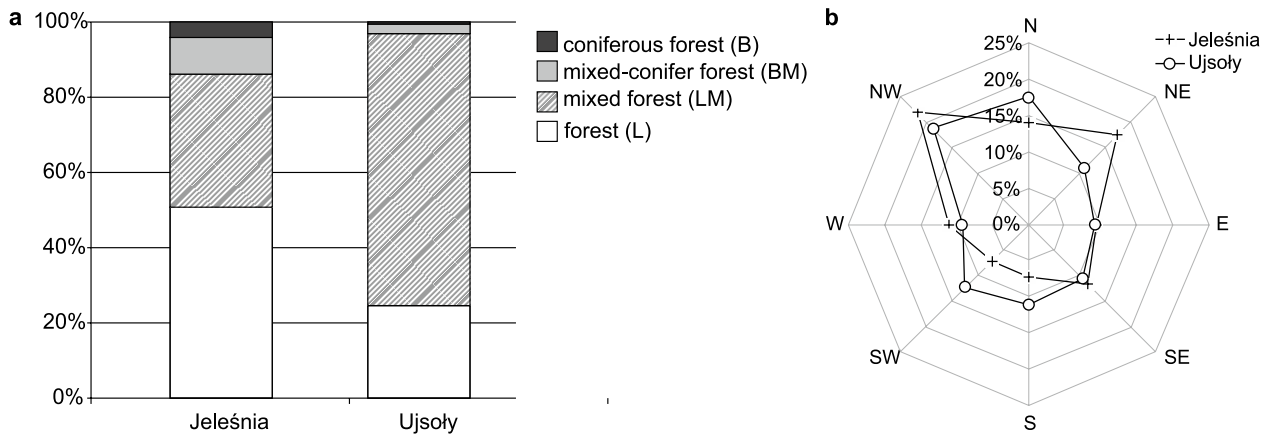


Figure 3. The percentage of poor (B) to rich (L) site types (a) and distribution of stands among slope expositions (b) in the Forest Sub-district Jeleśnia and in the Forest District Ujsoly

Factors influencing tree mortality

For the purposes of the work, databases from two analysed forest districts were compiled. The database of the Ujsoly Forest District contained 1712 records from both sub-districts, including 850 of 2009 and 862 of 2010, and the database from the Jeleśnia Forest Sub-District contained 644 records, including 334 in 2010 and 310 in 2011. The average actual intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation (per 1 ha of forest sub-compartment) in the Ujsoly Forest District in 2009–2010 amounted to 14.51 m³/ha, and in the Jeleśnia Forest District in 2010–2011 – 7.70 m³/ha, while the values related to the area reduced by share of spruce were 15.68 and 12.21 m³/ha, respectively. The actual and reduced values were strongly correlated in the Jeleśnia Forest District ($r^2=0.51$, $p<0.05$), but very poorly in the Ujsoly Forest District ($r^2=0.12$, $p<0.05$).

Altitude zone

In the Ujsoly Forest District, the volume of trees infested by bark beetles in 2009–2010 was the highest (20.41 m³/ha) in stands growing at an elevation higher than 1000 m (Fig. 4a), and the influence of altitude was statistically significant (Table 2). In the Jeleśnia Forest District in 2010–2011, this volume was the highest (13.6 m³/ha) in stands growing in the altitude zone of 800–1000 m above sea level (Fig. 4b), and these differences were also statistically significant (Table 2).

Slope exposition

In both analysed forest districts, the spruce mortality due to bark beetle infestation occurred at all expositions

(Fig. 5), and its volume converted to the reduced area of 1 ha amounted to an average of 15.63 m³ in the Ujsoly Forest District and 12.05 m³ in the Jeleśnia Forest District. In the Ujsoly Forest District, the more intense mortality of infested trees was reported at south-east exposition (17.88 m³/ha) and the western and south-western ones (17.29 and 16.08 m³/ha, respectively). In the Jeleśnia Forest District, the highest tree mortality rates were found on the eastern slopes (14.24 m³/ha) and the north-west and south-west ones (13.12 and 12.94 m³/ha, respectively). Influence of the slope exposition in any of the analysed forest districts was not statistically significant (Table 2).

Share of spruce

The intensity of tree mortality in actual values was strongly correlated with the share of spruce in the stand (the Ujsoly Forest District: $r^2=0.90$, $p<0.001$; the Jeleśnia Forest District: $r^2=0.86$, $p<0.001$). Using data converted to the reduced area, the highest rates of spruce mortality were recorded in stands representing low share of spruce, with a weak upward trend observed in both forest districts with increase in its share in species composition, visible especially in classes 4–10 (Fig. 6). The effect of spruce share was statistically significant, and more noted in the Jeleśnia Forest District (Table 2).

Age of spruce

The intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation takes the highest values in the stands aged 81–100 years, and slightly lower values (especially in the Ujsoly Forest District) in spruce forests over 100 years. In both units, the influence of age was statistically significant, the more strongly marked in the Ujsoly

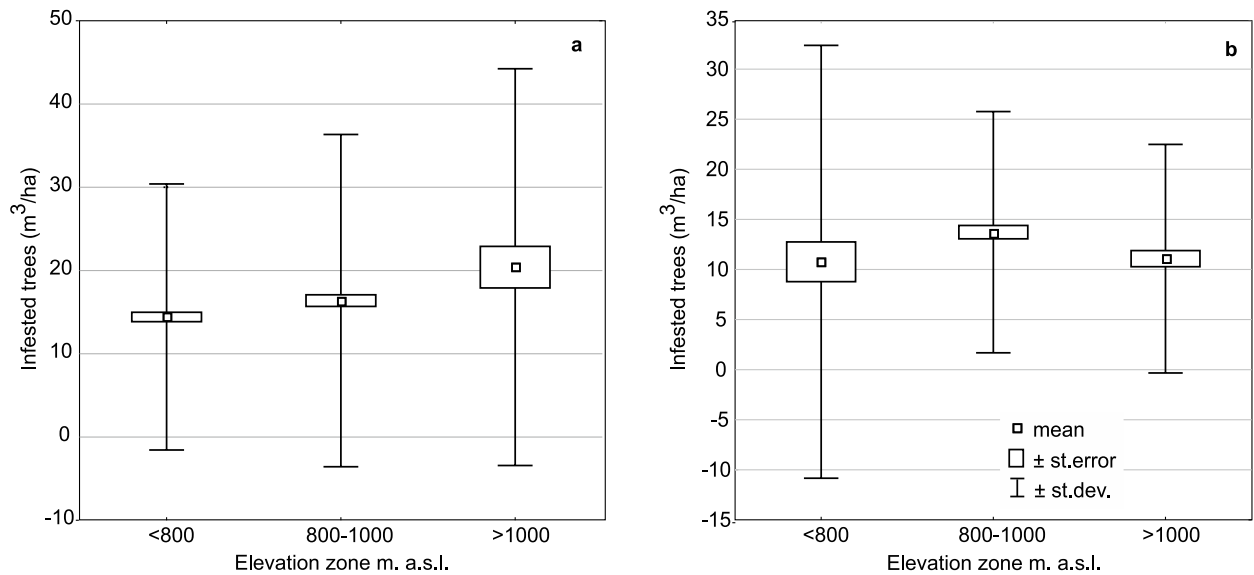


Figure 4. Volume of trees infested by bark beetles in elevation zones in Forest District Ujsoly in 2009–2010 (a) and in Forest District Jeleśnia in 2010–2011 (b)

Table 2. Effect of selected factors on the spruce mortality due to bark beetle infestation in the Forest District Ujsoly and Forest Sub-district Jeleśnia in 2009–2011 – results of one-way ANOVA

Factor	Ujsoly		Jeleśnia	
	F	p	F	p
Elevation zone (m a.s.l.)	5.456	**	3.625	*
Slope exposition	0.790	n.s.	1.311	n.s.
Percentage of spruce	2.192	*	4.062	***
Age of spruce	18.292	***	4.055	*
Forest site type	5.837	**	3.860	**

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; n.s. – no significant differences

Forest District (Table 2), and the differences between the analysed age ranges were slightly different in the two forest districts (Fig. 7).

Site

In the Ujsoly Forest District, the tree mortality in 2009 occurred in four and in 2010 three forest types. In both years, it covered the forests growing on the richest sites: mountain forest (LG), mountain riparian forest (LLG), rich mountain mixed forest (LMG) and mountain mixed-conifer forest (BMG). While in the Jeleśnia Forest District, it covered seven types of forest site: richest mountain forest (LG) in two moisture variants, mountain riparian forest (LLG), rich mountain mixed forest (LMG) in two moisture variants,

mountain mixed-conifer forest (BMG) and high-altitude coniferous forest (BWG). For the analysis, the distinguished site types were aggregated into four groups of fertility: richest forest (L), rich mixed forest (LM), mixed-conifer forest (BM) and coniferous forest (B). In the Ujsoly Forest District, the highest average rate of spruce mortality was found in the poor sites (BM), while the lowest in the most fertile (L) forest sites (Fig. 8a). In the Jeleśnia Forest District, in turn, this indicator received the highest value in the rich mixed forest, and slightly lower in mixed-conifer forest sites, while in the poorest high-altitude coniferous forest this rate was the lowest (Fig. 8b). It is worth noting that in the Ujsoly Forest District at an altitude of over 1000 m above sea level stands

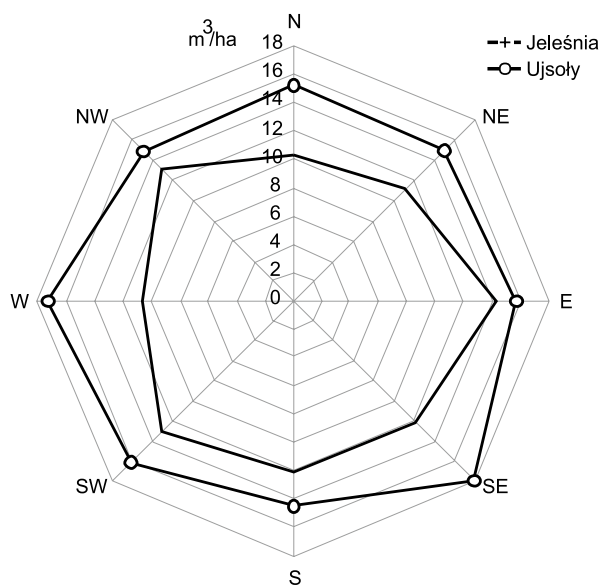


Figure 5. Volume of trees infested by bark beetles per 1 ha of stands in the Forest District Ujsoły (2009–2010) and Jeleśnia (2010–2011) by the slope exposition

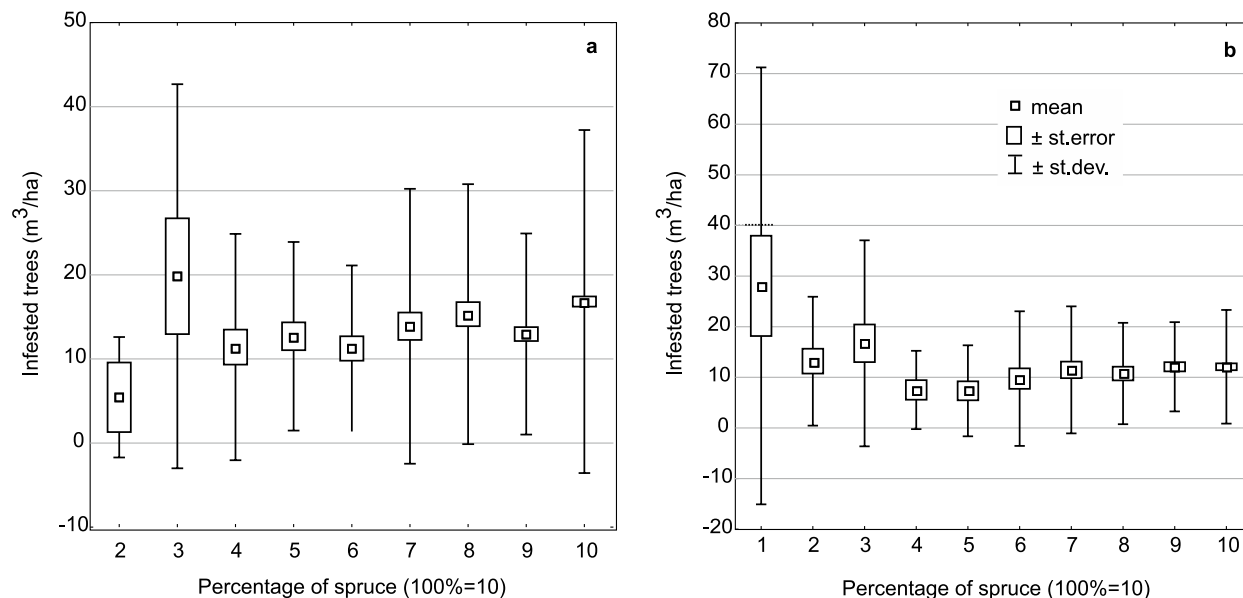


Figure 6. Volume of trees infested by bark beetles in the stands with various percentage of spruce in the Forest District Ujsoły in 2009–2010 (a) and Jeleśnia in 2010–2011 (b)

affected by spruce mortality were represented only by sites of mixed forest (LM) and mixed-conifer forest (BM), while in the Jeleśnia Forest District in the same altitude zone there were five site types – from the poorest to the richest ones. Generally, site fertility had a significant impact on the spruce mortality due to bark beetle infestation (Table 2), but the direction of this impact was not uniform in both units.

4. Summary and discussion

During the research carried out within the two forest districts and for the period of three growing seasons, data were collected and analysed describing the tree mortality due to bark beetle infestation and characteristics of forests affected by recent outbreak. From this analysis a complex set of factors emerges that shape

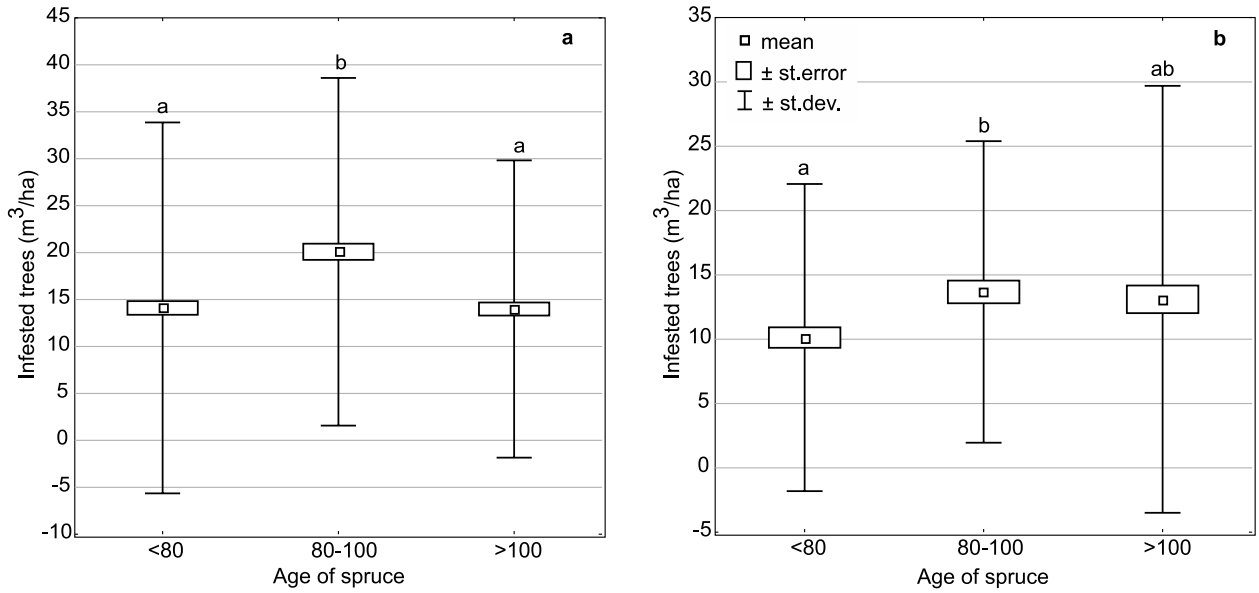


Figure 7. Volume of trees infested by bark beetles in the stands with various age of spruce in the Forest District Ujsoły in 2009–2010 (a) and Jeleśnia in 2010–2011 (b). Different letters indicate statistically significant differences.

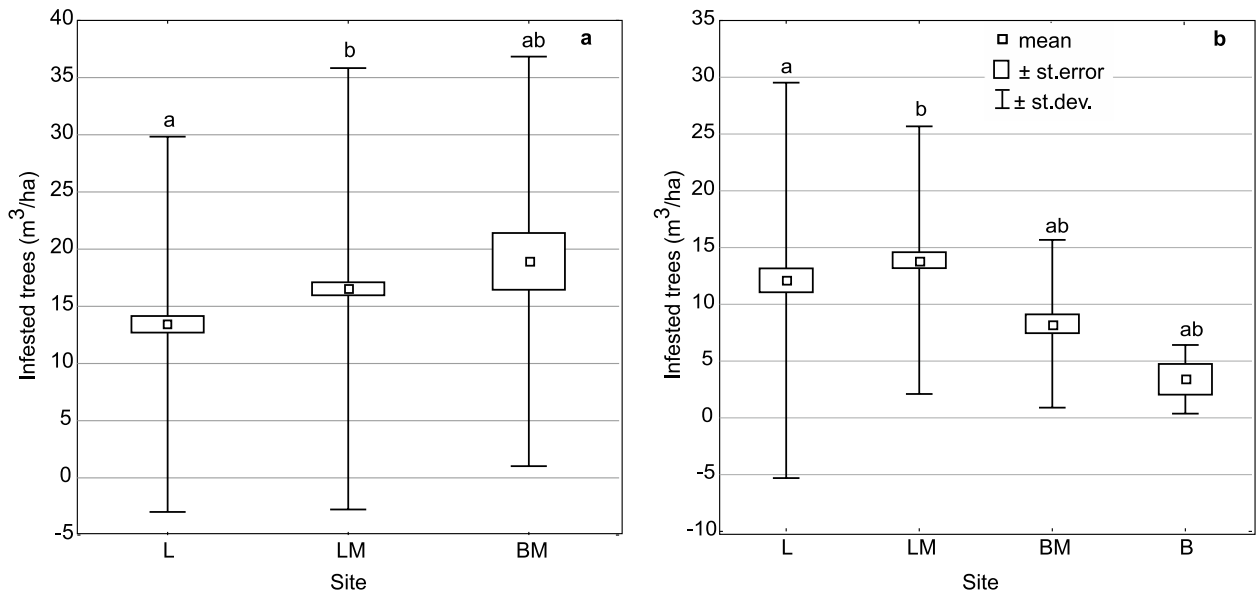


Figure 8. Volume of trees infested by bark beetles in the stands on various site types – from rich (L) to poor (B) in the Forest District Ujsoły in 2009–2010 (a) and Jeleśnia in 2010–2011 (b). Different letters indicate statistically significant differences.

the susceptibility of forest stands to *I. typographus* outbreak. It is known that the success of bark beetle attack on spruce depends on both the population of attacking beetles and susceptibility of trees and the consequent ability of the trees to defend themselves (Christiansen et al. 1987). The risk of bark beetle attack is affect-

ed by moisture conditions (availability of water in the soil), as well as slope exposition, the share of spruce and its growth trend (Lexer 1997). The observed dependencies, determined on the basis of data collected in the Beskid Żywiecki, are generally in compliance with the existing knowledge in this field, confirming

the role of these factors in shaping the susceptibility of forests to *I. typographus* attacks (Netherer, Nopp-Mayr 2005).

In mountain conditions, altitude is essential for the susceptibility of spruce to *I. typographus* attack. In the Węgierska Górka Forest District, situated in the Silesian and Żywiecki Beskids, where bark beetle outbreak has taken place a little earlier, the intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation in its culmination phase (in 2008) took the highest values in altitude zones of 800–1000 m and more than 1000 m above sea level (Grodzki 2010). A similar pattern appeared a few years later in the neighbouring forest districts of the Beskid Żywiecki, where the intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation was the highest in areas at more than 800 m above sea level. This was the result of vertical expansion of *Armillaria* disease in recent decades, affecting spruce susceptibility to bark beetle attack (Grodzki 2009b), as the area of the Beskid Żywiecki is now one of the most infested by this disease in Polish regions (Lech, Żółciak 2006). Despite the different causes and course of the last outbreak in the Beskidy Mountains and the one that happened in 1980s in the Western Sudetes, in both cases stands growing at higher altitudes have proven to be the most vulnerable to bark beetle attack (Grodzki 2009a).

In both analysed areas, spruce mortality occurred at all slope expositions, and the differences between them were small. The highest mortality rates were found at expositions from east through south to west, though the study area is clearly dominated by expositions close to north. It is generally consistent with current knowledge about the preferences of bark beetle (Grodzki et al. 2006), particularly with respect to insolation (Lobinger, Skatulla 1996; Turčani et al. 2000; Netherer, Nopp-Mayr 2005). Heavy mortality rates at all expositions, however, show that in terms of an outbreak the preference mechanisms in bark beetle are significantly weakened (Grodzki 2013).

An important feature determining the risk of bark beetle breeding is a high proportion of spruce, especially in the form of monoculture, as well as its high age (Lexer 1997; Netherer, Nopp Mayr 2005; Grodzki 2007b). In both forest districts, the spruce mortality expressed in actual values increased with share of spruce, which is a direct result of the amount of available breeding material. High reduced values of the volume of infested trees in stands with low (10%–30%) share of spruce, including the stands surrounded by pure or nearly pure spruce forest, may

indicate the previously mentioned weakening of bark beetle preferences mechanisms during outbreak. Given the high proportion of spruce in stands of both units, amounting to 75% of the area in the Jeleśnia Forest Sub-District and 93% in the Ujsoły Forest District (Wyniki aktualizacji... 2010), it can be assumed that such situations occur commonly. Comparable (with a weak uptrend) amounts of infested trees in stands characterised by different share of spruce demonstrate a high level of bark beetle pressure on the stands where this tree species grows.

The risk of bark beetle outbreaks increases with the age of spruce. The resistance of trees in the first half of their life is determined by the considerable vitality, reflected in the increasing – to about 50–65 years old – growth (Capecki 1981). Most vulnerable to this attack are stands over the age of 100 years (Becker, Schröter 2000; Netherer, Nopp-Mayr 2005). In natural stands of the Tatra National Park, the intensity of spruce mortality due to bark beetle infestation increased linearly with spruce age, and the highest was in the spruce forests older than 180 years (Grodzki et al. 2006). In the Ujsoły Forest District, the highest rate of tree mortality is reported in stands aged 81–100 years and in case of the Jeleśnia Forest District in stands aged more than 100 years, in accordance with the rules known from the literature. It is also obvious that the older and the oldest stands provide larger volume, which also influenced the values of volume indices obtained.

Site conditions, especially nutrient content in the soil, are important for the susceptibility of spruce to bark beetle attack (Nef 1994; Dutilleul et al. 2000). Kula (1992) observed the increased spruce mortality on site types similar to the mixed forest. However, the results of the Beskidy Mountains are ambiguous. In the Ujsoły Forest District, with less diverse habitats, the spruce mortality was greater on the poorer sites (mixed-conifer forest – BM) that covered most of the area (72%), and the lowest on the richest sites (forest – L). However, in the Jeleśnia Forest District, more varied in terms of habitat, the tree mortality rates were the highest on mixed forest (LM) and mixed-conifer forest (BM) sites, representing a total of 45% of the sub-district, and the lowest on the least fertile – high-altitude coniferous forest (BWG) – whose share was 4%. It is possible that such a pattern resulted from distribution of forest site types. A noteworthy fact is that within the area of the Jeleśnia Forest Sub-District, with generally more fertile sites, the overall mortality of infested trees was lower than in the Ujsoły Forest District.

5. Conclusions

1. The greatest influence on the intensity of spruce mortality in analysed forest districts of the Beskid Żywiecki was share and age of spruce within stands, and smaller influence was altitude zone and site conditions. Slope exposition had no significant impact on the susceptibility of forest stands on the occurrence of bark beetles.

2. Ambiguous results of analyses of the bark beetle preferences in terms of the characteristics of stands studied indicate a weakening of its mechanisms for selecting trees for infestation during an outbreak and strong pressure on the stands.

3. Analysis of selected characteristics of trees and spruce stands in mountain conditions can be used to predict their susceptibility to bark beetle outbreak.

4. This method should be applied in the planning and implementation of active protection measures against bark beetle, both in managed forests and forests under active protection.

Acknowledgements

This study was financed from funds for science in 2010–2013 as a research project, based on decision No 4278/B/P01/2010/38.

The authors would like to thank the Ujsoły and Jeleśnia Forest Districts for providing data from databases and digital map used in this work.

References

- Becker T., Schröter H. 2000. Ausbreitung von rindenbrütenden Borkenkäfern nach Sturmschäden. *Allgemeine Forstzeitung*, 55: 280–282.
- Capecki Z. 1981. Zasady prognozowania zagrożenia oraz ochrona górskich lasów świerkowych przed owadami na tle szkód wyrządzanych przez wiatr i okiść. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 584: 3–44.
- Capecki Z. 1986. Gradacja zagrożenia lasów górskich i możliwości ich ochrony [Gradation of the threat of mountain forests and possibilities of their protection]. *Sylwan*, 2/3: 13–23.
- Capecki Z. 1994. Rejony zdrowotności lasów zachodniej części Karpat [Forest health condition regions in western Carpathians]. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 778/782: 61–125.
- Christiansen E., Waring R.H., Berryman A.A. 1987. Resistance of Conifers to Bark Beetle Attack: Searching for General Relationships. *Forest Ecology and Management*, 22: 89–106.
- Dutilleul P., Nef L., Frigon D. 2000. Assessment of site characteristics as predictors of the vulnerability of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) stands to attack by *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 124: 1–5.
- Grodzki W. 2004. Zagrożenie górskich drzewostanów świerkowych w zachodniej części Beskidów ze strony szkodników owadzych [Threat to Norway spruce stands of insect pests in the western part of Beskidy Mountains]. *Leśne Prace Badawcze*, 2: 35–47.
- Grodzki W. 2007a. Spatio-temporal patterns of the Norway spruce decline in the Beskid Śląski and Żywiecki (Western Carpathians) in southern Poland. *Journal of Forest Science*, 53 (Special Issue): 38–44.
- Grodzki W. 2007b. Wykorzystanie pułapek feromonowych w monitoringu kornika drukarza w wybranych parkach narodowych w Karpatach [Use of pheromone traps for the monitoring of *Ips typographus* (L.) populations in selected national parks in the Carpathians]. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Rozprawy i monografie*, 8, Sękocin Stary Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 1–127. ISBN 978-83-87647-69-8.
- Grodzki W. 2009a. Forest decline in mountain spruce stands affected by bark beetle outbreaks In Poland. Attempt to spatial characteristics. Forest, Wildlife and Wood Sciences for Society Development. Prague, 16-18. April 2009: 259–266.
- Grodzki W. 2009b. Przestrzenne uwarunkowania rozwoju obecnej gradacji kornika drukarza *Ips typographus* (L.) w Beskidzie Śląskim i Żywieckim [Spatial characteristics of the current *Ips typographus* (L.) outbreak development in the Beskid Śląski and Żywiecki]. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAU*, 11:73–82.
- Grodzki W. 2010. The decline of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. stands in Beskid Śląski and Żywiecki: theoretical concept and reality. *Beskydy*, 3 (1): 19–26.
- Grodzki W. 2013. Cechy siedliska i drzewostanu. In: W. Grodzki (red.) Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) i jego rola w ekosystemach leśnych. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 95–99.
- Grodzki W., Jakuš R., Lajzová E., Sitková Z., Mączka T., Škvarenina J. 2006. Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Annals of Forest Science*, 63: 55–61.
- Grodzki W., Michalski J. 2013. Historia gradacji kornika drukarza. In: W. Grodzki (ed.) Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) i jego rola w ekosystemach leśnych. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 109–125.
- Jakuš R. 1995. Bark beetle (Col. Scolytidae) communities and host and site factors on tree level in Norway spruce primeval natural forest. *Journal of Applied Entomology*, 119: 643–651.

- Kula E. 1992. Poznámky k disperzi kůrovcové hmoty v porostech Lesního závodu Horní Blatná. *Lesnictví – Forestry*, 38(3-4): 221–238.
- Lech P., Żółciak A. 2006. Uwarunkowania występowania opieńkowej zgnilizny korzeni w lasach Beskidu Żywieckiego [Conditions of *Armillaria* root rot occurrence in the forests of the Beskid Żywiecki Mountains]. *Leśne Prace Badawcze*, 2: 33–49.
- Lexer M.J. 1997. Risikoanalyse und Ableitung waldbaulicher Massnahmen zur Beeinflussung des Borkenkäferisikos in Fichtenbeständen. In: Müller F. (Hrsg.). *Waldbau an der unteren Waldgrenze. FBVA-Berichte*, 95: 79–89.
- Lobinger G. 1996. Variations in sex ratio during an outbreak of *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) in Southern Bavaria. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 69: 51–53.
- Lobinger G., Skatulla U. 1996. Untersuchungen zum Einfluss von Sonnenlicht auf das Schwärmverhalten von Borkenkäfern. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 69, 183–185.
- Michalski J. 1998. Gradacje kornikowe w ostatnim 50-leciu w drzewostanach świerkowych Polski. In: A. Boratyński, W. Bugała (eds.) *Biologia świerka pospolitego*. Poznań, Bogucki Wydawnictwo Naukowe: 468–508.
- Michalski J., Starzyk J.R., Kolk A., Grodzki W. 2004. Zagrożenie świerka przez kornika drukarza – *Ips typographus* (L.) w drzewostanach Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Puszcza Białowieska” w latach 2000–2002 [Threat of Norway spruce caused by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in the stands of the Forest Promotion Complex “Puszcza Białowieska” in 2000–2002]. *Leśne Prace Badawcze*, 3: 5–30.
- Nef L. 1994. Estimation de la vulnérabilité de pessières aux attaques d'*Ips typographus* L. à partir de caractéristiques stationnelles. *Silva Belgica*, 101, 4: 7–14.
- Netherer S., Nopp-Mayr U. 2005. Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management – rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management*, 207: 99–107.
- StatSoft, Inc. 1997. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK. StatSoft, Inc., <http://www.statsoft.com>
- Szabla K. 2013. Praktyczna realizacja strategii ograniczania liczebności kornika drukarza na przykładzie świerczyn Beskidu Śląskiego i Żywieckiego w latach 2007–2010. In: W. Grodzki (ed.). *Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) i jego rola w ekosystemach leśnych*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 161–178.
- Turčani M., Pajtik J., Pöbis I., Zúbrik M. 2000. Relationship between amounts of trees killed by *Ips typographus* and orientation of slopes in model area Vajskovska – Lomnista valley in Slovakia. In: Knížek M., Forster B., Grodzki W. (eds.) *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe, Proceedings of the IUFRO WP 7.03.10 Workshop, September 24–28, 2000, Buşteni, Romania: 178–180.*
- Wyniki aktualizacji stanu powierzchni leśnej i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych na dzień 1 stycznia 2009 r. Praca wykonana przez Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej na zamówienie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych. DGLP Warszawa, 2010.