

Monitoring posuszu świerka w drzewostanach Gorczańskiego Parku Narodowego w latach 2000–2013

Monitoring of the Norway spruce mortality rates in stands of the Gorce National Park in the period 2000–2013

Jan Loch, Paweł Armatys

Abstract: The paper presents results of Norway spruce *Picea abies* Karst. mortality monitoring in stands of the Gorce National Park (Western Carpathians, Poland). Since 2000, 176 permanent sample plots of surface area 0.05 ha each, located in spruce stands and in stands with a considerable proportion of spruce, have been yearly controlled. During thirteen years of the monitoring for the first time to such an extent it was recorded spruce mortality. This tendency might be explained by the activity of insects in particular bark beetles *Ips typographus* and hurricane winds.

Keywords: Norway spruce, bark beetles, wind damage, forest decay, forest ecology, Gorce National Park

Pracownia Naukowo-Edukacyjna Gorczańskiego Parku Narodowego, Poręba Wielka 590, 34–735 Niedźwiedź, e-mails: jan.loch@gorcepn.pl; paw_armatys@poczta.onet.pl

WSTĘP

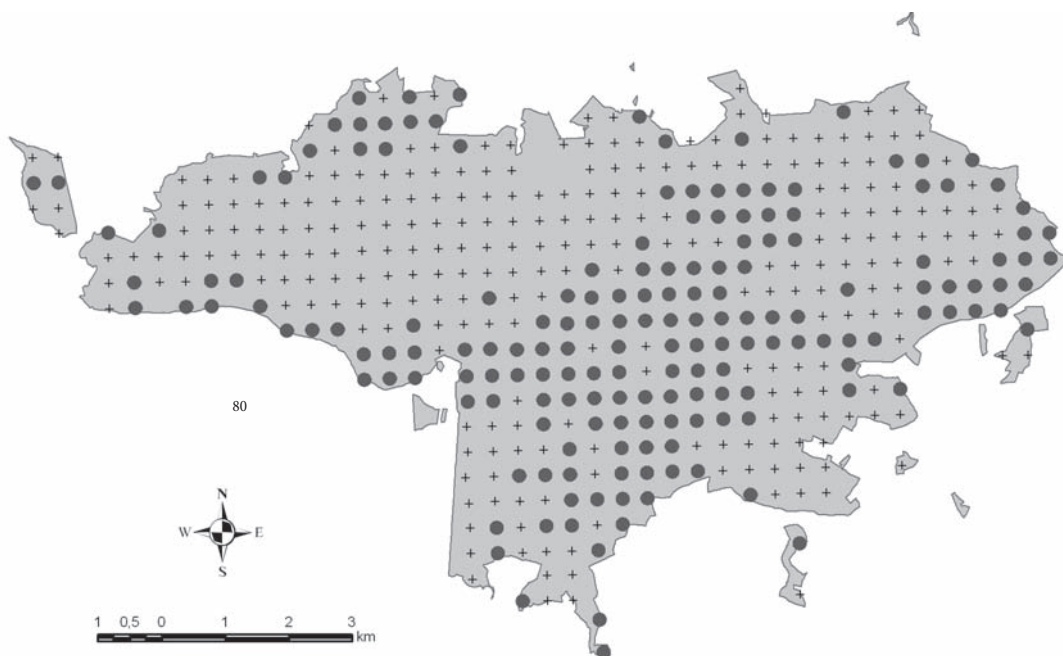
Świerk pospolity *Picea abies* Karst. należy do najważniejszych gatunków lasotwórczych w wielu obszarach Europy. Występuje na niżu, wyżynach oraz w najwyższych partiach gór tworząc i współtworząc fitocenozy leśne lub stanowiąc jedynie gatunek domieszkowy. W Polsce głównie klimatyczne uwarunkowania determinują dwa podstawowe zasięgi tego gatunku: południowy, związany przede wszystkim z wyżynami i górami i północno-wschodni nawiązujący do strefy borealnej (Danielewicz, Pawlaczyk 1998).

W ostatnich dekadach z drzewostanami świerkowymi wiązane jest zjawisko zamierania lasu (*forest decay*). Chociaż jego przyczyn jest wiele, to jednak za główne uważa się: zanieczyszczenie środowiska, zmiany klimatu, działanie patogenów grzybowych (szczególnie opieńki *Armillaria sp.* i korzeniowca *Heterobasidion annosum*) oraz szkodliwych owadów (Jewuła 1974, 1978; Boratyński i in. 1988, 1998; Capecki 1978, 1981, 1997, 2002; Gutowski, Kubisz

1995; Grodzki 2005; Krehan 2005). Gradacja kornika drukarza, która wystąpiła na terenie Gorczańskiego Parku Narodowego w pierwszej dekadzie XXI wieku miała silny związek z działalnością huraganowego wiatru (Grodzki 2004; Grodzki, Starzyk 2004; Grodzki i in. 2006). Przebieg tego zjawiska został udokumentowany w GPN dzięki założonym w 1992 roku stałym powierzchniom monitoringowym (Chwistek in. 1994; Chwistek 2010; Loch i in. 1994) i prowadzonej od 2000 roku corocznej kontroli wydzielenia się posuszu świerka.

MATERIAŁ I METODY

W monitorowaniu procesu zamierania świerka w Gorczańskim Parku Narodowym wykorzystano 176 z 433 stałych, 5-arowych powierzchni kołowych założonych w siatce kwadratów 400 × 400 m na całym obszarze Parku (Chwistek i in. 1994; Ryc. 1). Wybrane powierzchnie zlokalizowane są w drzewostanach z dominującym lub znaczącym udziałem



Ryc. 1. Rozmieszczenie stałych powierzchni monitoringowych na terenie Gorczańskiego Parku Narodowego. ● – powierzchnie wykorzystane do monitoringu posuszu świerka; + – powierzchnie niekontrolowane.

Fig. 1. The distribution of permanent monitoring plots in the Gorce National Park. ● – plots used for the spruce mortality monitoring, + – plots without control.

świerka, zakwalifikowanych do następujących kategorii składu gatunkowego: świerczyny górnoreglowe i dolnoreglowe, wielogatunkowe świerczyny, buczyno-świerczyny i wielogatunkowe jarzębiny (Chwistek 2001). Dzięki inwentaryzacji drzewostanów prowadzonej od 1992 roku, Park posiadał odpowiednią bazę do prowadzenia takiego monitoringu. Na stałych powierzchniach badawczych były zaewidencjonowane wszystkie drzewa (pomiar pierśnicy, współrzędnych biegunowych, tj. azymut i odległość drzewa od środka pow. próbnej oraz dla wybranych drzew pomiar wysokości). Dane te pozwoliły na wykreślenie planów rozmieszczenia drzew na powierzchniach, co znacznie ułatwiało inwentaryzację. Na nich corocznie dokonywano kontroli, kwalifikując zamierające świerki do 4 kategorii:

- PK – posusz kornikowy, główną widoczną przyczyną obumarcia drzewa były owady kambio-ksylofagiczne;
- ZW – złomy i wywały; drzewo obumarło (zostało wyrwone z korzeniami lub złamane) wskutek działalności czynników abiotycznych; takich jak wiatr, okiść, itp.;

- PN – posusz niezasiedlony; drzewo obumarło na skutek innych przyczyn;
- U – ubytek; drzewo zostało wycięte.

Kontrole terenowe prowadzono corocznie w okresie od stycznia do maja po roku, w którym nastąpiło obumieranie drzew. Polegały one na odnalezieniu powierzchni w terenie, identyfikacji drzew figurujących w rejestrze, zakwalifikowaniu posuszu (obumarłego drzewa) do odpowiedniej kategorii oraz zaznaczeniu drzewa na szkicu i w tabeli. Prace kameralne obejmowały:

- przygotowanie numerycznej bazy danych;
- wykonanie obliczeń na przygotowanych macierzach;
- wykonanie mapy rozmieszczenia poszczególnych kategorii posuszu na tle rozmieszczenia sieci stałych powierzchni badawczych GPN;
- weryfikację statystyczną hipotez zerowych o niezależnym występowaniu posuszu od analizowanych czynników zewnętrznych, których podział na klasy przedstawiono poniżej (w nawiasie podano liczbę monitorowanych powierzchni w klasie):

1. nachylenie terenu – 4 klasy: < 10° (30), 11–20° (90), 21–30° (44), > 30° (12);

2. ekspozycja terenu – 4 klasy: N i NE (65), E i SE (28), S i SW (38), W i NW (45);
3. wysokość n.p.m. – 5 klas: < 900 m (28), 901–1000 m (32), 1001–1100 m (55), 1101–1200 m (46), > 1200 m (15);
4. piętro klimatyczno-roślinne – 2 klasy: regiel dolny [D] (111), regiel górny [G] (65);
5. zwarcie drzewostanu – 4 klasy: luźne (22), przerywane (50), umiarkowane (83), pełne (21);
6. zbiorowisko leśne – 4 klasy: świerczyna górnoregłowa *Plagiothecio-Piceetum* [P] (68), zbiorowisko strefy przejściowej między reglami [P/F] (20), buczyna karpacka *Dentario glandulosae-Fagetum* [F] (56), dolnoregłowy bór jodłowo-świerkowy *Abieti-Piceetum montanum* [AP] (32);
7. podtyp gleby – 5 klas: biellicowa właściwa (39), skrytobiellicowa (12), brunatna biellicowana (50), brunatna silnie kwaśna i kwaśna (60), brunatna wylugowana i właściwa (15).

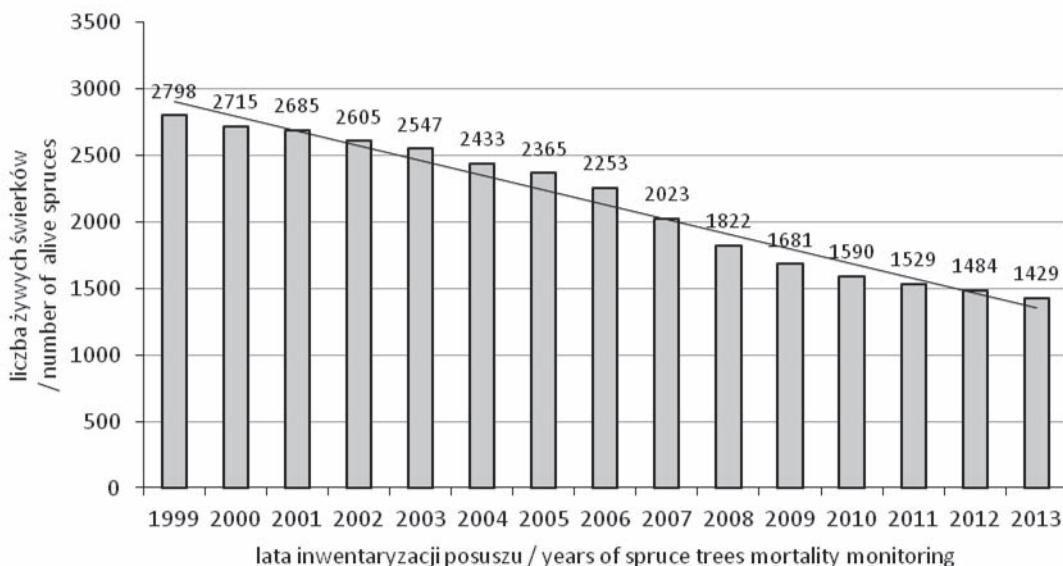
Wyliczono częstości względne oraz liczbę posuszu w klasach przedstawionych powyżej 7 czynników. Przy obliczaniu częstości względnych brano pod uwagę kumulację obumarłych świerków w okresach (2000–2001, 2000–2002, ... do 2000–2013) w celu stwierdzenia, w jakim kierunku

zmierza rozkład częstości w klasach w monitorowanym okresie 2000–2013. Ze względu na nierówną liczbę powierzchni w klasach, standaryzowano rzeczywistą liczbę wystąpień w każdej klasie, zakładając, że liczba powierzchni wynosi 100. Hipoteza zerowa zakładała, że przy równej liczbie powierzchni w klasach, częstości wystąpienia danej kategorii posuszu w klasach badanego czynnika są takie same (wartość oczekiwana). Otrzymany rozkład częstości względnych w klasach porównano z hipotetycznym rozkładem równomiernym za pomocą programu STATISTICA 6 (opcja dopasowanie rozkładu). Istotność odchyleń w klasach, świadcząca o wpływie czynnika na obumieranie drzew świerka, badano za pomocą testów Kołmogorowa-Smirnowa i chi-kwadrat w programie STATISTICA 6.

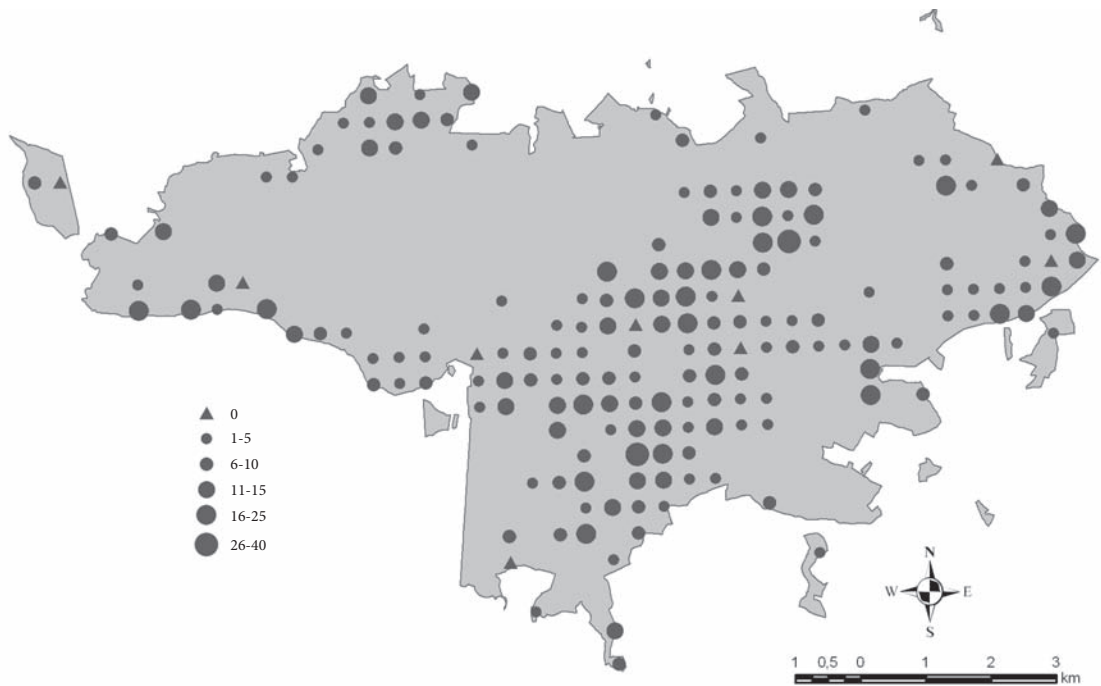
WYNIKI

SUMARYCZNY OBRAZ WYDZIELANIA POSUSZU W LATACH 2000–2013

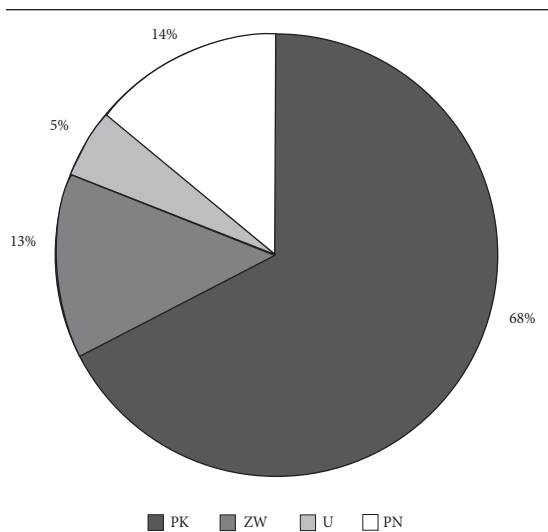
W okresie 14 lat (2000–2013) liczba żywych świerków na 176 stałych, 5-arowych powierzchniach kołowych zmniejszyła się o 51,1% (z 2798



Ryc. 2. Zmiana liczby żywych świerków na 176 powierzchniach kontrolnych w latach 1999–2013.
Fig 2. Changes in number of still alive spruce trees on 176 monitoring plots in the period 1999–2013.



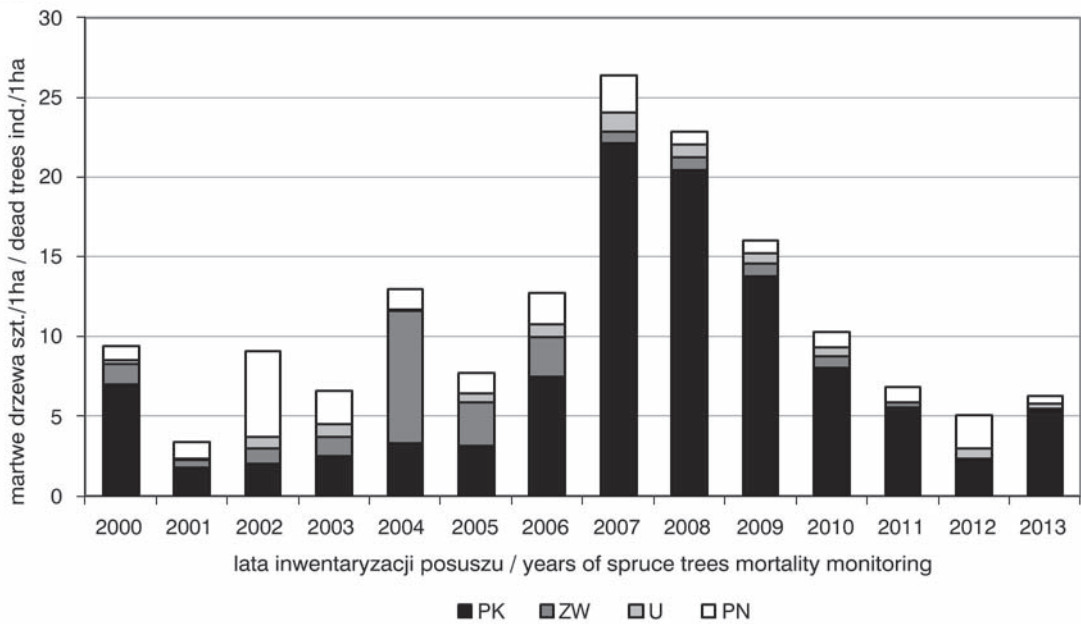
Ryc. 3. Rozkład przestrzenny liczby obumarłych świerków na kontrolowanych powierzchniach monitoringowych w GPN w latach 2000–2013.
 Fig. 3. The spatial distribution of number of dead spruce trees on monitoring plots in the Gorce National Park in the period 1999–2013.



Ryc. 4. Udział wyróżnionych kategorii poszusu świerkowego wydzielonego w okresie 2000–2013. Objaśnienia: PK – poszus kornikowy, ZW – złomy i wywały, U – drzewa wycięte, PN – poszus niezasiedlony.

Fig. 4. Percentage of spruce daedwood category found in the monitoring plots in the period 2000–2013. PK – spruces killed by bark beetle, ZW – spruces killed by wind, U – cut down trees, PN – dead spruces because of another reasons.

na 1429 sztuk) (Ryc. 2). Rozkład przestrzenny kontrolowanych powierzchni z liczbą obumarłych świerków przedstawia Ryc. 3. Udział wyróżnionych kategorii obumarłych drzew przedstawia Ryc. 4. Przeważającą liczbę obumarłych drzew (68%) stanowił poszus kornikowy (PK), dla których główną przyczyną zamierania była działalność owadów kambiofagicznych (głównie kornika drukarza *Ips typographus*). Kulminacja liczby wydzielanego poszusu kornikowego miała miejsce w 2007 roku, kiedy to jego średnie zagęszczenie wynosiło 22 szt./1ha. Drugą znaczącą kategorią były złomy i wywały (ZW), stanowiące 13% obumarłych drzew. Szczególnie duże ich zagęszczenie miało miejsce po huraganowych wiatrach w 2004 roku (średnio 8,3 szt./1ha). Drzewa bez wyraźnych oznak zasiedlenia przez owady (kategoria PN – poszus niezasiedlony) stanowiły 14%, a ubytki (U), czyli drzewa usunięte w ramach cięć sanitarnych, stanowiły 5% ogółu drzew „wypadłych” z drzewostanów GPN. Udział i zagęszczenie wyróżnionych kategorii poszusu świerka w latach 2000–2013 przedstawiono na Ryc. 5.

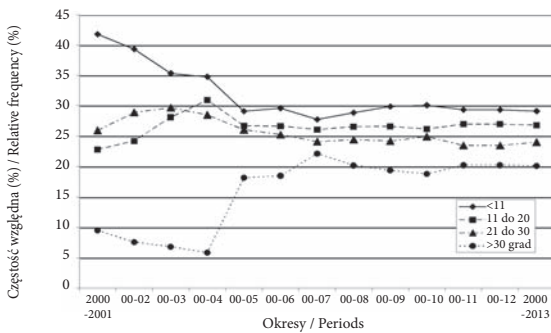


Ryc. 5. Zagęszczenie i udział kategorii posuszu świerka w latach 2000–2013. Kategorie posuszu świerka jak na Ryc. 4.
 Fig. 5. Density and percentage of spruce deadwood found in the monitoring plots in the period 2000–2013. Category of spruce deadwood as for Fig. 4.

Tabela. 1. Wyniki testu istotności różnic rozkładów częstości względnej wobec rozkładu równomiernego w klasach 7 czynników środowiskowych. Objasnienia: d K-S – test Kolmogorowa-Smirnowa; CH p – test chi-kwadrat; n.s. – rozkład nie różni się istotnie statystycznie od rozkładu równomiernego; poziomy istotności różnic: * < 0,05, ** < 0,01, *** < 0,001.

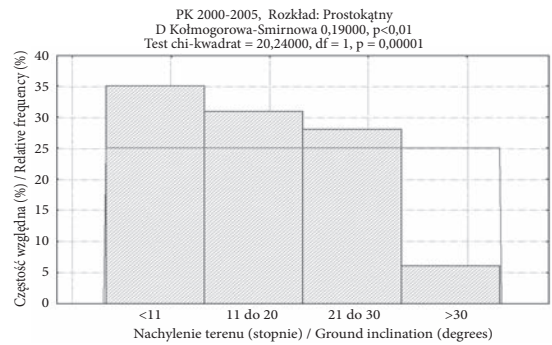
Table 1. Estimation of significant differences for relative frequency distributions versus regular distribution for 7 environmental factor classes. Abbreviations: d K-S – Kolmogorov-Smirnov test; CH p – chi-square test; n.s. – not statistically significant differences; significance level: * < 0,05, ** < 0,01, *** < 0,001.

Czynnik środowiskowy / Environmental factor	Nachylenie terenu / Ground inclination		Ekspozycja terenu / Exposure		Wysokość n.p.m. / Altitude		Regiel / Climatic zone		Zwarcie drzewostanu / Stand density		Zbiorowisko leśne / Forest community		Podtyp gleby / Soil subtype	
	d K-S	CH p	d K-S	CH p	d K-S	CH p	d K-S	CH p	d K-S	CH p	d K-S	CH p	d K-S	CH p
Posusz kornikowy (PK) / Spruces killed by bark beetle	0,060 n.s.	0,174 n.s.	0,020 n.s.	0,527 n.s.	0,070 n.s.	0,316 n.s.	0,030 n.s.	0,040 n.s.	0,040 n.s.	0,273 n.s.	0,030 n.s.	0,527 n.s.	0,030 n.s.	0,637 n.s.
Złomy i wywały (ZW) / Spruces killed by wind	0,250 **	0,000 ***	0,020 n.s.	0,454 n.s.	0,020 n.s.	0,818 n.s.	0,040 n.s.	0,090 n.s.	0,021 *	0,030 n.s.	0,396 n.s.	0,040 n.s.	0,522 n.s.	
Inny posusz (PN) / Spruces killed by another reason	0,040 n.s.	0,205 n.s.	0,090	0,017 **	0,060 n.s.	0,035 n.s.	0,000 n.s.	0,120 n.s.	0,010 *	0,030 n.s.	0,307 n.s.	0,060 n.s.	0,047 *	
Posusz RAZEM / Dead spruces TOGETHER	0,020 n.s.	0,689 n.s.	0,010 n.s.	0,777 n.s.	0,020 n.s.	0,904 n.s.	0,010 n.s.	0,020 n.s.	0,572 n.s.	0,010 n.s.	0,777 n.s.	0,010 n.s.	0,951 n.s.	



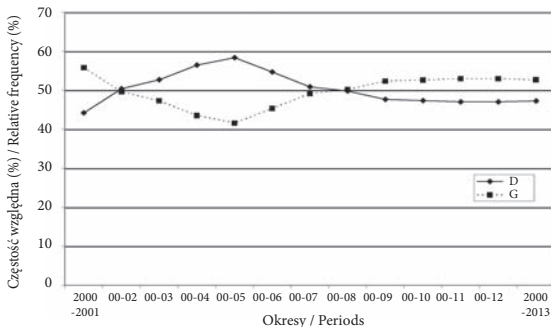
Ryc. 6. Zmiany skumulowanych rozkładów częstości względnej występowania posuszu kornikowego (PK) w klasach nachylenia terenu w latach 2000–2013.

Fig. 6. Relative frequency of trees killed by the bark beetle (PK) in relation to steep slope classes in the period 2000–2013.



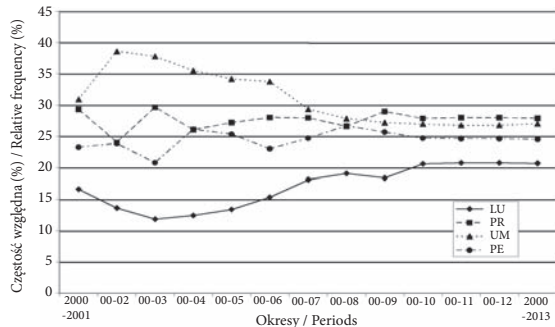
Ryc. 7. Skumulowany rozkład częstości względnej występowania posuszu kornikowego (PK) w klasach nachylenia terenu dla okresu 2000–2004.

Fig. 7. Cumulative distribution of relative frequency for trees killed by the bark beetle (PK) in relation to steep slope classes in the period 2000–2004.



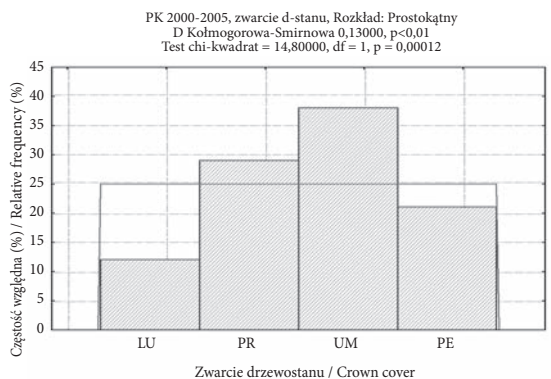
Ryc. 8. Zmiany skumulowanych rozkładów częstości względnej występowania posuszu kornikowego (PK) w piętrach klimatyczno-roślinnych w latach 2000–2013. Objasnienia: D – regiel dolny, G – regiel górny.

Fig. 8. Relative frequency of trees killed by the bark beetle (PK) in relation to climatic zone classes in the period 2000–2013. Abbreviations: D – lower mountain forest zone, G – upper mountain forest zone.



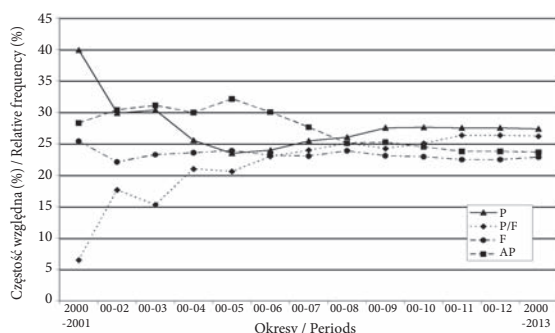
Ryc. 9. Zmiany skumulowanych rozkładów częstości względnej występowania posuszu kornikowego (PK) w klasach zwarcia drzewostanu w latach 2000–2013. Objasnienia: LU – luźne, PR – przerywane, UM – umiarkowane, PE – pełne.

Fig. 9. Relative frequency of trees killed by the bark beetle (PK) in relation to stand density classes in the period 2000–2013. Abbreviations: LU – loose, PR – intermittent, UM – measured, PE – full.



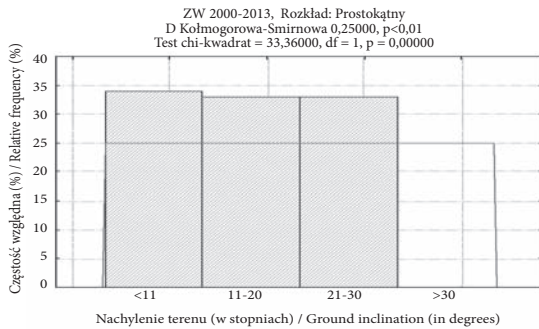
Ryc. 10. Skumulowany rozkład częstości względnej występowania posuszu kornikowego (PK) w klasach zwarcia drzewostanu w okresie 2000–2005. Objasnienia jak dla Ryc. 9.

Fig. 10. Cumulative distribution of relative frequency for trees killed by the bark beetle (PK) in relation to stand density classes in the period 2000–2005. Abbreviations as for Fig. 9.



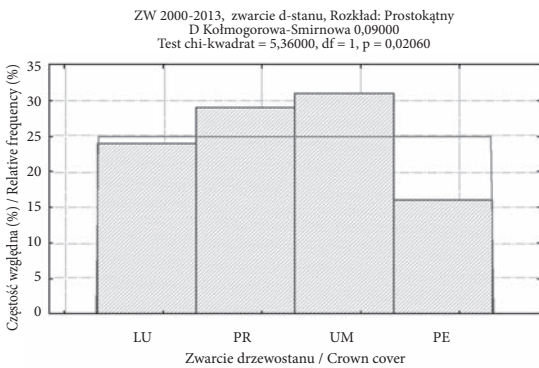
Ryc. 11. Zmiany skumulowanych rozkładów częstości względnej występowania posuszu kornikowego (PK) w zbiorowiskach leśnych w latach 2000–2013. Objasnienia: P – *Plagiothecio-Piceetum*, P/F – zbiorowisko strefy przejściowej między regłami, F – *Dentario glandulosae-Fagetum*, AP – *Abieti-Piceetum montanum*.

Fig. 11. Relative frequency of trees killed by the bark beetle (PK) in relation to forest community classes in the period 2000–2013. Abbreviations: P – *Plagiothecio-Piceetum*, P/F – transition zone between upper and lower mountain belts, F – *Dentario glandulosae-Fagetum*, AP – *Abieti-Piceetum montanum*.



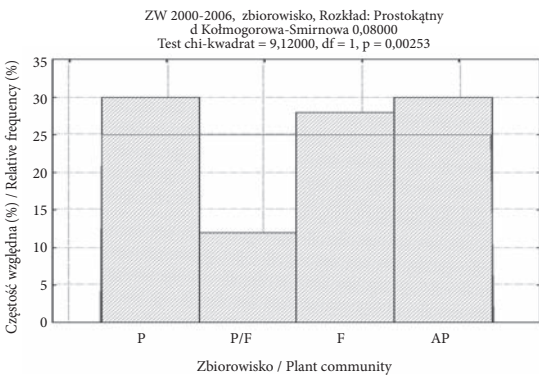
Ryc. 12. Skumulowany rozkład częstości względnej występowania złomów i wywałów (ZW) w klasach nachylenia terenu w okresie 2000–2013.

Fig. 12. Cumulative distribution of relative frequency for broken trees and windthrows (ZW) in relation to steep slope classes in the period 2000–2013.



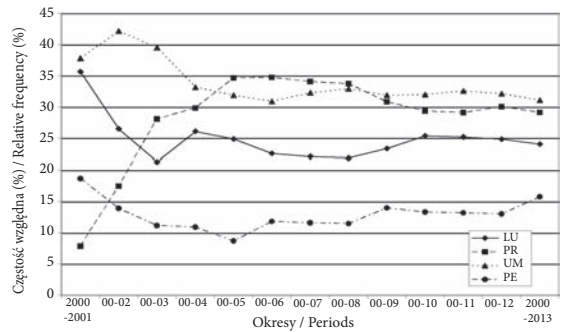
Ryc. 14. Skumulowany rozkład częstości względnej występowania złomów i wywałów (ZW) w klasach zwarcia drzewostanu w okresie 2000–2013. Objasnienia jak dla Ryc. 9.

Fig. 14. Cumulative distribution of relative frequency for broken trees and windthrows (ZW) in relation to stand density classes in the period 2000–2013. Abbreviations as for Fig. 9.



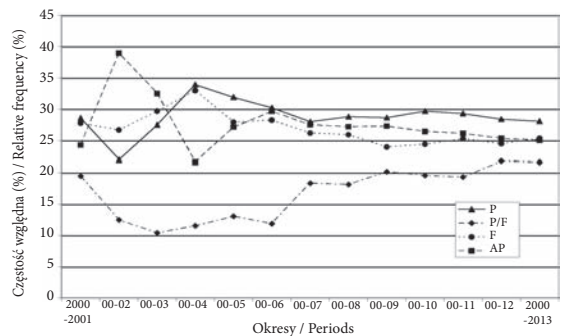
Ryc. 16. Skumulowany rozkład częstości względnej występowania złomów i wywałów (ZW) w zbiorowiskach leśnych w okresie 2000–2006. Objasnienia jak dla Ryc. 11.

Fig. 16. Cumulative distribution of relative frequency for broken trees and windthrows (ZW) in relation to forest community classes in the period 2000–2006. Abbreviations as for Fig. 11.



Ryc. 13. Zmiany skumulowanych rozkładów częstości względnej występowania złomów i wywałów (ZW) w klasach zwarcia drzewostanu w latach 2000–2013. Objasnienia jak dla Ryc. 9.

Fig. 13. Relative frequency of broken trees and windthrows (ZW) in relation to stand density classes in the period 2000–2013. Abbreviations as for Fig. 9.



Ryc. 15. Zmiany skumulowanych rozkładów częstości względnej występowania złomów i wywałów (ZW) w zbiorowiskach leśnych w latach 2000–2013. Objasnienia jak dla Ryc. 11.

Fig. 15. Relative frequency of broken trees and windthrows (ZW) in relation to forest community classes in the period 2000–2013. Abbreviations as for Fig. 11.

ANALIZA WPŁYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH NA WYDZIELANIE SIĘ ŚWIERKA

Analiza statystyczna wyników wykazała, że większość rozkładów częstości występowania poszczególnych kategorii posuszu w ujęciu sumarycznym (tj, po 14 latach kumulacji) zmierza do rozkładu równomiernego. Oznacza to, że w ujęciu dłuższego przedziału czasowego analizowane czynniki nie wpływają w sposób istotny statystycznie na częstość wydzielenia się świerka w klasach badanych czynników (Tab. 1). Jednak szczegółowa analiza przebiegu wykresów częstości występowania dla wyróżnionych kategorii obumarłych drzew w kolejnych latach wykazała istnienie przedziałów czasowych, w których wpływ tych czynników staje się istotne.

Zostały one poddane dodatkowej analizie statystycznej.

Oprócz powyższych czynników porównano także zamieranie świerka na obszarach ochrony ścisłej i czynnej GPN. Analiza nie wykazała istotnych statystycznie różnic w rozkładach częstości pomiędzy tymi obszarami, zarówno w wyróżnionych kategoriach posuszu (wartości d K-S: PK=0,040, ZW=0,060, PN=0,050), jak również u ujęciu sumarycznym (wartości d K-S: posusz RAZEM =0,000).

Posusz kornikowy (PK)

Owady kambiofagiczne są główną, bezpośrednią przyczyną zamierania świerka na obszarze Gorczańskiego Parku Narodowego, stanowiąc 68% obumarłych drzew. Analiza statystyczna skumulowanych częstości względnych w klasach analizowanych czynników za okres 2000–2013 (test Kołmogorowa-Smirnowa i chi-kwadrat) nie wykazała istotnych różnic rozkładów od rozkładu równomiernego (Tab. 1). Jednak wykresy zmian częstości względnej dla lat 2000–2013 pokazują okresy, kiedy rozkłady te różniły się istotnie statystycznie od rozkładu równomiernego. Na uwagę zasługuje wpływ przebiegu gradacji kornika drukarza na rozkłady częstości wydzielania się posuszu w klasach analizowanych czynników. W kulminacyjnej fazie gradacji w latach 2006–2009 rozkłady zbliżają się najbardziej do rozkładu równomiernego. W przypadku nachylenia terenu wykazano istotny statystycznie wpływ tego czynnika na wydzielanie posuszu kornikowego dla okresu 2000–2004. Częstość wydzielania się posuszu maleje wraz ze wzrostem nachylenia terenu (Ryc. 6 i 7).

Nie wykazano istotnego wpływu ekspozycji terenu na występowanie posuszu kornikowego, chociaż wartości za okres 2000–2004 (preferencja ekspozycji E i SE) zbliżają się do wartości progowych (test chi-kwadrat, $p=0,057$). Wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. wzrasta częstość wydzielania się posuszu kornikowego. Rozkład częstości w klasach wysokości nie różni się jednak istotnie. Również w przyjęciu bardziej ogólnego podziału na dwie strefy wysokościowe (regiel dolny i górny) – rozkłady częstości są podobne. Przed kulminacją gradacji kornika drukarza posusz kornikowy występował częściej w piętrze regla dolnego (Ryc. 8).

Zwarcie jest cechą drzewostanu, która w istotny sposób wpływa na występowanie posuszu kornikowego. Jest to dobrze widoczne przed gradacją kor-

nika drukarza, w okresie 2000–2005 (Ryc. 9 i 10). W ujęciu sumarycznym rozkład częstości względnych nie różni się istotnie od rozkładu równomiernego, jednak tendencja z wyraźnie mniejszymi od pozostałych klas wartościami wydzielonego posuszu kornikowego przy zwarcu pełnym i luźnym utrzymuje się.

Posusz kornikowy występuje w ujęciu sumarycznym dla całego badanego okresu z podobną częstością we wszystkich analizowanych zbiorowiskach leśnych. Wzrost częstości dla okresu przed gradacją kornika drukarza wykazano w zbiorowisku dolno-regłowego boru jodłowo-świerkowego (Ryc. 11). Nie jest on jednak istotny statystycznie.

Proces wydzielania się posuszu kornikowego nie jest istotnie statystycznie związany z podtypem gleby porośniętej przez drzewostan. W ujęciu sumarycznym utrzymuje się stała, niewielka przewaga częstości występowania tego posuszu na glebach bielcowych i brunatnych bielcowych.

Złomy i wywały (ZW)

Działalność wiatru jest drugą główną przyczyną, która spowodowała zamieranie świerka na dużą skalę. Ogólny udział złomów i wywałów wśród obumarłych świerków w latach 2000–2013 wynosi 13%, jednak w 2004 roku stanowiły one 64% wszystkich obumarłych drzew, przy średnim zagęszczeniu tej kategorii 8,3 drzewa na 1ha. Analiza statystyczna skumulowanych częstości względnych w klasach analizowanych czynników za okres 2000–2013 (zarówno test Kołmogorowa-Smirnowa jak i test chi-kwadrat) wykazała istotne różnice rozkładów w stosunku do rozkładu równomiernego dla dwóch czynników środowiskowych: nachylenia terenu i zwarcia drzewostanu (Tab. 1). Na stokach o nachyleniu $> 30^\circ$ w analizowanym okresie nie stwierdzono złomów i wywałów (Ryc. 12). Najczęściej złomy i wywały występują w drzewostanach o zwarcu umiarkowanym i przerywanym. Najmniejsza częstość występowania cechuje drzewostany o zwarcu pełnym (Ryc. 13 i 14).

W przypadku analizy wpływu pozostałych czynników (nieistotnych statystycznie w ujęciu sumarycznym) rozkład częstości występowania złomów i wywałów w okresie 2000–2006 w klasach zbiorowisk leśnych różni się istotnie, osiągając najniższe wartości w klasie zbiorowiska przejściowego pomiędzy świerczną górnoreglową a buczną karpacką (Ryc. 15 i 16).

Posusz nieoznaczony (PN)

Pozostały posusz (nieoznaczony) stanowi 14% obumarłych drzew (Ryc. 4). W przypadku takich czynników, jak: ekspozycja terenu, zwarcie drzewostanu i podtyp gleby, rozkłady częstości względnej w ujęciu sumarycznym za okres 2000–2013 różnią się istotnie od rozkładu równomiernego. Z największą częstością ta kategoria posuszu występuje na ekspozycjach W i NW, w drzewostanach świerkowych o pełnym zwarcu, rosnących na glebach bielcowych właściwych.

Posusz razem

Analiza całościowa procesu zamierania świerka w okresie 2000–2013 wykazała, że występuje on równomiernie na badanym obszarze GPN. Potwierdza to analiza statystyczna rozkładów częstości występowania wszystkich „wypadłych” świerków względem 7 czynników zarówno w ujęciu sumarycznym (Tab. 1), jak również w analizowanych okresach cząstkowych. Rozkłady te w całym monitorowanym przedziale czasowym osiągają w końcowym okresie dla większości badanych czynników środowiskowych wartości świadczące o dużym dopasowaniu do rozkładu równomiernego (d Kołmogorowa-Smirnowa 0,000–0,020 oraz „p” dla testu chi-kwadrat powyżej 0,500; Tab. 1).

DYSKUSJA WYNIKÓW

W badanym okresie 2000–2013 miał miejsce proces zamierania drzew świerka pospolitego na nienotowaną do tej pory skalę. Występowanie tego zjawiska w obszarze całych polskich Karpat w ostatnich dziesięcioleciach XX wieku oraz podobnych reakcji gatunków iglastych w strefie lasów mieszanych i borealnych kuli ziemskiej, może świadczyć o globalnym charakterze zjawiska (Kowalski 1993; Boratyński i in. 1998; Michalski 1998; Grodzki 2005, 2010; Wilczyński i in. 2013; Banaś i in. 2014). Osłabienie drzewostanów świerkowych w Gorcach było sygnalizowane już znacznie wcześniej (Capecki 1982, 1997), a przyczyn takiego stanu można szukać zarówno w przeszłości (zwiększenie się udziału świerka w okresie tzw. „małej epoki lodowcowej”, nadmierna eksploatacja lasów na przełomie XIX i XX wieku, wpływ gospodarki pasterskiej, cyklicznie powtarzają-

ce się uszkodzenia od wiatru i okiści śniegowej), jak i w ostatnich dziesięcioleciach (wzrost zanieczyszczeń powietrza, globalne ocieplenie klimatu, gradacja zasnuj wysokości górskiej, (Jarosz 1935; Różański 1998; Chwistek 2002; Loch 2002; Starzyk i in. 2005). W ciągu 14 lat na kontrolowanych 176 powierzchniach 5-arowych obumarło 49% z puli żywych drzew stwierdzonych na tych powierzchniach w 1999 roku. Bezpośrednimi, głównymi przyczynami zamierania świerka na terenie GPN były huraganowe wiatry (przyczyny abiotyczne) i masowy rozwój owada kambiofagicznego – kornika drukarza *Ips typographus* (przyczyny biotyczne). Owad ten, przy układzie sprzyjających warunków, posiada duże biologiczne możliwości do masowych rozmnożeń w postaci gradacji. Huragany wystąpiły w monitorowanym okresie w odstępie dwóch lat: w 2002 roku (powalenie i wyłamanie ok. 700 m³ drewna) i w 2004 roku (powstanie około 10 tys. m³ złomów i wywałów świerkowych; Grodzki i in. 2006). Pozwoliło to kornikom dodatkowo namnożyć się w 2005 roku na powstałych rok wcześniej złomach i wywałach, by w 2006 i 2007 roku zaatakować w niespotykanym dotąd powierzchniowym rozmiarze. Kornikom mogły sprzyjać w tym czasie również korzystne warunki klimatyczne. Średnia ilość wydzielonego posuszu kornikowego wzrosła z 3,2 drzew/1ha w 2005 roku do 7,5 drzew w 2006 roku i 22,2 drzew w 2007 (rok ten jest już rokiem załamania się gradacji). Nasilenie gradacji spowodowało, że wybiórczość środowiskowa przestała być istotna dla kornika drukarza. Widać to dobrze na rycinach obrazujących zmiany rozkładu częstości względnej obumierających drzew w klasach analizowanych czynników (Ryc. 6, 8, 9, 11, 13, 15). W latach poprzedzających kulminację gradacji 2000–2005 takie czynniki, jak nachylenie terenu i zwarcie drzewostanu w sposób istotny wpływają na wydzielanie się posuszu kornikowego. Natomiast w latach nasilenia gradacji 2006–2008 rozkłady częstości występowania posuszu w klasach analizowanych czynników stają się najbardziej zbliżone do siebie (przyjmując rozkład równomierny).

Wydzielanie się posuszu kornikowego jest w dużej mierze zgodne z wielkością odłowów kornika drukarza do pułapek feromonowych. Porównanie takie jest możliwe dzięki badaniom przeprowadzonym w latach 1999–2003 przez Grodzkiego (2007). Wraz ze wzrostem udziału świerka w drzewostanie

wzrasta liczba odławianych chrząszczy i częstość wydzielania się posuszu kornikowego. Również podobna tendencja występuje w piętrach wysokościowych; średnie dzienne odłowy chrząszczy w latach 1999–2003 były wyższe w strefie regla dolnego i częstości wydzielania się posuszu kornikowego w okresie 2002–2007 były także wyższe w reglu dolnym. W odniesieniu do ekspozycji stoków zarówno ilości odłowionych chrząszczy kornika drukarza jak i częstości wydzielanego posuszu są wyrównane. Większa częstość wydzielania się posuszu kornikowego na podtypach gleb brunatnych bielcowanych może świadczyć, oprócz reakcji świerka na zmiany klimatyczne, o postępującym procesie naturalnej przebudowy drzewostanów i dostosowywaniu do siedliska.

Wiatr, mimo że nie powoduje bezpośrednio największych szkód w drzewostanach, wydaje się być najważniejszą przyczyną pierwotną zmian w świerczynach zachodzących w ostatnich dziesięcioleciach (synergiczne działanie huraganowych wiatrów i kornika drukarza). Jest to dobrze widoczne również w innych górskich pasmach, np. w Tatrach, gdzie po huraganie w jesieni 2004 roku nastąpił rozwój gradacji kornika drukarza (Grodzki, Starzyk 2013). Oprócz lokalnych wiatrów fenowych typu „wiatr halny” coraz częściej dają się we znaki huraganowe wiatry wiejące od Atlantyku. Równomierny rozkład częstości występowania wiatrołomów i wiatrowałów na różnych ekspozycjach terenu wskazuje, że w dłuższej perspektywie czasowej wieją one z różnych kierunków. Na taki rozkład ma również wpływ modyfikacja kierunków uderzenia wiatru powodowana rzeźbą terenu. Rozkłady częstości wiatrowałów różnią się w sposób istotny w klasach nachylenia terenu i zwarcia drzewostanu. Wynik dotyczący nachylenia terenu powinien być sprawdzony w toku dalszych badań, ponieważ klasa nachylenia terenu $> 30^\circ$ zawiera najmniejszą liczbę powierzchni (12 ze 176). Analiza wpływu zwarcia pokazuje, że najmniejsze szkody od wiatru powstają w dwóch skrajnych klasach – w drzewostanach o zwarciu pełnym i luźnym. Można zatem stwierdzić, że spontaniczny, stopniowy, rozciągnięty w czasie proces odnowienia naturalnego powinien dać w przyszłości drzewostany bardziej odporne na działanie huraganowych wiatrów.

Spśród zamierających świerków dość znaczny udział mają drzewa zakwalifikowane jako PN (posusz niezasiedlony). Analiza statystyczna wykazała,

że w przypadku 3 z 7 analizowanych czynników, rozkłady różnią się istotnie od rozkładu równomiernego. Jednak ze względu na brak znajomości przyczyn zamierania tych świerków, głębsza analiza nie była wykonywana. W przypadku kontynuacji monitoringu należy podjąć próbę identyfikacji przyczyn zamierania w tej kategorii.

Prowadzony monitoring posuszu świerkowego w GPN wykazał, że w ujęciu ogólnym, przy nakładaniu się na siebie różnych przyczyn, proces wydzielania się świerka rozkłada się równomiernie na całym obszarze jego występowania. Analiza nie wykazała również istotnych statystycznie różnic w rozkładach częstości zamierania świerków pomiędzy obszarami ochrony ścisłej i ochrony czynnej, gdzie prowadzona jest wycinka i usuwanie drzew zasiedlonych przez owady oraz obumarłych z innych przyczyn.

PODSUMOWANIE

1. W badanym okresie 2000–2013 miał miejsce proces zamierania drzew świerka pospolitego na nieotowaną do tej pory skalę. Liczba żywych świerków na 176 stałych powierzchniach kołowych 5-arowych zmniejszyła się z 2798 do 1429 sztuk, czyli przeżyło ten okres 51,1% drzew.
2. Główną, bezpośrednią przyczyną zamierania drzew była gradacja kornika drukarza w latach 2006–2010. W analizowanym okresie 2000–2013 posusz kornikowy stanowił 68% obumarłych drzew. W kulminacyjnym roku gradacji (2007) średnie zagęszczenie obumarłych świerków wynosiło 22 drzewa/1ha.
3. Rozwój gradacji kornika drukarza był wywołany prawdopodobnie uszkodzeniem drzewostanów przez huraganowe wiatry w latach 2002 i 2004. W ujęciu ogólnym (2000–2013) wiatrołomy i wiatrowały stanowiły 13% obumarłych drzew. W 2004 roku średnie zagęszczenie drzew obumarłych wskutek działalności wiatru wynosiło 8,3 szt./1ha.
4. Dodatkowym czynnikiem, który spotęgował wzrost aktywności kornika drukarza w tym okresie mogły być warunki klimatyczne (małe ilości opadów). Nie były one jednak szczegółowo analizowane w tej pracy.
5. Analiza wpływu 7 wybranych czynników na zamieranie drzew świerka pospolitego wykazała, że w ujęciu całego badanego okresu (2000–2013)

- rozkłady częstości względnych wystąpienia posuszu w klasach tych czynników zmierzają do rozkładów równomiernych, jednak w wybranych okresach wykazują istotne statystycznie różnice w rozkładach.
6. Przed kulminacją gradacji kornika drukarza wykazano istotny wpływ nachylenia terenu i zwarcia drzewostanu na wydzielanie się posuszu kornikowego. W okresie nasilenia gradacji kornika drukarza, wpływ analizowanych czynników środowiskowych na występowanie posuszu kornikowego słabnie. Rozkłady częstości występowania w tym okresie wyrównują się najbardziej.
 7. Wykazano istotny wpływ nachylenia terenu i zwarcia drzewostanu na powstawanie wiatrołomów i wiatrowałów.
 8. W ujęciu ogólnym dla badanego okresu 2000–2013, rozkłady częstości występowania wszystkich obumarłych świerków w klasach analizowanych czynników (nachylenie terenu, ekspozycja, wysokość n.p.m., piętro klimatyczno-roślinne, zwarcie drzewostanu, zbiorowisko roślinne, podtyp gleby), zmierzają do rozkładów równomiernych.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy składają podziękowania wszystkim pracownikom Służby Parku, którzy przez cały okres badawczy 2000–2013 brali udział w pracach terenowych zbierając materiały do niniejszego opracowania. Są to: Adamczyk Mirosław, Armatys Paweł, Cebula Władysław, Chwistek Kazimierz, Czarnota Paweł, Gabryś Jan, Gaura Grzegorz, Gierczyk Tadeusz, Hanula Jan, Jagieła Bronisław, Klimek Daniel, Kosiarski Michał, Kowalczyk Janusz, Kurzeja Marek, Loch Jan, Mysza Marek, Niedośpiał Antoni, Pająk Wiesław, Skirliński Jarosław, Słowik Bogdan, Sopata Jacek, Trzmiel Wojciech, Wójciak Jan.

PIŚMIENNICTWO

- Banaś J., Zięba S., Zygmont R., Bujoczek L. 2014. Procesy przeżywania i ubywania drzew w różnowiekowych lasach zagospodarowanych i chronionych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* R.16, 39A,2: 7–13, Rogów.
- Boratyński A., Konca B., Zientarski J. 1988. Górnoregłowe świerczyny sudeckie (*Plagiothecio-Piceetum her-*

- cynicum*) najbardziej zagrożony zespół leśny Polski. *Chrońmy Przyrodę Ojczyzn* 44,1: 23–38.
- Boratyński A., Konca B., Zientarski J. 1998. Rozmiary i prognozy zamierania świerczyn górskich. [W:] A. Boratyński, W. Bugała (red.), *Biologia świerka pospolitego*: 508–528. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Capecki Z. 1978. Badania nad owadami kambio- i ksylofagicznymi rozwijającymi się w górskich lasach świerkowych uszkodzonych przez wiatr i okiść. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa* 563: 37–117.
- 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. 1982. Masowe wystąpienie zasnui wysokogórskiej *Cephalcia falleni* (Dalm.) (*Pamphiliidae*, *Hymenoptera*) w Gorcach. *Sylwan* 124,4: 45–50.
- Capecki Z. 1997. Rejony zdrowotności lasów środkowej części Karpat. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, Ser. A 840: 83–191.
- Capecki Z. 2002. Wpływ kornika drukarza na stan obecny i przyszłość lasów Gorczańskiego Parku Narodowego. *Sylwan* 146,4: 105–110.
- Chwistek K. 2001. Dynamics of tree stands in the Gorce National Park (southern Poland) during the period 1992–1997. *Nature Conservation* 58: 17–32.
- Chwistek K. 2002. Historia lasów i leśnictwa w Gorcach. *Wierchy* 68: 135–160.
- Chwistek K., Czarnota P., Loch J. 1994. Monitoring środowiska przyrodniczego Gorczańskiego Parku Narodowego na bazie siatki stałych powierzchni badawczych. *Przegląd Przyrodniczy* 5,3/4: 83–94.
- Chwistek K. 2010. Zmiany składu gatunkowego i struktury drzewostanów Gorczańskiego Parku Narodowego w latach 1992–2007. *Ochrona Beskidów Zachodnich* 3: 79–92.
- Danielewicz W., Pawlacyk P. 1998. Rola świerka w strukturze i funkcjonowaniu fitocenoz. [W:] A. Boratyński, W. Bugała (red.), *Biologia świerka pospolitego*: 359–426. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Grodzki W. 2004. Zagrożenie górskich drzewostanów świerkowych w zachodniej części Beskidów ze strony szkodników owadzych. *Leśne Prace Badawcze* 2/2004: 35–47.
- Grodzki W. 2005. GIS, spatial ecology and research on forest protection. [In:] W. Grodzki (ed.), *GIS and databases in the forest protection in Central Europe*: 7–14. Forest Research Institute, Warsaw.
- Grodzki W. 2007. Wykorzystanie pułapek feromonowych

- do monitoringu populacji kornika drukarza w wybranych parkach narodowych w Karpatach. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Rozprawy i monografie 8: 1–127.
- Grodzki W., Loch J., Armatys P. 2006. Występowanie kornika drukarza *Ips typographus* L. w uszkodzonych przez wiatr drzewostanach świerkowych masywu Kudłonia w Gorczańskim Parku Narodowym. Ochrona Beskidów Zachodnich 1: 125–137.
- 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., Starzyk J.R. 2004. Wiatrołomy w wybranych parkach narodowych w Karpatach i wynikające z nich potrzeby badawcze w zakresie ochrony lasu. Leśne Prace Badawcze 3/2004: 119–123.
- Grodzki W., Starzyk J.R. 2013. Współpraca naukowa Katedry Entomologii Leśnej i Instytutu Badawczego Leśnictwa w Krakowie w zakresie badań nad owadami kambio- i ksylofagicznymi w górach. [W:] W. Ząbecki (red.), Rola i udział owadów w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych: 287–301. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków.
- Gutowski J., Kubisz D. 1995. Entomofauna drzewostanów pohuraganowych w Puszczy Białowieskiej. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa 788: 91–129.
- Jarosz S. 1935. Badania geograficzno-leśne w Gorcach. Prace Rolniczo-Leśne Polskiej Akademii Umiejętności 16,1: 1–125.
- Jewuła E. 1974. Rejonizacja szkód powodowanych przez wiatry w drzewostanach górskich i podgórszych Południowej Polski. Sylwan 10: 54–63.
- Jewuła E. 1978. Ustalenie obszarów leśnych najbardziej zagrożonych przez wiatr. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa 564: 119–154.
- Kowalski M. 1993. Skład gatunkowy lasu na tle zmian klimatu. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Ser. B 15: 210–220.
- Krehan H. 2005. The Austrian system of documentation of forest damage factors. [In:] W. Grodzki (ed.), GIS and databases in the forest protection in Central Europe: 67–71. Forest Research Institute, Warsaw.
- Loch J., Czarnota P., Chwistek K., Błoszyk J. 1994. Przewodnik po stałych powierzchniach monitoringowych Gorczańskiego Parku Narodowego. Wydawnictwo ACARUS, Poznań.
- Loch J. 2002. Świerczyny górnoreglowe Gorczańskiego Parku Narodowego – stan zachowania i dynamika zmian. Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich 48: 185–193.
- Michalski J. 1998. Gradacje kornikowe w ostatnim 50-leciu w drzewostanach świerkowych Polski. [W:] A. Boratyński, W. Bugała (red.), Biologia świerka pospolitego: 468–508. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Różański W. 1998. Struktura górnoreglowych borów świerkowych na szczycie Turbacza w Gorcach i problemy ich ochrony. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie 332: 135–159.
- Starzyk J.R., Grodzki W., Capecki Z. 2005. Występowanie kornika drukarza *Ips typographus* (L.) w lasach zagospodarowanych i objętych statusem ochronnym w Gorcach. Leśne Prace Badawcze 1/2005: 7–30.
- Wilczyński S., Kacprzyk M., Wertz B. 2013. Klimatyczny wskaźnik wzrostu liczebności owadów kambiofagicznych w drzewostanach świerkowych Beskidów Zachodnich. [W:] W. Ząbecki (red.), Rola i udział owadów w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych: 153–166. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków.

SUMMARY

Between 2000 and 2013 a process of Norway spruce withering has taken places to an extent that was never observed before. The number of living spruce trees, monitored on 176 permanent 0.05 ha-stands has decreased by 51.1% (Fig. 2). The main reason of high mortality of the trees was an outbreak of bark beetles *Ips typographus*. Of all dead trees 68% was snag spruce caused by bark beetles (Fig. 4). The density of snag spruce trees culminated in 2007 with 22 trees/ha (Fig. 5). Seven factors that could have had an impact on spruce mortality were analysed. The distribution of relative frequency of the variables was compared with even distribution with the use of STATISTICA 6. The relevance of the results was tested by Kolmogorov-Smirnov and chi-square tests. The results are shown in the Table 1. The majority of frequency distribution of specified categories of spruce snags in cumulative effect i.e. after 14 years shows a trend towards an even distribution. However, a detailed analysis of frequency graphs demonstrated time intervals during which the influence of the factors were significant. The detailed results of these statistical analyses are shown in figures 6–16.