

Odnowienia sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. w Karpatach w zależności od żyzności siedliska

Regeneration of Scots pine *Pinus sylvestris* L. in the Carpathians depends on site fertility

Sławomir Ambroży* , Mariusz Kapsa 

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

*Tel. +48 12 2528208, e-mail: S.Ambrozy@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of this work was to determine the biometric features of Scots pine *Pinus sylvestris* L. regeneration in terms of their susceptibility to weather-inflicted damage. We compared the damage between three sites located in the Polish part of the Carpathians: Scots pine planted in (I) fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest, (II) poor sites of mountain coniferous forest and (III) sites of Scots pine natural refuges during the post-glacial period. In each of the three sites of pine regeneration, 11 research plots were established with 50 pine trees on each plot. For each tree, the following biometric measurements were taken: diameter at breast height, height, three-year height increment, crown length and crown width measured along the contour line. The Scots pine regeneration was found to vary in terms of their biometric features depending on the site fertility. In fertile sites, the biometric parameters of the trees increased at a faster rate compared to low-fertility sites causing an increase in their susceptibility to damage by adverse weather conditions such as snow and rime. Therefore, the silvicultural risk in fertile sites is high and thus the introduction of pine for regeneration should be avoided in fertile broadleaved and mixed broadleaved forests even if pine provenances from a mountain origin are to be planted. Furthermore, tending cuts in regeneration should be made frequently, but with moderate intensity as to avoid excessive reductions in tree density. Intensive cuts, especially in fertile sites, promote the expansion of pine crowns, which further increases the risk of damage.

Keywords: mountain region, site conditions, biometric features, damage to trees, damaging agents

Słowa kluczowe: obszary górskie, warunki siedliskowe, cechy biometryczne, uszkodzenia drzew, czynniki szkodotwórcze

1. Wstęp

W Polsce w górach występują rasy sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. przystosowane do warunków klimatu górskiego. Są to sosny rasy hercyńskiej i karpackiej. Sosna karpacka występuje w Tatrach, Pieninach, Kotlinie Nowotarskiej (sosna podhalańska) oraz wyspowo na rozproszonych stanowiskach do wysokości 750 m n.p.m. w Beskidzie Niskim, Beskidzie Sądeckim i częściowo w Beskidzie Wyspowym (sosna wdziałowa) (Staszkie-wicz 1970).

Ostoje sosny zwyczajnej w okresie polodowcowym, będące rezerwuarem wymienionych wyżej górskich ras sosny, występują na specyficznych siedliskach górskich (Białobok 1970; Pancer-Kotejowa 1973; Staszkie-wicz, Szelağ 2003; Urbaniak, Vončina 2008; Kaczka et al. 2012). Są to siedliska o skrajnych warunkach wilgotności podłoża. Nawapienne sośniny o charakterze reliktowym zajmują strome i urwiste stoki o glebach płytkich, szkieletowych i szybkim odprowadzaniu wód opadowych (Pancer-Kotejowa 1973). Z kolei bory bagienne z sosną rosną z reguły na terenie pła-

skim o podłożu torfowym, na dnie kotlin górskich (Staszkie-wicz, Szelağ 2003).

Coraz częściej zakładane są w górach uprawy górskich pochodzeń sosny zwyczajnej, nawet na żyznych siedliskach lasu górskiego i lasu mieszanego górskiego. Kilkuletnie sosny osiągają w tych warunkach znaczny przyrost roczny na wysokość. Może to generować w przyszłości ich zwiększoną podatność na szkody wywołane czynnikami atmosferycznymi. Rodzi się pytanie: czy to nowe pokolenie sosen, rosnące na żyznych gruntach porolnych lub też sztucznie wprowadzone na grunty leśne, zachowuje cechy właściwe dla sosnowych drzew matecznych górskich pochodzeń. Problem ten zyskuje na znaczeniu w kontekście potencjalnego wzrostu udziału sosny w drzewostanach gór i pogórza, wymuszonego zmianami warunków środowiskowych. Najbardziej widocznym symptomem zmian środowiskowych jest nasilanie się częstotliwości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, mających wpływ na gatunki drzew leśnych (Van Aalst 2006; Jentsch, Beierkuhnlein 2008; Usbeck et al. 2010; Holtmeier, Broll 2011).

Wpłynęło: 24.05.2019 r., zrecenzowano: 27.08.2019 r., zaakceptowano: 6.09.2019 r.

Wydaje się, że głównym czynnikiem ograniczającym rolę sosny w Karpatach jest jej podatność na uszkodzenia mechaniczne związane ze zjawiskami atmosferycznymi (okiść, szadź, wiatr). Podjęto badania nad określeniem cech biometrycznych odnowień górskich pochodzeń sosny zwyczajnej, mogących mieć wpływ na podatność na szkody atmosferyczne. Porównywano wielkości tych szkód w młodym pokoleniu sosen wprowadzonym na żyzne siedliska w Karpatach z wielkością szkód w młodym pokoleniu sosen rosnących na siedliskach borowych, a także z wielkością szkód w odnowieniach na skrajnych pod względem wilgotności siedliskach naturalnych ostoi tego gatunku w okresie polodowcowym. Stwierdzenie, w jakim zakresie siedlisk następane pokolenie pochodzące od drzew uznanych za „rasę górską” zachowuje wysoką odporność na szkody abiotyczne, pozwoli na zmniejszenie ryzyka związanego z hodowlą sosny w górach.

2. Materiał i metody

Badania prowadzono w polskiej części Karpat w latach 2016–2018. Objęto nimi niepielegnowane dotychczas odnowienia sosnowe pochodzące od górskich ras o swoich

cechach morfologicznych, tj. niższym tempie wzrostu i mniejszej podatności na szkody abiotyczne w porównaniu z innymi ekotypami tego gatunku (Skrzyszewski 2001c). Były to zarówno pochodzące z sadzenia uprawy, młodniki, na które, zgodnie z zasadami regionalizacji nasiennej, materiał sadzeniowy uzyskano z nasion drzew matecznych uznanych za ekotyp górski sosny (tab. 1), jak i różnowiekowe odnowienia naturalne pochodzące od górskich ras sosen, zarówno na terenach poddanych ochronie (park narodowy, rezerwat), które zostały powołane między innymi w celu zachowania tych drzewostanów i ich siedlisk), jak i w lasach gospodarczych na terenie Kotliny Nowotarskiej (sosna podhalańska).

Rozpatrywano trzy kategorie odnowień sosnowych w górach: (I) odnowienia wprowadzone na żyzne siedliska lasowe, (II) odnowienia rosnące na siedliskach borowych, (III) odnowienia na specyficznych (skrajnie przesuszonych lub zabagnionych) siedliskach ostoi sosny zwyczajnej. W każdej kategorii wytypowano 11 obiektów badań (łącznie 33 obiekty). W każdym z obiektów wybrano losowo próbę złożoną z 50 sąsiadujących ze sobą drzewek, dla której określono granice zewnętrzne oraz areał, sytuując w ten sposób powierzchnię badawczą. Informacje siedliskowe dotyczące

Tabela 1. Drzewostany nasienne sosny zwyczajnej w Karpatach, na podstawie Krajowego Rejestru Leśnego Materiału Podstawowego (<http://semen.bn.gov.pl>)

Table 1. Seed stands of Scots pine in the Carpathians, based on National Register of Forest Basic Material (<http://semen.bn.gov.pl>)

Lp. No	Nadleśnictwo Forest District	Leśnictwo Forest Subdistrict	Oddział Forest Compartment	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates	Wysokość n.p.m. [m] Altitude a.s.l. [m]	Wiek [lata] Age [years]
1	Bielsko	Straconka	37 b	19°06'–19°06' E 49°48'–49°48' N	540–680	92
2	Węg. Górka	Zielona	145 b	19°07'–19°07' E 49°37'–49°37' N	450–650	87
3	Węg. Górka	Kamesznica	251 i	18°59'–18°59' E 49°34'–49°34' N	600–600	147
4	Jeleśnia	Ślemień	203 d	19°25'–19°25' E 49°45'–49°45' N	575–625	147
5	Sucha	Tarnawa	176 b	21°00'–21°00' E 53°15'–53°15' N	550–550	170
6	Sucha	Welcza	433 b	19°32'–19°32' E 49°39'–49°39' N	650–750	85
7	Sucha	Roztoki	228 a	20°27'–20°27' E 53°44'–53°44' N	625–725	145
8	Myślenice	Toporzysko	501 a	19°47'–19°47' E 49°36'–49°36' N	598–598	122
9	Nowy Targ	Bór	119 g	20°01'–20°01' E 49°27'–49°27' N	600–625	156
10	Nowy Targ	Bór	116 c	20°01'–20°01' E 49°27'–49°27' N	600–625	156
11	Stary Sącz	Chełmiec	336 g	20°36'–20°36' E 49°29'–49°29' N	470–560	120
12	Stary Sącz	Przyszoła	27 c	20°29'–20°29' E 49°33'–49°33' N	410–650	115
13	Nawojowa	Florynka	111 b	21°01'–21°01' E 49°33'–49°33' N	440–520	76
14	Nawojowa	Królowa Górna	28 a	20°52'–20°52' E 49°35'–49°35' N	520–580	76
15	Nawojowa	Królowa Górna	24 a	20°53'–20°53' E 49°35'–49°35' N	620–740	71
16	Lesko	Średnia Wieś	191 b	22°19'–22°19' E 49°24'–49°24' N	385–490	115
17	Ustrzyki Dolne	Leszczowate	58 g	22°31'–22°31' E 49°30'–49°30' N	540–540	101

całego obiektu badań każdorazowo weryfikowano w terenie, w miejscu usytuowania powierzchni badawczej, ze względu na często występujące tam wewnętrzne zróżnicowanie siedliskowe (mikrosiedliska).

Powierzchnie badawcze znajdowały się w strefie regla dolnego, w zakresie wysokości od ok. 480 do 1040 m n.p.m. Te zlokalizowane w odnowieniach sosnowych wprowadzonych na żyzne siedliska lasowe znajdowały się na terenie nadleśnictw: Wisła (leśnictwo Czarne, oddział 8b; leśnictwo Bukowiec, oddział 146d), Ujsoły (leśnictwo Sól, oddziały 92a, 94b, 104b, 105a, 106a) i Piwniczna (leśnictwo Majdan, oddział 162c; leśnictwo Jastrzębik, oddziały 177i, 185c, 186c). Natomiast powierzchnie na siedliskach borowych były w nadleśnictwach: Wisła (leśnictwo Malinka, oddział 142i), Węgierska Górka (leśnictwo Sikorzane, oddział 177b) i Nowy Targ (leśnictwo Bór, oddziały 118b, d, f, g, 119g; leśnictwo Stańcowa, oddziały 267a, 268a; nadzorowane lasy prywatne, oddziały 7l, 15b), a na siedliskach ostoi sosnowych był to teren nadleśnictw: Nowy Targ (leśnictwo Bór – Rezerwat Bór na Czerwonem, oddziały 108b, 108f – 2 powierzchnie; nadzorowane lasy prywatne, oddziały 1b, 2a, 16c, d) i Krościenko (nadzorowane lasy prywatne, oddział 9cx, Rezerwat Przełom Białki pod Krempachami, oddział 2d) oraz obszar Pienińskiego Parku Narodowego (Obwód Ochronny Macelowa Góra, oddział 411 – 2 powierzchnie).

Prace na powierzchniach badawczych obejmowały: pomiary cech biometrycznych sosen w odnowieniach, określenie liczebności gatunków domieszkowych w celu określenia rzeczywistego zagęszczenia drzew na powierzchniach oraz określenie uszkodzeń występujących na sosnach.

Pomiary cech biometrycznych drzew w odnowieniach obejmowały: pierśnicę (Dbh), wysokość (H), trzyletni przyrost wysokości (Ih3), długość korony (Lk), szerokość korony mierzona wzdłuż warstwy (Wk). Dla każdego drzewa określono: liczbę uszkodzeń spowodowanych przez zwierzyńnię (zgrzyzanie, spalowanie, czemchanie), liczbę uszkodzeń spowodowanych przez śnieg i szadz na strzale oraz liczbę okółków uszkodzonych przez te czynniki atmosferyczne. W każdej próbie określono liczbę drzew zaatakowanych przez szkodliwe owady i grzyby patogeniczne. Na podstawie pomiarów obliczono: współczynnik smukłości (H/Dbh), współczynnik udziału długości korony w wysokości drzew (Lk/H), współczynnik kształtu korony (Lk/Wk). Dla każdej powierzchni określono zagęszczenie drzewek (gatunku głównego i domieszek łącznie) w przeliczeniu na 1 ha.

Ocena wpływu siedliska (siedliska lasowe, siedliska borowe i siedliska ostoi sosny) na cechy biometryczne odnowień sosnowych została oparta na teście Kruskala-Wallisa z pakietu statystycznego Statistica 9 (Statsoft Inc. 2009) przy założonym poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$. Dla każdej z trzech badanych kategorii odnowień sosnowych określono wartość współczynników korelacji Pearsona pomiędzy wybranymi cechami biometrycznymi drzew w odnowieniach a przypadającą na jedno drzewo liczbą uszkodzeń spowodowanych przez śnieg i szadz.

3. Cechy biometryczne odnowień sosnowych

Uprawy i młodniki, pochodzące ze sztucznego odnowienia na żyznych siedliskach w Karpatach, były w wieku od 5 do 13 lat (tab. 2). Na wielu powierzchniach o znacznym zagęszczeniu młodego pokolenia współdecydowały pochodzące z naturalnego odnowienia gatunki domieszkowe towarzyszące sośnie (tab. 3). Maksymalne zagęszczenie drzewek wynosiło ponad 15,5 tys. szt./ha. Na żyznych siedliskach stwierdzono obecność dziewięciu gatunków drzew występujących w charakterze domieszek. Najbardziej liczne były: świerk *Picea abies* (L.) H.Karst, brzoza *Betula pendula* Roth, osika *Populus tremula* L. i wierzba iwa *Salix caprea* L.

Bujny wzrost odnowień sosnowych powodował, że w wieku 13 lat osiągały one średnią pierśnicę niemal 10 cm i średnią wysokość ponad 6,7 m. Największy trzyletni przyrost wysokości wynosił 222 cm (powierzchnia nr 9). Na żyznych siedliskach drzewa budowały duże korony o średniej szerokości niemal 1,7 m i znacznym średnim udziale w wysokości drzewa. Średni współczynnik udziału długości korony w wysokości drzew obliczony dla wszystkich powierzchni wynosił 0,69. Korony miały owalny, wydłużony pionowo kształt. Średni współczynnik kształtu korony drzew obliczony dla wszystkich powierzchni wynosił 1,45. Drzewa na powierzchniach charakteryzowały się współczynnikiem smukłości wynoszącym średnio 79.

W Karpatach odnowienia sosnowe na siedliskach borowych pochodziły zarówno z odnowienia sztucznego, jak i z odnowienia naturalnego. Odnowienia sosnowe pochodzące z sadzenia były w wieku od 5 do 8 lat, a liczba lat różnowiekowych odnowień wahała się od 5 nawet do 20 lat na poszczególnych powierzchniach (tab. 2). Wpływ na zagęszczenie odnowień miały nie tylko gatunki domieszkowe (tab. 3), lecz również naturalne pochodzenie odnowień sosnowych na wielu powierzchniach badawczych. Odnowienia takie, występując z reguły w grupach o różnej wielkości, miały większą liczebność w odniesieniu do jednostki powierzchni niż sadzone w regularnej więźbie odnowienia sztuczne. Wzrost odnowień sosnowych na siedliskach borowych był zdecydowanie mniej bujny niż na siedliskach lasowych. Pomimo obecności egzemplarzy sosen w wieku dochodzącym do 20 lat, wszystkie analizowane cechy biometryczne (H, Dbh, Lk, Wk) i trzyletni przyrost wysokości (Ih3) miały istotnie niższe średnie wartości (ryc. 1a, b, c, d, e) dla wszystkich wymienionych parametrów $p < 0,05$ (test Kruskala-Wallisa). Również średnie wartości współczynników mówiących o smukłości drzew (H/Dbh) i kształcie korony (Lk/Wk) jednoznacznie wskazywały na smukłe sosny o wąskich koronach, różniące się istotnie ($p < 0,05$) od drzew na siedliskach lasowych (ryc. 1f, h). Natomiast różnice pomiędzy współczynnikami długości korony (Lk/H) drzew na siedliskach lasowych i borowych (ryc. 1g) nie były istotne ($p = 0,2710$).

Odnowienia analizowane na siedliskach ostoi sosny zycznej w Karpatach były wyłącznie pochodzenia naturalnego. Były to odnowienia różnowiekowe, a dolna granica rozpiętości wieku sosen na poszczególnych powierzchniach

Tabela 2. Średnie wartości wybranych cech biometrycznych drzew sosny zwyczajnej na powierzchniach badawczych założonych w odnowieniach

Table 2. Mean values of selected biometric features of Scots pine trees on research plots established in regeneration

Nr pow. Plot no	A	N	Dbh [cm]	H [cm]	Ih3 [cm]	Lk [cm]	Wk [cm]	H/Dbh	Lk/H	Lk/Wk
Siedliska lasowe / Fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest										
1	6	9419	1,8	156	123	122	94	97	0,78	1,35
3	8	10833	4,5	315	192	225	145	75	0,70	1,56
6	7	15538	4,3	273	181	200	144	67	0,73	1,42
7	6	14150	3,2	246	158	166	122	83	0,67	1,37
8	8	12000	5,1	356	212	255	180	75	0,71	1,44
9	7	7586	6,3	405	222	304	215	66	0,75	1,46
10	5	6458	1,4	126	92	95	67	104	0,75	1,52
11	8	4301	3,9	265	150	197	150	81	0,72	1,38
12	13	2571	9,9	672	207	392	285	75	0,58	1,49
13	10	5417	6,7	482	204	281	201	78	0,57	1,48
15	11	4880	7,7	529	207	323	244	73	0,61	1,51
Średnia / Mean		8468	5,0	348	177	233	168	79	0,69	1,45
Siedliska borowe / Poor sites of mountain coniferous forest										
2	8	8400	3,2	225	122	183	118	76	0,80	1,56
4	7	9063	2,5	198	117	162	106	86	0,81	1,54
16	5–15	6538	1,9	216	77	155	78	163	0,71	1,96
17	5–15	19302	2,1	236	90	163	72	161	0,66	2,23
18	5–12	17063	2,2	250	114	170	87	144	0,66	2,14
19	5–12	22462	2,2	240	97	153	84	151	0,59	1,81
20	5–10	13492	1,6	211	69	122	67	183	0,56	1,87
21	5–12	14093	2,9	310	112	199	118	140	0,61	1,69
22	5–10	8443	2,1	230	111	176	91	138	0,75	2,04
23	5	7356	1,2	104	73	86	64	135	0,82	1,37
24	5–20	8125	2,4	218	73	166	88	149	0,74	2,04
Średnia / Mean		12212	2,2	222	96	158	89	139	0,70	1,84
Siedliska ostoi sosny zwyczajnej / Sites of Scots pine refuges										
25	10–25	7371	4,3	371	81	233	126	125	0,61	1,82
26	5–20	3810	3,9	342	117	260	125	122	0,72	2,02
27	5–20	3226	4,5	423	94	272	139	121	0,62	1,92
28	10–30	9355	3,8	360	42	208	108	115	0,56	2,02
29	10–30	7969	2,0	181	28	98	72	163	0,52	1,30

Nr pow. Plot no	A	N	Dbh [cm]	H [cm]	Ih3 [cm]	Lk [cm]	Wk [cm]	H/Dbh	Lk/H	Lk/Wk
30	10–30	6173	2,1	174	47	107	74	139	0,59	1,42
31	10–40	5556	2,1	205	27	114	83	154	0,56	1,45
32	10–40	6944	1,6	206	31	112	65	172	0,56	1,76
33	10–40	6250	2,6	191	51	126	79	129	0,64	1,61
34	10–30	12500	1,4	135	60	96	56	150	0,69	1,73
35	10–50	8097	3,1	263	30	122	95	136	0,46	1,37
Średnia / Mean		7023	2,9	259	55	159	93	139	0,59	1,67

(A – wiek, N – zagęszczenie wszystkich gatunków drzew na 1 ha, Dbh – pierśnica, H – wysokość, Ih3 – trzyletni przyrost wysokości, Lk – długość korony, Wk – szerokość korony, H/Dbh – współczynnik smukłości, Lk/H – współczynnik udziału długości korony w wysokości drzew, Lk/Wk – współczynnik kształtu korony)

(A – age, N – density of all tree species per hectare, Dbh – diameter at breast height, H – height, Ih3 – three-year height increment, Lk – crown length, Wk – crown width measured along the contour line, H/Dbh – slenderness coefficient, Lk/H – ratio of the crown length to tree heights, Lk/Wk – coefficient of crown shape)

Tabela 3. Liczba egzemplarzy gatunków domieszkowych w przeliczeniu na 1 ha, na powierzchniach badawczych

Table 3. Number of specimens of admixture species per 1 ha, on research plots

Nr pow. Plot no	Świerk Spruce	Brzoza Birch	Osika Aspen	Wierzba Willow	Jarząb Rowan	Buk Beech	Dąb Oak	Modrzew Larch	Jodła Fir	Ogółem Total
Siedliska lasowe / Fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest										
1	387	645	129	-	516	516	774	-	-	2967
3	1310	2381	595	-	357	119	-	119	-	4881
6	1231	1692	2615	2000	-	-	-	-	308	7846
7	1224	1088	1224	544	1497	1633	-	136	-	7346
8	3778	778	1111	111	667	-	-	-	-	6445
9	2069	517	-	345	345	-	-	-	-	3276
10	208	104	104	417	-	208	-	208	-	1249
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	245	-	245	-	41	-	-	-	531
13	-	208	-	-	-	-	-	-	-	208
15	-	96	-	-	-	-	-	-	-	96
Ogółem Total	10207	7754	5778	3662	3382	2517	774	463	308	34845
Siedliska borowe / Poor sites of mountain coniferous forest										
2	1333	-	-	-	-	133	133	-	133	1732
4	156	-	-	-	469	-	-	-	625	1250
16	1346	385	-	-	-	-	-	-	-	1731
17	5024	1058	-	-	-	-	-	-	-	6082
18	1958	229	-	559	-	-	-	-	-	2746

Nr pow. Plot no	Świerk Spruce	Brzoza Birch	Osika Aspen	Wierzba Willow	Jarząb Rowan	Buk Beech	Dąb Oak	Modrzew Larch	Jodła Fir	Ogółem Total
19	4923	-	-	615	-	1538	-	-	-	7076
20	3175	397	-	-	-	-	-	-	-	3572
21	3560	2967	-	148	-	-	-	-	-	6675
22	925	1735	-	-	-	-	-	-	-	2660
23	1609	-	-	-	-	-	-	-	-	1609
24	-	313	-	-	-	-	-	-	-	313
Ogółem Total	24009	7084	-	1322	469	1671	133	-	758	35446
Siedliska ostoi sosny zwyczajnej / Sites of Scots pine refuges										
25	283	-	-	-	-	-	-	-	-	283
26	1008	-	-	-	-	-	-	-	-	1008
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	1290	-	-	-	-	-	-	-	-	1290
29	156	-	-	-	-	-	-	-	-	156
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ogółem Total	2737	-	-	-	-	-	-	-	-	2737

wahała się od 5 do 10 lat, natomiast górna granica – od 20 do 50 lat (tab. 2). Udział domieszek w tworzeniu zagęszczenia odnowień nie był wysoki.

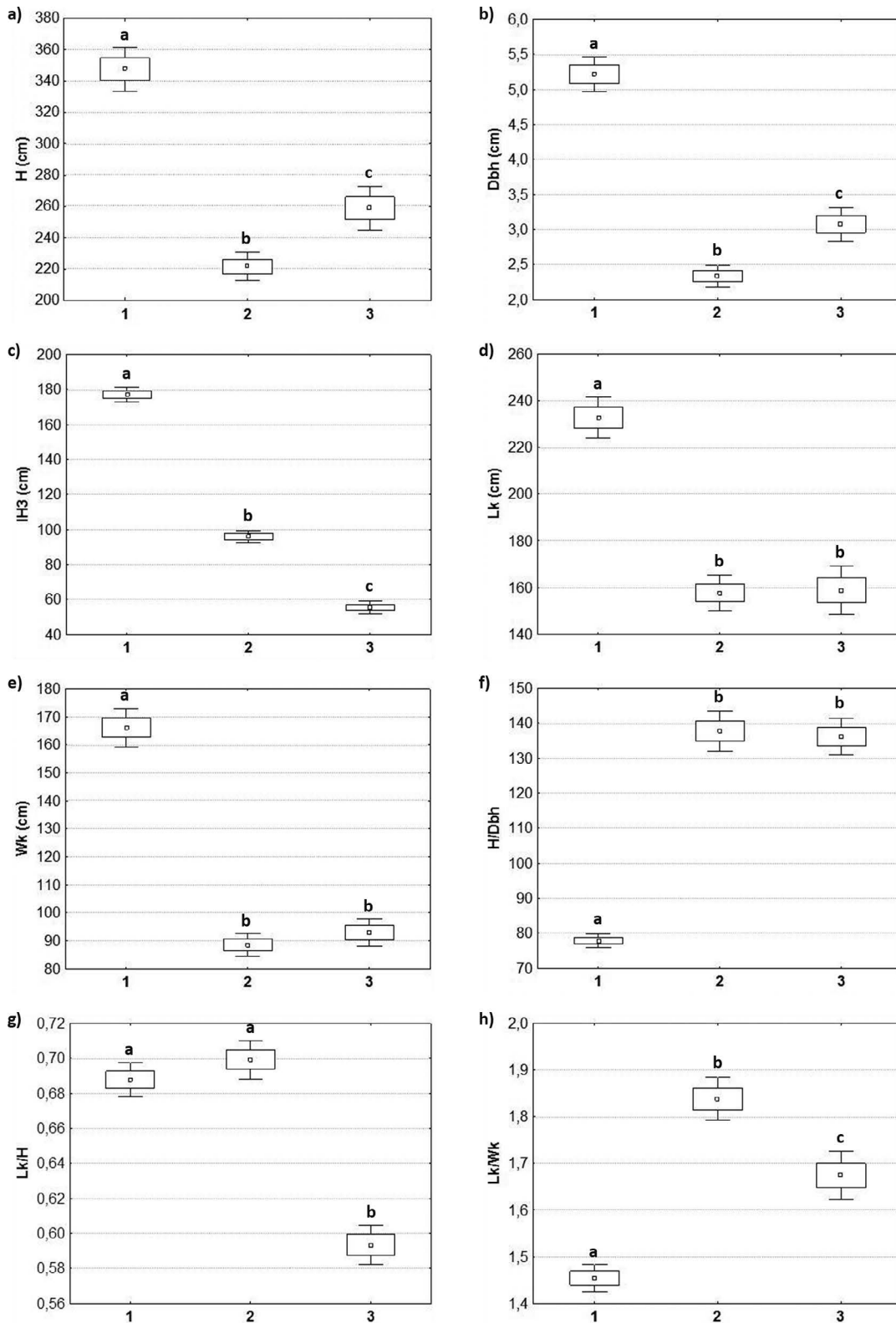
Większość analizowanych powierzchni pozbawiona była gatunków domieszkowych, a na pozostałych w charakterze spontanicznej, zwykle nielicznej domieszki pojawiał się wyłącznie świerk (tab. 3). Udział w odnowieniach egzemplarzy sosen starszych (wiek do 50 lat) od zarejestrowanych na siedliskach borowych sprawia, że średnie wartości takich cech biometrycznych jak wysokość i pierśnica (H, Dbh) są wprawdzie istotnie większe (odpowiednio: $p=0,0381$, $p=0,0006$) (ryc. 1a, b), lecz istotnie niższy ($p<0,001$) średni przyrost wysokości świadczy o bardzo wolnym wzroście drzew na stanowiskach reliktowych (ryc. 1c). W porównaniu z drzewami na siedliskach borowych różnice długości i szerokości koron (Lk, Wk) nie były istotne (odpowiednio: $p=0,0863$, $p=1,0000$) (ryc. 1d, e). Drzewa są tutaj równie smukłe (H/Dbh) jak na opisywanych powyżej siedliskach borowych (brak różnic

istotnych – $p=1,0000$) (ryc. 1f). Na siedliskach ostoi sosny odnowienia tego gatunku budują istotnie ($p<0,001$) bardziej skrócone korony w stosunku do długości strzały (Lk/H) (ryc. 1g). W rezultacie ich kształt jest mniej wydłużony (niższa wartość współczynnika kształtu korony), w porównaniu do kształtu sosen na siedliskach borowych, i są to różnice istotne ($p<0,001$) (ryc. 1h).

Porównując odnowienia sosen na siedliskach ostoi sosny z odnowieniami tego gatunku na siedliskach lasowych, stwierdzono istotność różnic wszystkich analizowanych parametrów (H, Dbh, Ih3, Lk, Wk, H/D, Lk/H, Lk/Wk). Dla wszystkich wymienionych przypadków $p<0,001$ (ryc. 1a–h).

4. Uszkodzenia odnowień sosnowych

Na odnowieniach sosnowych stwierdzono uszkodzenia wywołane przez wiele czynników. Były to uszkodzenia powodowane przez czynniki biotyczne: zwierzyńę płową



Rycina 1. Średnia, średnia \pm błąd standardowy i średnia \pm 1.96*błąd standardowy dla: a) wysokości (H), b) pierśnicy (Dbh), c) trzyletniego przyrostu wysokości (Ih3), d) długości korony (Lk), e) szerokości korony (Wk), f) współczynnika smukłości (H/Dbh), g) współczynnika udziału długości korony w wysokości drzewa (Lk/H), h) współczynnika kształtu korony (Lk/Wk) odnowień sosnowych, w zależności od siedliska: 1 – siedliska lasowe, 2 – siedliska borowe, 3 – siedliska ostoi sosny zwyczajnej (różne litery wskazują istotność różnic)

Figure 1. Mean, mean \pm standard error and mean \pm 1.96*standard error of: a) height (H), b) diameter at breast height (Dbh), c) three-year height increment (Ih3), d) crown length (Lk), e) crown width (Wk), f) slenderness coefficient (H/Dbh), g) ratio of the crown length to tree heights (Lk/H), h) coefficient of crown shape (Lk/Wk) of pine regeneration, depending on the site: 1 – fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest, 2 – poor sites of mountain coniferous forest, 3 – sites of Scots pine natural refuges (different letters indicate significant differences)

(zgryzanie, czemchanie, spalowanie), owady (głównie foliofagi), grzyby patogeniczne (*Gremmeniella abietina* i *Armillaria* sp.), jak również powodowane przez czynniki atmosferyczne: mechaniczne uszkodzenia wierzchołka i/lub gałęzi bocznych przez okiść lub szadź. Niektóre drzewa były uszkodzone przez więcej niż jeden czynnik, np. spalowana strzała i złamany przez śnieg wierzchołek.

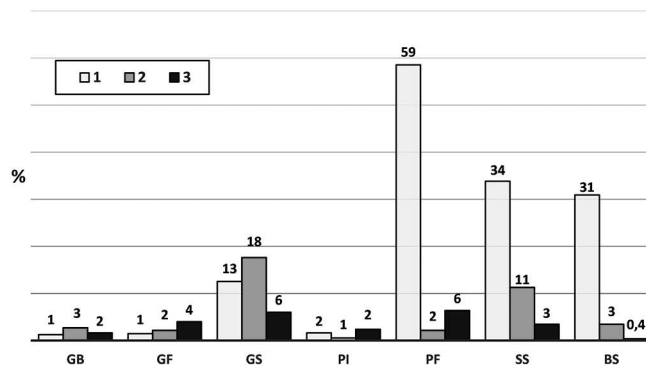
Badania przeprowadzone na siedliskach lasowych wykazały znaczną liczbę sosen (59%) opanowanych przez grzyby powodujące przebarwienie i opadzinę igieł; znaczący poziom szkód wywoływanych przez śnieg i szadź, zarówno na strzałach (34%), jak i gałęziach bocznych w okółkach (31%); a spośród szkód powodowanych przez zwierzynę największe znaczenie miało spalowanie (13%) (ryc. 2). Wykazano dodatnią korelację liczby wylamywanych przez czynniki atmosferyczne okółków sosen z takimi mierzonymi cechami biometrycznymi drzew jak pierśnica i wysokość, a także długość i szerokość korony (tab. 4). Z pierśnicą dodatnio była skorelowana również ogólna liczba uszkodzeń powodowanych przez te czynniki (łącznie uszkodzenia na strzałach i gałęziach).

Badania przeprowadzone na siedliskach borowych wykazały największe szkody powodowane przez zwierzynę (spalowanie – 18%). Inne szkody, powodowane przez śnieg, szadź, grzyby i owady, były mniej liczne (ryc. 2). Na siedliskach borowych liczba szkód powodowanych przez czynniki atmosferyczne (śnieg, szadź) nie wykazywała korelacji z cechami biometrycznymi drzew, a jedyną stwierdzoną zależnością była dodatnia korelacja pomiędzy liczbą uszkodzeń strzał drzewek (oraz uszkodzeń strzał i okółków łącznie) a współczynnikiem udziału długości korony w wysokości drzew (Lk/H) (tab. 4).

Badania przeprowadzone na siedliskach ostoi sosny wykazały generalnie bardzo niski poziom uszkodzeń w odnowieniach tego gatunku, sięgający zaledwie kilku procent ogólnej liczby drzew (ryc. 2). Największe szkody były powodowane przez zwierzynę (spalowanie – 6%) oraz szkody w postaci wywołanych przez grzyby przebarwień i opadzin igieł, stwierdzone na 6% ogólnej liczby drzew. Na siedliskach ostoi sosny liczba szkód powodowanych przez czynniki atmosferyczne (śnieg, szadź) nie wykazywała korelacji z cechami biometrycznymi drzew i obliczonymi na ich podstawie współczynnikami (tab. 4).

5. Dyskusja

Badania wykazały różnicowanie się cech biometrycznych niepielęgowanych dotychczas odnowień górskich pochodzeń sosny zwyczajnej, w zależności od warunków siedliskowych w Karpatach. Wcześniej cechy biometryczne sosen w Karpatach analizowano w starszych klasach wieku i dotyczyły sosen różnych pochodzeń (Skrzyszewski 2001a, b, c). Opisane wybranych cech biometrycznych młodego pokolenia sosny zwyczajnej, pochodzącego od przystosowanych do miejscowych warunków górskich ras sosen, uzupełnia tę wiedzę. Tendencja kształtowania się na bogatych siedliskach



Rycina 2. Procent drzew uszkodzonych na powierzchniach badawczych zlokalizowanych w odnowieniach sosnowych na siedliskach lasowych (1), siedliskach borowych (2) i na siedliskach ostoi sosny zwyczajnej (3)

(GB – zgryzanie, GF – czemchanie, GS – spalowanie, PI – uszkodzenia powodowane przez owady, PF – uszkodzenia powodowane przez grzyby patogeniczne, SS – uszkodzenia pni powodowane przez okiść lub szadź, BS – uszkodzenia gałęzi bocznych powodowane przez okiść lub szadź)

Figure 2. Percentage of trees damaged on research plots located in pine regeneration in fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest (1), poor sites of mountain coniferous forest (2) and sites of Scots pine natural refuges (3)

(GB – browsing, GF – fraying trees with antlers, GS – bark stripping, PI – damage caused by pest insects, PF – damage caused by pathogenic fungi, SS – stem damage caused by snow or rime, BS – branches damage caused by snow or rime)

cech mniej korzystnych pod względem podatności na szkody atmosferyczne, obserwowana przez wymienionego autora w starszych drzewostanach, znalazła potwierdzenie również w przypadku odnowień, nawet gdy było to potomstwo sosen ras górskich.

Stwierdzona na pozostałych siedliskach zdolność zachowania cech biometrycznych młodego pokolenia korzystnych pod względem podatności na szkody atmosferyczne ma zasadnicze znaczenie zwłaszcza na siedliskach ostoi sosny, z uwagi na utrzymanie na nich ciągłości występowania tego gatunku. Duże znaczenie, zwłaszcza w młodym wieku, ma tutaj również brak konkurencji innych gatunków, co potwierdziły przedstawione wyniki badań. Jest to zbieżne z wcześniejszymi wynikami innych autorów (Pancer-Kotejowa 1973; Skrzyszewski 2001a; Staszkiwicz, Szeląg 2003). W zakresie siedlisk borowych lecz mniej skrajnych, jak ma to miejsce na siedliskach ostoi sosny, gatunek ten ma wprawdzie zdolność do tworzenia odnowień naturalnych (Skrzyszewski 2001a), lecz – jak wykazały niniejsze badania – w wielu przypadkach musi konkurować z ekspansywnymi odnowieniami świerkowymi.

Konsekwencją kształtowania się cech biometrycznych, mniej korzystnych pod względem podatności na szkody atmosferyczne w odnowieniach sosnowych pochodzących od ras górskich rosnących na żyznych siedliskach, była znaczna liczba uszkodzeń spowodowanych przez czynniki atmosferyczne. Opisywane w drugiej połowie ubiegłego stulecia uszkodzenia sosen w Karpatach spowodowane przez czyn-

Tabela 4. Wartość współczynników korelacji Pearsona pomiędzy wybranymi cechami biometrycznymi drzew w odnowieniach a przypadającą na jedno drzewo liczbą uszkodzeń spowodowanych przez śnieg i szadź (wyróżniono współczynniki wskazujące na istnienie korelacji)

Table 4. Value of Pearson correlation coefficients between selected biometric features of trees in regeneration and the number of damage caused by snow and rime per tree (coefficients indicating the existence of correlation have been distinguished)

	Uszkodzenia strzały Stem damage	Uszkodzenia gałęzi Branches damage	Uszkodzenia ogółem Total damage
Siedliska lasowe / Fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest			
H	0,12	0,57	0,45
Dbh	0,31	0,66	0,56
JH3	0,09	0,46	0,36
Lk	0,15	0,53	0,43
Wk	0,17	0,54	0,48
H/Dbh	-0,12	-0,45	-0,36
Lk/H	0,30	-0,26	0,01
Lk/Wk	-0,15	-0,14	-0,21
Siedliska borowe / Poor sites of mountain coniferous forest			
H	0,04	0,03	0,05
Dbh	0,17	-0,09	0,13
JH3	0,09	0,14	0,16
Lk	0,13	0,05	0,14
Wk	0,22	0,13	0,26
H/Dbh	-0,38	-0,25	-0,43
Lk/H	0,61	0,35	0,65
Lk/Wk	-0,24	-0,18	-0,28
Siedliska ostoi sosny zwyczajnej / Sites of Scots pine refuges			
H	0,24	0,04	0,24
Dbh	0,22	-0,01	0,21
JH3	0,04	-0,07	0,02
Lk	0,20	-0,01	0,18
Wk	0,24	0,05	0,24
H/Dbh	-0,22	-0,09	-0,24
Lk/H	-0,14	0,07	-0,14
Lk/Wk	0,24	-0,06	0,22

(H – wysokość, Dbh – pierśnica, Ih3 – trzyletni przyrost wysokości, Lk – długość korony, Wk – szerokość korony, H/Dbh – współczynnik smukłości, Lk/H – współczynnik udziału długości korony w wysokości drzew, Lk/Wk – współczynnik kształtu korony)

(H – height, Dbh – diameter at breast height, Ih3 – three-year height increment, Lk – crown length, Wk – crown width measured along the contour line, H/Dbh – slenderness coefficient, Lk/H – ratio of the crown length to tree heights, Lk/Wk – coefficient of crown shape)

niki atmosferyczne odnosiły się głównie do drzewostanów nieznanego pochodzenia. Były to szkody o bardzo intensywnym, wręcz katastrofalnym nasileniu, spowodowane głównie przez szadź. Miały one jednak zasięg lokalny i koncentrowały się w południowych partiach Beskidu Niskiego, głównie na grzbietach wzniesień zlokalizowanych w pobliżu przełęczy górskich (Capecki 1996, 1999; Ambroży 2007). Z kolei rozproszone szkody w sośninach wywołane przez wiatr lub okiść nasilały się wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza (Przybylska, Kucharzyk 1999; Przybylska, Zięba 2001; Zięba 2004). Zwiększanie się ryzyka hodowlanego starszych sośnin pochodzenia górskiego i podgórskiego na żyznych siedliskach dostrzegł Skrzyszewski (2001c). Badania wskazują, że na żyznych siedliskach ryzyko to jest obecne już od najmłodszych faz rozwojowych sosny. Osłabione uszkodzeniami drzewa są podatne na infekcje grzybowe i ataki szkodliwych owadów (Nykänen et al. 1997). Uszkodzenia koron powodują rozluźnienie zwarcia i zwiększony dostęp światła do niższych warstw roślinności. Może to zapoczątkować szereg procesów ważnych z punktu widzenia hodowli lasu, począwszy od wzrostu zachwaszczenia, aż po przemianę gatunkową drzewostanów (Kint 2005; Kint et al. 2006; Harmer, Morgan 2009).

Zarejestrowana na żyznych siedliskach w górach wzmocniona podatność odnowień sosnowych na porażenie przez grzyb *Gremmeniella abietina* ma związek nie tylko z osłabieniem uszkodzonych drzew. Jak wykazali Niemelä i in. (2008) istnieje zależność pomiędzy zagęszczeniem drzewostanu a porażeniem drzew i ich śmiertelnością. Wzrastającą wrażliwość sosny na patogen wraz ze zwiększającym się zagęszczeniem drzewostanu można wyjaśnić wzrostem ocienienia dolnych części koron i zmianą mikroklimatu (ocienienie związane jest ze wzrostem wilgotności). Na żyznych siedliskach drzewa szybciej osiągają większe rozmiary i dochodzą do zwarcia, stwarzając warunki do rozwoju chorób grzybowych (Zachara 2006; Jagodziński, Oleksyn 2009; Gil 2014).

Zwiększająca się wraz z rozwojem upraw i młodników podatność sosen, rosnących na żyznych siedliskach w górach, na szkody powodowane przez śnieg i szadź, skłania do zastanowienia się nad możliwościami kształtowania ich odporności na szkody atmosferyczne poprzez stosowanie odpowiednich zabiegów pielęgnacyjnych. W tym względzie zdania są podzielone. W odniesieniu do sosny nie sprawdza się pogląd większości autorów o korzystnym wpływie rzadkiej więźby na odporność drzew na szkody od śniegu (Abetz 1976; Johann 1981; Slodičák 1995). Korona sosny rosnącej w luźnym zwarciu ma tendencję do rozrostu na boki, co zwiększa ryzyko uszkodzeń, natomiast rozluźnienie zwarcia drzewostanu świerka skutkuje wzrostem stosunku korony do wysokości drzewa i w konsekwencji obniżeniem środka ciężkości pnia, co poprawia stabilność drzewa (Slodičák 1995). Dlatego też Skrzyszewski (2001c) zaleca utrzymywanie zwarcia w początkowym okresie wzrostu drzewostanu sosnowego. Jednak zbyt długie utrzymywanie wysokiego zwarcia wzmaga ryzyko znacznych szkód atmosferycznych, szczególnie w przypadku jego raptownego przerwania z powodów naturalnych

bądź wskutek niewłaściwie wykonanych zabiegów (Nykänen et al. 1997). Wskazuje to na potrzebę wykonywania umiarkowanych zabiegów pielęgnacyjnych w odnowieniach sosnowych, szczególnie w odniesieniu do bujnie rosnących sośnin na siedliskach lasowych w górach.

Hodowla sosny w górach nie jest wolna od zagrożeń związanych ze szkodami atmosferycznymi. Podobnym zagrożeniom w warunkach zmian klimatycznych podlegają sośniny w położeniach nizinnych (Orzechowski, Wójcik 2014), a mimo to nie rezygnuje się tam z hodowli tego gatunku. Jest to głównie wymuszone warunkami siedliskowymi (Sokolowski et al. 1997). Szkodom z powodu czynników atmosferycznych podlegają także gatunki lasotwórcze w Karpatach, a głównie świerk (Holuša et al. 2010). Dodatkowo dla gatunku tego szczególnie dotkliwe są przedłużające się okresy niedoboru wody w okresie wegetacyjnym, będące jednym z efektów zmian klimatycznych (Flannigan et al. 2000, Soja et al. 2007). W ostatnich dziesięcioleciach takie zjawiska stały się między innymi przyczyną klęskowego rozpadu świerczyn w Beskidach, a także osłabienia przyrostu i wzmoczonego wydzielania się posuszu w wielu innych drzewostanach świerkowych (Grodzki 2007). Spadek przyrostu i osłabienie może dotyczyć również niektórych drzewostanów jodłowych. Gatunek ten preferuje bowiem stanowiska o stabilnej i stosunkowo wysokiej wilgotności podłoża (Jaworski, Zarzycki 1983). Obserwowane zjawiska świadczą mogą o zachodzących zmianach warunków siedliskowych w górach, niekorzystnych dla wymienionych gatunków, a bardziej odpowiednich dla sosny, która lepiej znosi niedobory wody.

6. Wnioski

1. Pochodzące od „górskich ras” odnowienia sosny zwyżkowej w Krainie Karpackiej wykazują zróżnicowanie cech biometrycznych w zależności od żyzności siedliska. Na siedliskach lasowych parametry wzrostowe osiągane przez drzewa już w młodym wieku zwiększają ich podatność na uszkodzenia strzały i gałęzi przez czynniki atmosferyczne (śnieg, szadź).

2. Konsekwencją szybkiego osiągnięcia znacznych rozmiarów koron drzew sosen na siedliskach lasu górskiego i lasu mieszanego górskiego jest znaczne zagrożenie szkodami od śniegu i szadzi, wielokrotnie wyższe od zagrożenia na siedliskach borowych i na siedliskach ostoi sosny, które charakteryzują się skrajnymi warunkami wilgotnościowymi.

3. Szybkie dochodzenie do zwarcia odnowień sosnowych na siedliskach lasowych sprzyja ich podatności na porażenie przez grzyb *Gremmeniella abietina*, którego występowanie tutaj jest wielokrotnie wyższe niż na siedliskach borowych i na siedliskach ostoi sosny.

4. Zwiększenie możliwości wystąpienia szkód powodowanych przez czynniki atmosferyczne wraz ze wzrostem drzew, rozbudowywaniem się ich koron na siedliskach lasowych w górach, znacznie zwiększa ryzyko hodowlane, w porównaniu z odnowieniami sosnowymi na pozostałych badanych kategoriach siedlisk.

5. W związku z wysokim ryzykiem hodowlanym należy unikać wprowadzania odnowień sosnowych, nawet pochodzących od ras górskich tego gatunku, na siedliska lasu górskiego i lasu mieszanego górskiego, również w formie przedplonów na gruntach porolnych.

5. W odnowieniach sosnowych należy prowadzić cięcia pielęgnacyjne o umiarkowanym nasileniu, z częstymi nawrotami, bez zbytniego rozluźniania zwarcia, co – zwłaszcza na żyznych siedliskach – powoduje rozbudowę koron sosen i zwiększa ryzyko wystąpienia szkód powodowanych przez czynniki atmosferyczne. W trakcie wykonywania cięć należy zwracać uwagę na ograniczanie ekspansji gatunków konkurujących z sosną, głównie świerka, brzozy, osiki i wierzby.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania

Badania zrealizowano w ramach tematu 240511 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2016–2018.

Literatura

- Abetz P. 1976. Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d-Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad. *Der Forst- und Holzwirt* 31(19): 389–393.
- Ambroży S. 2007. Stan, tendencje rozwoju i zagrożenia przedplonowych drzewostanów sosnowych na gruntach porolnych w Karpatach. Materiały Międzynarodowej Konferencji Quo vadis, forestry? 29–30 czerwca 2006 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 303–315. ISBN 978-83-87647-58-6.
- Białobok S. 1970. Sosna w lasach Polski od późnego glaciału po czasy współczesne, w: Białobok S. (red.) Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. PWN, Warszawa-Poznań, 20–54.
- Capecki Z. 1996. Zagrożenie przedplonowych sośnin na gruntach porolnych w Karpatach. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 58: 65–74.
- Capecki Z. 1999. Specyfika zdrowotności drzewostanów wschodniej części Karpat. *Sylwan* 143(7): 81–88.
- Flannigan M.D., Stocks B.J., Wotton, B.M. 2000. Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment* 262: 221–229.
- Gil W. 2014. Wpływ więzby sadzenia na wzrost i przeżywalność sosny zwyczajnej w okresie około 40 lat od założenia uprawy w zróżnicowanych warunkach siedliskowych. *Leśne Prace Badawcze* 75(2): 117–125. DOI 10.2478/frp-2014-0011.
- Grodzki W. 2007. 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.
- Harmer R., Morgan G. 2009. Storm damage and the conversion of conifer plantations to native broadleaved woodland. *Forest Ecology and Management* 258: 879–886. DOI 10.1016/j.foreco.2009.03.023.
- Holtmeier F.K., Broll G. 2011. Response of Scots Pine (*Pinus sylvestris*) to Warming Climate at Its Altitudinal Limit in Northernmost Subarctic Finland. *Artic* 64(3): 269–280.
- Holuša J., Krístek Š., Trombik J. 2010. Stability of spruce forests in the Beskids: an analysis of wind, snow and drought damages. *Beskydy* 3(1): 43–54.
- Jagodziński A.M., Oleksyn J. 2009. Ekologiczne konsekwencje hodowli drzew w różnym zagęszczeniu. III. Stabilność drzewostanu, fitoklimat i różnorodność biologiczna. *Sylwan* 153(4): 219–230.
- Jaworski A., Zarzycki K. 1983. Ekologia, w: Białobok S. (red.) *Jodła pospolita Abies alba* Mill. PWN, Warszawa-Poznań, 317–430.
- Jentsch A., Beierkuhnlein C. 2008. Research frontiers in climate change: Effects of extreme meteorological events on ecosystems. *Comptes Rendus Geoscience* 340: 621–628. DOI 10.1016/j.crte.2008.07.002.
- Johann K. 1981. Nicht schnee, sondern falsche Bestandesbehandlung verursacht Katastrophen. *Allgemeine Forstzeitung* 92(5): 163–171.
- Kaczka R., Brzęk Ł., Czajka B. 2012. Wpływ czynników klimatycznych na wzrost sosny pospolitej w Tatrach Reglowych. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 14(1): 84–90.
- Kint V. 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 214: 237–250. DOI 10.1016/j.foreco.2005.04.014.
- Kint V., Geudens G., Mohren G.M.J., Lust N. 2006. Silvicultural interpretation of natural vegetation dynamics in ageing Scots pine stands for their conversion into mixed broadleaved stands. *Forest Ecology and Management* 223: 363–370. DOI 10.1016/j.foreco.2005.11.018.
- Niemelä P., Lindgren M., Uotila A. 2008. The effect of stand density on the susceptibility of *Pinus sylvestris* to *Gremmeniella abietina*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7: 129–133. DOI 10.1080/02827589209382705.
- Nykänen M-L., Peltola M., Quine C., Kellomäki S., Broadgate M. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica* 31(2): 193–213.
- Orzechowski M., Wójcik R. 2014. Regionalne zróżnicowanie ryzyka wystąpienia uszkodzeń drzewostanów w Polsce. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 16(39) /2A/: 44–54.
- Pancer-Kotejowa E. 1973. Zbiorowiska leśne Pienińskiego Parku Narodowego. *Fragmenta Floristica Geobotanica* 19(2): 197–258.
- Przybylska K., Kucharzyk S. 1999. Skład gatunkowy i struktura lasów Bieszczadzkiego Parku Narodowego, w: Monografie Bieszczadzkie T. VI, 7–159. ISBN 83-910460-3-6.
- Przybylska K., Zięba S. 2001. Procesy renaturalizacyjne w drzewostanach Bieszczadzkiego Parku Narodowego, w: Roczniki Bieszczadzkie 9, 117–139. ISBN 83-8505-25-4.
- Skrzyszewski J. 2001a. Ogólna charakterystyka sosen i dolnoregłowych drzewostanów sosnowych w Karpatach i Sudetach. *Acta Agraria et Silvestria, series Silvestris* 39: 63–96.
- Skrzyszewski J. 2001b. Zmienność cech morfologicznych szyszek w drzewostanach sosnowych Karpat i Sudetów. *Acta Agraria et Silvestria, series Silvestris* 39: 97–122.
- Skrzyszewski J. 2001c. Zróżnicowanie cech morfologicznych i przyrostowych sosny zwyczajnej w Karpatach i Sudetach. *Acta Agraria et Silvestria, series Silvestris* 39: 123–160.
- Ślodićak M. 1995. Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage, w: Coutts M.P., Grace I. [red.]. Wind and trees. Cambridge University Press, 436–447.
- Soja A.J., Tchebakova N.M., French N.H.F., Flannigan M.D., Shugart H.H., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Parfenova E.I., Chapin F.S., Stackhouse Jr.P. W. 2007. Climate-induced boreal forest change:

- Predictions versus current observations. *Global and Planetary Change* 56: 274–296. DOI 10.1016/j.gloplacha.2006.07.028.
- Sokołowski A.W., Kliczkowska A., Grzyb M. 1997. Określenie jednostek fitosocjologicznych wchodzących w zakres siedliskowych typów lasu. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa B* 32: 3–55.
- Staszkiwicz J. 1970. Systematyka i zmienność, w: Białobok S. (red.) *Sosna zwyczajna Pinus sylvestris L.* PWN, Warszawa-Poznań, 55–77.
- Staszkiwicz J., Szelaż Z. 2003. Flora i roślinność rezerwatu "Bór na Czerwonym" w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej (Karpaty Zachodnie). *Fragmenta Floristica Geobotanica Polonica* 10: 67–91.
- StatSoft, Inc. 2009. Statistica for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., <http://www.statsoft.com> [2.04.2019].
- Urbaniak L., Vončina G. 2008. Charakterystyka sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris L.* z Sokolicy, Kazalnicy i Czertezika w cechach morfologicznych igieł. *Pieniny – Przyroda i Człowiek* 10: 19–26.
- Usbeck T., Wohlgemuth T., Dobbertin M., Pfister C., Bürgi A., Rebetez M. 2010. Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 47–55. DOI 10.1016/j.agrformet.2009.08.010.
- Van Aalst M.K. 2006. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters* 30(1): 5–18.
- Zachara T. 2006. Problem szkód w lasach powodowanych przez śnieg i wiatr oraz sposoby przeciwdziałania im. *Sylwan* 150(10): 56–64.
- Zięba S. 2004. Wpływ położenia górskich drzewostanów przedpłonowych na dynamikę ich przebudowy. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3(2): 101–114.

Wkład autorów

S.A. – koncepcja artykułu, prace terenowe, opracowanie wyników, napisanie pracy; M.K. – prace terenowe, analiza statystyczna.

Regeneration of Scots pine *Pinus sylvestris* L. in the Carpathians depends on site fertility

Sławomir Ambroży* , Mariusz Kapsa 

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

*Tel. +48 12 2528208, e-mail: S.Ambrozy@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of this work was to determine the biometric features of Scots pine *Pinus sylvestris* L. regeneration in terms of their susceptibility to weather-inflicted damage. We compared the damage between three sites located in the Polish part of the Carpathians: Scots pine planted in (I) fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest, (II) poor sites of mountain coniferous forest and (III) sites of Scots pine natural refuges during the post-glacial period. In each of the three sites of pine regeneration, 11 research plots were established with 50 pine trees on each plot. For each tree, the following biometric measurements were taken: diameter at breast height, height, 3-year height increment, crown length and crown width measured along the contour line. The Scots pine regeneration was found to vary in terms of their biometric features depending on the site fertility. In fertile sites, the biometric parameters of the trees increased at a faster rate compared to low-fertility sites causing an increase in their susceptibility to damage by adverse weather conditions such as snow and rime. Therefore, the silvicultural risk in fertile sites is high and thus the introduction of pine for regeneration should be avoided in fertile broadleaved and mixed broadleaved forests even if pine provenances from a mountain origin are to be planted. Furthermore, tending cuts in regeneration should be made frequently, but with moderate intensity so as to avoid excessive reductions in tree density. Intensive cuts, especially in fertile sites, promote the expansion of pine crowns, which further increases the risk of damage.

Keywords: mountain region, site conditions, biometric features, damage to trees, damaging agents

1. Introduction

In Poland's mountainous regions, there occur Scots pine *Pinus sylvestris* L. races ('hercyńska' and 'karpacka') that are well adapted to local climate. The 'karpacka' Scots pine occurs in the Tatra Mountains and Pieniny Mountains, as well as in the Kotlina Nowotarska region (the so-called 'Podhale' Scots pine). Dispersed 'mountain' Scots pine sites are situated at an altitude of 750 m a.s.l. in the Beskid Mountains, the Beskid Sądecki Mountains and the Wyspowy Beskid Mountains (the so-called 'wdziarowa' Scots pine) (Staszkievicz 1970).

Scots pine refuges from the post-glacial period, which are reservoirs of the aforesaid 'mountain' pine provenances, occur in the specific mountain habitats with boundary soil moisture conditions (Białobok 1970; Pancer-Kotejowa 1973; Staszkievicz, Szelağ 2003; Urbaniak, Vončina 2008; Kaczka et al. 2012). Calcicolous *Pinus sylvestris* forests of

a relict nature occupy steep slopes with shallow, skeletal soils and rapid rainwater drainage (Pancer-Kotejowa 1973). Swamp forests with Scots pine usually grow within flat areas with a peat ground, situated at the bottom of mountain valleys (Staszkievicz, Szelağ 2003).

Scots pine plantations of mountain provenances have been currently established in the mountainous regions, even in fertile broadleaved and mixed broadleaved forests sites, where several-year-old Scots pine trees show enhanced annual height increment. This may cause their increased susceptibility to weather-inflicted damage. Hence, the question arises whether Scots pine regeneration growing on fertile post-agricultural lands or that artificially introduced onto forest lands is able to retain favourable features of Scots pine mountain provenances. This issue has gained much importance in the context of possible augmentation of Scots pine share in forest stands grown in the mountain and foothill regions, which may be forced by now progressing changes in

Received: 24.05.2019 r., accepted after revision: 6.09.2019 r.

environmental conditions. Currently, the most visible symptom of environmental changes is an increased frequency of extreme weather events with impacts on forest tree species (Van Aalst 2006; Jentsch, Beierkuhnlein 2008; Usbeck et al. 2010; Holtmeier, Broll 2011).

It seems that the main factor limiting the role of Scots pine in the Carpathians is this species susceptibility to mechanical damage associated with extreme weather events (e.g. snow loads, rime and strong winds). This study was undertaken to determine the biometric features affecting tree resistance to weather-inflicted damage in regeneration of Scots pine mountain provenances. The weather-inflicted damages in Scots pine young generation planted within fertile forest sites (broad-leaved forest and mixed broadleaved forest) in the Carpathian Mountains were compared with those in Scots pine regeneration growing on the Carpathian poor coniferous forest sites and Scots pine regeneration in natural refuges from the post-glacial period (with boundary moisture conditions). Evaluation of the extent to which site conditions affect the resistance of Scots pine progenies of mountain provenances ('mountain races') to abiotic damage can help to reduce the silvicultural risk associated with Scots pine regeneration in the mountains.

2. Material and methods

The study was carried out in the years 2016–2018, in the Polish part of the Carpathian Mountains. Not yet managed mountain Scots pine regenerations with specific features, that is comparatively lower growth rates and higher resistance levels to abiotic damage as compared to other Scots pine ecotypes, were examined (Skrzyszewski 2001c). The young trees under the study were those planted compliant with the principles of seed regionalisation (planting material was obtained from seeds of the mountain Scots pine ecotype, Table 1), as well as naturally regenerating mountain Scots pine trees of various age, observed both within protected areas (the national park, nature reserves – established among others to preserve mountain Scots pine ecotypes and their habitats) and in the managed forests in the Kotlina Nowotarska region (the 'Podhale' Scots pine).

Three categories of Scots pine regeneration in the mountains were chosen for further analyses: (I) regeneration in fertile broadleaved and mixed broadleaved forests, (II) regeneration in poor coniferous sites and (III) regeneration in specific (extremely dry or swampy) sites. In each category, 11 study objects were selected (33 objects in total). In each of

Table 1. Seed stands of Scots pine in the Carpathians, based on National Register of Forest Basic Material (<http://semen.bn.l.gov.pl>)

No	Forest District	Forest Subdistrict	Forest Compartment	Geographical coordinates	Altitude a.s.l. [m]	Age [years]
1	Bielsko	Straconka	37 b	19°06'–19°06' E 49°48'–49°48' N	540–680	92
2	Węg. Górka	Zielona	145 b	19°07'–19°07' E 49°37'–49°37' N	450–650	87
3	Węg. Górka	Kamesznica	251 i	18°59'–18°59' E 49°34'–49°34' N	600–600	147
4	Jelesnia	Ślemień	203 d	19°25'–19°25' E 49°45'–49°45' N	575–625	147
5	Sucha	Tarnawa	176 b	21°00'–21°00' E 53°15'–53°15' N	550–550	170
6	Sucha	Welcza	433 b	19°32'–19°32' E 49°39'–49°39' N	650–750	85
7	Sucha	Roztoki	228 a	20°27'–20°27' E 53°44'–53°44' N	625–725	145
8	Myślenice	Toporzysko	501 a	19°47'–19°47' E 49°36'–49°36' N	598–598	122
9	Nowy Targ	Bór	119 g	20°01'–20°01' E 49°27'–49°27' N	600–625	156
10	Nowy Targ	Bór	116 c	20°01'–20°01' E 49°27'–49°27' N	600–625	156
11	Stary Sącz	Chelmiec	336 g	20°36'–20°36' E 49°29'–49°29' N	470–560	120
12	Stary Sącz	Przyszowa	27 c	20°29'–20°29' E 49°33'–49°33' N	410–650	115
13	Nawojowa	Florynka	111 b	21°01'–21°01' E 49°33'–49°33' N	440–520	76
14	Nawojowa	Królowa Górna	28 a	20°52'–20°52' E 49°35'–49°35' N	520–580	76
15	Nawojowa	Królowa Górna	24 a	20°53'–20°53' E 49°35'–49°35' N	620–740	71
16	Lesko	Średnia Wieś	191 b	22°19'–22°19' E 49°24'–49°24' N	385–490	115
17	Ustrzyki Dolne	Leszczowate	58 g	22°31'–22°31' E 49°30'–49°30' N	540–540	101

the objects, test plots were established with randomly selected 50 adjacent trees. The plot perimeter and acreage were determined in each case. Because of site diversity (micro-habitats in the study area) obtainable information on the study sites was verified in the field, with special focus on the test plots.

The test plots were situated in the lower mountain zone (approximately 480–1040 m a.s.l.). The category I plots (fertile broadleaved and mixed broadleaved forest sites) were located in the Forest Districts: Wisła (sub-districts: Czarne, forest division (fd) 8b and Bukowiec, fd 146d); Ujsoły (sub-district Sól, fd 92a, 94b, 104b, 105a, 106a); Piwniczna (sub-districts: Majdan, fd 162c and Jastrzębik, fd 177i, 185c, 186c). The category II plots (coniferous forest sites) were established in the Forest Districts: Wisła (sub-district Malinka, fd 142i); Węgierska Górka (sub-district Sikorzane, fd 177b); Nowy Targ (sub-districts: Bór, fd 118b, d, f, g, 119g and Stańcowa, fd 267a, 268a plus privately owned forests supervised by the State Forests, fd 7l, 15b). The category III plots (Scots pine natural refuges) were established in the Forest District Nowy Targ (sub-district Bór – the Nature Reserve Bór na Czerwonem – two plots, fd 108b, 108f plus supervised private forests, fd 1b, 2a, 16c, d), the Forest District Krościenko (supervised private forests, fd 9cx plus the Nature Reserve Przełom Białki pod Krempachami, fd 2d) and the Pieniński National Park (the Macelowa Góra Protection District, fd 411 – two plots).

The fieldworks on all the study plots included the measurement of Scots pine biometric features, determination of population numbers of admixture tree species to verify the factual tree density on the study plots and evaluation of damages in Scots pine trees under the study.

The measured biometric features of the observed Scots pine trees included the diameter at breast height (DBH), tree height (H), 3-year height increment (Ih3), crown length (Lk) and crown width measured along the contour line (Wk). For each tree examined, damages due to deer (browsing, fraying trees with antlers, bark stripping), snow load and rime (observed both on tree stems and whorls) were quantitatively determined. The numbers of trees infested by insect pests and infected by pathogenic fungi were determined on each study plot. Based on the measurement data, tree slenderness coefficients (H/DBH), tree crown length/tree height ratios (Lk/H) and crown shape coefficients (Lk/Wk) were calculated. On each study plot, tree densities were assessed – main and admixture species combined per hectare (ha).

The final assessment of the site effects on the biometric features of Scots pine regeneration was based on the results of the Kruskal–Wallis test (Statistica 9 software, StatSoft Inc. 2009), carried out with the assumed significance level $\alpha \leq 0.05$. For each of the examined Scots pine regenerations, the Pearson correlation coefficients of the biometric features and the mean snow and rime damage/tree/site were calculated.

3. Biometric features of Scots pine regeneration

Within the Carpathian fertile forest sites, Scots pine young plantations (artificial regeneration) were at the age of 5–13 years (Table 2). On several test plots, natural regeneration of admixture species accompanying Scots pine enhanced high density of the plantation (Table 3). The maximum tree density was 15500 specimen/ha. Nine admixture species were recorded, of which the populations of Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst, silver birch *Betula pendula* Roth, common aspen *Populus tremula* L. and goat willow *Salix caprea* L. were the most abundant.

Due to a high growth rate in Scots pine regeneration on the fertile forest sites, young trees at the age of 13 years achieved the average DBH of almost 10 cm and their mean height was 6.7 m. The greatest 3-year height increment observed was 222 cm (plot No. 9). Trees growing on the fertile sites produced large crowns (the mean width of almost 1.7 m), which showed a considerable share in the total tree height (the mean crown length/tree height ratio Lk/H calculated for all the fertile forest plots was 0.69). The crowns had an oval, vertically elongated shape. The mean crown shape coefficient Lk/Wk calculated for all the fertile plots was 1.45, and the mean tree slenderness coefficient was 79.

The observed Scots pine trees growing in the Carpathian coniferous forest sites originated both from artificial and natural regeneration. Planted Scots pine trees were 5–8 years old, whereas those naturally regenerating were 5–20 years old, depending on the plot (Table 2). On several plots, young forest density was affected by not only admixture species (Table 3) but also specimens from natural Scots pine regeneration. Naturally regenerating Scots pine trees typically occurred in the groups of various sizes, and their numbers per area units were greater in comparison with Scots pine trees planted following artificial regeneration standards. The growth rate of Scots pine planted on coniferous sites was much lower when compared to that on fertile sites. Even with the presence of 20-year-old Scots pine specimens, all the analysed biometric features (H, DBH, Lk, Wk, Ih3) showed significantly lower mean values (Figure 1a, b, c, d, e) at $p < 0.05$ (Kruskal–Wallis test) when compared to those obtained in fertile sites. Also, the mean values of the coefficients of tree slenderness (H/DBH) and crown shape (Lk/Wk) clearly indicated slender Scots pine trees with narrow crowns, significantly different ($p < 0.05$) in terms of these features from Scots pine trees growing in the fertile forest sites (Figure 1f, h). Nonetheless, the differences found between crown length/tree height ratios (Lk/H) in coniferous and fertile forest sites (Figure 1g) were not statistically significant ($p = 0.2710$).

Scots pine regenerations analysed on the plots established within the refuges of this species were exclusively of natural origin. Depending on the study plot, the tree age ranged con-

Table 2. Mean values of selected biometric features of Scots pine trees on research plots established in regeneration

Plot no	A	N	Dbh [cm]	H [cm]	Ih3 [cm]	Lk [cm]	Wk [cm]	H/Dbh	Lk/H	Lk/Wk
Fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest										
1	6	9419	1.8	156	123	122	94	97	0.78	1.35
3	8	10833	4.5	315	192	225	145	75	0.70	1.56
6	7	15538	4.3	273	181	200	144	67	0.73	1.42
7	6	14150	3.2	246	158	166	122	83	0.67	1.37
8	8	12000	5.1	356	212	255	180	75	0.71	1.44
9	7	7586	6.3	405	222	304	215	66	0.75	1.46
10	5	6458	1.4	126	92	95	67	104	0.75	1.52
11	8	4301	3.9	265	150	197	150	81	0.72	1.38
12	13	2571	9.9	672	207	392	285	75	0.58	1.49
13	10	5417	6.7	482	204	281	201	78	0.57	1.48
15	11	4880	7.7	529	207	323	244	73	0.61	1.51
Mean		8468	5.0	348	177	233	168	79	0.69	1.45
Poor sites of mountain coniferous forest										
2	8	8400	3.2	225	122	183	118	76	0.80	1.56
4	7	9063	2.5	198	117	162	106	86	0.81	1.54
16	5–15	6538	1.9	216	77	155	78	163	0.71	1.96
17	5–15	19302	2.1	236	90	163	72	161	0.66	2.23
18	5–12	17063	2.2	250	114	170	87	144	0.66	2.14
19	5–12	22462	2.2	240	97	153	84	151	0.59	1.81
20	5–10	13492	1.6	211	69	122	67	183	0.56	1.87
21	5–12	14093	2.9	310	112	199	118	140	0.61	1.69
22	5–10	8443	2.1	230	111	176	91	138	0.75	2.04
23	5	7356	1.2	104	73	86	64	135	0.82	1.37
24	5–20	8125	2.4	218	73	166	88	149	0.74	2.04
Mean		12212	2.2	222	96	158	89	139	0.70	1.84
Sites of Scots pine refuges										
25	10–25	7371	4.3	371	81	233	126	125	0.61	1.82
26	5–20	3810	3.9	342	117	260	125	122	0.72	2.02
27	5–20	3226	4.5	423	94	272	139	121	0.62	1.92
28	10–30	9355	3.8	360	42	208	108	115	0.56	2.02
29	10–30	7969	2.0	181	28	98	72	163	0.52	1.30
30	10–30	6173	2.1	174	47	107	74	139	0.59	1.42

Plot no	Spruce	Birch	Aspen	Willow	Rowan	Beech	Oak	Larch	Fir	Total
21	3560	2967	-	148	-	-	-	-	-	6675
22	925	1735	-	-	-	-	-	-	-	2660
23	1609	-	-	-	-	-	-	-	-	1609
24	-	313	-	-	-	-	-	-	-	313
Total	24009	7084	-	1322	469	1671	133	-	758	35446
Sites of Scots pine refuges										
25	283	-	-	-	-	-	-	-	-	283
26	1008	-	-	-	-	-	-	-	-	1008
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	1290	-	-	-	-	-	-	-	-	1290
29	156	-	-	-	-	-	-	-	-	156
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	2737	-	-	-	-	-	-	-	-	2737

siderably (lower age limit: 5–10 years and upper age limit: 20–50 years) (Table 2). The share of admixture species affected regeneration density to a comparatively small extent.

The majority of the plots analysed in Scots pine refuges were free of admixture species, and on the remaining ones there exclusively occurred more than a few Norway spruce specimens (spontaneous admixture) (Table 3). The older Scots pine specimens (50 years old) were included into the calculations for the biometric features; thus in comparison with the examined within the coniferous sites, the mean values of H and DBH were significantly higher ($p = 0.0381$, $p = 0.0006$, respectively) (Figure 1a, b). At the same time, the significantly lower ($p < 0.001$) values of the mean Ih3 indicated comparatively very slow growth of the trees in the relict sites (Figure 1c). When compared to Scots pine trees growing in the coniferous sites, the differences in Lk and Wk) were not significant ($p = 0.0863$, $p = 1.0000$, respectively) (Figure 1d, e). Scots pine trees growing within the refuge sites were as slender (H/DBH) as those in the conife-

rous sites ($p = 1.0000$) (Figure 1f) and built significantly ($p < 0.001$) shorter crowns in relation to the stem length (Lk/H) (Figure 1g). Therefore, their shape was comparatively less elongated (the significantly lower value of the crown shape coefficient, $p < 0.001$) as compared to that of Scots pine trees growing in the coniferous sites (Figure 1h).

Scots pine regeneration in the natural refuges showed significantly ($p < 0.001$) different values of all the analysed parameters (H, DBH, Ih3, Lk, Wk, H/DBH, Lk/H, Lk/Wk) when compared to the trees examined on the fertile forest sites (Figure 1a–h).

4. Damage to Scot pine regeneration

Damage due to many factors was observed on all the studied Scots pine regeneration plots. Damages to biotic factors included those caused by deer (browsing, fraying trees with antlers, bark stripping), pest insect infestations (mainly foliophages) and diseases due to pathogenic fungi (*Gremme-*

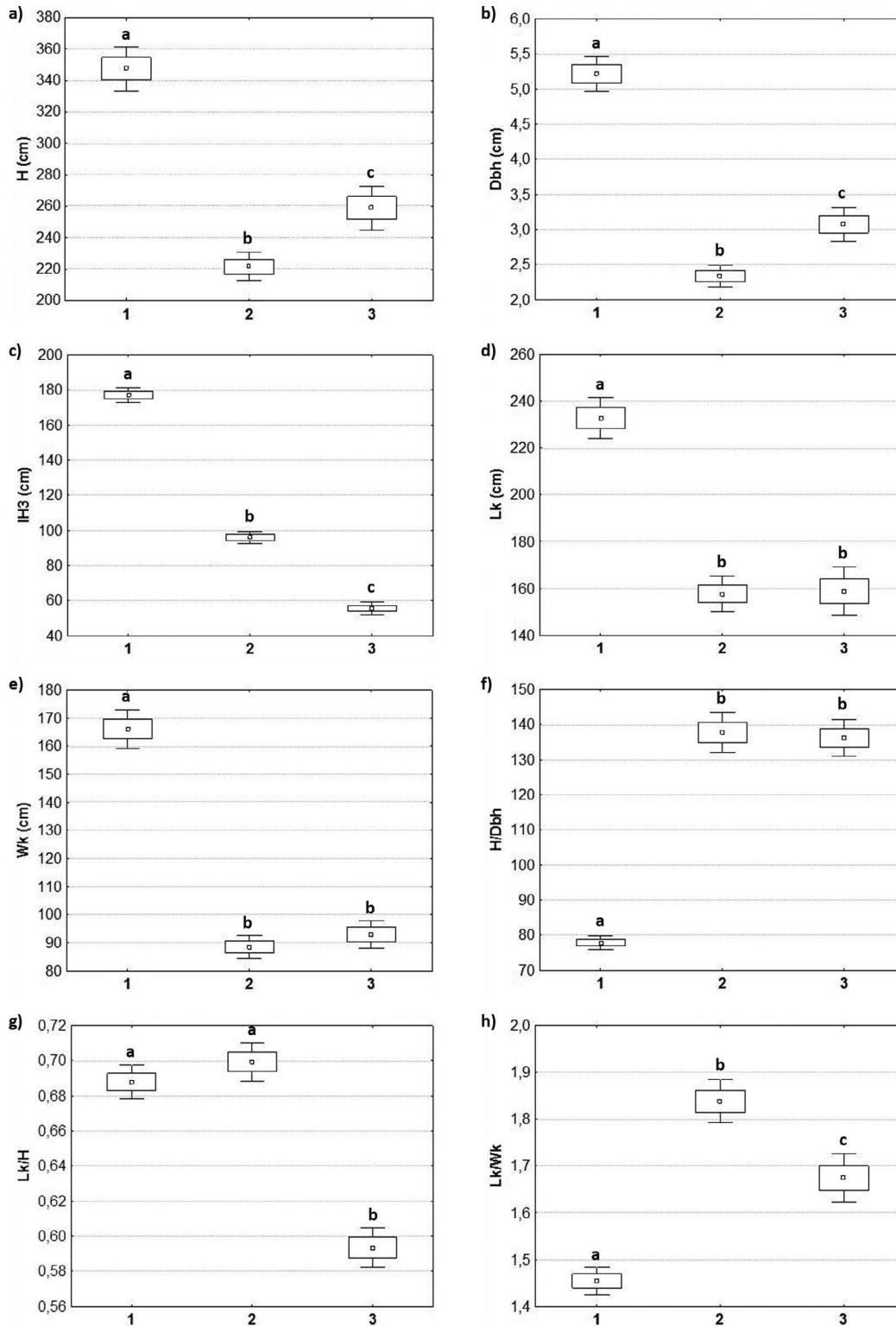


Figure 1. Mean, mean \pm standard error and mean \pm 1.96*standard error of: a) height (H), b) diameter at breast height (Dbh), c) three-year height increment (Ih3), d) crown length (Lk), e) crown width (Wk), f) slenderness coefficient (H/Dbh), g) ratio of the crown length to tree heights (Lk/H), h) coefficient of crown shape (Lk/Wk) of pine regeneration, depending on the site: 1 – fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest, 2 – poor sites of mountain coniferous forest, 3 – sites of Scots pine natural refuges (different letters indicate significant differences)

niella abietina and *Armillaria* sp.). Abiotic factors included snow loads and rime leading to mechanical damage to the tree top and/or lateral branches. Some trees were damaged due to more than one factor (e.g. deer-damaged stems and snow-broken tops).

The observations conducted on the study plots established within the fertile sites showed a significant number of Scots pine trees infested by pathogenic fungi that caused needle discolouration and drop (59% of the total number of examined trees). Damages due to snow loads and rime were observed on the stems of 34% of the examined trees, and on the side branches – in 31% of trees. Deer damage due to bark stripping was most often observed (13%) (Figure 2). A positive correlation was found between the number of Scots pine whorls broken due to weather impacts and the biometric features of trees, such as DBH, H, Lk and Wk (Table 4). The total number of damages to tree stems and branches as a result of weather factors was positively correlated with tree DBH.

The results obtained in the coniferous sites showed considerable tree damage due to deer (bark stripping – 18% trees). Damages due to snow loads, rime, fungi and insects were less abundant (Figure 2). In the coniferous sites, weather-inclined damage (snow load, rime) correlated with no biometric feature, and the only relationship found was a positive correlation between the number of tree stem damages (as well as stem plus whorl damage in total) and the crown length/tree height ratio (Lk/H) (Table 4).

On the whole, the results of the observations carried out within the Scots pine refuges showed very low damage levels in Scots pine regeneration (a few percent of the total number of the trees under the study) (Figure 2). Damages due to deer were noted (bark stripping – 6% of all the examined trees). Needle discolouration and drop due to fungi infestation were observed in 6% of the total number of trees examined. Weather-inclined damage (snow load, rime) correlated neither with the biometric features nor with the coefficients calculated based on the values obtained during measurements (Table 4).

5. Discussion

The results of this study showed considerable differentiation of the biometric features in not tended mountain Scots pine regeneration in the Carpathian Mountains, depending on the site conditions. The biometric features of Scots pine growing in the Carpathians were previously analysed in older age classes and concerned various provenances of this species (Skrzyszewski 2001a, b, c). The earlier gained knowledge can be supplemented by now presented description of the selected biometric features of Scots pine young generation derived from mountain Scots pine prove-

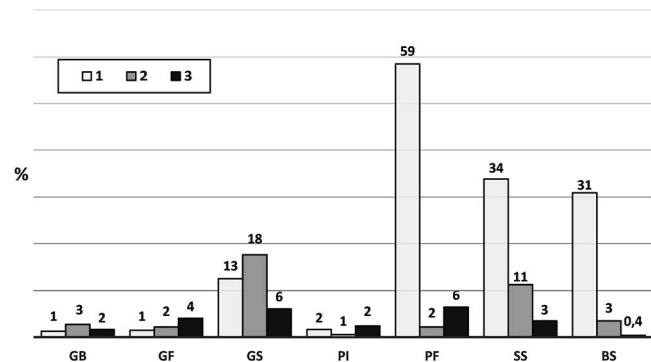


Figure 2. Percentage of trees damaged on research plots located in pine regeneration in fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest (1), poor sites of mountain coniferous forest (2) and sites of Scots pine natural refuges (3)

(GB – browsing, GF – fraying trees with antlers, GS – bark stripping, PI – damage caused by pest insects, PF – damage caused by pathogenic fungi, SS – stem damage caused by snow or rime, BS – branches damage caused by snow or rime)

nances adapted to the Carpathian conditions. The tendency of developing features less favourable in terms of resistance to weather-inflicted damage, observed in above-mentioned Scots pine older stands growing on fertile forest sites, was confirmed in the case of Scots pine regeneration examined in this study (albeit the trees under the study constituted the progeny of mountain Scots pine provenances).

The ability of young generation to preserve the biometric features favourable in terms of resistance to weather-inflicted damage, observed on other sites tested under the conditions of this study, is particularly important in Scots pine refuges, first of all – for preservation of the continuity of this species in the mountains. The lack of competition of other tree species is also of great importance in the latter sites, especially for young Scots pine trees, which was also confirmed by this study. The results obtained are consistent with those reported by other authors (Pancer-Kotejowa 1973; Skrzyszewski 2001a; Staszkiwicz, Szeląg 2003). The ability of Scots pine to naturally regenerate on poor coniferous sites was proven by Skrzyszewski (2001a); however, as the results of this study showed, in many cases, young Scots pine trees must compete with expansive Norway spruce regeneration.

The considerable weather-inflicted damage observed in regeneration of Scots pine (derived from mountain provenances) within the fertile forest sites was the consequence of the development of less favourable tree biometric features in terms of resistance to snow loads and rime. Damage caused by weather factors to Scots pine in the Carpathians was reported in the second half of the last century, and then it related mainly to Scots pine stands of unknown provenances. At that

Table 4. Value of Pearson correlation coefficients between selected biometric features of trees in regeneration and the number of damage caused by snow and rime per tree (coefficients indicating the existence of correlation have been distinguished)

	Stem damage	Branches damage	Total damage
Fertile sites of mountain broadleaved and mixed broadleaved forest			
H	0.12	0.57	0.45
Dbh	0.31	0.66	0.56
JH3	0.09	0.46	0.36
Lk	0.15	0.53	0.43
Wk	0.17	0.54	0.48
H/Dbh	-0.12	-0.45	-0.36
Lk/H	0.30	-0.26	0.01
Lk/Wk	-0.15	-0.14	-0.21
Poor sites of mountain coniferous forest			
H	0.04	0.03	0.05
Dbh	0.17	-0.09	0.13
JH3	0.09	0.14	0.16
Lk	0.13	0.05	0.14
Wk	0.22	0.13	0.26
H/Dbh	-0.38	-0.25	-0.43
Lk/H	0.61	0.35	0.65
Lk/Wk	-0.24	-0.18	-0.28
Sites of Scots pine refuges			
H	0.24	0.04	0.24
Dbh	0.22	-0.01	0.21
JH3	0.04	-0.07	0.02
Lk	0.20	-0.01	0.18
Wk	0.24	0.05	0.24
H/Dbh	-0.22	-0.09	-0.24
Lk/H	-0.14	0.07	-0.14
Lk/Wk	0.24	-0.06	0.22

(H – height, Dbh – diameter at breast height, Jh3 – three-year height increment, Lk – crown length, Wk – crown width measured along the contour line, H/Dbh – slenderness coefficient, Lk/H – ratio of the crown length to tree heights, Lk/Wk – coefficient of crown shape)

time, the damage was disastrously severe and mainly caused by rime. Nonetheless, the stands were damaged at a local level, in the southern parts of the Beskid Niski Mountains, for the most part on mountain ridges located near the passes (Capecki 1996, 1999; Ambroży 2007). Scattered damage to Scots pine trees due to strong winds or snow loads increased with altitude (Przybylska, Kucharzyk 1999; Przybylska, Zięba 2001; Zięba 2004). Skrzyszewski (2001c) noticed an increase of the silvicultural risk in older mountain and sub-mountain Scots pine plantations established on fertile forest sites. This study indicated that this risk was posed to the youngest developmental stages of Scots pine growing within the fertile sites examined. Weakened trees are susceptible to fungal infections and infestations by harmful insects (Nykänen et al. 1997). Crown damage leads to increased light access to the lower vegetation layers. This can initiate a number of processes important in view of silvicultural practice – from weed expansion to transformation of stand species composition (Kint 2005; Kint et al. 2006; Harmer, Morgan 2009).

The susceptibility of Scots pine regeneration to *Gremmeniella abietina* infection, observed in the fertile mountain sites, was not only a result of the weakening of injured trees. As demonstrated by Niemelä et al. (2008), there is a relationship between stand density and fungal diseases followed by tree mortality. The sensitivity of Scots pine to *Gremmeniella abietina* increases in high-density stands, where lower crown parts are more and more shaded, which is followed by changes of microclimate and humidity conditions more favourable for pathogen spreading. When growing within fertile forest sites, Scots pine trees reach larger sizes comparatively faster and build compact stands, which both provide favourable conditions for the development of fungal diseases (Zachara 2006; Jagodziński, Oleksyn 2009; Gil 2014).

The susceptibility of Scots pine trees growing in the fertile mountain sites to damage due to snow load and rime, increasing with the plantation age, invites consideration of a possibility to shape tree resistance to weather-inclined damage through the use of appropriate management treatments. As far as Scots pine is concerned, it has been generally believed that low stand densities have beneficial effects on tree resistance to snow damage; however this approach fails in many cases (Abetz 1976; Johann 1981; Slodičák 1995). Under the conditions of low stand density, Scots pine crowns tend to expand sideways, which increases the risk of weather-inclined damage. On the contrary, in the case of Norway spruce low stand density supports the increase of the crown/tree height ratio, which results in lowering tree centre of gravity and, thus, improves tree stability (Slodičák 1995). Skrzyszewski (2001c) recommends maintaining compact density in the initial stages of Scots pine stand growth. On the other hand, however, allowing for high density of Scots pine plantations for too long

increases the risk of significant weather-inclined damage, especially in the event of sudden interruption of stand density due to natural reasons or as a result of improperly performed forest management activities (Nykänen et al. 1997). Hence, moderate tending treatments should be performed in Scots pine regenerations, especially those profusely growing on fertile forest sites in the mountains.

Scots pine silviculture in the mountains is not free from the risks associated with weather-inclined damage. Likewise, Scots pine in lowland locations is at risk associated with climate change impacts (Orzechowski, Wójcik 2014). Nevertheless, silviculture of this species has not been given up in Poland's lowland regions, and this decision is justified by site conditions (Sokołowski et al. 1997). In general, forest-forming species in the Carpathian Mountains are subject to damage due to weather conditions, and this mainly concerns Norway spruce (Holuša et al. 2010). In this case, the prolonged periods of water shortages during the growing season (one of the climate change impacts) are particularly severe (Flannigan et al. 2000, Soja et al. 2007). In the recent decades, weather events have become, among others, the cause of Norway spruce growth decline and increased mortality, followed by disintegration of Norway spruce stands in the Beskid Mountains (Grodzki 2007). There has been also observed deterioration of silver fir stands. This species prefers sites with stable and relatively high soil moisture (Jaworski, Zarzycki 1983). The observed effects may indicate changes in mountain site conditions, unfavourable for Norway spruce and silver fir, however suitable enough for Scots pine that is relatively less vulnerable to water stress.

6. Conclusions

1. In the Carpathian Mountains, the progenies of Scots pine mountain provenances are differentiated in terms of the biometric features, depending on the fertility of the site. Within the fertile forest sites, growth parameter values achieved by young trees are in connection with increased susceptibility to stem and branch damage by adverse weather conditions (snow, rime).

2. A considerably large crown size achieved by Scots pine trees growing in the sites of mountain broadleaved forest and mixed broadleaved forest results in a substantial risk of tree damage due to snow and rime – much higher compared to that observed within the coniferous forest and Scots pine natural sites characterised by boundary moisture conditions.

3. On the fertile forest sites, Scots pine regeneration achieves high stand density relatively quickly, which is conducive to young tree susceptibility to infection by the fungus *Gremmeniella abietina*, whose occurrence here is many times higher than that in the coniferous sites and Scots pine natural refuges.

4. In the fertile mountain forest sites, the risk of damage due to adverse weather conditions increases with Scots pine growth and crown expansion, which significantly increases the silvicultural risk when compared to that posed to Scots pine regeneration in other site categories studied.

5. Because of the high silvicultural risk, it is necessary to avoid planting Scots pine within mountain broadleaved forest and mixed broadleaved forest sites, as well as on former agricultural lands as the preceding crop, even if the seedlings originate from mountain provenances of this species.

6. Scots pine regeneration should be treated with frequently repeated tending cuts of moderate intensity. Stand density should not be excessively decreased – especially within the fertile forest sites – so as to avoid enhanced expansion of Scots pine crowns and increased risk of damage caused by adverse weather factors. During tending treatments attention should be paid to limiting the expansion of tree species competing with Scots pine, mainly Norway spruce, birch, aspen and willow.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts.

Acknowledgements and source of funding

This study was carried out under the grant No. 240511, financed by the Ministry of Science and Higher Education in the years 2016–2018.

References

- Abetz P. 1976. Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d-Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad. *Der Forst- und Holzwirt* 31(19): 389–393.
- Ambroży S. 2007. Stan, tendencje rozwoju i zagrożenia przedplonowych drzewostanów sosnowych na gruntach porolnych w Karpatach. Materiały Międzynarodowej Konferencji Quo vadis, forestry? 29–30 czerwca 2006 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 303–315. ISBN 978-83-87647-58-6.
- Białobok S. 1970. Sosna w lasach Polski od późnego glaciału po czasy współczesne, w: Białobok S. (red.) Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. PWN, Warszawa-Poznań, 20–54.
- Capecki Z. 1996. Zagrożenie przedplonowych sośnin na gruntach porolnych w Karpatach. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 58: 65–74.
- Capecki Z. 1999. Specyfika zdrowotności drzewostanów wschodniej części Karpat. *Sylvan* 143(7): 81–88.
- Flannigan M.D., Stocks B.J., Wotton., B.M. 2000. Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment* 262: 221–229.
- Gil W. 2014. Wpływ więzby sadzenia na wzrost i przeżywalność sosny zwyczajnej w okresie około 40 lat od założenia uprawy w zróżnicowanych warunkach siedliskowych. *Leśne Prace Badawcze* 75(2): 117–125. DOI 10.2478/frp-2014-0011.
- Grodzki W. 2007. 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.
- Harmer R., Morgan G. 2009. Storm damage and the conversion of conifer plantations to native broadleaved woodland. *Forest Ecology and Management* 258: 879–886. DOI 10.1016/j.foreco.2009.03.023.
- Holtmeier F.K., Broll G. 2011. Response of Scots Pine (*Pinus sylvestris*) to Warming Climate at Its Altitudinal Limit in Northernmost Subarctic Finland. *Artic* 64(3): 269–280.
- Holuša J., Křístek Š., Trombik J. 2010. Stability of spruce forests in the Beskids: an analysis of wind, snow and drought damages. *Beskydy* 3(1): 43–54.
- Jagodziński A.M., Oleksyn J. 2009. Ekologiczne konsekwencje hodowli drzew w różnym zagęszczeniu. III. Stabilność drzewostanu, fitoklimat i różnorodność biologiczna. *Sylvan* 153(4): 219–230.
- Jaworski A., Zarzycki K. 1983. Ekologia, w: Białobok S. (red.) Jodła pospolita *Abies alba* Mill. PWN, Warszawa-Poznań, 317–430.
- Jentsch A., Beierkuhnlein C. 2008. Research frontiers in climate change: Effects of extreme meteorological events on ecosystems. *Comptes Rendus Geoscience* 340: 621–628. DOI 10.1016/j.crte.2008.07.002.
- Johann K. 1981. Nicht schnee, sondern falsche Bestandesbehandlung verursacht Katastrophen. *Allgemeine Forstzeitung* 92(5): 163–171.
- Kaczka R., Brzęk Ł., Czajka B. 2012. Wpływ czynników klimatycznych na wzrost sosny pospolitej w Tatrach Regłowych. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 14(1): 84–90.
- Kint V. 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 214: 237–250. DOI 10.1016/j.foreco.2005.04.014.
- Kint V., Geudens G., Mohren G.M.J., Lust N. 2006. Silvicultural interpretation of natural vegetation dynamics in ageing Scots pine stands for their conversion into mixed broadleaved stands. *Forest Ecology and Management* 223: 363–370. DOI 10.1016/j.foreco.2005.11.018.
- Niemelä P., Lindgren M., Uotila A. 2008. The effect of stand density on the susceptibility of *Pinus sylvestris* to *Gremmeniella abietina*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7: 129–133. DOI 10.1080/02827589209382705.
- Nykänen M.-L., Peltola M., Quine C., Kellomäki S., Broadgate M. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica* 31(2): 193–213.
- Orzechowski M., Wójcik R. 2014. Regionalne zróżnicowanie ryzyka wystąpienia uszkodzeń drzewostanów w Polsce. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 16(39) /2A/: 44–54.
- Pancer-Kotejowa E. 1973. Zbiorowiska leśne Pienińskiego Parku Narodowego. *Fragmenta Floristica Geobotanica* 19(2): 197–258.

- Przybylska K., Kucharzyk S. 1999. Skład gatunkowy i struktura lasów Bieszczadzkiego Parku Narodowego, w: Monografie Bieszczadzkie T. VI, 7–159. ISBN 83-910460-3-6.
- Przybylska K., Zięba S. 2001. Procesy renaturalizacyjne w drzewostanach Bieszczadzkiego Parku Narodowego, w: Roczniki Bieszczadzkie 9, 117–139. ISBN 83-8505-25-4.
- Skrzyszewski J. 2001a. Ogólna charakterystyka sosen i dolnoregionowych drzewostanów sosnowych w Karpatach i Sudetach. *Acta Agraria et Silvestria, series Silvestris* 39: 63–96.
- Skrzyszewski J. 2001b. Zmienność cech morfologicznych szyszek w drzewostanach sosnowych Karpat i Sudetów. *Acta Agraria et Silvestria, series Silvestris* 39: 97–122.
- Skrzyszewski J. 2001c. Zróżnicowanie cech morfologicznych i przyrostowych sosny zwyczajnej w Karpatach i Sudetach. *Acta Agraria et Silvestria, series Silvestris* 39: 123–160.
- Slodičák M. 1995. Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage, w: Coutts M.P., Grace I. [red.]. Wind and trees. Cambridge University Press, 436–447.
- Soja A.J., Tchebakova N.M., French N.H.F., Flannigan M.D., Shugart H.H., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Parfenova E.I., Chapin F.S., Stackhouse Jr.P. W. 2007. Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global and Planetary Change* 56: 274–296. DOI 10.1016/j.gloplacha.2006.07.028.
- Sokołowski A.W., Kliczkowska A., Grzyb M. 1997. Określenie jednostek fitosocjologicznych wchodzących w zakres siedliskowych typów lasu. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa B* 32: 3–55.
- Staszkiwicz J. 1970. Systematyka i zmienność, w: Białobok S. (red.) Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. PWN, Warszawa-Poznań, 55–77.
- Staszkiwicz J. Szelaż Z. 2003. Flora i roślinność rezerwatu "Bór na Czerwonym" w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej (Karpaty Zachodnie). *Fragmenta Floristica Geobotanica Polonica* 10: 67–91.
- StatSoft, Inc. 2009. Statistica for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., <http://www.statsoft.com> [2.04.2019].
- Urbaniak L., Vončina G. 2008. Charakterystyka sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. z Sokolicy, Kazalnicy i Czertezika w cechach morfologicznych igieł. *Pieniny – Przyroda i Człowiek* 10: 19–26.
- Usbeck T., Wohlgemuth T., Dobbertin M., Pfister C., Bürgi A., Rebetez M. 2010. Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 47–55. DOI 10.1016/j.agrformet.2009.08.010.
- Van Aalst M.K. 2006. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters* 30(1): 5–18.
- Zachara T. 2006. Problem szkód w lasach powodowanych przez śnieg i wiatr oraz sposoby przeciwdziałania im. *Sylwan* 150(10): 56–64.
- Zięba S. 2004. Wpływ położenia górskich drzewostanów przedplonowych na dynamikę ich przebudowy. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3(2): 101–114.

Authors' contribution

S.A. contributed to manuscript concept, fieldwork, production of the results and manuscript writing. M. K. helped in fieldwork and statistical analyses.