

Relacje taksonomiczne między sosnami z kompleksu *Pinus mugo* (Pinaceae) na podstawie cech igieł

KRYSTYNA BORATYŃSKA

BORATYŃSKA, K. 2004. *Pinus mugo* complex (Pinaceae) – taxonomic relations based on needle characters. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica* 11(2): 235–255. Kraków. PL ISSN 1640-629X.

ABSTRACT: The relations between *Pinus mugo*, *P. uncinata* and *P. uliginosa* [=*P. ×rotundata*], which form *Pinus mugo* complex, were examined biometrically on the basis of morphologic and anatomic characters of needles. All these taxa are statistically significantly different in respect of most of the 15 characters studied from compared *P. sylvestris*. In spite of close relations among *P. mugo*, *P. uncinata* and *P. uliginosa*, several morphologic and anatomic characters of needles discriminated them statistically significantly. The results suggest that *P. mugo* and *P. uncinata* should be treated as independent species, not as subspecies of *P. mugo sensu lato*. The intermediate position of *P. uliginosa* between two latter taxa suggests its hybrid origin.

KEY WORDS: dwarf mountain pine, peat-bog pine, mountain pine, scots pine, plant variation, biometric analysis

K. Boratyńska, Instytut Dendrologii PAN, ul. Parkowa 5, PL-62-035 Kórnik, Polska; e-mail: borkrys@man.poznan.pl

WSTĘP

W górach południowej i środkowej Europy od Pirenejów po Wschodnie Karpaty występuje kilka blisko spokrewnionych ze sobą taksonów sosen zaliczanych do kompleksu *Pinus mugo* (HOLUBIČKOVÁ 1965; CHRISTENSEN 1987a,b; BUSINSKÝ 1999). Generalnie wydziela się w obrębie tej grupy przynajmniej dwa taksony, często w randze gatunku: *P. uncinata* Ram. ex DC. w Pirenejach i w Zachodnich Alpach oraz *P. mugo* Turra w Alpach, na Bałkanach i w Karpatach. Pomędzy wymienionymi taksonami istnieją formy pośrednie, opisywane bądź to jako samodzielne gatunki, bądź włączane w różnej randze do *P. mugo* lub do *P. uncinata*. Dodatkowo problem komplikuje krzyżowanie się obydwu wspomnianych taksonów z *P. sylvestris* L.

Od ponad 40 lat prowadzone są badania nad taksonami należącymi do rodzaju *Pinus* podsekcji *Sylvestres*, do której włączane są między innymi *P. mugo*, *P. uncinata*, *P. uliginosa* Neum. ex Wimm. i *P. sylvestris*. Badania te dotyczyły przede wszystkim zmienności tych taksonów, ich pokrewieństwa i wzajemnego krzyżowania. Wykorzystywano w nich metody tradycyjnej biometrii (HOLUBIČKOVÁ 1965; MARCET 1967; MONTACCHINI & CARAMIELLO 1968; SZWEYKOWSKI 1969; STASZKIEWICZ & TYSZKIEWICZ 1969, 1972, 1976;

SZWEYKOWSKI i in. 1976; MUSIL 1977; SZWEYKOWSKI & BOBOWICZ 1977; VIEWEGH 1981; BOBOWICZ i in. 1983; MONTERRAT 1986; BOBOWICZ & KRZAKOWA 1986, 1988; CHRISTENSEN 1987a,b; NEET-SARQUEDA i in. 1988; BOBOWICZ 1990; STASZKIEWICZ 1993, 1994, 1996; BĄCZKIEWICZ 1995; CHRISTENSEN & DAR 1997; MINGHETTI 1997; BUSINSKÝ 1999; GOLDE 2000).

Z badań tych wynika, że w Europie występują taksony *Pinus mugo*, *P. uncinata* (w randze gatunku lub podgatunku) i gatunek *P. sylvestris* oraz taksony o charakterze pośrednim. Te ostatnie to najczęściej mieszańce pomiędzy *P. mugo* i *P. sylvestris*, znane z wielu krajów Europy, dla których przyjęto nazwę *P. ×rhaetica* Brütger, niekiedy także *P. ×celakovskorum* Ascherson & Graebner (VIEWEGH 1981; CHRISTENSEN 1987a,b; CHRISTENSEN & DAR 1997; STASZKIEWICZ 1994, 1996). Ponadto spotyka się mieszańce pomiędzy *P. mugo* i *P. uncinata* (BONO i in. 1967; MONTACCHINI & CARAMIELLO 1968; MINGHETTI 1997). Okazy o takim charakterze nazywano *P. ×rotundata* Link., nazwa ta stosowana była też niekiedy do mieszańców *P. sylvestris* i *P. mugo* z terenu środkowej Europy (STASZKIEWICZ & TYSZKIEWICZ 1972). Dodatkowo jeszcze z terenu Alp i Pirenejów opisywane są naturalne mieszańce pomiędzy *P. uncinata* i *P. sylvestris*, także pod nazwą *P. ×rhaetica* Brütger (AMARAL FRANCO 1986; NEET-SARQUEDA i in. 1988).

Na podstawie analizy materiałów zielnikowych oraz po części w oparciu o studia biometryczne CHRISTENSEN (1987a) zaproponował podział taksonomiczny kompleksu *Pinus mugo*. Według niego w Europie spotyka się dwa taksony w randze podgatunku: zachodni *P. mugo* Turra subsp. *uncinata* (Ram.) Domin, występujący w Pirenejach, w zachodnich Alpach i w Masywie Centralnym oraz wschodni *P. mugo* Turra subsp. *mugo*, rosnący w centralnych i wschodnich Alpach, w górach Półwyspu Bałkańskiego oraz w Karpatach. Dla taksonów o pośrednim charakterze, najczęściej spotykanych w Alpach, Masywie Centralnym i w górach środkowej Europy, CHRISTENSEN (1987a) przyjął rangę podgatunku mieszańcowego *P. mugo* nothosubsp. *rotundata* (Link) Janchen & Neumayer.

Liczne badania genetyczne i biochemiczne taksonów będących przedmiotem zainteresowania autorki potwierdziły, wykazaną już wcześniej metodami biometrycznymi, wyraźną odrębność kompleksu *Pinus mugo* od *P. sylvestris* (PRUS-GŁOWACKI & SZWEYKOWSKI 1979, 1983; PRUS-GŁOWACKI i in. 1985; NEET-SARQUEDA i in. 1988; FILPPULA i in. 1992; NEET-SARQUEDA 1994; SIEDLEWSKA 1994; SIEDLEWSKA & PRUS-GŁOWACKI 1994, 1995; GONCHARENKO i in. 1995; LAURANSON-BROYER i in. 1997; PRUS-GŁOWACKI & STEPHAN 1998; BOBOWICZ i in. 2000; LEWANDOWSKI i in. 2000, 2002; KORSHIKOV & PIRKO 2002). Jednak, jak dotąd, badania te nie do końca wyjaśniły pozycję taksonomiczną niektórych sosen z kompleksu *P. mugo*. Dość powszechny pogląd, że *P. uliginosa* jest marginalną populacją *P. uncinata* (KRZAKOWA i in. 1984) został w badaniach późniejszych odrzucony ze względu na odmienną strukturę genetyczną tych taksonów (PRUS-GŁOWACKI i in. 1998; LEWANDOWSKI i in. 2000). Należy tutaj wspomnieć, że w dawnej literaturze polskiej *P. uncinata* i *P. uliginosa* były traktowane jako synonimy (np. PAWŁOWSKI 1956).

Wykryte ostatnio specyficzne markery *cp* DNA dla *Pinus mugo* i dla *P. sylvestris* pozwolą, być może w niedalekiej przyszłości, z większą precyzją zidentyfikować mieszańce między tymi gatunkami. Markery te jednak nie nadają się do rozróżniania sosny błotnej i kosodrzewiny, są bowiem identyczne u obydwu taksonów. Sugerowany w ostatnich pracach jednokierunkowy przepływ genów od *P. mugo* do *P. sylvestris* i jednocześnie pośredni

charakter *P. uliginosa* wskazuje na to, że sosna ta jest najprawdopodobniej utrwalonym mieszańcem *P. sylvestris* jako matką (lub introgresantem) z *P. mugo* jako dawcą pyłku (ODRZYKOWSKI 2002; WACHOWIAK 2003).

Większość prowadzonych do tej pory badań biometrycznych oparta była na materiale niezbyt bogatym, reprezentującym populacje z niewielkiej części zasięgu gatunków zaliczanych do kompleksu *Pinus mugo* i *P. sylvestris*. Jedyne CHRISTENSEN (1987b) biometrię kompleksu *P. mugo* oparł na szerszych danych, ale i w jego badaniach zabrakło reprezentatywnego materiału ze wschodniej i południowo-wschodniej części zasięgu.

Celem niniejszego przeglądu jest przybliżenie zagadnień dotyczących relacji taksonomicznych sosen z kompleksu *Pinus mugo* w oparciu o materiał reprezentujący populacje z całego jego zasięgu.

Wyniki badań autorki, które zostały tutaj podsumowane, miały przyczynić się do poznania zmienności morfologicznej i anatomicznej określonego zespołu cech igieł, a także do naświetlenia zagadnienia występowania krótkopędów z nietypową liczbą igieł. Podjęto także próbę wykazania, że możliwy jest ewentualny przepływ genów pomiędzy sąsiadującymi ze sobą populacjami z kompleksu *P. mugo* [*P. uliginosa*] i *P. sylvestris*.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Do badań biometrycznych materiał w postaci igieł był zbierany (najczęściej osobiście przez autorkę) z naturalnie występujących populacji *Pinus mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa* oraz w celach porównawczych z populacji *P. sylvestris* w latach 1994–2002 (Tab. 1).

Kosodrzewinę (*Pinus mugo*) reprezentowało 17 prób pochodzących z Alp, Półwyspu Apenińskiego, Karpat Zachodnich i Wschodnich oraz z gór Półwyspu Bałkańskiego (BORATYŃSKA i in. 2004b). Jako materiał porównawczy wykorzystane były też dane literaturowe dotyczące biometrii kosodrzewiny z Hali Goryczkowej i Hali Gąsienicowej (BOBOWICZ & KRZAKOWA 1986).

Materiał badawczy sosny hakowatej (*Pinus uncinata*) pochodził z 3 populacji z Centralnych Pirenejów i 2 populacji z Zachodnich Pirenejów (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2001).

Sosna błotna (*Pinus uliginosa*) natomiast zbierana była na „Wielkim Torfowisku Batorowskim” w Górach Stołowych i w rezerwacie „Torfowisko pod Węglińcem” (BORATYŃSKA i in. 2003).

Materiałem porównawczym były populacje sosny zwyczajnej (*P. sylvestris*) ze Szczelińca Wielkiego w Górach Stołowych i z Węglińca, z bezpośredniego sąsiedztwa rezerwatu sosny błotnej (BORATYŃSKA i in. 2003). Ponadto w celach porównawczych wykorzystano opublikowane wyniki pomiarów igieł dwóch populacji sosny zwyczajnej z północno-wschodniej Polski (BOBOWICZ & KORCZYK 1994).

Materiał do badań był zbierany zawsze z okazów zdrowych, z pędów dobrze nasłonecznionych. Każdy osobnik reprezentowany był przez 10 dwuletnich typowych krótkopędów, z każdego krótkopędu badano jedną igłę, zgodnie z metodyką opisaną we wcześniejszych pracach (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2000; BORATYŃSKA i in. 2004b). Przebadano 26 populacji, liczących przeciętnie 30 osobników, w sumie 829 okazów (8290 igieł).

Wszystkie analizy dotyczące biometrii igieł przeprowadzono uwzględniając 15 cech, wynikających z bezpośrednich pomiarów, jak i z matematycznych wyliczeń (Tab. 2). Wyniki pomiarów analizowano przy pomocy programu Statistica PL dla Windows 5.1. Obliczono podstawowe charakterystyki cech, ich zależności wyrażone współczynnikiem korelacji Pearsona. W celu ustalenia statystycznej istotności różnic między średnimi (lub jej braku) stosowano test t dla prób niezależnych. Relacje między osobnikami, populacjami i wreszcie taksonami analizowano przy pomocy wielowymiarowych analiz statystycznych, między innymi takich, jak analiza funkcji dyskryminacji i analiza skupień (MAREK 1989; MORRISON 1990; KRZYŚKO 1990; ŁONICKI 2000; WATAŁA 2002).

Tabela 1. Lokalizacja badanych populacji *Pinus mugo* (1–17), *P. uncinata* (18–22), *P. uliginosa* (23–24) i *P. sylvestris* (25–26).**Table 1.** Location of studied populations of *Pinus mugo* (1–17), *P. uncinata* (18–22), *P. uliginosa* (23–24) and *P. sylvestris* (25–26).

Gatunek (Species)	Nr (No.)	Lokalizacja (Location)	Akronim (Acronym)	Długość geograficzna (Longitude E)	Szerokość geograficzna (Latitude N)	Wysokość n.p.m. (Altitude)	Liczba osobników (Number of tested specimens)
<i>Pinus mugo</i>	1	Polska, Sudety, Karkonosze, między Łabskim Szczytem i Szrenicą, zebrane w 1999 r.	SUD_1	15°33'	50°47'	1350–1450	26
	2	Polska, Sudety, Karkonosze, między Łabskim Szczytem i Szrenicą, zebrane 2000 r.	SUD_2	15°33'	50°47'	1350–1450	39
	3	Polska, Sudety, Karkonosze, Równia pod Śnieżką	SUD_3	15°47'	50°44'	1400–1420	30
	4	Polska, Tatry, Dolina Pięciu Stawów Polskich	TATRY_1	20°03'	49°13'	1680–1710	50
	5	Polska, Tatry, N zbocza grzbietu Grześ – Wołowiec	TATRY_2	19°45'	49°13'	1600–1650	57
	6	Austria, Alpy Salzburskie, SW zbocza góry Hochkonig	ALPY_1	13°05'	47°26'	1500	40
	7	Włochy, Alpy Karnijskie, Passo di Pramollo	ALPY_2	13°15'	46°32'	1530	44
	8	Włochy, Alpy Nadmorskie, Coll de Tende	ALPY_3	7°22'	44°08'	2000	33
	9	Włochy, Abruzzi, La Maiella	ABRUZZI	13°58'	41°46'	2200	33
	10	Ukraina, Czarnohora, N zbocza Breskulca	CHARN_1	24°35'	48°06'	1600–1700	41
	11	Ukraina, Czarnohora, N zbocza Howerli	CHARN_2	24°37'	48°08'	1500–1600	40
	12	Ukraina, Czarnohora, S zbocza Pożyżewskiej	CHARN_3	24°39'	48°05'	1600–1750	35
	13	Ukraina, Gorgany, Góra Kanch koło miejscowości Sinevir	GORGANY	23°50'	48°33'	1550	20
	14	Bułgaria, Vitosha, Dragalevci, Khizha Aleko, N zbocza Chrny Vrkh powyżej Aleko	VITOSHA	23°16'	42°34'	1900	31
	15	Bułgaria, Rila, Ribni Ezera powyżej Rilski Manastir, dolina od strony Tikha Rila	RILA_1	23°26'	42°05'	2100	41
	16	Bułgaria, Rila, Belica, Semkovo, S zbocze Chemerna	RILA_2	23°30'	42°04'	2100	31
	17	Bułgaria, Pirin, Bansco, Ravnako powyżej Khizha Vikhren, Bynderiski Circus	PIRIN	23°25'	41°46'	2000	31
<i>Pinus uncinata</i>	18	Hiszpania, Pireneje Centralne, Vallibierna – Pico de Aneto	PIREN_1	0°41'	42°37'	2150–2200	7
	19	Hiszpania, Pireneje Centralne, Barranco de Vallibierna	PIREN_2	0°40'	42°36'	2200–2350	10
	20	Hiszpania, Pireneje Wschodnie, Parque Nacional de Aigues Tortes y de Sant Maurici	PIREN_3	1°02'	42°05'	2050–2300	10
	21	Hiszpania, Pireneje Centralne, Tossal de l'Orri de Rubio	PIREN_4	1°13'	42°22'	2200–2400	10
	22	Hiszpania, Pireneje Wschodnie, Sierra del Cadi, Prat de Aguilo	PIREN_5	1°27'	42°18'	1250–2200	5

Tabela 1. Ciąg dalszy – **Table 1.** Continued.

Gatunek (Species)	Nr (No.)	Lokalizacja (Location)	Akronim (Acronym)	Długość geograficzna (Longitude E)	Szerokość geograficzna (Latitude N)	Wysokość n.p.m. (Altitude)	Liczba osobników (Number of tested specimens)
<i>Pinus uliginosa</i>	23	Polska, Bory Dolnośląskie, Torfowisko w Węglińcu	WEGLIN_1	15°14'	51°17'	200	52
	24	Polska, Sudety, Góry Stołowe, Wielkie Torfowisko Batorowskie	BATOR.	16°15'	50°27'	750	50
<i>Pinus sylvestris</i>	25	Polska, Bory Dolnośląskie, Węglińiec	WEGLIN_2	15°14'	51°17'	200	33
	26	Polska, Sudety, Góry Stołowe, Szczeliniec Wielki	SZCZEL.	16°16'	50°28'	900	30

Tabela 2. Badane cechy igieł.
Table 2. Needle characters analysed.

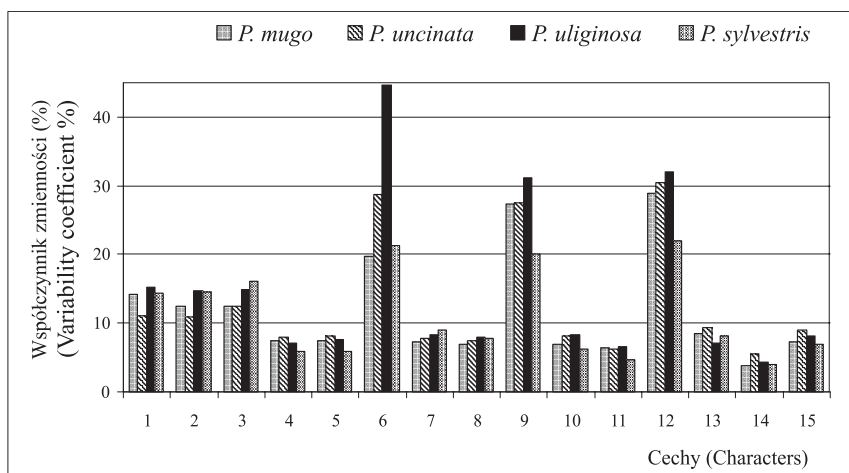
Nr (No.)	Cechy (Characters)	Dokładność pomiaru (Precision)
1	Długość igieł (Needle length)	1 mm
2	Liczba rzędów szparek na stronie wypukłej (Number of stomatal rows on convex side)	
3	Liczba rzędów szparek na stronie płaskiej (Number of stomatal rows on flat side)	
4	Liczba szparek na 2 mm długości igły na stronie wypukłej (Number of stomata on 2 mm long section of needle, on convex side)	
5	Liczba szparek na 2 mm długości igły na stronie płaskiej (Number of stomata on 2 mm long section of needle, on flat side)	
6	Liczba kanałów żywicznych na przekroju poprzecznym (Number of resin canals on the cross-section)	
7	Szerokość igły na przekroju poprzecznym (Width of needle on the cross-section)	0,1 mm
8	Wysokość igły na przekroju poprzecznym (Thickness of needle on the cross-section)	0,1 mm
9	Odległość między wiązkami przewodzącymi na przekroju poprzecznym (Distance between vascular bundles on the cross-section)	1 µm
10	Wysokość komórki epidermy łącznie z hypodermą na przekroju poprzecznym (Thickness of epidermis cells with hypodermis cells on the cross-section)	1 µm
11	Szerokość jednej komórki epidermy na przekroju poprzecznym (Width of epidermis cells on the cross-section)	1 µm
12	Współczynnik Marceta; cechy 9 × 7/8 (Marcet's coefficient; traits 9 × 7/8)	
13	Stosunek rzędów szparek na wypukłej do płaskiej strony igły; cechy 2/3 (Stomatal rows ratio; traits 2/3)	
14	Stosunek wysokości do szerokości igły; cechy 8/7 (Needle thickness/width ratio; traits 8/7)	
15	Stosunek szerokości do wysokości komórek epidermy; cechy 11/10 (Cell of epidermis width/thickness ratio; traits 11/10)	

Krótkopędy nietypowe (z 3 i więcej igłami) nie były włączone do analiz biometrycznych, posłużyły jednak do studiów nad częstością ich występowania (BORATYŃSKA & BORATYŃSKI 2003). Badania te oparto na znacznie bogatszym materiale, a mianowicie na danych z 40 populacji reprezentujących *Pinus uncinata*, *P. mugo*, *P. uliginosa* i *P. sylvestris*; jako materiał porównawczy przeanalizowano także po jednej populacji *P. pinaster* i *P. nigra* z Hiszpanii.

WYNIKI

Zmienność badanych cech i siła związku między nimi

Zmienność badanych cech, wyrażona współczynnikiem zmienności, jest mniej więcej podobna we wszystkich analizowanych igłach. Niezależnie od taksonu i populacji zawsze najbardziej zmienne były trzy cechy: wskaźnik Marceta, odległość między wiązkami przewodzącymi i liczba kanałów żywicznych. Natomiast najbardziej stałą cechą okazał się stosunek grubości do szerokości igły. Średnie wartości współczynnika zmienności 15 badanych cech czterech taksonów przedstawia rycina 1.



Ryc. 1. Średnie współczynniki zmienności 15 badanych cech *Pinus mugo*, *P. uncinata*, *P. uliginosa* i *P. sylvestris*.

Fig. 1. Average variability coefficients of 15 characters of *Pinus mugo*, *P. uncinata*, *P. uliginosa* and *P. sylvestris*.

U *Pinus mugo* współczynnik zmienności wskaźnika Marceta wahał się od 22 do 42%, odległości między wiązkami przewodzącymi od 21 do 40%, a liczby kanałów żywicznych od 15 do 26%. W poszczególnych populacjach minimalny współczynnik zmienności u kosodrzewiny wynosił, dla stosunku wysokości do szerokości igły, od 2,6% do 5,3%. Ponadto mało zmienna w populacjach *P. mugo* była szerokość i grubość igły, liczba szparek po obydwu stronach igły i iloraz rzędów szparek, szerokość i wysokość komórek epidermy oraz stosunek szerokości do wysokości komórek epidermy. Igły populacji wschodniokarpackich wyraźnie bardziej zmienne są pod względem wysokości i szerokości komórek epidermy – współczynnik zmienności tych cech wynosi 13–15%, gdy tymczasem u pozostałych

populacji nie przekracza 10% (BORATYŃSKA & PASHKEVICH 2001; BORATYŃSKA 2002; BORATYŃSKA i in. 2004b).

U *Pinus uncinata* zmienność wszystkich analizowanych cech kształtuje się podobnie, jak u *P. mugo*, choć zaznacza się nieco większa zmienność liczby kanałów żywicznych (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2000). Zmienność tej cechy osiąga maksymalne wartości w igłach *P. uliginosa* (BORATYŃSKA i in. 2003). Dotyczy to zwłaszcza populacji z rezerwatu „Torfowisko pod Węglińcem”. Współczynnik zmienności liczby kanałów żywicznych w węglińckiej populacji wynosił nieco ponad 50%. Druga populacja *P. uliginosa*, z „Wielkiego Torfowiska Batorowskiego” w Górach Stołowych, współczynnik ten miała niższy – niecałe 40%. Pod względem pozostałych cech *P. uliginosa* z Węglińca także jest zdecydowanie bardziej zmienna; prawie we wszystkich cechach wykazuje wyższe współczynniki zmienności niż populacja z Batorowa. Wyjątkiem jest wysokość komórek epidermy, jak i iloraz rzędów szparek; pod względem tych cech wyraźnie bardziej zmienne są igły pochodzące z „Wielkiego Torfowiska Batorowskiego”. Cech stałych, podobnie jak w przypadku *P. mugo* i *P. uncinata*, jest aż 9; minimalną wartością współczynnika zmienności charakteryzuje się cecha dotycząca kształtu igły, czyli stosunek grubości igły do jej szerokości (od 4 do niespełna 5%).

Najsilniejsze zależności między cechami zachodzą między liczbą szparek po obydwu stronach igły u *Pinus mugo* z Tatr Zachodnich, dla których $r=0,96$. Ponadto silne korelacje wystąpiły między szerokością i grubością igły oraz liczbą rzędów szparek po obydwu stronach igły. Korelacje te obserwowano we wszystkich badanych populacjach *P. mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa* (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2000; BORATYŃSKA & PASHKEVICH 2001; BORATYŃSKA 2002; BORATYŃSKA i in. 2003).

Zróżnicowanie międzypopulacyjne

Pinus mugo

Populacje *Pinus mugo* pochodzące z różnych miejsc w Europie najmocniej różnią się pod względem długości igły, szerokości i wysokości komórek epidermy oraz stosunek szerokości do wysokości komórek epidermy (BORATYŃSKA & PASHKEVICH 2001; BORATYŃSKA 2002; BORATYŃSKA i in. 2004a,b). Natomiast zupełnie nie różnicują populacji kosodrzewiny cechy dotyczące szparek, a zwłaszcza liczba rzędów szparek po obydwu stronach igły i stosunek liczby rzędów szparek po wypukłej do liczby rzędów szparek po płaskiej stronie igły.

Mimo że populacje kosodrzewiny nie wykazują zbyt dużej zmienności, to jednak utworzyły dwie wyraźne i odrębne grupy (BORATYŃSKA i in. 2004). Jedną tworzą próby pochodzące z Karkonoszy, Tatr, Alp, Apeninów i gór Półwyspu Bałkańskiego, a drugą – próby z Karpat Wschodnich. Oddzielenia się populacji wschodnio-karpackich *Pinus mugo* na podstawie cech igieł jak dotąd nie wykazywano. Sygnalizowano już wcześniej pewną odrębność szyszek kosodrzewiny pochodzącej z Karpat Wschodnich i Południowych w stosunku do kosodrzewiny rosnącej w Karpatach Zachodnich (STASZKIEWICZ & TYSZKIEWICZ 1976).

Uchwycone wyraźne oddzielenie czterech populacji *Pinus mugo* pochodzących ze Wschodnich Karpat od reszty badanych populacji sugeruje, że okres izolacji tych populacji

jest dłuższy i wykracza wstecz poza holocen. Kosodrzewina mogła przetrwać w miejscach ku temu sprzyjających u podnóży Karpat Wschodnich. Natomiast brak widocznych różnic między populacjami *P. mugo* pochodzącymi z Alp, Sudetów, Zachodnich Karpat i gór Półwyspu Bałkańskiego może świadczyć o szerokim rozmieszczeniu kosodrzewiny i bezpośrednim kontakcie w trakcie ostatniego zlodowacenia. Wtedy kosodrzewina mogła rosnąć na południe od linii Alpy – Zachodnie Karpaty i dalej ku południowemu wschodowi poprzez Góry Dynarskie dochodziła do Rodopów. Badania paleobotaniczne potwierdzają szerokie rozmieszczenie kosodrzewiny u schyłku ostatniego zlodowacenia na tym obszarze. W miarę ocieplania się klimatu i stopniowego ustępowania lodowca lokalne populacje *P. mugo* wycofywały się w coraz wyższe położenia w górach i stawały się coraz bardziej izolowane (WILLIS 1994; WILLIS i in. 2000; OBIDOWICZ 1996; BERGLUND i in. 1996; FARCAS i in. 1999; WOHLFARTH i in. 2001; TARASOV i in. 2000; RYBNIČEK & RYBNIČKOVÁ 2002; TZEDAKIS i in. 2002; STRUŽKOVÁ 2002; GANDOUIN & FRANQUET 2002; STEFANOVA & AMMAN 2003; STEFANOVA i in. 2003; GOBET i in. 2003).

Pinus uncinata

Wśród populacji *Pinus uncinata* pochodzących z Centralnych i Wschodnich Pirenejów zaznacza się niewielkie zróżnicowanie (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2001). Spowodowane jest ono pewnymi różnicami zwłaszcza w takich cechach, jak: szerokość igły, wysokość komórki epidermy, liczba szparek po płaskiej stronie igły, odległość między wiązkami przewodzącymi i długość igły. Pod względem tych cech zauważa się istotne statystycznie różnice między niektórymi z populacji *P. uncinata*. Natomiast w analizach wielowymiarowych tworzą one jedno skupienie, wyraźnie oddzielone od *P. mugo* i *P. sylvestris*.

Niewielkie różnice między populacjami *Pinus uncinata* pod względem cech szyszek wykazała także MARCYSIAK (2004).

Pinus uliginosa

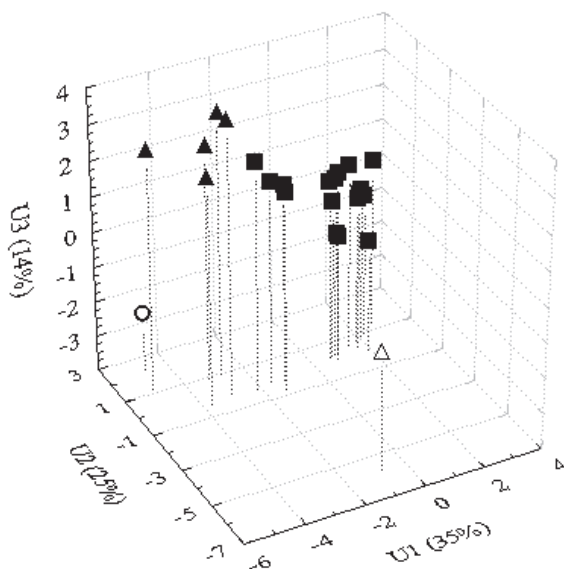
Dwie badane populacje *Pinus uliginosa*, jedna pochodząca z torfowiska w Borach Dolnośląskich a druga z Gór Stołowych, różnią się statystycznie istotnie pod względem wielu analizowanych cech. Najbardziej różnicuje je stosunek liczby rzędów szparek po wypukłej do liczby rzędów szparek po płaskiej stronie igły. Sosny z Wielkiego Torfowiska Batorowskiego charakteryzują się wyraźnie mniejszą liczbą rzędów szparek po płaskiej stronie igły (średnio 5,7), przez co średnia wartość wspomnianego stosunku liczby rzędów szparek jest u tej populacji znacznie większa niż w przypadku drugiej populacji z Węglińca. Ponadto igły z Batorowa są znacznie krótsze (średnio mają niecałe 33 mm) i drobniejsze (średnia szerokość 1,2 mm, a grubość 0,72 mm) i mają cieńszą warstwę epidermy (niecałe 29 μm). Natomiast w ogóle nie różnicuje tych populacji liczba szparek na wypukłej stronie igły, stosunek wysokości do szerokości igły i szerokość komórek epidermy (BORATYŃSKA i in. 2003).

Porównanie populacji z kompleksu *Pinus mugo*

Relacje między badanymi populacjami przedstawia graficzny obraz analizy dyskryminacji na rycinie 2. W przestrzeni między trzema zmiennymi dyskryminacyjnymi (U_1 , U_2 i U_3), które są odpowiedzialne za 74% zmienności, populacje *Pinus mugo* i *P. uncinata* różnią

się głównie pierwszą i drugą zmienną dyskryminacyjną; trzecia zmienna dyskryminacyjna ma mniejsze znaczenie. Należy zaznaczyć, że kosodrzewina ze Wschodnich Karpat bardziej nawiązuje do sosny pirenejskiej, niż kosodrzewina alpejsko-zachodniokarpacko-bałkańska.

Pierwszą zmienną dyskryminacyjną, odpowiadającą za 35% informacji o zmienności badanych populacji, najmocniej kształtuje stosunek szerokości do wysokości komórek epidermy i sama wysokość komórek epidermy oraz szerokość i wysokość igły mierzona na jej przekroju poprzecznym. Igły *P. uncinata* charakteryzują się najgrubszą warstwą epidermy,



Ryc. 2. Wynik analizy funkcji dyskryminacji dla 24 populacji z kompleksu *Pinus mugo* na płaszczyźnie między trzema pierwszymi zmiennymi dyskryminacyjnymi (U_1 , U_2 i U_3): ▲ – *P. uncinata*, ■ – *P. mugo*, △ – *P. uliginosa* z Węglińca i ○ – *P. uliginosa* z Batorowa.

Fig. 2. Results of discriminant analysis for 24 populations of *Pinus mugo* complex on the plane of the first three discriminant variables (U_1 , U_2 and U_3): ▲ – *P. uncinata*, ■ – *P. mugo*, △ – *P. uliginosa* from Węglińca and ○ – *P. uliginosa* from Batorów.

jak i największymi rozmiarami igły. Właśnie pod względem tych cech, a zwłaszcza wymiarów komórek epidermy, najbardziej nawiązują do *P. uncinata* cztery populacje *P. mugo* z Karpat Wschodnich.

Sosny błotne zajmują zupełnie różne miejsca na przedstawionym wykresie analizy dyskryminacji (Ryc. 2). Sosna błotna z Batorowa znalazła się bliżej populacji *Pinus uncinata*, a sosna z Węglińca bliżej populacji *P. mugo*. Obraz ten definiowany jest głównie przez stosunek liczby rzędów szparek po stronie wypukłej do liczby rzędów szparek po płaskiej stronie igły. Cecha ta najsilniej skorelowana jest z drugą zmienną dyskryminacyjną U_2 (odpowiada ona za 25% informacji o zmienności), a jednocześnie najmocniej różnicuje dwie badane populacje sosny błotnej. Właśnie pod względem tej cechy sosna z Batorowa nawiązuje bardziej do sosny z Pirenejów. Natomiast sosna z Węglińca ma wartość tego

stosunku znacznie mniejszą, co wynika z mniejszej różnicy liczby rzędów szparek po obydwu stronach igły, dlatego też na omawianej rycinie znalazła się w dość dużym oddaleniu od kosodrzewiny.

Różnice między taksonami

Pinus sylvestris a sosny z kompleksu *P. mugo*

Pinus sylvestris we wszystkich analizach jest wyraźnie odrębna i nie ma większego problemu z oddzieleniem tego taksonu od innych z nim porównywanych. Sosna zwyczajna charakteryzuje się wyraźnie większą liczbą kanałów żywicznych (około 10 na jednym przekroju poprzecznym igły, gdy tymczasem u pozostałych gatunków było ich około 4). Wartości dwóch cech, odległości między wiązkami przewodzącymi i wskaźnika Marceta, u *P. sylvestris* są dwukrotnie większe niż u pozostałych taksonów. Ponadto warstwa epidermy u sosny zwyczajnej jest wyraźnie cieńsza, co odróżnia ją od porównywanych sosen, a szczególnie od *P. uncinata*. U sosny zwyczajnej obserwuje się także występowanie większej liczby szparek po obydwu stronach igły, podczas gdy u taksonów z kompleksu *P. mugo* szparek jest statystycznie istotnie mniej, przy czym liczba rzędów szparek jest podobna u wszystkich analizowanych sosen.

Dwie populacje *Pinus sylvestris* z północno-wschodniej Polski dzieli istotny statystycznie dystans od populacji *P. uncinata* z Pirenejów i populacji *P. mugo* z Tatr (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2001). Podobny obraz uzyskano porównując *P. sylvestris* z Borów Dolnośląskich i z Gór Stołowych z *P. mugo* z Karkonoszy i *P. uliginosa* z „Torfowiska w Węglińcu” i z „Wielkiego Torfowiska Batorowskiego” (BORATYŃSKA i in. 2003). I tutaj *P. sylvestris* tworzy odrębną grupę, statystycznie istotnie różną od pozostałych porównywanych gatunków.

Pinus uncinata a *P. mugo*

Pinus mugo i *P. uncinata* w analizach stoją obok siebie tworząc jedną grupę, niemniej taksony te różnią się pod względem kilku cech. Największe różnice obserwuje się w następujących cechach: długość igły, wysokość komórek epidermy oraz liczba szparek na płaskiej stronie igły, odległość między wiązkami przewodzącymi, wskaźnik Marceta i stosunek rzędów szparek po wypukłej do płaskiej strony igły. Nie stwierdzono istotnych różnic w szerokości igły, w liczbie rzędów szparek na płaskiej stronie igły, w liczbie szparek po wypukłej stronie igły i w szerokości komórek epidermy; ta ostatnia cecha zresztą nie różnicuje żadnej z badanych sosen (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2001).

Znaczna długość igieł *Pinus uncinata* (średnio prawie 67 mm) wyróżnia ją nie tylko od *P. mugo*, ale też od innych porównywanych taksonów. Podobnie jest z grubością warstwy epidermy (prawie 45 μm), która u sosny hakowatej jest wyraźnie większa niż u kosodrzewiny (niecałe 39 μm). Inne cechy także różnicują istotnie statystycznie *P. uncinata* i *P. mugo*, choć nie obserwuje się tego u wszystkich analizowanych populacji wspomnianych dwu taksonów. I tak np. pod względem szerokości igły nie obserwowano statystycznie istotnych różnic między jedną populacją *P. uncinata* z Sierra del Cadi i obydwoma populacjami *P. mugo* z Tatr oraz między populacją *P. uncinata* z Tossal de l'Orri de Rubio

i populacją *P. mugo* z Hali Goryczkowej. Wskaźnik Marceta i odległość między wiązkami przewodzącymi różnicuje istotnie statystycznie prawie wszystkie badane populacje i taksony, z wyjątkiem populacji *P. uncinata* z Tossal de l'Orri i *P. mugo* z Hali Goryczkowej. Pod względem liczby szparek na płaskiej stronie igły istotne statystycznie różnice stwierdzono między *P. mugo* z Hali Gąsienicowej i wszystkimi pięcioma populacjami *P. uncinata*. Natomiast populacja *P. mugo* pochodząca z Hali Goryczkowej pod względem tej cechy jest statystycznie istotnie różna jedynie od jednej pirenejskiej populacji *P. uncinata* z Baranco de Vallibierna.

Na wykresach wielowymiarowych analiz statystycznych *Pinus uncinata* i *P. mugo* znalazły się blisko siebie. Mimo to jedna z populacji *P. uncinata* (Vallibierna) okazała się statystycznie istotnie różna od obydwu populacji *P. mugo* z Tatr (BORATYŃSKA & BOBOWICZ 2001).

Pinus uliginosa a *P. mugo*

Pinus uliginosa pochodząca z Batorowa i z Węglińca i *P. mugo* z Karkonoszy wykazują w cechach igieł cały szereg różnic (BORATYŃSKA i in. 2003). Problem komplikuje dodatkowo fakt, że obydwie badane populacje sosny błotnej, jak już wspomniano wcześniej, bardzo mocno różnią się między sobą pod względem badanych cech. I tak, karkonoska kosodrzewina i sosna błotna z Węglińca mają podobną liczbę szparek po obydwu stronach igły oraz liczbę kanałów żywicznych. Pozostałe cechy różnicują je statystycznie istotnie. Natomiast kosodrzewina i *P. uliginosa* z Batorowa są takie same tylko pod względem odległości między wiązkami i wskaźnika Marceta, zaś wszystkie inne cechy mają statystycznie istotnie różne.

W analizach wielowymiarowych *Pinus mugo* i *P. uliginosa* utworzyły mniej więcej jedną grupę, z tym, że zaznacza się duża zmienność dwu populacji *P. uliginosa*. Wprawdzie ustawiły się one w pobliżu *P. mugo*, ale zajmują różne miejsca i są od siebie znacznie oddalone. Dystans jaki dzieli sosnę błotną z Batorowa i sosnę błotną z Węglińca jest większy niż dystans jaki obserwowano pomiędzy sosną błotną z Węglińca i kosodrzewiną z Równi pod Śnieżką (BORATYŃSKA i in. 2003).

Porównanie *Pinus mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa*

Testem *t* przebadano istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami poszczególnych cech trzech taksonów *Pinus mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa* (Ryc. 3). Poza jedną cechą, tj. liczbą szparek na płaskiej stronie igły, wszystkie pozostałe cechy różnicują istotnie badane populacje. Wspomniane taksony najbardziej różni długość igły, liczba rzędów szparek na płaskiej stronie igły, grubość i szerokość igły, oraz iloraz tych dwu ostatnich wymiarów.

Różnice w poszczególnych cechach dobrze ilustruje graficzna metoda Jentys-Szaferowej (Ryc. 4). *P. uliginosa* i *P. uncinata* (na rycinie jako linie łamane) w porównaniu do średniej *P. mugo* (na rycinie jako linia pozioma 1,0) najbardziej różnią się długością igły, odległością między wiązkami, wskaźnikiem Marceta, wysokością komórek epidermy oraz szerokością i grubością igły.

Relacje pomiędzy porównywanymi osobnikami należącymi do *Pinus mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa*, w oparciu o informacje niesione przez wszystkie cechy łącznie, ilustruje

Cechy 1, 3, 7, 8 i 14 (character 1, 3, 7, 8 and 14)

<i>P.uliginosa</i>	XX	
<i>P.uncinata</i>	XX	XX
	<i>P.mugo</i>	<i>P.uliginosa</i>

Cecha 6 (character 6)

<i>P.uliginosa</i>		
<i>P.uncinata</i>	XX	
	<i>P.mugo</i>	<i>P.uliginosa</i>

Cechy 2, 9 i 12 (character 2, 9 and 12)

<i>P.uliginosa</i>		
<i>P.uncinata</i>	XX	XX
	<i>P.mugo</i>	<i>P.uliginosa</i>

Cecha 10, 11 i 15 (character 10, 11 and 15)

<i>P.uliginosa</i>	XX	
<i>P.uncinata</i>	XX	
	<i>P.mugo</i>	<i>P.uliginosa</i>

Cecha 4 (character 4)

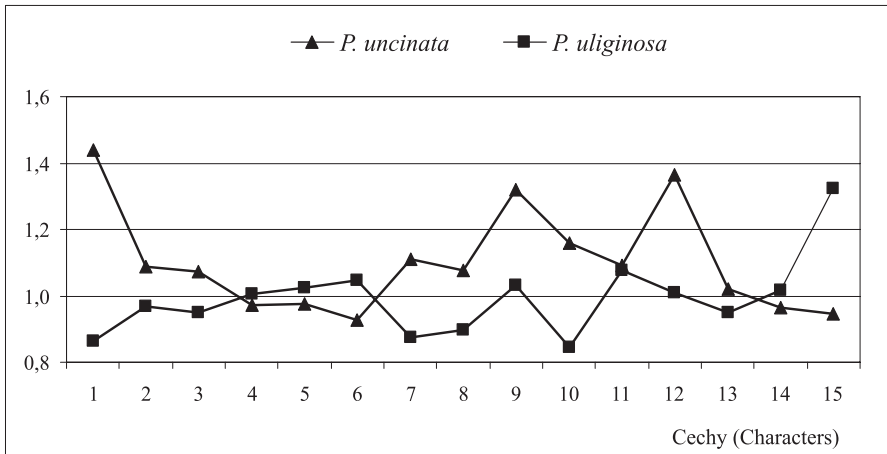
<i>P.uliginosa</i>		
<i>P.uncinata</i>		X
	<i>P.mugo</i>	<i>P.uliginosa</i>

Cecha 13 (character 13)

<i>P.uliginosa</i>	XX	
<i>P.uncinata</i>		X
	<i>P.mugo</i>	<i>P.uliginosa</i>

Ryc. 3. Różnice pomiędzy średnimi wartościami poszczególnych cech *Pinus mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa* przedstawione przy pomocy testu t-Studenta: x – istotność na poziomie p=0.05, xx – istotność na poziomie 0.01 (numery cech jak w Tab. 2).

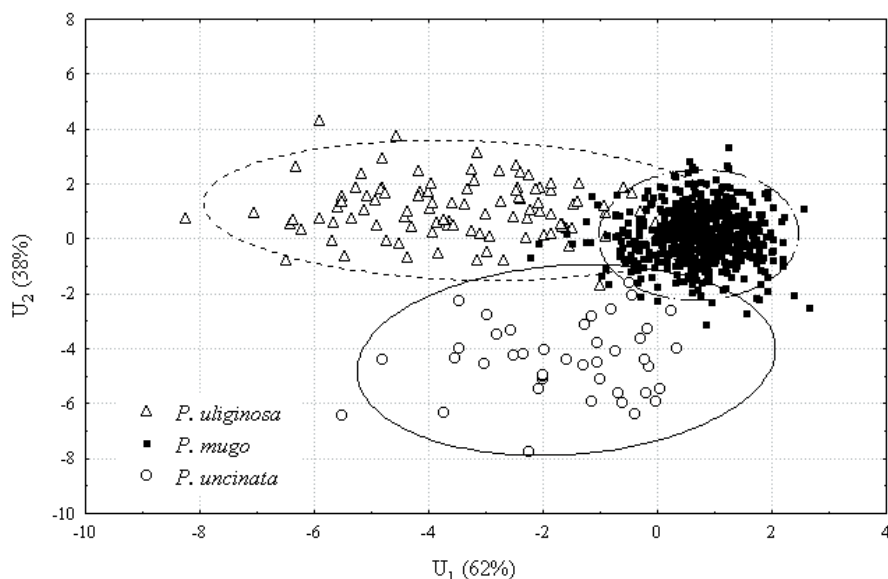
Fig. 3. Differences between average values of characters of *Pinus mugo*, *P. uncinata* and *P. uliginosa* compared by Student's t-test: x – significance at level p=0.05, xx – significance at level p=0.01 (character numbers as in Table 2).



Ryc. 4. Porównanie *Pinus uncinata* i *P. uliginosa* (linie łamane) do *P. mugo* (na wykresie jako linia pozioma 1.0) pod względem wszystkich badanych cech graficzną metodą Jentys-Szaferowej (1959).

Fig. 4. Comparison of all analysed characters of *Pinus uncinata* and *P. uliginosa* (broken lines) and *P. mugo* (horizontal line 1.0) using Jentys-Szaferowa's (1959) graphic method.

wynik analizy dyskryminacji (Ryc. 5). Na płaszczyźnie między dwiema zmiennymi dyskryminacyjnymi (U_1 - U_2), które zawierają 100% informacji o zmienności, badane taksony utworzyły mniej więcej jedno skupienie, co świadczy o ich bliskim pokrewieństwie. Pierwsza zmienna dyskryminacyjna odpowiada za 62% informacji o zmienności i kształtują ją przede wszystkim cechy związane z epidermą (stosunek szerokości do wysokości komórki epidermy, wysokość i szerokość komórek epidermy) a także, już w dużo mniejszym stopniu, szerokość igły. Najgrubszą warstwę epidermy spotyka się u *P. uncinata*, natomiast u *P. mugo*, a zwłaszcza u *P. uliginosa* jest ona wyraźnie cieńsza. Pod względem szerokości igły niską wartością tej cechy wyróżnia się *P. uliginosa*.



Ryc. 5. Wynik analizy funkcji dyskryminacji osobników należących do trzech taksonów z kompleksu *Pinus mugo* na płaszczyźnie między dwiema zmiennymi dyskryminacyjnymi U_1 i U_2 .

Fig. 5. Results of discriminant analysis for individuals of *Pinus mugo* complex on the plane of two discriminant variables U_1 and U_2 .

Druga zmienna dyskryminacyjna odpowiada za 38% zmienności i jest głównie pod wpływem długości i szerokości igły, a także wskaźnika Marceta. Pod względem tych cech najbardziej różni się *Pinus uncinata* (z uwagi na duże rozmiary igieł) i *P. uliginosa* (małe rozmiary igieł), a *P. mugo* wykazuje charakter pośredni.

Na płaszczyźnie między dwiema zmiennymi najbardziej oddziela się *Pinus mugo*, przy czym takson ten wykazuje niewielki zakres zmienności. Tuż obok niej usytuowała się nieco bardziej zmienna *P. uncinata*. Zakres zmienności obydwu taksonów pokrywa się na niewielkiej powierzchni. Największą zmienność wykazuje *P. uliginosa*, w dodatku jej zakres zmienności pokrywa się wprawdzie częściowo, ale bardzo wyraźnie z zakresem zmienności *P. mugo*.

Przepływ genów między sympatrycznymi populacjami w Węglińcu

Wyraźne różnice między badanymi populacjami *Pinus uliginosa* skłoniły autorkę do zastanowienia się nad możliwością przepływu genów od populacji bardzo licznej, jaką tworzy sosna zwyczajna otaczająca rezerwat sosny błotnej w Węglińcu, do populacji ograniczonej liczbowo, której przykładem jest właśnie sosna błotna w tymże rezerwacie. Teoretycznie osobniki *P. uliginosa* są tu stale narażone na zapylenie bardzo licznym pyłkiem sosny zwyczajnej. Potwierdziły to obserwacje fenologii kwitnienia obydwu tych sosen w Węglińcu prowadzone przez kolejne trzy wiosny. Wynika z nich, że początek fazy percepcji pyłku wykazywanej przez makrostrobile *P. uliginosa* pokrywał się z pełnią pylenia *P. sylvestris*, natomiast okres pylenia *P. uliginosa* przypadał na koniec percepcji *P. sylvestris* (BORATYŃSKI i in. 2003). Prawdopodobieństwo zapylenia sosny błotnej pyłkiem sosny zwyczajnej należy uznać za dużo większe, niż prawdopodobieństwo zapylenia sosny zwyczajnej pyłkiem sosny błotnej. Mimo to w populacji sosny błotnej w Węglińcu nie dochodzi, na większą skalę, do efektywnego krzyżowania się sosny błotnej z sosną zwyczajną, co potwierdziły przeprowadzone tam równocześnie badania izoenzymowe.

Populacja *Pinus uliginosa* z rezerwatu w Węglińcu, mimo że jest otoczona borami sosny zwyczajnej, nie wykazuje pod względem badanych cech igieł większego powinowactwa do tego gatunku. Z analiz wynika, że obydwie sosny nie różnią się statystycznie istotnie jedynie długością igły i liczbą rzędów szparek po obydwu stronach igły oraz szerokością komórek epidermy. Ta ostatnia cecha zresztą osiąga taką samą wartość u wszystkich badanych populacji niezależnie od taksonu. *P. uliginosa* i rosnąca obok *P. sylvestris* różnią się, w sposób istotny statystycznie, wszystkimi pozostałymi cechami, a najmocniej liczbą szparek, liczbą kanałów żywicznych, odległością między wiązkami przewodzącymi i wysockością komórek epidermy.

Częstość występowania krótkopędów z trzema igłami

Taksony należące do podsekcji *Sylvestres* charakteryzują się 2-igłowymi krótkopędami, jednak zdarza się, że mają one czasem 3 i więcej igieł na jednym krótkopędzie. Doniesienia o krótkopędach z 3 i więcej igłami u *Pinus mugo* i *P. uncinata* znane były już wcześniej (SCHNEIDER 1913; GYÖRFFY 1932; DEBAZAC 1962; JÄHRIG 1962; SKAWIŃSKI 1975; KLAUS & ZETTER 1978; CHRISTENSEN 1987c; BORATYŃSKI i in. 2000). Natomiast wzmianki o 3-igłowych krótkopędach u *P. sylvestris* były nieliczne, jeśli uwzględnić wielki zasięg tego gatunku (RETTICH 1932; SZYMAŃSKI 1958; GIERTYCH 1968; PRZYBYLSKI 1970; KRÓL 1983–1984).

Z własnych badań autorki wynika, że 3-igłowe krótkopędy najczęściej występują w populacjach *Pinus mugo* (średnio w 24% okazów) i u *P. uncinata* (w 20% okazów). U pozostałych taksonów spotyka się je zdecydowanie rzadziej lub nie występują wcale (BORATYŃSKA & BORATYŃSKI 2003). Spośród 19 badanych populacji *P. mugo* najczęściej anomalie igłowe zdarzały się w tatrańskich i karkonoskich pochodzeniach oraz w próbie z Alp Nadmorskich. Najliczniejsze były takie okazy, u których znajdowano 8–15% nietypowych krótkopędów. Zdarzały się też okazy z więcej niż 50-procentowym udziałem

3-igłowych krótkopędów, a nawet jeden z okazów pochodzący z Coll de Tende (Alpy Nadmorskie) miał około 95% takich krótkopędów. Średnio w pobieranej próbie (na jednym pędzie) występowało 4,6% krótkopędów z trzema igłami (maksymalnie w Dolinie Pięciu Stawów w Tatrach 19%, a minimalnie na Ukrainie na zboczach Howerli w Czarnohorze 0,8%, natomiast nie obserwowano ich w populacji z Witoszy w Bułgarii).

Częstość występowania okazów z nietypowymi krótkopędami w populacji, jak i częstość występowania nietypowych krótkopędów w pobieranej próbie są słabo skorelowane z szerokością geograficzną. Stwierdzono natomiast statystycznie wysoce istotne korelacje między występowaniem osobników z 3-igłowymi krótkopędami w populacji oraz między częstością 3-igłowych krótkopędów w próbie a wysokością nad poziomem morza analizowanej próby (BORATYŃSKA & BORATYŃSKI 2003).

Próby zbierane z tych samych populacji, ale w różnych latach (np. Karkonosze), wykazywały podobny procent obecności krótkopędów nietypowych. Tak więc rok zbioru nie wpływa istotnie na pojawianie się 3-igłowych krótkopędów. Sugeruje to, że nasilenie występowania tego zjawiska jest uwarunkowane genetycznie i prawdopodobnie charakterystyczne dla lokalnych populacji. W ostatnich badaniach potwierdzono utrzymywanie się wysokiej częstości nieprawidłowych krótkopędów u tych samych osobników w kolejnych latach. Ponadto stwierdzono, że na występowanie nietypowych krótkopędów u *Pinus mugo* najmocniej wpływa usłonecznienie w maju; zbyt silne usłonecznienie w okresie aktywacji pąka na wiosnę może powodować zaburzenia fizjologiczne w jego późniejszym rozwoju (PIÓRKOWSKA 2004).

Spośród 11 badanych populacji *Pinus uncinata* najwięcej nietypowych krótkopędów zanotowano w Vall de Ransol i Vall de Nuria w Zachodnich Pirenejach oraz w Masywie Centralnym. Średnio obserwowano 6,6% krótkopędów nietypowych w jednej próbie, a więc nieco więcej niż u *P. mugo*. Jedyne 6-igłowe krótkopędy znaleziono w populacji z Col de la Croix de Morand w Masywie Centralnym. W przypadku *P. uncinata* wykryto podobne, jak u *P. mugo* zależności między częstością występowania osobników z anomaliami w populacji oraz częstością występowania nietypowych krótkopędów w próbie a szerokością geograficzną i wysokością nad poziomem morza.

Igły z 3-igłowych krótkopędów, zarówno u kosodrzewiny jak i u sosny hakowatej, były zawsze krótsze od igieł z krótkopędów typowych, różnice te były jednak statystycznie nieistotne.

WNIOSKI

Wyniki badań biometrycznych wskazują na to, że *Pinus mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa* bardzo dobrze odróżniają się pod względem cech igieł od *P. sylvestris*. Natomiast trzy pierwsze taksony wykazują między sobą dużo mniejsze zróżnicowanie. We wszystkich przeprowadzonych analizach stoją zawsze obok siebie, co potwierdza ich bliskie związki.

Niemniej *Pinus mugo*, *P. uncinata* i *P. uliginosa* różnią się w sposób statystycznie istotny kilkoma cechami igieł, a na podkreślenie zasługuje szczególnie odmienność *P. uncinata* z Pirenejów i *P. mugo* z Tatr oraz *P. uliginosa* (obydwu populacji) i *P. mugo* z Kar-

konoszy. Biometryczne różnice w morfologii i anatomii igieł dwu populacji sosny błotnej z terenu Polski spowodowane są najprawdopodobniej długą ich izolacją, a być może także pochodzeniem z innych ostoi plejstocenijskich.

Pinus uliginosa z Węglińca, choć otoczona liczną populacją *P. sylvestris*, nie wykazuje bliższego związku z tym gatunkiem, niż izolowana populacja z Wielkiego Torfowiska Batorowskiego. Na tej podstawie można przypuszczać, że proces przepływu genów od *P. sylvestris* do *P. uliginosa* nie zachodzi na większą skalę, co jest zgodne z wynikami badań izoenzymowych i badań molekularnych.

Geograficzne różnicowanie kosodrzewiny wskazuje na to, że kosodrzewina z Karpat Wschodnich może pochodzić z innej ostoi plejstocenijskiej niż populacje zachodnio-karpacie i alpejskie, co częściowo znajduje potwierdzenie w badaniach paleobotanicznych.

Na podstawie wyników przedstawionych badań autorka jest zdania, że należy utrzymać rangę gatunku dla *Pinus uncinata* i *P. mugo*. Natomiast duża zmienność igieł *P. uliginosa*, jak i ich charakter pośredni pomiędzy *P. uncinata* i *P. mugo*, mogą wskazywać na mieszańcowe pochodzenie tego taksonu.

Podziękowania. Wszystkim, którzy pomagali mi w wykonywaniu tej pracy, jak i wszystkich wcześniejszych, dotyczących tego zagadnienia, pragnę serdecznie podziękować. Przede wszystkim dziękuję mojemu Mężowi Adamowi za nieocenioną pomoc podczas zbioru materiału, liczne dyskusje i cenne uwagi w trakcie wykonywania badań, jak i podczas przygotowywania prac do druku.

LITERATURA

- AMARAL FRANCO J. DO. 1986. *Pinus* L. – W: S. CASTROVIEJO, M. LAINZ, G. LOPEZ GONZALEZ, P. MONTERRAT, F. MUÑOZ GARMÉNDIA, J. PAIVA & L. VILLAR (red.), Flora Iberica 1: 168–174. Real Jardín Botánica, C. S. I. C. Madrid.
- BĄCZKIEWICZ A. 1995. Biometrical study of some individuals chosen from *Pinus mugo* Turra populations in the peat bog „Bór na Czerwonem”. – Acta Soc. Bot. Pol. 64(1): 71–80.
- BERGLUND B. E., BIRKS H. J. B., RALSKA-JASIEWICZOWA M., WRIGHT H. E. (red.) 1996. Palaeoecological events during the last 15000 years. ss.764. Wiley, Chichester.
- BOBOWICZ M. A. 1990. Mieszańce *Pinus mugo* Turra × *Pinus sylvestris* L. z rezerwatu „Bór na Czerwonem” w Kotlinie Nowotarskiej. ss. 284. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, ser. Biologia 40, Poznań.
- BOBOWICZ M. A., DANIELEWICZ W., PIECZYŃSKA B., WOJNICKA-PÓLTORAK A. & PRUS-GŁOWACKI W. 2000. Isoenzymatic variability in progeny of *Pinus mugo* Turra × *Pinus sylvestris* L. hybrids from Bór na Czerwonem, in experimental culture. – Acta Soc. Bot. Pol. 69(2): 137–144.
- BOBOWICZ M. A. & KORCZYK A.F. 1994. Interpopulational variability of *Pinus sylvestris* L. in eight Polish localities expressed in morphological and anatomical traits of needles. – Acta Soc. Bot. Pol. 63: 67–76.
- BOBOWICZ M. A. & KRZAKOWA M. 1986. Anatomical differences between *Pinus mugo* Turra populations from the Tatra Mts. expressed in needle traits and in needle and cone traits together. – Acta Soc. Bot. Pol. 55(2): 275–290.
- BOBOWICZ M. A. & KRZAKOWA M. 1988. Variability of *Pinus mugo* Turra individuals from Hala Gąsienicowa in Tatra Mts expressed in needle traits with reference to cone characters. – Bull. Soc. Amis Sci. Lett. Poznań, ser. D, Sci. Biol. 26: 87–98.

- BOBOWICZ M. A., SZWEYKOWSKI J. & KOZŁICKA M. 1983. The variability of morphological traits in the population of *Pinus mugo* Turra on Borowina Peat Bog in the Izerskie Mts. – Bull. Soc. Amis Sci. Lett. Poznań, ser. D, Sci. Biol. **22**: 83–105.
- BONO G., BARBERO M. & POIRION L. 1967. Groupements de “*Pinus mugo*” Turra (“*Pinus mughus*” Scop.) dans les Alpes Maritimes et Ligures. – *Alionia* **13**: 55–80.
- BORATYŃSKA K. 2002. Needle variability of *Pinus mugo* Turra in the West Tatra Mts. – *Dendrobiology* **48**: 3–8.
- BORATYŃSKA K. & BOBOWICZ M. A. 2000. Variability of *Pinus uncinata* Ramond ex DC. as expressed in needle traits. – *Dendrobiology* **45**: 7–16.
- BORATYŃSKA K. & BOBOWICZ M. A. 2001. *Pinus uncinata* Ramond taxonomy based on needle characters. – *Plant Syst. Evol.* **227**: 183–194.
- BORATYŃSKA K. & BORATYŃSKI A. 2003. Anomalous needles numbers on dwarf shoots of *Pinus mugo* and *P. uncinata* (*Pinaceae*). – *Acta Soc. Bot. Pol.* **72**(2): 139–148.
- BORATYŃSKA K., BORATYŃSKI A. & LEWANDOWSKI A. 2003. Morphology of *Pinus uliginosa* (*Pinaceae*) needles from populations exposed to and isolated from the direct influence of *Pinus sylvestris*. – *Bot. J. Linn. Soc.* **142**: 83–91.
- BORATYŃSKA K., MARCYSIAK K. & BORATYŃSKI A. 2004a. High morphological variation of isolated population of *Pinus mugo* (*Pinaceae*) in the Abruzzian Appenines (Italy). – *Bot. J. Linn. Soc.* (w druku).
- BORATYŃSKA K., MUCHEWICZ E. & DROJMA M. 2004b. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters. – *Dendrobiology* **51**: 9–16.
- BORATYŃSKA K. & PASHKEVICH N. A. 2001. Variability in needle traits of *Pinus mugo* Turra in the Ukrainian Carpathians. – *Acta Soc. Bot. Pol.* **70**(3): 181–186.
- BORATYŃSKI A., BORATYŃSKA K., LEWANDOWSKI A., GOŁĄB Z. & KICIŃSKI P. 2003. Evidence of the possibility of natural reciprocal crosses between *Pinus sylvestris* and *P. uliginosa* based on the phenology of reproductive organs. – *Flora* **198**: 377–388.
- BORATYŃSKI A., DIDUKH JA. P. & TOMASZEWSKI D. 2000. Cone cluster form of *Pinus uncinata* Ramond (*Pinaceae*). – *Roczn. Dendr.* **48**: 183–185.
- BUSINSKÝ R. 1999. Taxonomická studie agregátu *Pinus mugo* a jeho hybridních populaci. – *Acta Průhoniciana* **68**: 123–144.
- CHRISTENSEN K. I. 1987a. Taxonomic revision of the *Pinus mugo* complex and *P. ×rhaetica* (*P. mugo* × *P. sylvestris*) (*Pinaceae*). – *Nord. J. Bot.* **7**: 383–408.
- CHRISTENSEN K. I. 1987b. A morphometric study of the *Pinus mugo* Turra complex and its natural hybridization with *P. sylvestris* L. (*Pinaceae*). – *Fed. Repert.* **98**(11–12): 623–635.
- CHRISTENSEN K. I. 1987c. Atypical cone and leaf character states in *Pinus mugo* Turra, *P. sylvestris* L., and *P. ×rhaetica* Brügger (*Pinaceae*). – *Gleditschia* **15**(1): 1–5.
- CHRISTENSEN K. L. & DAR G. H. 1997. A morphometric analysis of spontaneous and artificial hybrids of *Pinus mugo* × *sylvestris* (*Pinaceae*). – *Nord. J. Bot.* **17**(1): 77–86.
- DEBAZAC E. F. 1962. Note sur le bourgeon interfasciculaire et les aiguilles surnuméraires chez les Pins. – *Bull. Soc. Bot. France* **109**: 1–5.
- FARCAS S., DE BEAULIEU J. L., REILLE M., COLDEA M., DIACONEASA B., GOSLAR T. & JULL T. 1999. First C datings of Late Glacial and Holocene pollen sequences from the Romanian Carpathians. – *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, ser. 3, Sci. Vie* **322**: 799–807
- FILPPULA S., SZMIDT A. E. & SAVOLAINEN O. 1992. Genetic comparison between *Pinus sylvestris* and *Pinus mugo* using isozymes and chloroplast DNA. – *Nord. J. Bot.* **12**(4): 381–386.

- GANDOUIN E. & FRANQUET E. 2002. Late glacial and Holocene chironomid assemblages in "Lac Long Inférieur" (southern France, 2090 m): palaeoenvironmental and palaeoclimatic implications. – *J. Paleolimnol.* **28**: 317–328.
- GIERTYCH M. 1968. The process of crown restoration following debudding of *Pinus sylvestris*. III Symposium on Plant Growth Regulators, Toruń 11–14.09.1968.
- GOBET E., TINNER W., HOCHULI P. A., LEEUWEN J. F. & AMMANN B. 2003. Middle to Late Holocene vegetation history of the Upper Engadine (Swiss Alps): the role of man and fire. *Veget.* – *Hist. Archaeobot.* **12**: 143–163.
- GOLDE A. 2000. Die Moorpopulationen der Berg-Kiefer (*Pinus mugo* agg.) in Sachsen. – *Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges.* **85**: 23–38.
- GONCHARENKO G. G., SILIN A. E. & PADUTOV V. E. 1995. Intra- and interspecific genetic differentiation in closely related pines from *Pinus* subsection *Sylvestres* (*Pinaceae*) in the former Soviet Union. – *Pl. Syst. Evol.* **194**: 39–54.
- GYÖRFFY I. 1932. Über Abnormitäten einiger Conifere-Blätter. – *Ber. Deutsche Bot. Gesellsch., S. L.* **5**: 227–228.
- HOLUBIČKOVÁ B. 1965. A study of the *Pinus mugo* complex (Variability and Diagnostic Value of Characters in Some Bohemian Populations). – *Preslia* **37**: 276–288.
- JÄHRIG M. 1964. Beiträge zur Nadelanatomie und Taxonomie der Gattung *Pinus* L. – *Willdenowia* **3**(2): 329–366.
- JENTYS-SZAFEROWA J. 1959. Graficzna metoda porównywania kształtów roślinnych. – *Nauka Polska* **7**: 79–110.
- KLAUS W. & ZETTER R. 1978. Lokalrassen und dreinadelige Kurztriebe bei der Krummholz-Kiefer (*Pinus mugo*) auf der Rax-Alpen (Niederösterreich). – *Pl. Syst. Evol.* **130**: 161–162.
- KRZYŚKO M. 1990. Analiza dyskryminacyjna. ss. 155. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- KRZAKOWA M., NAGANOWSKA B. & BOBOWICZ M. A. 1984. Investigations on taxonomic status of *Pinus uliginosa* Neumann. – *Bull. Soc. Amis Sci. Lett. Poznań, ser. D, Sci. Biol.* **24**: 87–96.
- KRÓL A. 1983–1984. Występowanie trójigłowych krótkopędów u sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.). – *Roczn. Dendr.* **35**: 139–140.
- KORSHIKOV I. I. & PIRKO YA. V. 2002. Genetic Variation and Differentiation of Peat-Bog and Dry-Meadow Populations of Dwarf Mountain Pine *Pinus mugo* Turra in the Highlands of the Ukrainian Carpathians. – *Genetica* **38**(9): 1235–1241.
- LAURANSON-BROYER J., KRZAKOWA M. & LEBRETON PH. 1997. Reconnaissance chimiosystématique et biométrique du pin de tourbière *Pinus xuliginosa* Neumann. – *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, ser. 3, Sci. Vie* **320, 7**: 557–565.
- LEWANDOWSKI A., BORATYŃSKI A. & MEJNARTOWICZ L. 2000. Allozyme investigations on the genetic differentiation between closely related pines – *Pinus sylvestris* L., *P. mugo* Turra, *P. uncinata* Ramond ex DC. and *P. uliginosa* Neumann (*Pinaceae*). – *Pl. Syst. Evol.* **221**: 15–24.
- LEWANDOWSKI A., SAMOĆKO J., BORATYŃSKA K. & BORATYŃSKI A. 2002. Genetic differences between two Polish populations of *Pinus uliginosa*, compared to *P. sylvestris* and *P. mugo*. – *Dendrobiology* **48**: 51–57.
- ŁOMNICKI A. 2000. Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. ss. 262. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- MARCEY E. 1967. Über den Nachweis spontaner Hybriden von *Pinus mugo* Turra und *Pinus sylvestris* L. aufgrund von Nadelmerkmalen. – *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft. Bull. Soc. Bot. Suisse* **77**: 314–360.

- MARCYSIAK K. 2004. Interpopulational variability of *Pinus uncinata* Ramond ex DC. in Lam. & DC. (*Pinaceae*) cone characters. – *Dendrobiology* **51**: 41–49.
- MAREK T. 1989. Analiza skupień w badaniach empirycznych. ss. 63. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- MINGHETTI P. 1997. Contributo alla conoscenza di *Pinus mugo* agg. in Trentino (Italia): un approccio biometrico. – *Webbia* **52**(1): 67–85.
- MONTACCHINI F. & CARAMIELLO R. 1968. Il *Pinus mugo* Turra ed il *Pinus uncinata* Miller in Piemonte. Note critiche e distribuzione. – *Giorn. Bot. Ital.* **102**: 529–535.
- MONTERRAT I & MARTI 1986. Flora y Vegetacion de la Sierra de Guara. – *Naturaleza en Aragon* **1**: 41, Diputacion General de Aragon, Zaragoza.
- MORRISON D. F. 1990. Wielowymiarowa analiza statystyczna, ss. 589. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- MUSIL I. 1977. Variabilita znaků jehlic u komplexu *Pinus mugo* a u *Pinus sylvestris*. – *Preslia* **49**: 23–32.
- NEET-SARQUEDA C. 1994. Genetic differentiation of *Pinus sylvestris* L. and *P. mugo* aggr. Populations in Switzerland. – *Silvae Genet.* **43**(4): 207–215.
- NEET-SARQUEDA C., PLUMETTAZ C. & BÉCHOLEY I. 1988. Mise en évidence de l'hybridation introgressive entre *Pinus sylvestris* L. et *Pinus uncinata* DC. en Valais (Suisse) par deux méthodes multivariées. – *Bot. Helv.* **98**(2): 161–169.
- OBIDOWICZ A. 1996. A Late Glacial-Holocene history of the formation of vegetation belts in the Tatra Mts. – *Acta Palaeobot.* **36**(2): 159–206.
- ODRZYKOWSKI I. J. 2002. Badania nad zmiennością genetyczną kosodrzewiny (*Pinus mugo*) z wykorzystaniem markerów biochemicznych i molekularnych. Mskr. pracy doktorskiej, Zakład Genetyki Instytutu Biologii Eksperymentalnej Wydziału Biologii Uniwersytetu A. Mickiewicza, Poznań.
- PAWŁOWSKI B. 1956. Flora Tatr 1. ss. 672. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- PIÓRKOWSKA M. 2004. Występowanie i uwarunkowania środowiskowe kosodrzewiny (*Pinus mugo* Turra) z trójgłowych krótkopędów w Karkonoszach. Mskr. pracy magisterskiej, Zakład Botaniki Instytutu Biologii i Ochrony Środowiska, Akademia Bydgoska.
- PRUS-GŁOWACKI W., BUJAS E. & RATYŃSKA H. 1998. Taxonomic position of *Pinus uliginosa* Neumann as related to other taxa of *Pinus mugo* complex. – *Acta Soc. Bot. Pol.* **67**(3–4): 269–274.
- PRUS-GŁOWACKI W. & STEPHAN B. R. 1998. Immunochemical and isoenzymatic characterization of hybrids from controlled crosses between *Pinus montana* var. *rostrata* and *Pinus sylvestris*. – *For. Genet.* **5**: 155–163.
- PRUS-GŁOWACKI W. & SZWEYKOWSKI J. 1979. Studies on antigenic differences in needle proteins of *Pinus sylvestris* L., *P. mugo* Turra, *P. uliginosa* Neumann and *P. nigra* Arnold. – *Acta Soc. Bot. Pol.* **48**: 217–138.
- PRUS-GŁOWACKI W. & SZWEYKOWSKI J. 1983. Studies on isoenzyme variability in populations of *Pinus sylvestris* L., *Pinus mugo* Turra, *Pinus uliginosa* Neumann and individuals from a hybrid swarm population. – *Bull. Soc. Amis Sci. Lett. Poznań, ser. D, Sci. Biol.* **22**: 107–122.
- PRUS-GŁOWACKI W., SZWEYKOWSKI J. & NOWAK R. 1985. Serotaxonomical investigation of the European Pine Species. – *Silvae Genet.* **34**(4–5): 162–170.
- PRZYBYLSKI T. 1970. Morfologia. – W: S. BIAŁOBOK (red.), *Sosna zwyczajna. Nasze drzewa leśne* **1**: 86–120. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Kórnik – Poznań.
- RETTICH K. 1932. Zapfensucht bei *Pinus silvestris*. – *Mitt. Deutsch. Dendr. Ges.* **44**: 410.
- RYBNÍČEK K. & RYBNÍČKOVÁ E. 2002. Vegetation of the Upper Orava region (NW Slovakia) in the last 11000 years. – *Acta Paleobot.* **42**(2): 153–170.

- SCHNEIDER W. 1913. Vergleichend-morphologische Untersuchungen über die Kurztriebe einiger Arten von *Pinus*. – Flora **105**: 385–446.
- SIEDLEWSKA A. 1994. Isoenzymatic differentiation in putative hybrid swarm population (*Pinus mugo* Turra × *P. sylvestris* L.) from “Torfowisko Zielieniec” peat-bog. – Acta Soc. Bot. Pol. **63**(3–4): 325–332.
- SIEDLEWSKA A. & PRUS-GŁOWACKI W. 1994. Allozyme variability of putative hybrid swarm population (*Pinus mugo* Turra × *P. sylvestris* L.) from Topielisko peat-bog near Zielieniec. – Genet. Polon. **35**(4): 285–302.
- SIEDLEWSKA A. & PRUS-GŁOWACKI W. 1995. Genetic structure and taxonomic position of *Pinus uliginosa* Neumann population from Wielkie Torfowisko Batorowskie in Stołowe Mts. (locus classicus). – Acta Soc. Bot. Pol. **64**(1): 51–58.
- SKAWIŃSKI P. 1975. Trójgigielna kosodrzewina *Pinus montana* Mill. w Tatrach. – Studia Ośr. Dok. Fizjogr. **4**: 221–223.
- STASZKIEWICZ J. 1993. Variability of *Pinus mugo* × *P. sylvestris* (*Pinaceae*) hybrid swarm in the Tisovnica Nature Reserve (Slovakia). – Polish Bot. Stud. **5**: 33–41.
- STASZKIEWICZ J. 1994. Zróżnicowanie populacji *Pinus ×rhaetica* (*Pinaceae*) w rezerwacie „Miedzi Bormi” w Słowacji. – Fragn. Flor. Geobot. Ser. Polonica **1**: 223–233.
- STASZKIEWICZ J. 1996. Naturalne mieszańce *Pinus mugo* × *P. sylvestris* (*Pinaceae*) w Tatrach. – Fragn. Flor. Geobot. Ser. Polonica **3**: 23–30.
- STASZKIEWICZ J. & TYSZKIEWICZ M. 1969. Naturalne mieszańce *Pinus mugo* Turra × *Pinus sylvestris* L. w Kotlinie Nowotarskiej. – Fragn. Flor. Geobot. **15**(2): 187–212.
- STASZKIEWICZ J. & TYSZKIEWICZ M. 1972. Zmienność naturalnych mieszańców *Pinus sylvestris* L. × *Pinus mugo* Turra (= *P. ×rotundata* Link) w południowo-zachodniej Polsce oraz na wybranych stanowiskach Czech i Moraw. – Fragn. Flor. Geobot. **18**(2): 173–191.
- STASZKIEWICZ J. & TYSZKIEWICZ M. 1976. Zmienność populacyjna i osobnicza szyszek kosodrzewiny (*Pinus mugo* Turra) ze szczególnym uwzględnieniem materiałów z Karpat. – Fragn. Flor. Geobot. **22**(1–2): 19–29.
- STEFANOVA I. & AMMAN B. 2003. Lateglacial and Holocene vegetation belts in the Pirin Mountains (south-eastern Bulgaria). – The Holocene **13**(1): 97–107.
- STEFANOVA I., OGNJANOVA-RUMENOVA N., HOFMANN W. & AMMAN B. 2003. Late Glacial and Holocene environmental history of the Pirin Mountains (SW Bulgaria): a paleolimnological study of Lake Dalgoto (2310 m). – J. Paleolimnol. **30**: 95–111.
- STRUŽKOVÁ D. 2002. Cuticular analysis – a method to distinguish the leaves of *Pinus sylvestris* L. (Scots Pine) from those of *Pinus mugo* Turra s. str. (Dwarf Mountain-pine). – Veget. Hist. Archaeobot. **11**: 241–246.
- SZWEYKOWSKI J. 1969. The variability of *Pinus mugo* Turra in Poland. – Bull. Soc. Amis Sci. Lett. Poznań, ser. D, Sci. Biol. **10**: 37–54.
- SZWEYKOWSKI J. & BOBOWICZ M. A. 1977. Variability of *Pinus mugo* Turra in Poland IV. Needles and cones in some Polish populations. – Bull. Soc. Amis Sci. Lett. Poznań, ser. D, Sci. Biol. **17**: 3–14.
- SZWEYKOWSKI J., BOBOWICZ M. A. & KOZŁICKA M. 1976. The variability of *Pinus mugo* Turra in Poland III. A natural populations from Borowina in Góry Izerskie Mts (SW Poland). – Bull. Soc. Amis Sci. Lett. Poznań, ser. D, Sci. Biol. **16**: 17–28.
- SZYMAŃSKI S. 1958. Objawy regeneracji u siewek sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.). – Roczn. Dendr. **12**: 413–420.
- TARASOV P. E., VOLKOVA V. S., WEBB T., GUIOT J., ANDREEV A. A., BEZUSKO L. G., BEZUSKO T. V., BYKOVA G. V., DOROFYUK N. I., KVAVADZE E. V., OSIPOVA I. M., PANOVA N. K. & SEVASTYANOV D. V. 2000.

- Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. – J. Biogeogr., Biome 6000 special issue, 1–22.
- TZEDAKIS P. C., LAWSON I. T., FROGLEY M. R., HEWITT G. M. & PREECE R. C. 2002. Buffered tree population changes in a quaternary refugium: evolutionary implications. – *Science* **297**: 2044–2047.
- VIEWEGH J. 1981. Variabilita hybridního roje *Pinus mugo* × *Pinus sylvestris* na rašeliništi u Zuberce na Oravě. – *Folia Dendrol.* **8**: 41–58.
- WACHOWIAK W. 2003. Procesy hybrydyzacji w sympatrycznych populacjach *Pinus sylvestris* i *Pinus mugo* complex badane markerami DNA. ss. 122. Mskr. pracy doktorskiej. Zakład Genetyki Instytutu Biologii Eksperymentalnej Wydziału Biologii Uniwersytetu A. Mickiewicza, Poznań.
- WATAŁA C. 2002. Biostatystyka – wykorzystanie metod statystycznych w pracy badawczej w naukach biometrycznych. ss. 423. *α-medica press*, Bielsko-Biała.
- WILLIS K. J. 1994. The vegetation history of the Balkans. – *Quaternary Science Reviews* **13**: 769–788.
- WILLIS K. J., RUDNER E. & SÜMEGI P. 2000. The full-glacial forests of central and southeastern Europe: Evidence from Hungarian macrofossil charcoal, pollen and molluscan records. – *Quaternary Research* **53**: 203–213.
- WOHLFARTH B., HANNON G., FEUDEAN A., GHERGARI L., ONAC B. P. & POSSNERT G. 2001. Reconstruction of climatic and environmental changes in NW Romania during the early part of the last deglaciation (~15000–13000 cal yr BP). – *Quaternary Science Reviews* **20**: 1897–1914.

SUMMARY

The systematic relations among taxa of *Pinus mugo* complex and its differences from *Pinus sylvestris* were studied biometrically on the basis of needle characters. Totally 26 populations were sampled, each by collecting of 10 dwarf shoots from 30 individuals. The 15 characters were examined biometrically and compared using multivariate statistic methods, as discriminant and cluster analyses.

The results showed that *Pinus mugo*, *P. uncinata* and *P. uliginosa* [= *P. rotundata*] are statistically significantly different in respect of most of 15 characters from compared *P. sylvestris*. The differences among these three taxa are much smaller, which confirm their close relations. In spite of that, *P. mugo*, *P. uncinata* and *P. uliginosa* differed statistically significantly in several needle characters. The differences between *P. uncinata* from the Pyrenees and *P. mugo* from the Tatras and two populations of *P. uliginosa* and *P. mugo*, both latter taxa from the Sudetes, were reported. The surprisingly high differences between two populations of *P. uliginosa* can be determined by isolation for a long period and/or by origin from different Pleistocene centers.

The possibility of reciprocal influences of *Pinus sylvestris* and *P. uliginosa* was verified by comparison of needle characters of *P. uliginosa* from Węgliniec, population being surrounded by extensive *P. sylvestris* forests and from Batorów, isolated from direct influence of the latter species. The population from Węgliniec do not show more close affinities to *P. sylvestris* than that from Batorów. The gene flow from *P. sylvestris* into *P. uliginosa* was found as minimal, and this result was confirmed in the genetic studies on isoenzymes.

The geographic differentiation of *Pinus mugo* shows the separation of East-Carpathian populations of the species. It can be explained by possibility of origin from another Pleistocene center (at least partly confirmed in paleobotanical studies).

The results suggest that *Pinus mugo* and *P. uncinata* should be treated as independent species, not as subspecies of *P. mugo* sensu lato. The intermediate position of *P. uliginosa* between two latter taxa suggests its hybrid origin.

Przyjęto do druku: 22.07.2004 r.