

Zmienność cech wiązu górskiego *Ulmus glabra* Huds. rosnącego na uprawie zachowawczej *ex situ* w Nadleśnictwie Oleszyce

Variability of wych elm *Ulmus glabra* Huds. characteristics growing on an *ex situ* conservative plantation in the Oleszyce Forest District

Jacek Banach^{1*} , Kinga Skrzyszewska¹ , Izabela Puk^{1,2}

¹Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, al. 29-Listopada 46, 31-425 Kraków;

²Nadleśnictwo Oleszyce, ul. Zielona 4B, 37-630 Oleszyce

*Tel. +48 12 6625125, e-mail: rlbanch@cyf-kr.edu.pl

Abstract. The aim of this work was to investigate the variability of different features in wych elm *Ulmus glabra* Huds. populations growing in the conservative plantation in the Kolonia Forest Subdistrict (Oleszyce Forest District). We examined the survival rate, height, and spring flushing of the elm trees as well as the occurrence of two leaf morphotypes after ten years since the establishment of the plantation. Statistically significant differences were found between the studied populations in terms of survival and height growth, while no difference was observed for spring flushing, which may be due to the close proximity in which the tested populations grow. The highest rate of survival was observed in the Bircza 33a population (87.3%), whereas the Lutowiska 40b population grew tallest (344.3 cm). Elms with leaves typical of the *U. glabra* ssp. *montana* (morphotype A – 84%) dominated the stand, while elms with leaves characteristic for the *U. glabra* ssp. *glabra* (morphotype B) were a minority with only 4%. However, within the Lutowiska 137g population, the share of morphotype B was as high as 25%.

Keywords: survival, height, spring flushing, leaf variability

Słowa kluczowe: przeżywalność, wysokość, pędzenie wiosenne, zmienność liści

1. Wstęp

Ochrona zmienności genetycznej obejmuje restytucję i utrzymanie zagrożonych zasobów genowych. Pierwszy sposób ochrony polega na trwałym zachowaniu zasobów genowych w miejscu ich występowania (*in situ*), drugi na ich przenoszeniu w miejsce, gdzie nie występuje zagrożenie (*ex situ*). Przykładem obiektów ochrony *in vivo* (w naturalnych warunkach) są uprawy pochodne, uprawy zachowawcze, plantacje zachowawcze, archiwa i kolekcje klonów (Matras 2013).

W Polsce występują trzy gatunki wiązu: wiąz górski *Ulmus glabra* Huds., wiąz polny *U. minor* Mill. oraz wiąz szypułkowy *U. laevis* Pall. (Bugala et al. 2015). Wiązy zalicza się do „gatunków postpionierskich”, które kształtują środowisko leśne (Falińska 2004). *U. glabra* ma szeroki zakres występowania, dlatego wyróżniono dwa podgatunki: *U. glabra* subsp. *glabra* w południowej części zasięgu i *U. glabra* subsp. *montana* w północnej części. Na Kaukazie wyróżniono również odmianę regionalną *U. glabra* var. *trautvetteri*, która czasami jest

traktowana jako odrębny gatunek – *Ulmus elliptica* K.Koch (Caudullo, de Rigo 2016). W Polsce wiąz górski zajmuje zaledwie 0,24% powierzchni leśnej, jednak zauważalny jest wzrost jego liczebności w porównaniu do danych z lat siedemdziesiątych XX wieku (Napierała-Filipiak 2014).

Wiązy uwzględniane są coraz częściej w programach ochrony, głównie *in situ* (Dunn 2000; Eriksson 2001; Collin et al. 2004; Collin, Bozzano 2015). W Polsce badaniami genetycznymi objęto wszystkie gatunki wiązów (Pałucka, Paślawska 2017; Chudzińska et al. 2018), natomiast w Hiszpanii – *U. laevis* (Fuentes-Utrilla et al. 2014) i *U. glabra* (Puerto et al. 2017). Uzyskane wyniki wykazały duży poziom zróżnicowania genetycznego. Jednym z działań mających na celu zachowanie zasobów genowych w formie żywej (*in vivo*) jest tworzenie tzw. regionalnych banków genów. Należy do nich Karpacki Bank Genów, który służy ocenie zróżnicowania genetycznego i wartości hodowlanej lasów w Krainie Karpackiej (Sabor 2006), a uzyskane wyniki można wykorzystywać podczas przebudowy drzewostanów na tym obszarze (Sabor 1996). W Karpackim Banu Genów założono

Wpłynęło: 16.02.2021 r., zrecenzowano: 28.02.2021 r., zaakceptowano: 11.03.2021 r.

uprawy zachowawcze dla jodły pospolitej *Abies alba* Mill., buka zwyczajnego *Fagus sylvatica* L. i świerka pospolitego *Picea abies* (L.) H.Karst., a także siedem powierzchni dla wiązu górskiego.

Celem badań było określenie adaptacji oraz zmienności wybranych cech wiązu górskiego, rosnącego na uprawie zachowawczej Karpackiego Banku Genów, założonej na terenie Nadleśnictwa Oleszyce. Wykonano analizę przeżywalności po 10 latach wzrostu na uprawie oraz oceniono wzrost wiązu górskiego wyhodowanego z nasion zebranych w 10 różnych lokalizacjach w południowo-wschodniej części Polski (obszar Krainy Karpackiej). Hipoteza badawcza zakłada-

ła, że potomstwo wiązów analizowane na uprawie *ex situ* nie będzie różniło się pod względem analizowanych cech.

2. Materiał i metody

Populacje zachowawcze objęte badaniami rosną na obszarze Krainy Karpackiej, w lokalizacjach różniących się wysokością n.p.m., ilością opadów oraz średnią temperaturą (tab. 1). Nasiona zebrano wiosną 2006 r. w fazie dojrzałości morfologicznej (tzw. zbiór „na zielono”) i natychmiast wysiano w Gospodarstwie Szkółkarskim Feleczyn w Nadleśnictwie Nawojowa.

Tabela 1. Lokalizacja populacji wiązu górskiego, których potomstwo jest analizowane na uprawie zachowawczej w Nadleśnictwie Oleszyce

Table 1. Location of the population of wych elm whose progeny is analyzed in conservative plantation in the Oleszyce Forest District

RDLP* RFD*	Numer popula- cji Popula- tion No	Nadleśnictwo Leśnictwo Pododdział Forest District Forest Subdistrict, Sub-compartment	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates		Wysokość n.p.m. Altitude [m]	Średnia temperatura roczna [°C] Mean annual temperature [°C]	Roczna suma opa- dów [mm] Sum of an- nual precipi- tation [mm]	Sezon we- getacyjny [dni] Vegetation period [days]	Siedlisko- wy typ lasu** Forest habitat type**	
			długość longitude E	szerokość latitude N						
Krosno	1	Stuposiany Widelki, 22a	22° 41'	49° 09'	610	6,3	1007	205	LGśw	
	2	Lutowiska Dwernik, 5a	22° 39'	49° 13'	529	6,3	996	205		
	3	Lutowiska Lipie, 40b	22° 43'	49° 16'	762	6,3	996	205		
	4	Lutowiska Chmiel, 137g	22° 36'	49° 13'	650	6,3	996	205		
	5	Brzegi Dolne-I Żuków, 195c	22° 28'	49° 26'	439	6,3	980	207		
	6	Brzegi Dolne-II Żuków, 195c	22° 28'	49° 26'	441	6,3	980	207		Lwyż
	7	Krasiczyn Olszany, 160d	22° 38'	49° 42'	429	8,1	712	227		
Katowice	10	Wisła Łabajów, 38f	18° 51'	49° 36'	510	6,3	1316	198	LMGśw	
Krosno	11	Bircza Krzywe, 33a	22° 32'	49° 41'	485	7,3	803	221	LŁwyż	
	12	Lutowiska Dwerniczek, 123Ac	22° 40'	49° 13'	555	6,3	996	205	LGśw	
Uprawa zachowawcza Conservative plantation			22° 58'	50° 11'	275	8,8	641	234	Lśw	

*Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych / Regional Directorate of State Forests; **Lwyż – las wyżynny / upland deciduous forest, LŁwyż – las łąkowy wyżynny / upland riparian deciduous forest, LMGśw – las mieszany górski świeży / fresh mountain mixed deciduous forest, LGśw – las górski świeży / fresh mountain deciduous forest, Lśw – las świeży / fresh deciduous forest

Uprawę zachowawczą *ex situ* założono na terenie Nadleśnictwa Oleszyce, w Krainie Małopolskiej w Mezoregionie Płaskowyżu Tarnogrodzkiego (Zielony, Kliczkowska 2012). Pod względem klimatycznym obszar ten położony jest XVII dzielnicy klimatyczno-rolniczej sandomiersko-rzeszowskiej (Kondracki 2011). Powierzchnia zachowawcza zlokalizowana jest w oddziale 190i w leśnictwie Kolonia (tab. 1).

Powierzchnia została podzielona na 3 powtórzenia (bloki), na których rozmieszczono po 100 drzew reprezentujących 10 populacji (ryc. 1). Wiązy zostały posadzone w więźbie 1,5×1,5 m.

W trakcie badań terenowych (2018 r.) określono przeżywalność, zmierzono wysokość oraz oceniono zróżnicowanie pędzenia wiosennego i występowanie morfotypów liści. Do oceny pędzenia wiosennego zastosowano sześciostopniową skalę, zaproponowaną przez Mykinga i Skrøppe (2007):

- 0 – brak rozwoju;
- 1 – lekkie pęcznienie (pączek wierzchołkowy jasnobrązowy);
- 2 – pęcznienie (pączek wierzchołkowy zielony);
- 3 – pędzenie (pokazują się liście);
- 4 – wszystkie liście widoczne;
- 5 – liście w pełni rozwinięte z szypułkami.

Ocenę wykonano jednorazowo w dniach 11–12 kwietnia. U analizowanych wiązków oceniono występowanie dwóch morfotypów liściowych (Myking, Yakovlev 2006): morfotyp A – liście stosunkowo długie, wierzchołek wyciągnięty, mała wartość proporcji szerokości blaszki do jej długości; morfotyp B – liście stosunkowo szerokie, widoczne dwie ostre boczne kłapy, wierzchołek wąsko wyciągnięty, duża wartość proporcji szerokości blaszki do jej długości (ryc. 2). Przy występowaniu na jednym osobniku obydwu morfotypów, klasyfikowano drzewo jako morfotyp A/B.

Dla przeżywalności, wysokości oraz pędzenia wiosennego obliczono wartość przeciętną dla populacji wraz z błędem standardowym oszacowania średniej ($\pm SE$). W celu stwierdzenia istotności wpływu genotypu (populacji), powtórzenia (bloku) oraz interakcji obydwu czynników na zmienność tych cech wykonano dwuczynnikową analizę wariancji z interakcją, określoną następującym wzorem:

$$Y_{kijn} = \mu + P_k + B_j + PB_{kj} + e_{njik}$$

gdzie:

Y_{kijn} – wartość n-tej obserwacji w k-tej populacji w j-tym powtórzeniu,

μ – średnia ogólna,

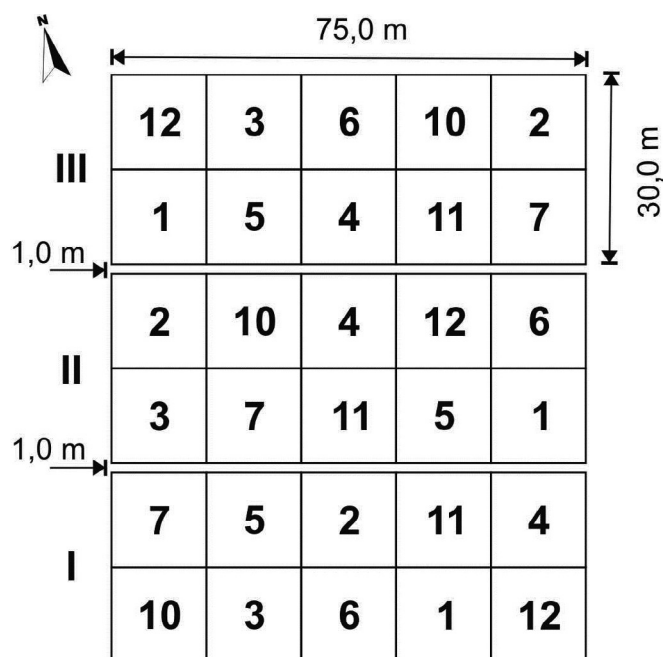
P_k – wpływ k-tej populacji,

B_j – wpływ j-tego powtórzenia,

PB_{kj} – wpływ interakcji k-tego rodzaju z j-tym powtórzeniem,

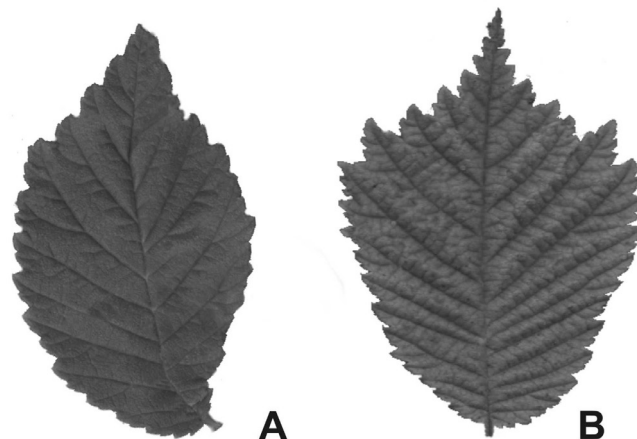
e_{njik} – błąd.

Przy analizie występowania morfotypów liści wykonano wykres kołowy udziału osobników z poszczególnymi morfotypami, tj. A, B i A/B, łącznie dla wszystkich wiązków na uprawie. Sporządzono również wykres słupkowy udziału morfotypów w każdej analizowanej populacji,



Rycina 1. Plan uprawy zachowawczej Karpackiego Banku Genów w Nadleśnictwie Oleszyce, 1–12 – numery populacji, I–III – numery powtórzeń (bloków)

Figure 1. Scheme of conservative plantation of the Carpathian Gene Bank in the Oleszyce Forest District, 1–12 – population numbers, I–III – repetition (block) numbers



Rycina 2. Morfotypy liści u wiązki górskiego: *Ulmus glabra* ssp. *montana* (A), *U. glabra* ssp. *glabra* (B)

Figure 2. Leaf morphotypes in wych elm: *Ulmus glabra* ssp. *montana* (A), *U. glabra* ssp. *glabra* (B)

a różnice między frakcjami sprawdzono testem χ^2 Pearsona. Obliczono także współczynniki korelacji liniowej Pearsona między ocenianymi cechami wiązki górskiego oraz między cechami a parametrami lokalizacji populacji, których potomstwo jest badane na uprawie zachowawczej w Nadleśnictwie Oleszyce. Wszystkie analizy statystyczne wykonano w programie Statistica 13.3 (Tibco Software Inc. 2017).

3. Wyniki

3.1. Przeżywalność

Dla 10 populacji badanych na powierzchni zachowawczej w Oleszycach przeciętna przeżywalność wiązków po 10 latach wzrostu wynosiła ok. 68%. Najniższą przeżywalność (56,3%)

odnotowano dla wiązków pochodzenia Wisła 38f, a najwyższą (87,3%) dla pochodzenia Bircza 33a (tab. 2). Pochodzenie wiązków miało istotny wpływ na ich przeżywalność, natomiast nie zaobserwowano statystycznie istotnej różnicy między blokami uprawy zachowawczej. Istotnym z kolei okazał się efekt interakcji „populacja × blok”, co wskazuje na różną przeżywalność wiązków w poszczególnych fragmentach uprawy (tab. 3).

Tabela 2. Wartości średnie cech (\pm SE) wiązków górskiego po 10 latach wzrostu na uprawie zachowawczej w Nadleśnictwie Oleszyce; a–e – grupy jednorodnie wyznaczone testem Tukeya, $p=0,05$)

Table 2. Mean values of features (\pm SE) of wych elm after 10 years of growth on a conservative plot in the Oleszyce Forest District; a–e – homogeneous groups determined by Tukey's test, $p=0.05$)

Numer populacji Population No	Nazwa populacji Population name	Przeżywalność Survival [%]	Wysokość Height [cm]	Pędzenie wiosenne Spring flushing (indeks / index)
1	Stuposiany 22a	63,3 \pm 2,8 ^{cde}	297,1 \pm 14,3 ^b	2,55 \pm 0,12 ^a
2	Lutowiska 5a	69,3 \pm 2,7 ^{bcd}	279,8 \pm 14,3 ^{bc}	2,62 \pm 0,10 ^a
3	Lutowiska 40b	75,3 \pm 2,5 ^b	344,3 \pm 8,9 ^a	2,62 \pm 0,10 ^a
4	Lutowiska 137g	58,3 \pm 2,9 ^{de}	176,7 \pm 6,1 ^e	2,44 \pm 0,12 ^a
5	Brzegi Dolne 195c-I	67,0 \pm 2,7 ^{bcde}	225,2 \pm 6,5 ^d	2,58 \pm 0,10 ^a
6	Brzegi Dolne 195c-II	67,3 \pm 2,7 ^{bcde}	184,4 \pm 6,3 ^e	2,50 \pm 0,11 ^a
7	Krasiczyn 160d	72,3 \pm 2,6 ^{bc}	274,9 \pm 8,0 ^{bc}	2,44 \pm 0,10 ^a
10	Wisła 38f	56,3 \pm 2,9 ^e	159,2 \pm 6,7 ^e	2,45 \pm 0,12 ^a
11	Bircza 33a	87,3 \pm 1,9 ^a	154,1 \pm 3,6 ^e	2,63 \pm 0,09 ^a
12	Lutowiska 123Ac	63,0 \pm 2,8 ^{cde}	252,7 \pm 14,7 ^{cd}	2,46 \pm 0,12 ^a
Wartość średnia Mean value		67,9	234,8	2,53
Odch. standardowe Standard dev.		9,0	65,0	0,08
Wsp. zmienności [%] Variation coeff. [%]		13,3	27,7	3,2

Tabela 3. Wyniki analizy wariancji cech wiązków górskiego po 10 latach wzrostu na powierzchni zachowawczej w Nadleśnictwie Oleszyce

Table 3. Results of the variance analysis of the wych elm features after 10 years of growth in a conservative plot in the Oleszyce Forest District

Źródło zmienności Source of variance	Przeżywalność Survival		Wysokość Height		Pędzenie wiosenne Spring flushing	
	test F F-test	poziom istotności significance level	test F F-test	poziom istotności significance level	test F F-test	poziom istotności significance level
Populacja (P) Population (P)	11,753	< 0,001	90,270	< 0,001	0,562	0,829
Blok (B) Block (B)	0,139	0,645	16,621	< 0,001	0,685	0,504
Interakcja P × B P × B interaction	5,336	< 0,001	86,453	< 0,001	0,566	0,925

3.2. Wysokość

Średnia wysokość drzew na uprawie doświadczalnej wyniosła 234,8 cm. Do grupy wiązków cechujących się najmniejszą wysokością (<160 cm) zaliczono populację Bircza 33a oraz Wisła 38f, zaś do grupy z największą średnią wartością tej cechy (344,3 cm) – wiązki pochodzenia Lutowiska 40b (tab. 2). Dla wysokości wykazano istotny wpływ wszystkich analizowanych źródeł zmienności (tab. 3).

3.3. Pędzenie wiosenne

Średnia wartość wskaźnika pędzenia wiosennego – rozwoju pąków wyniosła 2,53. Do grupy wiązków najszybciej rozpoczynających wegetację należały populacje: Bircza 33a, Lutowiska 5a i Lutowiska 40b, natomiast najpóźniej – Lutowiska 123Ac. Różnica między średnimi wskaźnikami była niewielka, a w analizie wariancji nie wykazano istotnego wpływu żadnego ze źródeł zmienności (tab. 2 i 3).

Obliczone współczynniki korelacji okazały się istotne statystycznie ($p=0,05$) tylko w trzech przypadkach. Stwierdzono, że wyższą przeżywalnością charakteryzowały się wiązki wcześniej pędzące oraz pochodzące z obszaru o dłuższym okresie wegetacyjnym. Z kolei większa suma opadów rocznych w miejscu występowania populacji korelowała ujemnie z przeżywalnością wiązków (tab. 4).

3.4. Występowanie morfotypów liści

U wiązków rosnących na uprawie zachowawczej dominował morfotyp liści A (84%). W następnej kolejności pod względem liczności były wiązki z równoczesnym występowaniem morfotypu A i B (12%), a najmniej było wiązków

z morfotypem liści B, których udział wyniósł zaledwie 4%. Na ogół występowanie morfotypów liści w poszczególnych populacjach było podobne do udziałów zaobserwowanych dla całej uprawy, jednak w populacji Lutowiska 137g stwierdzono ponad czterokrotnie wyższy udział morfotypu B (25,1%), podczas gdy nie występował on w ogóle u wiązków należących do populacji Lutowiska 40b. Testem χ^2 wykazano istotne zróżnicowanie ($p<0,001$) udziałów morfotypów w poszczególnych populacjach (ryc. 3).

4. Dyskusja

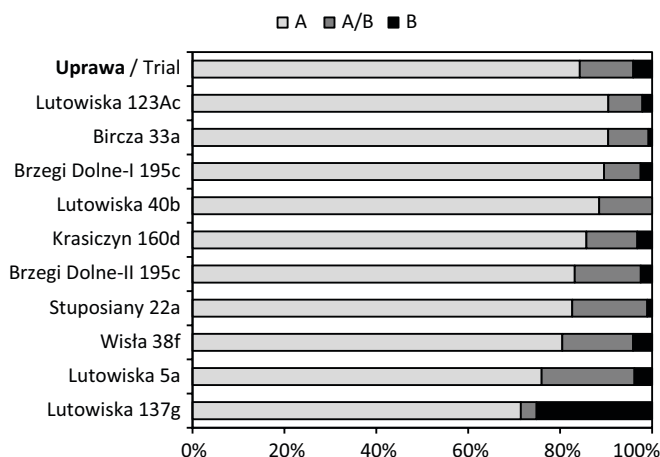
Badania przeprowadzone na uprawie zachowawczej w Nadleśnictwie Oleszyce po 10 latach wzrostu wiązki górskiego z obszaru Krainy Karpackiej wykazały zróżnicowanie adaptacyjne między analizowanymi populacjami po przeniesieniu poza obszar tej Krainy.

Uzyskane istotne zróżnicowanie przeżywalności i wzrostu na wysokość wiązki górskiego wskazuje na możliwość wyboru źródeł nasion o lepszych właściwościach adaptacyjnych w początkowych latach po posadzeniu na uprawie. Oczekiwana skuteczność selekcji może jednak zostać ograniczona ze względu na istotną interakcję „populacja \times blok” obydwu cech, co oznacza, że poszczególne populacje (genotypy) wiązki górskiego wykazują różne zdolności przystosowania się do odmiennych warunków mikrośrodowiskowych. Do podobnych wniosków doszli Mykking i Skrøppa (2007), którzy wskazali na możliwość wyboru stabilnych populacji wiązki górskiego o lepszych predyspozycjach adaptacyjnych do różnych warunków środowiska. Dodatkowo wykazali, że potomstwo pojedynczych drzew w obrębie populacji charakteryzowała duża zmienność przystosowawcza. Zbieżny

Tabela 4. Korelacja między cechami wiązki górskiego oraz parametrami lokalizacji analizowanych populacji (korelacja istotna dla $p=0,05^*$)

Table 4. Correlation between the features of the wych elm and the location parameters of the analyzed populations (correlation significant for $p=0.05^*$)

Cecha Trait	Przeżywalność Survival	Wysokość drzew Tree height	Wskaźnik pędzenia Spring flushing index
Wysokość drzew Tree height	0,11	–	–
Wskaźnik pędzenia Spring flushing index	0,67 *	0,31	–
Okres wegetacyjny Vegetation period	0,69 *	0,00	0,04
Suma opadów rocznych Sum of annual precipitation	–0,69 *	–0,20	–0,18
Średnia roczna temperatura Mean annual temperature	0,54	–0,02	–0,13
Wysokość n.p.m. Altitude	–0,10	0,48	0,19



Rycina 3. Udział drzew z morfotypami liści w populacjach badanych na uprawie zachowawczej w Nadleśnictwie Oleszyce ($\chi^2=259,5$, $df=18$, $p<0,001$)

Figure 4. Share of trees with morphotypes of leaves in the populations studied in conservative plantation in the Oleszyce Forest District ($\chi^2=259.5$, $df=18$, $p<0.001$)

wynik w tym zakresie wykazała ocena wartości hodowlanej vegetatywnego potomstwa 45 drzew matecznych rosnących na plantacjach zachowawczych w nadleśnictwach Gołdap i Czerwony Dwór (Mioduszewski, Korczyk 2013). Wskazuje to na możliwość prowadzenia selekcji wiązów górskich na poziomie populacyjnym i rodowym, podobnie jak ma to miejsce u innych gatunków drzew leśnych (Wright, Osorio 1992; Baliuckas, Pliura 2003; Fober 2004; Jankowiak et al. 2013; Jansons et al. 2013).

Analizując zmienność pędzenia wiosennego, nie stwierdzono wpływu populacji na wielkość tego wskaźnika. Myking i Skrøppa (2007) podkreślają duże znaczenie lokalizacji geograficznej pochodzenia materiału doświadczalnego na rozpoczynanie pędzenia wiosennego siewek. Według Robertsa i Maina (1965) zmienność terminów rozpoczęcia pędzenia wiosennego wiąże się z zewnętrznymi czynnikami, takimi jak temperatura, czy wysokość n.p.m. Wszystkie populacje analizowane na uprawie w Oleszycach pochodzą z obszarów o odmiennych warunkach środowiskowych (opady, temperatura, długość okresu vegetacyjnego), jednak znacząco różniących się pod względem warunków na uprawie zachowawczej, którą charakteryzuje dłuższy okres vegetacyjny i wyższa średnia roczna temperatura oraz niższa roczna suma opadów. Stąd sugestie podane przez cytowanych wcześniej autorów mogą wyjaśniać brak zróżnicowania w pędzeniu wiosennym. Potwierdzają to także badania przeprowadzone przez Santiniego i in. (2004), w których wykazano liniowy związek między liczbą dni ciepłych (temp. $> +5^{\circ}\text{C}$) i chłodnych (temp. $\leq +5^{\circ}\text{C}$) a rozpoczynaniem vegetacji wiosennej wiązków. Innym wyjaśnieniem braku zróżnicowania pędzenia wiosennego może być wynik uzyskany przez Gheraldini (2007), która stwierdziła, że europejskie gatunki wiązków charakteryzują

się płytkim uśpieniem i krótkim okresem chłodu potrzebnym do jego przerwania. Zaobserwowano natomiast efekt przeniesienia wiązków w inne warunki środowiskowe, wyrażający się w ich przeżywalności. Lepiej przeżywały wiązki pochodzące z terenów o dłuższym okresie vegetacyjnym, czyli bardziej zbliżonym do wartości dla uprawy zachowawczej (234 dni), a słabiej te z terenów o większych opadach, znacząco różniących się względem opadów występujących na uprawie zachowawczej (641 mm).

Na uprawie w Oleszycach stwierdzono występowanie dwóch morfotypów liściowych w analizowanych populacjach wiązów górskiego. Przeważały osobniki z liśćmi charakterystycznymi dla *Ulmus glabra* ssp. *montana* (morfotyp A – 84%). Udział drzew z liśćmi charakterystycznymi dla *U. glabra* ssp. *glabra* (morfotyp B) wynosił zaledwie 4%, jednakże w populacji Lutowiska 137g ten morfotyp występował częściej (25%), a w populacji Lutowiska 40b nie został stwierdzony. Według Mykinga i Yakovleva (2006), którzy prowadzili identyczne analizy w Norwegii, występowanie dwóch odmian liści u *U. glabra* wiąże się z istnieniem dwóch dróg migracji polodowcowej tego gatunku. Na istnienie zmienności morfologicznej aparatu asymilacyjnego wiązów górskiego wskazują także wyniki analiz czterech chorwackich populacji tego gatunku (Zebeca et al. 2015).

5. Podsumowanie i wnioski

Badania ujawniły statystycznie istotne zróżnicowanie między badanymi populacjami wiązów górskiego w zakresie przeżywalności i wzrostu na wysokość. Istotny dla przeżywalności okazał się efekt interakcji „populacja \times blok”. Nie uzyskano zróżnicowania dla pędzenia wiosennego, co może wynikać z niewielkiej odległości środowiskowej między testowanymi populacjami.

Stwierdzono istotny związek korelacyjny dla przeżywalności wiązów górskiego na uprawie zachowawczej *ex situ* zlokalizowanej w Nadleśnictwie Oleszyce z niektórymi parametrami lokalizacji populacji. Ta cecha dodatkowo korelowała z długością okresu vegetacyjnego i ujemnie z sumą opadów atmosferycznych. Najlepszą przeżywalnością w tych warunkach charakteryzowała się populacja Bircza 33a, dla której obydwa parametry klimatyczne były najbardziej zbliżone do parametrów uprawy zachowawczej.

Przyszłe badania powinny skupić się na dalszej identyfikacji potencjału interakcji między genotypem a środowiskiem, umożliwiając wybór populacji stabilnych w różnych środowiskach.

W analizowanych populacjach wiązków pochodzących z południowo-wschodniej Polski stwierdzono obydwa morfotypy liści, tj. *Ulmus glabra* ssp. *montana* (morfotyp A) oraz ssp. *glabra* (morfotyp B), czyli obecność obydwu linii kolonizacji po ostatnim zlodowaceniu. Wykazano dominację osobników z liśćmi charakterystycznymi dla linii migracji zachodniej (morfotyp A – 84%).

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródło finansowania

Autorzy dziękują Nadleśnictwu Oleszyce za umożliwienie założenia uprawy zachowawczej oraz coroczne wykonywanie niezbędnych prac pielęgnacyjnych. Prace sfinansowano z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie na rok 2021 (SUB/040012/D019).

Literatura

- Baliuckas V., Pliura A. 2003. Genetic variation and phenotypic plasticity of *Quercus robur* populations and open-pollinated families in Lithuania. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18(4): 305–309. DOI 10.1080/02827580310005153.
- Bugała W., Boratyński A., Iszkuło G. 2015. *Wiązy*. Wyd. PAN, Poznań, 477 s. ISBN 9788379860517.
- Caudullo G., de Rigo D. 2016. *Ulmus* – elms in Europe: distribution, habitat, usage and threats, w: San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (red.) European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, 186–188. DOI 10.2788/4251.
- Chudzińska M., Pałucka M., Pasławska A., Litkowiec M., Lewandowski A., Kozioł C. 2018. Wyniki wstępnych badań nad zmiennością genetyczną oraz zróżnicowaniem genetycznym między populacjami wiązu górskiego (*Ulmus glabra* Huds.) w Polsce. *Sylwan* 162(9): 727–736. DOI 10.26202/Sylwan.2018064.
- Collin E., Rusanen M., Ackzell L., Bohnens J., de Aguiar A., Diamond S., Franke A., Gil L., Harvengt L., Hollingsworth P., Jenkins G., Meier-Dinkel A., Mittempergher L., Musch B., Nagy L., Pâques M., Pinon J., Piou D., Rotach P., Santini A., Vanden Broeck A., Wolf H. 2004. Methods and progress in the conservation of elm genetic resources in Europe. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(1): 261–272.
- Collin E., Bozzano M. 2015. Implementing the dynamic conservation of elm genetic resources in Europe: case studies and perspectives. *iForest* 8: 143–148. DOI 10.3832/ifor1206-008.
- Dunn C.P. 2000. *The elms: breeding, conservation and disease management*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 384 s.
- Eriksson G. 2001. Conservation of noble hardwoods in Europe. *Canadian Journal of Forest Research* 31(4): 577–587. DOI 10.1139/cjfr-31-4-577.
- Falińska K. 2004. *Ekologia roślin*. Wyd. PWN, Warszawa, 511 s. ISBN 8301142227.
- Fober H. 2004. Genetic reactivity of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. to soil fertility. *Den-drobiology* 51 (Suppl.): 57–63.
- Fuentes-Utrilla P., Venturas M., Hollingsworth P.M., Squirrell J., Collada C., Stone G.N., Gil L. 2014. Extending glacial refugia for a European tree: genetic markers show that Iberian populations of white elm are native relicts and not introductions. *Heredity* 112(2): 105–113. DOI 10.1038/hdy.2013.81.
- Gherardini L. 2007. Bud burst phenology, dormancy release and susceptibility to Dutch elm disease in elms (*Ulmus* spp.). Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 134: 1–52.
- Jankowiak R., Banach J., Balonek A. 2013. Susceptibility of Polish provenances and families of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) to colonization by *Phytophthora cambivora*. *Leśne Prace Badawcze* 74(2): 161–170. DOI 10.2478/frp-2013-0016.
- Jansons A., Sisenis L., Neimane U., Rieksts-Riekstins J. 2013. Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia. *iForest* 6: 10–14. DOI 10.3832/ifor0637-006.
- Kondracki J. 2011. *Geografia regionalna Polski*. Wydanie 3. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 440 s. ISBN 9788301160227.
- Matras J. 2013. Ochrona różnorodności genetycznej drzew leśnych. *Polish Journal of Agronomy* 14: 22–36.
- Mioduszewski S., Korczyk A.F. 2013. Wzrost szczepów wiązu górskiego (*Ulmus glabra* Huds.) w archiwum klonów w Nadleśnictwie Bielsk. *Leśne Prace Badawcze* 74 (2): 149–159. DOI 10.2478/frp-2013-0015.
- Mykting T., Yakovlev I. 2006. Variation in leaf morphology and chloroplast DNA in *Ulmus glabra* in the northern suture zone: Effects of distinct glacial refugia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(2): 99–107. DOI 10.1080/02827580500539265.
- Mykting T., Skrøppa T. 2007. Variation in phenology and height increment of northern *Ulmus glabra* populations: Implication for conservation. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22(5): 369–374. DOI 10.1080/02827580701672121.
- Napierała-Filipiak A., Filipiak M., Jaworek J. 2014. Distribution of elms (*Ulmus* spp.) in Polish forests according to the forestry inventory data. *Sylwan* 158(11): 811–820. DOI 10.26202/Sylwan.2014017.
- Pałucka M., Pasławska A. (red.) 2017. *Zachowanie różnorodności biologicznej siedlisk obszarów NATURA 2000, poprzez ochronę ex situ jesionu wyniosłego, wiązu górskiego, wiązu pospolitego oraz wiązu szypułkowego na terenie Polski (FraxUmL BG)*. Wyd. Poligrafia AD REM, Leśny Bank Genów Kostrzyca, 56 s. ISBN 9788365295859.
- del Puerto M.M., Garcia F.M., Mohanty A., Martín J.P. 2017. Genetic diversity in relict and fragmented populations of *Ulmus glabra* Hudson in the Central System of the Iberian Peninsula. *Forests* 8(5): 143. DOI 10.3390/f8050143.
- Roberts B.R., Main H.V. 1965. The effect of chilling and photoperiod on bud break in American Elm. *Journal of Forestry* 63(3): 180–181. DOI 10.1093/jof/63.3.180.
- Sabor J. 1996. Selekcja i zachowanie najwartościowszych genotypów w programie „Karpackiego Banku Genów”. *Sylwan* 140(11): 45–60.
- Sabor J. 2006. Idea regionalnych banków genów, w: *Elementy genetyki i hodowli drzew leśnych*. J. Sabor (red.). Wyd. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 619–636.
- Santini A., Ghelardini L., Falusi M., Bohnens J., Buron M., Collin E., Solla A., Vanden B.A. 2004. Vegetative bud-burst variability of European elms. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(1): 37–45.
- TIBCO Software Inc. 2017. *Statistica* (data analysis software system) (Wersja 13, <http://statistica.io>).
- Wright J.A., Osorio L.F. 1992. Results of provenance and family within provenance trials of *Pinus tecunumanii* in Colombia, South America. *Forest Ecology and Management* 55(1-4): 107–116. DOI 10.1016/0378-1127(92)90095-Q.

- Zebec M., Idžojić M., Poljak I., Modrić I. 2015. Population variability of wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) in the mountainous region of Croatia according to the leaf morphology. *Šumarski list* 135(9–10): 429–439.
- Zielony R., Kliczkowska A. 2012. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010. Wyd. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 356 s. ISBN 9788361633624.

Wkład autorów

J.B. – koncepcja badań, analiza statystyczna wyników, przegląd literatury, przygotowanie grafiki, napisanie pracy, redakcja tekstu; K.S. – analiza wyników, przegląd literatury, redakcja tekstu; I.P. – wykonanie badań, analiza wyników, napisanie pracy.

Variability of wych elm *Ulmus glabra* Huds. characteristics growing on an *ex situ* conservation plantation in the Oleszyce Forest District

Jacek Banach ¹ , Kinga Skrzyszewska ¹ , Izabela Puk ^{1,2}

¹ University of Agriculture in Krakow, Faculty of Forestry, Department of Ecology and Silviculture, al. 29-Listopada 46, 31–425 Kraków, Poland; ² Oleszyce Forest District, ul. Zielona 4B, 37–630 Oleszyce, Poland

*Tel. +48 12 6625125, e-mail: rlbanach@cyf-kr.edu.pl

Abstract. The aim of this work was to investigate the variability of different features in wych elm *Ulmus glabra* Huds. populations growing in a conservation plantation in the Kolonia Forest Subdistrict (Oleszyce Forest District). We examined the survival rate, height, and spring flushing of the elm trees as well as the occurrence of two leaf morphotypes after ten years since the establishment of the plantation. Statistically significant differences were found between the studied populations in terms of survival and height growth, while no difference was observed for spring flushing, which may be due to the close proximity in which the tested populations grow. The highest rate of survival was observed in the Bircza 33a population (87.3%), whereas the Lutowiska 40b population grew tallest (344.3 cm). Elms with leaves typical of the *U. glabra* ssp. *montana* (morphotype A – 84%) dominated the stand, while elms with leaves characteristic for the *U. glabra* ssp. *glabra* (morphotype B) were a minority with only 4%. However, within the Lutowiska 137g population, the share of morphotype B was as high as 25%.

Keywords: survival, height, spring flushing, leaf variability

1. Introduction

The conservation of genetic variability includes the restoration and maintenance of endangered gene resources. The first type of conservation consists in the permanent preservation of gene resources in their place of occurrence (*in situ*), the second, in their transfer to a place where they are not threatened (*ex situ*). Examples of *in vivo* (under natural conditions) conservation facilities are progeny plantations, conservation plantations, conservation seed orchards, clone archives and collections (Matras 2013).

Three species of elm occur in Poland: wych elm *Ulmus glabra* Huds., field elm *U. minor* Mill. and European white elm *U. laevis* Pall. (Bugala et al. 2015). Elm trees are classified as “post-pioneer species” that shape the forest environment (Falińska 2004). *U. glabra* has a wide distribution range, therefore two subspecies have been distinguished: *U. glabra* subsp. *glabra* in the southern part of its range and *U. glabra* subsp. *montana* in the northern part. In the

Caucasus, a regional variant of *U. glabra* var. *trautvetteri* has also been distinguished, which is sometimes treated as a separate species – *Ulmus elliptica* K. Koch (Caudullo, de Rigo 2016). In Poland, wych elm occupies only 0.24% of the country’s forest area, but there is a noticeable increase in its abundance compared to data from the 1970s (Napierała-Filipiak 2014).

Elm trees are increasingly included in conservation programmes, mainly *in situ* (Dunn 2000; Eriksson 2001; Collin et al. 2004; Collin, Bozzano 2015). Poland includes all elm species in genetic studies (Pałucka, Paślawska 2017; Chudzińska et al. 2018), while Spain includes *U. laevis* (Fuentes-Utrilla et al. 2014) and *U. glabra* (Puerto et al. 2017). The results obtained show a high level of genetic diversity. One of the actions aimed at preserving gene resources in living form (*in vivo*) is the establishment of so-called regional gene banks. One of these is the Carpathian Gene Bank [Karpacki Bank Genów], which serves to assess the genetic differentiation and breeding value of forests in the

Received: 16.02.2020 r., accepted after revision: 11.03.2021 r.

Carpathian region (Sabor 2006), and the results obtained can be used during stand reconstruction in this area (Sabor 1996). In the Carpathian Gene Bank, conservation crops have been established for the European silver fir *Abies alba* Mill., European beech *Fagus sylvatica* L. and European spruce *Picea abies* (L.) H.Karst, as well as seven plots for wych elm.

The aim of this study was to determine the adaptation and variability of selected traits of wych elm growing in a conservation crop of the Carpathian Gene Bank, established in Oleszyce Forest District. A survival analysis after 10 years of growth was performed on the crop and the growth of wych elm grown from seeds collected from

10 different locations in the south-eastern part of Poland (the Carpathian Province) was assessed. The research hypothesis assumed that there would be no difference in the analysed traits of the studied elm progeny in *ex situ* cultivation.

2. Material and methods

The conservation populations included in the study grow in the Carpathian natural-forest region, in locations of differing altitude, amounts of precipitation and mean temperature (Table 1). The seeds were collected in the spring of 2006 at the stage of morphological maturity (the so-called “green

Table 1. Location of the population of wych elm whose progeny is analyzed in conservative plantation in the Oleszyce Forest District

RFD*	Popula- tion No	Forest District Forest Subdistrict, Sub-compartment	Geographical coordinates		Altitude [m]	Mean annual temperature [°C]	Sum of annual precipitation [mm]	Vegetation period [days]	Forest habitat type**
			longitude E	latitude N					
Krosno	1	Stuposiany Widelki, 22a	22° 41'	49° 09'	610	6.3	1007	205	LGśw
	2	Lutowiska Dwernik, 5a	22° 39'	49° 13'	529	6.3	996	205	
	3	Lutowiska Lipie, 40b	22° 43'	49° 16'	762	6.3	996	205	
	4	Lutowiska Chmiel, 137g	22° 36'	49° 13'	650	6.3	996	205	Lwyż
	5	Brzegi Dolne-I Żuków, 195c	22° 28'	49° 26'	439	6.3	980	207	
	6	Brzegi Dolne-II Żuków, 195c	22° 28'	49° 26'	441	6.3	980	207	
	7	Krasiczyn Olszany, 160d	22° 38'	49° 42'	429	8.1	712	227	
Katowice	10	Wisła Łabajów, 38f	18° 51'	49° 36'	510	6.3	1316	198	LMGśw
Krosno	11	Birza Krzywe, 33a	22° 32'	49° 41'	485	7.3	803	221	LŁwyż
	12	Lutowiska Dwerniczek, 123Ac	22° 40'	49° 13'	555	6.3	996	205	LGśw
Conservative plantation			22° 58'	50° 11'	275	8.8	641	234	Lśw

*Regional Directorate of State Forests; **Lwyż – upland deciduous forest, LŁwyż – upland riparian deciduous forest, LMGśw – fresh mountain mixed deciduous forest, LGśw – fresh mountain deciduous forest, Lśw – fresh deciduous forest

harvest”) and immediately sown at the Feleczyn Nursery Farm in the Nawojowa Forest District.

Ex situ conservation cultivation was established in the Oleszyce Forest District, in the Małopolskie Province in the Tarnogród Plateau mesoregion (Zielony, Kliczkowska 2012). In climatic terms, the area is located in the XVII Sandomierz-Rzeszów climatic and agricultural district (Kondracki 2011). The conservation area is located in compartment 190i of Kolonia range (Table 1).

The plot was divided into 3 replicates (blocks) with 100 trees each, representing 10 populations (Fig. 1). The elms were planted in a 1.5×1.5 m arrangement.

During the field study (2018), the survival rate was determined, height was measured, and variation in spring flushing and occurrence of leaf morphotypes were assessed. A six-level scale proposed by Mykking and Skrøppa (2007) was used to assess spring flushing: 0 – no development; 1 – slight swelling (light brown apical bud); 2 – swelling (green apical bud); 3 – flushing (leaves showing); 4 – all leaves visible; 5 – fully developed leaves with stalks. The assessment was made once on April 11–12. The occurrence of two leaf morphotypes was assessed on the analysed elm trees (Mykking, Yakovlev 2006): morphotype A – leaves relatively long, apex extended, low value of the proportion of blade width to length; morphotype B – leaves relatively wide, two sharp lateral lobes visible, apex narrowly extended, high value of the proportion of blade width to length (Fig. 2). When both morphotypes were present on one specimen, the tree was classified as morphotype A/B.

The population mean value was calculated for survival rate, height and spring flushing together with the standard error of the mean estimate (\pm SE). A two-factor analysis of variance with interaction, defined by the following formula, was performed to determine the significance of the effect of genotype (population), repetition (block) and the interaction of the two factors on the variation of these traits:

$$Y_{kjm} = \mu + P_k + B_j + PB_{kj} + e_{njm}$$

where:

y_{kjm} – the value of n observation in population k in repetition j ,

μ – overall average,

P_k – effect of population k ,

B_j – effect of repetition j ,

PB_{kj} – effect of the interaction of population k with repetition j ,

e_{njm} – error.

When analysing the occurrence of leaf morphotypes, a pie chart of the proportion of specimens with each morphotype, i.e. A, B and A/B, was made for the total of all elm trees in the crop. A bar chart of the proportion of morphotypes in each analysed population was also made and

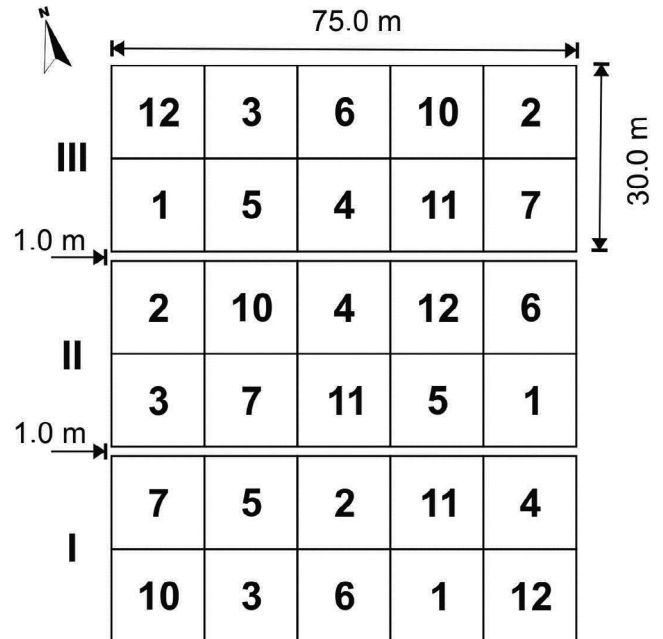


Figure 1. Scheme of conservative plantation of the Carpathian Gene Bank in the Oleszyce Forest District, 1–12 – population numbers, I–III – repetition (block) numbers

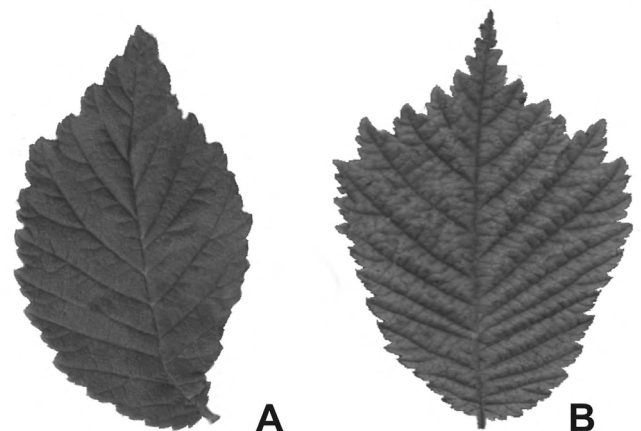


Figure 2. Leaf morphotypes in wych elm: *Ulmus glabra* ssp. *montana* (A), *U. glabra* ssp. *glabra* (B)

the differences between the fractions were checked using Pearson's χ^2 test. Pearson's linear correlation coefficients were also calculated between the assessed traits of wych elm and between the traits and location parameters of the populations whose progeny were studied in the conservation crop in Oleszyce Forest District. All statistical analyses were performed using Statistica 13.3 software (Tibco Software Inc. 2017).

3. Results

3.1. Survival

For the 10 populations studied in the conservation plot in Oleszyce, the average survival rate of elm trees after 10 years of growth was about 68%. The lowest survival rate (56.3%) was observed for elm originating from the Wisła 38f population, and the highest (87.3%) from Bircza 33a (Table 2). The origin of the elm trees had a significant effect on their survival rate, while no statistically significant difference was observed between the cultivated conserva-

tion blocks. On the other hand, the effect of the “population × block” interaction proved to be significant, indicating different survival rates of elm trees in different parts of the cultivation (Table 3).

3.2. Height

The mean height of the trees in the experimental plot was 234.8 cm. The group of elm trees characterised by the lowest height (<160 cm) included the populations of Bircza 33a and Wisła 38f, while the group with the highest mean value of this feature (344.3 cm) included the elm trees from Lutowi-

Table 2. Mean values of features (\pm SE) of wych elm after 10 years of growth on a conservative plot in the Oleszyce Forest District; a–e – homogeneous groups determined by Tukey's test, $p=0.05$)

Population No	Population name	Survival [%]	Height [cm]	Spring flushing (index)
1	Stuposiany 22a	63.3 \pm 2.8 ^{cde}	297.1 \pm 14.3 ^b	2.55 \pm 0.12 ^a
2	Lutowiska 5a	69.3 \pm 2.7 ^{bcd}	279.8 \pm 14.3 ^{bc}	2.62 \pm 0.10 ^a
3	Lutowiska 40b	75.3 \pm 2.5 ^b	344.3 \pm 8.9 ^a	2.62 \pm 0.10 ^a
4	Lutowiska 137g	58.3 \pm 2.9 ^{de}	176.7 \pm 6.1 ^e	2.44 \pm 0.12 ^a
5	Brzegi Dolne 195c-I	67.0 \pm 2.7 ^{bcd}	225.2 \pm 6.5 ^d	2.58 \pm 0.10 ^a
6	Brzegi Dolne 195c-II	67.3 \pm 2.7 ^{bcd}	184.4 \pm 6.3 ^e	2.50 \pm 0.11 ^a
7	Krasiczyn 160d	72.3 \pm 2.6 ^{bc}	274.9 \pm 8.0 ^{bc}	2.44 \pm 0.10 ^a
10	Wisła 38f	56.3 \pm 2.9 ^e	159.2 \pm 6.7 ^e	2.45 \pm 0.12 ^a
11	Bircza 33a	87.3 \pm 1.9 ^a	154.1 \pm 3.6 ^e	2.63 \pm 0.09 ^a
12	Lutowiska 123Ac	63.0 \pm 2.8 ^{cde}	252.7 \pm 14.7 ^{cd}	2.46 \pm 0.12 ^a
Mean value		67.9	234.8	2.53
Standard dev.		9.0	65.0	0.08
Variation coeff. [%]		13.3	27.7	3.2

Table 3. Results of the variance analysis of the wych elm features after 10 years of growth in a conservative plot in the Oleszyce Forest District

Source of variance	Survival		Height		Spring flushing	
	F-test	significance level	F-test	significance level	F-test	significance level
Population (P)	11.753	< 0.001	90.270	< 0.001	0.562	0.829
Block (B)	0.139	0.645	16.621	< 0.001	0.685	0.504
P × B interaction	5.336	< 0.001	86.453	< 0.001	0.566	0.925

ska 40b (Table 2). All analysed sources of variation had a significant effect on height (Table 3).

3.3. Spring flushing

The mean value of the spring flushing index – bud development was 2.53. The populations which began their vegetation the fastest were the elm trees from: Bircza 33a, Lutowska 5a and Lutowska 40b, while the latest to begin spring growth was Lutowska 123Ac. The difference between the mean indices was small, and the analysis of variance did not show a significant effect of any of the sources of variation (Tables 2 and 3).

The calculated correlation coefficients were statistically significant ($p=0.05$) only in three cases. Higher survival rates were found to be characteristic for elm trees which began growing earlier and originated from an area with a longer growing season. On the other hand, higher annual precipitation in the location of a given population correlated negatively with elm survival (Table 4).

3.4. Occurrence of leaf morphotype

Leaf morphotype A dominated (84%) in the elm trees growing in the conservation plantation. The next most numerous leaf type in the elm trees was the simultaneous occurrence of A and B morphotypes (12%), and the least numerous were elm trees with leaf morphotype B, whose share was only 4%. In general, the occurrence of leaf morphotypes in individual populations was similar to the proportions observed for the whole crop, but the population from Lutowska 137g had a more than a fourfold higher share of morphotype B (25.1%), while it did not occur at all in the elms from the Lutowska 40b population. The χ^2 test showed significant differentiation ($p<0.001$) of the shares of morphotypes in the different populations (Fig. 3).

4. Discussion

Research conducted in the conservation plantation at Oleszyce Forest District after 10 years of wych elm growth from the Carpathian Region showed adaptation differences between the analysed populations after transferring them outside this region.

The significant differences obtained for wych elm survival and height growth indicates the possibility of selecting seed sources with better adaptive properties in the initial years after planting in a crop. However, the expected effectiveness of selection may be limited due to the significant “population \times block” interaction of both traits, meaning that different populations (genotypes) of wych elm exhibit different abilities of adaptation to various micro-environmental conditions. Similar conclusions were reached by Mykking and Skrøppa (2007), who pointed to the possibility of selecting stable populations of wych elm with better adaptive predispositions to different environmental conditions. They also showed that the progeny of individual trees within a population were characterised by high adaptive variability. A similar result in this respect was shown by the assessment of the breeding value of vegetative progeny of 45 parent trees growing in conservation plantations in Gołdap and Czerwony Dwór Forest Districts (Mioduszewski, Korczyk 2013). This indicates that it is possible to perform the selection of wych elm at the population and provenance level, similar to other forest tree species (Wright, Osorio 1992; Baliuckas, Pliura 2003; Fober 2004; Jankowiak et al. 2013; Jansons et al. 2013).

When analysing the variation in spring flushing, no population effect was found for the magnitude of this index. Mykking and Skrøppa (2007) emphasize the great importance of the geographical location of the origin of the experimental material on the onset of the spring flushing of seedlings. According to Roberts and Main (1965), the va-

Table 4. Correlation between the features of the wych elm and the location parameters of the analyzed populations (correlation significant for $p=0.05^*$)

Trait	Survival	Tree height	Spring flushing index
Tree height	0.11	–	–
Spring flushing index	0.67 *	0.31	–
Vegetation period	0.69 *	0.00	0.04
Sum of annual precipitation	–0.69 *	–0.20	–0.18
Mean annual temperature	0.54	–0.02	–0.13
Altitude	–0.10	0.48	0.19

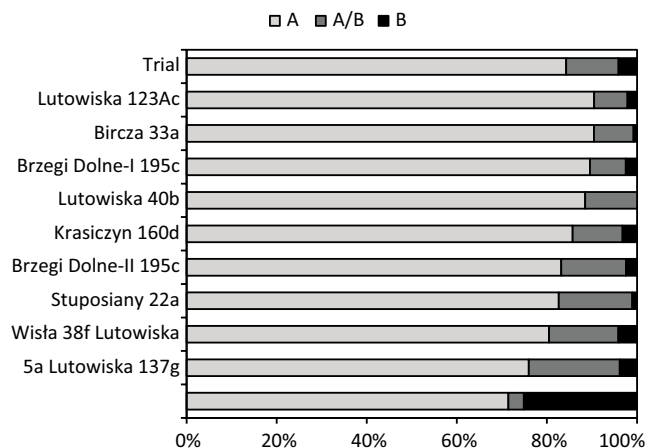


Figure 4. Share of trees with morphotypes of leaves in the populations studied in conservative plantation in the Oleszyce Forest District ($\chi^2=259.5$, $df=18$, $p<0.001$)

riability of the timing in the onset of spring flushing of elm is related to external factors such as temperature and altitude. All populations analysed in the Oleszyce crop come from areas with different environmental conditions (precipitation, temperature, length of the growing season), but significantly different from the conditions at the conservation plantation, which is characterised by a longer growing season, higher mean annual temperature and lower annual precipitation. Hence, the suggestions given by the authors cited above may explain the lack of variation in spring flushing. This is also confirmed by the study of Santini et al. (2004), which showed a linear relationship between the number of warm (temp. $> +5^\circ\text{C}$) and cool (temp. $\leq +5^\circ\text{C}$) days and the onset of the spring flushing of elms. Another explanation for the lack of variation in spring flushing may be the result obtained by Gheraldini (2007), who found that European elm species are characterised by a shallow dormancy and a short period of cold is needed to break it. However, an effect of transferring elm trees to other environmental conditions was observed, expressed in their survival rate. Elm trees from areas with a longer growing season, i.e. more similar to the value at the conservation plantation (234 days), survived better, whereas those from areas with higher precipitation, significantly different from that of the conservation plantation (641 mm), were less successful in their survival.

Two leaf morphotypes were found in the analysed populations of wych elm at the Oleszyce plantation. Individuals with leaves characteristic for *Ulmus glabra* ssp. *montana* predominated (morphotype A – 84%). The proportion of trees with leaves characteristic for *U. glabra* ssp. *glabra* (morphotype B) was only 4%, but this morphotype was

more frequent in the population from Lutowiska 137g (25%), while it was not found in the Lutowiska 40b population. According to Mykking and Yakovlev (2006), who conducted identical analyses in Norway, the occurrence of two leaf varieties in *U. glabra* is connected with the existence of two post-glacial migration routes of this species. The existence of morphological variability in the assimilative apparatus of wych elm is also indicated by the analytical results of four Croatian populations of this species (Zebec et al. 2015).

5. Summary and conclusions

The study revealed statistically significant variation between the studied populations of wych elm in terms of survival and height growth. The effect of the “population \times block” interaction proved to be significant for survival rate. No differentiation was obtained for spring flushing, which may be due to the small environmental distance between the tested populations.

A significant correlation was found between the survival rate of wych elm on the *ex situ* conservation plantation located in Oleszyce Forest District and some of the parameters of population location. This feature correlated positively with the length of the growing season and negatively with the sum of precipitation. The best survival under these conditions was characterised by the Bircza 33a population, for which both climatic parameters were most similar to those of the conservation plantation.

Future research should focus on further identifying the potential for interactions between genotype and the environment, enabling the selection of stable populations in various environments.

The analysed elm populations from south-eastern Poland showed both leaf morphotypes, i.e. *Ulmus glabra* ssp. *montana* (morphotype A) and ssp. *glabra* (morphotype B), i.e. the presence of both colonization lines after the last glaciation. The predominance of individuals with leaves characteristic for the western migration line was demonstrated (morphotype A – 84%).

Conflict of interest

The authors declare the absence of potential conflicts of interest.

Acknowledgements and funding sources

The authors would like to thank Oleszyce Forest District for making it possible to establish a conservation crop and

for performing the necessary silviculture work every year. The study was financed from a subsidy of the Ministry of Science and Higher Education to the Hugo Kołłątaj Agricultural University in Kraków for 2021 (SUB/040012/D019).

References

- Baliuckas V., Pliura A. 2003. Genetic variation and phenotypic plasticity of *Quercus robur* populations and open-pollinated families in Lithuania. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18(4): 305–309. DOI 10.1080/02827580310005153.
- Bugała W., Boratyński A., Iszkuło G. 2015. Wiązy. Wyd. PAN, Poznań, 477 s. ISBN 9788379860517.
- Caudullo G., de Rigo D. 2016. *Ulmus* – elms in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In San-Miguel-Ayaz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.) European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, 186–188. DOI 10.2788/4251.
- Chudzińska M., Pałucka M., Paślawska A., Litkowiec M., Lewandowski A., Koziół C. 2018. Wyniki wstępnych badań nad zmiennością genetyczną oraz zróżnicowaniem genetycznym między populacjami wiązu górskiego (*Ulmus glabra* Huds.) w Polsce. *Sylwan* 162(9): 727–736. DOI 10.26202/sylvan.2018064.
- Collin E., Rusanen M., Ackzell L., Bohnens J., de Aguiar A., Diamandis S., Franke A., Gil L., Harvengt L., Hollingsworth P., Jenkins G., Meier-Dinkel A., Mittempergher L., Musch B., Nagy L., Pâques M., Pinon J., Piou D., Rotach P., Santini A., Vanden Broeck A., Wolf H. 2004. Methods and progress in the conservation of elm genetic resources in Europe. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(1): 261–272.
- Collin E., Bozzano M. 2015. Implementing the dynamic conservation of elm genetic resources in Europe: case studies and perspectives. *iForest* 8: 143–148. DOI 10.3832/ifer1206-008.
- Dunn C.P. 2000. The elms: breeding, conservation and disease management. Kluwer Academic Publishers, Boston, 384 s.
- Eriksson G. 2001. Conservation of noble hardwoods in Europe. *Canadian Journal of Forest Research* 31(4): 577–587. DOI 10.1139/cjfr-31-4-577.
- Falińska K. 2004. Ekologia roślin. Wyd. PWN, Warszawa, 511 s. ISBN 8301142227. Fober H. 2004. Genetic reactivity of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. to soil fertility. *Dendrobiology* 51 (Suppl.): 57–63.
- Fuentes-Utrilla P., Venturas M., Hollingsworth P.M., Squirrel J., Collada C., Stone G.N., Gil L. 2014. Extending glacial refugia for a European tree: genetic markers show that Iberian populations of white elm are native relicts and not introductions. *Heredity* 112(2): 105–113. DOI 10.1038/hdy.2013.81.
- Gherardini L. 2007. Bud burst phenology, dormancy release and susceptibility to Dutch elm disease in elms (*Ulmus* spp.). Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 134: 1–52.
- Jankowiak R., Banach J., Balonek A. 2013. Susceptibility of Polish provenances and families of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) to colonization by *Phytophthora cambivora*. *Leśne Prace Badawcze* 74(2): 161–170. DOI 10.2478/frp-2013-0016.
- Jansons A., Sisenis L., Neimane U., Rieksts-Riekstins J. 2013. Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia. *iForest* 6: 10–14. DOI 10.3832/ifer0637-006.
- Kondracki J. 2011. Geografia regionalna Polski. Wydanie 3. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 440 s. ISBN 9788301160227.
- Matras J. 2013. Ochrona różnorodności genetycznej drzew leśnych. *Polish Journal of Agronomy* 14: 22–36.
- Mioduszewski S., Korczyk A.F. 2013. Wzrost szczepów wiązu górskiego (*Ulmus glabra* Huds.) w archiwum klonów w Nadleśnictwie Bielsk. *Leśne Prace Badawcze* 74 (2): 149–159. DOI 10.2478/frp-2013-0015.
- Mykking T., Yakovlev I. 2006. Variation in leaf morphology and chloroplast DNA in *Ulmus glabra* in the northern suture zone: Effects of distinct glacial refugia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(2): 99–107. DOI 10.1080/02827580500539265.
- Mykking T., Skråppa T. 2007. Variation in phenology and height increment of northern *Ulmus glabra* populations: Implication for conservation. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22(5): 369–374. DOI 10.1080/02827580701672121.
- Napierała-Filipiak A., Filipiak M., Jaworek J. 2014. Distribution of elms (*Ulmus* spp.) in Polish forests according to the forestry inventory data. *Sylwan* 158(11): 811–820. DOI 10.26202/sylvan.2014017.
- Pałucka M., Paślawska A. (red.) 2017. Zachowanie różnorodności biologicznej siedlisk obszarów NATURA 2000, poprzez ochronę *ex situ* jesionu wyniosłego, wiązu górskiego, wiązu pospolitego oraz wiązu szypułkowego na terenie Polski (Fra-xUmLBG). Wyd. Poligrafia AD REM, Leśny Bank Genów Kostrzyca, 56 s. ISBN 9788365295859.
- del Puerto M.M., Garcia F.M., Mohanty A., Martín J.P. 2017. Genetic diversity in relict and fragmented populations of *Ulmus glabra* Hudson in the Central System of the Iberian Peninsula. *Forests* 8(5): 143. DOI 10.3390/f8050143.
- Roberts B.R., Main H.V. 1965. The effect of chilling and photoperiod on bud break in American Elm. *Journal of Forestry* 63(3): 180–181. DOI 10.1093/jof/63.3.180.
- Sabor J. 1996. Selekcja i zachowanie najwartościowszych genotypów w programie „Karpackiego Banku Genów”. *Sylwan* 140(11): 45–60.
- Sabor J. 2006. Idea regionalnych banków genów. In Elementy genetyki i hodowli drzew leśnych. J. Sabor (Ed.). Wyd. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 619–636. Santini A., Ghelardini L., Falusi M., Bohnens J., Buron M., Collin E., Solla A., Vanden B.A. 2004. Vegetative bud-burst variability of European elms. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(1): 37–45.
- TIBCO Software Inc. 2017. Statistica (data analysis software system) (Wersja 13, <http://statistica.io>).
- Wright J.A., Osorio L.F. 1992. Results of provenance and family within provenance trials of *Pinus tecunumanii* in Colombia, South America. *Forest Ecology and Management* 55(1–4): 107–116. DOI 10.1016/0378-1127(92)90095-Q.

- Zebec M., Idžojić M., Poljak I., Modrić I. 2015. Population variability of wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) in the mountainous region of Croatia according to the leaf morphology. *Šumarski list* 135(9–10): 429–439.
- Zielony R., Kliczkowska A. 2012. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010. Wyd. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 356 s. ISBN 9788361633624.

Contribution of the authors

J.B. – study concept, statistical analysis of the results, literature review, graphics preparation, manuscript writing, manuscript editing; K.S. – analysis of the results, literature review, manuscript editing; I.P. – conducting the research, analysis of the results, manuscript writing.