

Moduł sprężystości przy zginaniu statycznym wybranych proveniencji modrzewia europejskiego (*Larix decidua*-Mill.)

Jarosław Szaban, Marcin Jakubowski, Wojciech Kowalkowski

Abstrakt. Celem pracy było stwierdzenie, czy drewno pochodzące z różnych proveniencji modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) wykazuje różnice w module sprężystości przy zginaniu statycznym (MOE). Testy zostały przeprowadzone łącznie na 1477 próbkach reprezentujących 6 pochodzeń modrzewia: Bliżyn, Czerniejewo, Konstancjowo-Tomkowo, Krościenko, Rawa Mazowiecka-Trębaczew, Skarżysko. W badaniach stwierdzono istotne różnice średnich między badanymi proveniencjami. Najwyższe wartości modułu sprężystości (MOE) uzyskano dla pochodzenia Czerniejewo (5778 MPa), a najniższe dla pochodzenia Rawa Mazowiecka-Trębaczew (5753 MPa).

Słowa kluczowe: sprężyste właściwości drewna, właściwości mechaniczne drewna, wilgotność drewna.

Abstract. Bending modulus of elasticity of selected provenances of European Larch (*Larix decidua* Mill.). The aim of this work was to state whether the wood from different provenances of European Larch (*Larix decidua* Mill.) shows differences in modulus of elasticity (MOE). The tests were taken with 1477 samples representing six provenances of larch: Bliżyn, Czerniejewo, Konstancjowo-Tomkowo, Krościenko, Rawa Mazowiecka-Trębaczew, Skarżysko. Statistical analysis shows significant differences between tested provenances. Highest value of MOE was observed in provenance Czerniejewo (5778 MPa), but the lowest on Rawa Mazowiecka-Trębaczew (5753 MPa).

Key words: elastic properties of wood, mechanical properties of wood, wood moisture content.

Wstęp

Badania proveniencyjne modrzewi w Polsce są prowadzone co najmniej od kilkudziesięciu lat. Efektem tych badań są opisy i wzajemne korelacje cech hodowlanych i biometrycznych cech drzew (Bałut 1962, Chodzicki 1967, Giertych 1980). Wyniki badań są podstawą tworzenia programów selekcyjnych. Jedne z najpoważniejszych programów zainicjowano w Polsce pod patronatem Międzynarodowej Unii Leśnych Instytutów Badawczych (IUFRO) w 1944 roku (pierwsza seria) i w 1958/59 roku (druga seria). W badaniach tych stwierdzono, że polskie

proweniencji modrzewia na tle innych regionów występowania mają niskie jakości strzały (Andrzejczyk et al. 1992). W badaniach drewna jednym z najczęściej używanych parametrów, obok gęstości, jest moduł elastyczności drewna (MOE), na podstawie którego modeluje się inne właściwości.

Wyniki badań proweniencyjnych znajdują odzwierciedlenie w licznych publikacjach szczególnie na przestrzeni ostatnich 20 lat. Wynika to z faktu, iż doświadczenia proweniencyjne są coraz starsze i mogą prowadzić do nowych konkluzji (Andrzejczyk et al. 1992 1999, Chylarecki 2000, Rożkowski 2000a, 2000b, Giertych et al. 2000, Rożkowski et al. 2011). Zasadniczo badania polskich doświadczeń koncentrowały się wokół cech hodowlanych drzew. Praktycznie do wyjątków należą badania właściwości drewna (Splawa-Neyman et al. 1997, 2000). Wynika to zapewne z faktu, iż do badań właściwości przeznaczają się głównie drewno drzew dojrzałych osiągające wymiary odpowiednie dla przemysłu drzewnego, co przy doświadczeniach proweniencyjnych wymaga czasu. Część powierzchni badawczych posiada już wystarczające wymiary pozwalające na badania drewna. Do takich powierzchni należy doświadczenie założone w 1966 roku w LZD Siemianice, które jest przedmiotem niniejszej publikacji.

W literaturze zagranicznej również coraz częściej podejmuje się tematykę badań drewna modrzewia różnych pochodzeń. Leban i in. (1999), badając szybko rosnące odmiany modrzewia we Francji, opracowali matematyczny model przewidujący wartość modułu elastyczności na podstawie różnych cech drewna takich jak gęstość, liczba słoików na cm, wiek drzewa i innych. Podobne badania również z wykorzystaniem MOE w ramach selekcji genotypów przedstawił Pâsques z zespołem (2010). Wcześniej badania modułu elastyczności na francuskich odmianach modrzewia prowadzili również Marschal et al. (1999) na młodych 14-letnich klonach. W swoich badaniach porównywali klasyczną metodę badań z badaniami modułu za pomocą metod akustycznych. Właściwości sprężyste i korelacje z genotypem były również przedmiotem badań japońskich krzyżówek modrzewia (Fujimoto et al. 2006). Wpływ sęków na wartości modułu elastyczności w drewnie *Larix gmelinii* był przedmiotem badań chińskich naukowców (Zhong et al. 2012). Znane i cenione pochodzenia modrzewi w południowo-centralnej Syberii w pięciu lokalizacjach były przedmiotem badań Koizumi et al. (2003). Autorzy zbadali kompleksowo wiele anatomicznych cech i właściwości drewna. Badania wykazały różnice głównie w gęstości drewna, gdzie najwyższą gęstość posiadała populacja pochodząca z nad Bajkału. W niniejszej pracy skupiono się nad badaniami modułu elastyczności sześciu polskich pochodzeń modrzewia.

Celem pracy było stwierdzenie, czy i w jakim zakresie drewno pochodzące z różnych polskich proveniencji modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) wykazuje różnice w module sprężystości przy zginaniu statycznym (MOE).

Metodyka

Badania modułu wykonano na doświadczeniu założonym w 1966 roku w LZD Siemianice. Powierzchnia składała się z 5 bloków, każdy podzielony na 21 działek o powierzchni 384 m² (łącznie liczba działek – 105). Na każdą z działek zostało wysadzonych 96 sadzonek, każda z proveniencji liczyła 480 sztuk (96x5 bloków). Pomiędzy działkami założono 2-metrowej szerokości pasy izolacyjne. Na każdej z pięciu działek (powtórzeń) dla danej proveniencji modrzewia wykonano pomiary pierśnic drzew i wysokości w celu obliczenia wymiarów drzew metodą Uricha (wariant II) (Grochowski 1973). Prace terenowe zostały wykonane w grudniu 2011 roku. Obejmowały wycinkę drzew modelowych z sześciu proveniencji. Ze ściętych drzew pobrano materiał do badań drewna (wyrzynki 70 cm długości) z wysokości od 1,3 m w górę pnia.

Badanie modułu sprężystości przy zginaniu statycznym zostało wykonane na próbkach mokrych przy wilgotności powyżej punktu nasycenia włókien. Pomiar został wykonany zgodnie z obowiązującymi standardami na próbkach o wymiarach 20x20x300 mm na maszynie wytrzymałościowej Tira Test 2300, sterowanej komputerowo przy wykorzystaniu oprogramowania Matest.

Wyniki badań

Testy i obliczenia modułu sprężystości wykonano na 1475 próbkach, od 174 do 296 próbek w różnych proveniencjach (tab. 1). Różnica ilości pobieranych próbek zależała od różnych czynników: przede wszystkim od średnicy badanych drzew, a w dalszej kolejności od selekcji pod kątem wad drewna. Przeciętny moduł sprężystości dla całej populacji wyniósł 6309 MPa i wahał się w granicach od 5753 do 6777 MPa między różnymi proveniencjami.

Tab. 1. Wartość modułu elastyczności (MOE) dla różnych proveniencji, statystyki opisowe
Table 1. Value of modulus of elasticity (MOE) on different provenances, basic statistics

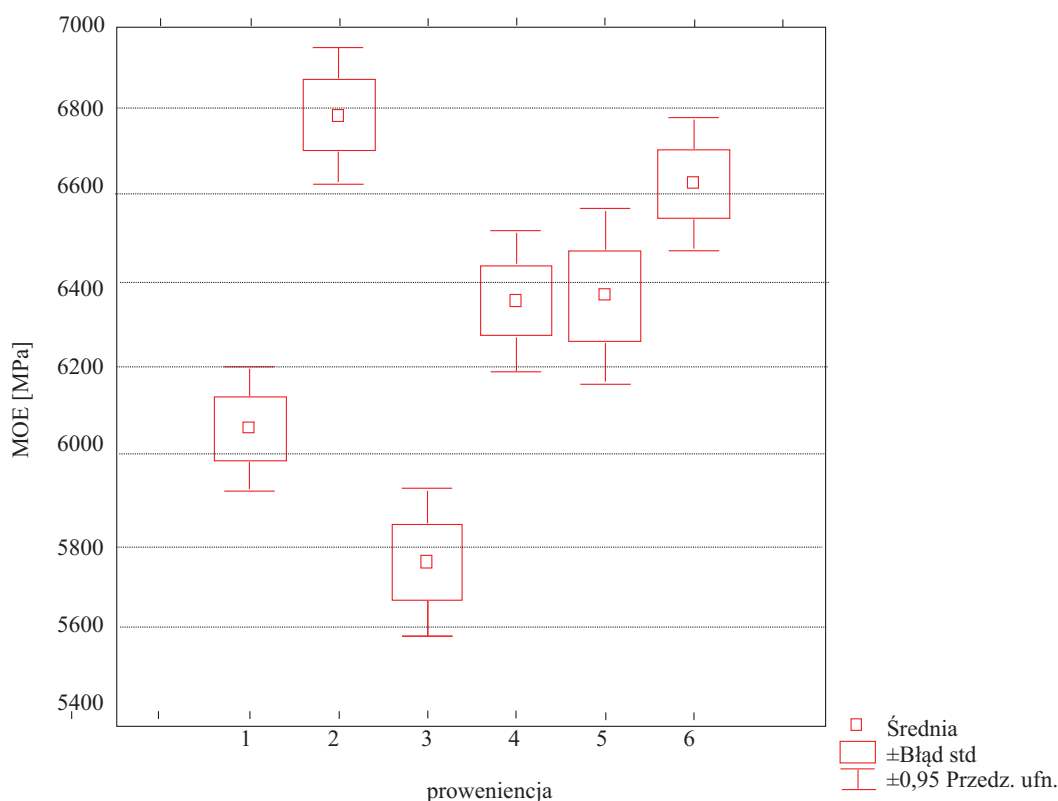
Proweniencja	Średnia	N	Odstąpienie std	Min.	Max.	Q25	Mediana	Q75
KONSTANCJEW – TOMKOWO (1)	6060	296	1250	3212	10517	5196	5947	6800
CZERNIEJEW (2)	6778	258	1296	1981	10529	5893	6831	7678
RAWA MAZOWIECKA – TRĘBACZEW (3)	5754	254	1380	2684	10027	4830	5611	6564
SKARŻYSKO (4)	6352	258	1305	3733	9330	5346	6396	7376
BLIŻYN (5)	6365	172	1339	2534	13001	5461	6304	7297
KROŚCIENKO (6)	6622	237	1195	2967	9877	5806	6607	7484
Ogółem	6310	1475	1337	1981	13001	5373	6253	7275

Tab. 2. Test RIR Tukeya, istotność różnic MOE pomiędzy proveniencjami, zaznaczone pogrubioną czcionką różnice są istotne na poziomie $p < 0,05$

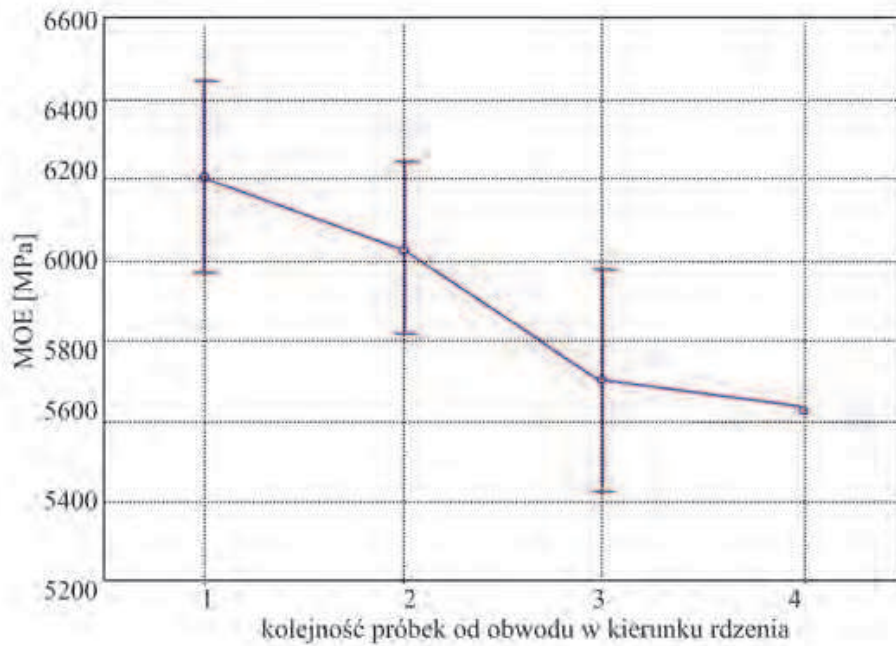
Table 2. Tukey Test, significance of differences of MOE between provenances, marked (red) values indicate significant difference on level $p < 0,05$

Proweniencja	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
KONSTANCJEW – TOMKOWO {1}		0,0000	0,0617	0,0850	0,1369	0,0000
CZERNIEJEW {2}	0,0000		0,0000	0,0026	0,0150	0,7618
RAWA MAZOWIECKA – TRĘBACZEW {3}	0,0617	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000
SKARŻYSKO {4}	0,0850	0,0026	0,0000		1,0000	0,1883
BLIŻYN {5}	0,1369	0,0150	0,0000	1,0000		0,3528
KROŚCIENKO {6}	0,0000	0,7618	0,0000	0,1883	0,3528	

Obliczona wartość modułu sprężystości odbiega znacznie od dostępnych w literaturze zestawień tabelarycznych, w których dla modrzewia podaje się wartość co najmniej 13 000 MPa. Należy jednak podkreślić, że badania wykonano dla drewna o wilgotności powyżej punktu nasycenia włókien, gdzie wartości te zawsze są znacznie mniejsze. Największą wartość modułu stwierdzono dla pochodzenia Czarniejewo, najslabsze próbki okazały się z Rawy Mazowieckiej-Trębaczew. Obliczone odchylenie standardowe we wszystkich przypadkach jest znaczne, co wskazuje na duże zróżnicowanie populacji. Świadczą o tym również olbrzymie różnice w wartościach ekstremalnych: od 1981 MPa do ponad 13 000 MPa (tab. 1). Takie wartości zanotowano pomimo tego, że badaniom podlegała wyłącznie strefa przyobwodowa z pominięciem przyrdzeniowego drewna młodocianego. Tak duże wahania są wskaźnikiem dużej niejednorodności struktury drewna. Prezentowane wartości percentyli wskazują na to, że tylko połowa populacji zawarta w przedziale od 25% do 75% wykazuje w miarę zbliżone wartości (tab. 1), pozostałe próbki już mocno odbiegają od średniej. Wykonana analiza wariancji z dużym prawdopodobieństwem pozwoliła stwierdzić, że istniejące różnice między proveniencjami są istotne statystycznie. Jednak nie wszystkie pochodzenia różnią się istotnie między sobą (tab. 2). Dwie z badanych populacji są wyraźnie słabsze: Konstancjewo – Tomkowo (6060 MPa) oraz wspomniana Rawa Mazowiecka – Trębaczew (5753 MPa), natomiast zdecydowanie najlepsze wyniki uzyskano dla Czarniejewa (6777 MPa) i Krościenka (6621 MPa). Dzięki temu, że badano 4 kolejne próbki od rdzenia, można również prześledzić zmienność promieniową modułu sprężystości.

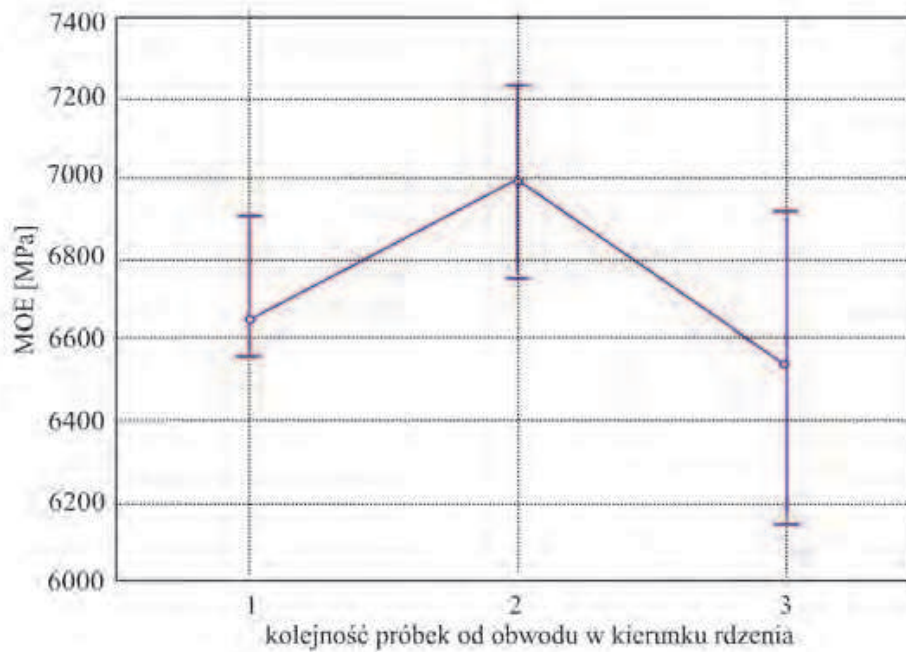


Ryc. 1. Przeciętna wartość MOE dla różnych proveniencji
 Fig. 1. Mean value of MOE on different provenances



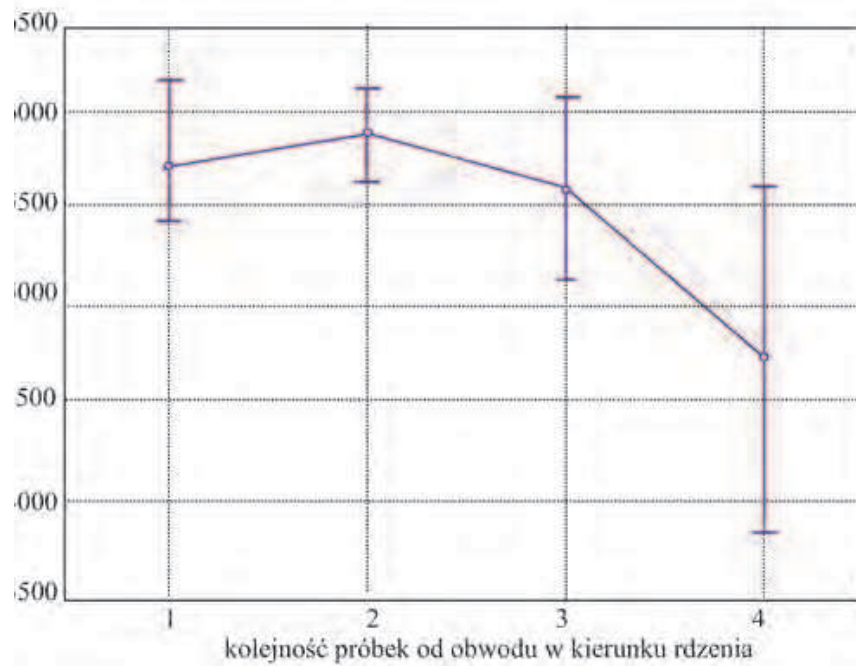
Ryc. 2. Promieniowa zmienność średniej (punkt) modułu elastyczności (MOE) i przedział ufności 95% (wąsy) dla proveniencji Konstanczewo – Tomkowo

Fig. 2. Radial variability of mean value (point) of modulus of elasticity (MOE) and confidential interval 95% (whisker) for Konstanczewo – Tomkowo provenance

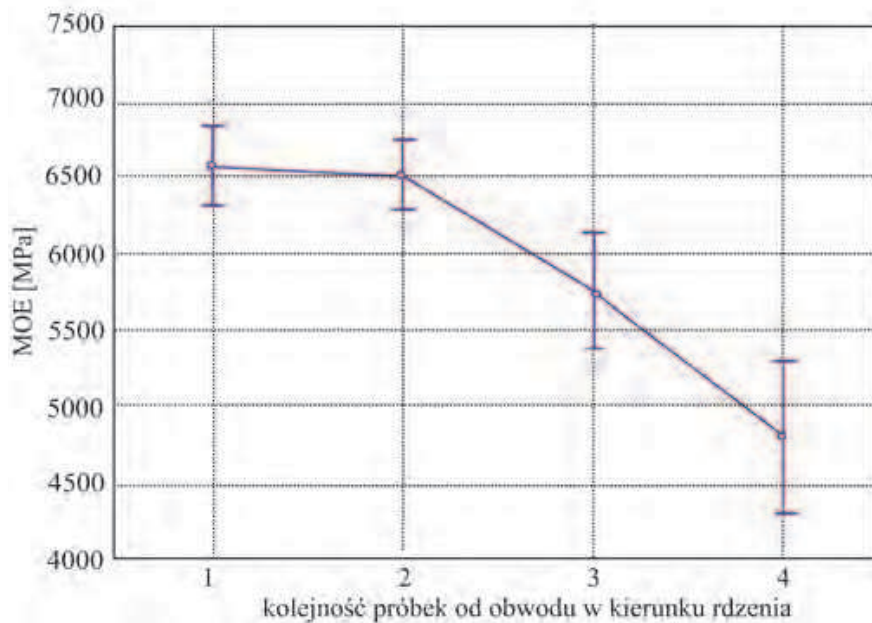


Ryc. 3. Promieniowa zmienność średniej (punkt) modułu elastyczności (MOE) i przedział ufności 95% (wąsy) dla proveniencji Czerniejewo

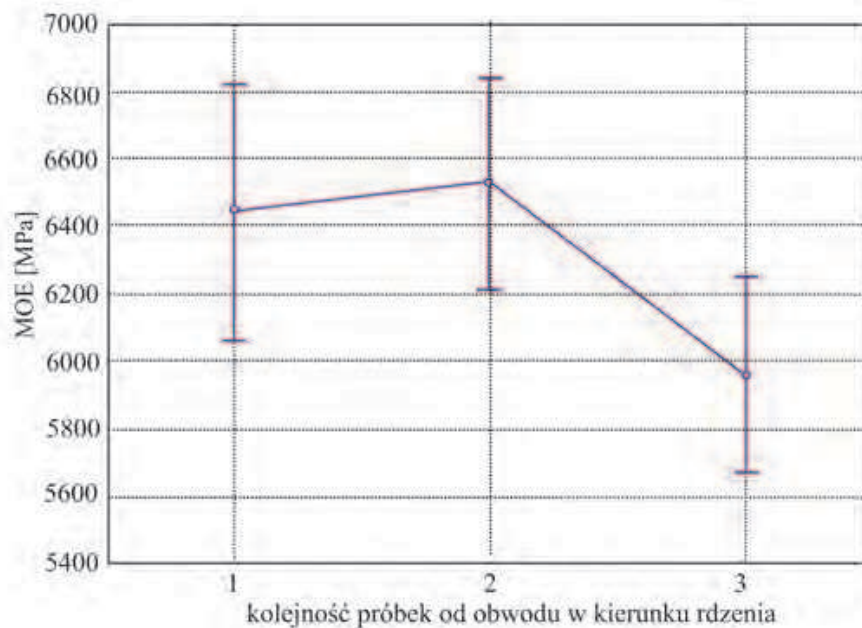
Fig. 3. Radial variability of mean value (point) of modulus of elasticity (MOE) and confidential interval 95% (whisker) for Czerniejewo provenance



Ryc. 4. Promieniowa zmienność średniej (punkt) modułu elastyczności (MOE) i przedział ufności 95% (wąsy) dla proveniencji Rawa Mazowiecka-Trębaczew
Fig. 4. Radial variability of mean value (point) of modulus of elasticity (MOE) and confidential interval 95% (whisker) for Rawa Mazowiecka-Trębaczew provenance

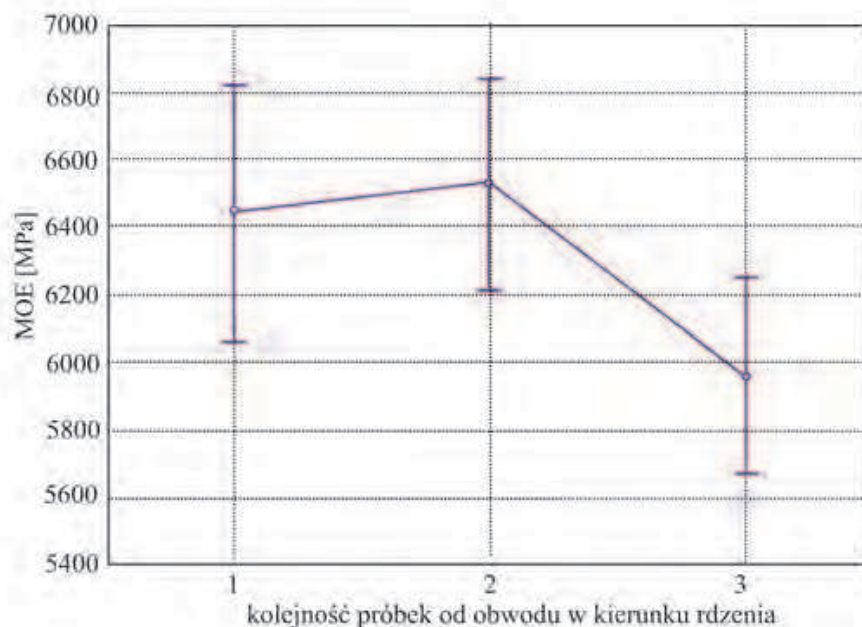


Ryc. 5. Promieniowa zmienność średniej (punkt) modułu elastyczności (MOE) i przedział ufności 95% (wąsy) dla proveniencji Skarżysko
Fig. 5. Radial variability of mean value (point) of modulus of elasticity (MOE) and confidential interval 95% (whisker) for Skarżysko provenance



Ryc. 6. Promieniowa zmienność średniej (punkt) modułu elastyczności (MOE) i przedział ufności 95% (wąsy) dla proveniencji Bliżyn

Fig. 6. Radial variability of mean value (point) of modulus of elasticity (MOE) and confidential interval 95% (whisker) for Bliżyn provenance



Ryc. 7. Promieniowa zmienność średniej (punkt) modułu elastyczności (MOE) i przedział ufności 95% (wąsy) dla proveniencji Krościenko

Fig. 7. Radial variability of mean value (point) of modulus of elasticity (MOE) and confidential interval 95% (whisker) for Krościenko provenance

Próbki oznaczone symbolami od 1 (najbardziej zewnętrzna) do 4 (najbardziej wewnętrzna) ukazują duże różnice praktycznie we wszystkich pochodzeniach. Przy czym próbki nr 4 występują tylko w trzech przypadkach. O ile różnica między trzema pierwszymi próbkami nie jest zbyt duża, to wartość modułu czwartej próbki odbiega już bardziej (Rawa, Skarżysko), co może być oznaką drewna młodocianego. W trzech populacjach (ryc. 3, 4, 6) najwyższą wartość wykazuje próbka nr 2, będąc ilustracją typowego układu właściwości mechanicznych w pniu drzewa, gdzie próbki wykazują polepszenie właściwości w kierunku od rdzenia do obwodu, zaś skrajne próbki są zazwyczaj nieco słabsze. Próbki przyobwodowe cechuje też największa wartość odchylenia standardowego, które podobnie jak moduł wzrasta w kierunku od rdzenia do obwodu (tab. 3).

Tab. 3. Promieniowa zmienność modułu sprężystości (MOE), statystyki opisowe
Table 3. Radial variability of modulus of elasticity (MOE), basic statistics

Kierunek od rdzenia do obwodu	Średnia	N	Odch. std	Min.	Max.	Q25	Mediana	Q75
Próbka Nr 1	6392	596	1400	1981	13001	5404	6307	7406
Próbka Nr 2	6389	634	1313	2534	9969	5459	6396	7325
Próbka Nr 3	5978	229	1147	2936	10529	5218	5965	6712
Próbka Nr 4	4838	16	701	3725	6242	4244	4763	5421
Ogółem	6310	1475	1337	1981	13001	5373	6253	7275

Zwiększaniu wartości modułu towarzyszy więc zwiększanie jego zmienności, co świadczy o wspomianej już dużej niejednorodności struktury drewna. Z przebiegów promieniowych wynika, że jedynie w populacji z Rawy Mazowieckiej i Trębaczew wszystkie próbki są wyraźnie słabsze i średnio na całym przekroju promieniowym nie przekraczają 6000 MPa.

Wnioski

1. Badane proveniencje modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) wykazują wyraźne różnice w średniej wartości modułu sprężystości. Różnice te są istotne statystycznie, chociaż nie wszystkie proveniencje różnią się istotnie między sobą.
2. Najwyższe wartości modułu sprężystości stwierdzono dla Czerniejewa (6777 MPa) i Krościenka (6621 MPa), a najslabsze okazały się pochodzenia: Konstancjowo-Tomkowo (6060 MPa) oraz Rawa Mazowiecka-Trębaczew (5753 MPa).
3. We wszystkich pochodzeniach stwierdzono dużą zmienność promieniową wartości modułu. Wielkość modułu wzrasta w kierunku od rdzenia do obwodu. Towarzyszy temu również wzrost odchylenia standardowego, co świadczy o dużej niejednorodności struktury drewna.

Literatura

- Andrzejczyk T., Bellon S. 1999. Wzrost i jakość polskich pochodzeń modrzewia w wieku 30 lat na powierzchni proveniencyjnej w Rogowie. *Sylwan* (3): 5–19.
- Andrzejczyk T., Bellon S. 1992. Zmienność proveniencyjna modrzewi w warunkach Polski Środkowej. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 51: 48–58.
- Bałut S. 1962. Zmienność niektórych cech w populacjach modrzewia z Gór Świętokrzyskich, Beskidów i Sudetów jako podstawa wyróżniania gospodarczo cennych ekotypów. *Acta Agraria et Silvestria, seria Sylvestris II*: 3–43.
- Chodzicki E. 1967. Growth relationship of the Polish–Sudetic–Carpatian group of larches in the light of long-term research. *Genetica Polonica* 8: 221–229.
- Chylarecki H. 2000. Modrzewie w Polsce: dynamika wzrostu, rozwój i ekologia wybranych gatunków i ras. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.
- Fujimoto T., Akutsu H., Nei M., Kita K., Kuromaru M., Oda K. 2006. Genetic variation in wood stiffness and strength properties of hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* x *L. kaempferi*). *Journal of For. Res.* 11 (5): 343–349.
- Giertych M., Rożkowski R. 2000. Populacje modrzewia (*Larix decidua* Mill.) z Bliżyna. *Leśny Bank Genów Kostrzyca* 21 (1): 59–76.
- Giertych M. 1980. Polskie rasy sosny, świerka i modrzewia w międzynarodowych doświadczeniach proveniencyjnych. *Arboretum Kórnickie* 25: 135–160.
- Grochowski J. 1973. *Dendrometria PWRiL*, Warszawa.
- Koizumi A., Takata K., Yamashita K., Nakada R. 2003. Anatomical characteristics and mechanical properties of *Larix sibirica* grown in south-central Siberia. *Iawa Journal* 24 (4): 355–370.
- Leban J.M., Haines D.W. 1999. The modulus of elasticity of hybrid larch predicted by density, rings per centimeter, and age. *Wood Fib. Sci.* 31 (4): 394–402.
- Marchal M., Jacques D. 1999. Evaluation of two acoustic methods of MOE determination for young hybrid larch wood (*Larix x eurolepis* Henry). Comparison with a standard method by static bending. *Ann. For. Sci.* 56 (4): 333–343.
- Pâsques L.E., Miller F., Rozenberg P. 2010. Selection perspectives for genetic improvement of wood stiffness in hybrid larch (*Larix x eurolepis* Henry). *Tree Genetics & Genomes* 6 (1): 83–92.
- Rożkowski R. 2000a. Proveniencje modrzewia dla Polski. *Sylwan* 144 (1): 87–107.
- Rożkowski R. 2000b. Zmienność genetyczna modrzewia europejskiego w świetle europejskich doświadczeń proveniencyjnych. *Leśny Bank Genów Kostrzyca* 21 (2): 136–144.
- Rożkowski R., Chmura D. J., Chałupka W., Guzińska M. 2011. Cechy przyrostowe i jakościowe modrzewia polskiego [*Larix decidua* subsp. *polonica* (Racib.) Domin] z Góry Chełmowej w 37-letnim doświadczeniu rodowym. *Sylwan* 155 (9): 599–609.
- Splawa-Neyman S., Pazdrowski W. 2000. Stadal growth and its influence upon selected properties of european larch (*Larix decidua* Mill.) wood. *Folia Forestalia Polonica. Seria B*, zeszyt 31, 2000.
- Splawa-Neyman S., Pazdrowski W., Małecki S., Owczarzak Z. 1997. Właściwości drewna modrzewi z 21 proveniencji na terenie Polski. *Prace Instytutu Technologii Drewna. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Poznań.*

Zhong Y., Ren HQ., Lou WL., Li XZ. 2012. The effect of Knots on Bending Modulus of Dimension Lumber. 13th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies. 22–24 Sep, 2011 Changsha. Proceedings paper.

Szaban Jarosław, Jakubowski Marcin

Katedra Użytkowania Lasu

Wydział Leśny

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

jaroslaw.szaban@up.poznan.pl

marcin.jakubowski@up.poznan.pl

Kowalkowski Wojciech

Katedra Hodowli Lasu

Wydział Leśny

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

wojkowal@up.poznan.pl