

Oleksii Holubchak

Instytut Leśnictwa Górskiego

ul. Gruszeckiego, 31, Iwano-Frankowsk, 76000 Ukraina

girlis@ukr.net

Andrii Savchyn, Platon Tretyak, Yuriy Chernevyy

Podkarpacka Wyższa Szkoła Gospodarstwa Leśnego

ul. Zamkowa 14, Bolechów, 77200 Ukraina

platon.tretyak@gmail.com; plhc@ukr.net

Received: 4.05.2019

Reviewed: 10.07.2019

DYNAMIKA PRZYROSTU ŚWIERKA *PICEA ABIES* (L.) H.KARST. I LIMBY *PINUS CEMBRA* L. W POBLIŻU GÓRNEJ GRANICY LASU W GORGANACH (UKRAINA)

Growth dynamics of *Picea abies* (L.) H.Karst. and *Pinus cembra* L.
near the upper timberline in the Gorgany range (Ukraine)

Abstract: The average annual increment of growth (current and average) of 10 model trees was analyzed. They grow on damp, acidic, shallow and poor mountain soils on stony ground (*Cambic Leptosols*) in a cool and humid mountain climate. The dynamics of the current increase of height and thickness at breast height of the *Picea abies* and *Pinus cembra* trees showed typical tendencies of changes. The increase of trunks volume had a proportional trend with maximum values in relation to the trend line in the years 1867–1917 and 1997–2012. Also, in the years 1920–1980, a decrease in growth was noted with a short break around 1960. In general, the growth rate of tree height of the *Picea abies* was slightly faster than the *Pinus cembra*, and the increase in the thickness at breast height and volume of the trunks was inversely lower.

Key words: *Pinus cembra*, *Picea abies*, growth rate, timberline.

Wstęp

Na świecie obszar z udziałem limby *Pinus cembra* obejmuje ponad 30 tysięcy hektarów. Limba w swoim zasięgu występuje na wysokościach 1100–2500 (2700) m n.p.m. w Alpach i Karpatach – są to tereny: Austrii, Francji, Niemiec, Słowenii, Szwajcarii, Włoch, Polski (Tatry), Słowacji (Tatry), Rumunii i Ukrainy (Ulberl in. 2004). Z badań prowadzonych przez różnych autorów wynika, że gatunek ten rozszerza obecnie swój zasięg. Czerwona Lista Zagrożonych Gatunków IUCN kwalifikuje limbę do kategorii gatunków najmniej zagrożonych. Limba rośnie powoli i może osiągnąć wiek ponad 1000 lat, cechując się drewnem odpornym na patogeny grzybowe (Caudullo, de Rigo 2016).

Badania nad rozmieszczeniem populacji limby w Karpatach miały miejsce już w XIX wieku i prowadzone były na terenie ówczesnych Austro-Węgier. Pełną bibliografię i oryginalną syntezę informacji o karpackich limbach zawiera praca prof. Andrzeja Środonia (1936). Szczególnie cenna jest zamieszczona tam mapa

i lista miejsc rozmieszczenia populacji tego gatunku w Karpatach, a w szczególności w Gorganach. Po drugiej wojnie światowej Smagłuk (1972) stwierdził, że w ukraińskich Karpatach lasy z *Pinus cembra* zajmują łączną powierzchnię 6313,5 ha, z czego aż 5860,3 ha w obwodzie iwanofrankowskim. Ta informacja daje możliwość porównań przydatnych do monitorowania dynamiki zasięgu populacji.

Obecnie szacuje się, że w Polsce i na Słowacji tatrzańska populacja *Pinus cembra* występuje łącznie na powierzchni 916 ha (Zięba i in. 2020). Reliktowe stanowiska gatunku są chronione na terenie słowackiego i polskiego Tatrzańskiego Parku Narodowego. Pomimo dużej fragmentacji i ograniczonej wielkości płatów siedlisk stwierdzono, że populacja limby jest tu stabilna i niezagrażona (Działuk i in. 2014).

Na Ukrainie łączną powierzchnię lasów z udziałem *Pinus cembra* szacuje się obecnie na około 5000 ha (Tasênkevič i in. 2009). Populacja ta jest chroniona zgodnie z zasadami określonymi w ustawie „O Czerwonej Księdze Ukrainy”. Zapewniona jest ochrona ekosystemów leśnych, w których *Pinus cembra* występuje. Ekosystemy te objęte zostały różnymi obszarowymi formami ochrony – zwłaszcza rezerwatami przyrody («przyrodnicze zapowiedniki»), parkami narodowymi, regionalnymi rezerwatami krajobrazowymi itp. Największe drzewostany z udziałem limby koncentrują się w Gorganach, gdzie zajmują powierzchnię ponad 4000 ha (Stojko i in. 1999). Tworzą one niewielką domieszkę w borach świerkowych, ale lokalnie mogą stanowić 20–30% ogólnej miąższości drzewostanów, a miejscami udział miąższościowy może być nawet większy. Większość limb rośnie w strefie 1100–1600 m n.p.m. (Bojchuk, Tretjak 2018). Bory limbowo-świerkowe z Gorganów pod względem składu gatunkowego są zbliżone do podobnych zbiorowisk z podzwiazku *Vaccinio-Piceion* w Tatrach i Alpach, ale odróżnia je brak domieszki modrzewia *Larix decidua* (Holeksa, Szwagrzyk 2012).

W ostatnich dziesięcioleciach prowadzone były liczne badania nad właściwościami biologicznymi, wymogami środowiskowymi i specyfiką wzrostu *Pinus cembra* w Alpach, w pobliżu górnej granicy lasu na wysokości 1700–2100 m n.p.m. (Kronfuss, Havranek 1999; Li, Yang 2004; Oberhuber 1997; Oberhuber 2004; Rolland i in. 1998).

Na Ukrainie – w paśmie Gorganów – badania w drzewostanach limbowo-świerkowych, rosnących w strefie wysokości 1330–1460 m n.p.m., prowadził Smagłuk (1972), który zbadał przyrost sześciu limb i pięciu świerków. Podobne badania dendrometryczne przeprowadzono w tym samym obszarze w ostatnim dziesięcioleciu (Chernevyj i in. 2011; Tretiak, Czernevyj 2013). Stwierdzono, że ogólne tempo przyrostu świerków było szybsze niż limb (Tretiak, Czernevyj 2018).

17 maja 2018 r. odbyła się wspólna wyprawa polskich i ukraińskich naukowców-przyrodników do rezerwatu krajobrazowego „Grofa” w Ukrainie w Gorganach (Ryc. 1), który znajduje się w rejonie Rożniatów w obwodzie iwano-



Ryc. 1. Wspólna wyprawa polskich i ukraińskich naukowców przyrodników do rezerwatu krajobrazowego „Grofa” w Gorganach. Ukraina 17 maja 2018 r. (Fot. T. Winnicki).

Fig. 1. A joint expedition of Polish and Ukrainian scientists to the landscape reserve “Grofa” in Gorgany range, Ukraine, May 17, 2018. (Phot. T. Winnicki).

frankowskim, w górnym biegu rzeki Łomnica. W trakcie ekspedycji, w pobliżu górnej granicy lasu, w pobliżu schroniska „Plisce”, na wysokości 1430 m n.p.m., natrafiono na świeży wiatrował lasu limbowo-świerkowego, który obejmował powierzchnię około 0,3 ha. 13 czerwca 2018 roku, po uzyskaniu pozwolenia Iwano-Frankowskiego Regionalnego Departamentu Leśnictwa i Łowiectwa, zorganizowano wyprawę naukowców oraz studentów Podkarpackiej Wyższej Szkoły Gospodarstwa Leśnego w celu pozyskania z leżących drzew krążków sekcyjnych dla przeprowadzenia dokładnej analizy dendrometrycznej tempa ich wzrostu (Ryc. 2).

Cel, obiekt i metodyka badań

Przeprowadzono pełną analizę dendrometryczną tempa wzrostu limb i świerków w Gorganach, które współwystępowały w jednym drzewostanie, w pobliżu górnej granicy lasu, na wysokości około 1430 m n.p.m. Badania te miały na celu uzupełnienie dotychczas publikowanych danych, które w Gorganach były badane na niższych wysokościach (1250–1365 m n.p.m.). Zebrane materiały mogą być w przyszłości przydatne do przeprowadzenia badań dendroklimatycznych,



Ryc. 2. Wyprawa naukowców oraz studentów z Podkarpackiej Wyższej Szkoły Gospodarstwa Leśnego w celu pozyskania z leżących drzew modeli sekcyjnych (Fot. P. Tretyak).
Fig. 2. Expedition of scientists and students of the Prykarpacktskyj college of forestry in order to obtain sectional models from lying trees (Phot. P. Tretyak).

analogicznych do prac prowadzonych w Alpach (Oberhuber 2004; Rolland, Petitcolas, Michalet 1998).

W celu przeprowadzenia analiz dendrometrycznych, określających średnie wartości przyrostu rocznego (bieżącego i przeciętnego), pozyskano materiał z dziesięciu drzew (3 świerków i 7 limb) rosnących w typowych dla Gorganów warunkach siedliskowych, które reprezentowane są przez świeże i wilgotne oraz kwaśne i płytkie ubogie gleby górskie na podłożu rumowiskowym (*Cambic Leptosols*).

Zbadano podstawowe wskaźniki dendrometryczne drzew, a wybrane cechy (średnie i maksymalne) zestawiono w tabeli 1. Warto zaznaczyć, że wszystkie drzewa były powalone przez ubiegłoroczny wiatrował, który prawdopodobnie miał miejsce 2 lutego 2018 roku o godz. 23.00, kiedy to najbliższa wysokogórska stacja meteorologiczna „Plaj” (60 km na zachód, na wysokości 1340 m n.p.m.) odnotowała silny południowy wiatr o prędkości 34 m/s.

W badaniach zastosowano ogólnie przyjęte dendrometryczne metody analizy przyrostu drzew z uwzględnieniem dynamiki zmian wysokości, pierśnicy i miąższości (Bruchwald 1999; Curyk 2006). Wykonane do celów analiz sekcyjne przekroje drzew modelowych zdeponowano w kolekcji Podkarpackiej Wyższej Szkoły Gospodarstwa Leśnego w Bolechowie (obwód Iwano-Frankowski, Ukraina).

Tempo wzrostu drzew porównano do wskaźników względnej skali bonitacji drzewostanów nasiennych dla wartości średniej wysokości drzew określonego wieku według metody prof. M.M. Orłowa, które są tradycyjnie używane w Ukrainie, Rosji i

Tabela 1. Wartości głównych wskaźników dendrometrycznych drzew modelowych: № – numer drzewa modelowego w kolekcji; A – wiek; D – pierśnica, Z_d – średni przyrost pierśnicy; H – wysokość; Z_h – średni przyrost wysokości; V – miąższość; Z_v – średni przyrost miąższości; f – średnia pierśnicowa liczba kształtu; χ – średnia arytmetyczna wartość.

Table 1. Values of the main dendrometric indicators of model trees: № – the number of the model tree in collection; A – age; D – diameter at breast height; Z_d – average increase of diameter at breast height; H – the height of the tree; Z_h – average increase of tree height; V – trunk volume; Z_v – average increase of trunk volume; f – average form factor of trunk; χ – average arithmetic value.

Gatunek Species	№	A [lata/ years]	D [cm]	Z_d [cm]	H [m]	Z_h [m]	V [m ³]	Z_v [m ³]	f
<i>Picea abies</i>	222	189	27,4	0,14	17,5	0,09	0,46	0,0024	0,446
<i>Picea abies</i>	224	150	40,4	0,27	21,2	0,14	1,16	0,0077	0,427
<i>Picea abies</i>	230	209	29,6	0,14	18,0	0,09	0,61	0,0029	0,492
χ		183	32,5	0,19	18,9	0,11	0,74	0,0044	0,475
<i>Pinus cembra</i>	220	203	35,0	0,17	17,2	0,08	0,77	0,0038	0,465
<i>Pinus cembra</i>	223	190	35,8	0,19	17,0	0,09	0,82	0,0043	0,479
<i>Pinus cembra</i>	225	195	43,2	0,22	17,0	0,09	1,17	0,0060	0,470
<i>Pinus cembra</i>	226	192	47,4	0,25	19,0	0,10	1,39	0,0072	0,415
<i>Pinus cembra</i>	227	190	35,8	0,19	18,0	0,09	1,10	0,0058	0,607
<i>Pinus cembra</i>	228	180	34,4	0,19	19,0	0,11	0,82	0,0046	0,464
<i>Pinus cembra</i>	229	192	31,4	0,16	18,0	0,09	0,69	0,0036	0,495
χ		192	37,6	0,20	17,9	0,09	0,97	0,0050	0,487

innych krajach (Shvidenko i in. 2008: str. 77–78). Jednak dla lepszego porównania tempa wzrostu zastosowano nowoczesną metodę na wzór „Site index values”, stosowaną obecnie w Niemczech, Stanach Zjednoczonych i innych krajach zachodnich (Laar, Akça 2007; Socha 2011). Do oceny wskaźnika wykorzystuje się nie tylko wysokości drzew, ale także pierśnicę, miąższość oraz ich przyrost (Carmean i in. 1989).

Wyniki

Wartości głównych wskaźników dendrometrycznych drzew modelowych prezentuje tabela 1. Uśrednione wartości tych parametrów dla badanych świerków wykazywały tempo wzrostu w granicach parametrów IV klasy bonitacyjnej, zaś w przypadku limb V klasy bonitacji. Model indeksów siedliskowych (SI) według głównych wskaźników biometrycznych wzrostu badanych drzew modelowych obu gatunków, które rosły w pobliżu górnej granicy lasu w Gorganach, wykazywał ogólnie zbliżone wartości (Tab. 2).

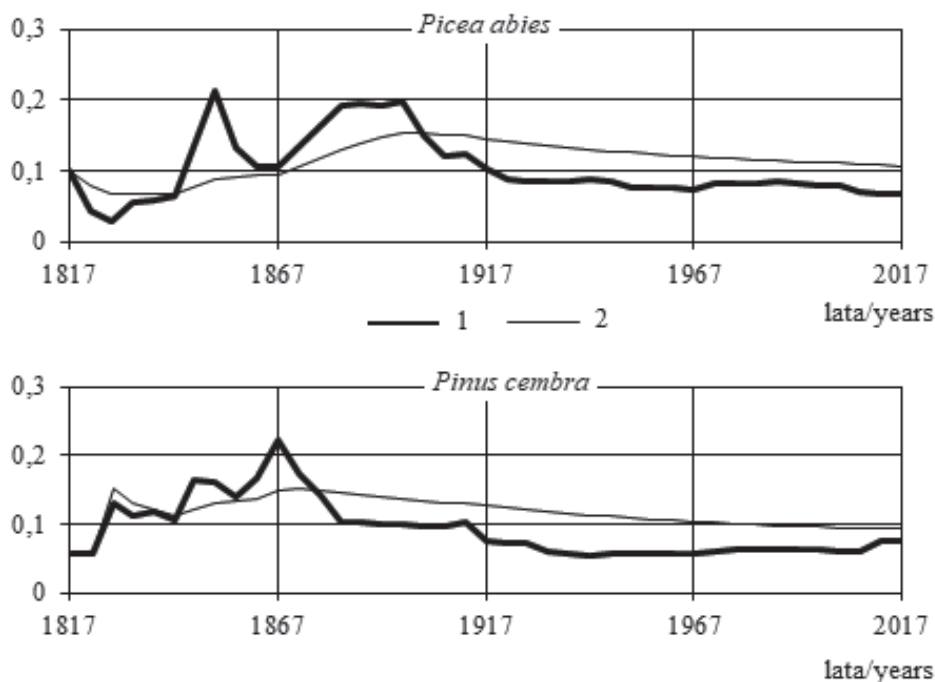
Tabela 2. Siedliskowe indeksy (SI) wzrostu badanych drzew modelowych według głównych wskaźników biometrycznych: Objasnienia: B – klasa bonitacji (Shvidenko i in. 2008), $\Delta V/\Delta A$ – okresowy przyrost miąższości; pozostałe objaśnienia jak w tab. 1.

Table 2. Site indices (SI) of the growth of model trees according to main biometric values: B – bonitation class (Shvidenko et al. 2008), $\Delta V/\Delta A$ – periodic volume increase; other explanations as in table 1.

	SI ₅₀	SI ₁₀₀	SI ₁₅₀	SI ₂₀₀
<i>Picea abies</i>				
A	50	100	150	183±30
B	V ^a	V ^a	V	IV
H	5±2,6	10±0,6	15±1,2	19±2
D	9±5	19±3	26±5	32±7
V	0,01±0,004	0,015±0,006	0,39±0,21	0,74±0,37
$\Delta V/\Delta A$	0,0009±0,0002	0,0041±0,002	0,0076±0,003	0,008±0,005
<i>Pinus cembra</i>				
A	50	100	150	192±7
B	V	V ^a	V	V
H	6±0,8	11±1,1	14±0,8	18±0,7
D	12±0,02	23±2	31±4	38±6
V	0,05±0,02	0,25±0,05	0,52±0,11	0,96±0,26
$\Delta V/\Delta A$	0,0025±0,001	0,0047±0,001	0,007±0,002	0,01±0,004

Uśredniona dynamika wzrostu strzał drzew modelowych obu gatunków potwierdza powolne tempo wzrostu, zwłaszcza w przypadku okresu, gdy wiek drzew przekracza 100 lat. Bieżący roczny przyrost wysokości wynosił wówczas poniżej 10 cm i był o 30–50% mniejszy od wartości średniego przyrostu, zaś bieżący roczny przyrost pierśnicy wynosi 2 mm, czyli jest on również znacznie poniżej przyrostu średniego (Ryc. 3 i 4). W latach 1817–1917, kiedy analizowa-

ne drzewa były stosunkowo młode, odnotowano maksima przyrostu wysokości świerka i limby. Dla świerka był to rok 1852 oraz lata 1882–1897, a dla limby lata 1847–1872.

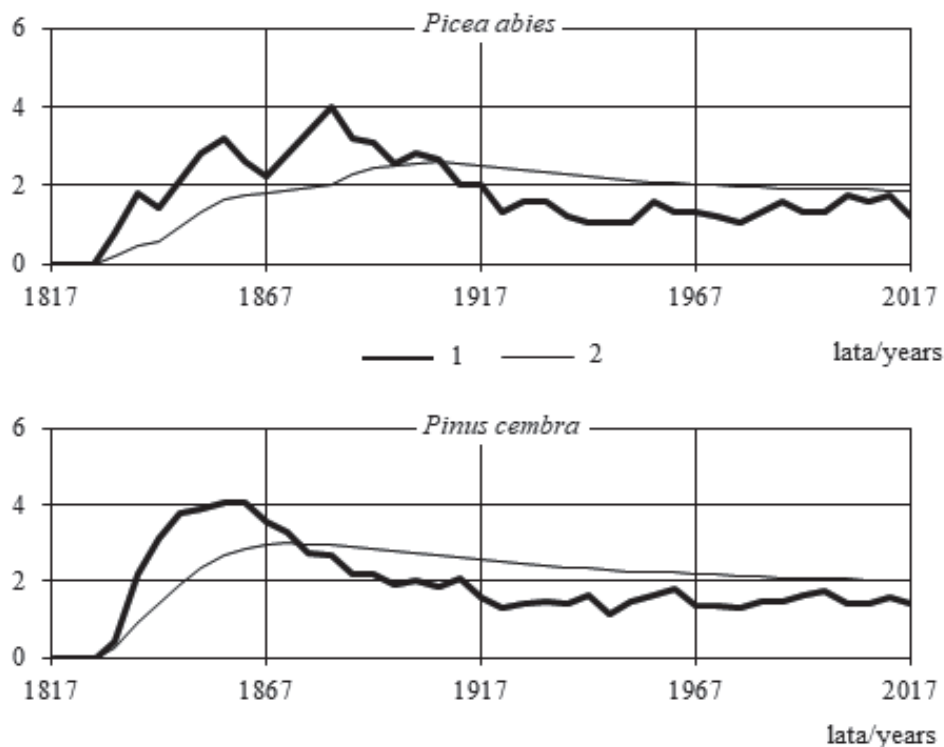


Ryc. 3. Uśredniona dynamika wzrostu wysokości drzew [m/rok]: 1 – przyrost bieżący; 2 – przyrost średni.

Fig. 3. Generalized growth rate of height of model trees [m/year]: 1 – current increment; 2 – average increase.

Podobne tendencje wykazywał bieżący przyrost pierśnicy. W przypadku świerka maksimum przyrostu odnotowano w 1857 i 1882 roku, zaś w przypadku limby w okresie 1847–1862 (Ryc. 4). W młodszy wieku (do 80 lat), zarówno w przypadku limby jak i świerka, wartości bieżącego przyrostu grubości były znacznie większe od wartości średnich. Ciekawą, nietypową tendencję dynamiki przyrostu zauważono u obu gatunków w starszym wieku, kiedy po znacznym obniżeniu przyrostów w okresie następnych kilkudziesięciu lat, aż do około 1960 roku, odnotowano zmniejszenie różnicy pomiędzy wartościami przyrostu bieżącego i średniego; które trwało aż do 2017 roku (Ryc. 4).

Przyrosty bieżące miąższości strzał drzew modelowych obu gatunków wykazywały tendencję wzrastającą, osiągając 0,01 m³/rok w wieku 200 lat, czyli prawie

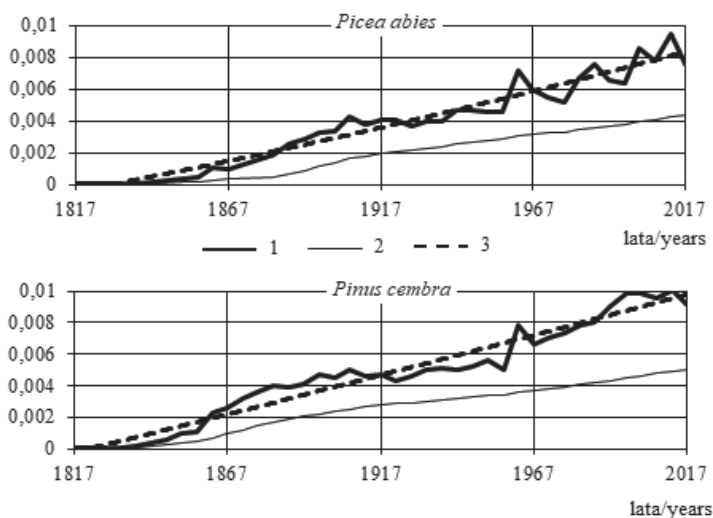


Ryc. 4. Uśredniona dynamika przyrostu grubości piersznicy [mm/rok]: 1 – przyrost bieżący; 2 – przyrost średni.

Fig. 4. Generalized dynamic of diameter at breast height of model trees [mm/year]: 1 – current increment; 2 – average increase.

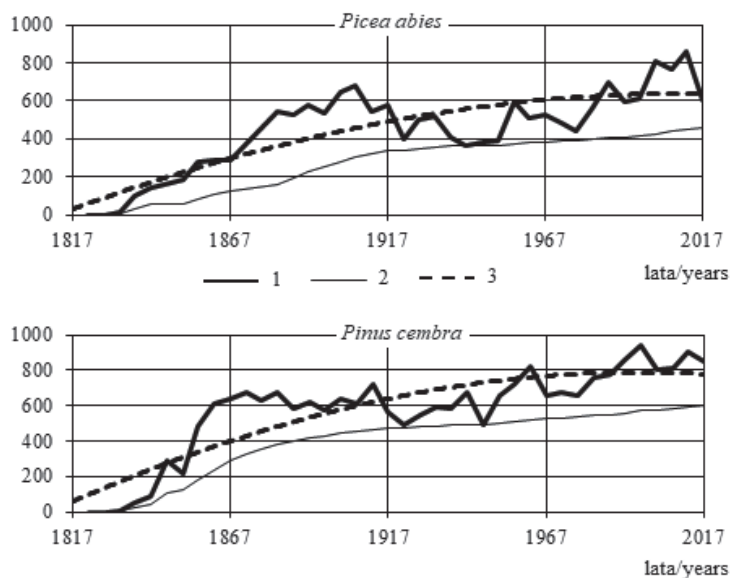
dwukrotnie więcej aniżeli wartości przyrostu średniego (Ryc. 5). Stosunkowo młode świerki wykazują maksymalne przyrosty miąższości powyżej linii trendu – w wieku 70–100 lat, zaś limby w wieku 45–100 lat. Od 1920 do 1960 roku następuje wyraźne obniżenie przyrostu miąższości poniżej linii trendu w przypadku świerków. Podobną tendencję zauważono również u limb od roku 1917. Od roku 1962 analiza wykazała stopniowy wzrost przyrostu, z kulminacją przekraczającą linie trendu w latach 1997–2012.

Podobne zjawiska stwierdzono analizując średni przyrost pola powierzchni piersznicowego przekroju (Ryc. 6). Na podstawie wykresów zmiany przyrostu bieżącego widać, że drzewa obu gatunków miały dwa okresy maksymalnego przyrostu w stosunku do linii trendu, w latach 1855–1915 oraz 1997–2012. W okresie 1920–1985 zaznacza się wyraźna depresja bieżącego pola powierzchni piersznicowego przekroju.



Ryc. 5. Uśredniona dynamika przyrostu miąższości drzew modelowych [m^3/rok]: 1 – przyrost bieżący; 2 – przyrost średni; 3 – linia trendu.

Fig. 5. Generalized dynamic of the increase of volume of model trees [m^3/year]: 1 – current increment; 2 – average increase; 3 – trend line.



Ryc. 6. Uśredniona dynamika przyrostu pola powierzchni pierśnicowego przekroju [cm^2/rok]. Objaśnienia jak na ryc. 5.

Fig. 6. Generalized dynamics of the increase of the surface of cross-section at breasts height of the of model trees [cm^2/year]. Explanations like in fig. 5.

Dyskusja

Przetawione wyniki analizy dendrometrycznej opisanej grupy drzew są zbliżone do wyników podobnych badań prowadzonych w Gorganach (Smagłuk 1972; Chernevyy i in. 2011; Tretiak, Czernevyy 2013). W porównaniu z sosną syberyjską (*Pinus sibirica* Du Tour), która rośnie w górach Altaju wykazując V klasę bonitacji (Shvidenko i in. 2008), *Pinus cembra* w Gorganach w wieku 200 lat przy tej samej wysokości strzał jest nieco grubsza (pierśnica – 38 cm u limby, a 32 cm u sosny syberyjskiej). Również tempo wzrostu i przyrostu wysokości badanych drzew w wieku 30–50 lat i 100–150 lat wykazało wartości podobne do krzywej bonitacji «15» (w wieku bazowym 100 lat) świerka dla siedlisk górskich (Socha 2011). W wieku 25 lat średni przyrost wysokości u limb z Gorganów sięgał 11 cm, a ich wysokość około 2,8 m. Takie tempo wzrostu było znacznie niższe niż u drzew, tego gatunku rosnących w Alpach na wysokości 300, a nawet 500 metrów wyżej. W wieku 25 lat drzewa rosnące na wysokości 1730 m n.p.m. miały w Alpach średnią wysokość około 5 m, podczas gdy rosnące na 2000 m n.p.m., miały zaledwie 1,5 m (Kronfuss, Havranek 1999). Z kolei w wieku 28 lat średnia wysokość limb na wysokości 1900 m n.p.m. wyniosła 3,5 m (Li, Yang 2004). Można więc wnioskować, że istotne dla wzrostu limb warunki klimatyczne w Gorganach na wysokości 1430 m n.p.m. są zbliżone do tych, które występują w Alpach na wysokości 1900 m n.p.m.

Przyrosty roczne pierśnic u świerków i limb rosnących w Gorganach, w wieku do 100 lat sięgały 2–4 mm, natomiast w wieku późniejszym w granicach 1,2–1,8 mm (Ryc. 4). Świadczy to o bardzo niskim potencjale produkcyjnym siedlisk w Gorganach w pobliżu górnej granicy lasu, gdzie charakterystyczny jest chłodny klimat oraz płytkie i kwaśne gleby górskie na podłożu rumowisk kamienistych (*Cambic Leptosols*). Podobne wyniki były uzyskane w Alpach francuskich (Oberhuber 1997; Oberhuber 2004; Rolland i in. 1998) dla limb w wieku powyżej 200 lat, które rosły na wysokości 2040–2180 m n.p.m. Wartości przyrostu rocznego grubości pierśnic w wieku 40–80 lat były tam na poziomie 2–3,2 mm, zaś w wieku 150–220 lat – tylko 0,4–1,2 mm.

Przedstawione wyniki badań dendrometrycznych mogą być przydatne do badań dendroklimatologicznych. W ciągu ostatnich 100 lat życia starych świerków i jodeł, które rosły w pobliżu górnej granicy lasu w Gorganach, w warunkach okresów chłodnych, przyrosty bieżące grubości pierśnicy były minimalne i wynosiły około 1,0–1,3 mm/rok, a w okresach cieplejszych sięgały maksymalnie 1,6–2,8 mm/rok (Ryc. 4).

W stosunku do publikowanych wyników innych autorów nasze badania wykazały dwa okresy maksymalnego przyrostu miąższości w stosunku do linii trendu w latach 1855–1915 oraz 1997–2012. Stwierdzono również wyraźne obniżenie przyrostu miąższości poniżej linii trendu w okresie 1920–1980, z krót-

ką przerwą około 1960 roku. Takie wyniki można wiązać z notowanymi w tym okresie zmianami parametrów klimatycznych. Według danych meteorologicznych w okresie 1900–1980 stwierdzono tendencje obniżenia globalnych średnich 10-letnich temperatur powietrza (Hansen i in. 2010) oraz największe obniżenie wartości indeksu termicznego dla sezonów letnich na obszarze Polski w okresie 1910–1930 (Limanówka i in. 2017).

Podobne zmiany temperatur letnich (VI–VIII) notowano w Tatrach na Hali Gąsienicowej (1520 m n.p.m.) (Przybylak 2006). W szczególności autor ten zwraca uwagę na ochłodzenie w latach 1900–1940, zaś ocieplenie około 1900 roku i w okresie 1940–1960.

Naszym zdaniem zmiany klimatyczne najbardziej czytelnie sygnalizuje dynamika bieżącego przyrostu pola powierzchni pierśnicowego przekroju, który w okresach chłodniejszego klimatu spadał o 10–20% poniżej linii trendu, zaś w okresach cieplejszych przewyższał tę krzywą o 15–60% (Ryc. 6).

Wnioski

- Dynamika przyrostów wysokości i pierśnicy świerków i limb, rosnących w pobliżu górnej granicy lasu w Gorganach, wykazała maksymalne wartości w wieku około 30–80 lat i minimalne w wieku ponad 100 lat.
- Przyrost miąższości miał wzrastającą tendencję, z maksymalnymi wartościami w stosunku do linii trendu w okresach 1867–1917 oraz 1997–2012. W latach 1920–1980 zauważono długotrwałe obniżenie przyrostu, z krótką przerwą około 1960 roku.
- W porównaniu ze świerkami limby cechowały się mniejszym średnim tempem wzrostu wysokości, zaś większymi przyrostami pierśnic oraz miąższości pni.
- Wyniki analizy przyrostu grubości starych drzew mogą służyć jako model dla badań porównawczych, monitoringowych oraz rekonstrukcji zmian klimatycznych.

Literatura

- Bojchuk I.I., Tretjak P.R. 2018. Sosna kedrova (*Pinus cembra* L.) u lisah verhiv'â riki Limnici (Ukraïns'ki Karpati). Problems of mountain ecosystems conservation and sustainable use of biological resources in the Carpathians. Proceedings of the International scientific Conference dedicated to the 50th anniversary of the establishment of the Carpathian Biosphere Reserve. Ukraine, Rakhiv, October 22–25, 2018. Ivano-Frankivsk, p. 49–54.
- Bruchwald A. 1999. Dendrometria. Wyd. SGGW, Warszawa, ss. 261.

- Carmean W.H., Hahn J.T., Jacobs R.D. 1989. Site index curves for forest tree species in the eastern United States. General Technical Report NC-128. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 153 p. https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nrs113.pdf
- Caudullo G., de Rigo D. 2016. *Pinus cembra* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. Chapter March 2016. European Atlas of Forest Tree Species. Edit. San-Miguel-Ayaz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A., Publisher: European Commission: 120–121. DOI 10.2788/4251.
- Chernevyy Ju.I., Tretjak P.R., Savchyn A.I. 2011. Osoblivosti rostu derev sosni kedrovoi (*Pinus cembra*) u verhiv'i basejnu riki Limnici u Karpatah. Naukovij visnik NLTU Ukraïni: zb. nauk.-tehn. pr.21.11: 54–61.
- Curyk Je. I. 2006. Taksaciâ dereva ta jogo častin. L'viv: NLTU Ukraïni, 328 p.
- Działuk A., Chybicki I., Gout R., Mączka T., Fleischer P., Konrad H., Curtu A.L., Sofletea N., Valadon A. 2014. No reduction in genetic diversity of Swiss stone pine (*Pinus cembra* L.) in Tatra Mountains despite high fragmentation and small population size. Cons. Gen. 15: 1433–1445, DOI 10.1007/s1059.
- Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. 2010. Global surface temperature change. RG4004. 29 p. https://pubs.giss.nasa.gov/docs/2010/2010_Hansen_ha00510u.pdf
- Holeksa J., Szwagrzyk J. 2012. 9420. Górski bór limbowo-świerkowy (*Pino cembrae-Piceetum*). W: W. Mróz (red.), Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny, Część III. GIOŚ, Warszawa, s.: 328–338.
- Kronfuss H., Havranek W.M. 1999. Effects of Elevation and Wind on the Growth of *Pinus cembra* L. in a Subalpine Afforestation. Phytion (Horn, Austria). Special issue: Eurosilva 39 (4): 99–106.
- Laar A., Akça A. 2007. Forest Mensuration. Springer. P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, 384 p.
- Li M.-H., Yang J. 2004. Effects of microsite on growth of *Pinus cembra* in the subalpine zone of the Austrian Alps. Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences 61 (4): 319–325. DOI 10.1051/forest:2004025
- Limanówka D., Cebulak E., Pyrc R., Struzik P. 2017. Klimat Europy w ostatnim tysiącleciu – MILLENNIUM <http://www.imgw.pl/wp-content/uploads/2017/03/Projekt-MILLENNIUM-art.-przepl%C4%85dowy.pdf>
- Oberhuber W. 2004. Influence of climate on radial growth of *Pinus cembra* within the alpine timberline ecotone. Tree Physiology 24: 291–301.
- Oberhuber W., Pagitz K., Nicolussi K. 1997. Subalpine tree growth on serpentine soil: a dendroecological analysis. Plant Ecology 130: 213–221. DOI: 10.1023/A:1009740106732
- Przybylak R. 2006. Zmiany klimatu Polski w ostatnich stuleciach. W: M. Gutry-Korycka, A. Kędziora, L. Starkel i L. Ryszkowski (red.), Długookresowe przemiany krajobrazu Polski w wyniku zmian klimatu i użytkowania Ziemi. Komitet Narodowy IGBP do spraw Międzynarodowego Programu „Zmiany Geosfery i Biosfery (IGBP-Global Change)” PAN i Zakład Badania Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, s.: 29–47.
- Rolland C., Petitcolas V., Michalet R. 1998. Changes in radial tree growth for *Picea abies*, *Larix decidua*, *Pinus cembra* and *Pinus uncinata* near the alpine timberline since 1750. Trees. 13: 40. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/PL00009736>

- Shvidenko A.Z., Shchepashhenko D.G., Nil'sson S. Buluj Ju.I. 2008. Tablicy i modeli hoda rosta i produktivnosti nasaždenij osnovnyh lesoobrazuŭsih porod Severnoj Evrazii (normativno-spravočnye materialy. Second edition, supplemented. Moscow, 886 p.
- Smaglŭk K.K. 1972. Aborigenni hvojni lisoutvorŭvači. Užgorod, vidavnictvo "Karpati", 112 s.
- Socha J. 2011. Site index curves for Norway spruce on mountain habitats (Krzywe bonitacyjne świerka pospolitego na siedliskach górskich). Sylwan 155: 816–826.
- Stojko S.M., Tretiak P.R., Bojchuk I.I. 1999. Sosna kedrova (*Pinus cembra* L.) na verhnij meži lisu v Gorganah: horologiâ, ekologiâ, fenologiâ. Doslidžennâ, očorona ta zba-gaçennâ bioriznomanittâ. Nauk. visnik UkrDLTU: 9.9: 173–179.
- Środoń A. 1936. Rozmieszczenie limby w polskich Karpatach i jej ochrona. Ochrona Przyrody 16: 22–42.
- Tasênkevič L.O., Mel'nyk V.I., Sirenko O.G. 2009. Sosna kedrova (sosna kedrova êvropejs'ka) *Pinus cembra* L. Červona kniga Ukraïni. Roslinnij svit. Chervona kny-ga Ukrai'ny. Roslynnyj svit. Edit. Diduh Ja. P. Publisher: Globalkonsaltyng, Kiyv, Ukraine: 45.
- Tretyak P., Chervenny Yu. 2018. The growth of trees of the Carpathian Forests (in the basin of the Dniester River). Lviv. Publishing House of Lviv Polytechnic National University. 202 p. Doi: 10.23939/book.growth.2018
- Tretiak P., Chervenny J. 2013. Przyrost drzew starszego wieku w lasach karpackiej części zlewni Dniestru. Roczniki Bieszczadzkie 21: 184–200.
- Ulber M., Gugerli F., Bozic G. 2004. EUFORGEN. Technical Guidelines for genetic conservation and use for Swiss stone pine (*Pinus cembra*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 p.
- Zięba A., Róžański W., Bukowski M., Ciesielska B., Szwagrzyk J. 2020. Distribution and habitat conditions of *Pinus cembra* forests in the Tatra Mountains. Dendrobiology (w druku).

Summary

A full dendrometric analysis of the growth rate of *Pinus cembra* and *Picea abies* old trees was performed. They grew together in one stand near the upper timberline in the Gorgany range at an altitude of about 1430 m a.s.l. In winter of 2017, this stand was overthrown by the wind. Thanks to this, it was possible to conduct research

The methodological basis of these studies was to determine the average annual increment (current and average) of 10 model trees (*Picea abies* – 3 and *Pinus cembra* – 7), growing in moist, acidic, shallow, poor mountain soils on a stony substrate (*Cambic Leptosols*) in a cool and humid mountain climate. The age of the examined trees was 150–209 years. In particular, the average maximum dendrometric indices were: *Picea abies* – $A = 183 \pm 30$ years, $H = 19 \pm 2$ m, $DBH = 32 \pm 7$ cm, $V = 0.74 \pm 0.37$ m³; *Pinus cembra* – $A = 192 \pm 7$ years, $H = 18 \pm 0.7$ m, $DBH = 38 \pm 6$ cm, $V = 0.96 \pm 0.26$ m³.

The studies used generally accepted dendrometric methods for the analysis of the growth of tree trunks taking into account the dynamics of changes of height, diameter at breast height, and volume. Crosscut sections of model trees were cut at a height from the ground level: 0, 1, 1.3, 2 m and next every two meters.

The dynamics of the current increase of height and thickness at breast height of the *Picea abies* and *Pinus cembra* trees showed typical tendencies of value changes: maximum values at the age of about 30–80 years: $\Delta H \approx 0,2$ m/year, $\Delta DBH \approx 4$ mm/year, minimum values over the age of 100 years: $\Delta H \approx 0.06$ – 0.08 m/year, $\Delta DBH \approx 1.1$ – 1.3 mm/year.

The increase of thickness of trunks at breast height had a proportionally increasing trend with maximum values in relation to the trend line in the years 1867–1917 and 1997–2012. Also, in the years 1920–1980, a decrease in growth was noted with a short break around 1960. In general, the growth rate of tree height of the *Picea abies* was slightly faster than the *Pinus cembra*, and the increase in the thickness of breast height and volume of the trunks was inversely lower. Maximum values ($\Delta V/\Delta A \approx 0.008$ – 0.01 m³/year) appeared at the maximal age of trees, about 180–200 years.

The research has shown two maxima of volume increment in relation to trend line in the years 1855–1915 and 1997–2012. There was also a clear reduction in volume increments below the trend line in 1920–1980 with a short break around 1960.

Such trends in the value change of the thickness of trunks at breast height and the volume of old trees can serve as a model for comparative surveys and regional paleoclimatic reconstructions.