

CEZARY BEKER, MIECZYŚLAW TURSKI, KATARZYNA KAŻMIERCZAK, TOMASZ NAJGRAKOWSKI

## Wielkość i wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)\*

Size and efficiency of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) assimilation apparatus

### ABSTRACT

Beker C., Turski M., Kaźmierczak K., Najgrakowski T. 2020. Wielkość i wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Sylwan 164 (1): 3-9. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019117>.

The aim of the study is to analyse the size and efficiency of assimilation apparatus of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using the site index model for unthinned pine stands (Model Pinus). The size of the assimilation apparatus was regarded in terms of mass of the twigs covered with needles ( $U_{gc}$ ) and mass of needles ( $I_c$ ). It reaches maximum values at the age of 20-25 years, then dynamically decreases to the age of 50 years, stabilizes between 50 and 80 years and from the age of 85 to 120 years again shows a mild increasing trend. The maximum mass of twigs covered with needles is from 40 (BON34) to 20 (BON26) t/ha, while mass of needles – from 25 (BON34) to 13 (BON26) t/ha. The minimum weight is from 18 (BON34) to 16 (BON26) t/ha and from 13 (BON34) to 11 (BON26) t/ha, respectively. The efficiency of the assimilation apparatus determined as the dependence of the current volume increment on in the dependence on mass of twigs covered with needles ( $W_{U_{gc}}$ ) or mass of needles ( $W_{I_c}$ ) is dynamically increasing and at the age of 45 years it reaches the maximum and then shows a downward trend to the age of 120 years. At the culminating point of these features, they are similar for all site indices and range from 0.83 to 0.88 m<sup>3</sup>/t ( $W_{U_{gc}}$ ) and from 1.23 to 1.31 m<sup>3</sup>/t ( $W_{I_c}$ ).

### KEY WORDS

mass of twigs covered with needles, mass of needles, efficiency of assimilation apparatus

### ADDRESSES

Cezary Beker – e-mail: [bekerc@up.poznan.pl](mailto:bekerc@up.poznan.pl)

Mieczysław Turski, Katarzyna Kaźmierczak, Tomasz Najgrakowski

Katedra Urządzania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 71c, 60-625 Poznań

## Wstęp

Przyrost miąższości drzew zależy od wielkości i wydajności aparatu asymilacyjnego. Wielkość aparatu asymilacyjnego drzew może być charakteryzowana za pomocą różnorodnych wskaźników: od najprostszych cech wymiarowych korony (powierzchnia rzutu korony i jej objętość) do dokładniejszych cech ilościowych (masa ulistnionych gałązek, masa igieł, objętość ulistnionych gałązek i objętość igieł) [Borowski 1974].

Wielkość listowia i jego efektywność w procesie produkcji materii organicznej ma zasadniczy wpływ na przyrost cech wymiarowych, a w konsekwencji na przyrost miąższości drzew. Lemke

\*Pracę zrealizowano w części ze środków finansowych grantu NCN-N N309 038337.

[1974] stwierdził bardzo silną korelację pomiędzy masą ulistnionych gałązek i igieł a przyrostem miąższości strzały. Wniosek ten ma znaczenie dla podejmowania racjonalnych decyzji w gospodarce leśnej, a w szczególności w hodowli, urządzaniu i użytkowaniu lasu. Jest istotnym wskazaniem dla wykorzystania w praktyce takich metod postępowania, które poprzez utrzymywanie optymalnej struktury drzewostanu, z uwzględnieniem wydajności aparatu asymilacyjnego, pozwolą osiągnąć efekt ilościowy (maksymalny przyrost miąższości) i jakościowy (uzyskanie odpowiednich sortymentów).

Dotychczasowe badania aparatu asymilacyjnego drzewostanu dotyczyły przede wszystkim biomasy wyznaczanej na hektar w zależności od m.in. wieku, średniej wysokości, bonitacji siedliska i czynnika zadrzewienia. Inne składniki biomasy, takie jak liście i korzenie, były uwzględniane, kiedy modele doprecyzowano przez powiązanie ich z przeciętnymi cechami drzewostanu [Usoltsev 1988, 1995; Usoltsev, Hoffmann 1997]. Interesujące badania nad biomasą igieł sosny prowadzono w Finlandii [Vanninen i in. 1996; Mäkelä, Vanninen 1998; Helmisari i in. 2002; Lehtonen 2005; Muukkonen 2007].

W Polsce próbę oszacowania wielkości aparatu asymilacyjnego (miąższość ulistnionych gałązek) w drzewostanach sosnowych podjął Lemke [1973, 1975]. Kolejne jego prace [Lemke 1980, 1983] skutkowały powstaniem „Tablic do szacowania ciężaru igliwia i uigłonych gałązek sosny zwyczajnej” na typowych dla tego gatunku siedliskach. Ukoronowaniem wieloletnich badań na bogatym materiale empirycznym, 1808 drzew z 33 drzewostanów, było opracowanie „Tablic aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)” [Turski i in. 2008] przy wykorzystaniu równań regresji z zastosowaniem jako zmiennych prostych cech wymiarowych drzew (pierśnica i wysokość) i ich wieku. Socha i Wężyk [2007], na bazie badań w lasach Niepołomic, zaproponowali równania alometryczne do szacowania biomasy igliwia sosny zwyczajnej. Biomasą aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski zajmowali się Bronisz i in. [2008].

Wydajność aparatu asymilacyjnego jest powszechnie definiowana jako przyrost miąższości całego drzewa, pnia lub grubizny przypadający na jednostkę wielkości korony [Assmann 1966]. Ciekawe propozycje określania wydajności aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej zastosował Lemke [1968, 1974]. W pierwszym przypadku posługiwał się stosunkiem przyrostu miąższości strzały do miąższości ulistnionych gałązek (ta sama metodyka była stosowana przez Turskiego i in. [2015]), a w drugim stosunkiem przyrostu miąższości strzały do masy ulistnionych gałązek lub masy igieł.

Celem pracy jest analiza wielkości i wydajności aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) przy wykorzystaniu bonitacyjnego modelu wzrostu niepielęgowanych drzewostanów sosnowych.

## Materiał i metody

Materiał empiryczny stanowi 14 stałych powierzchni doświadczalnych Zakładu Dendrometrii i Produkcyjności Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Powierzchnie założono w latach 1990-1991 w litych, pochodzących z odnowienia sztucznego drzewostanach sosnowych, położonych na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina (52°34'N, 17°00'E). Obszar ten należy do III Wielkopolsko-Pomorskiej krainy przyrodniczo-leśnej, dzielnicy Niżu Wielkopolsko-Kujawskiego. Drzewostany wznoszą się na siedliskach boru świeżego, boru mieszanego świeżego i lasu mieszanego świeżego. Powierzchnie doświadczalne zostały wybrane w drzewostanach od II do V klasy wieku, dla każdej podklasy wyznaczono je na gruncie leśnym i porolnym. Od 1990 roku w drzewostanach nie prowadzono zabiegów pielęgnacyjnych, a jedynie cyklicznie usuwano drzewa martwe [Beker 2009]. W trakcie badań przeprowadzono cztery pełne taksacje

w odstępach pięcioletnich. W tym okresie wiek drzewostanów wynosił od 26 do 104 lat, bonitacja od BON26 do BON34, zagęszczenie od 393 do 2465 drzew, a zasobność od 160,5 do 529,1 m<sup>3</sup> [Beker, Andrzejewski 2013a, b].

Przy wykorzystaniu bonitacyjnego modelu wzrostu niepielęgowanych drzewostanów sosnowych (model Pinus) [Beker, Andrzejewski 2013a, b] wyznaczono:

– masę ulistnionych gałązek na hektar [Turski i in. 2008]:

$$Ugc = (0,67705 \cdot W^{-0,537} \cdot Dg^{3,192} \cdot H^{-1,384}) \cdot N \quad [1]$$

– masę igliwia na hektar [Turski i in. 2008]:

$$Ic = (0,29486 \cdot W^{-0,4179} \cdot Dg^{3,192} \cdot H^{-1,384}) \cdot N \quad [2]$$

– bieżący przyrost roczny miąższości grubizny na hektar:

$$ZVI_g = 26,102 - 0,2699 \cdot W + 0,001 \cdot W^2 \quad [3]$$

gdzie:

$W$  – wiek,

$Dg$  – przeciętna pierśnica,

$H$  – średnia wysokość,

$N$  – liczba drzew na hektar.

Następnie obliczono wydajność aparatu asymilacyjnego:

$$W_{Ugc} = ZvI_g / Ugc \quad [4]$$

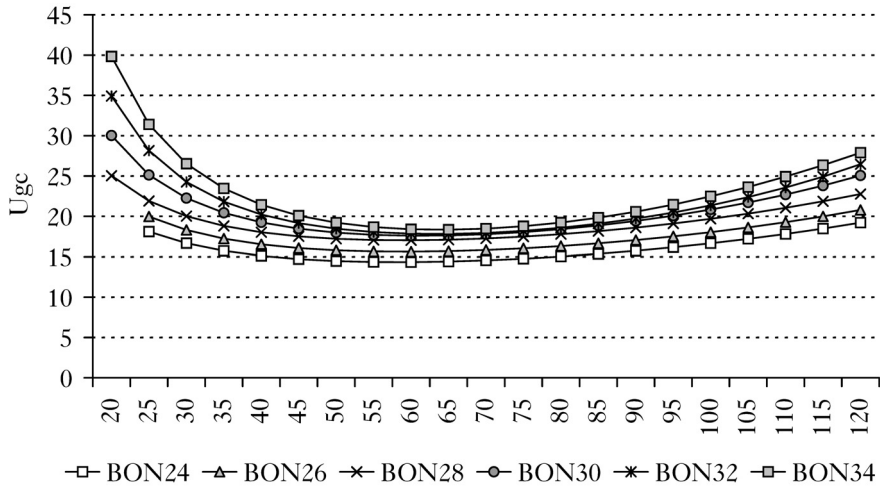
$$W_{Ic} = ZvI_g / Ic \quad [5]$$

## Wyniki

Wielkość aparatu asymilacyjnego w ujęciu masy ulistnionych gałązek, jak i masy igliwia osiąga maksymalną wartość w wieku 20-25 lat, następnie dynamicznie maleje do wieku 50 lat, w okresie od 50 do 80 lat stabilizuje się i od 85 do 120 lat ponownie wykazuje łagodny trend wzrostowy (ryc. 1-2). Dynamiczny spadek wielkości aparatu asymilacyjnego w okresie od 20 do 50 lat jest wywołany silną konkurencją osobniczą i w jej wyniku intensywnym wydzielaniem się najsłabszych w hierarchii socjalnej sosen w procesie samoregulacji zagęszczenia. Ubytek drzew nie jest rekompensowany przez powiększanie się koron pozostałych sosen, dysponujących większą przestrzenią wzrostu. W okresie od 50 do 80 lat proces wydzielania się drzew ulega spowolnieniu i jest rekompensowany zwiększaniem się koron sosen mających coraz większą przestrzeń wzrostu – w wyniku tych procesów zarówno masa ulistnionych gałązek, jak i igliwia utrzymuje się na stabilnym poziomie. Od wieku 85 lat proces ubywania drzew wyhamowuje, a korony drzew ze względu na dalsze powiększanie się przestrzeni wzrostu zdecydowanie zwiększają swoje wymiary, co powoduje łagodny trend wzrostowy wielkości aparatu asymilacyjnego.

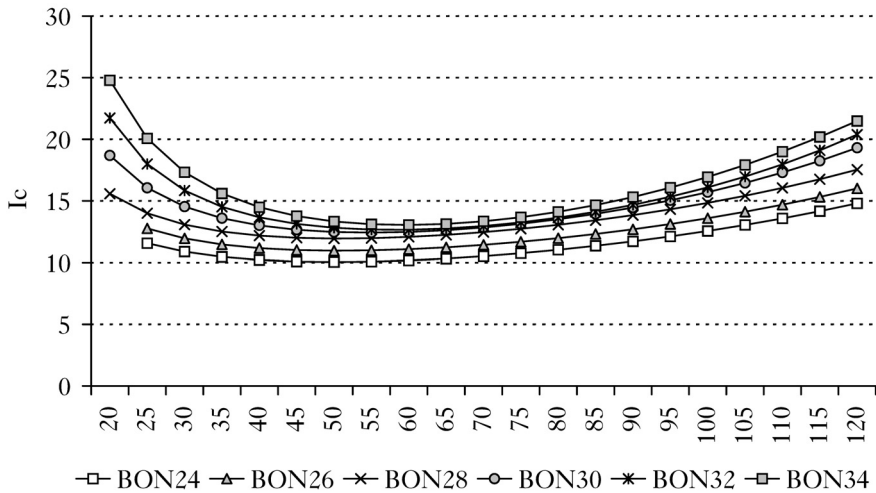
W okresie kulminacji masa ulistnionych gałązek przyjmuje wartości od 40 t/ha (BON34) do 20 t/ha (BON26), a masa igliwia od 25 t/ha (BON34) do 13 t/ha (BON26). W wieku minimum tych cech wartość ta wynosi odpowiednio od 18 t/ha (BON34) do 16 t/ha (BON26) oraz od 13 t/ha (BON34) do 11 t/ha (BON26). W wieku 120 lat analogicznie: od 28 t/ha (BON34) do 21 t/ha (BON26) oraz od 21 t/ha (BON34) do 16 t/ha (BON26) (ryc. 1-2).

Wydajność aparatu asymilacyjnego w zależności od masy ulistnionych gałązek ( $W_{Ugc}$ ), jak i masy igliwia ( $W_{Ic}$ ) dynamicznie wzrasta i w wieku 45 lat osiąga maksimum, a następnie wykazuje trend spadkowy do wieku 120 lat (ryc. 3-4). W pierwszej fazie większą wydajność wykazują drzewostany niższych bonitacji, a w drugiej fazie hierarchia zostaje odwrócona. Jest to spowodowa-



Ryc. 1.

Zmiana z wiekiem masy ulistnionych gałązek ( $U_{gc}$  [t/ha]) dla bonitacji określonych modelem Pinus  
Change over the time of mass of twigs covered with needles ( $U_{gc}$  [t/ha]) for site indices determined with Pinus model

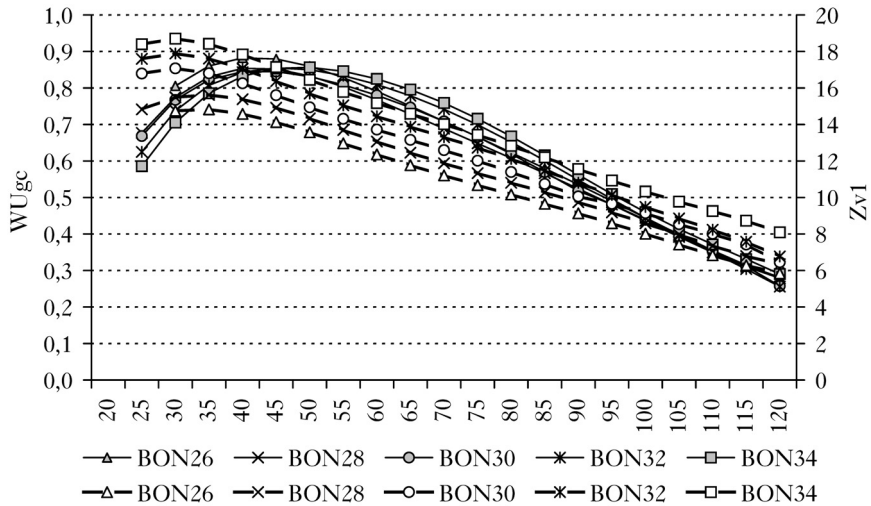


Ryc. 2.

Zmiana z wiekiem masy igieł ( $I_c$  [t/ha]) dla bonitacji określonych modelem Pinus  
Change over the time of mass of needles ( $I_c$  [t/ha]) for site indices determined with Pinus model

wane względnie niewielkimi różnicami w wielkości bieżącego przyrostu miąższowości grubizny (ryc. 3) na rzecz relatywnie dużych różnic w wielkości aparatu asymilacyjnego na korzyść wyższych bonitacji (ryc. 1-2) w pierwszym etapie wzrostu. W drugim etapie wzrostu amplitudy wielkości bieżącego przyrostu miąższowości grubizny są stabilne (ryc. 3), natomiast maleją różnice w wielkości aparatu asymilacyjnego (ryc. 1-2).

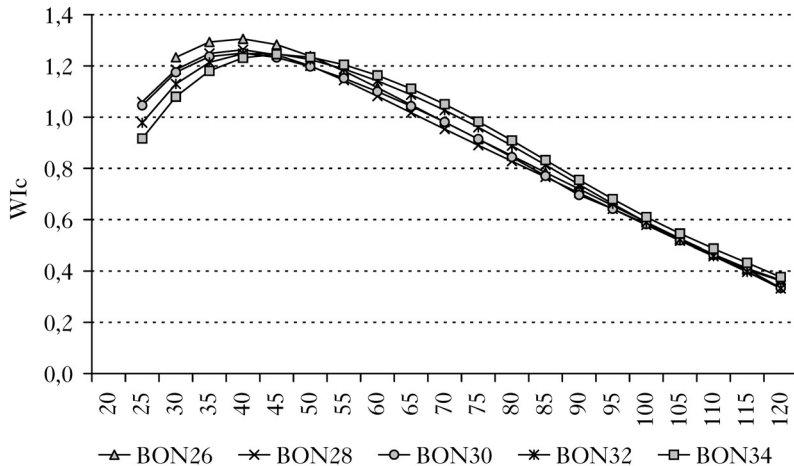
W wieku 30 lat wydajność aparatu asymilacyjnego w zależności od masy ulistnionych gałązek ( $W_{U_{gc}}$ ) przyjmuje wartości od 0,8056 (BON26) do 0,7052 m<sup>3</sup>/t (BON34), a od masy igliwia ( $W_{I_c}$ ) od 1,2336 (BON26) do 1,07993 m<sup>3</sup>/t (BON34). W wieku kulminacji tych cech są one zbli-



Ryc. 3.

Zmiana z wiekiem bieżącego przyrostu miąższości grubizny ( $Zv1$  [ $m^3/ha$ ]) i wydajności aparatu asymilacyjnego ( $WU_{gc}$  [ $m^3/t$ ]) dla bonitacji określonych modelem Pinus

Change over the time of current thickness increment ( $Zv1$  [ $m^3/ha$ ]) and efficiency of the assimilation apparatus ( $WU_{gc}$  [ $m^3/t$ ]) for site indices determined with Pinus model



Ryc. 4.

Zmiana z wiekiem wydajności aparatu asymilacyjnego ( $Wlc$  [ $m^3/t$ ]) dla bonitacji określonych modelem Pinus  
Change over the time of efficiency of the assimilation apparatus ( $Wlc$  [ $m^3/t$ ]) for site indices determined with Pinus model

żone dla wszystkich bonitacji i wynoszą od 0,83 do 0,88  $m^3/t$  ( $W_{U_{gc}}$ ) i od 1,23 do 1,31  $m^3/t$  ( $W_{lc}$ ). W wieku 120 lat hierarchia wielkości jest nierówna: od 0,2901 (BON34) do 0,2559  $m^3/t$  ( $W_{U_{gc}}$ ) (BON32) oraz od 0,3766 (BON34) do 0,3323  $m^3/t$  ( $W_{lc}$ ) (BON32).

## Dyskusja

Wielkość aparatu asymilacyjnego według modelu Pinus, w ujęciu masy ulistnionych gałązek, wynosi od 40 t/ha (20 lat) do 28 t/ha (120 lat), a masy igliwia od 25 t/ha (20 lat) do 21,5 t/ha (120 lat)

dla BON34 oraz analogicznie od 20 t/ha (25 lat) do 21 t/ha (120 lat) i od 13 t/ha (25 lat) do 16 t/ha (120 lat) dla BON26. Lemke [1973] w drzewostanach sosnowych w wieku od 23 do 63 lat rosnących na terenie Nadleśnictwa Doświadczalnego Zielonka określił dla bonitacji według Schwappacha masę ulistnionych gałązek od 26 t/ha (23 lata) do 23 t/ha (43 lata), a ciężar igliwia od 16 t/ha (23 lata) do 15 t/ha (43 lata) dla Ia – wskaźnik zadrzewienia (wz) 0,9 – oraz odpowiednio od 22 t/ha (53 lata) do 15 t/ha (63 lata), a masę igliwia od 15 t/ha (53 lata) do 10 t/ha (63 lata) dla I – wz: 1,1 (53 lata), 0,9 (63 lata). Dla porównania Beker [2009] na terenie tego samego obiektu badawczego podał masę igliwia od 20,5 t/ha (31 lat) do 18 t/ha (44 lata) dla BON34 – wz: 1,1 (31 lat), 1,2 (44 lata) i od 14 t/ha (56 lat) (BON28 – wz 1,3) do 13 t/ha (63 lata) (BON30 – wz 1,1). Przy porównywalnych bonitacjach różnice w wielkości aparatu asymilacyjnego wynikają w głównej mierze ze zróżnicowania wskaźników zadrzewienia i wieku.

Wydajność aparatu asymilacyjnego według modelu Pinus w zależności od masy igliwia ( $W_{Ic}$ ) wynosi w wieku 30 lat od 1,2336 (BON26) do 1,07993 m<sup>3</sup>/t (BON34), w wieku 45 lat dla bonitacji od BON26 do BON34 zawiera się w przedziale od 1,23 do 1,31 m<sup>3</sup>/t, a w wieku 120 lat hierarchia wielkości w kontekście bonitacji jest nieregularna: od 0,3766 (BON34) do 0,3323 m<sup>3</sup>/t (BON32). Lemke [1974] w drzewostanach sosnowych rosnących na terenie Nadleśnictwa Doświadczalnego Zielonka określił wydajność aparatu asymilacyjnego – przyrost miąższości strzały w zależności od masy igliwia, dla bonitacji według Schwappacha, Ia: 0,964 m<sup>3</sup>/t (23 lata), 0,909 m<sup>3</sup>/t (33 lata), 0,860 m<sup>3</sup>/t (43 lata); I: 0,732 m<sup>3</sup>/t (53 lata), 0,705 m<sup>3</sup>/t (63 lata). Na terenie tego samego obiektu badawczego Beker [2009] wyznaczył wydajność aparatu asymilacyjnego – przyrost miąższości grubizny w zależności od masy igliwia, dla bonitacji BON34: 0,911 m<sup>3</sup>/t (35 lat), 1,186 m<sup>3</sup>/t (44 lata); BON28: 0,877 m<sup>3</sup>/t (56 lat); BON30: 1,157 m<sup>3</sup>/t (63 lata).

## Wnioski

- ✦ Wielkość aparatu asymilacyjnego w ujęciu masy ulistnionych gałązek, jak i masy igliwia w niepielęgnowanych drzewostanach sosnowych osiąga maksymalną wartość w wieku 20-25 lat, następnie dynamicznie maleje do wieku 50 lat, w okresie od 50 do 80 lat stabilizuje się i od wieku 85 do 120 lat ponownie wykazuje łagodny trend wzrostowy.
- ✦ Maksymalna masa ulistnionych gałązek stanowi od 40 (BON34) do 20 (BON26) t/ha, a masa igliwia od 25 (BON34) do 13 (BON26) t/ha. Minimalny ciężar wynosi odpowiednio od 18 (BON34) do 16 (BON26) t/ha oraz od 13 (BON34) do 11 (BON26) t/ha.
- ✦ Wydajność aparatu asymilacyjnego wyznaczona jako zależność bieżącego przyrostu miąższości grubizny od masy ulistnionych gałązek ( $W_{Ugc}$ ), jak i masy igliwia ( $W_{Ic}$ ) dynamicznie wzrasta i w wieku 45 lat osiąga maksimum, a następnie wykazuje trend spadkowy do wieku 120 lat.
- ✦ W wieku kulminacji tych cech ich wartości są zbliżone dla wszystkich bonitacji i wynoszą od 0,83 do 0,88 m<sup>3</sup>/t ( $W_{Ugc}$ ) i od 1,23 do 1,31 m<sup>3</sup>/t ( $W_{Ic}$ ).

## Literatura

- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL, Warszawa.
- Beker C. 2009. Stan zdrowotny, struktura i przyrost niepielęgnowanych drzewostanów sosnowych. Rozprawy Naukowe 400. Wyd. UP, Poznań.
- Beker C., Andrzejewski T. 2013a. Model wzrostu niepielęgnowanych drzewostanów sosnowych. I. Lokalny model referencyjny Pinus Zielonka. Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria 12 (3): 5-13.
- Beker C., Andrzejewski T. 2013b. Model wzrostu niepielęgnowanych drzewostanów sosnowych. II. Lokalny model bonitacyjny Pinus. Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria 12 (3): 15-23.
- Borowski M. 1974. Przyrost drzew i drzewostanów. PWRiL, Warszawa.

- Bronisz K., Bronisz A., Zasada M., Bijak S., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. 2009. Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski. Sylwan 153 (11): 758-767. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2009033>.
- Helmisari H. S., Makkonen K., Kellomaki S., Valtonen E., Malkonen E. 2002. Below-and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. Forest Ecol. Manage. 146: 317-326.
- Lehtonen A. 2005. Estimating foliage biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) plots. Tree Physiol. 25: 803-811.
- Lemke J. 1968. Związek pomiędzy wielkością korony a przyrostem drzew w drzewostanach sosnowych. Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 25: 1-48.
- Lemke J. 1973. Charakterystyka ilościowa igliwia i ulistnionych gałązek w młodszych drzewostanach sosnowych. Folia Forestalia Polonica 21: 173-197.
- Lemke J. 1974. Ciężar igliwia, ulistnionych gałązek a przyrost miąższości strzały w drzewostanach sosnowych. Sylwan 118 (5): 10-20.
- Lemke J. 1975. Szacowanie ciężaru świeżego igliwia sosny zwyczajnej. Sylwan 119 (6): 37-44.
- Lemke J. 1978. Charakterystyka ilościowa igliwia i ulistnionych gałązek w starszych drzewostanach sosnowych. Folia Forestalia Polonica 23: 53-66.
- Lemke J. 1980. Żyzność siedliska a wielkość niektórych cech aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej. PTPN 50: 51-55.
- Lemke J. 1983. Tabele do szacowania igliwia i uigłonych gałązek sosny zwyczajnej. Sylwan 127 (2): 21-30.
- Mäkelä A., Vanninen P. 1998. Impact size and competition on tree form and distribution of aboveground biomass in Scots Pine. Can. J. Forest. Res. 28: 216-227.
- Muukkonen P. 2007. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. Eur. J. Forest Res. 126: 157-166.
- Socha J., Wężyk P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. Eur. J. Forest Res. 126: 263-270.
- Turski M., Beker C., Jaszczyk R. 2015. Wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej różnych klas wieku. Sylwan 159 (1): 36-44. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2014124>.
- Turski M., Beker C., Kaźmierczak K., Najgrakowski T. 2008. Allometric equations for estimating the mass and volume of fresh assimilation apparatus of standing scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. Forest Ecol. Manage. 255: 2678-2687.
- Usoltsev V. A. 1988. Rost i Struktura Fitomassy Drevostoev. Novosibirsk, Nauka.
- Usoltsev V. A. 1995. Mezhdunarodny lesnoi monitoring, globalnye ekologicheskie programmy i bazy dannykh o fitomasse lesov. Lesnoye Khozyaistvo 5: 33-35.
- Usoltsev V. A., Hoffmann C. W. 1997. A preliminary crown biomass table for even-aged *Picea abies* stands in Switzerland. Scand. J. Forest. Res. 12: 273-279.
- Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkelä A. 1996. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Trees 10: 231-238.