

MARCIN CZACHAROWSKI, STANISŁAW DROZDOWSKI

Zagospodarowanie drzewostanów sosnowych (*Pinus sylvestris* L.) w zmieniających się uwarunkowaniach środowiskowych i społecznych*

Management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands under changing environmental and social conditions

ABSTRACT



Czacharowski M., Drozdowski S. 2021. Zagospodarowanie drzewostanów sosnowych (*Pinus sylvestris* L.) w zmieniających się uwarunkowaniach środowiskowych i społecznych. Sylwan 165 (5): 355-370. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2021030>.

Recent changes in the natural and social environments require new solutions regarding the management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands, i.e. one of the key forest-forming and economically-important tree species in Europe. The long tradition combined with efforts to perfect the management by clear-cutting, there is still a search for alternative methods of managing in all European biogeographical regions, in which Scots pine plays a leading role. Regeneration and renewal over large areas is difficult to achieve (Mediterranean or boreal regions). And even in places where it remains possible, it can end up with large, even-aged stands of inevitably simplified structure, which prove highly, and perhaps increasingly, vulnerable to damage from both abiotic (frost or windthrow) and biotic (pathogenic fungi and insect pests) agents. These management methods also generate abrupt change in the forest landscape and, while this actually just represents advantage being taken of the natural capacity of pines to reoccupy extensive cleared areas (such as those following fires or gales), it frequently now proves unacceptable to the public. This is seen in particular in the areas around large cities or nature protection areas. The aim of this article is to review both traditional and alternative means of management of Scots pine stands within three largest biogeographical regions of Europe. While obviously relating to the environmental conditions holding sway in these different regions, silviculture in pine stands is based around a similar spectrum of applied methods that favour the emergence of single-, double- or multi-generation stands. In the boreal region, where the species finds suitable conditions for its growth, we search for effective methods to imitate small-scale natural disturbances, initiating the regeneration within gaps of differing sizes. In turn, in the continental region, research focuses on devising methods to make full use of natural regeneration, as well as seeking to limit the negative effects of clear-cutting in the forest landscape, e.g. by leaving seed or residual trees, and clumps of the old-growth. Here too, the alternatives to clear-cutting may lie in partial or full felling being confined to smaller areas; as well as in the gradual inclusion within the main stand of trees regenerating successfully beneath the tree canopy. Finally, in the Mediterranean region, where the main factor limiting regeneration is drought, various shelterwood-felling variants are applied to fully benefit from the shielding that the mother stand offers. All the regions witness more and more frequent restrictions

*Praca została częściowo sfinansowana ze środków DGLP w ramach projektu „Bezzębony sposób zagospodarowania leśnych gospodarstw węglowych” (umowa nr OR.271.3.16.2017), projektu H2020-MSCA-RISE-2017 CARE4C (Nr 778322) oraz środków finansowych na naukę (MNIŚW) w latach 2018-2021 przyznawanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego (nr W117/H2020/2018).

on the use of management means based on clear-cutting, with wider use of alternative silvicultural methods looking inevitable in the near future, in the context of both climate and social change. The need to compromise between the production-related and other functions of pine stands, and to devise generally-acceptable methods for their management, are now among the more-difficult challenges facing European forestry.

KEY WORDS

Scots pine, management, silviculture, renewal, climate change

ADDRESSES

Marcin Czacharowski – e-mail: marcin_czacharowski@sggw.edu.pl

Stanisław Drozdowski – e-mail: stanislaw_drozdowski@sggw.edu.pl

Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) jest jednym z głównych gatunków lasotwórczych w Europie i jednym z najbardziej rozpowszechnionych gatunków iglastych na świecie [Eckenwalder 2009]. Jest ona podstawowym składnikiem wielu cennych ekosystemów leśnych strefy umiarkowanej [Faliński 1986] i jednocześnie jednym z najważniejszych gatunków pod względem gospodarczym, co zawdzięcza szybkiemu wzrostowi i wysokiej jakości drewna. Tradycyjną metodą zagospodarowania drzewostanów sosnowych w Europie są zręby zupełne (o zróżnicowanej powierzchni i kształcie zależnym od uwarunkowań klimatycznych i siedliskowych), odnawiane naturalnie bądź sztucznie przez sadzenie lub siew. Często takie drzewostany są długo utrzymywane w silnym zwarciu, co zapewnia wysoką jakość techniczną drzew – charakteryzujących się dużym udziałem bezszczennej strzały i niewielkimi, równomiernymi przyrostami pierśnicy [Tomczak i in. 2009]. Utrzymywanie dużego zwarcia drzewostanów prowadzi do silnej konkurencji międzyosobniczej, a ponadto doprowadza do ich homogenizacji [Szymt, Ceitel 2011]. Drzewa rosnące w takich drzewostanach mogą być osłabione, a tym samym narażone na szkody: zarówno abiotyczne (np. uszkodzenia od okiści), jak i biotyczne (od szkodników owadzych i patogenów grzybowych) [Jagodziński, Oleksyn 2009]. W ostatnich latach pojawił się dodatkowy czynnik wpływający na stabilność drzewostanów sosnowych, a mianowicie częste anomalie pogodowe, które charakteryzują się większymi ekstremami niż te znane z dotychczasowych zapisów meteorologicznych [Schelhaas i in. 2003]. Większego znaczenia nabiera obecnie również filar społeczny leśnictwa. Społeczeństwa w wielu krajach europejskich coraz częściej domagają się wprowadzenia takich sposobów zagospodarowania lasu, które nie prowadzą do nagłych zmian krajobrazu leśnego. Dotyczy to w głównej mierze stosowania zrębów zupełnych w otulinach miast (tereny rekreacyjne), rezerwatów przyrody, parków narodowych czy w strefach chronionego krajobrazu [Koivula i in. 2020]. Społeczeństwo przywiązuje coraz większą wagę również do ochrony procesów naturalnych w leśnictwie [Puettmann i in. 2009]. Czynniki te powodują, że w leśnictwie europejskim poszukuje się alternatywnych metod zagospodarowania drzewostanów sosnowych, opartych na unikaniu hodowli drzewostanów o uproszczonej strukturze wiekowej i budowie. Coraz bardziej popularne stają się idee zagospodarowania lasu metodami bezzrębowymi (ang. Continuous Cover Forestry) i naśladowanie naturalnych procesów sukcesyjnych w zabiegach hodowlanych, które są fundamentem półnaturalnej hodowli lasu [Bernadzki 2000]. Zaniechanie gospodarki zrębowej oraz pełne wykorzystanie odnowień naturalnych w drzewostanach sosnowych było podstawą koncepcji lasu trwałego (niem. Dauerwald) opisaną przez Alfreda Möllera [1922]. Odchodzenie od stosowania rozległych zrębów

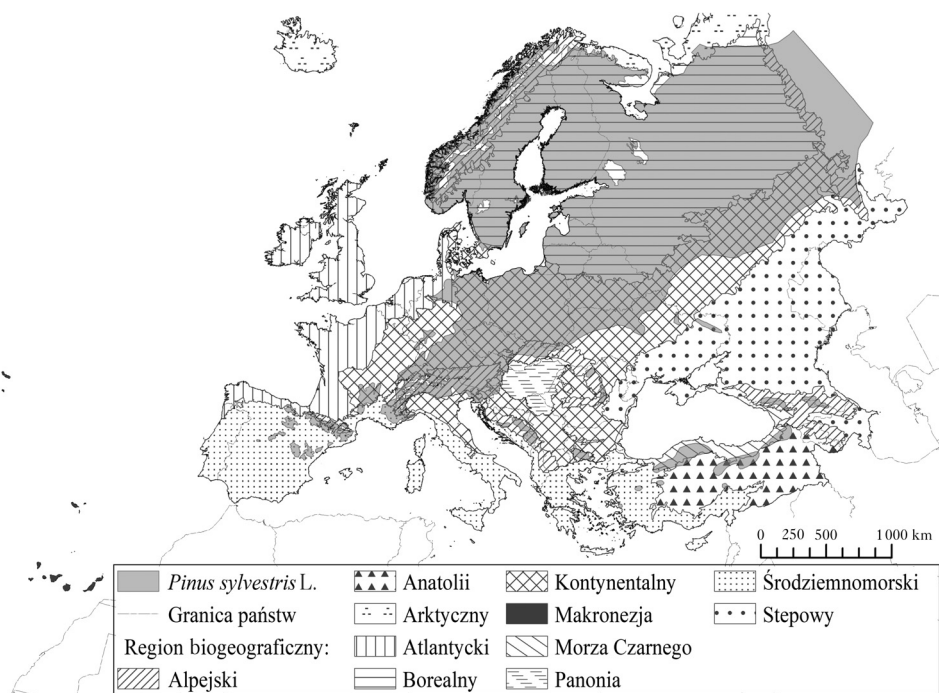
zupełnych i odnowienia sztucznego wynika również ze względów ekonomicznych, tj. ograniczenia kosztów odnowienia lasu poprzez wykorzystanie w większym zakresie naturalnych sił przyrody [Pukkala 2016]. Hodowla drzewostanów zróżnicowanych wiekowo i strukturalnie jest także krokiem w kierunku ograniczenia ryzyka wielkopowierzchniowych zaburzeń naturalnych w dłuższej perspektywie czasu [O'Hara, Ramage 2013], a zwiększanie zróżnicowania drzewostanów poprzez zabiegi hodowlane sprawia, że wzrasta również ich potencjał do pełnienia różnych funkcji [Schütz 2001; Laiho i in. 2011; Brzeziecki i in. 2013; O'Hara 2014]. Zainteresowanie drzewostanami sosnowymi o zróżnicowanej strukturze może być umotywowane także względami ekologicznymi w kontekście ochrony gatunkowej rzadkich gatunków porostów i roślin [Zaniewski i in. 2014; Tullus i in. 2018]. Z licznych badań wynika, że drzewostany sosnowe mogą charakteryzować się zróżnicowaną strukturą na siedliskach oligotroficznych [Lähde i in. 1991; Barzdajn 1996a, b; Andrzejczyk 2006; Szmyt, Tarasiuk 2018]. W Polsce warunki do powstania wielogeneracyjnych drzewostanów sosnowych istnieją na siedliskach boru świeżego z mszystą lub brusznicową pokrywą glebową [Andrzejczyk 2003]. W gradiencie geograficznym największe zainteresowanie alternatywnymi metodami hodowli sosny można zauważyć w regionie borealnym, gdzie z gospodarczego punktu widzenia jest ona gatunkiem strategicznym. Wyrazem tego są liczne publikacje dotyczące rozwoju, budowy i zróżnicowania drzewostanów sosnowych [Kuuluvainen 1994; Shorohova i in. 2009]. Znaczne perspektywy zastosowania bezzrębowego sposobu zagospodarowania sosny występują także w regionie kontynentalnym, gdzie głównymi czynnikami poszukiwania nowych metod stają się uwarunkowania klimatyczne (anomalia pogodowe) oraz społeczne. W regionie śródziemnomorskim częste zaburzenia (susze, ekstremalna temperatura) znacznie ograniczają rozwój odnowień naturalnych sosny, co powoduje wzrost zainteresowania alternatywnymi sposobami zagospodarowania lasów tego gatunku [Calama i in. 2017].

Powszechność występowania oraz znaczenie gospodarcze i przyrodnicze sosny zwyczajnej sprawiają, że znalezienie kompromisu między produkcyjnymi i pozaprodukcyjnymi funkcjami drzewostanów sosnowych jest jednym z trudniejszych wyzwań stojących przed leśnictwem europejskim w najbliższej przyszłości.

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie tradycyjnych i alternatywnych metod zagospodarowania w drzewostanach sosnowych na terenie naturalnego występowania sosny w Europie. Ze względu na różne uwarunkowania klimatyczne wpływające na wzrost drzewostanów sosnowych w obszarze ich naturalnego występowania zastosowano w niniejszej pracy podział na trzy główne regiony biogeograficzne: borealny, kontynentalny i śródziemnomorski.

Występowanie i charakterystyka sosny zwyczajnej

Sosna zwyczajna należy do gatunków o największym naturalnym obszarze występowania spośród wszystkich drzew iglastych [Eckenwalder 2009]. Jej obszar występowania zaczyna się tuż przy północnej granicy lasu (70°20'N) i obejmuje niemal cały Półwysep Skandynawski, a w kierunku południowym sięga obszarów śródziemnomorskich (37°N). Występowanie od zachodu zaczyna się na Półwyspie Iberyjskim (8°W), przechodząc przez obszar całej Euroazji, aż do wybrzeży Morza Ochockiego (141°E). Szeroki obszar naturalnego występowania sosny zwyczajnej (ryc.) świadczy o jej dużej zdolności przystosowawczej do różnorodnych warunków klimatycznych i glebowych [Galdina, Khazova 2019], co wpłynęło na znaczne zróżnicowanie genetyczne gatunku i powstanie wielu populacji sosny [Androsiuk, Urbaniak 2014]. W Europie najczęściej drzewostanów sosnowych występuje w regionie borealnym, następnie w kontynentalnym i śródziemnomorskim (ryc.; tab. 1). Łączna powierzchnia drzewostanów sosnowych występujących w obrębie naturalnego zasięgu gatunku na terenie Europy wynosi około 48 mln ha.



Ryc.

Naturalny zasięg występowania sosny zwyczajnej (www.euforgen.org/species/pinus-sylvestris) na tle regionów biogeograficznych Europejskiej Agencji Środowiska [Biogeographical... 2016]

Natural range of Scots pine against the biogeographical regions according to the European Environment Agency [Biogeographical... 2016]

Tabela 1.

Występowanie drzewostanów sosnowych w trzech największych regionach biogeograficznych Europy
Distribution of Scots pine stands in the three largest biogeographic regions in Europe

	Powierzchnia [mln ha]* Area	Obszar EU [%]	Kraj** Country
Borealny Boreal	30,6	18,8	Norwegia, Szwecja, Finlandia, Estonia, Łotwa, Litwa, Białoruś
Kontynentalny Continental	15,9	29,3	Dania, Niemcy, Polska, Francja, Rep. Czeska, Austria, Włochy
Śródziemnomorski Mediterranean	1,3	20,6	Francja, Hiszpania, Włochy

*za Krakau i in. [2013]; **według Roekaerts [2002] oraz Sundseth i Barova [2009]

*after Krakau et al. [2013]; **according to Roekaerts [2002] as well as Sundseth and Barova [2009]

Sosna pod względem wymagań ekologicznych należy do oligotrofów, ale jej amplituda siedliskowa jest bardzo duża – od ubogich wydym po gleby wybitnie eutroficzne [Richardson, Higgins 1998]. Żle znosi wahania poziomu wody gruntowej, dlatego nie występuje w nadrzecznych łągach i na terenach zalewowych. Gatunek ten tworzy lite drzewostany na skrajnie ubogich, oligotroficznych siedliskach, natomiast na siedliskach żyzniejszych, mezo- i eutroficznych, stanowi domieszkę w drzewostanach mieszanych. Sosna osiąga optymalny wzrost i jakość hodowlaną na glebach świeżych lub umiarkowanie wilgotnych, piaszczystych i piaszczysto-gliniastych [Sewerniak

2009]. Pod względem cech biologicznych sosna zwyczajna jest znana ze swojej mrozoodporności [Repo i in. 2000], należy też do gatunków odpornych na przymrozki. Dzięki zrównoważonej gospodarce wodnej jest w stanie przetrwać okres suszy glebowej [Krakau i in. 2013], której efektem jest zazwyczaj ograniczony przyrost radialny [Eilmann i in. 2011; Martinez-Vilalta i in. 2012]. Powtarzające się obecnie suche lata są jednym z czynników wpływających na zamieranie drzewostanów sosnowych [Bigler i in. 2006; Eilmann, Rigling 2012]. Sosna jest uważana za gatunek względnie odporny na silne wiatry – ze względu na palowy system korzeniowy. Cechy biologiczne i ekologiczne sosny zwyczajnej wpisują się w jej strategię życiową. Brzeziecki i Kienast [1994] uważają, że sosna zwyczajna wykazuje cechy wszystkich głównych typów strategii wyróżnionych przez Grime'a [1979], tj. tolerowania stresu, konkurencyjnej i ruderalnej. Wielkość osiągnięta w wieku dojrzałym, długowieczność i właściwości drewna (wytwarzanie twardzieli) zbliżają ją do grupy drzew o mieszanej strategii tolerowania stresu i konkurencji. Jednocześnie takie cechy jak odporność na przymrozki późne i brak zdolności do znoszenia ocienienia łączą sosnę z grupą gatunków o strategii ruderalnej. Sosnę określa się również mianem gatunku pionierskiego, co podkreśla znaczenie zaburzeń i katastrof do jej odnowienia i przeżycia. Cechy te potwierdzają, że sosna jest gatunkiem uniwersalnym, mogącym występować w szerokim spektrum siedliskowym i w umiarkowanych warunkach konkurencji międzygatunkowej [Brzeziecki, Kienast 1994]. Wraz ze wzrostem żyzności siedlisk możliwości wygrania konkurencji sosny z innymi gatunkami maleją, natomiast na siedliskach ubogich, gdzie znajduje ona optimum wzrostu, jest w stanie wygrać konkurencję z innymi gatunkami i tworzyć lite drzewostany.

Czynniki kształtujące rozwój drzewostanów sosnowych i metody ich zagospodarowania w wybranych regionach biogeograficznych Europy

REGION BOREALNY. Najważniejszą rolę w kształtowaniu krajobrazu leśnego regionu borealnego odgrywają zaburzenia w postaci pożarów [Östlund i in. 1997], tworząc mozaikę drzewostanów o różnym stopniu uszkodzeń i regeneracji [Kauhanen 2002]. W latach 1996-2014 na terenie Finlandii pożary obejmujące powierzchnię ponad 100 ha miały miejsce tylko kilkakrotnie, natomiast dominowały pożary małopowierzchniowe, o wielkości 10-15 ha [Lehtonen i in. 2016]. Pożary, poza kształtowaniem struktury przestrzennej (tekstury lasu) i wiekowej drzewostanów, mają także istotny wpływ na skład gatunkowy drzewostanów podlegających regeneracji. Przykładem są powtarzające się pożary, które w sposób naturalny ograniczają sukcesję świerka [Parviainen i in. 1995; Juntunen, Neuvonen 2006]. W ciągu ostatnich 200 lat rola pożarów w kształtowaniu krajobrazu leśnego regionu borealnego uległa wyraźnemu zmniejszeniu [Wallenius 2011]. Głównym czynnikiem mającym wpływ na zmniejszenie liczby pożarów w Skandynawii jest odejście od stosowania pożarów kontrolowanych, a także wprowadzenie nowoczesnego systemu gaszenia pożarów [Wallenius 2011].

W skali drzewostanu istotny wpływ na strukturę lasów w regionie borealnym mają również zaburzenia małopowierzchniowe [Kuuluvainen 1994; Lähde i in. 1999a; Wallenius i in. 2002; Shorohova i in. 2009]. Ich przyczynami są przeważnie wiatr, śnieg, owady, grzyby i dzikie zwierzęta [Kuuluvainen 1994]. Luki powstające w okapie (zwarciu) drzewostanu pełnią bardzo ważną rolę w jego dynamice, ponieważ powodują różnicowanie się warunków mikrosiedliskowych [Lähde i in. 1991; Kuuluvainen 1994]. W takich warunkach w drzewostanach sosnowych następuje stopniowa wymiana pokoleń: przez etapowe wydzielanie się starszych drzew, które ustępują oczekującym na dnie lasu odnowieniom naturalnym [Parviainen i in. 1995; Rouvinen i in. 2002].

Krajobraz leśny regionu borealnego w ciągu ostatniego stulecia ulegał istotnym zmianom wynikającym z czynników o charakterze antropogenicznym [Östlund i in. 1997], ale mimo to zachowały się liczne drzewostany sosnowe o wysokim stopniu naturalności [Lähde i in. 1991; Sarkkola i in. 2004]. Z analizy struktury wiekowej i budowy wynika, że drzewostany sosnowe w regionie borealnym mogą przybierać postać wielogeneracyjną, zróżnicowaną grubościowo i wiekowo [Lähde i in. 1991; Parviainen i in. 1995; Rouvinen i in. 2002; Wallenius i in. 2002].

Obecnie najpowszechniejszym sposobem odnawiania drzewostanów sosnowych w krajach regionu borealnego są zręby zupełne, a odnowienie odbywa się głównie poprzez sadzenie [State... 2011; Forest... 2020]. Cykl produkcyjny w drzewostanach sosnowych w tym regionie może trwać od 70 do 140 lat (tab. 2). W krajach skandynawskich najpopularniejszą obecnie metodą naturalnego odnawiania sosny są zręby zupełne z pozostawieniem nasienników [Egnell 2000]. Przebieg dalszego rozwoju drzewostanu jest ściśle związany z liczbą i przestrzennym rozmieszczeniem nasienników na odnawianej powierzchni. Zaletą pozostawienia części drzew z poprzedniej generacji jest to, że kompleksowość funkcji pełnionych przez drzewostan nie ulega tak silnej redukcji, jak ma to miejsce w przypadku zrębów zupełnych. Okres odnowienia drzewostanów użytkowanych tą metodą trwa zazwyczaj około 10 lat. W Finlandii hodowla drzewostanów sosnowych bazuje na nasiennikach pozostawianych na zrębie. Najczęściej stosowane rozwiązanie polega na pozostawieniu od 20 do 150 nasienników na powierzchni jednego hektara [Valkonen 2000; Hallikainen i in. 2007]. Na ubogich siedliskach w północnej Finlandii zadowalające odnowienie można uzyskać, stosując wariant z pozostawieniem zaledwie 20-50 nasienników na hektarze [Hallikainen i in. 2007]. Gdy samosiewy wymagają większej osłony, stosuje się zazwyczaj rębnię częściową z pozostawieniem 150-500 drzew na powierzchni jednego hektara [Valkonen 2000]. Rębnia częściowa jest także wykorzystywana do różnicowania struktury w odnawianych drzewostanach, w których najpierw zostawia się 150-350 szt./ha, a następnie redukuje liczbę

Tabela 2.

Całkowita powierzchnia leśna (A [tys. ha]), całkowity zapas drzewostanów (Vtot [mln m³]) oraz średnia zasobność (V [m³/ha]) za Global... [2020] i długość cyklu produkcyjnego (DCP [lata]) według Canellas i in. [2000] oraz Engell [2000] drzewostanów sosnowych w wybranych krajach trzech największych regionów biogeograficznych Europy

Total forest area (A [$\times 1000$ ha]), total (Vtot [million m³]) and average (V [m³/ha]) growing stock according to Global... [2020] as well as the length of the production cycle (DCP [years]) after Canellas et al. [2000] and Engell [2000]) of Scots pine stands in selected countries of the three largest biogeographic regions of Europe

		A/%So	Vtot/%So	V	DCP
Borealny	Finlandia	22409/	2449/	95	70-140
Boreal	Finland	57	50		
	Szwecja	27980/	3654/	157	80-130
	Sweden	31	38		
Kontynentalny	Polska	9483/	2730/	263	100-120
Continental	Poland	65	56		
	Niemcy	11419/	3663/	312	80-120
	Germany	21	21		
	Republika Czeska	2677/	791/	273	100-130
	Bohemia	16	15		
Śródziemnomorski	Hiszpania	18572/	1109/	128	100-120
Mediterranean	Spain	7	15		

%So – udział sosny zwyczajnej według wyników NFI oraz Krakau i in. [2013]

%So – share of Scots pine according to the latest NFI results and Krakau et al. [2013]

drzew do 20-150 szt./ha [Lähde i in. 1999a]. W drzewostanach sosnowych w Estonii przy stosowaniu klasycznych cięć częściowych wykorzystuje się osłonę drzewostanu w liczbie 150-200 szt./ha, natomiast na siedliskach o większym statusie ochrony czasową osłonę stanowią musi liczba drzew odzwierciedlająca co najmniej 50% przekroju pierścnicowego drzewostanu [Tishler i in. 2020]. Na ubogich i suchych siedliskach zdominowanych przez borówkę brusznicę (*Vaccinium vitis-idaea* L.) w północnej i południowo-wschodniej Estonii najwięcej odnowień uzyskuje się, gdy po pierwszym cięciu jest pozostawianych około 200 drzew na hektarze, co odpowiada mniej więcej połowie początkowej liczby drzew [Rosenvald i in. 2020]. Proces odnowienia na glebach żyzniejszych obciążony jest dużym ryzykiem związanym z negatywnym wpływem roślinności zielnej na rozwój odnowień. Béland i in. [2000], na podstawie analizy procesów odnowieniowych w drzewostanach o różnym poziomie osłony drzewostanu (brak osłony, 160 i 200 szt./ha) na glebach piaszczysto-gliniastych w południowej Szwecji, zalecają stosowanie większej liczby drzew w cięciach częściowych (200 szt./ha). Większa osłona gwarantuje zarówno większą liczbę nalotów, jak i ogranicza rozwój chwastów, co pozytywnie wpływa na przeżywalność siewek oraz poprawia warunki ich wzrostu i rozwoju [Béland i in. 2000]. Na siedliskach suchych, gdzie roślinność zielna nie stanowi tak dużego zagrożenia, pozostawianie mniejszej osłony wpływa na zmniejszenie konkurencji o wodę i przyspieszenie wzrostu odnowień [Rosenvald i in. 2020].

W północnych obszarach regionu borealnego, gdzie drzewostany sosnowe wzrastają w trudnych warunkach klimatycznych, możliwość skutecznego odnawiania lasu na dużych przestrzeniach w krótkim czasie jest ograniczona [Hallikainen i in. 2007]. Z tego względu poszukuje się metod odnawiania sosny na małych powierzchniach. Najbardziej znaną metodą stosowaną w kształtowaniu drzewostanów zróżnicowanych wiekowo i grubościowo w małej skali przestrzennej jest rębnia przerębowa [Schütz 2001]. Jednak w przypadku sosny, której tolerancja na ocienienie jest ograniczona, lepsze rezultaty uzyskuje się, stosując cięcia grupowe [Lähde i in. 1999a]. W celu naśladowania procesów naturalnych zaleca się stosowanie małych gniazd o powierzchni około 0,3 ha oraz zrębów o szerokości nie większej niż 25 m i maksymalnej powierzchni nieprzekraczającej 2 ha [Lähde i in. 1999a]. Cięcia zupełne stosuje się w formie wąskich wrębów o szerokości 15-30 m usytuowanych zależnie od naturalnej rzeźby terenu oraz na niewielkich gniazdach o wymiarach 30×60 m [Norokorpi 1992]. Kreowanie małopowierzchniowych ośrodków odnowieniowych jest jednym z najczęściej zalecanych rozwiązań mających na celu zwiększenie ogólnie rozumianej bioróżnorodności i przywrócenie naturalnego charakteru lasów regionu borealnego [Lähde i in. 1999a, b; Kuuluvainen 1994]. Szczegółowy opis drobnokępowego występowania odnowień naturalnych sosny otoczonych zwartym drzewostanem w północnej Finlandii przedstawił Aaltonen [1919]. Stwierdził, że odnowienia w centralnej części gniazd o średnicy około 15-20 metrów rozwijają się dobrze, a wzrastające w sąsiedztwie starszych drzew są przygłuszone [Aaltonen 1919; Kuuluvainen 1994]. Koncepcja odnawiania sosny z wykorzystaniem cięć gniazdowych naśladuje naturalną dynamikę płatów drzewostanu (ang. patch dynamic), dlatego w ostatnich latach wiele prac badawczych dotyczy możliwości wykorzystania cięć zupełnych na gniazdach i naturalnego odnawiania sosny [Rouvinen, Kouki 2011]. Na podstawie badań prowadzonych we wschodniej Finlandii Pasanen i in. [2016] zauważyli jednak, że wycinanie małych gniazd (o średnicy do 2 wysokości drzewostanu) nie daje skutecznych wyników w różnicowaniu struktury wiekowej młodych drzewostanów sosnowych, mimo że w początkowej fazie inicjowania odnowienia liczba nalotów jest zadowalająca. Na możliwość wykorzystania cięć gniazdowych w odnawianiu sosny wskazali również Hallikainen i in. [2018], którzy badając starsze drzewostany w środkowej Laponii, stwierdzili wystarczającą liczbę odnowień na gniazdach o powierzchni 0,03, 0,13 i 0,50 ha po 5 latach od ich założenia.

REGION KONTYNTENTALNY. W regionie kontynentalnym głównym typem zaburzeń, mogącym powodować całkowite zniszczenie drzewostanów na rozległych obszarach, są bardzo silne wichury i huragany [Chojnacka-Ożga, Ożga 2018]. W porównaniu do regionu borealnego wielkoobszarowe pożary nie są tutaj zjawiskami powszechnymi, jednak przy zbiegu niekorzystnych czynników (długotrwała susza, wysoka temperatura) również mogą powodować duże uszkodzenia [Szczygieł 2012]. W skali drzewostanu zmiany struktury mogą nastąpić przez wystąpienie małopowierzchniowych pożarów [Dobrowolska 2008; Sewerniak 2010], których liczba w ostatnich latach znacząco wzrosła [Leśnictwo 2019]. Wśród zaburzeń małopowierzchniowych istotną rolę stanowią mocne porywy wiatru, powodujące wywracanie pojedynczych drzew [Gil, Zachara 2006; Dobrowolska 2015], jak również częste płatowe szkody od okiści w przegęszczonych drzewostanach [Nykänen i in. 1997].

Powtarzające się w ostatnich dziesięcioleciach susze spowodowały wzrost znaczenia czynników biotycznych w dynamice drzewostanów sosnowych. Przykładem oddziaływania pierwotnych szkodników owadziach sosny na rozwój drzewostanów tego gatunku są Lasy Pilskie, w których po ustaniu gradacji brudnicy mniszki (*Lymantria monacha* L.) obserwowano obfity pojaw podrostów podokapowych [Andrzejczyk 2007]. Obecnie dużą rolę w procesie różnicowania struktury drzewostanów sosnowych odgrywa uważany dotąd za niegroźnego z punktu widzenia gospodarczego kornik ostrozębny (*Ips acuminatus* Gyll.) 1827 [Plewa, Mokrzycki 2017]. Ograniczanie rozwoju populacji tego owada polega na usuwaniu drzew zasiedlonych, wskutek czego w drzewostanach przedrębnych powstają różnej wielkości luki i przerzedzenia drzewostanów. Nowym problemem z punktu widzenia stabilności drzewostanów sosnowych stała się jemioła pospolita (*Viscum album* L.), która w warunkach osłabienia przez suszę redukuje aparat asymilacyjny drzew i zmniejsza długość ich życia [Iszkuło i in. 2020]. W przeszłości czynnikami pochodzenia antropogenicznego, które miały istotny wpływ na strukturę drzewostanów sosnowych, był wypas bydła połączony z grabieniem ściółki [Milnik 2007]. Duże szkody w drzewostanach sosnowych mogą powstać w przypadku przegęszczenia populacji ssaków kopytnych na skutek niewłaściwej gospodarki łowieckiej [Schabel 2001]. W regionie kontynentalnym lasy uległy znacznym przekształceniom, w których wyniku raczej nie spotyka się tu drzewostanów sosnowych o charakterze pierwotnym. Opis różnych typów drzewostanów sosnowych o wysokim stopniu naturalności występujących w zachodniej Polsce i Puszczy Białowieskiej przedstawił Weck [1947]. Z pracy tej wynika, że drzewostany sosnowe mogą w zależności od siedliska i stadium rozwojowego tworzyć wielo-, dwu-, jak i jednogeneracyjne formy. Potwierdzenie stanowią liczne opisy zróżnicowanych wiekowo i strukturalnie drzewostanów z całego regionu kontynentalnego [Andrzejczyk, Brzeziecki 1995; Barzdajn 1996a, b; Andrzejczyk 2003, 2006; Bilek i in. 2016; Brzeziecki i in. 2020a, b; Gallo i in. 2020; Skłodowski 2020]. Dostępna wiedza pozwala przypuszczać, że dynamika naturalnych drzewostanów regionu kontynentalnego opierała się w szerokim zakresie na różnych czynnikach powodujących zaburzenia [Andrzejczyk, Brzeziecki 1995; Andrzejczyk, Żybura 2012].

Dominującym sposobem wymiany pokoleń w gospodarczych jednogatunkowych drzewostanach sosnowych w Polsce, jak również w innych krajach regionu kontynentalnego jest odnowienie sztuczne na zrębach [Krakau i in. 2013]. Cykl produkcyjny sosny w zależności od kraju może w omawianym regionie trwać 80-130 lat (tab. 2). W ostatnich dziesięcioleciach obserwowany jest w Polsce wzrost udziału odnowienia naturalnego [Zajączkowski i in 2010], będący wynikiem stosowania wąskich zrębów, o szerokości do 60 m, pozwalających na obsiew boczny [Andrzejczyk 2000] i górny z nasienników w liczbie około 50-60 szt./ha, rozmieszczonych równomiernie na zrębie [Tomczyk 1993]. Nasienniki mogą być także pozostawiane na kulisie o szerokości około

10 m, położonej w dalszej części zrębu od ściany lasu (na około 40-50 m). Pozostawianie nasienników na kulisie znacznie ułatwia ich późniejsze usuwanie, co najczęściej odbywa się w 2 lub 3 (do 5 lat) roku od wykonania zrębu. Rzadziej wykonywana jest rębnia częściowa, polegająca na zastosowaniu 2-3 równomiernych cięć częściowych, z krótkim okresem odnowienia [Andrzejczyk, Żybyra 2012]. W drzewostanach sosnowych Brandenburgii, poza stosowanymi zrębami zupełnymi, jedną z zalecanych metod odnawiania są cięcia częściowe z krótkim okresem odnowienia (do 10 lat). Do tego sposobu przeznaczają się drzewostany o zadrzewieniu 0,7 (lub większym). W przypadku braku odnowień naturalnych stosuje się siew lub sadzenie [Waldbaurichtlinie... 2016]. Jedną z najczęściej stosowanych metod kształtowania zróżnicowanej struktury drzewostanów sosnowych w Polsce jest włączanie naturalnych odnowień podokapowych rosnących w drzewostanach przedrębnych i rębnych do składu gatunkowego przyszłej uprawy, w literaturze określanymi mianem zrębów zupełnych nowej generacji [Brzeziecki, Uścian-Szaciłowski 2007]. W wielu miejscach w Polsce w sprzyjających warunkach siedliskowych pod przerzedzonymi jednowiekowymi drzewostanami sosnowymi pojawiają się liczne odnowienia podokapowe [Ilmurzyński, Mierzejewski 1956; Barzdajn i in. 1993, 1996a, b; Andrzejczyk 2001], a podrosty podokapowe – zarówno młodsze, jak i starsze – wykazują pozytywną reakcję na stopniowe odsłanianie [Andrzejczyk, Żybyra 1981; Barzdajn i in. 1996b; Andrzejczyk 2007]. Hodowla lasu w drzewostanach z licznie występującymi odnowieniami może być także realizowana w oparciu o różne warianty cięć częściowych [Andrzejczyk, Żybyra 2012]. W polskich warunkach w przypadku drobnokępowego występowania odnowień podokapowych promowanie ich może mieć miejsce, jeśli tworzą co najmniej 5-arowe płyty i nie są nośnikami poważnych wad [Brzeziecki, Uścian-Szaciłowski 2007; Depka-Prądziński 2010]. Odpowiednie wyznaczenie przebiegu szlaków zrywkowych oraz kierunku obalania drzew, połączone z manipulacją drewna przy pniu i dobrym zaplanowaniem składnic zrębowych, może zmniejszyć szkody powstałe w podroście podokapowych o 20% [Ilmurzyński, Mierzejewski 1956]. Nieliczne wielogeneracyjne drzewostany sosnowe w Polsce występują głównie w ekstensywnie użytkowanych drzewostanach sosnowych własności prywatnej [Andrzejczyk 2003]. Ich zróżnicowana struktura wiekowa i wysokościowa ma charakter wtórny, ponieważ nie jest celem samym w sobie, lecz powstaje na skutek stopniowego usuwania drzew (gospodarka naturalna, przebierowa w lasach prywatnych) oraz istnienia dogodnych warunków do odnowienia naturalnego [Andrzejczyk 2003]. Niekiedy ich struktura grubościowa, wyrażona liczbą drzew w klasach pierśnic, przyjmuje postać odwróconej litery „J” – charakterystycznej dla drzewostanów przerębnych [Andrzejczyk 2003, 2006]. Szczegółowy opis struktury takich drzewostanów rosnących w lasach gospodarczych przedstawili Barzdajn i in. [1996a, b]. Stwierdzili oni, że proces naturalnego odnowienia przy zadrzewieniu około 0,8 ma charakter ciągły, lecz awansowanie podrośnięć do wyższych pięter wymaga rozluźnienia drzewostanu do zadrzewienia 0,5-0,6. Gdy celem jest długotrwałe utrzymanie struktury przerębnej drzewostanu sosnowego, niezbędna jest częsta regulacja struktury zapasu w celu podtrzymania sprzyjających warunków do pojawienia się i rozwoju odnowień naturalnych [Andrzejczyk 2003; Gil i in. 2004]. Gallo i in. [2020], na podstawie badań przeprowadzonych na terenie Czech i Hiszpanii, stwierdzili, że zwiększanie różnorodności strukturalnej drzewostanów sosnowych nie musi powodować zmniejszenia ich zapasu oraz produktywności.

Dopuszczalną metodą odnawiania i różnicowania struktury drzewostanów sosnowych są również cięcia brzegowo-smugowe [Andrzejczyk 2001; Břilek i in. 2018], które kreują powstanie gradientu warunków mikroklimatu (światło, opady) – od warunków światła górnego (rozproszonego) pod sklepieniem drzewostanu do światła bocznego (bezpośredniego) na brzegu drzewostanu. Zadowolającą liczbę odnowień naturalnych można uzyskać, prowadząc cięcia brzegowe

z kierunków południowego, południowo-wschodniego i południowo-zachodniego [Andrzejczyk 2001], ale także z kierunku zachodniego [Bílek i in. 2018]. Stosowanie wąskich wrębów zlokalizowanych w niedużej odległości od siebie może przyczynić się do obfitego pojawu odnowień. Idea ta jest z powodzeniem wykorzystywana w lasach drobnej własności w niektórych rejonach Polski. W regionie kontynentalnym, podobnie jak w borealnym, także trwają badania nad możliwością odnawiania sosny z wykorzystaniem cięć zupełnych na gniazdach. Przykładem może być doświadczenie założone w Nadleśnictwie Janów Lubelski, gdzie testuje się możliwość odnawiania sosny na gniazdach o wielkości 2, 5, 10, 30 i 50 arów [Drozdowski i in. 2014].

REGION ŚRÓDZIEMNOMORSKI. Lasy regionu śródziemnomorskiego od bardzo dawna podlegały intensywnym przekształceniom na skutek działalności człowieka [Blondel, Arson 1995], dlatego wiedza na temat dynamiki drzewostanów sosnowych opiera się głównie na analizie drzewostanów zagospodarowanych. Pomimo tego, że sosna zwyczajna w Hiszpanii tworzy lite drzewostany przeważnie w warunkach górskich [Cañellas i in. 2000], to podlegają one podobnym zaburzeniom do tych występujących w klimacie kontynentalnym i borealnym. Cañellas i in. [2000] uważają, że pożary i wypas bydła to najważniejsze czynniki wpływające na dynamikę drzewostanów sosnowych występujących na wysokości 1600-1800 m n.p.m. W niższej położonych regionach (800-1600 m n.p.m.) najważniejsze czynniki wpływające na rozwój sosny to konkurencja z innymi gatunkami drzew i roślinnością krzewiastą, a także uszkodzenia od wiatru i śniegu [Cañellas i in. 2000]. Te ostatnie w Pirenejach (do 3000 m n.p.m.) powodują liczne uszkodzenia drzewostanów sosnowych, dlatego zaleca się stosowanie zabiegów hodowlanych zwiększających stabilność drzew [Martín-Alcón i in. 2010]. Powszechny w Hiszpanii wolny wypas bydła w lasach jest istotnym czynnikiem ograniczającym rozwój odnowień naturalnych sosny i różnicowanie struktury drzewostanów [Hüdar i in. 1998; Zamora i in. 2001]. Przyczyną ogólnego wzrostu śmiertelności sosny zwyczajnej w Hiszpanii w ostatnich dziesięcioleciach są coraz trudniejsze warunki klimatyczne w postaci niedoboru wody w okresie letnim [Vila-Cabrera i in. 2011]. Pożary lasu odgrywają w tym kraju kluczową rolę w kształtowaniu ekosystemów leśnych i to one kształtują wysoki poziom zróżnicowania krajobrazu [Blondel, Arson 1995]. Wysokie niebezpieczeństwo pożarów w drzewostanach sosnowych o charakterze plantacyjnym w Galicji oraz Katalonii jest jednym z głównych kryteriów uwzględnianych przy planowaniu zabiegów hodowlanych [Crecente-Campo i in. 2009]. W drzewostanach występujących w niższych położeniach, gdzie klimat staje się cieplejszy, susza jest najważniejszym czynnikiem ograniczającym rozwój sosny zwyczajnej [Hüdar i in. 1998; Barbeito i in. 2009a; Vila-Cabrera i in. 2011; Sánchez-Salguero i in. 2015] – pod tym względem w wyższych położeniach górskich warunki wzrostu dla tego gatunku są lepsze [Sánchez-Salguero i in. 2015].

Montero [1994 za Cañellas i in. 2000] wyodrębnił trzy metody hodowli drzewostanów sosnowych w zależności od wysokości nad poziomem morza. Na wysokości 800-1600 m n.p.m., gdzie występuje najwięcej drzewostanów sosnowych, stosowane są klasyczne cięcia częściowe składające się z cięć przygotowawczych, obsiewnych, odsłaniających i uprzątających. Zastosowanie mają także cięcia zupełne z pozostawieniem 30-40 drzew jako nasienników. Niezależnie od metody wiek rębności wynosi około 100-120 lat (tab. 2). Wyżej, na wysokości 1600-1800 m n.p.m., ze względu na trudne warunki terenowe wykonuje się tylko cięcia jednostkowe, natomiast powyżej 1800 m n.p.m., ze względu na ekstremalnie trudne warunki, nie pozyskuje się drewna, a wypas bydła jest dominującą formą użytkowania.

Najbardziej znane badania dotyczące naturalnego odnawiania sosny pochodzą z pasma górskiego Sierra de Guadarrama (wysokość 1300-1600 m n.p.m.) w centralnej części Hiszpanii. Prowadzona tam od końca XIX wieku hodowla lasu wiąże się z odnowieniem naturalnym uży-

skiwany dwoma sposobami. Pierwszy z nich (klasyczny) bazuje na cięciach częściowych z 20-letnim okresem odnowienia poprzedzonych przygotowaniem gleby [Calama i in. 2017]. Drugi sposób polega na cięciach częściowych w płatach (grupach), z okresem odnowienia wydłużonym nawet do 40 lat [Montes i in. 2004; Pardos i in. 2008]. Cięcia częściowe stosowane w płatach (grupach) powodują, że drzewostany stają się bardziej heterogeniczne niż te powstałe po klasycznych cięciach częściowych [Montes i in. 2004]. W metodzie klasycznej w pierwszym cięciu odnowieniowym jest pobierane 62% pola przekroju pierśnicowego drzewostanu, natomiast w metodzie grupowej – 22% [Pardos i in. 2008]. Innym sposobem odnowienia jest stosowanie cięć w formie gniazd o średnicy 20-30 m. Wykonywane są one w drzewostanach sosnowych na wysokości 1300-1600 m n.p.m., co sprzyja zachowaniu większej wilgotności gleby i przez to poprawia wzrost odnowień naturalnych [Barbeito i in. 2009a]. W celu skutecznego zwiększania heterogeniczności drzewostanów jednowiekowych zalecane jest stosowanie dłuższego okresu odnowienia [Barbeito i in. 2009b]. W wyżej położonych drzewostanach kompleksu Pinar de Valsaín występują nieliczne w tym regionie sosnowe drzewostany wielogeneracyjne. Prace gospodarcze bazują tu na pozyskiwaniu dojrzałych drzew oraz na prowadzeniu cięć sanitarnych [Barbeito i in. 2009b]. Główną funkcją tych drzewostanów jest ochrona gleby przed erozją, a ich dynamika jest kształtowana przez wiatry i okiść śniegową.

Podsumowanie

Duże zmiany, mające miejsce zarówno w środowisku przyrodniczym, jak i społecznym, powodują konieczność poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie zagospodarowania drzewostanów złożonych z sosny zwyczajnej. We wszystkich regionach biogeograficznych Europy, w których sosna zwyczajna odgrywa wiodącą rolę, poszukuje się alternatywnych metod zagospodarowania drzewostanów sosnowych, pomimo wieloletniej tradycji i doskonalenia metod zagospodarowania zrębami zupełnymi. Odnowienia wielkopowierzchniowe mogą być trudne do uzyskania (region śródziemnomorski, północna część regionu borealnego), a ponadto tworzą one wyrównane wiekowo wielkopowierzchniowe drzewostany o uproszczonej strukturze. Takie zagospodarowanie powoduje także nagłe zmiany w krajobrazie leśnym i pomimo tego, że jest to sposób wykorzystujący biologiczne cechy gatunku do zajmowania otwartych przestrzeni (gatunek pionierski, cechy strategii ruderalnej według Grime'a) powstających po wielkopowierzchniowych zaburzeniach (pożar, wiatrołom), to często nie jest on akceptowany przez społeczeństwo. Z tych względów w ostatnich kilkudziesięciu latach wprowadzono wiele zmian w sposobie odnawiania sosny, m.in. zaczęto stosować falistą linię zrębów, pozostawianie kęp starodrzewu i pojedynczych przestojów, włączanie płatów odnowień naturalnych powstałych w lukach drzewostanu maceznego oraz promowanie naturalnego sposobu odnowienia przez samosiew. Obecnie zauważa się coraz większe zainteresowanie odnawianiem sosny na różnej wielkości gniazdach bez osłony górnej bądź pod przerzedzonym drzewostanem w rębniach złożonych, w celu uzyskania większego zróżnicowania wiekowego i strukturalnego drzewostanów. W złożonej strukturze drzewostanów upatruje się większej zdolności do pełnienia produkcyjnych oraz pozaprodukcyjnych funkcji lasu, a przede wszystkim większej odporności drzew na czynniki szkodotwórcze.

Literatura

- Aaltonen V. T. 1919. Über die naturliche Verjüngung der Heidewälder im finnischen Lappland. *Communications ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae*. Editae 1.
- Androsiuk P., Urbaniak L. 2014. Genetic variability of *Pinus sylvestris* populations from IUFRO 1982 provenance trial. *Dendrobiology* 71: 23-33.
- Andrzejczyk T. 2000. Wpływ odległości od ściany drzewostanu na zagęszczenie i przeżywalność nalotów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na zrębach zupełnych i gniazdach. *Sylwan* 144 (1): 27-42.

- Andrzejczyk T. 2001. Wzrost i rozwój podrostów sosnowych w strefie brzegowej drzewostanu. *Sylvan* 145 (8): 23-27.
- Andrzejczyk T. 2003. Różnowiekowe drzewostany sosnowe. Powstawanie, struktura, hodowla. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Andrzejczyk T. 2006. Rębnia przerębowa w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 150 (8): 52-60. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2005142>.
- Andrzejczyk T. 2007. Wpływ przerzedzenia okapu na rozwój podrostów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w pogradacyjnych drzewostanach w Lasach Piłskich. *Sylvan* 151 (1): 20-29. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2006009>.
- Andrzejczyk T., Brzeziecki B. 1995. The structure and dynamics of old-growth *Pinus sylvestris* (L.) stands in the Wigry National Park, north-eastern Poland. *Vegetatio* 117: 81-94.
- Andrzejczyk T., Żybura H. 1981. Celowość wykorzystania starszych podrostów sosnowych. *Las Polski* 11: 8-9.
- Andrzejczyk T., Żybura H. 2012. Sosna zwyczajna: odnawianie naturalne i alternatywne metody hodowli. PWRiL, Warszawa.
- Barbeito I., Fortin M. J., Montes F., Cañellas I. 2009a. Response of pine natural regeneration to small-scale spatial variation in a managed Mediterranean mountain forest. *Appl. Veg. Sci.* 12: 488-503. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2009.01043.x>.
- Barbeito I., Montes F., Cañellas I. 2009b. Evaluating the behaviour of vertical structure indices in Scots pine forests. *Ann. For. Sci.* 66 (710): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest/2009056>.
- Barzdajn W., Drogoszewski B., Zientarski J. 1993. Struktura wielopokoleniowych drzewostanów sosnowych (*Pinus sylvestris* L.) w Nadleśnictwie Gubin. PTPN. Pr. Komis. Nauk Rol. Leś. 76: 11-22.
- Barzdajn W., Drogoszewski B., Zientarski J. 1996a. Charakterystyka drzewostanu sosnowego (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłego pod okapem drzew matecznych. PTPN, Pr. Komis. Nauk Rol. Leś. 82: 15-25.
- Barzdajn W., Drogoszewski B., Zientarski J. 1996b. Struktura odnawiających się drzewostanów sosny zwyczajnej w Nadleśnictwie Gubin. *Sylvan* 140 (11): 19-32.
- Béland M., Agestam E., Ekö P. M., Gemmel P., Nilsson U. 2000. Scarification and seedfall affects natural regeneration of Scots pine under two shelterwood densities and a clear-cut in Southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 247-255. DOI: <https://doi.org/10.1080/028275800750015064>.
- Bernadzki E. 2000. Półnaturalna hodowla lasu. Biblioteczka leśniczego 129.
- Bigler C., Braker O. U., Bugmann H., Dobbertin M., Rigling A. 2006. Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9: 330-343. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0126-2>.
- Bílek L., Vacek S., Vacek Z., Remeš J., Král J., Bulušek D., Gallo J. 2016. How close to nature is close-to-nature pine silviculture? *Journal of Forest Science* 62: 24-34. DOI: <https://doi.org/10.17221/98/2015-JFS>.
- Bílek L., Vacek Z., Vacek S., Bulušek D., Linda R., Král J. 2018. Are clearcut borders an effective tool for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration? *Forest Systems* 27. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2018272-12408>.
- Biogeographical regions in Europe. 2016. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/biogeographical-regions-in-europe-2>.
- Blondel J., Aronson J. 1995. Biodiversity and ecosystem function in the Mediterranean Basin: human and non-human determinants. W: Davis W., Richardson D. M. [red.]. *Mediterranean-type ecosystems: the function of biodiversity*. *Ecological Studies* 109: 43-119. Springer-Verlag, Berlin.
- Bravo F., Diaz-Balteiro L. 2004. Evaluation of new silvicultural alternatives for Scots pine stands in northern Spain. *Annals of Forest Science* 61 (2): 163-169. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2004008>.
- Brzeziecki B., Drozdowski S., Bielak K., Buraczyk W., Gawron L. 2013. Kształtowanie zróżnicowanej struktury drzewostanów w warunkach nizinnych. *Sylvan* 157 (8): 597-606. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2013051>.
- Brzeziecki B., Kienast F. 1994. Classifying the life-history strategies of trees on the basis of the Grimian model. *Forest Ecology and Management* 69: 167-187. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90227-5](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90227-5).
- Brzeziecki B., Uścian-Szaciłowski P. 2007. Zręby zupełne nowej generacji. *Las Polski* (7): 20-21.
- Brzeziecki B., Zajączkowski J., Olszewski A., Bolibok L., Andrzejczyk T., Bielak K., Buraczyk W., Drozdowski S., Gawron L., Jastrzębowski S., Szełiowski H., Żybura H. 2020a. Struktura i dynamika wielogeneracyjnych starodrzewów sosnowych występujących w obszarach ochrony ścisłej Kaliszki i Sieraków w Kampinoskim Parku Narodowym. Część 1: Zróżnicowanie gatunkowe, zagęszczenie i pierścicowe pole przekroju. *Sylvan* 164 (5): 392-403. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2020057>.
- Brzeziecki B., Zajączkowski J., Olszewski A., Bolibok L., Andrzejczyk T., Bielak K., Buraczyk W., Drozdowski S., Gawron L., Jastrzębowski S., Szełiowski H., Żybura H. 2020b. Struktura i dynamika wielogeneracyjnych starodrzewów sosnowych występujących w obszarach ochrony ścisłej Kaliszki i Sieraków w Kampinoskim Parku Narodowym. Część 2: Procesy zamierania i dorastania oraz ich wpływ na rozkład grubości drzew. *Sylvan* 164 (6): 443-453. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2020058>.
- Calama R., Manso R., Lucas-Borja M. E., Espelta J. M., Pique M., Bravo F., del Peso C., Pardo M. 2017. Natural regeneration in Iberian pines: a review of dynamic processes and proposals for management. *Forest Systems* 26 (02). DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11255>.
- Cañellas I., Martínez García F., Montero G. 2000. Silviculture and dynamics of *Pinus sylvestris* L. stands in Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. Fuera de Serie 1: 233-253.

- Chojnacka-Oźga L., Oźga W. 2018. Warunki meteorologiczne powstania szkód wiatrowych w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku w lasach środkowo-zachodniej Polski. Sylwan 162 (3): 200-208. DOI: <https://doi.org/10.26202/sywan.2017132>.
- Crecente-Campo F., Pommerening A., Rodriguez-Soalleiro R. 2009. Impacts of thinning, on structure, growth and risk of crown fire in a *Pinus sylvestris* L. plantation in northern Spain. Forest Ecology and Management 257: 1945-1954. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.009>.
- Depka-Prądziński A. 2010. Alternatywa dla sosny. Las Polski (22): 20-21.
- Dobrowolska D. 2008. Odnowienie naturalne na powierzchniach uszkodzonych przez pożar w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. Leś. Pr. Bad. 69 (3): 255-264.
- Dobrowolska D. 2015. Forest regeneration in northeastern Poland following a catastrophic blowdown. Canadian Journal of Forest Research 45 (9): 1172-1182. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0507>.
- Drozdowski S., Andrzejczyk T., Brzeziecki B., Żybura H., Bolibok L., Buraczky W., Szeliński H., Bielak K., Gawron L., Oźga W., Widawska Z., Zajączkowski J., Dzwonkowski M., Sikora Ł., Żybura B. 2014. Planowanie hodowlane w rębni stopniowej gniazdowej udoskonalonej; zalecenia praktyczne w zakresie planowania hodowlanego w rębni stopniowej gniazdowej udoskonalonej w warunkach nizinnych. Raport końcowy z grantu OP-2710-4/U/10 zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych. Maszynopis. KHL SGGW w Warszawie.
- Eckenwalder J. E. 2009. Conifers of the world: the complete reference. Timber Press, Portland.
- Egnell G. 2000. Silviculture and management of Scots pine in Sweden. Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie 1: 165-174. DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/682>.
- Eilmann B., Rigling A. 2012. Tree-growth analyses to estimate tree species' drought tolerance. Tree Physiology 32: 178-187.
- Eilmann B., Roman Z., Buchmann N., Pannatier E., Rigling A. 2011. Drought alters timing, quantity, and quality of wood formation in Scots pine. Journal of Experimental Botany 62: 2763-2771. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq443>.
- Faliński J. B. 1986. Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests. Ecological Studies in Białowieża forest. Geobotany 8: 1-537.
- Forest management in Sweden. Current practice and historical background. 2020. Swedish Forest Agency. Rapport 2020/4.
- Galdina T., Khazova E. 2019. Adaptability of *Pinus sylvestris* L. to various environmental conditions. IOP Conf. Ser.: Earth Environ Sci. 316 012002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/316/1/012002>.
- Gallo J., Bilek L., Šimůnek V., Roig S., Fernández J. A. B. 2020. Uneven-aged silviculture of Scots pine in Bohemia and Central Spain: comparison study of stand reaction to transition and long-term selection management. Journal of Forest Science 66: 22-35. DOI: <https://doi.org/10.17221/147/2019-JFS>.
- Gil W., Kopryk W., Zachara T. 2004. Growth dynamics of Scots pine natural regeneration under the shelter of the stand in Polish lowland – a case study Ostrów Mazowiecka. Folia For. Pol. A 46: 21-28.
- Gil W., Zachara T. 2006. Analiza szkód od wiatru w wybranych drzewostanach świerkowych i sosnowych. Leś. Pr. Bad. 4: 77-99.
- Global Forest Resources Assessment. 2020. FAO, Rome.
- Grime J. P. 1979. Primary strategies in plants. Transactions of the Botanical Society of Edinburgh 43. DOI: <https://doi.org/10.1080/03746607908685348>.
- Hallikainen V., Hökkä H., Hyppönen., Rautio P., Valkonen S. 2018. Natural regeneration after gap cutting in Scots pine stands in northern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 34 (2): 115-125. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1557248>.
- Hallikainen V., Hyppönen M., Hyvönen J., Niemelä J. 2007. Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North-East Finnish Lapland. Silva Fennica 41 (1): 71-88. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.308>.
- Hüdar J. A., Castor J., Gümez J. M., García D., Zamora R. 1998. Effects of herbivory on growth and survival of seedlings and saplings of *Pinus sylvestris nevadensis* in SE Spain. W: Papanastasis V. P., Peter D. [red.]. Ecological basis of livestock grazing in Mediterranean ecosystems. Luxembourg. Publ. No. Eur 183008: 264-267.
- Ilmurzyński E., Mierzejewski W. 1956. Badania wartości hodowlanej istniejących samosiewów sosny pospolitej. Sylwan 100 (1): 72-84.
- Iszkuło G., Armatys L., Dering M., Ksepko M., Tomaszewski D., Ważna A., Giertych M. J. 2020. Jemiola jako zagrożenie dla zdrowotności drzewostanów iglastych. Sylwan 164 (3): 226-236. DOI: <https://doi.org/10.26202/sywan.2019121>.
- Jagodziński A., Oleksyn J. 2009. Ekologiczne konsekwencje hodowli drzew w różnym zagęszczeniu. III. Stabilność drzewostanu, fitoklimat i różnorodność biologiczna. Sylwan 153 (4): 219-230. DOI: <https://doi.org/10.26202/sywan.2008077>.
- Juntunen V., Neuvonen S. 2006. Natural regeneration of Scots pine and Norway spruce close to the timberline in northern Finland. Silva Fennica 40 (3) ID. 329. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.329>.

- Kauhanen H. 2002. Occurrence of fires in the eastern Saariselkä area, north-west Russia. *Silva Fennica* 36 (1): 383-392. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.569>.
- Koivula M., Silvennoinen H., Koivula H., Tikkanen J., Tyrväinen L. 2020. Continuous-cover management and attractiveness of managed Scots pine forests. *Canadian Journal of Forest Research* 50 (8): 1-43.
- Krakau U. K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M. A., Schneck V. 2013. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). W: Pagues L. E. [red.]. Forest tree breeding in Europe: current state-of-the-art and perspectives. *Managing Forest Ecosystems* 25: 267-323. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-6146-9_6.
- Kuuluvainen T. 1994. Gap disturbance, ground microtopography, and the regeneration dynamics of boreal coniferous forests in Finland: a review. *Annales Zoologici Fennici* 31: 35-51.
- Lähde E., Laiho O., Norokorpi Y. 1999a. Diversity-oriented silviculture in the boreal zone of Europe. *Forest Ecology and Management* 118: 223-243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00504-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00504-0).
- Lähde E., Laiho O., Norokorpi Y., Saksa T. 1991. The structure of advanced virgin forests in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6: 527-537.
- Lähde E., Laiho O., Norokorpi Y., Saksa T. 1999b. Stand structure as the basic of diversity index. *Forest Ecology and Management* 115: 213-220. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00400-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00400-9).
- Laiho O., Lähde E., Pukkala T. 2011. Uneven-vs even-aged management in Finnish boreal forests. *Forestry* 84 (5): 547-556. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr032>.
- Lehtonen I., Venäläinen A., Kämäräinen M., Peltola H., Gregow H. 2016. Risk of large-scale fires in boreal forests of Finland under changing climate. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16: 239-253. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-239-2016>.
- Leśnictwo. 2019. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
- Linder P. 1998. Structural changes in two virgin boreal forest stands in central Sweden over 72 years. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 451-461. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827589809383006>.
- Linder P., Elfving B., Zackrisson O. 1997. Stand structure and successional trends in virgin boreal forest reserves in Sweden. *Forest Ecology and Management* 98: 17-33. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00076-5).
- Martín-Aleón S., González-Olabarria J. R., Cool L. 2010. Wind and snow damage in the Pyrenees pine forests: effect of stand attributes and location. *Silva Fennica* (44): 399-410.
- Martinez-Vilalta J., Lopez B., Loepfe L., Lloret F. 2012. Stand- and tree-level determinants of drought response of Scots pine radial growth. *Oecologia* 168: 877-888. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2132-8>.
- Milnik A. 2007. Zur Geschichte der Kiefernwirtschaft in Nordostdeutschland. W: Kätzel R., Möller K., Löffler S., Engel J., Liero K. [red.]. Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalde. 14-21.
- Möller A. 1922. *Der Dauerwaldgedanke*. Springer, Berlin.
- Montero G. 1994. Generalities on silviculture of *Pinus sylvestris* L. in Spain. W: Montero G., Elena R. [red.]. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie* 3: 251-257.
- Montes F., Cañellas I., Montero G. 2004. Characterisation of coarse woody debris in two Scots pine forests in Spain. W: Marchetti M. [red.]. *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe – from ideas to operationality*. *EFI Proceedings* 51: 171-180.
- Norokorpi Y. 1992. Natural structure and development of forest as the basis for alternative silvicultural methods in northern Finland. W: Hagner M. [red.]. *SLU, Department of Silviculture, 22-25 June 1992, Umeå. Silvicultural Alternatives: Proceedings from an Internordic Workshop* 35: 78-85.
- Nykänen M.-L., Peltola H., Quine C. P., Kelloäki S., Broadgate M. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica* 31 (2): 193-213.
- O'Hara K. 2014. *Multiaged silviculture: Managing for complex forest stand structures*. Oxford University Press.
- O'Hara K. L., Ramage B. S. 2013. Silviculture in an uncertain world: utilizing multi-aged management to integrate disturbance. *Forestry* 86: 401-410. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt012>.
- Östlund L., Zackrisson O., Axelsson A. L. 1997. The history and transformation of a Scandinavian boreal forest landscape since the 19th century. *Can. J. For. Res.* 27: 1198-1206. DOI: <https://doi.org/10.1139/x97-070>.
- Pardos M., Monte F., Cañellas I. 2008. Spatial dynamics of natural regeneration in two differently managed *Pinus sylvestris* stands before and after silvicultural intervention using replicated spatial point patterns. *Forest Science* 54: 260-272. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestscience/54.3.260>.
- Parviainen J., Schuck A., Bücking W. 1995. A Pan-European system for measuring biodiversity, succession and structure of undisturbed forests and for improving biodiversity-oriented silviculture. W: Bamsey C. R. [red.]. *Innovative Silvicultural Systems in Boreal Forests. Proc. IUFRO Symp. in Edmonton, Alberta, Canada, 2-8 October 1984*, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. 77-82.
- Pasanen H., Rouvinen S., Kouki J. 2016. Artificial canopy gaps in the restoration of boreal conservation areas: long-term effects on tree seedling establishment in pine-dominated forests. *European Journal of Forest Research* 135 (4): 697-706. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0965-8>.
- Plewa R., Mokrzycki T. 2017. Występowanie, biologia i znaczenie gospodarcze kornika ostrozębnego *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) w Polsce. *Sylwan* 161 (8): 619-629. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2017077>.

- Puettmann K. J., Coates K. D., Messier C. 2009. A Critique of Silviculture: Managing for Complexity. Island Press.
- Pukkala T. 2016. Plenterwald, Dauerwald, or clearcut? Forest Policy and Economics 62: 125-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.09.002>.
- Repo T., Zhang G., Ryyppö A., Rikala R., Vuorinen M. 2000. The relation between growth cessation and frost hardening in Scots pines of different origins. Trees: Structure and Function 14: 456-464.
- Richardson D. M., Higgins S. I. 1998. Pines as invaders in the southern hemisphere. Ecology and Biogeography of Pinus. Cambridge University Press. Cambridge. 450-473.
- Roekaerts M. 2002. The Biogeographical Regions Map of Europe. Basic principles of its creation and overview of its development. European Environment Agency.
- Rosenvald R., Rosenvald K., Kaart T., Soolmann E. 2020. Effects of stand parameters on conifer regeneration success in pine shelterwood stands in Estonia. European Journal of Forest Research 139: 29-40. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01255-6>.
- Rouvinen S., Kouki J. 2011. Tree regeneration in artificial canopy gaps established for restoring natural structural variability in a Scots pine stand. Silva Fennica 45: 1079-1091. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.88>.
- Rouvinen S., Kuuluvainen T., Siitonen J. 2002. Tree mortality in a *Pinus sylvestris* dominated boreal forest landscape in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. Silva Fennica 36 (1): 127-145. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.554>.
- Sánchez-Salguero R., Linares J. C., Camarero J. J., Madrigal-González J., Hevia A., Sánchez-Miranda Á., Rigling A. 2015. Disentangling the effects of competition and climate on individual tree growth: a retrospective and dynamic approach in Scots pine. Forest Ecology and Management 358: 12-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.08.034>.
- Sarkkola S., Hökkä H., Penttilä T. 2004. Natural development of stand structure in peatland Scots pine following drainage: results based on long-term monitoring of permanent sample plots. Silva Fenn 38: 405-12. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.408>.
- Schabel H. G. 2001. Deer and Dauerwald in Germany: any progress? Wildlife Society Bulletin 29 (3): 888-898.
- Schelhaas M.-J., Nabuurs G.-J., Schuck A. 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. Global Change Biology 9: 1620-1633. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2003.00684.x>.
- Schütz J.-Ph. 2001. Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder. Parey, Berlin.
- Sewerniak P. 2009. Wpływ warunków glebowych na kształtowanie się bonitacji drzewostanów sosnowych. Rozprawa doktorska. Maszynopis. Toruń – Warszawa.
- Sewerniak P. 2010. Analiza wpływu pożaru na wybrane cechy fitocenozy boru sosnowego w aspekcie hodowli lasu. W: Gonet S. S., Sewerniak P. [red.]. Środowiskowe skutki pożaru lasu. Polskie Tow. Subst. Humusowych, Wrocław. 83-107.
- Shorohova E., Kuuluvainen T., Kangur A., Jõgiste K. 2009. Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies. Annals of Forest Science 66: 201-220. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest/2008083>.
- Skłodowski J. 2020. Two directions of regeneration of post-windthrow pine stands depend on the composition of the undergrowth and the soil environment. Forest Ecology and Management 461: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117950>.
- State of Finland's Forests. Based on the Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management. 2011. Finnish Forest Research Institute.
- Sundseth K., Barova S. 2009. Natura 2000 in the Black Sea Region. European Commission Environment Directorate General. DOI: <https://doi.org/doi:10.2779/7908>.
- Szczygieł R. 2012. Wielkoobszarowe pożary lasów w Polsce. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza 1: 67-78.
- Szmyt J., Ceitel J. 2011. Zróżnicowanie przestrzenne i grubościowe drzew w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym. Sylwan 155 (11): 749-759. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2011010>.
- Szmyt J., Tarasiuk S. 2018. Species-specific spatial structure, species coexistence and mortality pattern in natural, uneven-aged Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – dominated forest. European Journal of Forest Research 137: 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1084-x>.
- Tishler M., Tullus T., Jäärats A., Lutter R., Lundmark T., Tullus H. 2020. Effects of shelterwood method and plant stock type on the early growth and survival of pine seedlings in regeneration stands under hemiboreal conditions. Scandinavian Journal of Forest Research 35: 85-95. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1707273>.
- Tomeczak A., Pazdrowski W., Jelonek T., Grzywiński W. 2009. Jakość drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) Część III. Wpływ postępowania gospodarczego na jakość drewna. Sylwan 153 (8): 5019-527. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2008049>.
- Tomeczyk S. 1993. Odnowienie naturalne. Sosna. Biblioteczka leśniczego 29.
- Tullus T., Rosenvald R., Leis M., Löfhus P. 2018. Impacts of shelterwood logging on forest bryoflora: Distinct assemblages with richness comparable to mature forests. Forest Ecology and Management 411: 67-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.019>.

- Valkonen S. 2000. Effect of retained Scots pine trees on regeneration, growth, form, and yield of forest stands, Invest. Agr.: Sist. Recur. For. 1: 121-145.
- Vilà Cabrera A., Martínez Vilalta J., Vayreda J., Retana J. 2011. Structural and climatic determinants of demographic rates of Scots pine forests across the Iberian Peninsula. Ecological Applications 21: 1162-1172. DOI: <https://doi.org/10.1890/10-0647.1>.
- Waldbaurichtlinie für das Land Brandenburg Kiefer. 2016. Landesbetriebes Forst Brandenburg.
- Wallenius T. 2011. Major decline in fires in coniferous forests – reconstructing the phenomenon and seeking for the cause. Silva Fennica 45 (1): 139-155. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.36>.
- Wallenius T., Kuuluvainen T., Heikkilä R., Lindholm T. 2002. Spatial tree age structure and fire history in two old-growth forests in eastern Fennoscandia. Silva Fennica 36 (1): 185-199. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.557>.
- Weck H. 1947. Die Kiefer Ostelbiens und das Plenterprinzip, Schweiz. Z. Forstwes. 98 (6): 190-213, 228-239.
- Zajączkowski G., Zachara T., Vytseha V., Mionskowski M. 2010. Określenie potencjalnych możliwości naturalnego odnowienia lasu na podstawie analizy danych z wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu o występowaniu nalotów głównych gatunków lasotwórczych. Dokumentacja Instytutu Badawczego Leśnictwa. Październik 2010 r, Sękocin Stary.
- Zamora R., Gómez J. M., Hódar J. A., Castro J., García D. 2001. Effect of browsing by ungulates on sapling growth of Scots pine in a Mediterranean environment: consequences for forest regeneration. Forest Ecology and Management 144: 33-42. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00362-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00362-5).
- Zaniewski P., Bernatowicz A., Kozub Ł., Truszkowska E., Dembicz I., Wierzbica M. 2014. Traditionally managed patch of Cladonia-Scots pine forest in the Biebrza valley – specificity of the protected forest community shaped by human activity. Ecological Questions 20: 45-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2014.015>.