

KRZYSZTOF CZYŻYK, BOLESŁAW PORTER

Wpływ małych śródleśnych zbiorników wodnych na przyrost radialny drzew

Impact of small mid-forest water reservoirs on trees radial increment

ABSTRACT

Czyżyk K., Porter B. 2018. Wpływ małych śródleśnych zbiorników wodnych na przyrost radialny drzew. Sylwan 162 (7): 539-546.

The aim of the study was to determine the effect of small forest water reservoirs on the radial increment of Scots pine and Norway spruce. We selected four small water reservoirs that were reconstructed in autumn 2006 in the Maskulińskie Forest District (northern Poland). Around each reservoir we placed transects according to the cardinal directions. At those transects we set up 10×10 m sample plots at different distances from the edge of the water reservoirs. On the each sample plot we made simplified phytosociological releve and set the type, subtype, and variety of soil. The impact of the water reservoirs on the radial increment was determined for Scots pine and Norway spruce growing on transects. Conducted research showed that the examined species stronger reacted to the water stored in the reservoirs by diameter increase in the initial two or three years after the reservoir reconstruction. The increment of Scots pine growing near to edge of the water reservoirs (up to 20 m) was reduced. In contrast, there was no significant impact of environmental features or weather conditions on radial increment of the analysed species.

KEY WORDS

small retention, radial increment

ADDRESSES

Krzysztof Czyżyk ⁽¹⁾ – e-mail: krzysztof_czyzyk@sggw.pl

Bolesław Porter ⁽²⁾ – e-mail: boleslaw_porter@sggw.pl

⁽¹⁾ Samodzielny Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Katedra Użytkowania Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Stały wzrost liczby ludności i rozwijająca się jednocześnie gospodarka przyczyniają się do podwyższenia temperatury oceanów i wzrostu średniej globalnej temperatury powietrza [Kędziora 1996; Kędziora, Olejnik 2002; Michalska 2011]. Zmiany klimatyczne mogą doprowadzać do zmian w szacie roślinnej, wywierając wpływ na wielkość parowania, przechwytywanie opadów i uwilgotnienie gleb [Milly i in. 2010]. Światowy rozwój gospodarczy skutkuje podwyższaniem średniej globalnej temperatury oceanów i powietrza oraz topnieniem pokrywy lodowcowej [Kędziora 1996]. Następuje również wzrost liczby i siły anomalii pogodowych: trąb powietrznych, cyklonów, fal upałów itp. [Kozuchowski 2004].

Problem gospodarowania zasobami wodnymi dotyczy również terenów leśnych. W związku ze zmianami klimatycznymi i wzrostem temperatury wydłuża się okres wegetacyjny, natomiast zmniejsza się ilość wody dostarczanej w postaci opadów, przyspiesza się również jej odpływ w okresie przedwiośnia i wiosny. Skutkiem może być wywołanie stresu prowadzącego do zmniejszenia produkcji, a nawet zamierania poszczególnych gatunków roślin [Climate... 2013].

W Lasach Państwowych od lat 50. do 90. XX wieku przeprowadzono prace melioracyjne na obszarze ponad 850 tys. ha [Wiśniewski 1996; Pierzgalski 2004; Zabrocka-Kostrubiec 2008]. Celem tych prac było zarówno uproduktywnienie śródleśnych terenów podmokłych pod przyszłe drzewostany, jak i intensyfikacja produkcji leśnej, która miała wypełnić braki surowca drzewnego w przemyśle. W wyniku tych działań obniżył się poziom wód powierzchniowych i gruntowych, zmniejszyła się różnorodność zarówno lokalnych ekosystemów leśnych, jak i graniczących z lasami, zaszły także poważne zmiany we florze i faunie [Ryszkowski i in. 2003; Borecki i in. 2004; Pierzgalski 2004; Miler i in. 2015].

Dopiero pod koniec lat 80. ubiegłego wieku zauważono, że degradacja środowiska leśnego może być spowodowana niewłaściwym gospodarowaniem zasobami wodnymi, dlatego też zaniechano stosowania urządzeń odwadniających. Do 2006 roku nadleśnictwa realizowały inwestycje związane z retencjonowaniem wód we własnym zakresie, korzystając ze środków własnych pochodzących z funduszu leśnego oraz dofinansowania z różnych źródeł, w tym środków Eko-Funduszu oraz Narodowego i Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej [Mioduszewski, Pierzgalski 2007; Zabrocka-Kostrubiec 2008; Pierzgalski 2009].

W latach 1998-2006 wykonano w lasach ponad 1200 zbiorników retencyjnych o łącznej pojemności około 8,5 mln m³, a także ponad 2200 różnego typu budowli piętrzących, takich jak progi, zastawki, groble, mnichy i jazy, mogących przechwytywać i magazynować wodę podczas jej nadmiarów, jednocześnie zasilając wodami podziemnymi ekosystemy leśne w okresie suszy [Mioduszewski, Pierzgalski 2007; Zabrocka-Kostrubiec 2008]. Stwierdzono również przypadki negatywnego oddziaływania zwiększonego poziomu wód powierzchniowych i gruntowych na otoczenie. Zostały wyparte iglaste gatunki drzew preferujące bardziej suche gleby (np. sosna zwyczajna i świerk pospolity), a na ich miejsce pojawiły się gatunki liściaste znoszące nadmierne uwilgotnienie gleby, np. olsza czarna [Włoczewski 1968; Ryś 2008].

Celem badań było określenie wpływu małych śródleśnych zbiorników wodnych na przyrost radialny drzew. Przyjęto hipotezę, że odtworzone zbiorniki retencyjne nie wpływają na zwiększony dostęp korzeni drzew do podziemnych zasobów wodnych, zatem przyrost radialny drzew rosnących w różnej odległości od krawędzi zbiornika nie powinien się istotnie różnić w okresie przed inwestycją i po jej wykonaniu.

Material i metody

W 2011 roku na terenie Nadleśnictwa Maskulińskie w leśnictwie Baranowo wytypowano cztery zbiorniki wodne zlokalizowane w pododdziałach 258h, 258f, 256h i 256f. Zbiorniki zostały wykonane jesienią 2006 roku w miejscu lokalnego obniżenia terenu, o największej możliwości gromadzenia wody [Czyżyk 2015]. Od zbiorników, zgodnie z głównymi kierunkami geograficznymi, wytyczono transekty o długości 105 m i szerokości 10 m. Na każdym transekcie założono powierzchnie badawcze o wymiarach 10×10 m według następującego schematu: pierwsza – przylegająca do krawędzi zbiornika, druga – w odległości 25 m od niego, trzecia – oddalona o 50 m, czwarta – o 100 m. W czerwcu 2013 roku na powierzchniach wykonano metodą Braun-Blanqueta [1951] uproszczone zdjęcia fitosocjologiczne, zawierające opis zbiorowiska roślinności oraz typ siedliskowy lasu (TSL). Na podstawie pobranych świdrem glebowym próbek określono za pomocą atlasu Brożka i Zydaka [2003] typ, podtyp oraz gatunek gleby.

Wpływ wody zgromadzonej w zbiornikach na przyrost grubości drzew analizowano na podstawie porównywania przyrostu grubości drzew: w latach 2007-2013, czyli po wykonaniu zbiorników wodnych (PO), oraz w okresie 2000-2006 – przed wykonaniem zbiorników (PRZED).

Analizą objęto sosnę zwyczajną (VI klasa wieku) oraz świerk pospolity (IIIb klasa wieku). Ze wszystkich drzew rosnących w warstwie górującej i panującej na transektach pobrano po dwa wywierty (od strony południowej i zachodniej drzewa) w celu wykluczenia zaburzeń wywołanych wiatrami zachodnimi [Cook, Kairiukstis 1990; Mäkinen, Vanninen 1999]. Każdej próbce nadano numer oraz sporządzono notkę opisującą gatunek drzewa, miejsce wywiertu, pierśnicę zmierzoną średnicomierzem „na krzyż” (północ-południe i wschód-zachód) oraz jego odległość od lustra wody [Zielski, Krąpiec 2009]. Wywierty dordzeniowe pobrano w listopadzie 2013 roku za pomocą świdra Presslera. Po trzymiesięcznym okresie suszenia w temperaturze pokojowej zeszlifowano je do uwidocznienia przekroju poprzecznego, następnie zeskanowano [Pilcher 1990; Barniak, Krąpiec 2009]. Pomiar przyrostu szerokości słoików z poszczególnych lat przeprowadzono za pomocą programu komputerowego CooRecorder szwedzkiej firmy Cybis Elektronik & Data AB z dokładnością do 0,01 mm.

Do analiz statystycznych wykorzystano regresję wielokrotną, pozwalającą na uchwycenie złożoności zjawisk zachodzących w przyrodzie. Jej wykonanie poprzedziło zbadanie korelacji między zmiennymi objaśniającymi, w celu wykluczenia znacząco skorelowanych zmiennych, gdyż w przypadku nadmiernej korelacji ($r > 0,9$) współczynniki regresji mogą zawierać znaczne wartości błędów standardowych, co z kolei negatywnie wpłynęłoby na istotność statystyczną zmiennych objaśnianych [Drozdowski 2013]. Zmiennym typu nominalnego (zbiorowiska roślinne, typ siedliskowy lasu oraz podtypy gleb) przypisano rangi w skali porządkowej. Do analiz statystycznych wykorzystano współczynnik korelacji Pearsona, a w przypadkach, w których użyto rang w skali porządkowej – test U Manna-Whitneya. Przyrost grubości porównywano parami (przyrost PO do przyrostu PRZED), gdzie: R1 oznacza różnicę przyrostu grubości między latami 2007 i 2006, R2 – różnicę między latami 2007-2008 i 2005-2006, R3 – różnicę między latami 2007-2009 i 2004-2006, natomiast R7 – różnicę między latami 2007-2013 i 2000-2006.

Wpływ cech środowiskowych (zbiorowiska roślinne, typy siedliskowe lasu oraz podtypy gleb) na przyrost grubości drzew w latach 2007-2013 oraz 2000-2006 określono na podstawie macierzy korelacyjnej z poziomem istotności $p=0,05$.

Oddziaływanie warunków klimatycznych na przyrost grubości drzew określono na podstawie porównania przyrostu z dwóch siedmioletnich przedziałów: lata 2007-2013 (PO) oraz 2000-2006 (PRZED). Analizowano miesięczne sumy opadu atmosferycznego (O) oraz średnią miesięczną temperaturę powietrza (T) z różnych przedziałów czasowych:

- O1 (T1) – pięciomiesięczny, od kwietnia do września roku poprzedzającego przyrost (poprzedni sezon wegetacyjny),
- O2 (T2) – dwunastomiesięczny, od kwietnia roku poprzedzającego do marca roku, w którym formował się przyrost,
- O3 (T3) – osiemnastomiesięczny, od kwietnia roku poprzedzającego do września roku, w którym uformował się przyrost,
- O4 (T4) – pięciomiesięczny, od kwietnia do września roku, w którym uformował się przyrost (bieżący sezon wegetacyjny).

Analizy dendrochronologiczne poprzedziło zbadanie indeksu suszy de Martonne’a [1926], na podstawie którego można wykluczyć obecność suszy w badanych latach. Dane dotyczące warunków

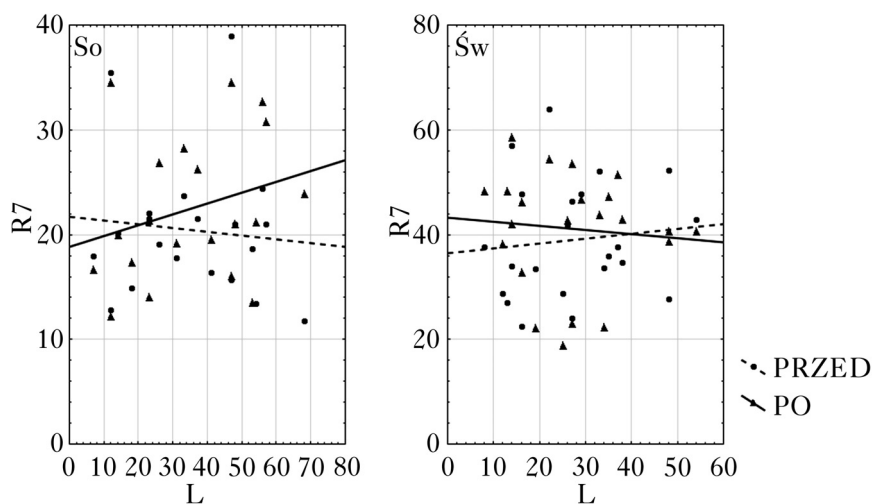
atmosferycznych z lat 1999-2013 uzyskano z najbliższej położonej stacji meteorologicznej IMGW PIB w Mikołajkach.

Analizy statystyczne przeprowadzono w programie Statistica 12 (Dell, Inc.).

Wyniki

Średni sumaryczny przyrost grubości w latach 2007-2013 (PO) był istotnie wyższy w porównaniu z przyrostem z lat 2000-2006 (PRZED). Większym średnim przyrostem grubości charakteryzował się świerk pospolity, zarówno po wykonaniu zbiorników wodnych (5,5-6,6 mm), jak i przed ich wykonaniem (4,9-6,0 mm). Mniejszy średni przyrost grubości stwierdzono u sosny zwyczajnej: 2,8-3,4 mm PO oraz 2,6-3,1 mm PRZED wykonaniem zbiorników. Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ wody zgromadzonej w zbiornikach na przyrost grubości drzew: obliczone współczynniki korelacji Pearsona wyniosły dla sosny zwyczajnej $r=0,71$ przy $p<0,001$ oraz dla świerka pospolitego $r=0,63$ przy $p<0,001$.

Przed wykonaniem inwestycji sumaryczny przyrost grubości badanych gatunków drzew na całej długości transektu był zblizony. W przypadku sosny wraz z odległością drzew od zbiornika nieznacznie malał ($r=-0,10$), a w przypadku świerka nieznacznie rósł ($r=0,10$). Po odtworzeniu obiektów retencyjnych stwierdzono sytuację odwrotną: przyrost grubości dla sosny rósł wraz z odległością drzew od zbiornika ($r=0,27$), przy czym w najbliższej odległości od zbiornika (do 20 m) był on niższy w porównaniu do okresu PRZED. W przypadku świerka po wykonaniu inwestycji do około 30 m od krawędzi zbiornika przyrost był wyższy w porównaniu do lat wcześniejszych, a wraz ze wzrostem odległości drzew od zbiornika zmniejszał się ($r=-0,10$). Pomimo braku statystycznej istotności wpływu odległości drzew od krawędzi zbiorników na sumaryczny przyrost grubości można stwierdzić w przypadku sosny zwyczajnej trend wzrostu przyrostu grubości, a w odniesieniu do świerka pospolitego trend spadku przyrostu grubości (ryc. 1).



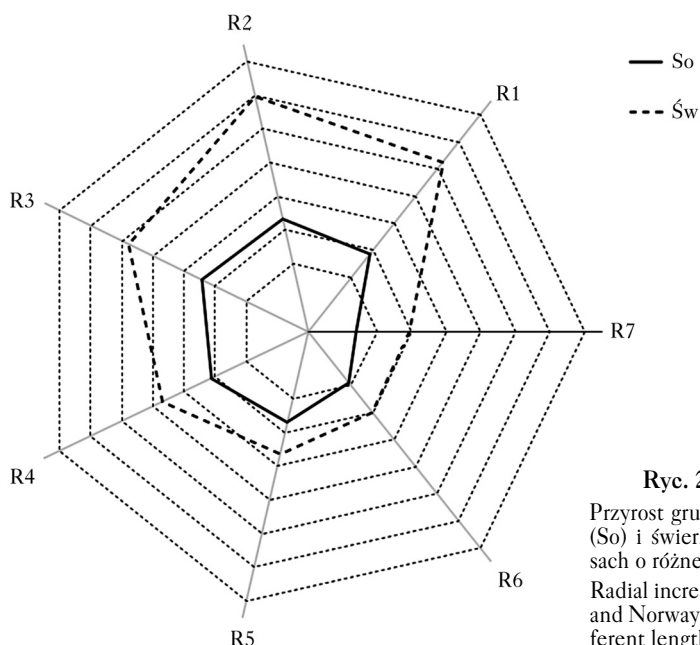
Ryc. 1.

Zależność sumarycznego siedmioletniego przyrostu grubości (R7 [mm]) sosny zwyczajnej (So) oraz świerka pospolitego (Św) przed (PRZED) i po (PO) utworzeniu zbiornika od odległości drzewa od jego krawędzi (L [m])

Relationship between cumulative seven-year radial increment (R7 [mm]) of Scots pine (So) or Norway spruce (Św) before (PRZED) and after (PO) water reservoir establishment and the distance from its edge (L [m])

Badane gatunki drzew najsilniej zareagowały na zgromadzoną w zbiornikach wodę wzmocnionym przyrostem grubości w pierwszych dwóch-trzech latach po odtworzeniu zbiorników (ryc. 2). Widoczny jest zwiększony przyrost dla sosny zwyczajnej i świerka pospolitego już w następnym roku po wykonaniu zbiorników (R1). Większe różnice odnotowano w dwuletnim przedziale czasowym (R2), natomiast począwszy od trzeciego przedziału czasowego wartości przyrostu zaczynają systematycznie zmniejszać (R3-R7). U sosny zwyczajnej tendencja wzrostowa utrzymywała się przez cztery lata, zaś u świerka pospolitego przez trzy. Tendencja malejąca przyrostu grubości pokazana jako zmniejszające się różnice może oznaczać, że drzewa po początkowym szoku spowodowanym zwiększeniem uwilgotnienia oswoiły się z sytuacją i przestały reagować na nią przyrostem na grubość.

Nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu zbiorowiska roślinnego (ZR), typu siedliskowego lasu (TSL) oraz podtypu gleby (PG) na przyrost grubości badanych gatunków drzew (tab. 1). Nie stwierdzono również istotnego wpływu warunków klimatycznych na przyrost drzew na grubość, zarówno przed odtworzeniem zbiorników wodnych, jak i po ich odtworzeniu (tab. 2).



Ryc. 2.

Przyrost grubości [mm] sosny zwyczajnej (So) i świerka pospolitego (Św) w okresach o różnej długości (R1-R7)

Radial increment [mm] of Scots pine (So) and Norway spruce (Św) in periods of different length (R1-R7)

Tabela 1.

Współczynnik korelacji między sumarycznym przyrostem grubości sosny zwyczajnej (So) i świerka pospolitego (Św) przed (PRZED) i po (PO) utworzeniu oczek wodnych a zbiorowiskiem roślinnym (ZR), siedliskowym typem lasu (TSL) i podtypem gleby (PG)

Correlation coefficient between the cumulative increment of Scots pine (So) or Norway spruce (Św) before (PRZED) and after (PO) water reservoir establishment and plant community (ZR), forest habitat type (TSL) and soil subtype (PG)

		ZR	TSL	PG
So	PO	-0,05	-0,17	-0,05
	PRZED	0,10	-0,18	-0,27
Św	PO	0,04	0,32	0,36
	PRZED	-0,29	0,00	0,10

Tabela 2.

Współczynnik korelacji (r) między sumarycznym przyrostem grubości sosny zwyczajnej (So) i świerka pospolitego (Św) przed (PRZED) i po (PO) utworzeniu oczek wodnych a zmiennymi klimatycznymi (O – opady, T – temperatura)

Correlation coefficients (r) between the cumulative increment of Scots pine (So) or Norway spruce (Św) before (PRZED) and after (PO) water reservoir establishment and climate variables (O – precipitation, T – temperature)

			O1	O2	O3	O4	T1	T2	T3	T4
So	PO	r	0,31	0,44	0,13	-0,42	-0,30	0,63	0,63	-0,18
		p	0,50	0,33	0,78	0,34	0,52	0,13	0,13	0,69
	PRZED	r	0,48	0,33	0,54	0,21	-0,41	0,57	0,24	-0,39
		p	0,27	0,47	0,22	0,65	0,36	0,18	0,61	0,39
Św	PO	r	-0,2	0,00	-0,35	-0,59	-0,65	0,28	0,31	0,05
		p	0,67	1,00	0,45	0,16	0,12	0,54	0,50	0,92
	PRZED	r	-0,33	-0,08	-0,26	-0,20	0,14	0,30	0,06	-0,31
		p	0,46	0,87	0,57	0,67	0,76	0,51	0,90	0,50

Dyskusja

Analiza średniego przyrostu grubości drzew rosnących na transektach wskazuje, że woda zgromadzona w odtworzonych zbiornikach retencyjnych wpłynęła na jego zwiększenie. Najsilniej na zgromadzoną wodę zareagował świerk pospolity, którego średni roczny przyrost wzrósł o około 0,5 mm, słabiej sosna zwyczajna (0,3-0,4 mm). Podobne wyniki uzyskali Szymkiewicz [1938], Pierzgałski i in. [2012] oraz Wilczyński [2013]. Badacze ci wskazali również na zależność pomiędzy przyrostem drzew na grubość a wzrostem temperatury powietrza i opadów atmosferycznych z miesiący, w których formował się przyrost. Jednak w niniejszych badaniach nie stwierdzono istotnego statystycznie oddziaływania zarówno średniej temperatury powietrza, jak i wielkości opadów atmosferycznych na przyrost grubości drzew, przeciwnie do wyników uzyskanych przez Puchalskiego [1961] i Radziwińskiego [1963].

U sosny zwyczajnej przed wykonaniem inwestycji sumaryczny siedmioletni przyrost grubości utrzymywał się na zbliżonym poziomie, niezależnie od odległości drzew od krawędzi zbiornika. Natomiast po odtworzeniu zbiorników wodnych u drzew rosnących najbliżej (do około 20 metrów od krawędzi) stwierdzono zmniejszenie przyrostu, a u drzew rosnących dalej wzmógł przyrost, rosnący wraz ze wzrostem odległości od zbiornika.

W przypadku świerka pospolitego przyrost grubości drzew, zarówno przed odtworzeniem zbiorników, jak i po nim, rósł wraz ze wzrostem odległości drzew od zbiornika, zgodnie ze zmniejszaniem się uwilgotnienia i żyzności siedlisk. Dodatkowa ilość wody wpłynęła dodatnio na zwiększanie się szerokości stojów. Może to wynikać z preferowania przez świerk uboższych gleb oraz łatwo dostępnych dla korzeni zasobów wody. Potwierdzają to wcześniejsze obserwacje Przybylskiego [1970] i Jaworskiego [2011].

Uchwycenie zmian przyrostu grubości drzew w kolejnych latach pozwoliło na określenie okresu najintensywniejszego przyrostu drzew po zmianie zasobów wodnych. Badania wykazały, że już od pierwszego roku po wykonaniu zbiorników u sosny i świerka zwiększył się przyrost na grubość. U sosny zwyczajnej tendencja ta utrzymywała się przez cztery lata, u świerka pospolitego przez trzy. Tendencja malejąca przyrostu grubości w kolejnych latach może oznaczać, że drzewa po początkowym szoku spowodowanym zwiększeniem uwilgotnienia oswoiły się z sytuacją i przestały reagować zwiększonym przyrostem. Najsilniej w pierwszym roku zareagował świerk pospolity, z kolei sosna zwyczajna (zwiększająca grubość stojów od pierwszego roku) osiągnęła

maksimum dopiero w trzecim roku, zaś spadki w kolejnych latach nie były tak gwałtowne jak w przypadku świerka pospolitego. Oznaczać to może, że po wspomnianych latach korzenie drzew dostosowały się do zmienionych warunków wodnych, a ich reakcja stała się mniej impulsywna. Zbliżoną reakcję drzew na zmianę warunków wodnych opisali Szymkiewicz [1938] i Pohl [1954].

Wnioski

- ✚ Po wykonaniu małych śródleśnych zbiorników wodnych przyrost na grubość analizowanych gatunków drzew był wyższy. Najsilniej na zgromadzoną wodę zareagował świerk pospolity (przyrost grubości był wyższy średnio o około 0,5 mm), słabiej sosna zwyczajna (średnio 0,3-0,4 mm).
- ✚ U sosny zwyczajnej stwierdzono zmniejszenie przyrostu w strefie do 20 metrów od zbiorników wodnych, natomiast wraz ze wzrostem odległości przyrost był większy niż w latach poprzedzających inwestycję. U świerka pospolitego zanotowano wzrost przyrostu grubości wraz ze spadkiem uwilgotnienia i żyzności siedlisk.
- ✚ Obydwa gatunki drzew zareagowały zwiększonym przyrostem grubości już w pierwszym roku po wykonaniu zbiorników, przy czym świerk pospolity maksimum osiągnął w pierwszym, zaś sosna pospolita dopiero w trzecim roku. Po tym okresie drzewa dostosowały się do zmienionych warunków wodnych, a ich reakcja na nie stała się mniej widoczna.
- ✚ Badania wykazały, że w opisanych warunkach niewielki wpływ na przyrost grubości drzew miały warunki pogodowe. Największe, jednak statystycznie nieistotne znaczenie miały średnia temperatura powietrza oraz wielkość opadu atmosferycznego w roku poprzedzającym przyrost.

Literatura

- Barniak J., Krąpiec M. 2009. Wpływ działalności przemysłowej na drzewostany sosnowe w rejonie Tarnobrzega w świetle analizy dendrochronologicznej. *Sylwan* 153 (12): 825-835.
- Borecki T., Pierzgański E., Żelazo J. 2004. Woda jako strategiczny czynnik rozwoju obszarów niezurbanizowanych. *Gospodarka Wodna* 6: 220-227.
- Braun-Blanquet J. 1951. *Pflanzensoziologie, Gründzunge der Vegetationkunde*. Wydawnictwo Springer, Wiedeń.
- Brożek S., Zwydak M. 2003. *Atlas gleb leśnych Polski*. CILP, Warszawa.
- Climate change guidelines for forest managers. 2013. *FAO Forestry Paper* 172: 7-63.
- Cook E. R., Kairiukstis L. A. 1990. *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Dordrecht, Nederland, Kluwer Academic Publishers.
- Czyżyk K. 2015. Oddziaływanie małych śródleśnych zbiorników wodnych na wybrane elementy środowiska przyrodniczego. Praca doktorska. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, SGGW w Warszawie.
- Drozdowski S. 2013. Modelowanie procesów odnowieniowych w lesie naturalnym. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Jaworski A. 2011. *Hodowla lasu. T. 3. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych*. PWRiL, Warszawa.
- Kędziora A. 1996. Impact of climate and land use changes on heat and water balance structure in an agricultural landscape. *Zeszyty Naukowe UJ* 102: 55-69.
- Kędziora A., Olejnik J. 2002. Water balance in agricultural landscape and options for its management by change in plant cover structure of landscape. W: Ryszkowki L. [red.]. *Landscape ecology in agroecosystems management*. 57-110.
- Koźuchowski K. 2004. *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w XX i XXI wieku*. Wydawnictwo Biblioteka, Łódź.
- Mäkinen H., Vanninen P. 1999. Effect of sample selection on the environmental signal derived from tree-ring series. *Forest Ecology and Management* 113: 83-89.
- de Martonne E. 1926. *Aréisme et indice aridité*. *Comptes Rendus de L'Acad Sci*, Paryż, Francja.
- Michalska B. 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 67-75.
- Miler A., Czerniak A., Grajewski S., Okoński B. 2015. Zmiany poziomu płytkich wód gruntowych w głównych siedliskach Puszczy Zielonka. *Sylwan* 159 (5): 435-440.

- Milly P. C. D., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R. M., Kundzewicz Z. W., Lettenmaier D. P., Stouffer R. J. 2010. On Critiques of 'Stationarity is Dead: Whither Water Management?'. *Water Resour. Res.* 51: 7785-7789. DOI: 10.1002/2015WR017408.
- Mioduszeowski W., Pierzgałski E. 2007. Koncepcja programowo-przestrzenna dla projektu „Zwiększanie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych”. CKPŚ, Warszawa.
- Pierzgałski E. 2004. Problematyka gospodarki wodnej w ekosystemach leśnych w Polsce i wybranych krajach UE. *Las a woda. Postępy Techniki w Leśnictwie* 86: 7-12.
- Pierzgałski E. 2009. Woda w ekosystemach leśnych. W: *Woda w obszarach niezurbanizowanych. Zeszyty Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji* 44: 41-55.
- Pierzgałski E., Tysza J., Wróbel M., Stolarek A., Janek M., Falencka-Jabłońska M., Szendera M., Kuczera J., Bruchwald A., Dmyterko E. 2012. Ocena wpływu obiektów małej retencji w lasach nizinnych na zmiany w ekosystemach leśnych i ograniczenie zagrożenia suszą. Maszynopis. IBL, Sękocin Stary.
- Pilcher J. R. 1990. Sample preparation, cross-dating, and measurement. W: Cook E. R., Kairiukstis L. A. [red.]. *Methods of dendrochronology, applications in the environmental sciences*. Kluwer, Dordrecht Boston London. 40-51.
- Pohl Z. 1954. Wpływ odwodnienia łąg nadodrzańskich na rozwój sąsiadujących z nimi drzewostanów sosnowych. PAN, Warszawa.
- Przybylski T. 1970. *Sosna zwyczajna. Nasze drzewa leśne*. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Puchalski T. 1961. Kształtowanie się świerków pod wpływem różnego siedliska i zagęszczenia na przykładzie młodnika w górnym reglu Pilska. *Rocznik Wyższej Szkoły Rolniczej*, Poznań.
- Radziwiński S. 1963. Zależność rozmiaru szkód w odnowieniach podokapowych od sposobu ścinki i zrywki oraz rozmieszczenia drzew i podrostu. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Ryszkowski L., Bałazy S., Kędzióra A. 2003. Kształtowanie i ochrona zasobów wodnych na obszarach wiejskich. Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań.
- Ryś A. 2008. Ochrona i regeneracja ekosystemów mokradłowych na terenie LKP „Lasy Mazurskie” na przykładzie Nadleśnictwa Strzałowo. *Funkcjonowanie i ocena realizacji programu. Studia i Materiały CEPL* 18: 64-86.
- Szymkiewicz B. 1938. Wpływ odwodnienia na rozwój drzewostanów sosnowych. Doświadczalnictwo leśne. IBL, Warszawa.
- Wilczyński S. 2013. Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk. *Sylwan* 157 (9): 662-670.
- Wiśniewski S. 1996. Dotychczasowe metody regulacji stosunków wodnych w lasach i ich efekty. *Sylwan* 140 (11): 75-83.
- Włoczewski T. 1968. *Ogólna hodowla lasu*. PWRiL, Warszawa.
- Zabrocka-Kostrubiec U. 2008. Mała retencja w Lasach Państwowych – stan i perspektywy. *Studia i Materiały CEPL* 2 (18): 55-63.
- Zielski A., Krapiec M. 2009. *Dendrochronologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.