

Wpływ zanieczyszczeń z fabryki płyt wiórowych w Szczecinku na przyrost radialny sosny zwyczajnej

Szymon Bijak, Krzysztof Sobajtis

Abstrakt. W pracy zbadano wpływ zanieczyszczeń z powstałej w 1989 roku fabryki płyt wiórowych Kronospan w Szczecinku (53,69°N, 16,71°E) na przyrost radialny sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rosnącej w pobliżu zakładów. Do badań wybrano trzy drzewostany (A – referencyjny, B – bardziej zanieczyszczony, C – mniej zanieczyszczony), które wzrastały na siedlisku lasu mieszanego świeżego. W każdym z drzewostanów, z 20 dominujących sosen pobrano po wywiercie dordzeniowym. Opracowano chronologie rzeczywiste i standardowe szerokości słoju przyrostu rocznego oraz szerokości drewna późnego. Zbudowane chronologie objęły okres 1952-2016 (A), 1958-2016 (B) i 1953-2016 (C). Przebieg zmian szerokości słoja przyrostu rocznego i drewna późnego był dość podobny w całym okresie życia badanych drzew i nie wykazywał wpływu Kronospanu (Glk 59-73%). Widoczne u wszystkich analizowanych drzew wyraźne obniżenie przyrostu w roku 1980 spowodowane było prawdopodobnie gradacją brudnicy mniszki. Działalność zakładu wpłynęła jednak wyraźnie na średnią szerokość słoja rocznego, szerokość drewna późnego oraz udział drewna późnego, które były istotnie mniejsze na powierzchni B niż na powierzchniach A i C.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia przemysłowe, *Pinus sylvestris*, dendrochronologia

Abstract. Impact of pollution from the chipboard factory in Szczecinek on the radial increment of Scots pine. The study investigated the influence of pollutants from the Kronospan chipboard factory in Szczecinek (53.69°N, 16.71°E) established in 1989 on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing near the plant. For the study we selected three tree stands (A – reference, B – more polluted, C – less contaminated), which grew on the mixed fresh forest (mesotrophic) habitat. In each stand, we sampled 20 dominant pines. The raw and standard chronologies of the whole tree-ring and latewood widths were developed. The chronologies covered the period 1952-2016 (A), 1958-2016 (B) and 1953-2016 (C). The changes in tree-ring and latewood widths in the studied pines were quite similar throughout their life and did not show any impact of Kronospan (Glk 59-73%). The apparent decrease in the increment in 1980 in all the analyzed trees was probably caused by the gradation of the nun moths. However, the activity of the chipboard factory clearly affected the average tree-ring width, the latewood width and the share of latewood, which were significantly lower on the plot B than on the A and C ones.

Wstęp

Odkładane przez drzewa słoje przyrostu rocznego powstają w wyniku aktywności kambium, która jest kształtowana przez takie czynniki jak pochodzenie drzewa, jego wiek, częstotliwość i obfitość owocowania, geometria pnia czy wpływ panujących w danym czasie warunków środowiskowych (temperatura powietrza, opady atmosferyczne, dostępność substancji pokarmowych). Istotnym czynnikiem modyfikującym proces tworzenia drewna jest także działalność człowieka – gospodarka leśna oraz zanieczyszczenia powietrza czy gleby (Schweingruber 1996, Zielski i Krapiec 2009, Duszyński 2014, Bijak i Mądrzak 2016).

Zanieczyszczenie atmosfery może powodować u roślin uszkodzenia aparatu asymilacyjnego takie jak obumieranie liści czy przebarwienia wynikające z niedoboru chlorofilu (chloroza). Przez osadzanie na powierzchni liścia cząstki pyłów redukują powierzchnie absorpcji światła. Mogą także zatykać aparaty szparkowe, co z kolei może znacznie ograniczyć wymianę gazową. W efekcie może to skutkować ograniczeniem lub zaburzeniem aktywności kambium i redukcją przyrostu. Odporność na takie substancje jak siarka, amoniak lub metale ciężkie jest różna dla poszczególnych gatunków (Jaworski 1994). Także wielkość utraty aparatu asymilacyjnego, przy jakiej wystąpić mogą zaburzenia przyrostu, jest różna dla poszczególnych gatunków.

Sosna zwyczajna zalicza się do grupy gatunków wrażliwych na oddziaływanie SO_x (Jaworski 1994). Jest też podatna na oddziaływanie fluorowodoru i ozonu. Podobnie jak inne gatunki iglaste, sosna jest bardzo wrażliwa na długotrwałe oddziaływanie amoniaku, nawet w niskim stężeniu. W związku z tym została zakwalifikowana do grupy gatunków nieodpornych na uszkodzenia w rejonach przemysłowych (Greszta i Barszcz 1989). Gatunek ten charakteryzuje się ażurową koroną świetlistą. Spadek przyrostu u sosny można zaobserwować dopiero wtedy, gdy utrata igieł osiągnie 30-50% (Jaworski 1994). Odporność sosny na zanieczyszczenia w dużej mierze zależy od zasobności siedliska, w jakim wzrastała (Wertz 2012). Na redukcję wielkości słoików przyrostowych sosny ma również wpływ jej proveniencja (Oleksyn i in 1993).

W ocenie wpływu zanieczyszczeń na lasy nieoceniona jest analiza dendrochronologiczna. Dzięki zastosowaniu tej metody możliwe jest określenie ram czasowych, w których badany drzewostan narażony był na stres antropogeniczny, przy jednoczesnym wskazaniu natężenia redukcji przyrostów rocznych. Zastosowanie tej metody pozwoliło na określenie m.in. ograniczenia przyrostów sosny w południowo-wschodniej części Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (Danek 2007). W badaniach dendrochronologicznych szerokość słoików wykorzystuje się także do oceny wpływu zanieczyszczeń na vitalność i potencjał przyrostowy drzew (Sensuła i in. 2016).

Analiza wpływu zanieczyszczeń na szerokość słoików rocznych drzew jest problemem powszechnym. Tematyka ta została poruszona między innymi przez Danek (2007), Barniak i Krapca (2009), Wertz (2012) oraz Malika i in. (2012). Jej istotą nie jest sama ocena wpływu czynników antropogenicznych na drzewostan, a raczej rozpatrywanie problemu w skali lokal-

nej, to znaczy badanie kondycji konkretnych drzewostanów lub kontrola emisji z danej fabryki. Danek (2008) wykazała negatywny wpływ, jaki rozwój przemysłu po II wojnie światowej wywarł na kondycje lasów w okolicach Olkusza. Autorka brała pod uwagę wszystkie okoliczne ośrodki przemysłu i dominujący kierunek wiatru w Polsce. Wykazała wystąpienie redukcji przyrostu i zmianę jego natężenia w zależności od odległości od ośrodków przemysłu. Zaobserwowano także zjawisko zbiegania się początków okresów redukcji. Prace w tej tematyce prowadzone są od przeszło czterech dekad i epizody obniżenia jakości powietrza znajdują swoje odzwierciedlenie w postaci zredukowanej szerokości przyrostów radialnych (Duszyński 2014).

Celem pracy była ocena wpływu zanieczyszczeń z fabryki Kronospan w Szczecinku na przyrost radialny sosny zwyczajnej rosnącej w różnej odległości od emitera.

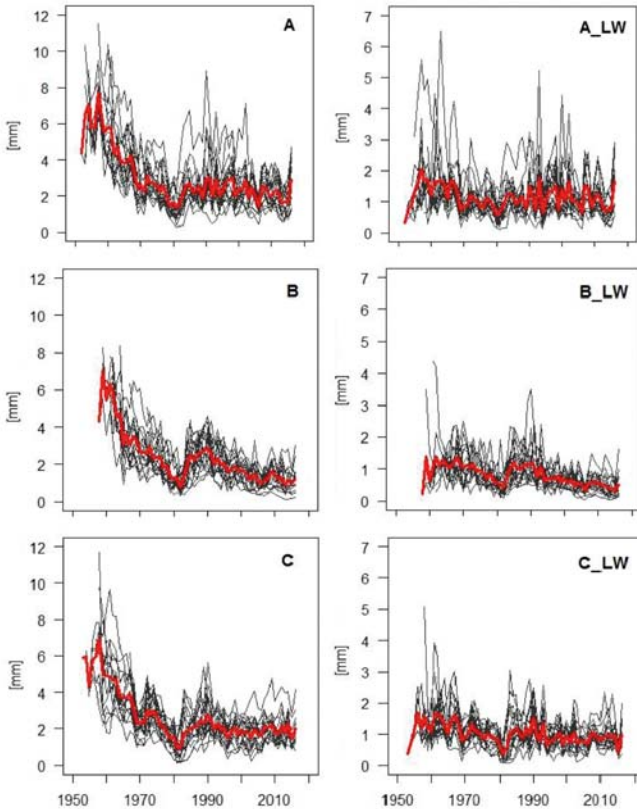
Material i metody

Kronospan Szczecinek powstał w 1989 roku na bazie Zakładów Płyt Wiórowych. Inwestycje w produkcję sprawiły, że stał się jednym z bardziej znaczących przedsiębiorstw w branży materiałów drewnopochodnych na świecie (www.pl.kronospan-express.com). Dziś zakład użytkuje nowoczesną linię do produkcji płyt wiórowych i po dwie do produkcji surowych płyt MDF i HDF. Fabryka posiada certyfikaty FSC i PEFC. Jednakże od czasu powstania nie wymieniono filtrów spalin w kominach. W 2010 roku roczna dopuszczalna wartość formaldehydu w powietrzu została przekroczona o 50%. Stężenie benzo(a)piranu wynosiło $7,6 \text{ ng/m}^3$, przy normie do 1 ng/m^3 . W ciągu roku było 76 dni z przekroczeniami wydzielania pyłu zawieszonego PM10, przy dopuszczalnych 35 dniach (Roczna... 2011). Znaczna ilość zanieczyszczeń emitowanych z zakładów oddziałuje negatywnie nie tylko na mieszkańców Szczecinka, ale i na otaczające miasto ekosystemy leśne.

Materiał badawczy zebrano na terenie nadleśnictw Szczecinek i Czarnobór, wchodzących w skład RDLP Szczecinek. Do badań wybrano trzy drzewostany sosnowe rosnące w różnym położeniu względem fabryki płyt wiórowych Kronospan w Szczecinku ($53,69^\circ\text{N}$ $16,71^\circ\text{E}$). Wszystkie drzewostany wzrastały na siedlisku lasu mieszanego świeżego, na glebie rdzawej brunatnej. Powierzchnia badawcza „A” (sosna w wieku 72 lat) znajdowała się na terenie leśnictwa Janowo (Nadleśnictwo Szczecinek) w odległości około 4,3 km na północny-zachód od zakładów. Biorąc pod uwagę dominujący kierunek wiatru w Polsce założono, że stanowisko to będzie pełnić rolę referencji. Powierzchnia badawcza „B” (sosna w wieku 65 lat) położona była na terenie leśnictwa Turowo (Nadleśnictwo Czarnobór) około 0,8 km na południowy-wschód od Kronospanu. Przyjęto, że w związku z bliskim położeniem w stosunku do emitera zanieczyszczeń stanowisko to będzie reprezentować wariant znacznego zanieczyszczenia. Z kolei powierzchnia badawcza „C” (sosna w wieku 72 lat) znajdowała się na terenie leśnictwa Czarnolas (Nadleśnictwo Czarnobór) i była oddalona o około 9,2 km na wschód od fabryki. Stanowisko to uznano za wariant słabego zanieczyszczenia.

Na każdej powierzchni badawczej wybrano po 20 dominujących sosen, z których, z wysokości pierśnicy, pobrano świdrem przyrostowym Presslera po jednym wywiercie dordzeniowym. Po przewiezieniu do laboratorium pobrane próbki zostały przyklejone na listewki, a następnie ich powierzchnię zeszlifowano w celu uwidocznienia rysunku słoju. Tak przygotowane wywierty zostały zeskanowane w rozdzielczości 2400 dpi. Wykorzystując program CooRecorder (www.cybis.se) zmierzono szerokości słoju rocznych i drewna późnego.

Synchronizacji sekwencji i sprawdzenia poprawności pomiarów dokonano w programie CDendro (www.cybis.se). Dalsze analizy wykonano, wykorzystując pakiet dplR (Bunn 2008) ze środowiska R (www.r-project.org). Opracowano chronologie rzeczywiste i standardowe (pozbawione trendu wiekowego w wyniku detrendyzacji względem funkcji wykładniczej o ujemnym wykładniku lub funkcji sklepanej). Do określenia podobieństwa między sekwencjami przyrostowymi z poszczególnych powierzchni posłużyły współczynnik współbieżności (Glk; niem. Gleichlaufigkeit), współczynnik korelacji Pearsona (r) oraz wartość T (Zielski i Krapiec 2009). Do charakterystyki zestawionych chronologii wykorzystano podstawowe miary statystyki opisowej. Z kolei do określenia czy różnice, jakie wystąpiły między stanowiskami badawczymi, są istotne statystycznie, użyto testu Kruskala-Wallisa. Osobno przeanalizowane zostały okresy przed powstaniem Kronospanu (1989 rok) i po powstaniu zakładów, jak i cały okres życia badanych sosen.



Ryc. 1. Zmiany z wiekiem szerokości słoja przyrostu rocznego (lewo) i szerokości drewna późnego (pravo) w badanych drzewostanach sosnowych (A, B, C): czarny – indywidualne drzewa, czerwony – chronologia rzeczywista

Fig. 1. Changes of the whole tree-ring (left) and latewood (right) width in analysed Scots pine stands (A, B, C): black – individual series, red – raw chronology

Wyniki

Przebieg zmian tak szerokości słoja rocznego, jak i szerokości drewna późnego odkładanych przez drzewa na poszczególnych powierzchniach jest podobny (ryc. 1). Na wszystkich stanowiskach widoczny jest wyraźny spadek szerokości przyrostów (depresja przyrostowa) około 1980 roku. Jedynie w przypadku powierzchni B (najbliższa źródła zanieczyszczeń) obserwuje się spadek szerokości słoja rocznego i szerokości drewna późnego w okresie po uruchomieniu zakładów w Szczecinku (1989).

Największe podobieństwo chronologii rzeczywistych obejmujących cały okres życia drzew występuje między powierzchnią referencyjną i najbardziej oddaloną od źródła zanieczyszczeń powierzchnią C, a najmniejsze – między powierzchnią referencyjną a tą położoną w pobliżu fabryki (tab. 1). Dla okresu po rozpoczęciu działalności przez Kronospan obserwuje się ogólny spadek ilościowego miernika podobieństwa przebiegu przyrostu jakim jest współczynnik korelacji, jednakże uzyskane wartości pozostają istotne statystycznie. W przypadku jakościowego wskaźnika podobieństwa (Glk) obserwuje się natomiast wzrost jego wartości. Najbardziej podobne w okresie działania Kronospanu są chronologie z powierzchni B i C (tab. 1).

Tab. 1. Współczynnik współbieżności (Glk), wartość T oraz wartość p oceny istotności współczynnika korelacji (r) chronologii rzeczywistych badanych drzewostanów sosnowych (A, B, C) w całym analizowanym okresie i po uruchomieniu Kronospanu

Table 1. Coherence index (Glk), T and p-value in the assessment of correlation coefficient r significance for raw chronologies (A, B, C) in whole analysed period and solely after the establishment of Kronospan factory

	cały okres			okres działania Kronospanu		
	A-B	B-C	A-C	A-B	B-C	A-C
Glk	59%	63%	73%	69%	89%	72%
r	0,847	0,914	0,918	0,399	0,697	0,416
T	11,7	16,5	17	2,1	4,8	2,2
p	<0,001	<0,001	<0,001	0,038	<0,001	0,029

Im mniejszy wpływ zanieczyszczeń, tym wyższa średnia oraz mediana szerokości słoja rocznego, szerokości drewna późnego i udziału drewna późnego. Najwyższą zmiennością analizowanych parametrów słoja przyrostu rocznego charakteryzuje się powierzchnia referencyjna, a najmniejszą – powierzchnia B (tab. 2).

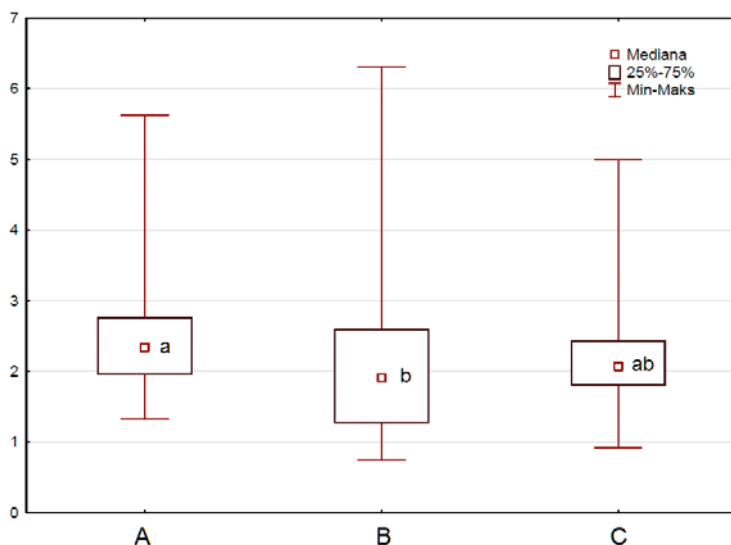
Stwierdzono istotne różnice średniej szerokości przyrostów rocznych między badanymi powierzchniami na przestrzeni całego okresu badań oraz w okresie obejmującym czas po powstaniu fabryki Kronospan. Dla całego okresu istotnie mniejsze przyrosty niż na powierzchni A odkładały sosny na najbardziej narażonej na zanieczyszczenia powierzchni B (ryc. 2a). Natomiast w okresie od powstania Kronospanu istotne różnice w średnim przyroście rocznym stwierdzono między powierzchniami B i C oraz B i A (ryc. 2c). W okresie przed powstaniem fabryki średni przyrost roczny na badanych powierzchniach nie różnił się istotnie (ryc. 2b).

Tab. 2. Średnia (M), mediana (Me), odchylenie standardowe (SD), skośność (SK), średnia czułość (CZ) i autokorelacja (ar) serii szerokości słoja rocznego (TRW), szerokości drewna późnego (LW) oraz udziału drewna późnego w szerokości słoja (%LW) na badanych stanowiskach

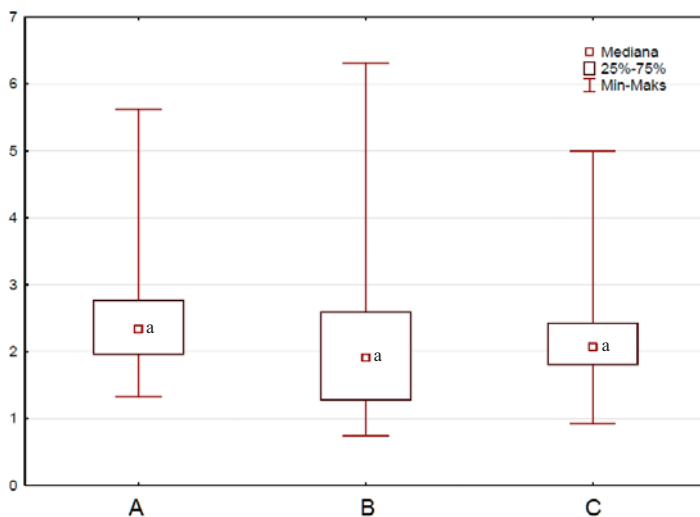
Table 2. Mean (M), median (Me), standard deviation (SD), skewness (SK), average sensitivity (CZ) and autocorrelation (ar) of the tree-ring width (TRW), latewood width (LW) and share of latewood (%LW) in the tested stands

		M	Me	SD	SK	CZ	ar
A	TRW	2,942	2,407	1,493	1,42	0,193	0,882
	LW	1,062	1,049	0,324	0,083	0,295	0,176
	%LW	41,21	42,28	12,55	-0,696	0,210	0,584
B	TRW	2,328	1,93	1,398	1,582	0,173	0,882
	LW	0,763	0,696	0,278	0,158	0,197	0,747
	%LW	38,29	39,89	10,78	-1,075	0,173	0,676
C	TRW	2,689	2,084	1,385	1,354	0,158	0,877
	LW	0,965	0,954	0,288	0,192	0,270	0,393
	%LW	41,29	42,20	11,18	-0,810	0,196	0,570

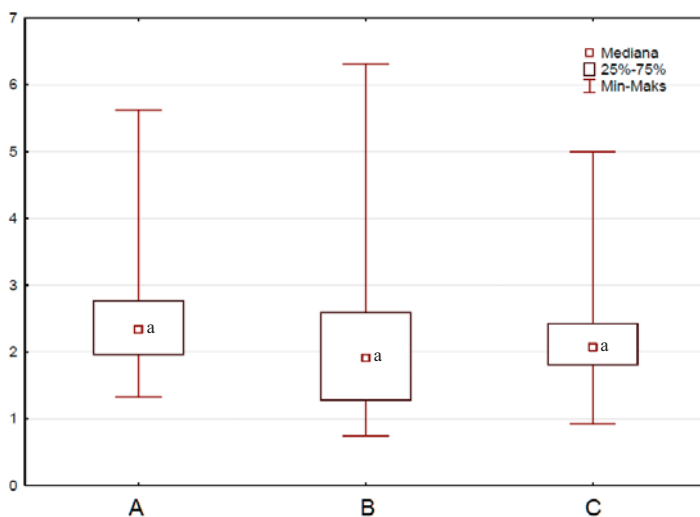
a)



b)



c)



Ryc. 2. Szerokość [mm] słoja przyrostu rocznego badanych sosen w całym okresie wzrostu drzew (a), przed powstaniem fabryki Kronospan (b) i po jej założeniu (c): te same litery przy medianie (kwadrat) oznaczają brak istotnych różnic ($p=0,05$)

Fig. 2. Tree-ring width [mm] of the examined pines in the entire tree growth period (a), before the Kronospan factory was created (b) and after its establishment (c): the same letters by the median (square) indicate no significant differences ($p = 0.05$)

Dyskusja

Wywołane przez zanieczyszczenia zaburzenia w fizjologii roślin zaznaczają się w przypadku drzew w postaci redukcji przyrostów rocznych, przez co w ich sekwencjach pojawia się informacja o czasie trwania i sile oddziaływania szkodliwego czynnika. Zapisane w przyrostach rocznych drzew informacje dostarczają empirycznego dowodu na wpływ skażenia powietrza na ekosystemy leśne danego obszaru (Schweingruber 1996, Zielski i Krapiec 2009, Duszyński 2014).

Stwierdzone dla sośnin będących w zasięgu opadu pyłów z Kronospanu Szczecinek zależności potwierdziły obserwowaną wcześniej prawidłowość większego wpływu zanieczyszczeń na drzewa rosnące w pobliżu emitera niż na osobniki rosnące w oddaleniu. Malejący stopień oddziaływania zanieczyszczeń na przyrosty roczne wraz z oddalaniem się od źródła emisji zaobserwowali u świerka pospolitego Evertsen i in. (1986), a u daglezi zielonej – Sutherland i Martin (1990). Z kolei Stravinskiene i in. (2013) do podobnych wniosków doszli badając wpływ zakładów chemicznych na przyrost sosny zwyczajnej na Litwie. W polskich warunkach obserwacje takie dla sosny poczynili Barniak i Krapiec (2009) w przypadku drzewostanów rosnących w Tarnobrzeskim Okręgu Przemysłowym, Malik i in. (2011), badając wpływ zakładów chemicznych w Tarnowskich Górach, Malik i in. (2012) dla huty cynku w Miasteczku Śląskim czy Sensuła i in. (2016) dla elektrowni w Łaziskach.

Porównując chronologie rzeczywiste drzew z powierzchni referencyjnej znajdującej się na zachodzie, do tych z powierzchni najbardziej oddalonej na wschód, można zauważyć nieznaczny spadek szerokości przyrostów. Może to być spowodowane wpływem kierunku wiatru na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Jak podaje Danek (2008), która badała wpływ działalności przemysłowej na szerokość przyrostów rocznych sosny w rejonie Olkusza, transekty charakteryzujące się największą redukcją znajdowały najbliżej źródła emisji, ale też na obszarze, będącym pod silnym wpływem wiatrów zachodnich. Na transektach usytuowanych w kierunku północno-wschodnim redukcje przyrostów były mniejsze niż w przypadku położonych na wschód od źródła emisji.

Wyraźnie widoczne na wszystkich powierzchniach redukcje w okolicach roku 1980 z pewnością nie są wynikiem działalności Kronospanu, który powstał dekadę później. Można też wykluczyć czynniki klimatyczne, gdyż w tamtych latach w Szczecinku nie wystąpiły żadne srogie zimy ani upalne lata (www.synoptyka.meteoblog.eu/szczecinek). Wystąpienie tej depresji należy wiązać z gradacją brudnicy mniszki (Głowacka i in. 2018).

Na powierzchni B drzewostan jest w słabej kondycji. W koronach stwierdzono sporą ilość obumarłych igieł, a w ściółce pełno było nie tylko samych zeschniętych igieł, ale i ulistnionych pędów. Może to być spowodowane wykraczającą ponad normę emisją cząstek stałych i pyłów. Jak podają Jędraszko i in. (2015) pyły PM10 przy małej prędkości wiatru bardzo szybko ulegają rozproszczeniu i osiadają w niewielkiej odległości od emitera.

Wnioski

- Zanieczyszczenia z fabryki Kronospan wywarły nieznaczny wpływ na przyrosty roczne sosny zwyczajnej rosnącej w pobliżu zakładów.
- Umieszczenie drzewostanu w stosunku do źródła emisji zanieczyszczeń ma wpływ na szerokość przyrostów rocznych. Ważna jest zarówno odległość, jak i kierunek od emitera zanieczyszczeń.

- Po powstaniu Kronospanu szerokość przyrostów rocznych zmalała najbardziej na powierzchni najbardziej narażonej na zanieczyszczenia z Kronospanu.
- W okresie działalności Kronospanu największe podobieństwo między sekwencjami przyrostowymi występami między powierzchniami, będącymi pod wpływem zanieczyszczeń.

Literatura

- Barniak J. Krapiec M. 2009. Wpływ działalności przemysłowej na drzewostany sosnowe w rejonie Tarnobrzęga w świetle analizy dendrochronologicznej. *Sylwan* 153 (12): 825-835.
- Bunn G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26 (2) 115-124.
- Bijak Sz., Mańdrzak P. 2016. Reakcja przyrostowa drzewostanów bukowych w Nadleśnictwie Cewice na zabiegi hodowlane. *SiM CEPL* 48 (3): 166-172.
- Danek M. 2007. The influence of industry on Scots pine stands in the south-eastern part of the Silesia-Krakow Upland (Poland) on the basis of dendrochronological analysis. *Water, Air and Soil Pollution* 185: 265-277.
- Danek M. 2008. Wpływ działalności przemysłowej na szerokość przyrostów rocznych sosn (*Pinus sylvestris* L.) w rejonie Olkusza. *Sylwan* 11: 56-62.
- Duszyński F. 2014. Zapis zanieczyszczeń powietrza w przyrostach rocznych drzew. *Przegląd geograficzny* 86 (3): 317-338.
- Evertsen J.A., Mac Siurtain M.P., Gardiner J.J., 1986. The effect of industrial emission on wood quality in Norway spruce (*Picea abies*) IAWA Bulletin 7 (4): 399-404.
- Głowacka B., Bystrowski C., Skrzecz I. 2018. Skuteczność insektycydu Mimic 240 LV w ochronie sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. przed brudnicą mniszką *Lymantria monacha* L. i barczatką sosnowką *Dendrolimus pini* L. *Sylwan* 162 (5): 403-410.
- Greszta J., Barszcz J. 1989. Effect of emissions from the electric power station Polaniec on some biometric traits in the Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.). *Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Sesja Naukowa* 23: 57-72.
- Jaworski A. 1994. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Wydawnictwo Gutenberg, Kraków.
- Jędraszko S. Matusiak M. Mazurek M. 2015. Modelowanie zasięgu rozprzestrzeniania się niebezpiecznych zanieczyszczeń pyłowych PM_{2,5} i PM₁₀ w powietrzu generowanych podczas pożarów lasów. *Mechanik* 502.
- Malik I. Danek M. Marchwińska-Wyrwał E. Danek T. Wistuba M. Krapiec M. 2012. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth Suppression and Adverse Effects on Human Health Due to Air Pollution in the Upper Silesian Industrial District (USID), Southern Poland. *Water, Air, & Soil pollution* 223 (6): 3345-3364.
- Malik I. Wistuba M. Danek T. Krapiec M. 2011. Wpływ emisji zanieczyszczeń atmosferycznych przez zakłady chemiczne w Tarnowskich górach (północna część wyżyny śląskiej) na szerokość przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 47.
- Oleksyn J., Fritts H.C., Hughes M.K. 1993. Tree-ring analysis of different *Pinus sylvestris* provenances, *Quercus robur*, *Larix decidua* and *L. decidua* x *L. kaempferi* affected by air pollution. *Arboretum Kórnickie* 38: 87-111.
- Roczna ocena jakości powietrza dla województwa zachodniopomorskiego - Raport za 2010 rok. 2011. Zachodniopomorski Wojewódzki Inspektor Ochrony Środowiska.
- Schweingruber F.H. 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology, Paul Haupt AG, Bern.
- Stravinskienė V., Bartkevičius E., Plausinytė E. 2013. Dendrochronological research of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) radial growth in vicinity of industrial pollution. *Dendrochronologia* 31: 179-186.
- Sutherland E. K., Martin B. 1990. Growth response of *Pseudotsuga menziesii* to air pollution from copper smelting. *Canadian Journal of Forest Research* 20 (7): 1020-1030.
- Sensuła B. Wilczyński S. Piotrowska N. 2016. Zastosowanie metod dendrochronologicznych oraz spektrometrycznych w monitorowaniu drzewostanów sosnowych na obszarach przemysłowych. *Sylwan* 160 (9): 730-740.

- Wertz B. 2012. Dendrochronologiczna ocena wpływu emisji przemysłowych na główne gatunki drzew iglastych z Wyżyny Kieleckiej. *Sylwan* 156 (5): 379-390.
- Zielski A., Krapiec M. 2009. *Dendrochronologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Szymon Bijak*, Krzysztof Sobajtis

SGGW w Warszawie,
Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu
* szymon.bijak@wl.wggw.pl