



You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice

Title: Zanieczyszczenie atmosfery przez zakłady przemysłowe położone w północnej części Wyżyny Śląskiej zapisane w przyrostach rocznych sosny zwyczajnej

Author: Ireneusz Malik, Małgorzata Danek, Tomasz Danek, Marek Krąpiec, Małgorzata Wistuba

Citation style: Malik Ireneusz, Danek Małgorzata, Danek Tomasz, Krąpiec Marek, Wistuba Małgorzata. (2009). Zanieczyszczenie atmosfery przez zakłady przemysłowe położone w północnej części Wyżyny Śląskiej zapisane w przyrostach rocznych sosny zwyczajnej. "Czasopismo Geograficzne" (T. 80, z. 4 (2009), s. 257-274).



Uznanie autorstwa - Licencja ta pozwala na kopiowanie, zmienianie, rozprowadzanie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie pod warunkiem oznaczenia autorstwa.

ZANIECZYSZCZENIE ATMOSFERY PRZEZ ZAKŁADY PRZEMYSŁOWE POŁOŻONE W PÓLNOECNEJ CZĘŚCI WYŻYNY ŚLĄSKIEJ ZAPISANE W PRZYROSTACH ROCZNYCH SOSNY ZWYCZAJNEJ

Ireneusz Malik¹, Małgorzata Danek², Tomasz Danek², Marek Krąpiec², Małgorzata Wistuba¹

¹ Katedra Paleogeografii i Paleoekologii Czwartorzędu, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

² Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Malik I., Danek M., Danek T., Krąpiec M., Wistuba M., 2009, Zanieczyszczenie atmosfery przez zakłady przemysłowe położone w północnej części Wyżyny Śląskiej zapisane w przyrostach rocznych sosny zwyczajnej, *Czasopismo Geograficzne*, 80(4): 257–274.

Artykuł wpłynął do redakcji 12.04.2010; po recenzji zaakceptowany 15.11.2010.

Streszczenie

W sąsiedztwie Zakładów Chemicznych Tarnowskie Góry i Huty Cynku Miasteczko Śląskie pobrano 200 prób z sosen (*Pinus sylvestris* L.). Analiza dendrochronologiczna pobranych prób wykazała znaczne redukcje w szerokości przyrostów rocznych drzew w okresie 1950–1990. Stwierdzono również liczne wypadające słoje w latach 1959–1983. Wraz ze wzrostem odległości od zakładów liczba obserwowanych redukcji maleje. Szerokość słoików badanych sosen jest odwrotnie proporcjonalna do emisji dwutlenku siarki z huty cynku i wielkości produkcji w zakładach chemicznych, co wskazuje, że za znaczne redukcje w przyrostach rocznych drzew na badanym obszarze odpowiedzialna była emisja szkodliwych substancji z huty cynku oraz zakładów chemicznych. Wokół huty cynku szczególnie duże redukcje przyrostów rocznych drzew wystąpiły w latach 70. XX w. Przyrost sosen żyjących wokół zakładów chemicznych był ograniczony w okresie 1925–1930 oraz w latach 60. i 70. XX w. W okresie późniejszym nastąpiła poprawa warunków, niewątpliwie związana ze zmniejszeniem emisji, co spowodowało znaczne zmniejszenie liczby obserwowanych redukcji. W okresie ostatnich 10 lat zaobserwowano ponownie spadki w szerokości przyrostów wielu drzew. Redukcje te są jednak mniejsze niż w okresach przedstawionych powyżej.

Wprowadzenie

Obszary leśne położone wokół ośrodków przemysłowych lub pojedynczych zakładów są w znacznym stopniu narażone na działanie szkodliwych pyłów i gazów emitowanych przez nie do atmosfery. Oddziaływanie zanieczyszczeń

powoduje znaczne zaburzenia w procesach fizjologicznych oraz metabolizmie drzew [Karolewski 1989]. Efektem są zmiany obserwowane w morfologii, anatomii oraz ultrastrukturze drzew [Książek i in. 1989]. Obserwuje się chlorozy i nekrozy liści, zmiany mogą dotyczyć również pokroju drzew [Greszta 1987,

Niedzielska 1986]. Ponadto zahamowaniu ulega przyrost na wysokość i szerokość drzew. Słoję wykształcane przez drzewa w okresie zanieczyszczania atmosfery są relatywnie wąskie [Borecki 1993]. Po wstrzymaniu szkodliwej emisji drzewa zwykle stopniowo powracają do normalnego wzrostu.

Najbardziej powszechnym w atmosferze związkami o działaniu fitotoksycznym jest dwutlenek siarki [Farrar i in. 1977]. Jest on produktem spalania węgla, jego emisja towarzyszy wielu procesom technologicznym, co sprawia, że lasy rosnące wokół emitentów dużej ilości dwutlenku siarki ulegają znacznej degradacji, a niejednokrotnie zamierają. Emitowany do atmosfery dwutlenek siarki jest uwadniany i w postaci kwasu siarkawego opada na aparat asymilacyjny drzew powodując jego ubytek, co przekłada się na ograniczenie przyrostu radialnego drzew. Znaczną rolę w niszczeniu drzewostanu odgrywa także emisja do atmosfery tlenków azotu. Niejednokrotnie drzewa rosnące w strefie oddziaływania depozycji mgielnej i kwaśnych deszczy obumierają – martwe połacie lasu występują na przykład w Górach Izerskich. Kwaśne opady, zarówno w postaci mokrej jak i suchej, powodują zakwaszenie gleb, a w konsekwencji zaburzenie gospodarki pokarmowej roślin [Huettl 1993, Strzyszc 1995].

Niekorzystny wpływ przemysłu na kształtowanie przyrostów rocznych został zauważony już pod koniec XIX w. Wiele prac na ten temat w Europie powstało w drugiej połowie XX w., wraz ze wzrostem produkcji przemysłowej [Schweingruber i in. 1985]. Badania Thompsona [1981] wykazały, że wielkość redukcji przyrostów rocznych spada wraz ze zwiększającą się odległością drzew od emitenta zanieczyszczeń atmosferycznych i jest zależna od kierunku dominujących wiatrów. Wykazano także, że redukcje przyrostów rocznych pojawiające się w wyniku oddziaływa-

nia niekorzystnych czynników klimatycznych są znacznie silniej zaznaczone w przypadku drzew rosnących blisko zakładów emitujących zanieczyszczenia do atmosfery [Nash i in. 1975]. W latach 80. XX w. zespół profesora Schweingruber wypracował metodykę opartą na wyznaczaniu lat wskaźnikowych (*pointer years*) oraz nagłych zmian przyrostów rocznych (*abrupt growth release*) [Schweingruber i in. 1985]. Badania te pozwoliły szczegółowo określić liczbę, stopień oraz przestrzenną i czasową zmienność występowania redukcji obserwowanych w przyrostach rocznych drzew. Ponadto wykazano, że zarówno poprawa jak i pogorszenie warunków, w których żyje drzewo, uwidacznia się o kilka lat wcześniej w przyrostach rocznych niż w stanie koron drzew [Kontic, Winkler-Seifert 1987]. W ciągu ostatnich dwudziestu lat metodę dendrochronologiczną stosowano do badań drzewostanów usytuowanych w sąsiedztwie punktowych źródeł emisji zanieczyszczeń do atmosfery, na przykład wokół huty metali nieżelaznych na półwyspie Kola [Nöjd i in. 1996], w pobliżu zakładów chemicznych w Oulu w Finlandii [Jämbäck i in. 1999], w sąsiedztwie zakładu wydobywania i przetwórstwa metali w Norilsku w Rosji [Ivshin, Shiyatov 1995], dookoła huty miedzi położonej w stanie Utah w USA [Kennedy-Sutherland, Martin 1990]. Badania prowadzone w ostatnim czasie przez Ellinga i in. [2009] wykazały, że obumieranie świerków w południowych Niemczech w latach 1960–1980 koresponduje z przestrzenną i czasową dystrybucją dwutlenku siarki.

Prowadzone w Polsce badania szerokości przyrostów rocznych wykazały duże szkody w drzewostanach na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego [Krąpiec, Szychowska-Krąpiec 2001]. Znaczne redukcje w przyrostach rocznych drzew stwierdzane były w sąsiedztwie różnych punktowych źródeł zanieczysz-

czeń: w pobliżu Zakładów Nawozów Azotowych w Puławach [Oleksyn 1988], w sąsiedztwie Zakładów Celulozy i Papieru w Kwidzynie [Zielski 1990], wokół Zakładów Chemicznych w Policach [Szychowska-Krapiec, Wiśniewski 1996] oraz w pobliżu kilku zakładów przemysłowych w południowej części Wyżyny Śląsko-Krakowskiej [Danek 2007].

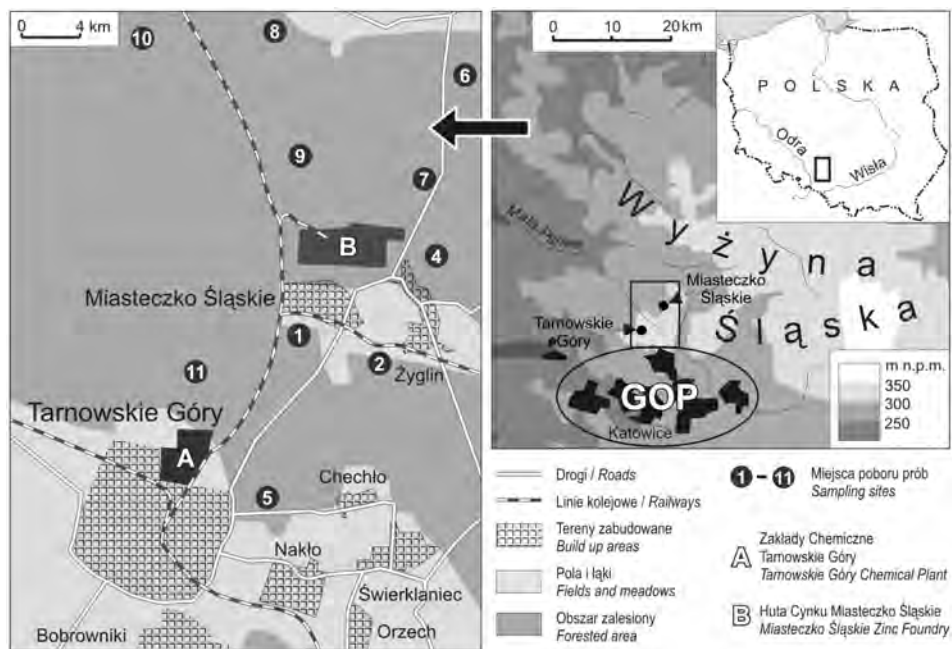
Monitoring zanieczyszczenia atmosfery prowadzony w latach 90. XX w. wykazał, że obszary o największym zanieczyszczeniu powietrza to Europa Środkowa, a w szczególności przygraniczny obszar Polski, Czech i Niemiec znany jako „czarny trójkąt” z powodu największego w Europie zakwaszenia opadów [Mazurski 1986, Urlich 1989, Kandler, Innes 1995]. Dużą emisję zanieczyszczeń do atmosfery odnotowano także w południowej Polsce [Dmuchowski, Bytnerowicz 1995, Breymeyer 1997]. Emisja zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych Górnego Śląska spowodowała postępującą degradację drzewostanów na znacznych obszarach. Jednocześnie brak jest szczegółowych informacji o poziomie zanieczyszczenia atmosfery w latach 1960–1980, kiedy produkcja przemysłowa na Górnym Śląsku była największa i jednocześnie nie wprowadzano limitów emisji szkodliwych związków do atmosfery. Do odtworzenia poziomu zanieczyszczenia atmosfery pomocne mogą okazać się sekwencje szerokości przyrostów rocznych drzew tego obszaru, będące odzwierciedleniem warunków środowiska, w jakim żyły drzewa [Orzeł 1996, Wójcik Buczkowski 2001].

W północnej części Wyżyny Śląskiej, wśród zwartych drzewostanów, głównie sosnowych (*Pinus sylvestris* L.), położone są dwa duże zakłady przemysłowe: Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach w likwidacji oraz Huta Cynku Miasteczko Śląskie. Zyskały one miano szczególnie uciążliwych dla środowiska. Fakt ten stał się podstawą do podjęcia

w tym rejonie prac, których głównym celem było określenie wpływu zanieczyszczeń przemysłowych emitowanych do atmosfery przez te zakłady na drzewostany sosnowe rosnące w ich sąsiedztwie na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci. Wyznaczono trzy cele szczegółowe badań: (1) określenie stopnia, liczby oraz czasowego rozkładu redukcji widocznych w przyrostach rocznych sosen rosnących wokół badanych zakładów, (2) porównanie sekwencji przyrostowych drzew rosnących w strefie oddziaływania zanieczyszczeń z zakładów z rosnącymi poza tą strefą (około 60 km od zakładów), (3) analiza powiązań pomiędzy zmiennością wielkości emitowanych przez zakłady zanieczyszczeń a wielkością przyrostów.

Teren badań

Badania prowadzono w Polsce południowej, w obrębie Wyżyny Śląskiej, na północ od Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP) (ryc. 1). Stanowiska badawcze były położone na płaskim terenie na wysokości od 240 do 320 m n.p.m. Przeważają tu wiatry z kierunków południowo – zachodniego i zachodniego. Średnie roczne opady wynoszą 710 mm, co oznacza brak deficytu wody na badanym obszarze. Stanowiska badawcze były położone w obrębie Nadleśnictwa Świerklaniec, gdzie bór mieszany świeży stanowi 36% w strukturze udziału siedlisk, 25% zajmuje bór mieszany wilgotny. Udział sosny w składzie drzewostanów wynosi 82% [Wójcik, Buczkowski 2001]. Stanowiska badawcze położone były w odległości do 20 km od dwóch dużych zakładów przemysłowych – Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach i Huty Cynku Miasteczko Śląskie. Stanowiska nr 5 i 11 były położone w sąsiedztwie Zakładów Chemicznych Tarnowskie Góry, stanowiska nr 1 i 2 zlokalizowano pomiędzy Zakładami Chemicznymi a Hutą Cynku Miasteczko



Ryc. 1. Położenie terenu badań.

Fig. 1. Location of the study area.

Śląskie. Stanowiska nr 3, 4, 9 położone były w sąsiedztwie huty, pozostałe stanowiska, nr 6, 8 i 10, rozmieszczono w odległości około 15 km na północ od huty (ryc. 1).

Metoda badań

Z archiwum Huty Cynku Miasteczko Śląskie otrzymano dane o zmienności emisji dwutlenku siarki w latach 1968–2008 r. W przypadku nieistniejących Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach pozyskano informacje z archiwów jedynie o wielkości produkcji, natomiast dane o emisji zanieczyszczeń do atmosfery były niedostępne. Uzyskane dane o emisji dwutlenku siarki i wielkości produkcji poszczególnych wyrobów konsultowano z głównymi technologami oraz osobami odpowiedzialnymi w zakładach za politykę w zakresie ochrony środowiska. Konsultacje te miały na celu

określenie realnego zagrożenia dla drzew, jakie niesie ze sobą emisja poszczególnych związków chemicznych do atmosfery oraz zweryfikowanie wiarygodności dostępnych danych o emisji dwutlenku siarki.

W ramach dendrochronologicznej części badań pobrano świdrem Presslera 200 prób z sosen, po 20 na każdym z 10 stanowisk. Dodatkowo pobrano 20 rdzeni z sosen rosnących na stanowisku referencyjnym, położonym poza obszarem intensywnego oddziaływania przemysłu, około 60 km na północny zachód od drzew rosnących wokół Huty Cynku Miasteczko Śląskie i Zakładów Chemicznych Tarnowskie Góry. Można założyć, że zanieczyszczenia emitowane przez zakłady przemysłowe miały bardzo niewielki wpływ na sosny rosnące na stanowisku referencyjnym, a zmienność szerokości przyrostów rocznych tych drzew odzwierciedla głównie zmia-

ny w warunkach klimatycznych w kolejnych latach. Próby pobierano na wysokości piersnicy. Do badań wybrano drzewostany sosnowe, w wieku około 90 lat. Próby pobrano z sosen dominujących i współdominujących rosnących w borze świeżym. Pobrane rdzenie wklejono w drewniane podstawki, a następnie ścięto nożem preparacyjnym lub, aby lepiej uwidocznić strukturę słoików, polerowano papierem ściernym o granulacji 100, 260, 500 i 1000. Następnie zmierzono szerokości przyrostów rocznych z dokładnością do około 0,01 mm przy użyciu aparatury pomiarowej w Katedrze Paleogeografii i Paleoekologii Czwartorzędu Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu. Uzyskane sekwencje przyrostów rocznych każdej z prób zostały skorelowane wizualnie – w przypadku niezgodności krzywej z opracowanym uprzednio wzorcem opracowano wykresy szkieletowe pozwalające odnaleźć miejsca, w których brakowało przyrostów. Dla każdego stanowiska, również referencyjnego, skonstruowano chronologię stanowiskową, uśredniając ze sobą krzywe przyrostowe nawierconych w poszczególnych stanowiskach drzew. Dodatkowo, na podstawie krzywych przyrostowych wszystkich prób pobranych wokół zakładów, utworzono chronologię lokalną. Do badań wykorzystano standaryzowane wersje chronologii utworzone w programie ARSTAN [Cook, Holmes 1999]. Chronologia standaryzowana pozbawiona jest trendów związanych ze starzeniem się drzew. W pierwszym etapie standaryzacji do każdej z krzywych osobniczych dopasowano krzywą eksponentalną lub prostą, w zależności od charakteru obserwowanego trendu. Następnie każdą z rzeczywistych wartości krzywej osobniczej podzielono przez odpowiadającą jej w danym punkcie wartość dopasowanej krzywej, otrzymując wartości indeksowane. Uzyskane w ten sposób sekwencje posłużyły do skonstruowania wyżej

wspomnianych chronologii standaryzowanych. Następnie uzyskane chronologie stanowiskowe oraz chronologię lokalną porównano ze sobą oraz z chronologią ze stanowiska referencyjnego.

Ponadto, dla wszystkich rzeczywistych sekwencji przyrostowych prób nawierconych w rejonie zakładów wyznaczono czasowe przedziały redukcji. Przy wyznaczaniu przedziałów kierowano się gwałtowną zmianą (spadkiem) szerokości przyrostów rocznych następującą z roku na rok. Wielkość redukcji obliczono ze stosunku sumy szerokości wszystkich przyrostów zaliczonych do okresu redukcji do sumy szerokości przyrostów takiej samej liczby słoików z okresu poprzedzającego redukcję szerokości przyrostów rocznych [Schweingruber i in. 1985]. Obliczone redukcje wyrażono w procentach i zaklasyfikowano do trzech grup: redukcje średnie – od 30 do 50%, redukcje silne – od 51 do 70% oraz redukcje bardzo silne – powyżej 70%. Nie uwzględniano redukcji mniejszych niż 30% oraz trwających mniej niż trzy lata. Do wyznaczenia okresów redukcji oraz obliczenia ich wartości posłużył program Quercus [Walanus 2002].

Dla prób ze stanowisk badawczych przeprowadzono analizę lat wskaźnikowych [Schweingruber i in. 1990]. Szczególną uwagę zwrócono na negatywne lata wskaźnikowe, czyli takie, w których większość drzew wykształciła węższe przyrosty niż w roku poprzednim. Lata takie mają zwykle uwarunkowania klimatyczne [Zielski, Krąpiec 2004].

Charakterystyka zakładów przemysłowych

Huta Cynku Miasteczko Śląskie

Huta powstała w 1961 r., od początku działalności produkowano głównie cynk i ołów oraz kwas siarkowy. Procesy technologiczne powodowały emisję

do atmosfery szkodliwych substancji, w szczególności dwutlenku siarki. W historii huty można wyróżnić trzy okresy. Pierwszy to etap rozbudowy, trwający od 1961 do 1972 r. W kolejnym okresie nastąpiło znaczne zwiększenie produkcji cynku i ołowiu przy jednoczesnym wzroście negatywnego oddziaływania na środowisko; okres ten trwał od 1972 do 1988 r. W latach 90. XX w. zaczęto wprowadzać technologie przyjazne dla środowiska, co znacznie zredukowało ilość zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery, w tym dwutlenku siarki [Bojanowski 2008].

Ilość SO₂ emitowanego do atmosfery przez hutę cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim zmieniała się na przestrzeni ostatnich pięćdziesięciu lat. Emisja ta była w latach 60. XX w. od pięciu do ośmiu razy większa niż w ostatnich kilku latach (ryc. 2). Szczególnie wysoką emisję odnotowano w 1979 r., kiedy uruchomiono w hucie nowe linie produkcyjne – poziom emisji przekroczył wtedy dwudziestokrotnie poziom z ostatnich kilku lat. W latach 80. XX w. huta cynku

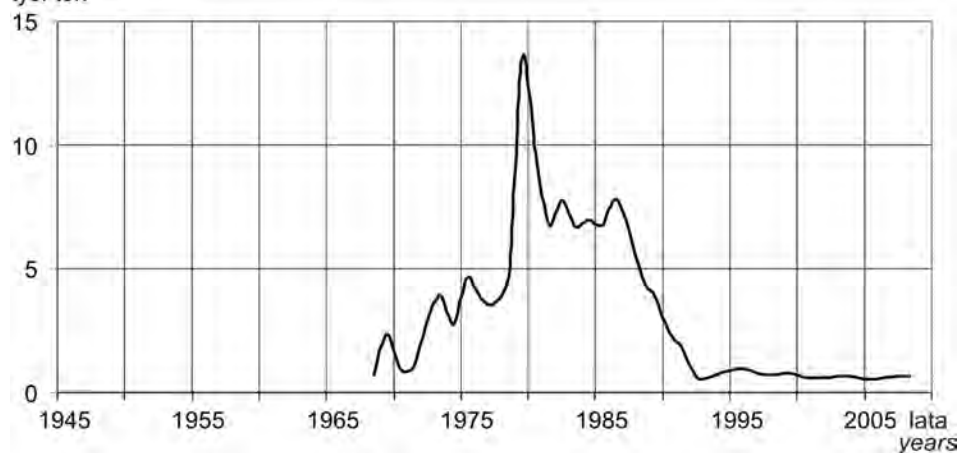
emitowała dwa razy więcej dwutlenku siarki do atmosfery w stosunku do lat 70. XX w. Od 1991 r. emisja znacznie zmalała i utrzymuje się do dzisiaj na stosunkowo niskim poziomie.

Zakłady Chemiczne Tarnowskie Góry w likwidacji

Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach funkcjonowały od 1922 r. Działały one na miejscu istniejącej wcześniej huty żelaza i papierni. W 1995 r. postawiono Zakłady Chemiczne w stan likwidacji. Bardzo poważne zanieczyszczenie środowiska w rejonie oddziaływania zakładów doprowadziło do wpisania ich w 1994 r. na listę osiemdziesięciu największych trucicieli w Polsce. Z powodu braku informacji źródłowych dotyczących poziomu emisji poszczególnych substancji do atmosfery przez Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach przedstawiono wielkość produkcji najważniejszych wyrobów wytwarzanych przez zakłady. Na początku działalności produkowano komponenty organiczne,

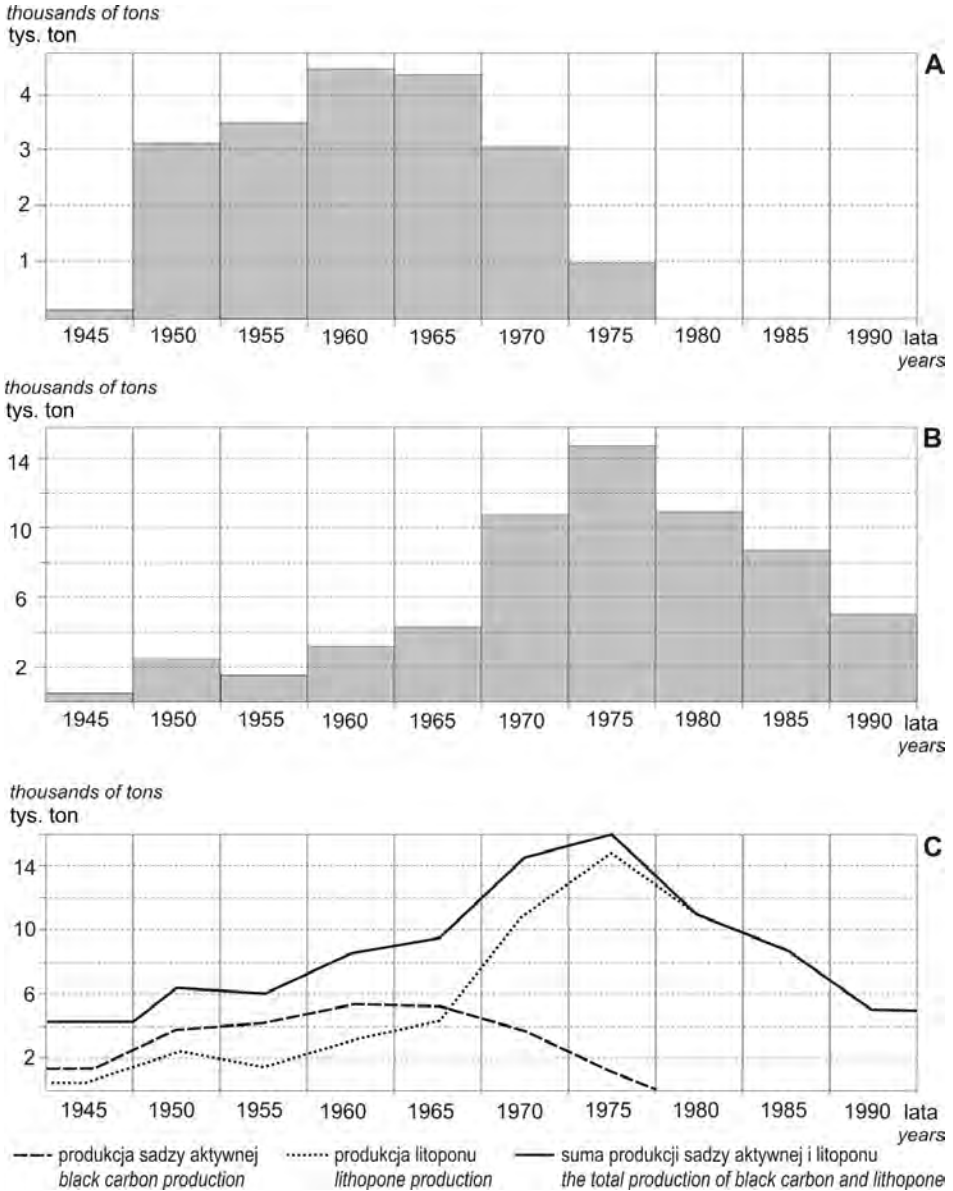
thousands of tons

tys. ton



Ryc. 2. Ilość dwutlenku siarki emitowanego do atmosfery przez Hutę Cynku Miasteczko Śląskie w latach 1968–2008.

Fig. 2. Sulphur dioxide emissions by the Miasteczko Śląskie Zinc Foundry from 1968 to 2008.



Ryc. 3. Wielkość produkcji w Zakładach Chemicznych Tarnowskie Góry w latach 1945–1990: A – produkcja sadzy aktywnej, B – produkcja litoponu, C – produkcja sadzy aktywnej i litoponu.
Fig. 3. Production volume at the Tarnowskie Góry Chemical Plant from 1945 to 1990: A – black carbon volume, B – lithopone volume, C – black carbon and lithopone volume.

a w szczególności sadzę aktywną. Od 1965 r. stopniowo wzrastał udział produkcji komponentów nieorganicznych, głównie skupiano się na wytwarzaniu litoponu [Biernacki 1983]. Produkcja obu wiodących produktów była szkodliwa dla środowiska. W czasie produkcji sadzy aktywnej żrące chmury dymu zawierającego naftalen i antracen wędrowały w kierunku lasów sosnowych rosnących wokół zakładów. Doprowadziło to już w latach 60. XX w. do śmierci wszystkich sosen rosnących w promieniu do 1 km od zakładu. Również podczas produkcji litoponu duże ilości dwutlenku siarki i chlorowodoru emitowane do atmosfery niekorzystnie wpływały na stan okolicznych drzewostanów. Największą ilość sadzy aktywnej wytwarzano w latach 1955–1970, a najwięcej litoponu produkowano od 1965 do 1985 r. (ryc. 3).

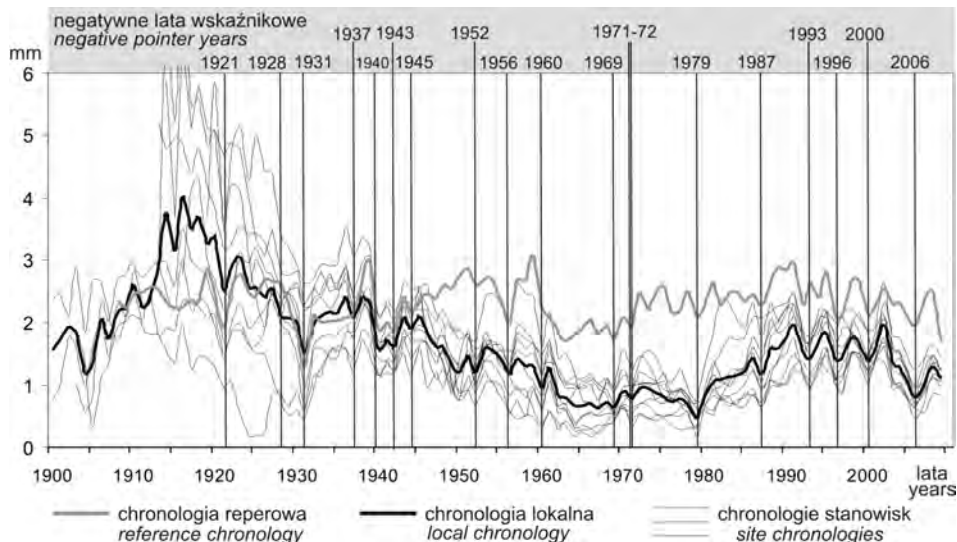
Wyniki badań

Chronologię reperową dla sosen ro-

snących w odległości około 60 km od zakładów chemicznych i huty cynku przedstawia ryc. 4. Skale utworzone dla stanowisk, w których pobrano próby, przedstawiono na ryc. 4 i 5. Wyznaczono także redukcje przyrostów rocznych dla drzew rosnących na poszczególnych stanowiskach (ryc. 6). Na ryc. 7 zaprezentowano ilość przyrostów wypadających w rdzeniach pobranych z badanych drzew.

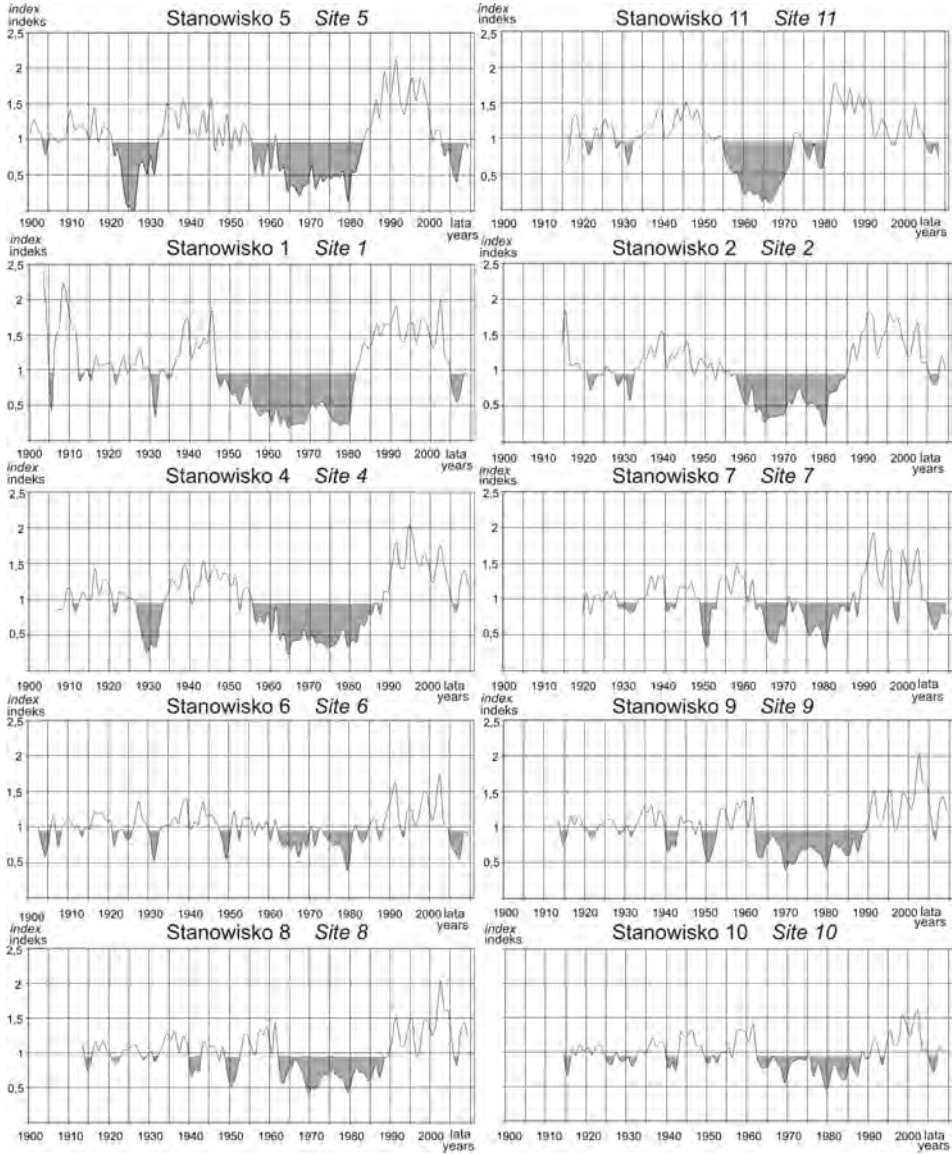
Dyskusja

Negatywne lata wskaźnikowe (1921, 1928, 1931, 1937, 1940, 1943, 1945, 1952, 1956, 1960, 1969, 1971–1972, 1979, 1987, 1993, 1996, 2000, 2006) występują zarówno w chronologii lokalnej drzew rosnących wokół Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach oraz Huty Cynku Miasteczko Śląskie jak i w chronologii stanowiska referencyjnego zlokalizowanego w dużej odległości od zakładów (ryc. 4). Oznacza to, że wąskie przyrosty w tych latach nie zostały wykształcone

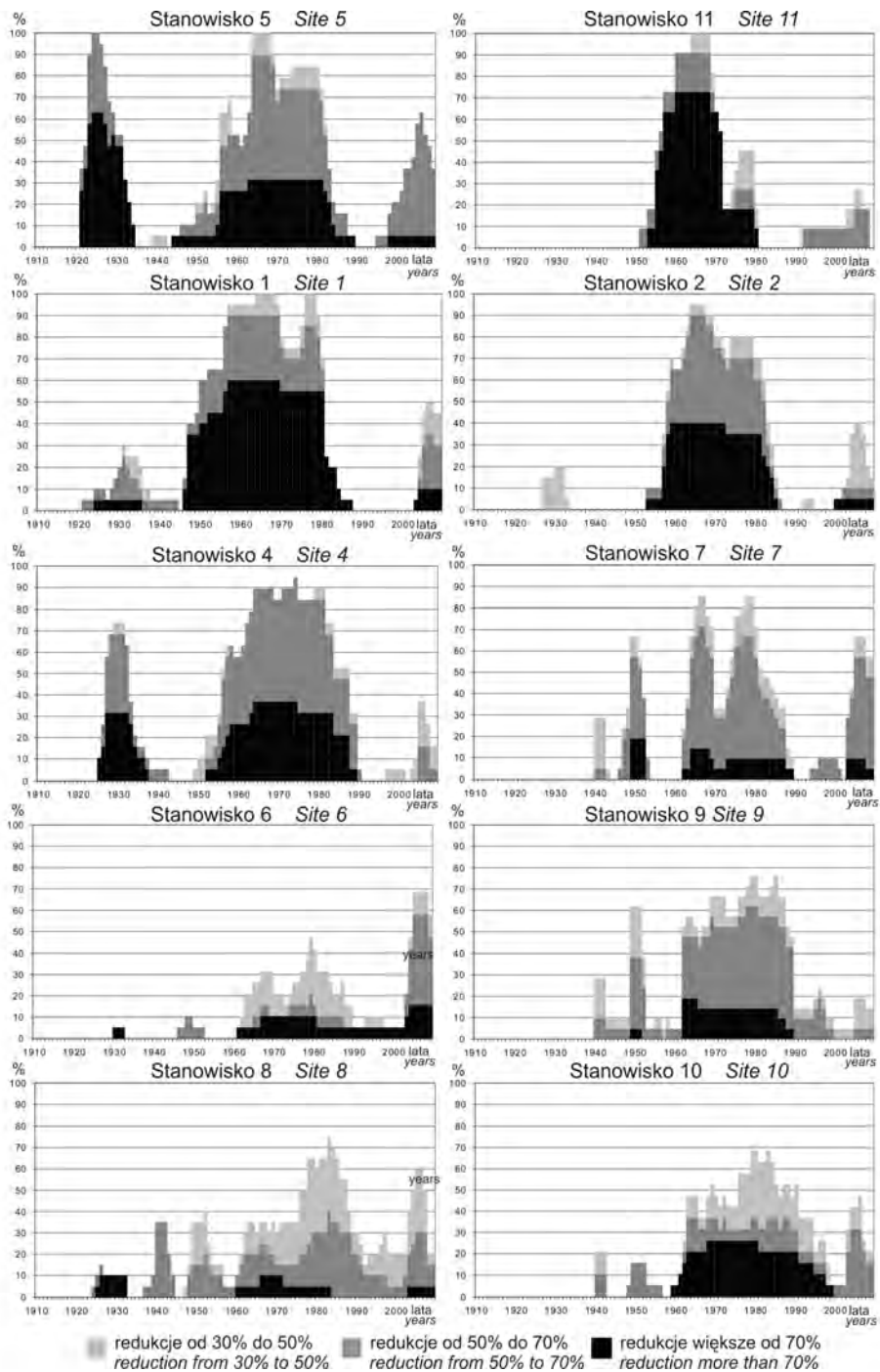


Ryc. 4. Chronologia reperowa i lokalna wraz ze skalami skonstruowanymi na poszczególnych stanowiskach; dodatkowo wyróżniono negatywne lata wskaźnikowe.

Fig. 4. Reference, local and site chronologies; pointer years are also marked.



Ryc. 5. Standaryzowane chronologie skonstruowane z rdzeni pobranych z sosen rosnących na poszczególnych stanowiskach; na szaro zaznaczono obszary, w których chronologia przebiega poniżej średniej wartości indeksu przyrostów rocznych ze wszystkich zmierzonych rdzeni wynoszącej 0,89.
 Fig. 5. Standarized site chronologies developed from pines growing on individual sampling sites, below the overall average tree ring index value for all pines – 0.89 marked by grey colour.

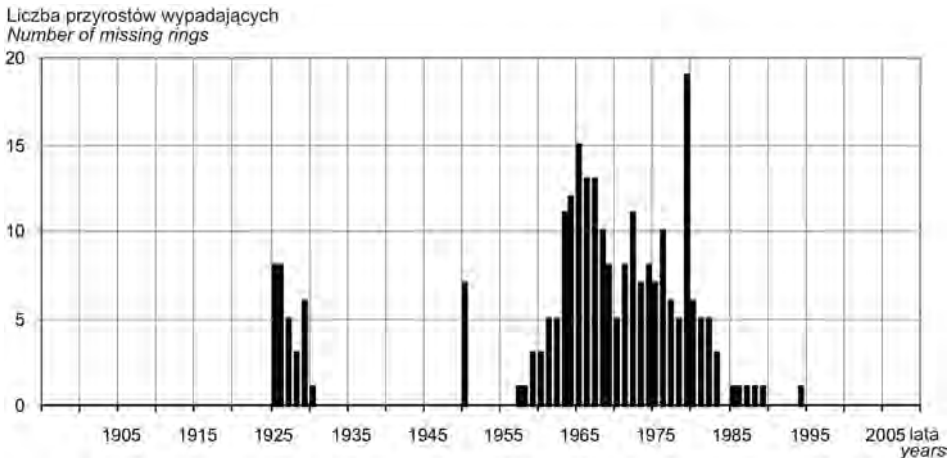


Ryc. 6. Redukcje przyrostów rocznych wyznaczone dla sosen rosnących na poszczególnych stanowiskach.
Fig. 6. Tree ring reductions for pines growing on individual sampling sites.

głównie w wyniku emisji zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych. Redukcje przyrostów rocznych w latach 1940–1941 są powszechne w sosnach rosnących na terenie Europy Środkowej – powstały w wyniku szczególnie srożej zimy w 1940 r. [Zielski, Krąpiec 2004]. W 1921 r. odnotowano w Polsce wyjątkowo suchy rok, co mogło spowodować redukcje przyrostów badanych sosen [Zielski 1996]. Mroźne zimy, które nawiedziły Polskę w 1979 i 1987 r., również mogły wpłynąć na obniżenie szerokości przyrostów rocznych sosen. Pozostałe negatywne lata wskaźnikowe niekoniecznie są wynikiem oddziaływania zjawisk klimatycznych, mogą one mieć związek z uwarunkowaniami siedliskowymi, gradacją szkodników itp. [Schweingruber 1996, Zielski, Krąpiec 2004].

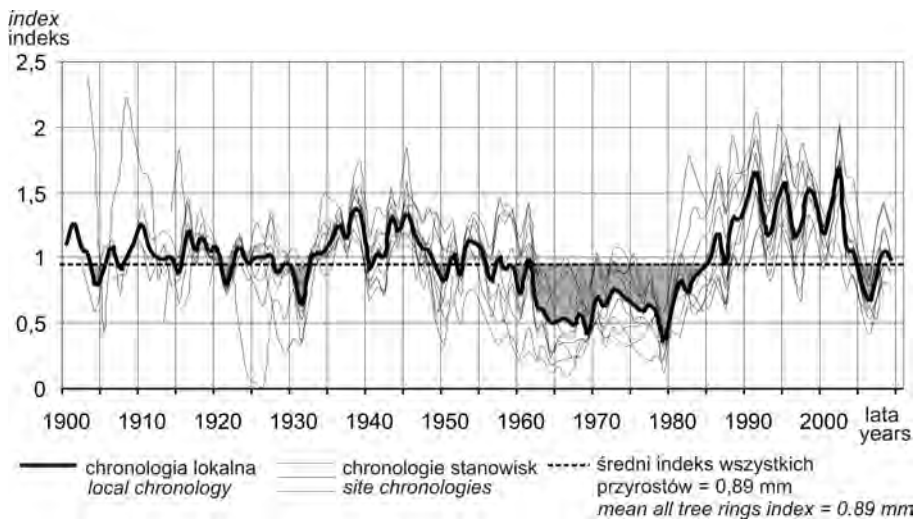
Sosny rosnące w sąsiedztwie zakładów chemicznych i huty wykształciły silnie zredukowane przyrosty w latach 1950–1990. Indeksy tych przyrostów są niższe od średniej wartości indeksu przyrostów obliczonej dla badanych sosen, wynoszącej 0,89 mm (ryc. 8). Sosny

rosnące w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów chemicznych i huty cynku (stanowiska nr 1, 2, 4, 5, 11) mają przyrosty bardzo silnie zredukowane w stosunku do sosen rosnących dalej od zakładów (stanowiska nr 6, 7, 8, 9, 10) (ryc. 5, 6). Charakterystyczne jest także występowanie redukcji przyrostów rocznych w latach 1960–1980 u wszystkich badanych sosen na stanowiskach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów (stanowiska nr 1, 2, 4, 5, 11) (ryc. 6). Przy badaniu wpływu zanieczyszczeń na drzewostany wokół zakładów chemicznych i huty nie można wykluczyć, że na redukcje przyrostów rocznych badanych sosen wpłynęła emisja zanieczyszczeń z innych śląskich zakładów położonych na południe od terenu badań. Zanieczyszczenia atmosferyczne mogą ograniczać przyrost drzew rosnących nawet kilkadziesiąt kilometrów od źródła zanieczyszczeń [Ivshin, Shiyatov 1995]. Wpływ lokalnego przemysłu zaznacza się jednak wyraźnie w postaci dużej liczby obserwowanych redukcji, szczególnie tych najsilniejszych. Ich liczba jest mniejsza w dalszej odległości od huty



Ryc. 7. Ilość brakujących przyrostów rocznych zidentyfikowanych w rdzeniach z pobranych sosen na wszystkich stanowiskach.

Fig. 7. Number of missing rings identified in cores collected from all pines sampled.



Ryc. 8. Standaryzowana chronologia lokalna wraz ze skalami skonstruowanymi na poszczególnych stanowiskach; na szaro zaznaczono obszary, w których chronologia przebiega poniżej średniej wartości indeksu ze wszystkich zmierzonych rdzeni wynoszącej 0,89.

Fig. 8. Standardized local chronology and site chronologies developed from pines growing on individual sampling sites, below the overall average tree ring index value for all pines – 0.89 marked by grey colour.

i zakładów chemicznych w porównaniu ze stanowiskami zlokalizowanymi w bliskim ich sąsiedztwie. Oznacza to, że redukcje przyrostów rocznych badanych sosen są spowodowane głównie emisją zanieczyszczeń o zasięgu lokalnym. Zależność pomiędzy emisją szkodliwych związków do atmosfery a wzrostem sosen jest widoczna także w postaci dużej liczby wypadających przyrostów rocznych (ryc. 7). Wypadające przyrosty zaznaczają się powszechnie w latach 1960–1983, a więc w czasie emisji szkodliwych związków do atmosfery przez hutę i zakłady chemiczne. W rdzeniach niektórych sosen brakowało w tym okresie kilku przyrostów rocznych. Tak silny wpływ zakładów przemysłowych jest rzadko spotykany w Europie. Z informacji ustnych uzyskanych w Nadleśnictwie Świerklaniec, w obrębie którego pobierano próby, wynika, że sosny zdawały się nie rosnąć w latach 60. i 70. XX w.

Sosny rosnące na stanowiskach położonych na północ od huty cynku (stano-

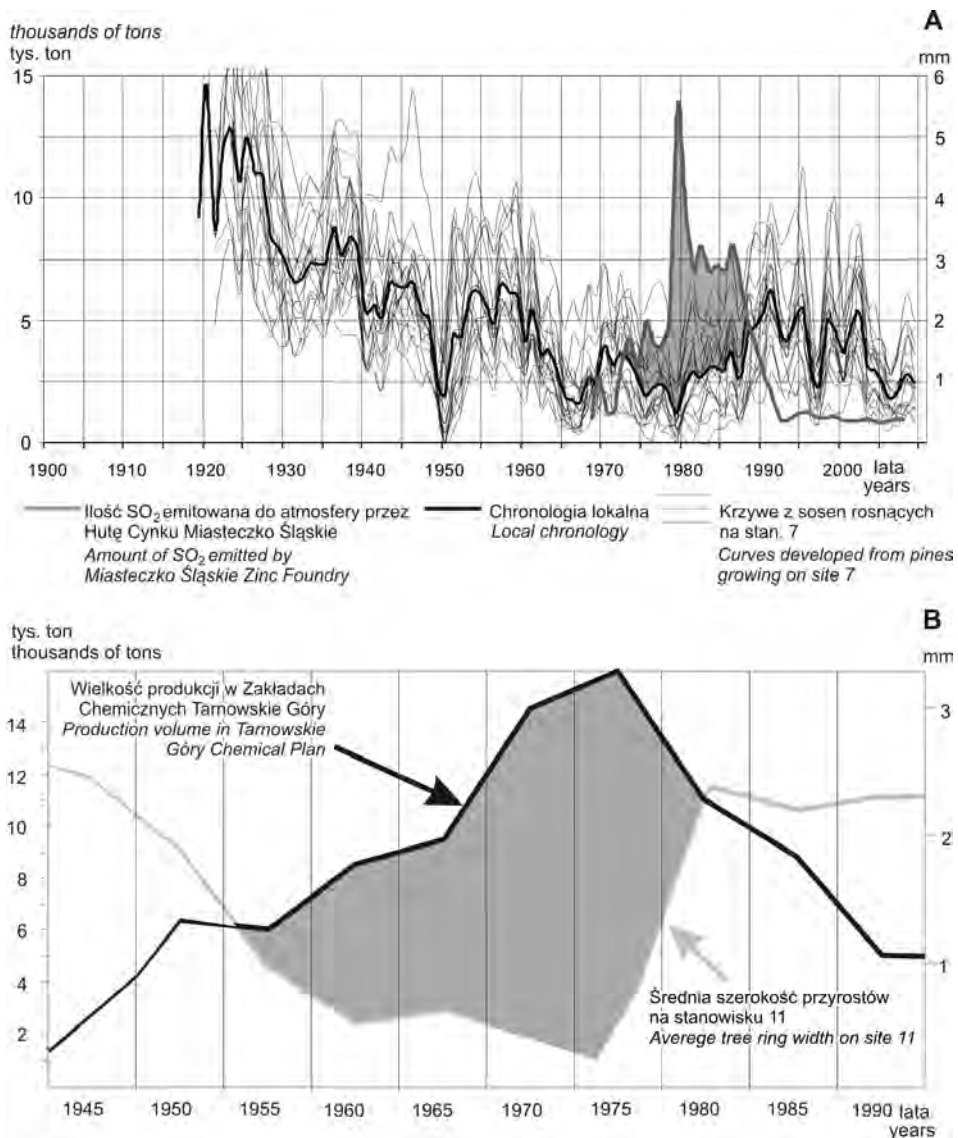
wiska nr 6, 7, 8, 9, 10), gdzie wpływ zakładów chemicznych jest mniejszy, wykształciły zredukowane przyrosty w latach 1960–2009 (ryc. 6). Najwyższe przyrosty zostały wykształcone przez sosny w latach 70. XX w., jednak silne redukcje rozpoczynają się w latach 60. XX w., czyli od początku funkcjonowania huty. Emisja dwutlenku siarki do atmosfery przez hutę cynku i ołowiu w latach 1970–1990 jest wyraźnie powiązana z wytworzeniem wąskich słoików przez drzewa ze stanowiska nr 7, położonego relatywnie blisko huty (ryc. 9).

Z informacji uzyskanych od mieszkańców Miasteczka Śląskiego i pracowników huty wynika, że emisja zanieczyszczeń z zakładów była niezwykle uciążliwa. Mieszkańcy Miasteczka Śląskiego twierdzą, że w latach 70. XX w. kobiety wracały z zakupów z podziurawionymi rajstopami, co można wiązać ze szczególnie silną emisją dwutlenku siarki do atmosfery. Pracownicy huty wspominają problemy związane z wze-

rami w karoseriach ich aut parkowanych na czas pracy pod zakładem. W 1979 r. zanotowano zdecydowanie największą w historii działania huty cynku emisję dwutlenku siarki. W roku tym, w przypadku aż 19 odwiertów pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie huty, nie stwierdzono przyrostów, co mogłoby wskazywać na szczególnie ciężkie warunki dla wzrostu drzew w wyniku działania wysokiej emisji z huty w tym czasie. Trzeba jednak dodać, że zima 1978/1979 była wyjątkowo mroźna, co przyczyniło się do wykształcenia wąskiego przyrostu rocznego u drzew rosnących poza strefą zanieczyszczeń (stanowisko referencyjne). Wąskie przyrosty roczne, mające związek z wystąpieniem mroźnych zim, wykształcone zostały przez sosny także w latach 1956, 1960, 1962, 1976, 1979 i 1996. Redukcje są szczególnie silne, gdy po bardzo mroźnej zimie nastąpił ubogi w opady okres wegetacyjny [Wilczyński, Skrzyszewski 2002]. Gdy na wąskie przyrosty wykształcone przez drzewa w wyniku zjawisk klimatycznych nałożona zostaje duża emisja zanieczyszczeń do atmosfery, redukcje przyrostów są jeszcze głębsze [Vinš, Mrkva 1972, Jämbäck i in. 1999]. Wskazuje to, że głęboka redukcja przyrostu rocznego sosen rosnących wokół huty cynku i zakładów chemicznych w 1979 r. była efektem działania zarówno niekorzystnych warunków klimatycznych panujących w tym roku, jak i emisją zanieczyszczeń (ryc. 5, 6).

Sosny rosnące w pobliżu zakładów chemicznych wykształciły silnie zredukowane przyrosty od 1950 do 1985 r. Rosnąca wielkość produkcji w zakładach chemicznych spowodowała zmniejszenie szerokości przyrostów rocznych sosen, co widoczne jest najlepiej na stanowisku nr 11 położonym w sąsiedztwie zakładów (ryc. 9). Odwrotna proporcjonalność pomiędzy wielkością produkcji w zakładach chemicznych a szerokością przyrostów jest bardzo wyraźna w latach 1955–

1980, co wskazywałoby, że przyrost sosen rosnących w sąsiedztwie zakładów chemicznych w tym czasie był ograniczony przez emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Pod względem dużej ilości wypadających przyrostów w sosnach rosnących w pobliżu zakładów chemicznych wyróżnia się okres 1963–1968 (ryc. 7). Oznacza to, że przyrosty sosen w latach 60. XX w. były w dużej mierze ograniczone przez emisję zanieczyszczeń. Interesująca jest także duża ilość przyrostów wypadających i redukcje przyrostów występujące w latach 1925–1930. Wypadające przyrosty wystąpiły głównie na stanowisku nr 5 położonym w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów chemicznych. Kilka przyrostów wypadających w latach 20. XX w. odnotowano na stanowiskach nr 2, 4 i 9 położonych dalej od zakładów, jednak także w bezpośredniej strefie oddziaływania zanieczyszczeń. Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach funkcjonowały od 1922 r., jednak niewiele wiadomo na temat ich działania przed drugą wojną światową. Od 1925 r. rozpoczęto w zakładach produkcję siarczanu miedzi, siarczanu glinu i afunu glinowo-potasowego. W początkach 1926 r. uruchomiono instalację do produkcji chlorku baru na bazie siarczku baru. Uzyskiwano go przez redukcję w ręcznych piecach muflowych, z których całość spalin była wyprowadzana przez niskie kominy. Pod koniec 1926 r. dodatkowo uruchomiono produkcję kwasu borowego i boraksu [Biernacki 1983]. Duże redukcje przyrostów rocznych sosen oraz znaczna ilość przyrostów wypadających w latach 1925–1930 świadczą o dużym zanieczyszczeniu atmosfery przez zakłady chemiczne w latach 20. XX w. Mieszkańcy Czarnej Huty – miejscowości położonej w sąsiedztwie zakładów chemicznych – twierdzą, że wszystkie rośliny obumarły w promieniu do 1 km od zakładu już w latach 60. XX w. Dlatego władze zakładu zadecydowały zatrudnić



Ryc. 9. Wykresy prezentujące odwrotną proporcjonalność pomiędzy szerokością przyrósł rocznych na stanowiskach położonych najbliżej zakładów a emisją SO₂ i wielkością produkcji w zakładach (czas, w którym występuje odwrotna proporcjonalność, zaznaczono szarym kolorem), A – odwrotna proporcjonalność pomiędzy szerokością przyrósł rocznych na stanowisku nr 7 i wielkością emisji SO₂ z Huty Cynku Miasteczko Śląskie, B – odwrotna proporcjonalność pomiędzy szerokością przyrósł rocznych na stanowisku nr 11 i wielkością produkcji w Zakładach Chemicznych Tarnowskie Góry.

Fig. 9. Graphs showing inverse proportionality between tree ring width and SO₂ emissions and tree ring width and volume of production in plants (time when inverse proportionality was identified is marked by grey colour), A – inverse proportionality between tree ring width on site 7 and quantity of SO₂ emissions from Miasteczko Śląskie Zinc Foundry, B – inverse proportionality between tree ring width on site 11 and volume of production in Tarnowskie Góry Chemical Plant.

specjalistę odpowiedzialnego za nasadzenie wokół zakładów roślin odpornych na zanieczyszczenia. Ostatecznie zdecydowano się na posadzenie oliwnika wąskolistnego, który porasta teren wokół zakładów chemicznych do dzisiaj.

Zastanawiający jest fakt pojawienia się okresów redukcji przyrostów rocznych w ciągu ostatnich dziesięciu lat. Wystąpiły one zarówno u drzew rosnących w pobliżu zakładów jak i na stanowisku referencyjnym. Redukcje te są w większości znacznie mniejsze niż w okresie wzmożonej emisji zakładów. Wspomniane wyżej spadki szerokości przyrostów wystąpiły w okresie niewielkiej już emisji dwutlenku siarki przez hutę (ryc. 2). Z drugiej strony należy dodać, że spadek szerokości przyrostów rocznych na stanowisku referencyjnym jest relatywnie mniejszy w porównaniu z sosnami rosnącymi wokół huty. Ostatecznie nie można stwierdzić, czy redukcje przyrostów rocznych powstałe w ciągu ostatniej dekady są efektem zanieczyszczenia atmosfery przez działającą Hutę Cynku i Ołowiu Miasteczko Śląskie.

Wnioski

1. Szerokość przyrostów rocznych sosen rosnących w sąsiedztwie Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach oraz Huty Cynku Miasteczko Śląskie jest silnie zredukowana w stosunku do sosen rosnących 60 kilometrów na północ od zakładów. Duże redukcje zostały wykształcone przez sosny rosnące w sąsiedztwie zakładów w latach 1950–1990. Występowanie redukcji przyrostów rocznych w badanych sosnach jest synchroniczne

z okresem funkcjonowania zakładów. Szerokości przyrostów rocznych są odwrotnie proporcjonalne do wielkości produkcji w zakładach chemicznych i emisji dwutlenku siarki z huty cynku. Oznacza to, że wzrost sosen rosnących wokół zakładów był w dużej mierze tłumiony przez emisję zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych.

2. Znaczny wzrost liczby redukcji obserwowanych wśród sosen rosnących wokół Huty Cynku Miasteczko Śląskie nastąpił w 1965 r., największej redukcji przypadło na lata 70. XX w. Redukcje przyrostów występują zatem od początku funkcjonowania huty i trwają do dnia dzisiejszego. Jednakże wąskie przyrosty powstałe w latach 2000–2009 wykształciły zarówno sosny rosnące w pobliżu huty, jak i w pewnej odległości od niej. Oznacza to, że nie można stwierdzić, czy redukcje powstałe w tym okresie są wynikiem obecnej emisji zanieczyszczeń z huty.
3. Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach zanieczyszczały silnie atmosferę już w latach 1925–1930. Świadczą o tym duże redukcje przyrostów rocznych oraz znaczna ilość brakujących przyrostów w sosnach rosnących na stanowiskach położonych blisko zakładów. Redukcje przyrostów oraz znaczna ilość wypadających stojów występuje w sosnach rosnących wokół zakładów chemicznych w latach 1955–1985. Od 1985 r., kiedy zakład zaczął podupadać, przyrosty są wyraźnie szersze, co oznacza, że jego niekorzystny wpływ został znacznie zredukowany.

Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2008–2011 jako projekt badawczy Nr N N306 317135.

Literatura

Breymeyer A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: General as-*

sumptions, climatic conditions and pollution deposition, Environmental Pollution, 98 s. 335–345.

Biernacki W., 1983, *60 lat Zakładów*

- Chemicznych "Tarnowskie Góry"*, Zakłady Chemiczne „Tarnowskie Góry”, s. 1–91.
- Bojanowski S., 2008, *Huta Cynku „Miasteczko Śląskie” S.A. wczoraj i dziś*, Miasteczko Śląskie, s. 1–5.
- Borecki T., 1993, *Metodyczne podstawy wielkoobszarowej inwentaryzacji zdrowotnego stanu lasu dla nadleśnictwa*, Prace Instytutu Badań Lasu, seria B, 18, s. 7–11.
- Cook E.R., Holmes R.L., 1999, *User manual for Program ARSTAN*, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 15 s.
- Danek M., 2007, *The influence of industry on scots pine stands in the south-eastern part of the Silesia-Kraków Upland (Poland) on the basis of dendrochronological analysis*, Water, Air and Soil Pollution, 185, s. 265–277.
- Dmuchański W., Bytnerowicz A., 1995, *Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots pine (Pinus sylvestris L.) needles*, Environmental Pollution, 87, s. 87–104.
- Elling W., Dittmar Ch, Pfaffelmoser K., Rotzer T., 2009, *Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (Abies alba Mill.) in Southern Germany*, Forest Ecology and Management, 257, s. 1175–1187.
- Farrar J. F., Relton J., Rutter A. J., 1977, *Sulphur dioxide and the scarcity of Pinus sylvestris in the industrial Penines*, Environmental Pollution, 14, s. 63–68.
- Greszta J., 1987, *Wpływ przemysłowego zanieczyszczenia powietrza na lasy*, Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, 176 s.
- Huettl R. F., 1993, *A „New” Phenomenon in Declining Forests.*, [w:] R. F. Huettl, D. Mueller-Dombois (red.), *Forest decline in the Atlantic and Pacific Regions*, Springer Verlag, Berlin, Heilderberg, New York, s. 97–114.
- Ivshin A. P., Shiytov S. G., 1995, *The assessment of subtundra forest degradation by dendrochronological methods in the Norilsk industrial area*, Dendrochronologia, 13, s. 113–126.
- Jämbäck J., Heikkinen O., Tuovinen M., Autio J., 1999, *The effect of air-borne pollutants on the growth of Pinus sylvestris in the City of Oulu, Finland*, Fennia, 177, s. 161–169.
- Karolewski P., 1989, *Oddziaływanie zanieczyszczeń przemysłowych na procesy fizjologiczne i metabolizm roślin*, [w:] S. Białobok (red.), *Życie drzew w skażonym środowisku*, PWN, Warszawa, s. 272–339.
- Kandler O., Innes J. L., 1995, *Air pollution and forest decline in central Europe*, Environmental Pollution, 90, s. 171–180.
- Kennedy Sutherland E., Martin B., 1990, *Growth response of Pseudotsuga menziesii to air pollution from cooper smelting*, Canadian Journal of Forest Research, 20, s. 1020–1030.
- Kontic R., Winkler-Seifert A., 1987, *Comparative studies on the annual ring pattern and crown conditions of conifers*, [w:] A. Kairiukstis, S. Nilsson, A. Straszak (red.), *Forest decline and reproduction*, Laxenburg, Austria, s. 143–152.
- Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E., 2001, *Tree-ring estimation of the effect of industrial pollution on pine (Pinus sylvestris) and fir (Abies alba) in the Ojców National Park (Southern Poland)*, Nature Conservation, 58, s. 33–42.
- Książek M., Idzikowska K., Przymulski R. 1989, *Wpływ zanieczyszczeń na morfologię, anatomię i ultrastrukturę drzew*, [w:] S. Białobok (red.), *Życie drzew w skażonym środowisku*, PWN, Warszawa, s. 257–271.

- Mazurski K. R., 1986, *The destruction of forests in the Polish Sudetes Mountains by industrial emissions*. Forest Ecology and Management, 17, s. 303–315.
- Nash T. H., Fritts H. C. Stokes M. A., 1975, *A technique for examining non-climatic variation in widths of annual tree rings with special reference to air pollution*, *Tree-Ring Bulletin*, 35, s. 15–24.
- Niedzielska B., 1986, *Wpływ zanieczyszczeń powietrza na budowę anatomiczną drewna sosny pospolitej (Pinus silvestris L.) rosnącej w zasięgu emisji huty „Bolesław” koło Olkusza*, *Acta Agraria et Silvicultura*, ser. Silv., 25, s. 131–141.
- Nöjd P., Mikkola K., Saranpää P., 1996, *History of forest damage in Monchegorsk, Kola; a retrospective analysis based on tree rings*, *Canadian Journal of Forest Research*, 26, s. 1805–1812.
- Oleksyn J., 1988, *High growth of different European Scots pine provenances in a heavy polluted and control environment*, *Environmental Pollution*, 55, s. 289–299.
- Orzeł S., 1996, *Dynamika przyrostu grubości drzewostanów sosnowych położonych w zasięgu emisji zakładów przemysłu metali kolorowych*, *Sylvan*, 140, s. 59–67.
- Schweingruber F. H., Kontic R., Niederer M., Nippel C. A., Winkler-Seifert A., 1985, *Diagnosis and distribution of conifer decay in the Swiss Rhone Valley, a dendrochronological study*, [w:] P. Schmid-Haas (red.), *Anstalt für forstliche Versuchswesen*, Birminsdorf, Switzerland, s. 189–192.
- Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O. U., 1990, *Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology*, *Dendrochronologia*, 8, s. 9–38.
- Schwengruber F. H., 1996, *Tree Rings and Environment. Dendroecology*, Birminsdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 s.
- Szychowska-Krapiec E., Wiśniewski Z., 1996, *Zastosowanie analizy przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (Pinus silvestris) do oceny wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na przykładzie zakładów chemicznych „Police” (woj. szczecińskie)*, *Kwartalnik AGH, Geologia*, 22, s. 281–299.
- Strzyszczyński Z., 1995, *Warunki glebowe a zamieranie drzewostanów w Karkonoskim Parku Narodowym*, [w:] *Geoekologiczne problemy Karkonoszy*, Materiały z sesji naukowej w Borowicach, 13–14 X 1994, Wyd. ACARUS, Poznań, s. 89–94.
- Thompson M. A., 1981, *Tree ring and air pollution: a case study of Pinus monophylla growing in east-central Nevada*, *Environmental Pollution*, 26, series A, s. 251–266.
- Ulrich, B. 1989, *Effects of acidic precipitation on forest ecosystems in Europe*, [w:] D. C. Adriano, A.H. Johnson (red.), *Acidic Precipitation*, Springer Verlag, New York, s. 189–272.
- Walanus A., 2005, *Program Quercus. Instrukcja obsługi*, Kraków, 10 s.
- Wilczyński S., Skrzyszewski J., 2002, *The climatic signal in tree-rings of Scots pine (Pinus sylvestris L.) from foot-hills of the Sudetic Mountains (southern Poland)*, *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 121, s. 15–24.
- Wójcik R., Buczkowski R., 2002, *Analiza przestrzenna rozmieszczenia uszkodzeń drzewostanów powodowanych przez przemysł w Nadleśnictwie Świerklaniec*, [w:] R. Siwicki (red.), *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 456–466.
- Vinš B., Mrkva R., 1973, *The diameter*

increment losses of pine stands as a result of injurious immision, Acta Universitatis Agriculturae (Brno), ser. C (Facultas silviculturae), 42, s. 25–46.

Zielski A., 1990, *Straty na przyroście radialnym drewna u sosen rosnących w sąsiedztwie Zakładów Celulozy i Papieru (ZCP) w Kwidzynie w świetle badań dendrochronologicznych, [w:] Taktyka adaptacyjna populacji i bio-*

cenozpoddanych antropopresji, Wyd. SGGW-AR, Warszawa, s. 78–93.

Zielski A., 1996, *Wpływ temperatury i opadów na szerokość słojów rocznych drewna u sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w rejonie Torunia, Sylwan, 2, s. 71–80.*

Zielski A., Krąpiec M., 2004, *Dendrochronologia, PWN, Warszawa, 328 s.*

Summary

Atmospheric pollution emitted by industrial plants located in the northern part of Silesian Upland recorded in Scots Pine tree rings

Pines growing close to Tarnowskie Góry Chemical Plant and Miasteczko Śląskie Zinc Foundry produced reduced tree rings from 1950 to 1990 when compared with pines growing 60 km from the factories. Tree ring reductions occurred concurrently with the operation of the chemical plant and zinc foundry. Ring widths of the sampled pines are inversely proportional to the sulphur dioxide emissions from the Miasteczko Śląskie Zinc Foundry and the volume of production in the Tarnowskie Góry Chemical Plant. This demonstrates that the growth of trees was suppressed by emissions from the factories. Pines growing close to the zinc foundry started to produce reduced rings in 1965 and tree rings were very heavily suppressed in the 1970s. Reductions were noted from the time when the zinc foundry started to operate up until the present

day. Reduced rings in 2000–2009 are produced by pines growing close to the zinc foundry and also those growing at a distance of 60 km from it. This indicates that ring reductions in 2000–2009 are not necessarily the effect of pollution emissions by the foundry. Tarnowskie Góry Chemical Plant emitted atmospheric pollution as early as 1925–1930 and as a result large tree ring reductions and many missing rings were identified in cores collected from pines growing close to the chemical plant. Tree ring reductions and missing rings occurred from 1955 to 1985 in pines growing close to the chemical plant. Pines have started to produce relatively wide rings since 1985 when the volume of production in the chemical plant rapidly decreased. This indicates that the plant reduced harmful emissions to the atmosphere from this date onwards.