

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

---

### Raport z testu badawczego dotyczącego analizy zanieczyszczenia powietrza (powiat rzeszowski) z wykorzystaniem bioindykacji

Nadzór merytoryczny:

Dr Katarzyna Łuszczyńska

1. *Plan badawczy zawierający przebieg badań z podziałem na prace terenowe i laboratoryjne, wraz ze wskazaniem kolejnych kroków przebiegu prac badawczych*

a) Prace terenowe:

- wytyczenie obszaru badawczego
- wytypowanie odpowiednich drzew do poboru prób dendrochronologicznych (brak defoliacji, zranień, selekcja gatunkowa, posiadanie jednej strzały),
- pobór prób z drzew polegający na zastosowaniu świdra Presslera,
- spakowanie rdzeni do specjalnie przygotowanych pudełek i oznaczenie pudełek,
- dokumentacja stanowiska,
- opis cech morfologicznych drzewa,
- naniesienie pozycji GPS dla każdego drzewa.

b) Prace kameralne:

- wklejenie rdzeni do specjalnie przygotowanych desek drewnianych,
- szlifowanie rdzeni przy użyciu kolejno kilku typów papierów ściernych najpierw o granulacji 100, później 250, 500 i na końcu 1000,
- pomiar przyrostów rocznych przy użyciu aparatury badawczej LinTab z oprogramowaniem TSAPWin Professional 4.65, dokładność 0,01 mm,
- analiza z wykorzystaniem skeleton plot i eliminacja przyrostów brakujących i fałszywych,

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

- datowanie epizodów zanieczyszczenia powietrza poprzez identyfikację redukcji przyrostów rocznych,
- wytypowanie lat z redukcją przyrostów rocznych poprzez opracowanie wykresu zbiorowego ukazującego % lub ilość drzew zapisujących zanieczyszczenie powietrza w poszczególnych latach.

2. *Opis przebiegu prac badawczych z uwzględnianiem założeń teoretycznych, opisu metody, ewentualnego poboru prób w terenie i kolejnych kroków prac laboratoryjnych.*

### Metoda badawcza

Test badawczy przeprowadzono na podstawie 25 rdzeni przyrostowych pobranych z sosen rosnących 3 km na zachód od Głogowa Małopolskiego, w powiecie rzeszowskim (Rycina 1). Przed przystąpieniem do wykonania odwiertów przeprowadzono szczegółową wizualną ocenę stanu zdrowotnego drzewostanu, zwracając uwagę na obecność objawów chorób, uszkodzeń mechanicznych, deformacji pni oraz oznak stresu środowiskowego. Osobniki wykazujące na jakiegokolwiek nieprawidłowości zostały wykluczone z dalszych badań, aby zapewnić możliwie najwyższą wiarygodność uzyskanych wyników. Rdzenie przyrostowe pozyskano przy użyciu świdra Presslera na standardowej wysokości pierśnicy (1,3 m) (Rycina 2), co jest powszechnie przyjętą praktyką w badaniach dendrochronologicznych. Z każdego drzewa pobrano jeden odwiert, starając się zachować reprezentatywność próby przy jednoczesnym minimalizowaniu ingerencji w strukturę drzewa. Uzyskany materiał badawczy został następnie odpowiednio przygotowany do dalszych analiz — rdzenie zamocowano w drewnianych listewkach w celu ich stabilizacji oraz zabezpieczenia przed deformacją (Rycina 3). Kolejnym etapem było ich staranne szlifowanie przy użyciu papierów ściernych o rosnącej gradacji: 100, 250 oraz 500, co umożliwiło stopniowe wygładzanie powierzchni i uwidocznienie struktury słoików rocznych. W przypadkach, gdy granice słoików rocznych były słabo widoczne lub trudne do jednoznacznej identyfikacji, zastosowano dodatkowo papier ścierny o gradacji 1000. Pozwoliło to na uzyskanie wysokiej jakości powierzchni preparatów, niezbędnej do precyzyjnych analiz mikroskopowych i pomiarowych. W pierwszym etapie właściwych analiz opracowano tzw. wzorce szkieletowe (skeleton plot) dla każdej próby. Metoda ta umożliwia wizualne przedstawienie zmienności szerokości przyrostów rocznych oraz



## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

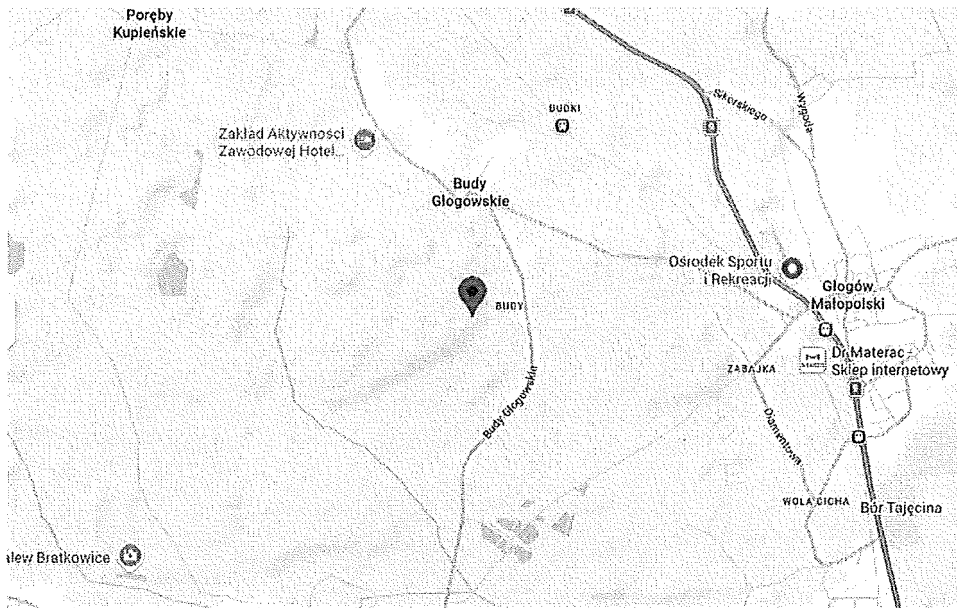
---

identyfikację lat charakteryzujących się wyraźnymi redukcjami przyrostów radialnych, które mogą być powiązane z niekorzystnymi warunkami środowiskowymi.

W kolejnym etapie przeprowadzono szczegółowe pomiary szerokości przyrostów rocznych z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi pomiarowych o wysokiej dokładności. Na podstawie uzyskanych danych opracowano lokalną chronologię przyrostową dla badanego stanowiska (Rycina 4, która stanowi podstawę do dalszych analiz porównawczych oraz interpretacji zmian środowiskowych zachodzących w badanym obszarze. Zidentyfikowane redukcje przyrostów zostały następnie sklasyfikowane według ich intensywności jako słabe lub silne, co pozwala na bardziej precyzyjne określenie skali oddziaływania czynników stresowych. Za okres redukcji przyjęto wystąpienie co najmniej trzech kolejnych przyrostów o zmniejszonej szerokości w porównaniu do sekwencji poprzedzającej, co stanowi kryterium pozwalające odróżnić krótkotrwałe wahania od długotrwałych trendów spadkowych. Redukcję silną definiowano jako taką serię przyrostów, w której średnia szerokość przyrostu wynosiła 50% lub mniej średniej szerokości trzech przyrostów bezpośrednio poprzedzających dany okres redukcji. Natomiast redukcję słabą określano w sposób analogiczny, przy czym szerokość pojedynczego przyrostu w okresie redukcji mieściła się w przedziale 30–50 % średniej szerokości trzech przyrostów z okresu poprzedzającego. Ostatecznie otrzymane sekwencje redukcji zestawiono z opracowanymi wcześniej wzorcami szkieletowymi, co umożliwiło identyfikację potencjalnych przyrostów brakujących oraz weryfikację poprawności datowania poszczególnych słoików rocznych. Takie podejście pozwala zwiększyć dokładność rekonstrukcji przebiegu przyrostów radialnych oraz lepiej zrozumieć reakcję drzew na zmieniające się warunki środowiskowe w analizowanym obszarze.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

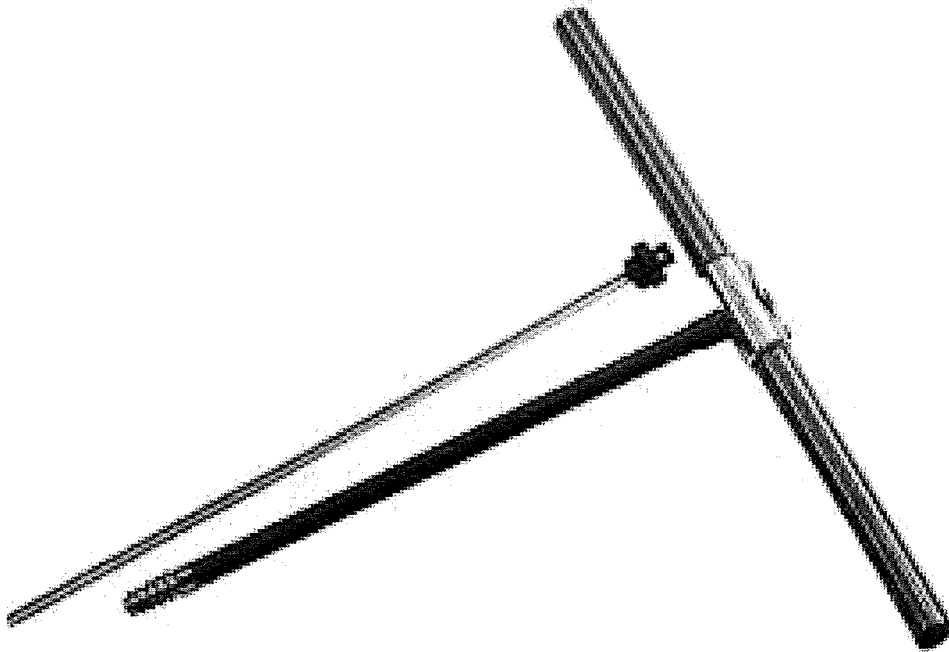


Rycina 1. Miejsce poboru prób z drzew zaznaczone na mapie topograficznej (górna mapa) i na ortofotomapie (dolna mapa).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

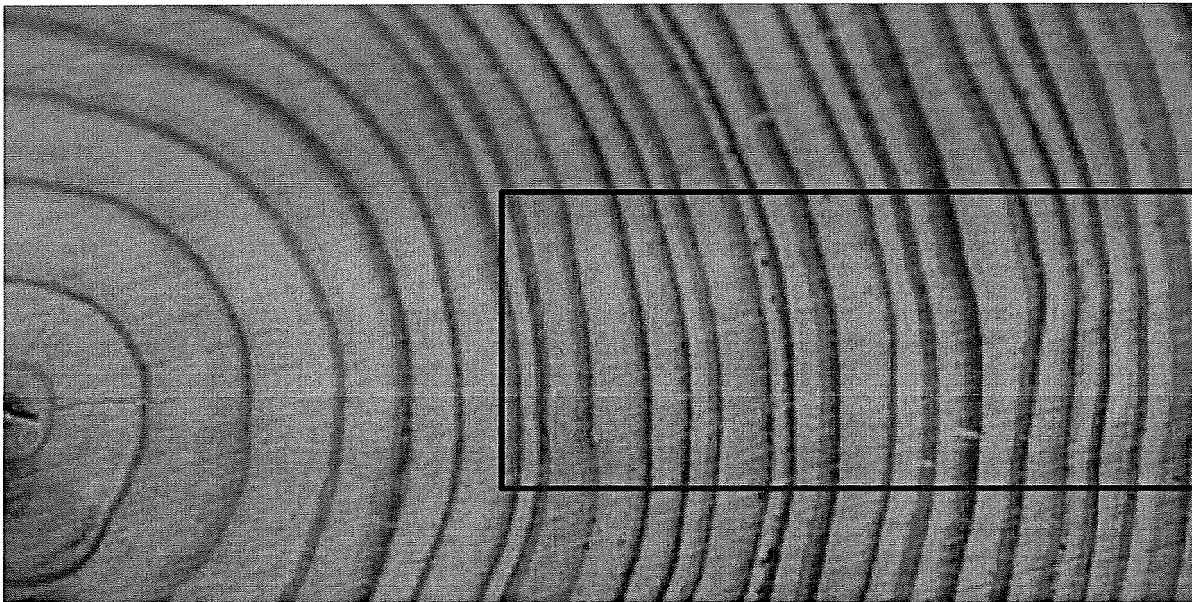
---



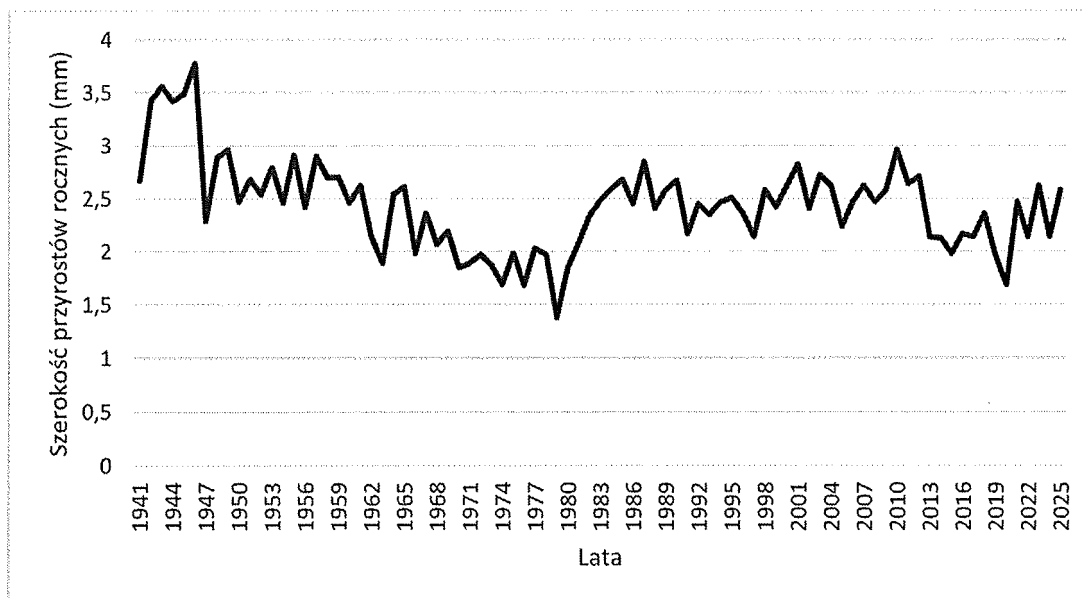
Rycina 2. Świder Presslera do poboru prób z drzew.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 3. Rdzeń pobrany z drzewa z widocznymi redukcjami przyrostu wynikającymi z zanieczyszczenia powietrza (redukcje przyrostów rocznych zaznaczono prostokątem)



Rycina 4. Chronologia utworzona dla wszystkich opróbowanych drzew w czasie testu badawczego.



## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

---

### *3. Wyniki badań w postaci obliczeniowej oraz niezbędnej dokumentację w postaci tabel, wykresów i rysunków*

Testy badawcze wykazały występnie pojedynczych lat ze zredukowanymi przyrostami rocznymi w latach 1963, 1979, 2020. W latach tych przyrosty roczne były bardzo silnie zredukowane. Zwykle pojedyncze przyrosty roczne są silnie tłumione w efekcie czynników nie związanych z zanieczyszczeniem powietrza. Za pojedyncze redukcje odpowiedzialny jest zwykle jakiś czynnik środowiskowy, najczęściej są to niekorzystne warunki klimatyczne. Redukcja przyrostów rocznych sosny w warunkach górskich jest najczęściej wynikiem oddziaływania kilku nakładających się czynników klimatycznych, które wpływają zarówno na długość sezonu wegetacyjnego, jak i dostępność wody oraz intensywność procesów fizjologicznych drzewa. Najważniejszym czynnikiem jest temperatura powietrza, szczególnie w okresie wiosennym i letnim. Niskie temperatury wczesną wiosną mogą opóźniać rozpoczęcie wegetacji, skracając tym samym okres przyrostu. Z kolei chłodne lata ograniczają tempo fotosyntezy i aktywność kambium. Równie istotne są przymrozki późnowiosenne, które mogą uszkadzać młode tkanki i prowadzić do wyraźnych redukcji szerokości słoju rocznych. Drugim kluczowym czynnikiem są opady atmosferyczne, a właściwie ich niedobór. Pomimo że środowisko górskie często kojarzy się z dużą wilgotnością, okresowe susze letnie stanowią poważny stres dla sosny, zwłaszcza na płytkich, kamienistych glebach o niskiej retencji wodnej. Niedobór wody prowadzi do zamykania aparatów szparkowych, ograniczenia fotosyntezy i w konsekwencji zmniejszenia przyrostów radialnych. Duże znaczenie ma także pokrywa śnieżna. Jej grubość i czas zalegania wpływają na dostępność wody wiosną oraz ochronę systemu korzeniowego przed przemarzaniem. Zbyt krótki okres zalegania śniegu może skutkować niedoborem wody na początku sezonu, natomiast zbyt długie utrzymywanie się pokrywy śnieżnej opóźnia rozpoczęcie wegetacji. Kolejnym istotnym czynnikiem są ekstremalne zjawiska pogodowe, takie jak silne wiatry (np. halny), które mogą powodować uszkodzenia mechaniczne, zwiększoną transpirację oraz przesuszenie drzew. Również epizody wysokich temperatur, zwłaszcza w połączeniu z suszą, mogą prowadzić do stresu termiczno-wodnego. Nie można pominąć także wpływu wilgotności powietrza i zachmurzenia. Długotrwałe okresy niskiej wilgotności i wysokiego nasłonecznienia zwiększają parowanie i zapotrzebowanie na wodę, natomiast nadmierne zachmurzenie ogranicza dopływ promieniowania słonecznego, co obniża wydajność fotosyntezy. W warunkach górskich istotna jest również zmienność warunków klimatycznych między latami. Sosna reaguje szczególnie silnie na kombinacje niekorzystnych

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

czynników, np. chłodną wiosnę połączoną z letnią suszą. Takie sekwencje często prowadzą do powstawania serii wąskich stojów, czyli właśnie redukcji przyrostów rocznych.

W badanych drzewach najsilniej zredukowane przyrosty roczne wystąpiły w latach 1970–1981, natomiast drugi mniej wyraźny okres redukcji przyrostów rocznych odnotowano w latach 2013–2021. Oba te przedziały czasowe wyróżniają się na tle całej analizowanej chronologii jako fazy obniżonej aktywności przyrostowej drzew, choć różnią się zarówno intensywnością, jak i prawdopodobnymi przyczynami środowiskowymi. Pierwszy okres redukcji przyrostów rocznych cechuje się głównie redukcjami o charakterze słabym, jednak ich długotrwałość wskazuje na działanie czynnika stresowego o charakterze ciągłym i rozległym przestrzennie. W tym czasie w wielu regionach Europy obserwowano powszechne zjawisko spadku przyrostów radialnych drzew, które było związane przede wszystkim z intensywnym oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza, zwłaszcza emisji dwutlenku siarki (SO<sub>2</sub>) oraz innych związków przemysłowych. Zanieczyszczenia te prowadziły do zakwaszenia gleb, uszkodzeń aparatów asymilacyjnych oraz zaburzeń w funkcjonowaniu systemów fizjologicznych drzew, co bezpośrednio przekładało się na ograniczenie produkcji biomasy i szerokości stojów rocznych. Można zatem przyjąć, że redukcje zidentyfikowane w trakcie przeprowadzonego testu badawczego również są efektem oddziaływania zanieczyszczeń powietrza, pomimo znacznej odległości miejsca badań od głównych ośrodków przemysłowych.

Trudniej wytłumaczyć redukcję przyrostów rocznych, która wystąpiła w latach 2013–2021. W tym czasie na terenie Polski obserwowano wprawdzie występowanie zanieczyszczeń powietrza związanych z tzw. niską emisją, pochodzącą głównie z indywidualnych źródeł ogrzewania oraz transportu. Jednakże w przeciwieństwie do wcześniejszych dekad, ich skala i charakter oddziaływania były bardziej zróżnicowane przestrzennie, co utrudnia jednoznaczne powiązanie tego czynnika z zaobserwowaną redukcją przyrostów radialnych. W związku z tym trudno jednoznacznie stwierdzić, że analizowany okres redukcji był bezpośrednio spowodowany zanieczyszczeniem powietrza. Znacznie bardziej prawdopodobne wydaje się oddziaływanie czynników klimatycznych i środowiskowych, które w ostatnich latach wykazują rosnącą zmienność i intensywność. W szczególności należy wskazać na częstsze występowanie okresów suszy, zwłaszcza w sezonie wegetacyjnym, które prowadzą do deficytu wody w glebie i ograniczenia aktywności fizjologicznej drzew. Dodatkowo, wysokie temperatury powietrza oraz fale upałów mogły potęgować stres wodny, przyczyniając się do zmniejszenia szerokości przyrostów rocznych. Nie można również wykluczyć wpływu innych, lokalnych czynników środowiskowych, które nie zostały bezpośrednio udokumentowane w trakcie badań. Do takich zjawisk można zaliczyć m.in. okiść, czyli zaleganie ciężkiego, mokrego śniegu na koronach drzew, prowadzące do uszkodzeń mechanicznych, a także epizody silnych wiatrów, lokalne podtopienia czy zmiany warunków

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

siedliskowych. Tego typu incydentalne, lecz intensywne zdarzenia mogą mieć istotny wpływ na kondycję drzew i ich zdolność do przyrostu, mimo że nie zawsze są rejestrowane w dostępnych danych środowiskowych. Warto także zauważyć, że reakcja drzew na stres środowiskowy często ma charakter opóźniony i kumulatywny, co oznacza, że obserwowane redukcje przyrostów mogą być efektem nakładających się oddziaływań z kilku kolejnych lat. Dlatego okres redukcji w latach 2013–2021 należy interpretować jako rezultat złożonego oddziaływania różnych czynników, przy czym jego bezpośrednie powiązanie z zanieczyszczeniem powietrza wydaje się mniej uzasadnione niż w przypadku wcześniejszego okresu.

### Literatura

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: 265–277.

Dębcki B., Olecka A., Bebkiewicz K., Kargulewicz I., Rutkowski J., Zasina D., Zimakowska - Laskowska M., Żaczek M. 2015. Krajowy Bilans Emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa.

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* 25: 1175–1187.

Malik I., Danek M., Marchwińska-Wyrwał E., Danek T., Wistuba M., Krąpiec 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 and Soil Pollution* 223: 3345–3364.

Michalik P. 2009. Niska emisja–świadomość zagrożenia z niej wynikających wśród różnych grup społecznych na przykładzie rolników z powiatu plockiego i sierpeckiego. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 40: 617–622.

Sensuła B., Wilczyński S., Opała M. 2015. Tree Growth and Climate Relationship: Dynamics of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Growing in the Near-Source Region of the Combined Heat and Power Plant

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

During the Development of the Pro-Ecological Strategy in Poland. Water Air Soil Pollution 226: 220–237.

Starzyk J.R., Grodzki W., Capecki Z. 2005. Występowanie kornika drukarza *Ips typographus* (L.) w lasach zagospodarowanych i objętych statusem ochronnym w Gorcach. *Leśne Prace Badawcze* 1: 7–30.

#### *4. Wnioski z przeprowadzonych badań w formie opracowania zawierającego szczegółowe analizy wraz z szacunkiem dotyczącym zagrożenia występującego w testowanym terenie (osuwiskowego, powodziowego, związanego z zanieczyszczeniem powietrza zależnie od typu testu badawczego)*

Podsumowując przeprowadzone analizy, można stwierdzić, że zmienność przyrostów rocznych sosny w badanym obszarze stanowi wyraźne odzwierciedlenie oddziaływania czynników środowiskowych o zróżnicowanym charakterze i skali przestrzennej. Wyróżnione okresy redukcji przyrostów wskazują na istotną wrażliwość drzew na zarówno długotrwałe presje o charakterze ponadregionalnym, jak i krótkotrwałe, lecz intensywne oddziaływania lokalne. Pierwszy zidentyfikowany okres redukcji (1970–1981) należy wiązać przede wszystkim z wpływem zanieczyszczeń powietrza, które w tym czasie oddziaływały na ekosystemy leśne w skali niemal całej Europy. Pomimo lokalizacji stanowiska badawczego z dala od głównych ośrodków przemysłowych, transport zanieczyszczeń na duże odległości oraz ich depozycja w środowisku górskim mogły istotnie ograniczać przyrosty radialne drzew.

Z kolei drugi okres redukcji (2013–2021) wykazuje bardziej złożony charakter i najprawdopodobniej wynika z kombinacji czynników klimatycznych, takich jak susze, wysokie temperatury oraz wzrastająca zmienność warunków pogodowych. Uzyskane wyniki podkreślają znaczenie wieloczynnikowej analizy przy interpretacji dynamiki przyrostów rocznych drzew. Reakcja sosny na stres środowiskowy ma charakter zarówno bezpośredni, jak i opóźniony, co dodatkowo komplikuje jednoznaczne przypisanie przyczyn obserwowanych zmian. Oznacza, to że w badanym obszarze raczej nie stwierdzono zagrożenia zanieczyszczeniami z niskiej emisji. Nic nie wskazuje także, aby zagrożenie to mogło wystąpić w przyszłości, ponieważ nie odnotowano w ostatnich latach redukcji przyrostów rocznych.

# Interreg



Współfinansowany przez  
UNIE EUROPEJSKĄ

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

---

PREZES ZARZĄDU

Oddział Regionalny Polska  
Katowice, 13.03.2026  
Towarzystwo Przyjaciół Ziemi

  
dr hab. Jerzy Cabala