

## 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 jasielski) 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,
- datowanie epizodów zanieczyszczenia powietrza poprzez identyfikację redukcji przyrostów rocznych,

## 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*

---

- 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 uwzględnieniem założeń teoretycznych, opisu metody, ewentualnego poboru prób w terenie i kolejnych kroków prac laboratoryjnych.*

### Metoda badawcza

Test badawczy przeprowadzono w oparciu o analizę 25 rdzeni przyrostowych pobranych ze jodeł rosnących w 4 km na zachód od miejscowości Nowy Żmigród położonej w powiecie jasielskim, wokół miejsca poboru prób położonych jest dużo niewielkich miejscowości (Rycina 1). Wybór takiej lokalizacji umożliwił uwzględnienie potencjalnego wpływu czynników antropogenicznych na dynamikę przyrostów radialnych drzew. Na etapie przygotowawczym wykonano szczegółową ocenę wizualną drzewostanu, której głównym celem była eliminacja osobników wykazujących oznaki chorób, uszkodzeń mechanicznych oraz innych nieprawidłowości mogących zaburzać zapis przyrostowy. Uwzględniono przy tym ogólną kondycję drzew, stan koron oraz ewentualne deformacje pni, co pozwoliło na wybór materiału badawczego o możliwie wysokiej jakości. Rdzenie przyrostowe pozyskano przy użyciu świdra Presslera, wykonując odwierty na standardowej wysokości pierśnicy (1,3 m), zgodnie z przyjętymi standardami badań dendrochronologicznych (Rycina 2). Z każdego drzewa pobrano jeden rdzeń, co pozwoliło na zachowanie równowagi pomiędzy reprezentatywnością próby, a minimalizacją ingerencji w strukturę drzew. Pobrane próby zostały następnie osadzone w drewnianych listewkach, co zapewniło ich stabilizację oraz ułatwiło dalsze etapy przygotowania laboratoryjnego, w tym obróbkę mechaniczną i analizę. Kolejnym etapem było stopniowe szlifowanie powierzchni rdzeni przy użyciu papierów ściernych o rosnącej gradacji (100, 250 oraz 500). Proces ten umożliwił uzyskanie wyraźnego i czytelnego obrazu słoików rocznych, co jest kluczowe dla poprawnej interpretacji danych. W przypadkach, gdy granice przyrostów rocznych pozostawały trudne do jednoznacznego rozpoznania, zastosowano

## 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*

---

dodatkowo papier o bardzo drobnej gradacji 1000, co znacząco zwiększyło dokładność obserwacji zarówno w skali makro-, jak i mikroskopowej.

W pierwszej fazie właściwych analiz opracowano dla każdej próby indywidualne wzorce szkieletowe (tzw. skeleton plot), stanowiące podstawowe narzędzie w dendrochronologii do identyfikacji lat o charakterystycznych zmianach przyrostowych. Pozwoliło to na wyodrębnienie lat inicjujących redukcje przyrostów radialnych oraz ocenę ich synchronizacji pomiędzy poszczególnymi drzewami (Rycina 3). Ma to istotne znaczenie w interpretacji czynników środowiskowych oddziałujących na badany drzewostan. W dalszym etapie przeprowadzono precyzyjne pomiary szerokości przyrostów rocznych z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi pomiarowych, a uzyskane dane posłużyły do opracowania lokalnej chronologii przyrostowej dla analizowanego stanowiska (Rycina 4). Na tej podstawie możliwe było wyodrębnienie okresów o obniżonej dynamice wzrostu oraz ich szczegółowa analiza. Zidentyfikowane redukcje przyrostów sklasyfikowano jako słabe i silne, przyjmując jednoznaczne kryteria ilościowe. Za okres redukcji uznano wystąpienie co najmniej trzech kolejnych przyrostów o zmniejszonej szerokości w porównaniu do sekwencji poprzedzającej. Redukcję silną definiowano jako serię przyrostów, w której średnia szerokość przyrostu była równa lub niższa niż 50% średniej szerokości trzech przyrostów bezpośrednio poprzedzających analizowany okres. Redukcję słabą określano analogicznie, przy czym szerokość pojedynczego przyrostu mieściła się w przedziale 30–50% średniej szerokości trzech wcześniejszych przyrostów. Uzyskane sekwencje redukcji zestawiono następnie z opracowanymi wzorcami szkieletowymi, co umożliwiło weryfikację poprawności datowania oraz identyfikację potencjalnych przyrostów brakujących. Takie wieloetapowe podejście analityczne pozwoliło nie tylko zwiększyć precyzję przeprowadzonych analiz, ale również podnieść wiarygodność uzyskanych wyników dendrochronologicznych oraz ich interpretacji w kontekście oddziaływania czynników środowiskowych.

## 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 (górną mapą) i na ortofotomapie (dolną mapą).

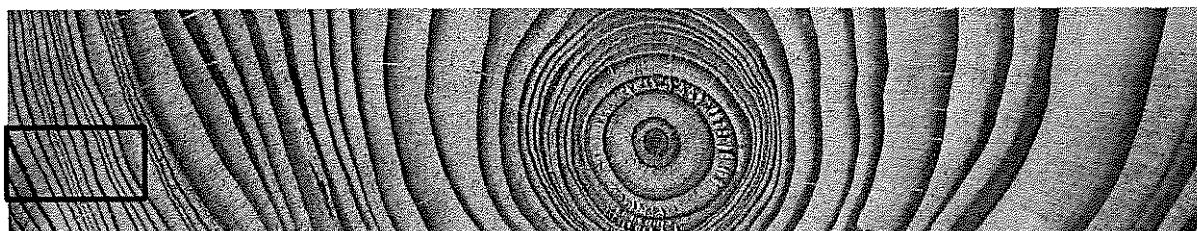
## Polska – Słowacja

*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*

---



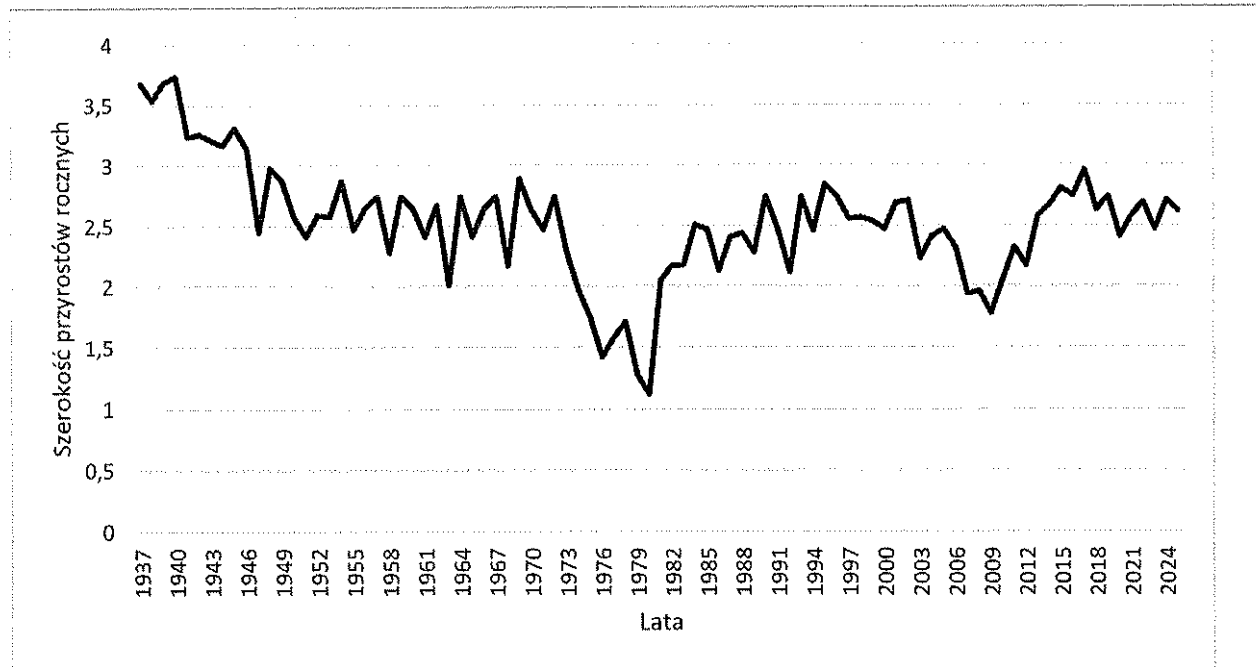
Rycina 2. Świder Presslera złożony z rączki, z części rdzeniującej oraz łyżka do wyciągania rdzeni.



Rycina 3. Redukcjami przyrostów rocznych widoczne na przekroju poprzecznym drewna (zaznaczono prostokątem).

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

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

W czasie, gdy drzewa kształtowały przyrosty roczne doszło do kilku znaczących redukcji przyrostów rocznych obejmujących jeden rok, wystąpiły one w latach 1947, 1963, 1968, 1980, 1992 i 2009 (Rycina 4). W latach tych panowały niekorzystne warunki wzrostu dla drzew, dlatego wzrost tych drzew był tłumiony. Za tłumienie wzrostu w tych latach odpowiedzialne były niekorzystne warunki środowiskowe panujące w tych latach, wykluczyć należy, że redukcje te powstały w wyniku zanieczyszczenia powietrza. Trwające jeden rok redukcje przyrostów rocznych są zazwyczaj wynikiem krótkotrwałych, lecz intensywnych zaburzeń środowiskowych, które bezpośrednio wpływają na przebieg procesów fizjologicznych drzewa, zwłaszcza aktywność kambium i fotosyntezę. W przeciwieństwie do długotrwałych trendów spadkowych, mają one charakter incydentalny i często są powiązane z ekstremalnymi warunkami pogodowymi lub nagłymi zmianami siedliskowymi. Jednym z najważniejszych czynników powodujących redukcje trwające jeden rok są ekstremalne warunki termiczne. W przypadku jodeł, późnowiosenne

## 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*

przymrozki mogą uszkadzać rozwijające się tkanki przewodzące i asymilacyjne, co prowadzi do ograniczenia wzrostu już na początku sezonu wegetacyjnego. Z kolei krótkotrwałe, ale intensywne fale upałów w okresie letnim mogą powodować stres termiczny oraz nasilać deficyt wodny, co skutkuje zamykaniem aparatów szparkowych i ograniczeniem fotosyntezy. Kolejnym istotnym czynnikiem są nagłe niedobory wody, wynikające z epizodycznych susz. Nawet krótkotrwały brak opadów, szczególnie na glebach o niskiej retencji wodnej, może prowadzić do zahamowania przyrostu radialnego. Duże znaczenie mają także zjawiska mechaniczne i ekstremalne wydarzenia pogodowe. Silne wiatry mogą prowadzić do uszkodzeń koron i pni, zwiększonej transpiracji oraz zaburzenia gospodarki wodnej drzewa. W warunkach górskich istotnym czynnikiem jest również okiść, czyli zaleganie ciężkiego, mokrego śniegu, które może powodować łamanie gałęzi i deformacje koron, wpływając na zdolność drzewa do prowadzenia efektywnej fotosyntezy w danym roku. Istotne są również czynniki biotyczne, takie jak gradacje owadów czy infekcje patogenów, które mogą w krótkim czasie doprowadzić do defoliacji lub osłabienia drzewa. Utrata aparatu asymilacyjnego bezpośrednio przekłada się na zmniejszenie produkcji asymilatów, a tym samym na ograniczenie przyrostu rocznego. Warto podkreślić, że redukcje przyrostów w pojedynczych latach często wynikają z nakładania się kilku czynników jednocześnie, np. suszy i wysokiej temperatury lub przymrozków i późniejszego deficytu wody. Taka kumulacja stresów prowadzi do silniejszej reakcji drzewa niż działanie pojedynczego czynnika. Dlatego interpretacja tych zjawisk wymaga uwzględnienia szerokiego kontekstu środowiskowego oraz lokalnych warunków siedliskowych.

Badane drzewa wykazały także okresowe redukcje przyrostów **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.** rocznych, pierwsza z nich wystąpiła w latach 1974-1981, druga w latach 2007-2011 (Rycina 4). Pierwsza z redukcji była w dużej mierze związana z intensywnym oddziaływaniem zanieczyszczeń atmosferycznych, stanowiących efekt dynamicznego rozwoju przemysłu ciężkiego oraz energetyki opartej na spalaniu paliw kopalnych. W latach 70 i 80 XX wieku emisje zanieczyszczeń nie były jeszcze objęte w Europie skutecznymi regulacjami środowiskowymi, co prowadziło do ich kumulacji w atmosferze oraz szerokiego rozprzestrzeniania się, także na obszary oddalone od głównych źródeł emisji. Jednym z kluczowych czynników był dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>), emitowany głównie przez elektrownie węglowe, huty oraz zakłady przemysłowe. Gaz ten, wchodząc w reakcje chemiczne w atmosferze, prowadził do powstawania kwaśnych deszczów. Depozycja kwaśnych związków w glebie skutkowała jej zakwaszeniem, co z kolei powodowało wypłukiwanie istotnych składników pokarmowych, takich jak wapń, magnez czy potas, oraz zwiększenie dostępności toksycznych metali, np. glinu. W efekcie dochodziło do uszkodzenia systemu korzeniowego drzew oraz zaburzenia procesów pobierania wody i składników

## Polska – Słowacja

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

mineralnych. Równie istotny był bezpośredni wpływ zanieczyszczeń na aparaty asymilacyjne. Wysokie stężenia gazów, takich jak SO<sub>2</sub> czy tlenki azotu (NO<sub>x</sub>), prowadziły do uszkodzeń igieł i liści, ograniczając zdolność drzew do prowadzenia efektywnej fotosyntezy. Objawiało się to m.in. nekrozami, chlorozami oraz przedwczesnym opadaniem igieł, co bezpośrednio przekładało się na zmniejszenie produkcji asymilatów i w konsekwencji redukcję przyrostów radialnych. W latach 70. i 80. szeroko opisywanym zjawiskiem było także tzw. zamieranie lasów szczególnie widoczne w drzewostanach świerkowych. Oprócz bezpośredniego wpływu zanieczyszczeń, istotną rolę odgrywało ich oddziaływanie pośrednie, polegające na osłabieniu drzew i zwiększeniu ich podatności na inne stresy środowiskowe, takie jak susze, mróz czy ataki szkodników. Nie bez znaczenia była również kumulacja oddziaływań w czasie. Długotrwała ekspozycja na podwyższone stężenia zanieczyszczeń prowadziła do stopniowego pogarszania się kondycji drzew, co skutkowało serią słabszych przyrostów rocznych, a nie tylko pojedynczymi epizodami redukcji. W efekcie powstawały charakterystyczne sekwencje wąskich stojów, rejestrowane w analizach dendrochronologicznych.

Z kolei druga redukcja przyrostów rocznych, która wystąpiła w okresie 2007-2011, wystąpić mogła w efekcie niskiej emisji związanej z emitowaniem do atmosfery pyłów i gazów z domowych palenisk. Słabej jakości paliwa spalane w domowych paleniskach powodować mogły tłumienie przyrostów rocznych w tym czasie. Okres redukcji był krótki i obejmował zaledwie 5 lat, jednak znane są z literatury opisy lokalnego zapisu zanieczyszczenia powietrza w drzewach, w postaci redukcji przyrostów rocznych, która wystąpiła właśnie w tym okresie. Z drugiej strony brak przekonujących dowodów, że to właśnie zanieczyszczenie powietrza jest odpowiedzialne za redukcję przyrostów w tym czasie. O redukcji mogły także zdecydować inne czynniki środowiskowe.

### 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.

Dębski 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

## 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*

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 płockiego 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 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)*

Przeprowadzony test badawczy wykazał, że badane drzewa wykazały pojedyncze, zredukowane redukcje przyrostów rocznych w latach 1947, 1963, 1968, 1980, 1992 i 2009. Za redukcje te nie jest odpowiedzialne zanieczyszczenie powietrza, jest ono związane z



## 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*

oddziaływaniem pulsacyjnych czynników środowiskowych takich jak okiść czy też susze. Badane drzewa wykazały także zredukowane przyrosty w dwóch okresach, pierwsza redukcja w latach 1974-1981, druga w latach 2007-2011. W pierwszy z okresów redukcje powstał w wyniku oddziaływania zanieczyszczenia powietrza w całej Europie. W okresie tym wzmożona produkcja przemysłowa powodowała dostawanie się do atmosfery zanieczyszczeń, które były przyczyną tłumienia przyrostów rocznych. W wielu miejscach dochodziło wówczas do zamierania drzewostanów na dużą skalę. Za redukcje przyrostów rocznych odpowiedzialne były głównie gazy, w drugiej kolejności pyły emitowane do atmosfery.

Druga, stosunkowo krótka redukcja przyrostów rocznych, która wystąpiła w okresie 2007-2011, powstać mogła w wyniku zanieczyszczenia powietrza związanego z niską emisją, istnieją przykłady redukcji przyrostów rocznych w efekcie oddziaływania niskiej emisji w tym czasie z obszaru Polski. Z drugiej strony trudno jednocześnie wiązać okres redukcji z emisją zanieczyszczeń atmosferycznych. Równie dobrze, za redukcje te mógł być odpowiedzialny inny czynnik środowiskowy np. susza czy też okiść. Niezależnie od źródła redukcji przyrostów rocznych, które wystąpiły w latach 2007-2011 w badanym okresie, redukcja ta nie była kontynuowana i nic nie wskazuje na to, by obecnie w badanym obszarze występowało zagrożenie związane z zanieczyszczeniem powietrza.

PREZES ZARZĄDU

Katowice, 16.03.2026  
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi

  
dr hab. Jerzy Cabala