



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 tatrzański) z wykorzystaniem bioindykacji

Nadzór merytoryczny:

Dr Katarzyna Łuszczynska

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.

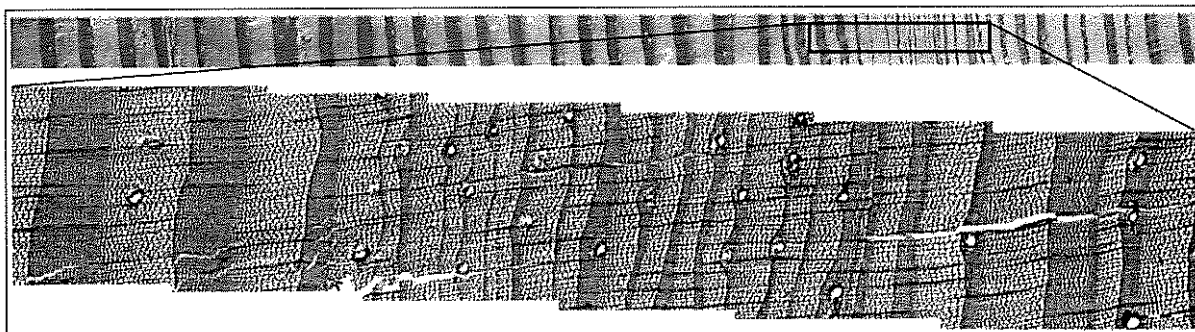
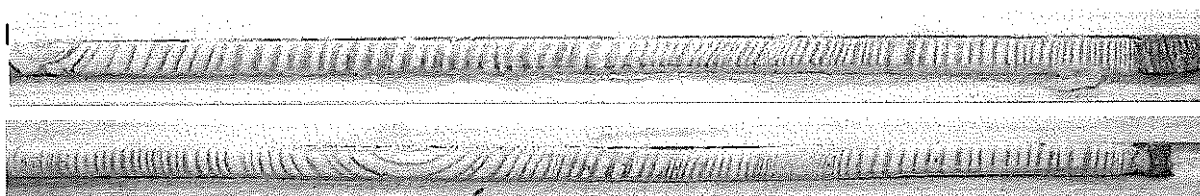
2. *Opis przebiegu prac badawczych z uwzględnianiem założeń teoretycznych, opisu metody, ewentualnego poboru prób w terenie i kolejnych kroków prac laboratoryjnych.*

Metoda badawcza

Ekspertyza została wykonana dla 25 rdzeni przyrostowych pobranych ze świerków rosnących w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy, we wschodniej części miasta Zakopane. Przed przystąpieniem do odwiertów przeprowadzono wizualną ocenę drzewostanu, eliminując osobniki wykazujące objawy chorobowe lub uszkodzenia mechaniczne. Rdzenie pozyskano przy użyciu świdra Presslera na wysokości pierśnicy (1,3 m), (Rycina 1). Z każdego drzewa pobrano jeden odwiert. Materiał badawczy osadzono w drewnianych listewkach, a następnie poddano procesowi szlifowania z zastosowaniem papierów ściernych o gradacji 100, później 250, 500. W przypadkach niedostatecznej czytelności granic słoików rocznych zastosowano dodatkowo papier o gradacji 1000. Pierwszy etap analiz obejmował opracowanie wzorców szkieletowych (skeleton plot) dla każdej próby. Pozwoliło to na identyfikację lat inicjujących redukcje przyrostów radialnych (Rycina 2). W dalszej kolejności dokonano pomiarów szerokości przyrostów rocznych oraz opracowano lokalną chronologię przyrostową dla badanego stanowiska (Rycina 3). Zidentyfikowane redukcje przyrostów sklasyfikowano jako słabe lub silne. Za okres redukcji uznano wystąpienie co najmniej trzech kolejnych przyrostów o mniejszej szerokości w porównaniu do sekwencji poprzedzającej. Redukcję silną definiowano jako serię przyrostów, w której średnia szerokość przyrostu stanowiła 50% lub mniej średniej szerokości trzech przyrostów bezpośrednio poprzedzających okres redukcji. Redukcję słabą określano analogicznie, przy czym szerokość pojedynczego przyrostu w okresie redukcji mieściła się w przedziale 30–50% średniej szerokości trzech przyrostów z okresu poprzedzającego. Uzyskane sekwencje redukcji skorelowano z opracowanymi wzorcami szkieletowymi w celu identyfikacji ewentualnych przyrostów brakujących.

Polska – Słowacja

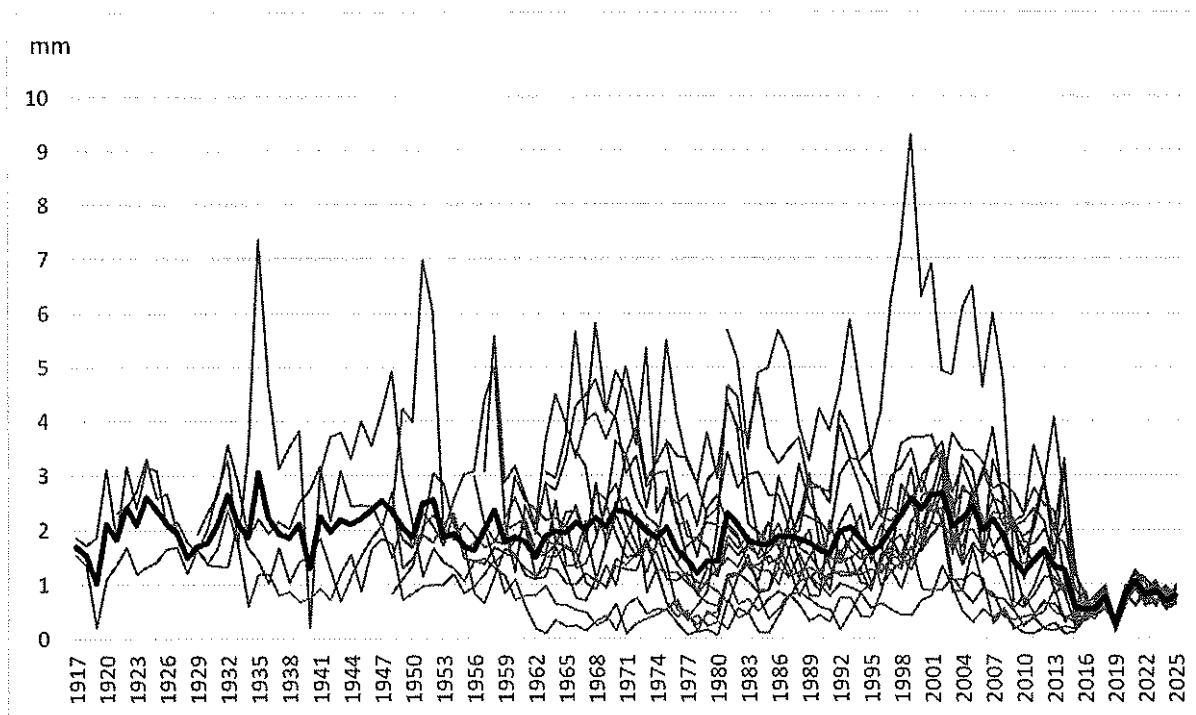
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 2. Rdzenie pobrane z drzew z widocznymi redukcjami przyrostu wynikającymi z zanieczyszczenia powietrza.

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. Wykresy przyrostów rocznych z drzew rosnących w Zakopanem (szare krzywe) oraz chronologia utworzona dla wszystkich opróbowanych drzew (krzywa czerwona).

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

Analiza zmienności szerokości przyrostów rocznych wykazała obecność dwóch wyraźnych okresów redukcji wzrostu radialnego badanych drzew. Pierwszy z nich przypada na lata 70. XX wieku, przy czym szczególnie silna i powszechnie występująca redukcja została zarejestrowana w latach 1977-1980. Drugi okres redukcji jest znacznie silniejszy i rozpoczął się w 2007 roku i trwa do chwili obecnej; największe nasilenie redukcji odnotowano po 2015 roku (Rycina 3). Pierwszy z wyróżnionych okresów redukcji przyrostów rocznych (lata 70. XX wieku) należy wiązać z intensywnym rozwojem przemysłu w Polsce oraz w Europie Środkowej. W literaturze przedmiotu udokumentowano w tym czasie liczne przypadki głębokich redukcji przyrostów radialnych, a także

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

lokalne epizody masowego zamierania drzewostanów (Danek 2007; Elling i in. 2009; Malik i in. 2012). Zjawiska te interpretowane są jako konsekwencja silnej presji zanieczyszczeń przemysłowych na środowisko leśne. Drugi okres redukcji, zarejestrowany w drzewach rosnących wokół Zakopanego, może pozostawać w związku z oddziaływaniem tzw. niskiej emisji, stanowiącej obecnie istotne źródło zanieczyszczeń powietrza w Polsce (Dębski i in. 2015). W wielu regionach kraju wykazano występowanie redukcji przyrostów rocznych w drzewach iglastych w ostatnich latach (Sensuła i in. 2015), co sugeruje, że czynnik odpowiedzialny za obserwowane zmiany może mieć charakter ponadlokalny. Jednocześnie brak jest jednoznacznych dowodów potwierdzających bezpośredni związek pomiędzy redukcjami przyrostów, a zanieczyszczeniami pochodzącymi z niskiej emisji. Należy ponadto uwzględnić możliwość oddziaływania innych czynników stresowych, w tym pojawiających się w ostatnich latach chorób drzewostanów, zwłaszcza iglastych, prowadzących do osłabienia, a niekiedy eliminacji części drzew (Starzyk i in. 2005). Redukcje przyrostów rocznych odnotowane po 2007 roku w drzewach rosnących wokół Zakopanego charakteryzują się większą liczebnością oraz intensywnością w porównaniu z redukcjami z lat 70. XX wieku. Wynik ten może wydawać się zaskakujący, zważywszy na powszechne przekonanie, iż okres 1960–1980 cechował się wyjątkowo wysokim poziomem zanieczyszczeń atmosferycznych, przewyższającym obecne wartości. Należy jednak podkreślić, że przedstawione wyniki mają charakter lokalny, co ogranicza możliwość formułowania daleko idących wniosków. Nie można również wykluczyć, że obserwowane redukcje przyrostów są efektem współdziałania różnych czynników środowiskowych, a nie wyłącznie presji zanieczyszczeń powietrza. Istotne znaczenie ma także fakt, iż Zakopane nie było ani nie jest ośrodkiem przemysłowym, co sugeruje, że presja zanieczyszczeń w latach 70. XX wieku mogła mieć w tym regionie mniejsze natężenie niż w silnie uprzemysłowionych częściach kraju. Może to częściowo wyjaśniać relatywnie silniejsze zahamowanie wzrostu drzew po 2007 roku, a nie w latach 1960-1980.

W obu wyróżnionych okresach dominowały redukcje silne. Poza nimi przypadki silnych redukcji miały charakter incydentalny i zostały zidentyfikowane jedynie w latach 1939 oraz 1962. Większą liczbę redukcji silnych stwierdzono w drugim okresie zahamowania wzrostu, tj. po 2007 roku. Dane dotyczące jakości powietrza, pozyskane z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Krakowie, wskazują, że po 2000 roku stężenia dwutlenku siarki (SO₂) oraz dwutlenku azotu (NO₂) utrzymywały się na zbliżonym poziomie, wykazując nieznaczną tendencję spadkową. Odmienny przebieg obserwowano w przypadku pyłu zawieszzonego PM₁₀, którego koncentracja w atmosferze wykazywała trend wzrostowy, osiągając szczególnie wysoką wartość w 2007 roku. Warto zwrócić uwagę że redukcje przyrostów rocznych, które zostały zidentyfikowane po 2007 roku były szczególnie silne i dokumentują one okres występowania niskiej emisji. Zanieczyszczenie

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

powietrza w tym okresie musiało być szczególnie silne i to ono zdecydowało o tłumieniu przyrostów rocznych badanych drzew. Analiza porównawcza redukcji przyrostów rocznych z poziomem emisji zanieczyszczeń w Zakopanem wskazuje, że potencjalnym czynnikiem odpowiedzialnym za pogorszenie kondycji drzewostanu w drugim wyróżnionym okresie może być pył zawieszony PM10. Zwraca się uwagę, że pył pochodzący z niskiej emisji bywa bardziej toksyczny niż pył generowany przez źródła przemysłowe (Michalik 2009). Choć trudno jednoznacznie wykazać związek przyczynowo-skutkowy między wzrostem stężeń pyłu, a redukcjami przyrostów rocznych drzew rosnących w rejonie Zakopanego, zauważalna jest synchronia czasowa obu zjawisk. Można zatem przypuszczać, że zwiększone stężenie pyłów w atmosferze stanowi jeden z czynników ograniczających przyrost radialny badanych drzew. Widać także niewielką tendencję poprawy jakości powietrza w ciągu ostatnich kilku lat (Rycina 3), być może ma to związek ze stopniową eliminacją lokalnego zanieczyszczenia powietrza związanego ze stopniową likwidacją kotłów C.O starego typu i przez to poprawę jakości powietrza.

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 SO₂, NO_x, CO, NH₃, 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.

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

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 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)

Redukcje przyrostów rocznych drzew dokumentują silne zanieczyszczenie powietrza w okolicach Zakopanego. Najsilniejsze redukcje wystąpiły po 2007 roku, przy czym pogłębiły się one w 2015 roku. W ciągu ostatnich 3-4 lat redukcje przyrostów rocznych nie są już tak duże co świadczy o stopniowej poprawie kondycji atmosfery, może to mieć związek ze stopniową wymianą kotłów C.O na ekologiczne i stopniowe ograniczanie niskiej emisji. Stosunkowo duże tłumienie wzrostu drzew odnotowano także w latach 70. XX wieku, w szczególności w latach 1977-1980. Jednak redukcje nie były wtedy tak głębokie jak po 2007 roku. Trudno jednoznacznie stwierdzić czy tylko zanieczyszczenia powietrza są efektem tłumienia wzrostu drzew w ostatnim czasie w okolicach Zakopanego. Niewątpliwie jedną z przyczyn może być zwiększająca się emisja zanieczyszczeń pyłowych do atmosfery, która jest synchroniczna z tłumieniem przyrostów rocznych drzew rosnących wokół Zakopanego. Zanieczyszczenia pyłowe powodują zatykanie aparatów szparkowych drzew, a co za tym idzie ograniczaniem ich wzrostu, także radialnego.

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polska
Towarzystwo Przyjaciół Parku w Ziemi

dr hab. Jerzy Cabala

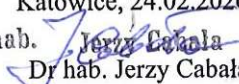
Interreg



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 Górnośląski, Polskie
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
Katowice, 24.02.2026
dr hab. 
Dr hab. Jerzy Cabała