

## 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*

---

### **Správa z výskumného testu týkajúceho sa analýzy znečistenia ovzdušia s využitím bioindikácie (Stará Ľubovňa)**

#### **Odborný dohľad:**

Dr Katarzyna Łuszczczyńska

- 1. Výskumný plán obsahujúci priebeh výskumu s rozdelením na terénne a laboratórne/ kancelárske práce, spolu s uvedením jednotlivých krokov priebehu výskumných prác*

#### **Terénne práce:**

- vymedzenie výskumného územia,
- výber vhodných stromov na odber dendrochronologických vzoriek,
- odber vzoriek zo stromov pomocou Presslerovho nebožieca,
- zabalenie jadier do špeciálne pripravených škatúl a ich označenie,
- dokumentácia stanoviska,
- opis morfológických znakov stromu,
- zaznamenanie GPS polohy každého stromu.

#### **Kancelárske/laboratórne práce:**

- vlepenie jadier do špeciálne pripravených drevených líšt,
- brúsenie jadier pomocou brúsnych papierov s granuláciou 100, 250, 500 a 1000,
- meranie ročných prírastkov pomocou prístroja LinTab so softvérom TSAPWin Professional 4.65 s presnosťou 0,01 mm,
- analýza pomocou skeleton plotu a eliminácia chýbajúcich a falošných prírastkov,

## 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*

---

- datovanie epizód znečistenia ovzdušia identifikáciou redukcí ročných prírastkov,
- určenie rokov s redukcíou ročných prírastkov na základe súhrnného grafu znázorňujúceho percento alebo počet stromov zaznamenávajúcich znečistenie ovzdušia v jednotlivých rokoch.

*2. Opis priebehu výskumných prác so zohľadnením teoretických východísk, opisu metódy, prípadného odberu vzoriek v teréne a následných krokov laboratórnych prác.*

### Výskumná metóda

Výskumný test bol realizovaný na základe analýzy 25 prírastkových jadier odobratých z borovic rastúcich približne 10 km severne od Stará Ľubovňa (Obrázok 1). Výber výskumnej lokality bol uskutočnený s cieľom minimalizovať priamy vplyv antropogénnych zásahov a zároveň umožniť hodnotenie zmien rastových prírastkov stromov v súvislosti s pôsobením znečistenia ovzdušia. Lokalita bola charakteristická relatívne stabilnými stanovištnými podmienkami, čo vytváralo vhodné predpoklady na sledovanie reakcie stromov na environmentálne stresové faktory.

Pred začatím samotného odberu vzoriek bol vykonaný podrobný terénny prieskum porastu. V rámci neho sa hodnotil zdravotný stav stromov, prítomnosť mechanických poškodení, deformácií kmeňov, stupeň defoliácie a celková vitalita jednotlivých jedincov. Zo súboru boli vyradené stromy vykazujúce známky chorôb, poškodenia spôsobené škodcami alebo výrazné mechanické narušenia, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť pravidelnosť tvorby letokruhov a skresliť výsledky analýz. Výber vhodných jedincov bol dôležitý pre zabezpečenie čo najvyššej presnosti dendrochronologického hodnotenia. Prírastkové jadrá boli získané pomocou Presslerovho nebožieca vo výške prsnej výšky, teda približne 1,3 m nad povrchom pôdy, pričom z každého stromu bol odobratý jeden vrt (Obrázok 2). Počas odberu sa dbalo na správne nasmerovanie vrtu a zároveň sa vyhýbalo miestam s viditeľnými deformáciami drevnej hmoty alebo poškodeniami kmeňa. Každá vzorka bola bezprostredne po odbere označená identifikačným kódom a bezpečne uložená na transport z terénu do laboratória. Následne boli získané jadrá upevnené do špeciálne

## 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*

pripravených drevených líšt (Obrázok 3), čo zabezpečilo ich stabilitu počas ďalšieho spracovania a minimalizovalo riziko poškodenia vzoriek.

V ďalšej etape laboratórnych prác boli vzorky postupne brúsené pomocou brúsnych papierov s rôznou zrnitosťou – najskôr 100, následne 250 a 500. V prípadoch, keď hranice jednotlivých letokruhov zostávali aj po základnom opracovaní nedostatočne čitateľné, bol použitý aj jemný brúsny papier so zrnitosťou 1000. Cieľom tejto úpravy bolo dosiahnuť maximálnu viditeľnosť anatomických štruktúr dreva a umožniť presnú identifikáciu hraníc medzi jednotlivými ročnými prírastkami. Kvalitná príprava povrchu vzoriek bola nevyhnutná pre správne datovanie letokruhov a následnú interpretáciu výsledkov.

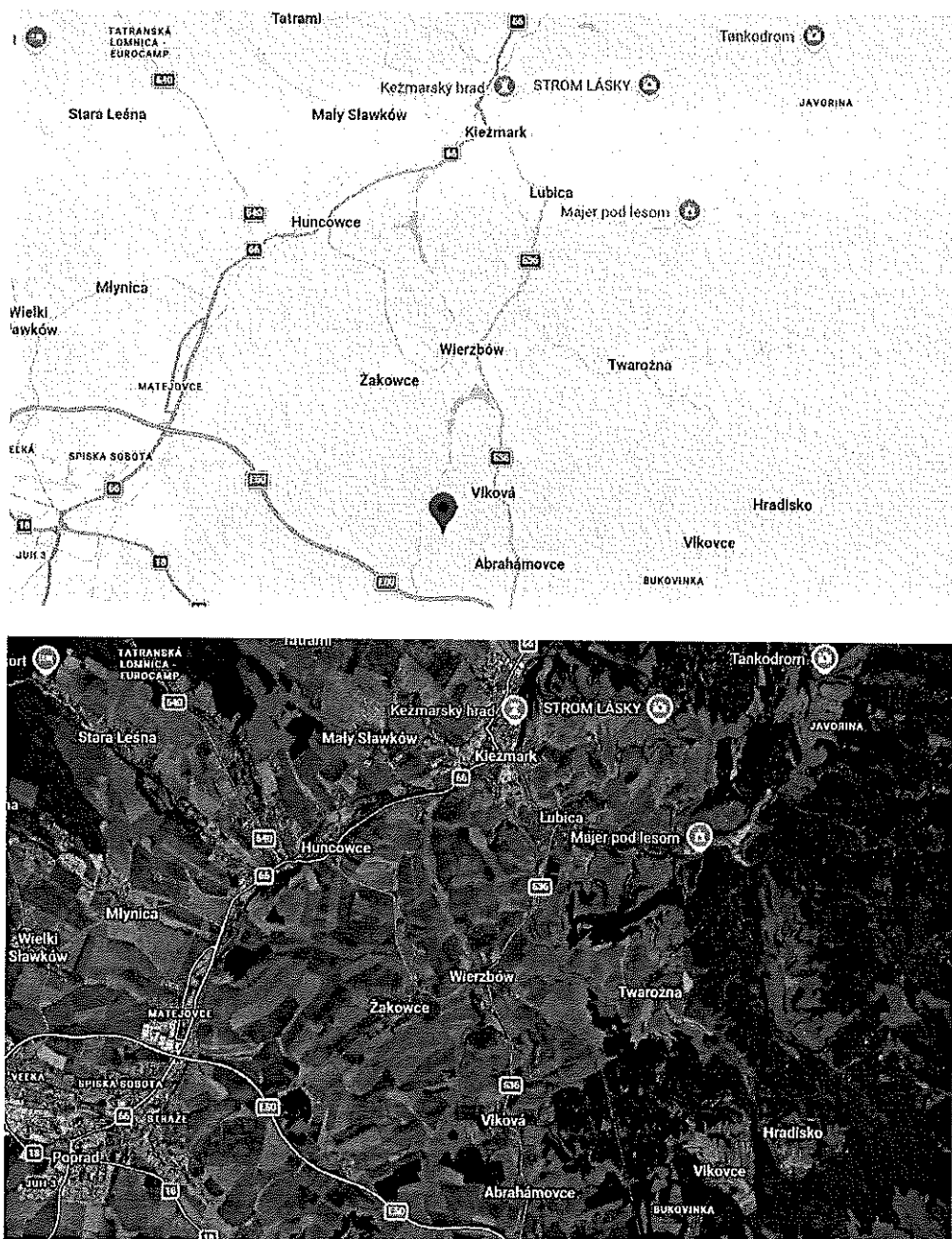
V úvodnej fáze laboratórnych analýz boli pre každú vzorku vytvorené skeleton ploty, ktoré slúžili na identifikáciu charakteristických rastových sekvencií a období redukcie radiálneho rastu. Táto metóda umožnila porovnanie rastových zmien medzi jednotlivými stromami a zároveň pomohla odhaliť prípadné rastové anomálie alebo chýbajúce letokruhy. V ďalšom kroku boli realizované detailné merania šírky ročných prírastkov pomocou špecializovaného dendrochronologického zariadenia s vysokou presnosťou merania. Na základe získaných údajov bola následne zostavená lokálna chronológia prírastkov pre skúmanú lokalitu (Obrázok 4), ktorá umožnila sledovať dlhodobé zmeny rastovej dynamiky stromov.

Zaznamenané redukcie prírastkov boli rozdelené na slabé a silné. Za obdobie redukcie sa považoval výskyt minimálne troch po sebe nasledujúcich prírastkov so zníženou šírkou v porovnaní s predchádzajúcou rastovou sekvenciou. Silná redukcia bola definovaná ako séria prírastkov, pri ktorej priemerná šírka dosahovala 50 % alebo menej priemernej hodnoty troch predchádzajúcich prírastkov. Slabá redukcia bola určená analogickým spôsobom, pričom šírka jednotlivých prírastkov predstavovala 30–50 % priemernej hodnoty predchádzajúceho obdobia.

Získané sekvencie redukcí boli následne porovnané s vytvorenými skeleton plotmi s cieľom identifikovať možné chýbajúce letokruhy a eliminovať prípadné chyby datovania. Tento postup významne prispel k zvýšeniu presnosti a spoľahlivosti výsledkov. Zároveň umožnil detailnejšie určiť obdobia, počas ktorých mohlo dochádzať k intenzívnejšiemu pôsobeniu znečistenia ovzdušia alebo iných stresových faktorov na skúmaný lesný porast.

## 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*



Obrázok 1. Miasta odberu vzoriek zo stromov vyznačené na topografickej mape (horná mapa) a na ortofotomape (spodná 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*

---



Obrázok 2. Presslerov nebožiec na odber vzoriek zo stromov.

## Polska – Słowacja

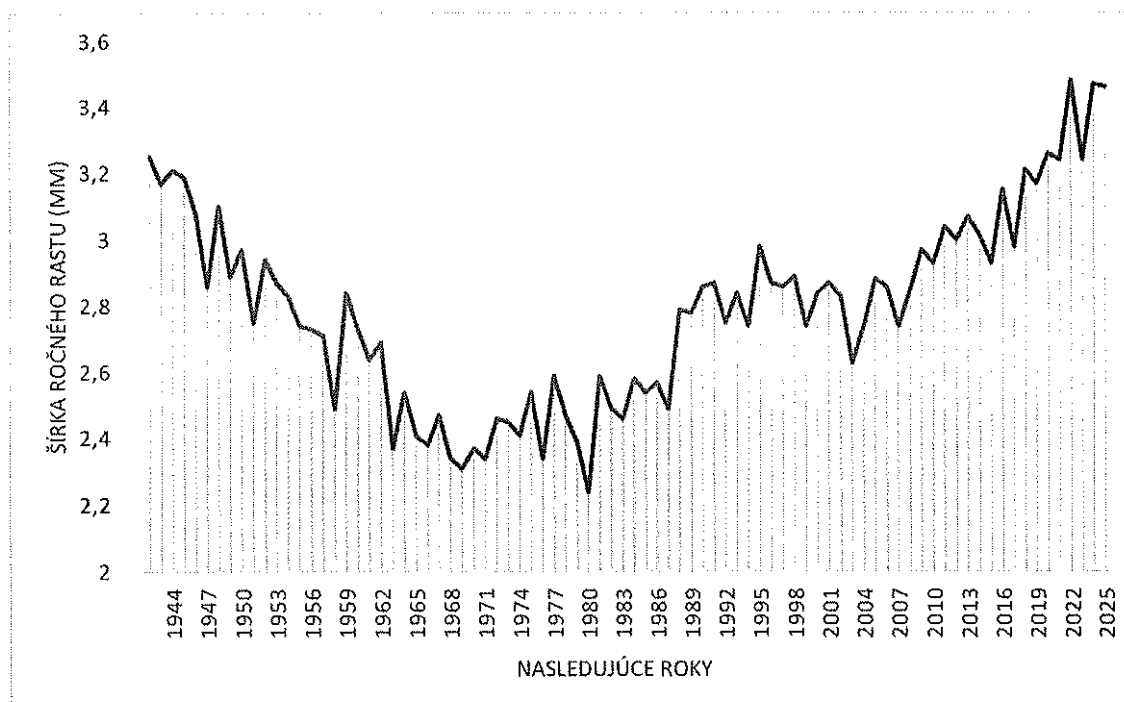
*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Obrázok 3. Prierez kmeňa stromu s viditeľnou redukciou ročných prírastkov označenou čiernym úsekom.

## 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*



Obrázok 4. Chronológia vytvorená pre všetky vzorkované stromy počas výskumného testu.

### *3. Výsledky výskumu v podobe výpočtov a nevyhnutnej dokumentácie vo forme tabuliek, grafov a obrázkov*

Výskumný test preukázal výskyt jednotlivých rokov so zredukovanými ročnými prírastkami v rokoch 1958, 1963, 1980 a 2003. V týchto rokoch boli ročné prírastky veľmi výrazne redukované. Jednotlivé redukcie ročných prírastkov bývajú spravidla spôsobené faktormi nesúvisiacimi so znečistením ovzdušia. Za jednotlivé redukcie je zvyčajne zodpovedný určitý environmentálny faktor, najčastejšie nepriaznivé klimatické podmienky. Redukcia ročných prírastkov borovice v horských podmienkach je najčastejšie výsledkom pôsobenia viacerých navzájom sa prekrývajúcich klimatických faktorov, ktoré ovplyvňujú dĺžku vegetačného obdobia, dostupnosť vody aj intenzitu fyziologických procesov stromu. Najdôležitejším faktorom je teplota vzduchu, najmä v jarnom a letnom období. Nízke teploty na začiatku jari môžu oddialiť začiatok vegetácie, čím skracujú

## 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*

obdobie prírastku. Chladné letá zase obmedzujú rýchlosť fotosyntézy a aktivitu kambia. Mimoriadne významné sú aj neskoré jarné mrazy, ktoré môžu poškodzovať mladé pletivá a viesť k výrazným redukciám šírky ročných letokruhov. Druhým kľúčovým faktorom sú atmosférické zrážky, respektíve ich nedostatok. Napriek tomu, že horské prostredie býva často spájané s vysokou vlhkosťou, periodické letné suchá predstavujú pre borovicu vážny stres, najmä na plytkých kamenistých pôdach s nízkou retenčnou schopnosťou vody. Nedostatok vody vedie k uzatváraniu prieduchov, obmedzeniu fotosyntézy a v dôsledku toho aj k zníženiu radiálnych prírastkov. Veľký význam má aj snehová pokrývka. Jej hrúbka a dĺžka trvania ovplyvňujú dostupnosť vody na jar a ochranu koreňového systému pred premrzaním. Príliš krátke obdobie so snehovou pokrývkou môže viesť k nedostatku vody na začiatku vegetačného obdobia, zatiaľ čo príliš dlhé pretrvávanie snehu oneskoruje začiatok vegetácie. Ďalším významným faktorom sú extrémne poveternostné javy, ako sú silné vetry (napr. fénový vietor), ktoré môžu spôsobovať mechanické poškodenia, zvýšenú transpiráciu a vysušovanie stromov. Rovnako aj epizódy vysokých teplôt, najmä v kombinácii so suchom, môžu viesť k teplotno-vodnému stresu. Nemožno opomenúť ani vplyv vlhkosti vzduchu a oblačnosti. Dlhodobé obdobia nízkej vlhkosti a vysokého slnečného žiarenia zvyšujú výpar a potrebu vody, zatiaľ čo nadmerná oblačnosť obmedzuje prísun slnečného žiarenia, čím znižuje efektivitu fotosyntézy. V horských podmienkach je významná aj medziročná variabilita klimatických podmienok. Borovica reaguje obzvlášť citlivo na kombinácie nepriaznivých faktorov, napríklad chladnú jar spojenú s letným suchom. Takéto sekvencie často vedú k vzniku sérií úzkych letokruhov, teda práve k redukciám ročných prírastkov.

V skúmaných stromoch sa najsilnejšie redukované ročné prírastky vyskytli v rokoch 1965–1988. Išlo o jediné výrazné obdobie redukcie ročných prírastkov zistené v analyzovaných stromoch. Obdobie redukcie prírastkov bolo charakteristické najmä slabými redukciami, avšak ich dlhodobé trvanie poukazuje na pôsobenie stresového faktora kontinuálneho charakteru a s rozsiahlym priestorovým dosahom. V tom čase bolo v mnohých regiónoch Európy pozorované všeobecné znižovanie radiálnych prírastkov drevín, ktoré sa spájalo predovšetkým s intenzívnym pôsobením znečistenia ovzdušia, najmä emisií oxidu siričitého (SO<sub>2</sub>) a ďalších priemyselných zlúčenín. Tieto znečisťujúce látky viedli k okysľovaniu pôd, poškodeniu asimilačných orgánov a narušeniu fungovania fyziologických systémov stromov, čo sa priamo prejavovalo obmedzením produkcie biomasy a zmenšením šírky ročných letokruhov.

Možno teda predpokladať, že redukcie identifikované počas realizovaného výskumného testu sú taktiež dôsledkom pôsobenia znečistenia ovzdušia, napriek značnej vzdialenosti skúmanej lokality od hlavných priemyselných centier. Redukcie ročných prírastkov mohli byť zároveň výsledkom častejších období sucha, najmä počas vegetačného obdobia, ktoré viedli k deficitu vody v pôde a

## 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*

obmedzeniu fyziologickej aktivity stromov. Navyše vysoké teploty vzduchu a vlny horúčav mohli zosilňovať vodný stres a prispievať k znižovaniu šírky ročných prírastkov. Nemožno vylúčiť ani vplyv ďalších lokálnych environmentálnych faktorov, ktoré neboli počas výskumu priamo zdokumentované. Medzi takéto javy možno zaradiť napríklad námrazu a hromadenie ťažkého mokrého snehu na korunách stromov, vedúce k mechanickému poškodeniu, ako aj epizódy silného vetra, lokálne podmäčanie či zmeny stanovištných podmienok. Takéto incidentné, ale intenzívne udalosti môžu mať významný vplyv na kondíciu stromov a ich schopnosť prírastku, hoci nie vždy bývajú zaznamenané v dostupných environmentálnych údajoch. Za zmienku stojí aj skutočnosť, že reakcia stromov na environmentálny stres má často oneskorený a kumulatívny charakter, čo znamená, že pozorované redukcie prírastkov môžu byť výsledkom prekrývajúceho sa pôsobenia viacerých faktorov počas niekoľkých po sebe nasledujúcich rokov.

### 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 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



## 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. Závěry z vykonaného výskumu vo forme spracovania obsahujúceho podrobné analýzy spolu s odhadom rizika vyskytujúceho sa na skúmanom území (zosuvného, povodňového alebo súvisiaceho so znečistením ovzdušia v závislosti od typu výskumného testu).*

Na záver vykonaných analýz možno konštatovať, že variabilita ročných prírastkov drevín v skúmanom území predstavuje zreteľný odraz pôsobenia environmentálnych faktorov rozdielneho charakteru aj priestorového rozsahu. Identifikované obdobia redukcie prírastkov poukazujú na výraznú citlivosť stromov tak na dlhodobé stresové vplyvy nadregionálneho charakteru, ako aj na krátkodobé, no intenzívne lokálne faktory.

Obdobie znížených prírastkov zaznamenané v rokoch 1965–1988 možno spájať predovšetkým s účinkami znečistenia ovzdušia, ktoré v tom čase negatívne ovplyvňovalo lesné ekosystémy vo veľkej časti Európy. Napriek tomu, že skúmaná lokalita sa nachádzala mimo hlavných priemyselných centier, diaľkový transport znečisťujúcich látok a ich následná depozícia v horskom prostredí mohli významne prispieť k obmedzeniu radiálneho rastu stromov.

Získané výsledky zároveň zdôrazňujú potrebu komplexného a viacfaktorového prístupu pri interpretácii dynamiky ročných prírastkov drevín. Reakcia stromov na environmentálny stres môže byť nielen okamžitá, ale aj oneskorená, čo sťažuje jednoznačné určenie príčin pozorovaných zmien.

Výsledky výskumu zároveň naznačujú, že v skúmanom území nebolo potvrdené významné ohrozenie znečistením pochádzajúcim z nízkych emisných zdrojov. Rovnako nič nenasvedčuje tomu, že by sa takéto riziko mohlo výraznejšie prejavíť v budúcnosti, keďže v posledných rokoch nebol zaznamenaný pokles ani redukcia ročných prírastkov stromov.

PREZES ZARZĄDU

Oddział Górnośląski, Polskie  
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi

Katowice, 22.04.2026

dr hab. Jerzy Cabała

Dr hab. Jerzy Cabała

**Interreg**



Współfinansowany przez  
UNIJĘ 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*

---