



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 klímatických zmien

Správa z výskumného testu týkajúceho sa analýzy znečistenia ovzdušia s využitím bioindikácie (Bardejov)

Odborný dohľad:

Dr Katarzyna Łuszczynska

- 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 redukcii ročných prírastkov,
- určenie rokov s redukciou 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 uskutočnený na základe analýzy 25 prírastkových jadier získaných z borovic rastúcich približne 1 km na zapad od centra mesta Bardejov (Obrázok 1). Výskumná lokalita bola zvolená tak, aby sa minimalizoval vplyv priamych antropogénnych zásahov a zároveň bolo možné hodnotiť zmeny rastových prírastkov stromov v súvislosti s pôsobením znečistenia ovzdušia. Pred samotným odberom vzoriek bol vykonaný podrobný vizuálny prieskum porastu, počas ktorého sa posudzoval zdravotný stav stromov, výskyt mechanických poškodení, deformácií kmeňov a úroveň defoliácie. Z ďalšieho spracovania boli vyradené jedince so zjavnými príznakmi chorôb, prítomnosťou parazitov alebo poškodením, ktoré mohlo negatívne ovplyvniť priebeh rastových prírastkov. Prírastkové jadrá boli odobraté pomocou Presslerovho nebožieca vo výške prsnej výšky, teda približne 1,3 m nad povrchom terénu, pričom z každého stromu bol získaný jeden vrt (Obrázok 2). Počas odberu sa kládol dôraz na správnu orientáciu vrtu a vyhýbanie sa miestam s viditeľnými deformáciami drevnej hmoty. Každá vzorka bola označená identifikačným kódom a bezpečne uložená na transport z terénu. Následne boli získané jadrá upevnené do špeciálne pripravených drevených líšt (Obrázok 3), čo zabezpečilo ich stabilitu a umožnilo ďalšie laboratórne spracovanie. V ďalšej fáze boli vzorky brúsené pomocou brúsnych papierov s postupne jemnejšou zrnitosťou – 100, 250 a 500. V prípadoch, keď boli hranice letokruhov stále nedostatočne čitateľné, bol použitý aj papier so zrnitosťou 1000. Cieľom tejto úpravy bolo dosiahnuť čo najlepšiu viditeľnosť drevených štruktúr a umožniť presné rozlíšenie jednotlivých ročných 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

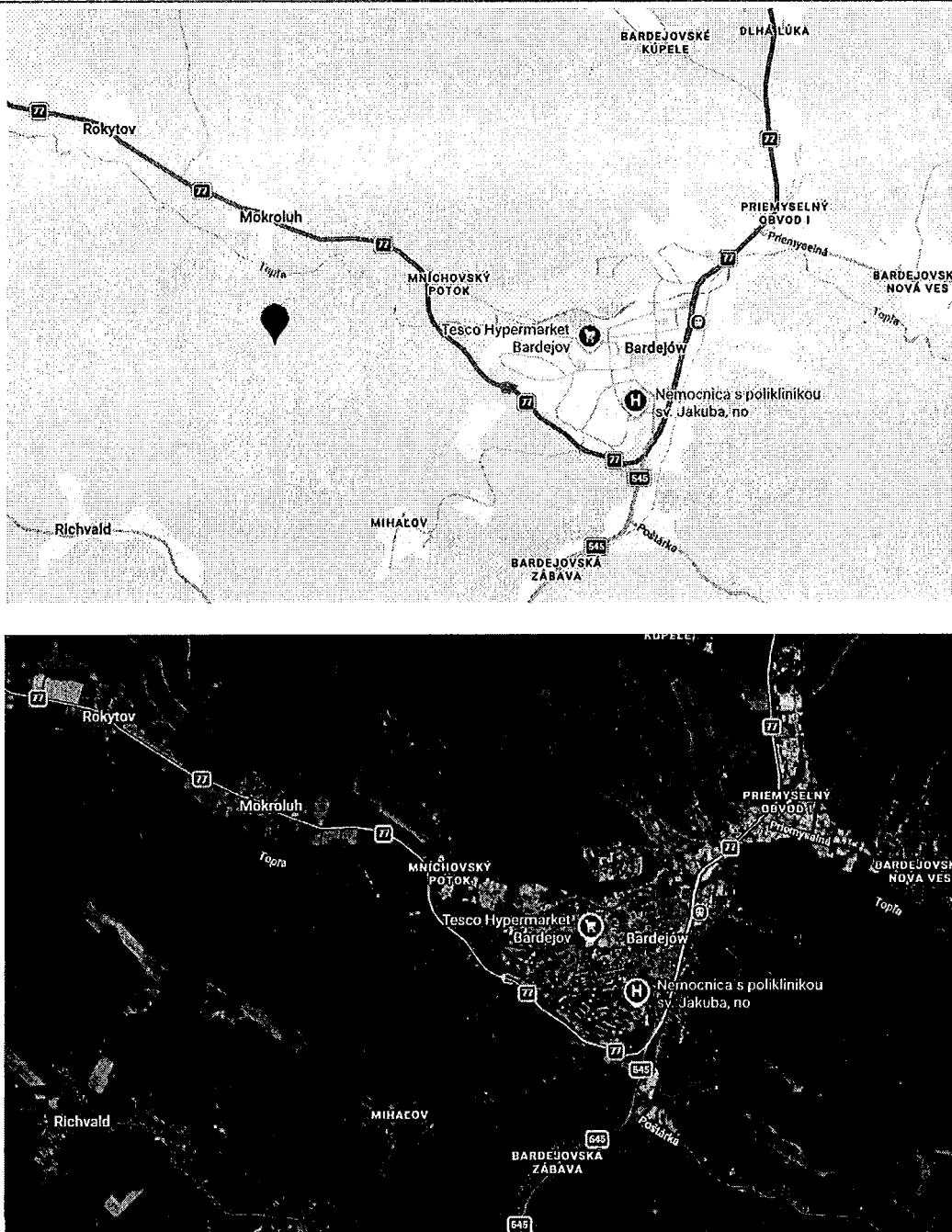
V úvodnej etape laboratórnych analýz boli pre každú vzorku vytvorené skeleton ploty, ktoré slúžili na identifikáciu charakteristických rastových sekvencií a rokov spojených s redukciami radiálneho rastu. Táto metóda zároveň umožnila porovnanie rastových zmien medzi jednotlivými stromami a odhalenie možných rastových anomálií. Následne boli realizované detailné merania šírky ročných prírastkov pomocou špecializovaného dendrochronologického zariadenia a bola zostavená lokálna chronológia prírastkov pre skúmanú lokalitu (Obrázok 4).

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

Výsledné sekvencie redukcí boli následne porovnané s vytvorenými skeleton plotmi s cieľom identifikovať možné chýbajúce letokruhy a odstrániť prípadné chyby v datovaní. Tento postup prispel k zvýšeniu presnosti a spoľahlivosti výsledkov a zároveň umožnil detailnejšie určiť obdobia, počas ktorých mohlo dochádzať k intenzívnejšiemu pôsobeniu znečistenia ovzdušia na skúmaný lesný porast.

Polska – Słowacja

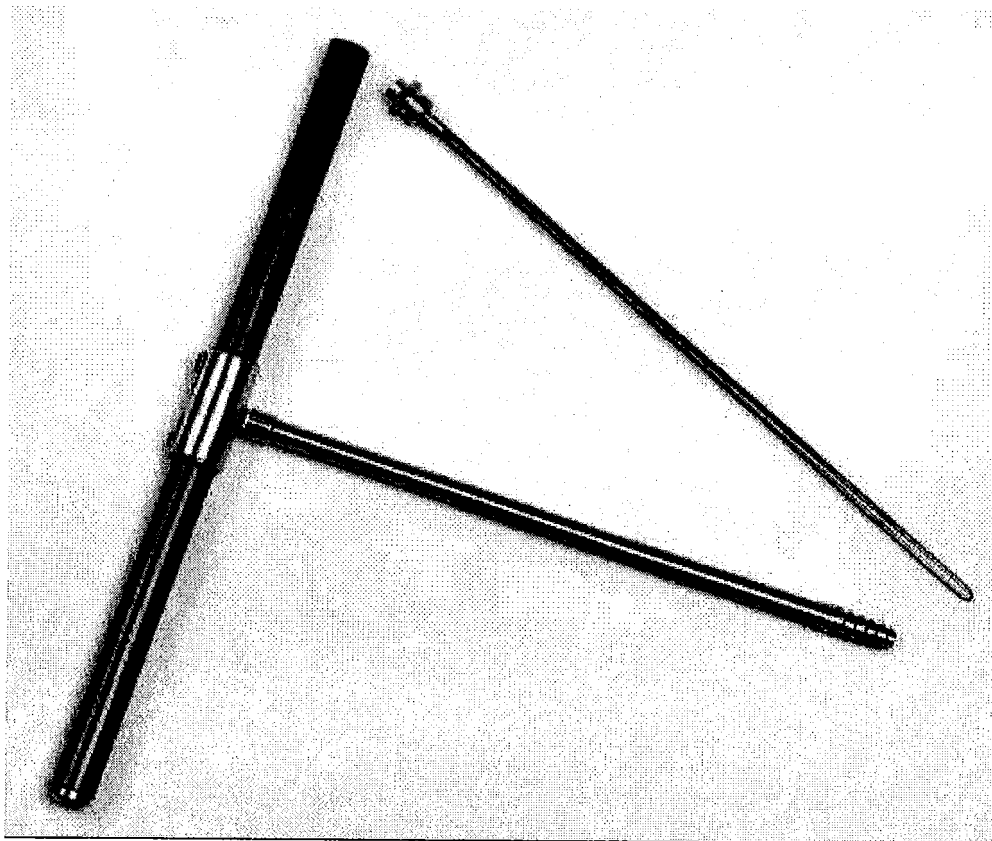
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



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

Polska – Słowacja

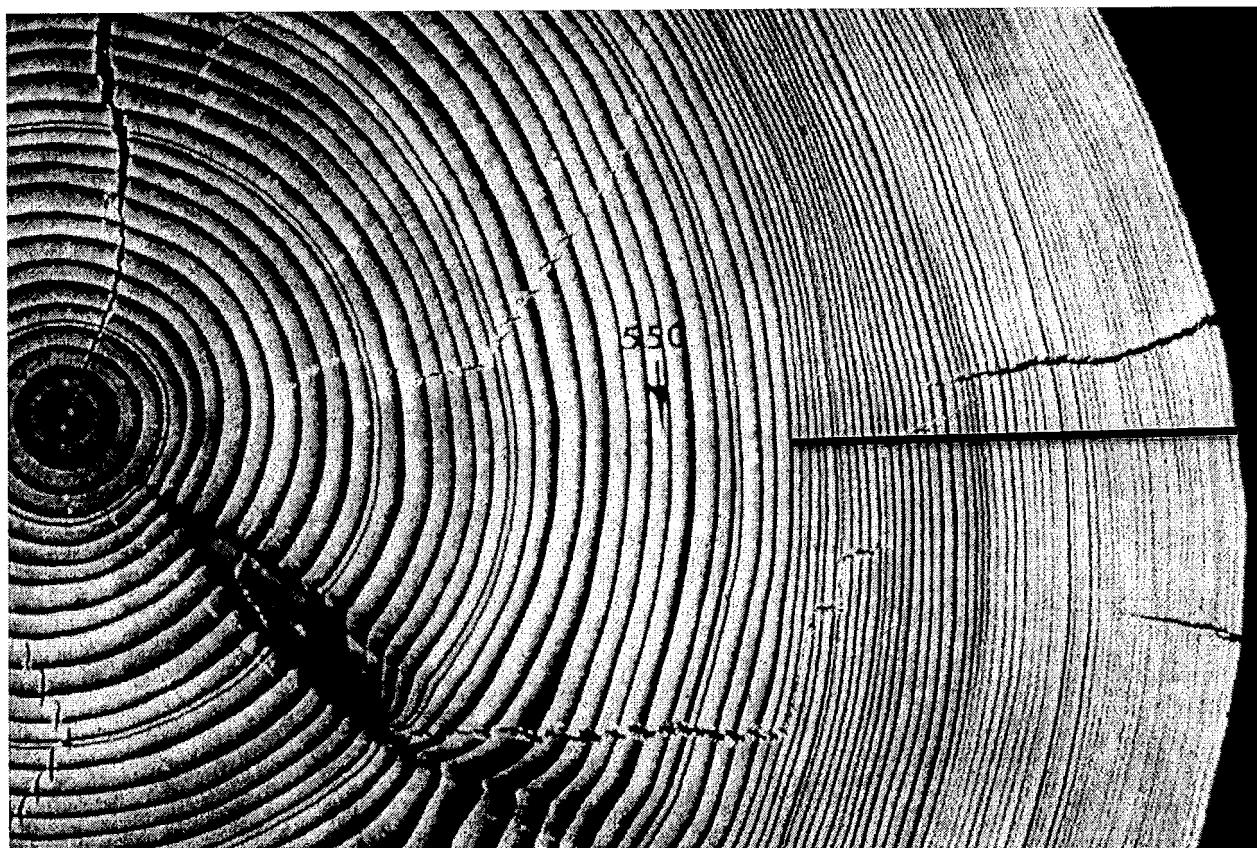
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 2. Presslerov nebožiec na odber vzoriek zo stromov.

Polska – Słowacja

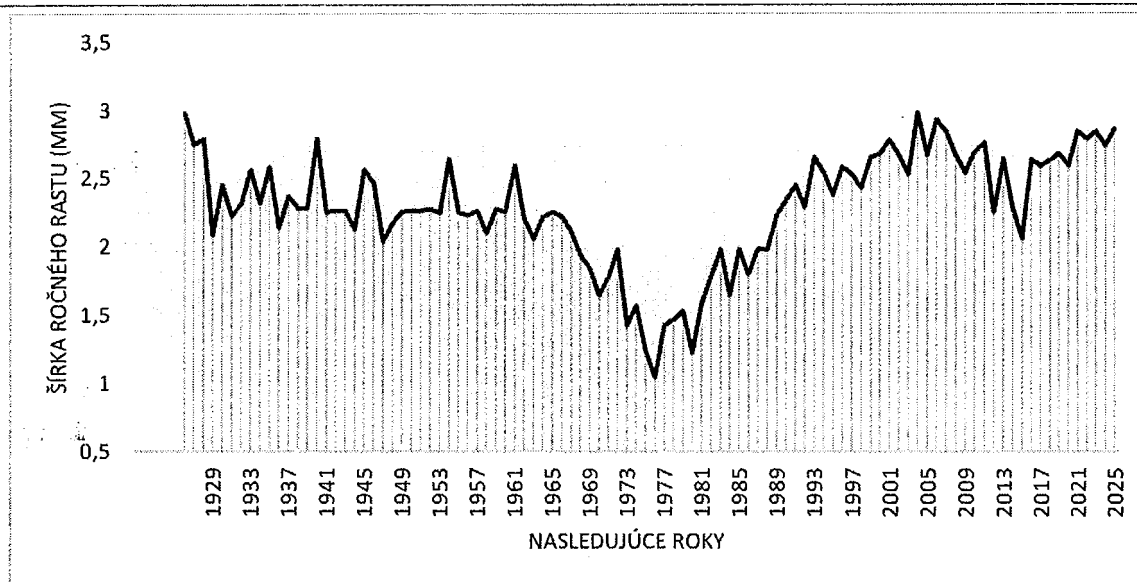
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klmatických zmien



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 klímatických 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

Počas formovania ročných prírastkov vykazovali skúmané stromy niekoľko výrazných jednoročných redukcí rastu, ktoré boli zaznamenané v rokoch 1947, 1976, 1980, 1992, 2003, 2009 a 2015 (Obrázok 4). Tieto epizódy súviseli s krátkodobým zhoršením environmentálnych podmienok ovplyvňujúcich fungovanie stromov. Neexistujú však dôkazy, ktoré by ich priamo spájali so znečistením ovzdušia. Takéto krátkodobé redukcie sú najčastejšie dôsledkom náhlych a intenzívnych environmentálnych stresov ovplyvňujúcich fyziologické procesy stromov, najmä fotosyntézu a aktivitu kambia. Medzi najvýznamnejšie faktory spôsobujúce jednoročné obmedzenie rastu patria extrémne poveternostné podmienky, ako sú neskoré jarné mrazy, vlny horúčav alebo krátkodobé obdobia sucha. Významný vplyv môžu mať aj silné vetry, mokrý sneh a biotické faktory, napríklad gradácie hmyzu či infekcie patogénmi. Redukcie prírastkov často vznikajú v dôsledku súčasného pôsobenia viacerých stresových faktorov, napríklad vysokej teploty a nedostatku vody, čo vedie k silnejšej rastovej reakcii 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

V skúmanom materiáli boli zaznamenané aj dve dlhšie obdobia redukcie ročných prírastkov: v rokoch 1964–1989 a 2013–2016 (Obrázok 4). Prvé z nich bolo s najväčšou pravdepodobnosťou spojené so silným pôsobením znečistenia ovzdušia pochádzajúceho z ťažkého priemyslu a energetiky založenej na spaľovaní fosílnych palív. V 70. a 80. rokoch 20. storočia neboli priemyselné emisie ešte účinne regulované, čo viedlo k hromadeniu znečisťujúcich látok v atmosfére a ich prenosu na veľké vzdialenosti. Mimoriadne významnú úlohu zohrával oxid siričitý (SO₂), ktorý bol zodpovedný za vznik kyslých dažďov. Okysľovanie pôd spôsobovalo vyplavovanie živín a zvyšovalo dostupnosť toxických kovov, čo negatívne ovplyvňovalo koreňový systém stromov. Zároveň znečisťujúce látky poškodovali asimilačný aparát stromov a znižovali efektívnosť fotosyntézy. Dôsledkom bolo oslabovanie lesných porastov a vznik charakteristických sekvencií úzkych letokruhov zaznamenaných v dendrochronologických analýzach.

Druhé obdobie redukcie, pripadajúce na roky 2013–2016, mohlo súvisieť s problémom nízkych emisií pochádzajúcich z domácich vykurovacích systémov. Spaľovanie nekvalitných palív mohlo spôsobovať lokálne znečistenie ovzdušia a ovplyvňovať obmedzenie radiálneho rastu stromov. Toto obdobie redukcie bolo však kratšie a trvalo len štyri roky. Hoci odborná literatúra opisuje podobné prípady lokálneho vplyvu znečistenia na prírastky stromov, neexistujú jednoznačné dôkazy potvrdzujúce, že práve znečistenie ovzdušia bolo hlavnou príčinou pozorovaných zmien. Nemožno vylúčiť ani významný vplyv ďalších environmentálnych faktorov, ako sú suchá alebo dočasné oslabenie zdravotného stavu stromov.

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.

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

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. Závery 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).

Vykonaný výskumný test preukázal výskyt jednotlivých redukcí ročných prírastkov skúmaných stromov v rokoch 1947, 1976, 1980, 1992, 2003, 2009 a 2015. Tieto redukcie nesúviseli s pôsobením znečistenia ovzdušia, ale s najväčšou pravdepodobnosťou boli výsledkom krátkodobých environmentálnych faktorov pulzačného charakteru, ako sú suchá, mokry sneh alebo iné extrémne poveternostné javy ovplyvňujúce zdravotný stav stromov. V analyzovanom materiáli boli zaznamenané aj dve dlhšie obdobia obmedzenia radiálneho rastu: prvé zahŕňalo roky 1964–1989 a druhé roky 2013–2016. Prvé z týchto období bolo jednoznačne spojené s pôsobením atmosférického znečistenia v Európe počas obdobia intenzívneho rozvoja priemyslu. Zvýšené emisie priemyselných plynov a prachových častíc viedli k zhoršeniu kvality ovzdušia, čo malo za následok oslabenie rastu stromov a redukcii ročných prírastkov. V mnohých regiónoch Európy

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

bolo v tom období zaznamenané aj rozsiahle odumieranie lesných porastov. Najväčší vplyv na obmedzenie rastu mali plynné znečisťujúce látky, zatiaľ čo prach predstavoval ďalší faktor zhoršujúci zdravotný stav lesov.

Druhé obdobie redukcie prírastkov, pripadajúce na roky 2013–2016, mohlo súvisieť s lokálnym znečistením ovzdušia spôsobeným tzv. nízkymi emisiami. Odborná literatúra opisuje prípady obmedzenia prírastkov stromov na území Slovenska práve v dôsledku emisií pochádzajúcich z domácich vykurovacích systémov. Nemožno však jednoznačne potvrdiť, že hlavnou príčinou pozorovaných redukcí bolo práve znečistenie ovzdušia. Rovnako pravdepodobné je pôsobenie iných environmentálnych faktorov, ako sú suchá alebo zaťaženie stromov mokrým snehom.

Bez ohľadu na príčinu redukcí prírastkov zaznamenaných v rokoch 2013–2016 je potrebné zdôrazniť, že tento jav mal krátkodobý charakter a v nasledujúcich rokoch nepokračoval. V súčasnosti neexistujú výrazné dôkazy naznačujúce výskyt významného ohrozenia skúmanej oblasti súvisiaceho so znečistením ovzdušia.

PREZES ZARZADU
Odział Górnośląski Polskiej
Towarzystwa Przemysłowo-Handlowo-Ziemnej
Katowice 27.04.2026

dr hab. Dr hab. Jerzy Gabala