

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 (Levoča)

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 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 odobratých z borovic rastúcich približne 2,5 km južne od centra mesta Levoče (Obrázok 1). Výskumná lokalita bola vybraná s cieľom čo najviac obmedziť vplyv priamych antropogénnych zásahov a zároveň umožniť hodnotenie zmien rastových prírastkov stromov v súvislosti s pôsobením znečistenia ovzdušia. Vybrané územie sa vyznačovalo relatívne stabilnými stanovištnými podmienkami, ktoré vytvárali vhodné predpoklady na sledovanie reakcie stromov na dlhodobé environmentálne stresové faktory. Lokalita zároveň umožnila analyzovať potenciálny vplyv regionálneho znečistenia ovzdušia na zdravotný stav lesného porastu. Pred samotným odberom vzoriek bol vykonaný podrobný terénny prieskum porastu. Hodnotil sa zdravotný stav stromov, výskyt mechanických poškodení, deformácií kmeňov, stupeň defoliácie a celková vitalita jednotlivých jedincov. Z ďalších analýz boli vyradené stromy vykazujúce zjavné symptómy chorôb, prítomnosť parazitov alebo poškodenia, ktoré mohli negatívne ovplyvniť pravidelnosť tvorby ročných prírastkov. Takýto výber bol dôležitý na zabezpečenie čo najvyššej presnosti dendrochronologických analýz a elimináciu faktorov, ktoré by mohli skresliť interpretáciu výsledkov. Výber vhodných jedincov umožnil lepšie zachytiť reakciu stromov na zmeny prostredia a dlhodobé stresové zaťaženie.

Prírastkové jadrá boli získané pomocou Presslerovho nebožieca vo výške prsnej výšky, teda približne 1,3 m nad úrovňou terénu, pričom z každého stromu bol odobratý jeden vrt (Obrázok 2). Počas odberu materiálu sa dbalo na správnu orientáciu vrtu a zároveň sa vyhýbalo miestam s viditeľnými deformáciami dreva alebo poškodeniami kmeňa. Každé odobraté jadro bolo označené

Polska – Słowacja

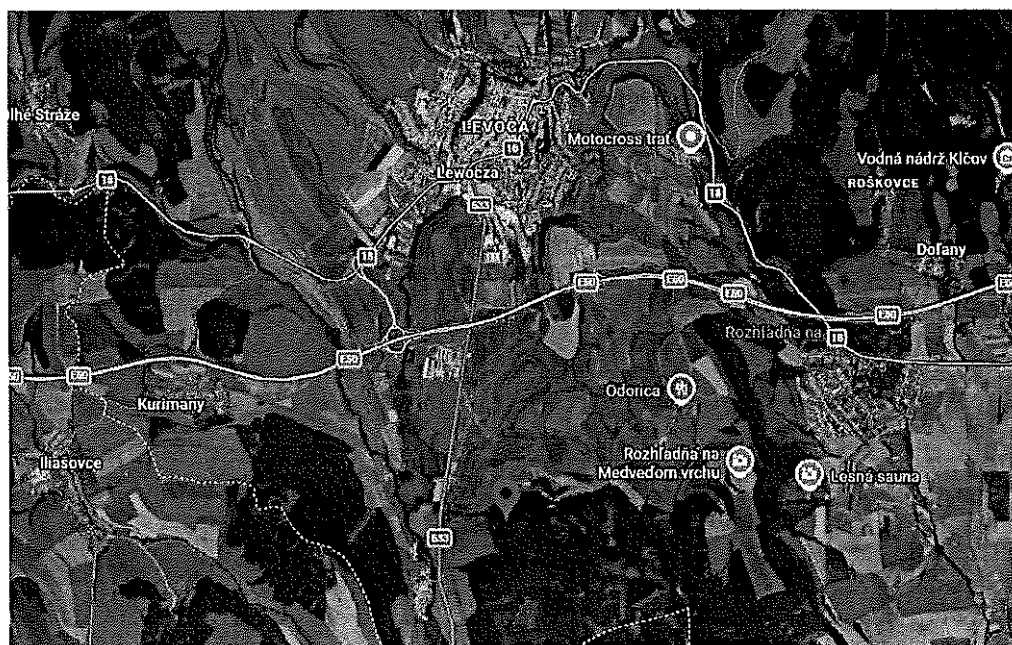
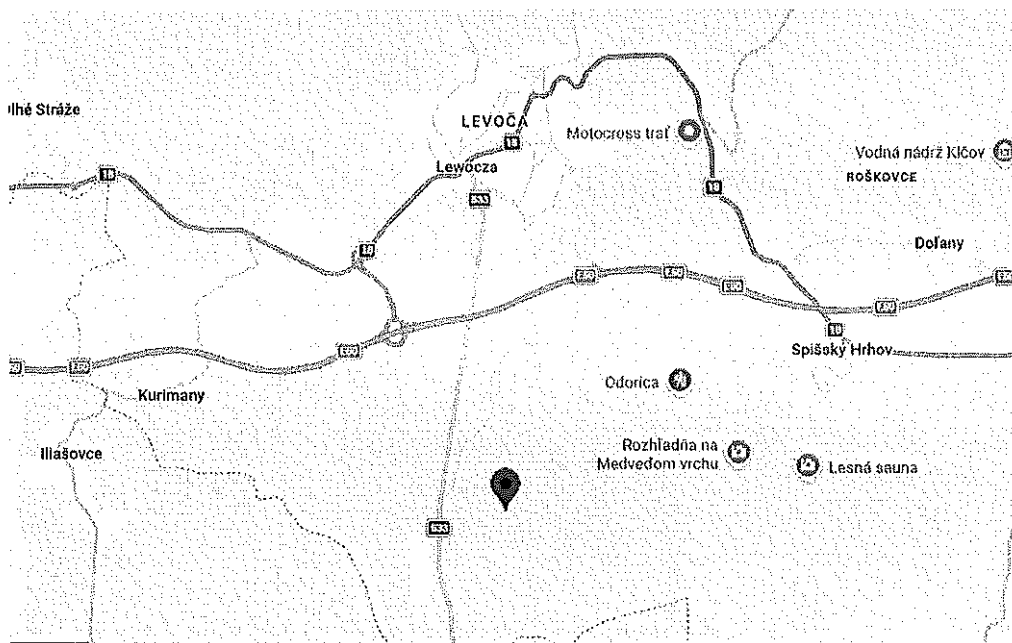
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

identifikačným číslom a bezpečne uložené na transport z terénu do laboratória. Následne boli získané vzorky upevnené do špeciálne pripravených drevených líšt (Obrázok 3), čo zabezpečilo ich stabilitu počas ďalšieho spracovania a minimalizovalo riziko poškodenia materiálu. Takto pripravené vzorky umožnili vykonanie detailných laboratórných analýz a presné datovanie jednotlivých letokruhov. V ďalšej etape laboratórných prác boli jadrá postupne brúsené pomocou brúsnych papierov s narastajúcou zrnitosťou – najskôr 100, následne 250 a 500. V prípadoch, keď hranice letokruhov zostávali aj po základnom opracovaní nedostatočne čitateľné, bol použitý aj jemný brúsny papier so zrnitosťou 1000. Cieľom tejto úpravy bolo dosiahnuť čo najlepšiu 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 dendrochronologických údajov.

V úvodnej fáze laboratórných analýz boli pre každú vzorku vypracované skeleton ploty, ktoré slúžili na identifikáciu charakteristických rastových sekvencií a období redukcie radiálneho rastu. Táto metóda umožnila porovnanie priebehu rastových zmien medzi jednotlivými stromami a zároveň pomohla odhaliť možné 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 a identifikovať obdobia zvýšeného stresového zaťaženia. Identifikované 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 predstavovala 50 % alebo menej priemernej šírky troch prírastkov bezprostredne predchádzajúcich obdobiu redukcie. Slabá redukcia bola definovaná analogickým spôsobom, pričom šírka jednotlivého prírastku v období redukcie dosahovala 30–50 % priemernej hodnoty predchádzajúceho obdobia. Takéto rozdelenie umožnilo presnejšie hodnotiť intenzitu stresových faktorov pôsobiacich na skúmaný lesný porast. Získané sekvencie redukcií boli následne porovnané s predtým vytvorenými skeleton plotmi s cieľom identifikovať možné chýbajúce letokruhy a eliminovať prípadné chyby datovania. Tento postup významne zvýšil presnosť a spoľahlivosť získaných výsledkov. Zároveň umožnil detailnejšie určiť obdobia, počas ktorých mohlo dochádzať k zosilnenému pôsobeniu znečistenia ovzdušia alebo iných environmentálnych stresových faktorov na skúmaný lesný porast. Výsledky analýz tak poskytli dôležité informácie o reakcii stromov na meniace sa podmienky prostredia a o dlhodobom vývoji zdravotného stavu skúmaných porastov.

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

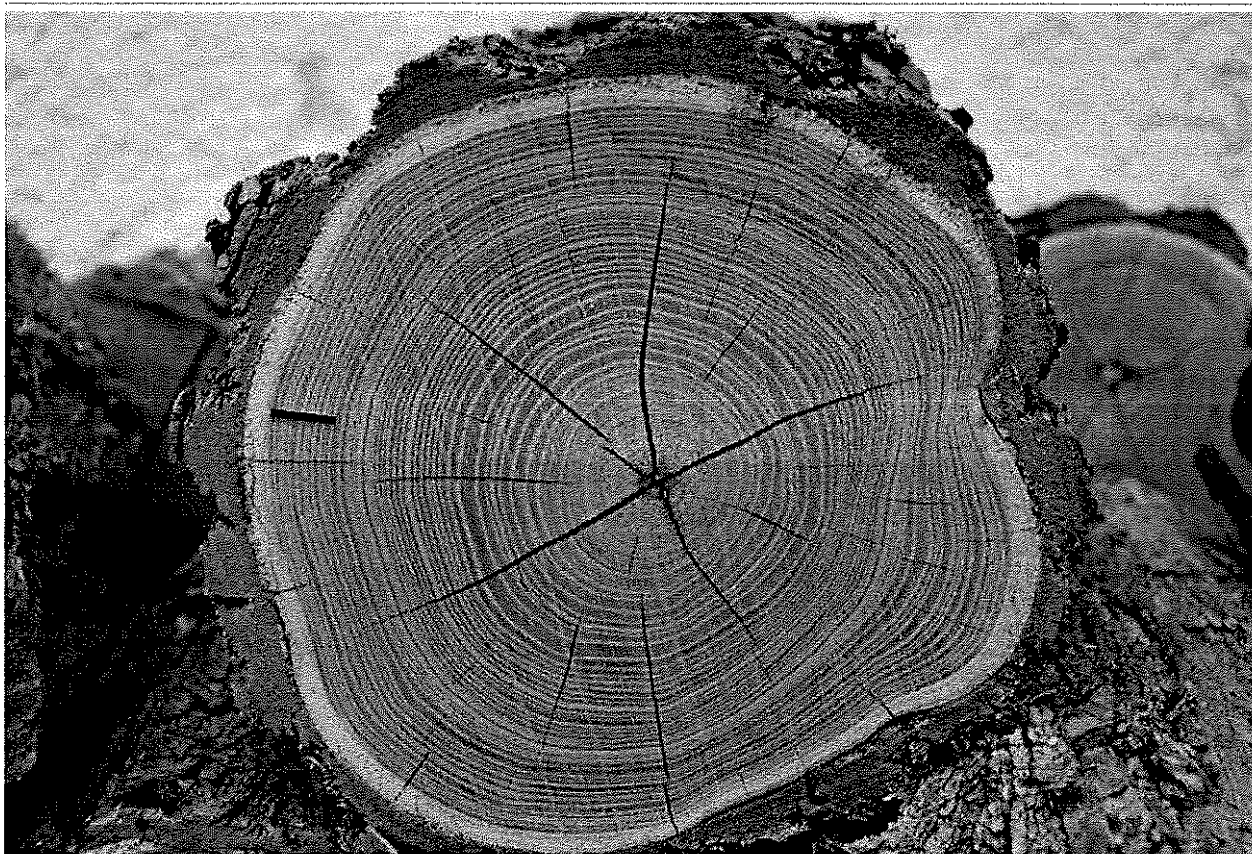
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 2. Presslerov nebožiec na odber vzoriek zo stromov.

Polska – Słowacja

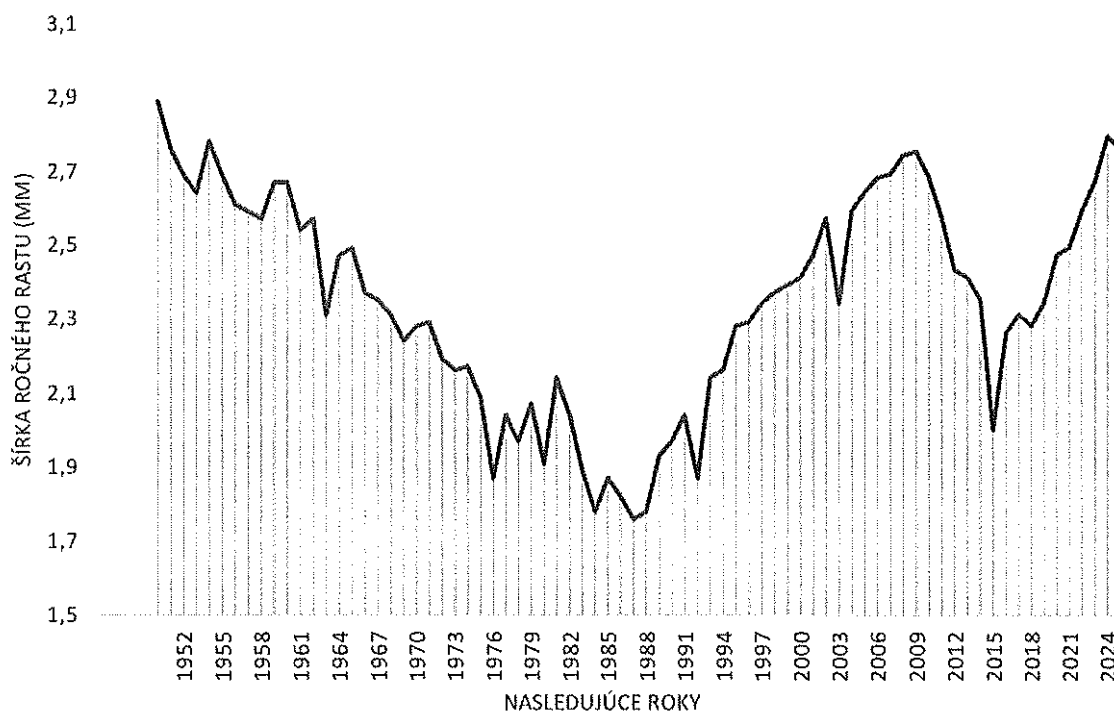
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



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

Najhlbšie a najdlhšie redukcie ročných prírastkov skúmaných borovic boli zaznamenané v období rokov 1974–1993. V tomto období dosahovali ročné prírastky nízke hodnoty v rozmedzí od 1,7 do 2,1 mm. Takéto nízke hodnoty ročných prírastkov sú dôsledkom pôsobenia stresového faktora, ktorý výrazne obmedzil rast skúmaných stromov. Vzhľadom na rozsiahle znečistenie ovzdušia vyskytujúce sa v tom čase možno predpokladať, že príčinou redukcie ročných prírastkov bolo znečistenie atmosféry plynmi a prachovými časticami emitovanými priemyslom. Ako vyplýva z výskumov realizovaných v Európe, tieto znečisťujúce látky sa prenášali na veľmi veľké vzdialenosti a ich pôsobenie sa zaznamenávalo v stromoch vo forme redukcii ročných prírastkov. Odborná

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

literatúra opisuje z tohto obdobia početné prípady hlbokých redukcí radiálneho rastu, ako aj lokálne epizódy masového odumierania lesných porastov.

Druhým obdobím, v ktorom boli zaznamenané výrazné redukcie ročných prírastkov, boli roky 2012–2019. V tomto období dosahovala šírka ročných prírastkov približne 2 mm. Ide o silne redukované ročné prírastky, ktoré svedčia o pôsobení výrazného stresového faktora v uvedených rokoch. Existujú predpoklady naznačujúce, že týmto faktorom mohlo byť znečistenie ovzdušia, najmä vzhľadom na problémy súvisiace s tzv. nízkymi emisiami, ktoré sa v tom období objavili v Poľsku. Znečistenie malo prevažne lokálny charakter a vyskytovalo sa najmä v blízkosti miest, kde sa do atmosféry uvoľňovali plyny a prachové častice pochádzajúce z domácich kúrenísk. Mimoriadne významný podiel na znečistení ovzdušia mali v tomto období prachové častice spôsobujúce upchávanie prieduchov stromov. Nemožno však vylúčiť, že za redukcie ročných prírastkov v tomto období boli zodpovedné aj iné faktory, napríklad v posledných rokoch častejšie sa vyskytujúce suchá alebo gradácie škodcov. Veľmi často dochádza k súčasnému pôsobeniu viacerých stresových faktorov, ktoré sa navzájom zosilňujú a vedú k hlbokým redukciam ročných prírastkov. Suchá v kombinácii so znečistením ovzdušia predstavujú pre lesné porasty výraznú záťaž, čo sa prejavuje výskytom silných a dlhodobých redukcí radiálneho rastu.

Aby bolo možné jednoznačne potvrdiť, či redukcie ročných prírastkov zaznamenané v skúmanej oblasti v rokoch 2012–2019 súviseli so znečistením ovzdušia, bolo by potrebné zopakovať výskum v rôznych lokalitách, napríklad v blízkosti obytnej zástavby a zároveň vo väčšej vzdialenosti od nej. Následné porovnanie získaných výsledkov by mohlo umožniť presnejšie určiť vplyv znečistenia ovzdušia na zdravotný stav skúmaných 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.

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

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. 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).

Najvýraznejšie a zároveň najdlhšie pretrvávajúce redukcie ročných prírastkov skúmaných stromov boli zaznamenané v období rokov 1974–1993. V analyzovanom období dosahovala šírka ročných prírastkov veľmi nízke hodnoty, pohybujúce sa približne v rozmedzí od 1,7 do 2,1 mm. Takéto výrazné obmedzenie radiálneho rastu svedčí o pôsobení významného stresového faktora, ktorý vo veľkej miere ovplyvňoval zdravotný stav a fungovanie skúmaných stromov. Vzhľadom na rozsah znečistenia ovzdušia v Európe v druhej polovici 20. storočia možno predpokladať, že

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

hlavnou príčinou pozorovaných redukcí bolo pôsobenie plynov a prachových častíc emitovaných rozvíjajúcim sa ťažkým priemyslom a energetikou založenou na spaľovaní fosílnych palív.

Výskumy realizované na území Európy preukázali, že atmosférické znečistenie mohlo byť prenášané na veľmi veľké vzdialenosti a ovplyvňovalo aj oblasti nachádzajúce sa ďaleko od hlavných priemyselných centier. Dôsledkom bolo oslabenie lesných porastov a zaznamenanie environmentálnych zmien v štruktúre letokruhov vo forme výrazných redukcí radiálneho rastu. Odborná literatúra z tohto obdobia opisuje početné prípady hlbokých redukcí prírastkov stromov, ako aj lokálne epizódy masového odumierania lesov. Mimoriadne negatívne pôsobenie vykazovali zlúčeniny síry a priemyselné prachové častice, ktoré spôsobovali okysľovanie prostredia, poškodenie asimilačných orgánov a obmedzenie fotosyntetických procesov.

Druhým obdobím, počas ktorého bolo zaznamenané výrazné obmedzenie šírky ročných prírastkov, boli roky 2012–2019. V tomto období dosahovala šírka letokruhov hodnoty približne 2 mm, čo taktiež naznačuje výskyt silného environmentálneho stresu pôsobiaceho na skúmané borovice. Existujú predpoklady naznačujúce, že jedným z významných faktorov zodpovedných za tento stav mohlo byť znečistenie ovzdušia súvisiace s problémom tzv. nízkych emisií. V analyzovanom období sa v Poľsku čoraz častejšie upozorňovalo na lokálne znečistenie ovzdušia pochádzajúce z individuálnych vykurovacích systémov a spaľovania nekvalitných palív v domácich kúreniskách.

Tieto znečisťujúce látky mali prevažne lokálny charakter a vyskytovali sa najmä v blízkosti zastavaných oblastí, kde sa do atmosféry uvoľňovalo veľké množstvo plynov a prachových častíc. Mimoriadne nebezpečné pre stromy mohli byť suspendované prachové častice, ktoré sa usadzovali na povrchu ihličia, obmedzovali výmenu plynov a čiastočne upchávali prieduchy stromov. V dôsledku toho dochádzalo k oslabeniu fotosyntetických procesov, zníženiu produkcie biomasy a zmenšeniu šírky radiálnych prírastkov.

Nemožno však jednoznačne potvrdiť, že redukcie ročných prírastkov v rokoch 2012–2019 boli spôsobené výlučne znečistením ovzdušia. Významnú úlohu mohli zohrávať aj ďalšie environmentálne faktory, ako napríklad čoraz častejšie suchá, vysoké teploty alebo gradácie lesných škodcov. V praxi veľmi často dochádza k súčasnému pôsobeniu viacerých stresových faktorov, ktoré navzájom zosilňujú svoje negatívne účinky. Mimoriadne nebezpečná pre lesné porasty je kombinácia sucha a atmosférického znečistenia, pretože vedie k výraznému oslabeniu kondície stromov a k vzniku hlbokých redukcí radiálneho rastu.

Na jednoznačné určenie, či redukcie ročných prírastkov pozorované v skúmanej oblasti v rokoch 2012–2019 súviseli s pôsobením znečistenia ovzdušia, by bolo potrebné vykonať

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

doplňujúce výskumy v rôznych lokalitách. Mimoriadne cenné by bolo porovnanie výsledkov získaných v blízkosti obytnej zástavby s výsledkami pochádzajúcimi z oblastí vzdialenejších od potenciálnych zdrojov emisií. Takéto analýzy by mohli umožniť presnejšie určenie vplyvu lokálneho znečistenia ovzdušia na zdravotný stav skúmaných lesných porastov a zároveň oddeliť jeho účinky od pôsobenia iných environmentálnych faktorov.

PREZES ZARZĄDU

Oddział Ekologii i Ziemi
Katowice, 22.04.2026
Towarzystwo Przyjaciół Ziemi


dr hab. Jerzy Cabala