

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 (Vranov nad Topľou)

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 skeletofluorescenčného mikroskopu 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 5 km na západ od centra Vranova nad Topľou (Obrázok 1). Výskumná lokalita bola vybraná tak, aby sa čo najviac obmedzil vplyv priamych antropogénnych zásahov a zároveň bolo možné hodnotiť zmeny rastových prírastkov stromov v súvislosti s pôsobením znečistenia ovzdušia. Skúmané územie sa vyznačovalo pomerne stabilnými stanovištnými podmienkami, čo vytváralo vhodné predpoklady na sledovanie reakcie stromov na rôzne environmentálne stresové faktory. Výber lokality zároveň umožnil porovnávať rastové zmeny stromov s dlhodobým vývojom kvality ovzdušia v regióne. Pred začatím samotného odberu vzoriek bol realizovaný detailný terénny prieskum porastu. Hodnotený bol zdravotný stav stromov, výskyt mechanických poškodení, deformácií kmeňov, stupeň defoliácie a celková vitalita jednotlivých jedincov. Zo súboru boli vyradené stromy vykazujúce príznaky chorôb, poškodenia spôsobené škodcami alebo výrazné mechanické narušenia, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť pravidelnosť tvorby letokruhov a skresliť výsledky analýz. Starostlivý výber vhodných stromov bol nevyhnutný na zabezpečenie čo najvyššej presnosti dendrochronologického hodnotenia a elimináciu rušivých faktorov.

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 kládol dôraz na správne nasmerovanie vrtu a zároveň sa vyhýbalo miestam s viditeľnými deformáciami drevenej 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 pripravených drevených líšt (Obrázok 3), čo zabezpečilo ich stabilitu počas ďalšieho spracovania a minimalizovalo riziko

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

poškodenia vzoriek. Takto pripravený materiál umožnil vykonanie presných laboratórnych analýz a spoľahlivé datovanie jednotlivých letokruhov. V ďalšej fáze 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 čo najlepšiu viditeľnosť anatomických štruktúr dreva a umožniť presné rozlíšenie hraníc medzi jednotlivými ročnými prírastkami. Kvalitná príprava povrchu vzoriek bola mimoriadne dôležitá pre správne datovanie letokruhov a následnú interpretáciu výsledkov dendrochronologických analýz.

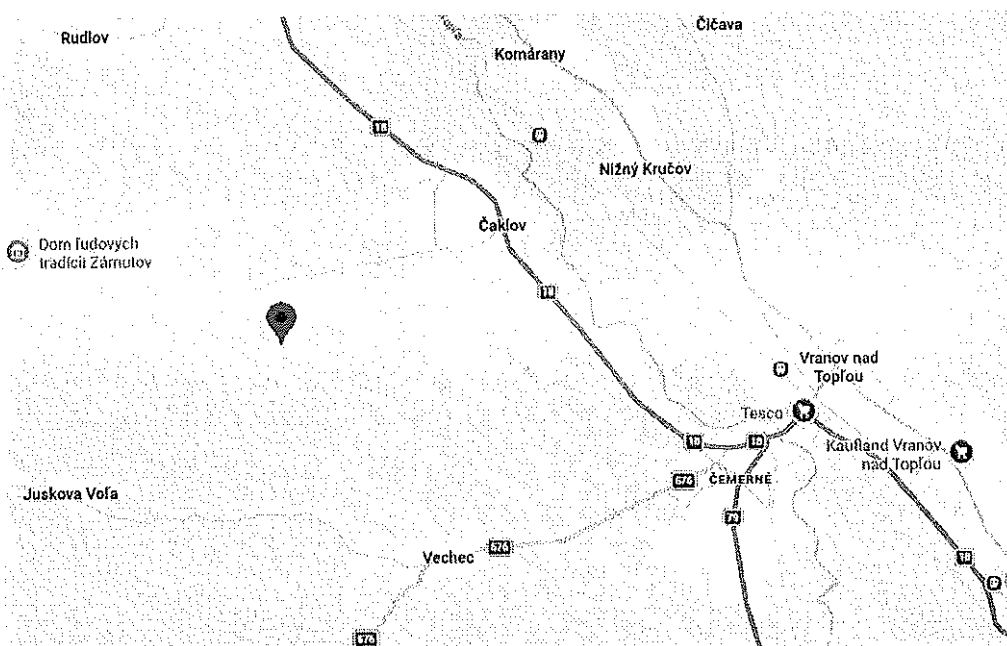
V úvodnej etape laboratórnych analýz boli pre každú vzorku vypracované skeleto ploty, ktoré slúžili na identifikáciu charakteristických rastových sekvencií a období redukcie radiálneho rastu. Táto metóda umožnila porovnanie rastových zmien medzi jednotlivými stromami a zároveň pomohla identifikovať prípadné 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 a identifikovať obdobia zvýšeného environmentálneho stresu.

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. Takéto rozdelenie umožnilo presnejšie hodnotenie intenzity stresových faktorov pôsobiacich na skúmané stromy.

Získané sekvencie redukcí boli následne porovnané s vytvorenými skeleto 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. Výsledky analýz tak poskytli dôležité informácie o reakcii stromov na meniace sa environmentálne podmienky a o dlhodobom vývoji stresových faktorov v skúmanej oblasti.

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

Polska – Słowacja

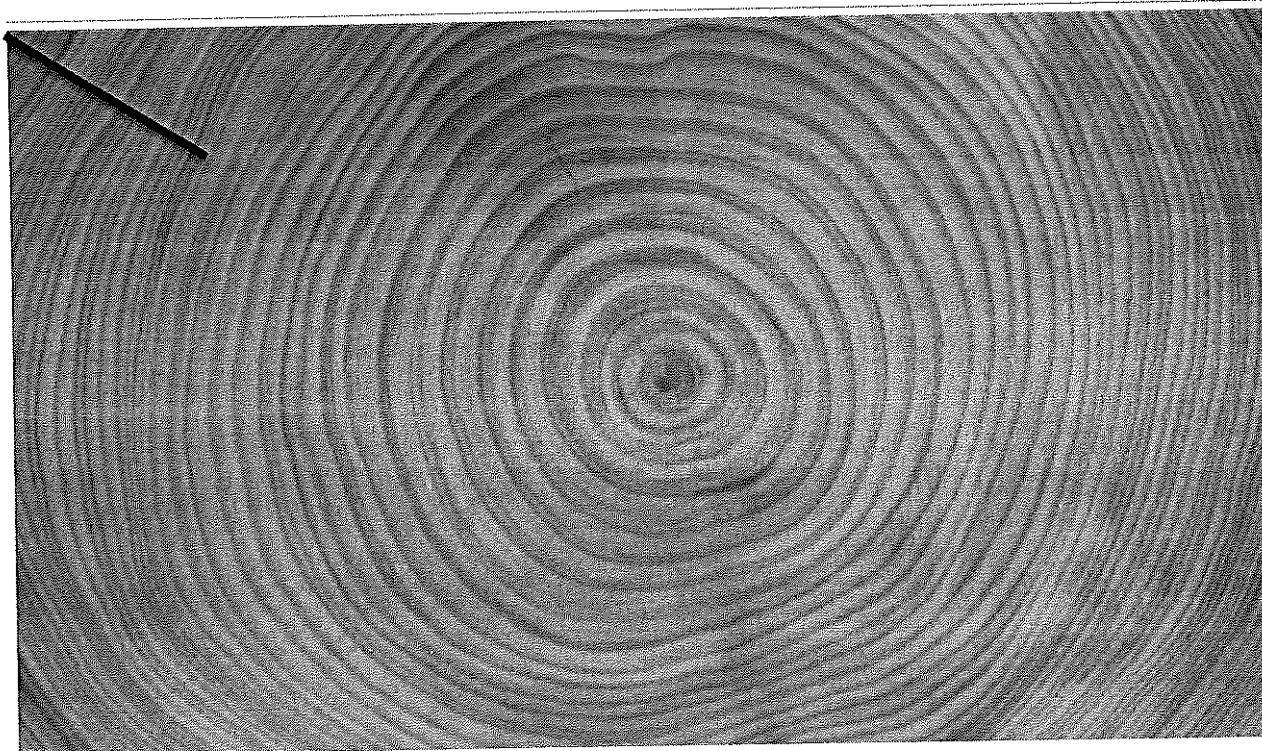
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 2. Presslerov nebožiec na odber vzoriek zo stromov.

Polska – Słowacja

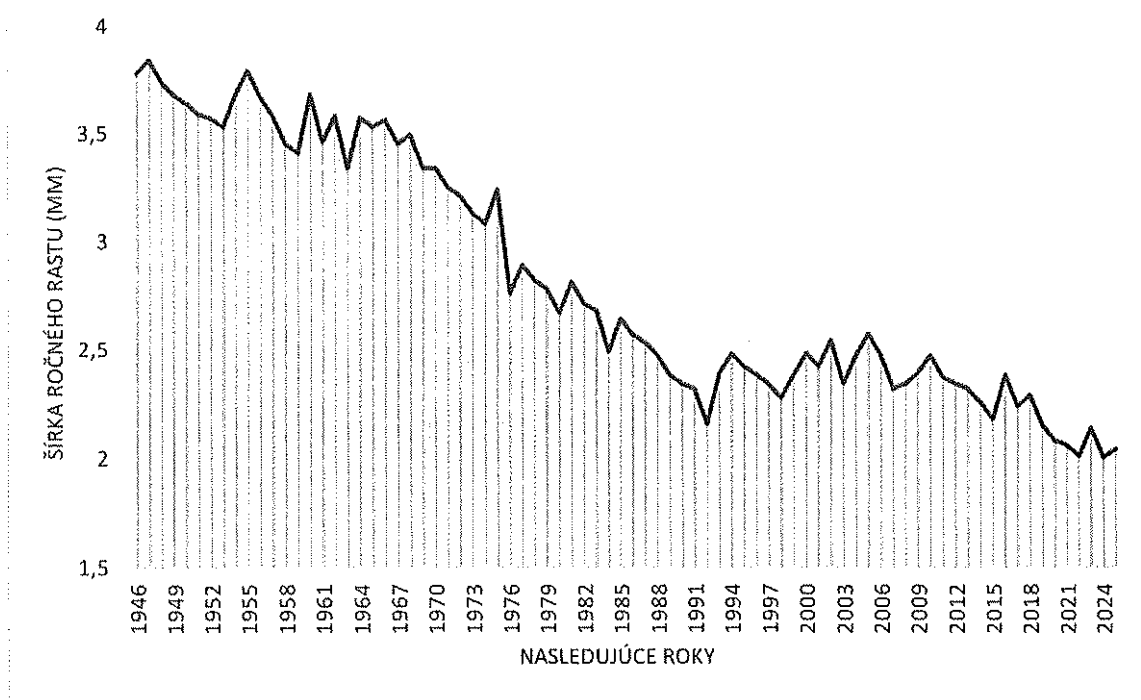
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



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

Chronológia vytvorená na základe vykonaného výskumného testu sa vyznačuje výskytom výrazných indikačných rokov, teda období, počas ktorých boli radiálne prírastky stromov mimoriadne úzke (Obrázok 4). Takéto roky predstavujú obdobia zvýšeného environmentálneho stresu, počas ktorých boli rastové podmienky pre stromy výrazne nepriaznivé. Jednotlivé epizódy redukcie prírastkov sa spravidla objavovali v dôsledku krátkodobého pôsobenia nepriaznivých faktorov prostredia, najčastejšie klimatického charakteru. V prípade analyzovaných stromov boli takéto výrazné redukcie zaznamenané napríklad v rokoch 1976, 1983 a 1992.

Rast stromov v horských podmienkach závisí od komplexného pôsobenia viacerých klimatických, stanovištných a biotických faktorov. Mimoriadne významnú úlohu zohráva teplota vzduchu počas

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

vegetačného obdobia. Príliš nízke teploty obmedzujú aktivitu kambia a spomaľujú tvorbu drevnej hmoty, zatiaľ čo optimálne teplotné podmienky podporujú intenzívny radiálny rast. Dôležitým faktorom je aj dostupnosť vody, ktorá býva v horských oblastiach veľmi premenlivá. Negatívny vplyv na tvorbu letokruhov môžu mať nielen letné suchá, ale aj nadmerné zamokrenie pôdy, ktoré obmedzuje prístup kyslíka ku koreňovému systému.

Významný vplyv má tiež dĺžka vegetačného obdobia, ktoré je vo vyšších nadmorských výškach kratšie, čo priamo obmedzuje rastový potenciál stromov. Dôležitú úlohu zohrávajú aj zimné podmienky vrátane hrúbky a dĺžky trvania snehovej pokrývky. Sneh totiž chráni koreňový systém pred premrzaním a zároveň zabezpečuje dostatok vody na začiatku vegetačného obdobia. Významná je aj expozícia svahov a ich sklon, ktoré ovplyvňujú intenzitu slnečného žiarenia, teplotu pôdy a rýchlosť topenia snehu.

Analyzované stromy vykazovali redukcie ročných prírastkov v období rokov 1975–2025. Začiatok tejto redukcie spadá do obdobia, keď sa do atmosféry v celej Európe dostávalo veľké množstvo znečisťujúcich látok. Plyny aj prachové častice emitované do ovzdušia spôsobovali dlhodobé poškodzovanie lesných porastov, čo sa prejavovalo výrazným obmedzením ich rastu. Mimoriadne nebezpečný bol oxid siričitý (SO₂), ktorý spôsoboval defoliáciu stromov, poškodzovanie asimilačných orgánov a následné znižovanie šírky ročných prírastkov. Prachové znečistenie zase prispievalo k upchávaniu prieduchov stromov, čím sa obmedzovala výmena plynov a znižovala schopnosť stromov efektívne dýchať a fotosyntetizovať.

Sedemdesiate a osemdesiate roky 20. storočia predstavovali obdobie, počas ktorého boli v mnohých častiach Európy zaznamenané prípady masového odumierania lesných porastov a výrazného spomalenia ich rastu. V mnohých lesných oblastiach Poľska bolo zistené, že stromy v tomto období prakticky prestali rásť. V blízkosti veľkých priemyselných podnikov dochádzalo dokonca k odumieraniu stromov a vzniku bezlesých zón. V oblastiach vzdialenejších od zdrojov emisií sa síce redukcie prírastkov prejavovali menej výrazne, no boli zaznamenané aj vo veľmi veľkých vzdialenostiach od priemyselných centier. Výskumy zároveň ukazujú, že rast borovice v horských oblastiach je silne závislý od poveternostných podmienok počas júna a júla. Neskoré jarné mrazy v máji alebo júni môžu výrazne obmedziť tvorbu dreva, zatiaľ čo letné suchá urýchľujú tvorbu neskorého dreva a negatívne vplyvajú na celkový rast stromov.

Redukcia ročných prírastkov zaznamenaná v prípade analyzovaných stromov má však pomerne netypický charakter. Nezaniká totiž na konci 80. rokov 20. storočia, ako to bolo pozorované v mnohých iných oblastiach Európy, ale pretrváva prakticky až do súčasnosti. Naznačuje to, že v oblasti odberu vzoriek pravdepodobne pôsobí dlhodobý stresový faktor, ktorý neustúpil ani do roku 2025. Je možné, že v tomto prípade nejde výlučne o znečistenie ovzdušia, ale skôr o

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

pôsobenie biologického faktora, napríklad patogénu alebo iného škodlivého činiteľa, ktorý postupne oslabuje a poškodzuje skúmaný lesný porast.

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.

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.

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

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).

Analýza redukcí ročných prírastkov skúmaných stromov preukázala výskyt jedného dlhodobého obdobia obmedzenia radiálneho rastu, ktoré zahŕňalo roky 1975–2025. Okrem toho boli zaznamenané aj jednotlivé roky charakterizované výrazne redukovanými ročnými prírastkami, konkrétne v rokoch 1976, 1983 a 1992. Tieto epizódy súviseli s dočasným zhoršením environmentálnych podmienok ovplyvňujúcich fungovanie stromov. Dlhodobá redukcia radiálneho rastu bola s najväčšou pravdepodobnosťou priamo spojená s intenzívnym znečistením ovzdušia, ktoré sa v druhej polovici 20. storočia vyskytovalo na území celej Európy. V tomto období sa do atmosféry uvoľňovalo veľké množstvo plynov a prachových častíc pochádzajúcich najmä z ťažkého priemyslu a energetiky založenej na spaľovaní fosílnych palív.

Atmosférické znečistenie negatívne ovplyvňovalo zdravotný stav stromov, čo viedlo k oslabeniu fotosyntetických procesov a obmedzeniu funkcie asimilačného aparátu. Mimoriadne nebezpečné boli zlúčeniny síry a priemyselné prachové častice, ktoré spôsobovali poškodenie ihličia a listov, ako aj okysľovanie pôdneho prostredia. V dôsledku toho dochádzalo k výraznému zmenšeniu šírky letokruhov a celkovému oslabeniu lesných porastov. Jednotlivé roky s obzvlášť silnými redukciami prírastkov boli pravdepodobne dôsledkom nepriaznivých klimatických podmienok v daných obdobiach. Mohli to byť napríklad dlhodobé suchá, neskoré jarné mrazy alebo iné extrémne poveternostné javy obmedzujúce rastové možnosti stromov. Pod vplyvom týchto faktorov borovice výrazne redukovali šírku svojich ročných prírastkov.

Redukcia radiálneho rastu zistená v prípade analyzovaných stromov má však mimoriadne netypický charakter. Na rozdiel od mnohých iných oblastí Európy, kde výrazné obmedzenie rastu ustupovalo koncom 80. rokov 20. storočia spolu so zlepšením kvality ovzdušia, v skúmanom poraste tento proces pretrváva prakticky až do súčasnosti. Môže to naznačovať, že v oblasti odberu vzoriek stále pôsobí dlhodobý stresový faktor, ktorý neustúpil ani do roku 2025. Existuje vysoká pravdepodobnosť, že hlavnou príčinou pretrvávajúcich redukcí prírastkov už nie je samotné znečistenie ovzdušia. Pravdepodobnejšie sa javí pôsobenie biologického faktora, napríklad patogénu alebo iného škodlivého organizmu, ktorý postupne oslabuje lesný porast. Je tiež možné, že zdravotný stav stromov ovplyvňuje súčasné pôsobenie viacerých stresových faktorov, ako sú

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

choroby, klimatické zmeny a zhoršujúce sa stanovištné podmienky. Dlhodobé pretrvávanie redukcii prírastkov môže svedčiť o postupnej degradácii zdravotného stavu skúmaných stromov a o zvýšenej citlivosti porastu na ďalšie environmentálne poškodenia.

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polskie
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
Katowice, 22.04.2026
dr hab. Jerzy Cabała
Dr hab. Jerzy Cabała