



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 (Sabinov)

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:

- vlepene 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 realizovaný na základe analýzy 25 prírastkových jadier odobratých z borovic rastúcich približne 1 km na západ od centra mesta Sabinov (Obrázok 1). Lokalita výskumného stanoviska bola vybraná tak, aby sa obmedzil vplyv priamych antropogénnych narušení a zároveň umožnilo hodnotenie zmien prírastkov stromov v kontexte pôsobenia znečistenia ovzdušia. Pred začatím odberu vrtoz bolo vykonané podrobné vizuálne hodnotenie porastu, pričom sa zohľadňoval zdravotný stav stromov, prítomnosť mechanických poškodení, deformácií kmeňa a stupeň defoliácie. Z ďalších analýz boli vylúčené jedince vykazujúce zjavné symptómy chorôb, prítomnosť parazitov alebo poškodenia, ktoré by mohli ovplyvniť rytmus prírastku. Prírastkové jadrá boli získané pomocou Presslerovho nebožieca vo výške prsnej výšky (1,3 m nad úrovňou terénu), pričom z každého stromu bol odobratý jeden vrt (Obrázok 2). Počas odberu materiálu sa dbalo na zachovanie správneho smeru vrtoz a vyhýbanie sa miestam s viditeľnými deformáciami dreva. Každé odobraté jadro bolo riadne označené identifikačným číslom a zabezpečené na transport z terénu. Získaný výskumný materiál bol následne upevnený do špeciálne pripravených drevených líšt (Obrázok 3), čo umožnilo stabilizáciu vzoriek a ich ďalšie laboratórne spracovanie. V ďalšej etape boli jadrá podrobené procesu brúsenia pomocou brúsnych papierov s postupne sa zvyšujúcou zrnitosťou – 100, 250 a 500. V prípadoch, keď hranice ročných kruhov zostávali slabo viditeľné, bol dodatočne použitý brúsny papier so zrnitosťou 1000. Cieľom tohto procesu bolo dosiahnuť čo najvyššiu čitateľnosť štruktúr dreva a umožniť presnú identifikáciu hraníc medzi jednotlivými ročnými prírastkami. V prvej etape laboratórnych analýz boli pre každú vzorku



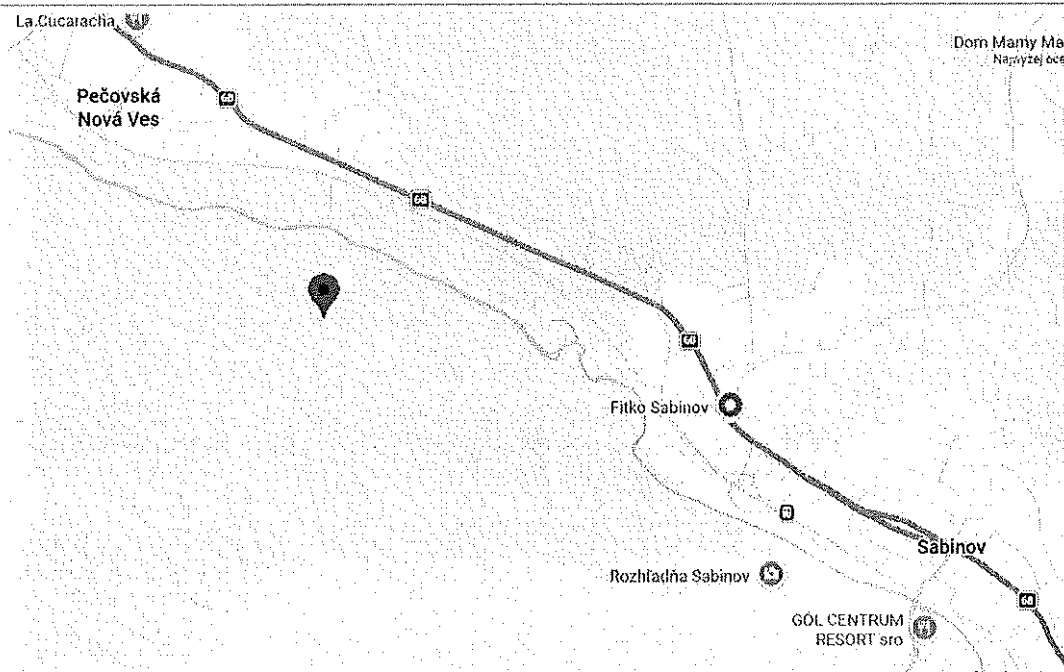
Polska – Słowacja

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

vypracované skeleton ploty, ktoré umožnili identifikáciu charakteristických prírastkových sekvencií a rokov iniciujúcich redukcii radiálneho prírastku. Táto metóda zároveň umožnila porovnanie priebehu prírastkových zmien medzi jednotlivými stromami a odhalenie potenciálnych rastových anomálií. Následne boli vykonané presné merania šírky ročných prírastkov pomocou špecializovaného dendrochronologického zariadenia a bola vypracovaná lokálna prírastková chronológia pre skúmané stanovisko (Obrázok 4). Identifikované redukcii prírastkov boli klasifikované ako slabé alebo silné. Za obdobie redukcii sa považoval výskyt najmenej troch po sebe nasledujúcich prírastkov so zmenšenou šírkou v porovnaní s predchádzajúcou rastovou sekvenciou. Silná redukcia bola definovaná ako séria prírastkov, pri ktorej priemerná šírka prírastku predstavovala 50 % alebo menej priemernej šírky troch prírastkov bezprostredne predchádzajúcich obdobiu redukcii. Slabá redukcia bola definovaná analogicky, pričom šírka jednotlivého prírastku v období redukcii sa pohybovala v rozmedzí od 30 % do 50 % priemernej šírky troch prírastkov z predchádzajúceho obdobia. Získané sekvencie redukcii boli porovnané s predtým vypracovanými skeleton plotmi s cieľom identifikovať potenciálne chýbajúce prírastky a eliminovať prípadné chyby datovania. Tento postup umožnil zvýšiť spoľahlivosť získaných výsledkov a presnejšie určiť obdobia, počas ktorých mohlo dochádzať k zosilnenému pôsobeniu znečistenia ovzdušia na skúmaný lesný porast.

Polska – Słowacja

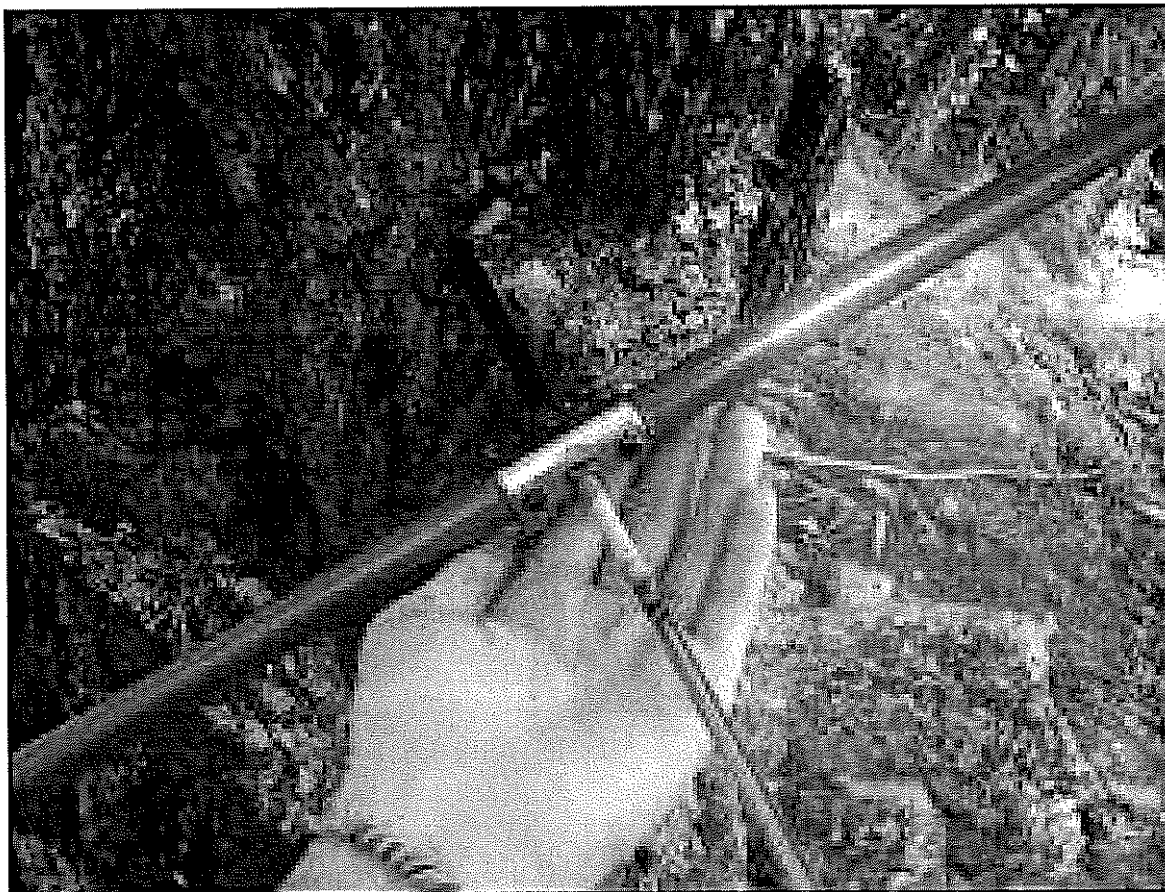
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



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

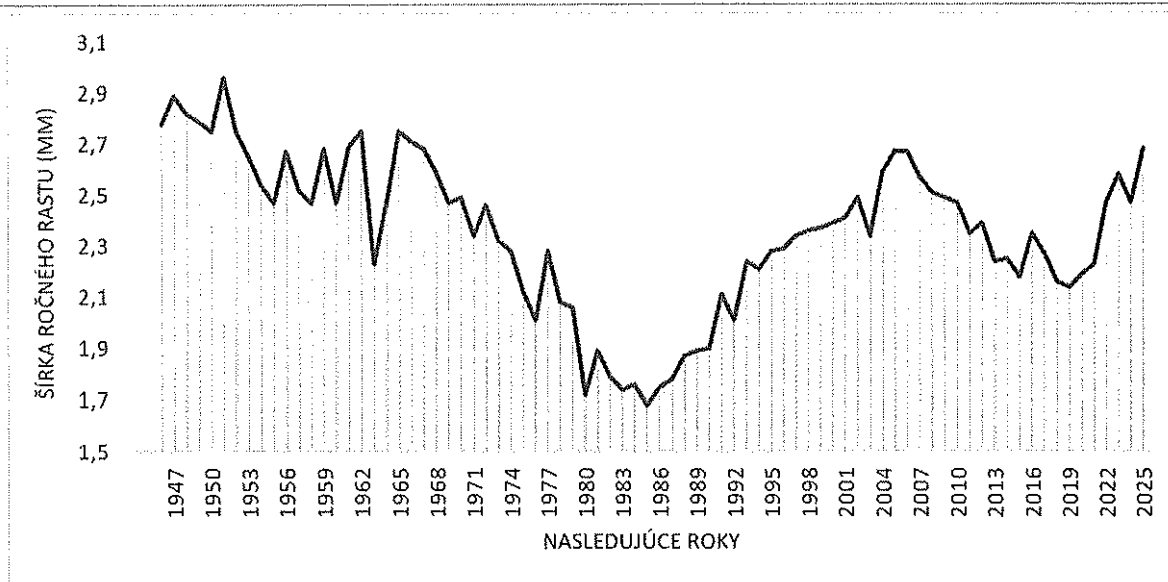
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



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

Najvýraznejšie a zároveň najdlhšie trvajúce redukcie ročných prírastkov skúmaných borovic boli zaznamenané v rokoch 1975–1990. V tomto období dosahovala šírka ročných prírastkov veľmi nízke hodnoty v rozmedzí od 1,7 do 2,2 mm. Také výrazné obmedzenie rastu poukazuje na pôsobenie významného stresového faktora, ktorý výrazne ovplyvnil kondíciu analyzovaných stromov. Vzhľadom na rozsiahle znečistenie ovzdušia v tomto období možno predpokladať, že hlavnou príčinou redukcie prírastkov boli emisie plynov a prachových častíc pochádzajúcich z priemyselnej činnosti. Výskumy realizované v Európe naznačujú, že znečisťujúce látky sa mohli prenášať na veľké vzdialenosti a ich vplyv sa prejavoval v štruktúre ročných prírastkov stromov. Odborná literatúra z tohto obdobia opisuje početné prípady výrazných redukcí radiálneho rastu, ako aj lokálne epizódy masového odumierania lesných porastov.

Druhým obdobím charakterizovaným výrazným poklesom šírky ročných prírastkov boli roky 2007–2020. V tomto období dosahovali minimálne hodnoty prírastkov približne 2,1 mm, čo taktiež poukazuje na výskyt silného environmentálneho stresu pôsobiaceho na stromy. Existujú

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

predpoklady naznačujúce, že jedným z hlavných faktorov zodpovedných za tento stav mohlo byť znečistenie ovzdušia spojené s problémom nízkych emisií, ktorý sa v tomto období objavil na Slovensku. Znečistenie malo prevažne lokálny charakter a súviselo s emisiami prachu a plynov pochádzajúcich z individuálnych vykurovacích systémov domácností. Mimoriadne nebezpečné boli najmä prachové častice, ktoré mohli spôsobovať upchávanie prieduchov stromov, čím obmedzovali proces výmeny plynov a negatívne vplývali na tvorbu biomasy.

Nemožno však jednoznačne vylúčiť ani pôsobenie ďalších environmentálnych faktorov, ktoré mohli ovplyvniť redukcii ročných prírastkov v analyzovanom období. Významnú úlohu mohli zohrávať aj čoraz častejšie sa vyskytujúce obdobia sucha alebo gradácie lesných škodcov. V praxi stresové faktory často pôsobia súčasne a navzájom zosilňujú svoje účinky. Kombinácia dlhodobého sucha a zvýšenej úrovne znečistenia ovzdušia predstavuje pre lesné porasty mimoriadne silnú záťaž, čo sa prejavuje výskytom hlbokých a dlhodobých redukcii radiálneho rastu.

Na jednoznačné potvrdenie, že redukcii ročných prírastkov pozorované v rokoch 2007–2020 boli spôsobené predovšetkým znečistením ovzdušia, by bolo potrebné vykonať doplnujúce výskumy v rôznych lokalitách. Mimoriadne dôležité by bolo porovnanie výsledkov získaných v blízkosti obytnej zástavby a v oblastiach vzdialenejších od zdrojov emisií. Takéto analýzy by umožnili presnejšie určiť mieru vplyvu lokálnych zdrojov znečistenia na zdravotný stav lesných porastov.

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

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

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).

Analýza redukcí ročných prírastkov borovíc rastúcich južne 1 km na západ od centra mesta Sabinov preukázala výskyt dvoch výrazných období obmedzenia radiálneho rastu stromov. Prvé z nich zahŕňalo roky 1975–1990, zatiaľ čo druhé pripadlo na obdobie 2007–2020. V prípade prvého obdobia existujú silné dôkazy naznačujúce, že za obmedzenie rastu bolo zodpovedné znečistenie ovzdušia. Išlo totiž o obdobie, počas ktorého boli na území celej Európy zaznamenané výrazné redukcie ročných prírastkov stromov a množstvo výskumov potvrdilo ich priamu súvislosť s emisiami atmosférických znečisťujúcich látok priemyselného pôvodu.

Druhé obdobie redukcie prírastkov môže súvisieť s problémom tzv. nízkych emisií, vznikajúcich spaľovaním nekvalitných palív v domácich vykurovacích systémoch. V tomto prípade však nemožno jednoznačne potvrdiť, že hlavnou príčinou pozorovaných redukcí bolo výlučne znečistenie ovzdušia. Existuje možnosť, že na zhoršenie zdravotného stavu stromov vplývali aj ďalšie environmentálne faktory, ako napríklad dlhodobé suchá alebo gradácie hmyzu, ktoré sa v

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

posledných rokoch vyskytovali čoraz častejšie. V súčasnosti sa predpokladá, že práve nedostatok vody patrí medzi najvýznamnejšie faktory zodpovedné za odumieranie ihličnatých drevín. Nemožno však vylúčiť, že ďalším faktorom oslabujúcim lesné porasty je aj pôsobenie nízkych emisií.

Jednoznačné určenie príčin redukcie ročných prírastkov by si vyžadovalo rozšírenie výskumu na ďalšie susediace oblasti. Mimoriadne dôležité by bolo porovnanie priebehu redukcí prírastkov stromov rastúcich v bezprostrednej blízkosti obytnej zástavby so stromami nachádzajúcimi sa vo väčšej vzdialenosti od potenciálnych zdrojov emisií. Takéto porovnanie výsledkov by mohlo umožniť presnejšiu identifikáciu faktora zodpovedného za pozorované obmedzenia rastu. V kontexte ohrozenia zdravotného stavu lesných porastov a kvality životného prostredia je potrebné zdôrazniť, že od roku 2021 sa pozoruje postupné zväčšovanie šírky ročných prírastkov. Tento jav môže naznačovať oslabenie alebo elimináciu stresového faktora, ktorý predtým negatívne pôsobil na skúmané stromy. Jedným z pravdepodobných dôvodov zlepšenia situácie je postupná výmena starých vykurovacích kotlov za ekologickejšie zdroje vykurovania tak v skúmanej oblasti, ako aj v okolitých regiónoch.

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polskie
Towarzystwo Ziem
Katowice, 22.04.2026

dr hab. Jerzy Gabala