

Influența poluării industriale din zona Târnița asupra relației dintre factorii climatici și creșterea radială a arborilor de rășinoase

C.G.Sidor, C.I. Cuciurean, R. Vlad, I. Popa

Sidor C.G., Cuciurean C.I., Vlad, R., Popa I., 2022. Influence of industrial air pollution from the Târnița region on the relationship between climate and radial growth of coniferous trees. Bucov. For. 22(2): 129-135.

Abstract. The radial growth of trees varies from one growing season to another due to the variation in environmental factors from one year to the next. Air pollution can alter the normal growth behavior of trees both in terms of growth dynamics and response to environmental changes. Climate change and air pollution are closely related although often the impact of pollution on tree growth and the relationship between climate and radial tree growth have been analyzed separately. This study presents results on the influence of industrial pollution on the relationship between tree growth and climate factors. Two tree species, spruce (*Picea abies* L.) and fir (*Abies alba* L.), were studied in the Târnița area, Suceava county, an area intensely polluted by mining and non-ferrous metal processing. The experimental areas were located at different distances from the pollution source in order to capture trees affected in different degrees by local industrial pollution (heavily polluted, moderately polluted and unpolluted). Analysis of tree response to variation in climatic factors revealed that high rainfall in certain months can positively influence tree growth in polluted areas. High temperatures in the growing season can negatively influence resinous trees, and the response is stronger for trees in polluted areas. The period when the resinous trees in the Târnița area responded differently to the degree of pollution damage overlaps perfectly with the period when mining activity in that area was at a very high level.

Keywords: air pollution, dendroecology, climatology, tree rings.

Authors. Cosmin Ilie Cuciurean - Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”, Stațiunea Cercetare – Dezvoltare și Experimentare – Producție, Câmpulung Moldovenesc, Calea Bucovinei 73 bis, 725100 Câmpulung Moldovenesc, Romania; Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava, Facultatea de Silvicultură, Str. Universității 13, 720229, Suceava, Romania (cosmin.cuciurean@icas.ro); Sidor Cristian Gheorghe, Radu Vlad - Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”, Stațiunea Cercetare – Dezvoltare și Experimentare – Producție, Câmpulung Moldovenesc, Calea Bucovinei 73 bis, 725100 Câmpulung Moldovenesc, Romania; Ionel Popa - Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”, Stațiunea Cercetare – Dezvoltare și Experimentare – Producție, Câmpulung Moldovenesc, Calea Bucovinei 73 bis, 725100 Câmpulung Moldovenesc, Romania; Centru de Economie Montană, INCE-CE-MONT, Vatra Dornei, România

Manuscript received November 14, 2022; revised December 10, 2022; accepted December 20, 2022; online first December 31, 2022.

Introducere

Poluanții atmosferici din ultimul secol au un impact negativ semnificativ asupra mediului. Poluanții acționează individual sau în combinație cu schimbările climatice și afectează toate ecosistemele, în special cele forestiere (Taylor et al., 1994). Schimbările climatice și poluarea aerului sunt strâns corelate deși în majoritatea studiilor impactul poluării asupra creșterii arborilor și relația dintre factorii climatici și procesele auxologice au fost analizate separat (Bytnerowicz et al., 2007). Inelul anual este considerat un monitor obiectiv al condițiilor climatice, dar și a manifestării unor factori perturbatori cum ar fi poluarea aerului (Juknys et al., 2014). Factorii climatici determină variația lățimii inelului anual de la un an la altul, iar în combinație cu efectul negativ al poluării, determină reducerea semnificativă a lățimii inelului anual (Mikulénka et al., 2020). Lățimea inelului anual oferă informații detaliate despre creșterea arborilor dar și despre condițiile de mediu (Altman et al., 2017) și reflectă legătura dintre creșterea arborilor și fenomenele climatice, inclusiv cele extreme (Bhuyan et al., 2017).

În Asia de Est a fost demonstrat faptul că depunerile de azot (N) și concentrațiile ridicate de SO₂ și O₃ au dus la declinul pădurilor în anumite perioade, mai ales în apropierea centrelor industriale (Takahashi et al., 2020). În Estul Statelor Unite ale Americii o analiză realizată pe arborii de molid roșu (*Picea rubens* L.) a scos în evidență faptul că nivelul ridicat al creșterilor după anul 1989 este datorat reducerii poluării acide cu sulf, CO₂ și NO_x. Reducerea cantităților acestor poluanți eliberați în atmosferă a avut influențe semnificative în ceea ce privește procesele de fotosinteză a molidului roșu (Mathias și Thomas, 2018).

La nivel European există numeroase studii care au evidențiat impactul poluării aerului și a schimbărilor climatice asupra ecosistemelor forestiere. În acest sens, poluarea atmosferică cu SO₂ a fost identificată ca fiind principala cauză a declinului pădurilor din Polonia

(Ashmore et al., 1990). Alte studii arată că arată că pe lângă oxizii de sulf și azot care au avut un impact negativ asupra pădurilor, au fost identificate și concentrații mari de plumb și cadmiu în sol, mai ales în sudul Poloniei (Godzik et al., 1998), concentrația de metale grele din sol determinând o creștere progresivă a acidității solului, cu efecte determinate asupra vegetației forestiere (Staszewski et al., 2012).

A fost demonstrat faptul că poluarea ridicată din perioada 1979-1991, dar și fenomenele climatice extreme au avut influențe negative asupra creșterilor în diametru a arborilor de molid din Cehia. În această perioadă au fost semnalate reduceri ale creșterilor în diametru, care s-au corelat negativ și semnificativ cu concentrațiile de SO₂ și NO_x, iar în ceea ce privește parametri climatici, temperatura din sezonul de vegetație a avut influențe pozitive semnificative asupra creșterii arborilor comparativ cu cantitatea de precipitații (Putalová et al., 2019). Rezultate similare au fost obținute într-un studiu mai recent tot în Cehia, dar de data aceasta a fost analizată și specia brad, fiind specificat faptul că bradul a fost mai afectat de factorii de poluare comparativ cu molidul aceasta fiind o specie mai sensibilă (Mikulénka et al., 2020).

În ceea ce privește arborii de rășinoase din țara noastră primele semne ale declinului arborilor de brad și molid au fost semnalate încă din anul 1967, în jurul Fabricii de Ciment Bicaz (Giurgiu, 1967).

În zona Târnița efectul negativ a poluării cu metale grele datorită activităților de minerit și în urma emisiilor rezultate de industria de prelucrare primară a minereurilor neferoase și a baritinei, a făcut obiectul mai multor studii de-a lungul timpului (Barbu și Flocea, 1989; Barbu, 1991; Popa și Barbu, 2001; Flocea, 2013). În aceste studii au fost semnalate uscări ale arborilor în vecinătatea surselor de poluare, pierderi de creștere ale arborilor afectați de poluare, dar și colorări și căderi ale frunzelor arborilor, toate acestea fiind variabile în intensitate în raport cu distanța față de sursele de poluare. Tot în această zonă a fost identificate

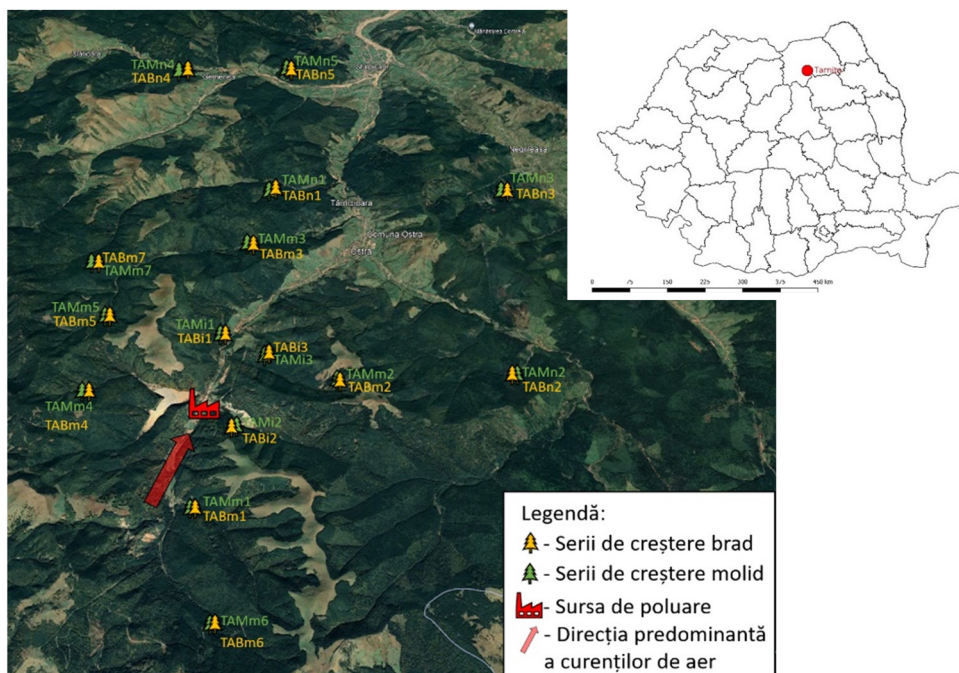


Figura 1 Localizarea cercetărilor
Location of research

concentrații ridicate ale ionilor de metale grele (Fe, Cu, Zn și Mn) atât în sol cât și în probele de creștere a arborilor de fag și brad. În ceea ce privește acumularea acestor elemente de către arbori au fost semnalate diferențe semnificative ale concentrațiilor de metale grele în cazul arborilor de fag din imediata apropiere a sursei de poluare comparativ cu cei situați într-o zonă mai puțin poluată (Iacoban et al., 2019).

Efectul negativ al poluării asupra creșterilor arborilor din această zonă a fost evidențiat într-un studiu anterior, fiind semnalat faptul că atât arborii de molid cât și cei de brad din zona intensiv poluată prezintă o reducere puternică a creșterilor în comparație cu cei din zonele moderat poluată și nepoluată în perioada 1978-1990. Recuperarea creșterilor a fost observată după anul 1990, datorită faptului că după anul 1990 activitatea industrială din această zonă a fost redusă semnificativ iar condițiile de mediu s-au îmbunătățit. În ceea ce privește speciile analizate s-a identificat faptul că bradul comparativ cu molidul a prezentat o sensibilitate ridicată la poluanții locali (Sidor et al., 2021).

Studiul de față reprezintă o continuare a studiului anterior (Sidor et al., 2021) iar obiectivul principal este de a analiza și de a cuantifica efectul poluării industriale locale asupra relației dintre factorii climatici și creșterea radială a arborilor de rășinoase din zona Tarnița.

Material și metodă

Studiul a fost realizat în ecosisteme forestiere afectate de poluarea industrială locală, din zona Tarnița, județul Suceava. Principala sursă a poluării din această zonă a fost activitatea de extragere și prelucrare a metalelor neferoase (cu conținut de plumb, cupru, zinc, argint, de regulă sub formă de sulfuri complexe), iar sursele secundare de poluare au fost reprezentate de taluzurile barajelor și iazurile de decantare în care era decantat materialul steril. Activitatea uzinei de preparare Tarnița s-a desfășurat în perioada 1968-1990, fiind redusă semnificativ după această perioadă și ulterior oprită în anul 1998.

Regimul climatic din această zonă prezintă

temperaturi medii lunare cuprinse între $-7,7^{\circ}\text{C}$ și $15,3^{\circ}\text{C}$. Luna în care temperaturile prezintă cele mai scăzute valori este ianuarie, în timp ce în luna iulie au fost înregistrate cele mai ridicate temperaturi. În ceea ce privește precipitațiile din această zonă valorile medii lunare prezintă valori cuprinse între 39 mm la nivelul lunii februarie și 112 mm la nivelul lunii iunie. Din perioada analizată anul care prezintă cele mai reduse cantități ale precipitațiilor este anul 2000 (575 mm), în timp ce anul 1970 a înregistrat cea mai mare cantitate de precipitații (1034 mm).

În zona Târnița a fost amplasată o rețea de suprafețe experimentale din care au fost recoltate probe de creștere radială de la principalele specii de rășinoase din zonă: molid (*Picea abies* L.) și brad (*Abies alba* L.). Suprafețele au fost amplasate pe raza Ocolului Silvic Stulpicani în 5 unități de producție diferite și la distanțe diferite față de sursa de poluare pentru a putea surprinde arbori afectați în diferite grade de poluarea industrială locală (Figura 1). Suprafețele și stabilirea gradului de poluare s-a efectuat cu ocazia cercetărilor anterioare (Sidor et al., 2021).

A fost obținut un număr de 6 serii de creștere radială (3 pentru molid și 3 pentru brad) în zona intens poluată, 14 serii de creștere radială (7 pentru molid și 7 pentru brad) în zona moderat poluată și 10 serii de creștere radială (5 pentru molid și 5 pentru brad) în zona neafectată de poluarea industrială locală.

Prelevarea probelor de creștere a fost realizată cu ajutorul burghiului Pressler, fiind recoltate un număr de minim 40 de carote din fiecare suprafață de cercetare și pentru fiecare specie. Carotele au fost prelevate de la înălțimea de 1,30 m și câte o singură probă pe arbore. După uscare, probele de creștere au fost montate pe suporturi de lemn, șlefuite cu ajutorul unor benzi abrazive cu granulații diferite pentru a evidenția limita dintre inelele de creștere, iar ulterior au fost scanate în vederea măsurării acestora cu ajutorul programului Coorecorder 9.0 (Cybis Electronic, 2019). Standardizarea seriilor de creștere s-a realizat folosind o funcție spline cu o lungime egală cu 67% din lungimea seriei

(Cook, 1990). Standardizarea a fost realizată pentru fiecare serie de creștere individuală, iar seriile dendrocronologice de referință au fost obținute folosind media bi-ponderată (Fritts, 1976) a seriilor de creștere cu același grad de afectare al poluării, iar indicii utilizați pentru corelarea cu datele climatice au fost cei obținuți în seria reziduală.

Datele utilizate pentru a evalua și cuantifica efectul poluării asupra relației dintre climă și creșterea arborilor, au fost utilizate într-un studiu anterior (Sidor et al., 2021). În studiul anterior se regăsesc seriile dendrocronologice, parametrii statistici ai seriilor dendrocronologice și a fost evaluat și cuantificat efectul negativ al poluării asupra proceselor de creștere a arborilor.

Pentru analiza legăturii correlative dintre creșterea radială a arborilor afectați în diferite grade de poluare și factorii climatici, au fost folosite datele climatice (temperatura medie și cantitatea de precipitații totală) lunare, de tip grid CRU TS 4.03, cu o rezoluție spațială de $0,5 \times 0,5^{\circ}$ (Harris et al., 2014), pentru perioada 1901 - 2020. În cadrul analizei correlative dintre creșterea arborilor și parametrii climatici au fost luate în calcul 13 luni, începând cu luna septembrie a anului precedent și până în luna septembrie a anului curent, semnificația corelației fiind stabilită cu ajutorul metodei bootstrap, cu un număr de 1000 de repetiții și cu o probabilitate de acoperire de 95% ($p < 0.05$) (Zang și Biondi, 2015). Pentru evidențierea efectului temporal al poluării asupra relației dintre creșterea arborilor și parametri climatici, au fost calculate corelații pe perioade mobile de 15 ani, pentru lunile unde s-au constatat diferențe mari a coeficienților de corelație în raport cu gradul de poluare.

Analiza și prelucrarea datelor s-a realizat cu ajutorul programului R (R Core Team 2019), folosind pachetele „dplR” (Bunn, 2008) și „treeclim” (Zang și Biondi, 2015).

Rezultate

Analiza relației dintre creșterea radială a arborilor de molid din zona Târnița și factorii

climatici a scos în evidență faptul că precipitațiile din luna septembrie a anului precedent influențează pozitiv creșterile arborilor (Figura 2). Chiar dacă luna septembrie a anului precedent a influențat semnificativ creșterea radială din toate cele 3 suprafețe de cercetare cu grade diferite de poluare, există diferențe între valorile coeficientului de corelație. Astfel, în cazul arborilor din zona intensiv poluată corelația se apropie de 0,4, în timp ce la arborii din zona nepoluată coeficientul de corelație depășește cu puțin valoarea de 0,2. Un lucru care iese în evidență, este faptul că în cazul arborilor din zona intensiv poluată, spre deosebire de cei din zona moderat poluată și nepoluată, precipitațiile din luna iunie influențează semnificativ creșterile acestora. La nivelul lunii octombrie a anului precedent poate fi observat un alt aspect, și anume, faptul că precipitațiile au influențat pozitiv creșterile arborilor din zona intensiv poluată și negativ arborii din zonele moderat poluată și nepoluată, chiar dacă aceste corelații nu sunt semnificative din punct de vedere statistic.

În ceea ce privește relația dintre creșterea arborilor și temperaturile medii lunare, în cazul lunii septembrie a anului precedent acestea au avut o influență negativă asupra creșterilor în toate arboretele indiferent de gradul de poluare, valorile coeficienților de corelație fiind apropiate (Figura 2). Temperaturile din luna decembrie a anului precedent au avut influențe pozitive și semnificative statistic asupra creșterii arborilor de molid din zona nepoluată, comparativ cu arborii din celelalte două zone. În cazul lunii octombrie a anului precedent, temperaturile au influențat negativ procesele de creștere a arborilor din zona intensiv poluată și pozitiv în cazul arborilor din zona moderat poluată și nepoluată, exact opusul corelațiilor cu cantitatea de precipitații din aceeași lună.

Analizând modelul dendroclimatic și calculându-se coeficienți de corelație pe perioade mobile de 15 ani cu precipitațiile lunare, a ieșit în evidență faptul că în unele cazuri cum ar fi luna octombrie a anului precedent, în pe-

rioadă 1975-1990 molidul din zona intensiv poluată prezintă un răspuns diferit la factorii climatici (Figura 3). După această perioadă, valorile coeficienților sunt relativ similare și urmează aceeași tendință de variație.

În cazul corelațiilor cu temperaturile medii lunare, efectul temporal al poluării a ieșit în evidență în perioada 1978-1998 (Figura 4). În cazul molidului intensiv poluat, răspunsul la regimul termic al lunii decembrie este diferit prin faptul că valorile coeficienților sunt mai ridicate, deși până în anul 1978 și după anul 1998, valorile coeficienților de corelație sunt mai reduse în comparație cu molidul moderat poluat și cel nepoluat.

Perioada în care molidul din zona intensiv și moderat poluată, a avut un răspuns diferit la variația factorilor climatici în lunile prezentate, în comparație cu molidul neafectat de poluarea industrială locală din zona Târnița, se suprapune cu perioada în care uzina de preparare Târnița și-a desfășurat activitatea la un nivel foarte ridicat.

În ceea ce privește bradul din zona Târnița, creșterea acestuia este influențată semnificativ de nivelul precipitațiilor din luna aprilie doar în zona nepoluată (Figura 5). În acest caz corelația este pozitivă, iar valoarea coeficientului de corelație este de 0,2. În ceea ce privește diferențele dintre coeficienții de corelație în raport cu gradul de poluare, iese în evidență luna septembrie a anului precedent, perioadă în care cantitatea de precipitații a influențat pozitiv creșterea bradului intensiv poluat comparativ cu bradul din celelalte două zone. Ca și în cazul molidului, în luna octombrie a anului precedent, cantitatea de precipitații a influențat pozitiv creșterea bradului intens poluat și negativ creșterile bradului din zonele moderat poluată și nepoluată. Un lucru similar poate fi observat la nivelul lunii septembrie al anului curent, lună în care creșterile bradului intensiv poluat au fost influențate negativ de cantitatea de precipitații și pozitiv în cazul bradului moderat poluat și nepoluat.

Situația este diferită în cazul relației dintre creșterea radială a bradului și regimul termic.

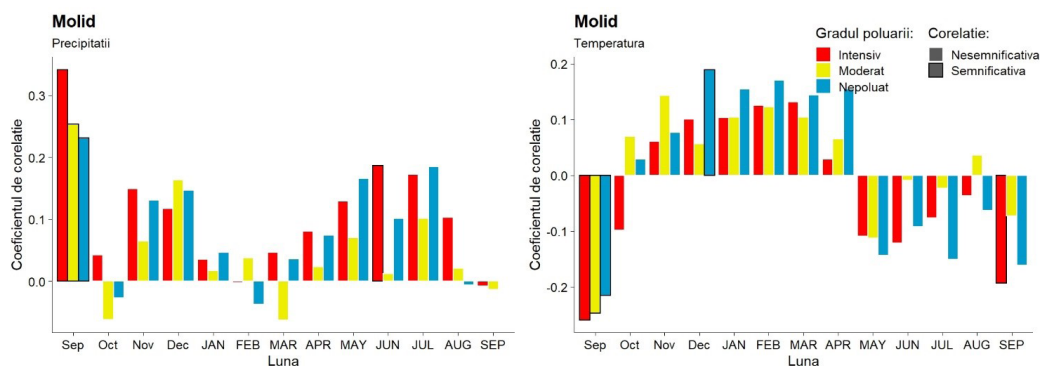


Figura 2 Corelația seriilor de indici de creștere a molidului din zona Tarnița cu datele climatice lunare
Correlation of average Norway spruce growth index series in Tarnița area with monthly climate data

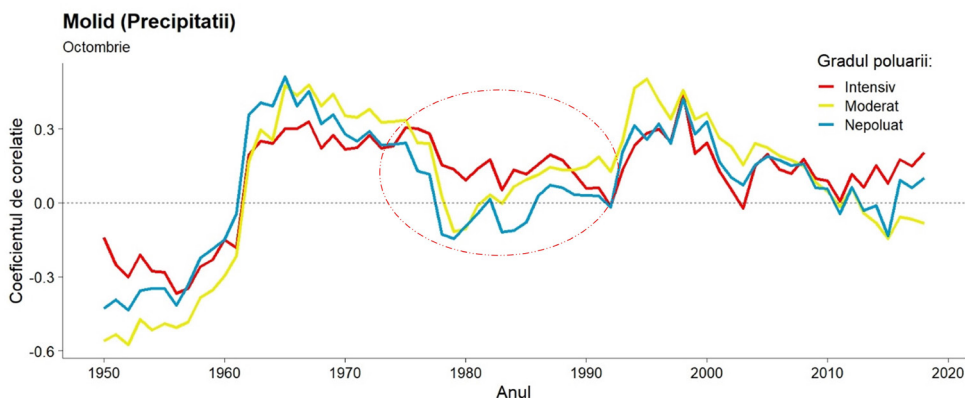


Figura 3 Corelația seriilor de indici de creștere la molidul din zona Tarnița cu cantitatea de precipitații din luna Octombrie a anului precedent pe perioade mobile de 15 ani
Correlation of average growth index series of Norway spruce in the Tarnița area with the amount of precipitation in October of the previous year over 15-year moving periods

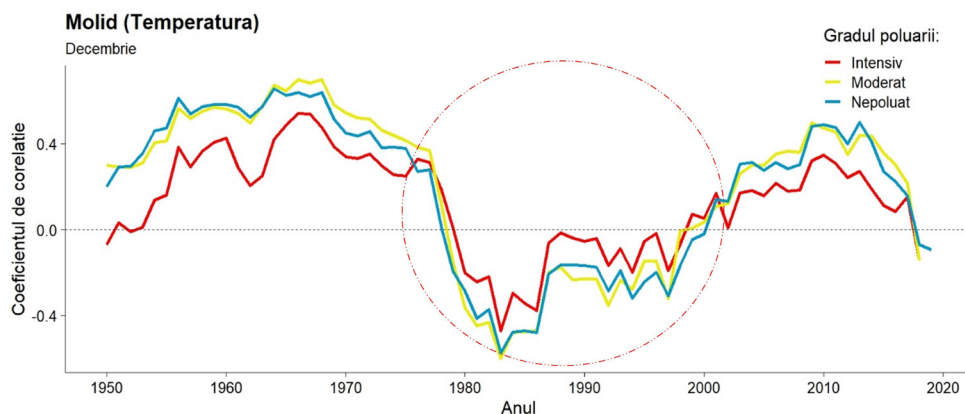


Figura 4 Corelația seriilor de indici de creștere la molidul din zona Tarnița cu temperaturile medii din luna Decembrie a anului precedente perioade mobile de 15 ani
Correlation of growth index series for Norway spruce in the Tarnița area with average temperatures in December of the previous year over 15-year rolling periods

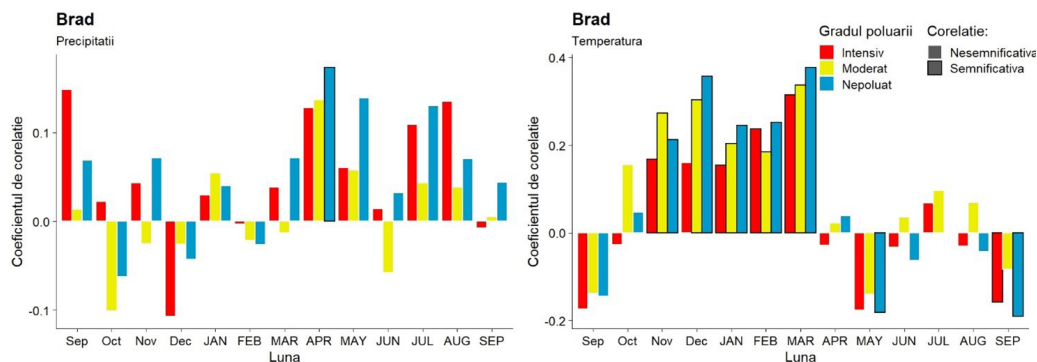


Figura 5 Corelația seriilor de indici de creștere a bradului din zona Târnița cu datele climatice lunare
Correlation of average growth index series of Silver fir trees in Târnița area with monthly climate data

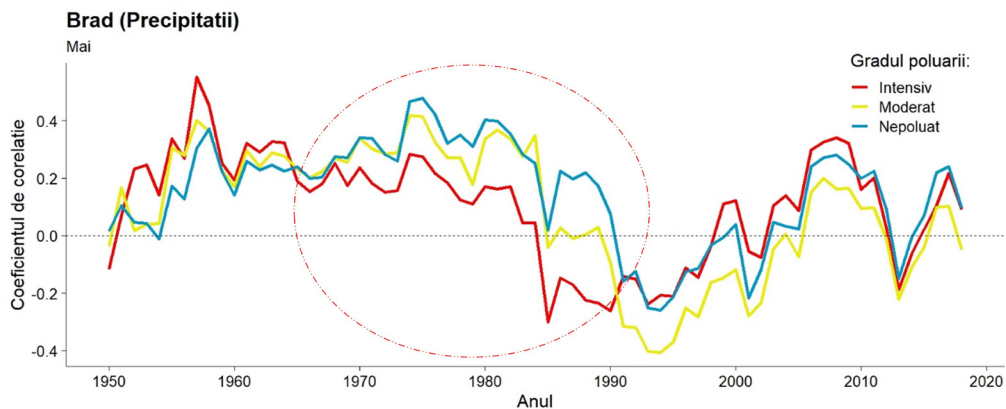


Figura 6 Corelația seriilor de indici de creștere a bradului din zona Târnița cu cantitatea de precipitații din luna mai pe perioade mobile de 15 ani
Correlation of mean growth index series of Silver fir trees in the Târnița area with amount of precipitation in may over 15-year moving periods

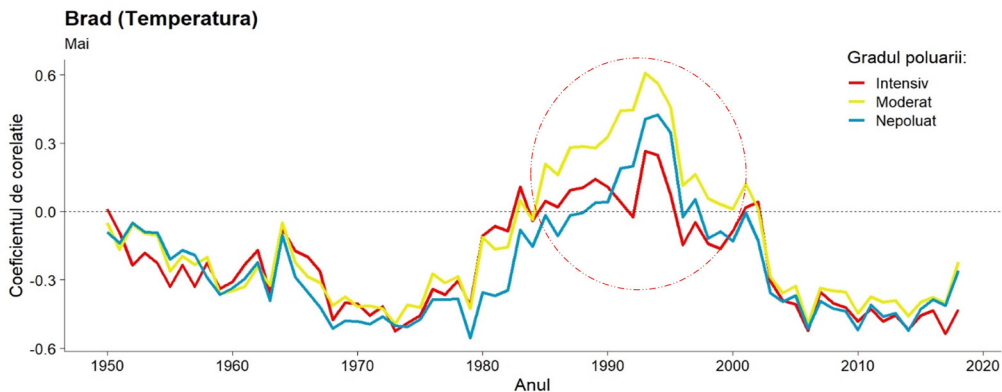


Figura 7 Corelația seriilor de indici de creștere a bradului din zona Târnița cu temperaturile medii din luna mai pe perioade mobile de 15 ani
Correlation of the Târnița fir growth index series with 15-year moving average with May temperatures

Luna noiembrie a anului precedent și lunile februarie și martie a anului curent prezintă un regim termic cu influență semnificativă în toate cele 3 zone indiferent de gradul de poluare. În cazul lunilor decembrie și ianuarie se constată o corelație semnificativă doar în cazul arborilor din zona moderat poluată și nepoluată (Figura 5).

Analizând răspunsul arborilor la variația cantității de precipitații, la nivelul lunii mai, se poate observa faptul că arborii de brad din zona intensiv poluată au răspuns diferit în perioada 1965 - 1990, comparativ cu cei din zona moderat poluată și cei din zona nepoluată (Figura 6). În această perioadă, bradul din zona intensiv poluată prezintă un răspuns pozitiv până în anul 1985, dar cu valori mai reduse ale coeficienților de corelație comparativ cu bradul din zona nepoluată, respectiv un răspuns negativ după anul 1985. După anul 1990, diferența dintre valorile coeficienților de corelație din cele 3 zone se reduce, lucru explicabil urmare a faptului potrivit căruia după anul 1990 activitatea minieră din această zonă s-a redus semnificativ. După anul 2003 răspunsul bradului la regimul pluviometric este același indiferent de intensitatea poluării.

În ceea ce privește răspunsul bradului la variația temperaturilor medii lunare, efectul temporal al poluării poate fi observat în perioada 1984-2000 la nivelul lunii mai (Figura 7). În acest caz, bradul din zona intensiv poluată, a avut un răspuns diferit la variația temperaturilor din luna mai, comparativ cu bradul din celelalte două zone.

Deși până în anul 1984 bradul a avut același răspuns indiferent de gradul de poluare, cu mici excepții de-a lungul timpului, din anul 1984 temperaturile de la nivelul lunii mai au avut influențe negative asupra proceselor auxologice la bradul intens poluat. După anul 2000 răspunsul la temperaturile din luna mai este similar indiferent de gradul de poluare, lucru motivat de faptul că în anul 1998 Uzina de preparare Târnița și-a stopat activitatea.

Discuții

Poluarea cu metale grele cum ar fi Cd, Pb, Cu, Zn și Sn, afectează ecosistemele forestiere, fiind identificate concentrații ale acestor elemente atât în sol cât și în plante (Mihali et al., 2013). În ceea ce privește arborii de rășinoase din țara noastră primele semne ale declinului arborilor de brad și molid au fost semnalate încă din anul 1967, în jurul Fabricii de Cement Bicaz (Giurgiu, 1967).

Influența poluării aerului asupra relației dintre climă și creșterea arborilor de rășinoase, a scos în evidență faptul că aceștia, în raport cu gradul de afectare al poluării, au răspuns diferit în anumite perioade comparativ cu arborii din zona neafectată de poluare.

Cantitatea de precipitații a avut o influență mai puternică asupra arborilor de molid din zona intensiv poluată, în majoritatea lunilor analizate. Acest lucru se datorează faptului că arborii din zona intens poluată au fost supuși unui factor de stres datorat poluării industriale, iar precipitațiile au reușit să reducă din efectul negativ al poluării, acestea fiind un factor benefic pentru creșterea și dezvoltarea arborilor. Acest răspuns al arborilor din zona intensiv poluată poate fi datorat faptului că precipitațiile au putut conduce la curățarea aparatului foliar, acesta fiind acoperit cu pulberi poluante, iar ca urmare a crescut intensitatea fotosintezei și deschiderea stomatelor. Deși răspunsul arborilor la variația factorilor climatici este mai puternic atunci când temperatura sau precipitațiile reprezintă un factor limitativ, în studiul de față nu se poate vorbi de factori limitativi, deoarece arborii analizați sunt localizați în zona optimă din punct de vedere al condițiilor climatice.

Spre deosebire de precipitații, temperaturile ridicate reprezintă un factor de stres asupra arborilor din zona de studiu. Temperaturile ridicate din sezonul de vegetație pot influența negativ creșterea arborilor prin producerea unei evapotranspirații ridicate care conduce la un stres hidric ridicat pentru arbori (Fritts, 1976), iar răspunsul este mai puternic în cazul arbori-

lor din zonele afectate de poluare. Răspunsul negativ al arborilor de molid la temperaturile din sezonul de vegetație anterior a fost identificat și în estul Carpaților Orientali (Sidor et al., 2015).

Deși din luna noiembrie a anului precedent și până în luna aprilie a anului curent temperaturile lunare au avut influențe pozitive asupra proceselor auxologice ale arborilor, corelațiile sunt mai slabe în cazul arborilor din zona intensiv poluată. Corelații similare au fost semnalate și în cazul molidului din depresiunea Gheorgheni, fiind specificat faptul că temperaturile mai ridicate din timpul iernii pot avea influențe pozitive asupra proceselor de creștere (Popa et al., 2021).

Influența temperaturilor ridicate asupra proceselor de creștere a arborilor de rășinoase poate fi explicată prin faptul că arborii intensiv poluați au fost deja supuși unui factor de stres, temperaturile intervenind ca un factor de stres suplimentar, acest lucru fiind valabil și în cazul arborilor moderat poluați. Iar în ceea ce privește arborii din zona nepoluată, aceștia prezintă corelații mai puternice cu temperaturile deoarece sunt localizați în condiții staționale optime și nu au resimțit temperaturile ca un factor negativ.

În perioada 1975-1990 în cazul molidului din zona intensiv poluată, a fost constatat un răspuns diferit la cantitatea de precipitații, acesta prezentând valori ale coeficienților de corelație mai ridicate comparativ cu molidul din zona moderat poluată și nepoluată. Până în anul 1975 valorile coeficienților de corelație prezintă același trend, cu mici diferențe în raport cu gradul de poluare. Perioada în care molidul intensiv poluat a răspuns diferit la variația factorilor climatici coincide cu perioada în care activitatea de extragere și prelucrare a metalelor neferoase din această zonă era la un nivel foarte ridicat.

În cazul bradului din zona intensiv poluată a fost identificat un răspuns diferit în perioada 1965-1990, acesta fiind pozitiv până în anul 1985, dar cu valori mai reduse ale coeficienților de corelație comparativ cu bradul din zona

nepoluată, respectiv un răspuns negativ după anul 1985. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că bradul intensiv și moderat poluat a fost supus unui factor de stres negativ datorat poluării industriale locale, iar cantitatea de precipitații nu a reușit să influențeze foarte mult creșterea arborilor din aceste două zone. Perioada 1965-1990 se suprapune cu perioada în care activitatea minieră din acea zonă se desfășura la un nivel foarte ridicat, de unde reiese faptul că arborii de brad din zona intensiv poluată au fost afectați de poluarea industrială locală. Răspunsul pozitiv al bradului la cantitatea de precipitații din luna mai, poate fi explicat fiziologic de faptul că începutul lunii mai este perioada în care apar primele celule în curs de lărgire ale inelului anual, acest lucru fiind semnalat și în cazul bradului din zona Văliug (Sidor et al., 2015).

Comparând cele două specii analizate, iese în evidență faptul că molidul a reacționat pozitiv la temperaturile din luna aprilie, iar bradul a avut o reacție indiferentă sau chiar negativă în cazul zonei intensiv poluate. Această reacție similară a arborilor de rășinoase la temperaturile de la începutul sezonului de vegetație a fost semnalată în aceeași zonă (Nordul Carpaților orientali) (Popa, 2003).

Concluzii

Perioada în care arborii de rășinoase din zona Târnița au răspuns diferit în raport cu gradul de afectare al poluării se suprapune cu perioada în care activitatea minieră din acea zonă se desfășura la un nivel foarte ridicat, de unde reiese faptul că arborii din zona intensiv au fost afectați de poluarea industrială locală. După anul 1990, diferența între valorile coeficienților de corelație dintre cele 3 zone se reduce, lucru datorat faptului că după anul 1990 activitatea minieră din această zonă s-a redus semnificativ, urmând ca din anul 2003 răspunsul arborilor la regimul pluviometric și termic să fie același indiferent de gradul de poluare, lucru justificat prin faptul că din anul 1998 activitatea Uzinei de preparare

Tarnița a fost oprită (Flocea, 2013).

În comparație cu molidul, bradul din această zonă a avut un răspuns mai puternic la factorii de poluare, mai ales în cazul corelațiilor cu precipitațiile lunare. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că bradul este o specie mai sensibilă la variația factorilor climatici, dar și la poluarea aerului în comparație cu molidul, acest lucru fiind specificat și în cazul molidului și bradului din Cehia afectat de factorii de poluare (Mikulenka et al., 2020).

Mulțumiri

Cercetările s-au derulat în cadrul proiectului PN19070104, Impactul poluării asupra structurii, creșterii multianuale și a acumulărilor de metale grele în ecosisteme forestiere afectate, finanțat de Ministerul Cercetării, Inovării și Digitalizării și proiectul “Creșterea capacității și performanței instituționale a INCDS „Marin Drăcea” în activitatea de CDI - CresPerfInst” (Contract nr. 34PFE./30.12.2021) finanțat de Ministerul Cercetării, Inovării și Digitalizării prin Programul 1 - Dezvoltarea sistemului național de cercetare - dezvoltare, Subprogram 1.2 - Performanță instituțională - Proiecte de finanțare a excelenței în CDI.

Bibliografie

- Altman J., Fibich P., Santruckova H., Dolezal J., Stepanek P., Kopacek J. et al., 2017: Environmental factors exert strong control over the climate-growth relationships of *Picea abies* in Central Europe. *Science of the Total Environment*, 609:506-516. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.134>
- Ashmore M. R., Bell J. N. B., Brown, I. J. Air pollution and forest ecosystems in the European Community, 1990. CEC Air Pollut. Res. Rep, 29.
- Barbu I., 1991. Stabilirea masurilor de prevenire și combatere a fenomenului de uscure a bradului și molidului. Referat științific final. Manuscris ICAS București.
- Barbu I., Flocea N. M., 1989. Stabilirea indicilor de calitate la arborii de molid și alții afectați de uscure. Referat științific parțial de colaborare la tema 12.47.b.(D). Manuscris ICAS București.
- Bhuyan U., Zang C., Menzel A., 2017: Different responses of multispecies tree ring growth to various drought indices across Europe. *Dendrochronologia*, 44:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.02.002>
- Bunn A.G., 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>.
- Bytnerowicz A., Omasa K., Paoletti E., 2007. Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective. *Environmental Pollution*, 147(3), 438-445. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.028>
- Cook E., Briffa K., Shiyatov S., Mazepa V., Jones, P. D., 1990. Data analysis. In *Methods of dendrochronology* (pp. 97-162). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0_3
- Cybis Electronic, 2019. CDendro and CooRecorder V.9.13
- Flocea N. M., 2013. Cercetări auxologice în păduri de molid din nordul țării aflate în zone afectate de poluare. Teză de doctorat, Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, 165 p.
- Fritts H., 1976. *Tree rings and climate*. Elsevier.
- Giurgiu V., 1967. Studiul creșterilor la arborete. Editura Agro-Silvică București, 322 p.
- Godzik S., Szdziej J., Staszewski T., Lukasik, W. Air pollution and forest health studies along a south-north transect in Poland, 1998. In In: Bytnerowicz A., Arbough M. J., Schilling S. L., coords. *Proceedings of the international symposium on air pollution and climate change effects on forest ecosystems*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-166. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station: 259-265 (Vol. 166).
- Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H., Updated high-resolution grids of monthly climatic observations-the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.* 2014, 34, 623-642. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>
- Holmes R.L., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin*, 43, 69-75.
- Iacoban C., Risca I. M., Roibu C., Ciornea E. T., Necula R., Ilieva D., ... Drochioiu, G., 2019. Tarnita polluted area: accumulation of heavy metals and nutrients from the soil by woody species. *Rev Chim Bucharest*, 70, 753-758. <https://doi.org/10.37358/RC.19.3.7001>
- Ianculescu M., 2009. Amplasarea de suprafețe de probă permanente în ecosistemele forestiere aflate sub influența noxelor. Investigarea arboretelor, stabilirea gradei și zonelor de vătămare. Recoltări de probe de sol, de litieră și de vegetație din arboretele luate în studiu. Raport de activitate al fazei I din cadrul proiectului PN 09460102 - „Starea și evoluția unor ecosisteme forestiere aflate sub influența poluării aerului”. Manuscris ICAS București, 27 p.
- Juknys R., Augustaitis A., Vencloviene J., Kliučius A., Vitas A., Bartkevičius E., & Jurkonis N., 2014. Dynamic response of tree growth to changing environmental pollution. *European Journal of Forest Research*,

- 133(4), 713-724. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0712-3>
- Mathias J. M., Thomas R. B., 2018. Disentangling the effects of acidic air pollution, atmospheric CO₂, and climate change on recent growth of red spruce trees in the Central Appalachian Mountains. *Global change biology*, 24(9), 3938-3953. <https://doi.org/10.1111/gcb.14273>
- Mihali C., Oprea G., Michnea A., Jelea S. G., Jelea M., Man C., ... & Grigor, L., 2013. Assessment of heavy metals content and pollution level in soil and plants in Baia Mare area, NW Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(2), 143-152.
- Mikulénka P., Prokúpková A., Vacek Z., Vacek S., Bulušek D., Simon J., Hájek V., 2020. Effect of climate and air pollution on radial growth of mixed forests: Mill. vs.(L.) Karst. *Central European Forestry Journal*, 66(1), 23-36. <https://doi.org/10.2478/forj-2019-0026>
- Popa A., Popa I., Horvath A., Balabașciuc, M. 2021. Răspunsul dendroclimatic al molidului din Depresiunea Gheorgheni. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, 26(49): 26-30.
- Popa I. 2003. Analiza comparativă a răspunsului dendroclimatic al molidului (*Picea abies* (L.) Karst.) și bradului (*Abies alba* Mill.) din nordul Carpaților Orientali. *Bucovina forestieră*, 11(2), 3-14.
- Popa I., Barbu, I. 2001. Evaluarea gradului de vătămare a ecosistemelor forestiere din zona Târnița prin tehnici GIS de analiză spațială. *Revista Pădurilor*, 6, 8-11.
- Putalová T., Vacek Z., Vacek S., Štefančík I., Bulušek D., Král J., 2019. Tree-ring widths as an indicator of air pollution stress and climate conditions in different Norway spruce forest stands in the Krkonoše Mts. *Central European Forestry Journal*, 65(1), 21-33. <https://doi.org/10.2478/forj-2019-0004>
- R Core Team, 2019. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sidor C.G., Popa I., Vlad R., Cherubini P., 2015). Different tree-ring responses of Norway spruce to air temperature across an altitudinal gradient in the Eastern Carpathians (Romania). *Trees - Structure and Function*, 29(4), 985-997. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1178-3>.
- Sidor C. G., Popa, I., 2015. Influența parametrilor meteorologici lunari și periodici asupra creșterii radiale a bradului, pinului silvestru și lăricelui din Banat. *Bucovina Forestieră*, 15(1), 55-63.
- Sidor C. G., Vlad R., Popa I., Semeniuc, A., Apostol E., Badea, O. Impact of Industrial Pollution on Radial Growth of Conifers in a Former Mining Area in the Eastern Carpathians (Northern Romania), 2021. *Forests*, 12(5), 640. <https://doi.org/10.3390/f12050640>
- Staszewski T., Łukasik W., Kubiesa P., 2012. Contamination of Polish national parks with heavy metals. *Environmental monitoring and assessment*, 184(7), 4597-4608. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2288-z>
- Takahashi M., Feng Z., Mikhailova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V., Afanasieva L. V., Sase H. (2020). Air pollution monitoring and tree and forest decline in East Asia: A review. *Science of the Total Environment*, 742, 140288. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140288>
- Taylor G. E., Johnson D. W., Andersen, C. P., 1994. Air pollution and forest ecosystems: a regional to global perspective. *Ecological Applications*, 4(4), 662-689. <https://doi.org/10.2307/1941999>
- Zang C., Biondi, F. 2015. treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, 38(4), 431-436. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>