

# Impactul schimbărilor climatice asupra serviciilor ecosistemice culturale: Studiu de caz – Ocolul Silvic Pătrăuți, Suceava

C. Coșofreț

Coșofreț C., 2025. Climate Change Impacts on Recreational Ecosystem Service: A Case Study of Pătrăuți Forest District, Suceava. Bucov. For. 25(2): 145-156

**Abstract.** The impact of climate change on the recreational potential of forests in the Pătrăuți Forest District, can be assessed by the LandClim forest landscape-level dynamic model. The analysis covers a 100-year period (2020-2120) under three climate scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) and two forest management types. The Recreation Index (RI) was calculated based on six indicators: species richness, diameter and height heterogeneity, stand and regeneration density, and the amount of deadwood. Results show optimal recreational potential at altitudes of 350-450 m asl, where RI reaches maximum values of 0.380, due to the balance between species diversity and complex dimensional structure. Under the optimistic RCP2.6 scenario, recreational potential increases steadily, especially without management (NOM). The moderate RCP4.5 scenario maintains acceptable values until 2070, after which they decline sharply. The pessimistic RCP8.5 scenario leads to near-immediate collapse, with recreational potential dropping to nearly zero after 2090 due to massive tree dieback from extreme drought and rising temperatures. The study highlights the need to adapt forest management strategies, add coefficients to IR indicators based on local surveys, and include natural disturbances in future simulations to provide a realistic assessment of forest dynamics under climate change.

**Keywords:** climate change, recreational potential, species richness, structural diversity, deadwood, stand density, management, modelling.

**Author** Cosmin Coșofreț (cosmin.cosofret@usm.ro) - “Ștefan cel Mare” University of Suceava, Faculty of Forestry, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania.

**Manuscript** received December 2, 2025; revised December 21 2025; accepted December 27 2025; Published December 31, 2025.

## Introducere

Simularea impactului schimbărilor climatice, perturbărilor și a gestionării asupra pădurilor se poate efectua utilizând modele de vegetație la nivel global sau regional (EFISCEN), la nivel de peisaj (iLand, LandClim) și la nivel de arboret (3-PG, Forclim) (Djahangard et al. 2025). Acestea se diferențiază prin nivelul de detaliere a proceselor ecologice și rezoluției temporale și spațiale.

Modelele concepute la nivel de peisaj pot fi utilizate pentru evaluarea impactului schimbărilor climatice, a perturbărilor și a gestionării pădurii deoarece combină gradientul de altitudine, expoziție și pantă, variația solului și diferite specii de arbori împreună cu o complexitate suficientă a proceselor de creștere a pădurii (Bugmann și Seidl 2022).

Studiile care au utilizat modelarea la nivel de peisaj pentru a analiza impactul schimbărilor climatice asupra pădurilor din Europa Centra-

lă și de Est au identificat declinuri puternice ale molidului, la altitudini joase, din cauza secetei crescute și a atacurilor de insecte (Cosofret et al. 2022, Thom et al. 2022, Dollinger et al. 2023). Uscarea arboretelor de molid (Elkin et al. 2013) și de fag în a al doilea deceniu al secolului XXI (Albrich et al. 2020, Huber et al. 2021) a redus producția de lemn, stocarea carbonului și funcțiile de protecție împotriva hazardelor naturale, crescând în același timp biodiversitatea (Sommerfeld et al. 2021, Cosofret et al. 2021). Totuși, alte simulări au arătat o creștere a productivității atât pentru fag, cât și pentru stejar în întreaga Europă, în scenariile climatice moderate (Boseila et al. 2023, de Wergifosse et al. 2022).

Schimbările climatice afectează serviciile ecosistemice ale pădurilor, inclusiv furnizarea de cherestea și produse forestiere nelemnoase, reglarea climei și a calității apei și solului, serviciile culturale precum recreerea și turismul, precum și serviciile suport, cum ar fi habitatele și ciclurile nutrienților (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Seceta și evenimentele climatice extreme amenință furnizarea acestor servicii prin accelerarea mortalității arborilor care reduc atractivitatea estetică și reziliența peisajelor naturale (Allen et al. 2015, Gazol și Camarero 2022). Pe lângă mortalitate, condițiile extreme de secetă au crescut vulnerabilitatea la atacuri de insecte (Schuldt et al. 2020). Prin urmare, pentru o gestionare adaptativă, este necesară evaluarea viitoarei dinamicii a pădurilor care să reducă incertitudinile ce planează asupra schimbărilor climatice (Yousefpour et al. 2017).

Serviciile ecosistemice culturale, în special recreerea în natură, au câștigat importanță de-a lungul deceniilor, tendință accentuată suplimentar în timpul pandemiei de COVID-19, evidențiind semnificația pădurilor periurbane și urbane ca zone recreative (Bielska et al. 2022, Weinbrenner et al. 2021). Beneficiile recreerii forestiere includ efecte pozitive asupra sănătății fizice și mentale (Bratman et al. 2015) și reducerea stresului (Opdahl et al. 2021).

De asemenea, există studii care confirmă că serviciile ecosistemice au fost recunoscute și utilizate încă din 1954 în amenajarea pădurilor, prin zonarea funcțională a acestora (Dragoi

și Cîmu 2016, Scriban și Nichiforel 2021). O analiză comparativă între clasificarea serviciilor ecosistemice și zonarea funcțională relevă că 10 din cele 14 categorii de servicii ecosistemice sunt prezente în categoriile de funcționare (Nichiforel et al. 2021). Scriban și Nichiforel (2021) menționează că, deși 80% din funcțiile atribuite de amenajament corespund pădurilor cu valori ridicate de conservare (PVRC), sunt necesare surse suplimentare de informații pentru identificarea serviciilor ecosistemice culturale și a biodiversității.

Un studiu despre identificarea serviciilor ecosistemice culturale în 31 de ocoale silvice de regim (Scriban et al. 2023) arată că doar 0,4% din suprafața totală certificată aparține acestei categorii. De asemenea, au fost descoperite 10 tipuri de servicii ecosistemice culturale, inclusiv valorile estetice, recreerea și turismul.

Valoarea recreativă a pădurii depinde direct de diversitatea speciilor și de prezența arborete mature, aspecte pe care publicul le preferă în mod constant față de pădurile gestionate doar pentru producția de lemn (Buckwitz et al. 2025).

În România, Danea et al. (2017) arată că locuitorii doresc servicii de recreere îmbunătățite, păstrând în același timp caracterul natural al pădurii, repudiind abordarea exclusiv comercială care ar necesita tăieri de arbori; totuși, nu a fost analizat impactul schimbării acestor preferințe, în timp.

Prin urmare, pentru a evalua funcțiile ecosistemice culturale ce descriu valoarea estetică a pădurilor din Ocolul Silvic (OS) Pătrăuți, s-a utilizat modelul dinamic la nivel de peisaj (LandClim) prin simularea a două moduri de gestionare a pădurii în contextul schimbărilor climatice. Obiectivele studiului sunt:

- O1. Calculul Indicelui de Recreere (IR) și a factorilor acestuia la nivelul OS Pătrăuți,
- O2. Evoluția IR pe trei scenarii climatice (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) și tipuri de gestionare.

## Material și metodă

### Localizare studiu

Studiul de caz a fost selectat datorită proximității față de zona urbană a orașului Suceava,

fiind preferat pentru activități de recreere în natură, precum concursul de biciclete MTB Dragomirna, Maratonul Dragomirnei, vizitarea rezervațiilor naturale Quercetum Crujana și Fagetum Dragomirna, precum și a complexului de vânătoare, care include fostul refugiu de vânătoare al familiei Ceaușescu.

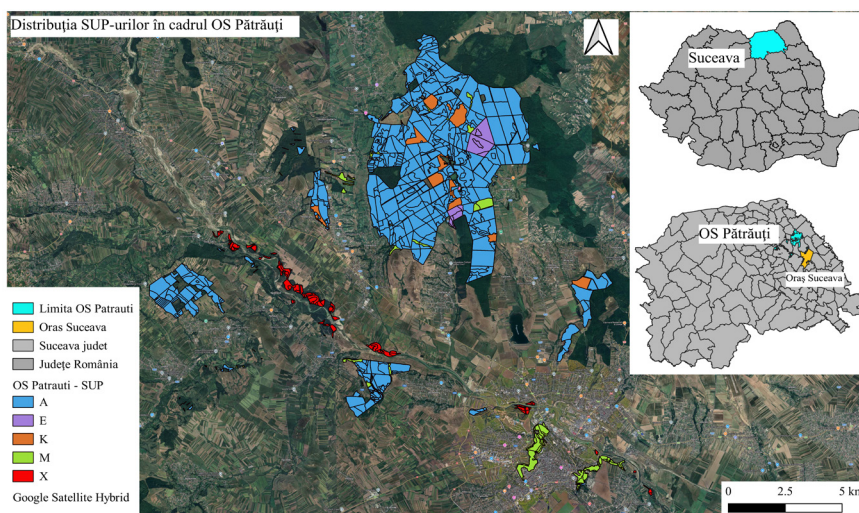
Zona analizată este pădurea proprietatea a statului de pe raza Ocolului Silvic Pătrăuți, ce are o suprafață de 5813 ha (85% fiind încadrată în SUP A din care 71% în grupa funcțională 1 și 14% în grupa funcțională 2) și este localizată în zona de deal a județului Suceava. Solurile predominante sunt luvosolurile (63%) și eutricambosolurile (28%), cu o altitudine ce variază între 265 m și 510 m, aproximativ 90% din pădure este localizată pe pante între 0-15° doar 0,3% fiind în zone cu pantă mai mare de 30°. Arboretele dominante sunt cele de fag (68%), carpen (12%) și stejar (10%) și peste 40% din acestea au peste 100 de ani.

În ceea ce privește încadrarea arboretelor în categorii funcționale: 86% fac parte din grupa 1 funcțională a pădurilor cu funcții speciale de protecție din care peste 62% din arborete fac parte din rețeaua ecologică Natura 2000 și 14% din grupa funcțională 2 a pădurilor cu funcții de producție și protecție (Figura 1).

## Modelul LandClim

Modelul LandClim (v2.0) simulează dinamica pădurii la nivel de peisaj sub influența scenariilor de schimbări climatice, a perturbărilor și a tipurilor de gestionare pe perioade lungi de timp (Schumacher et al. 2004). Pădurea este reprezentată de o matrice de celule interconectate (25 × 25 m), unde fiecare celulă stochează informații specifice despre condițiile de mediu (altitudine, pantă, expoziție, capacitatea de apă disponibilă în sol și climat). Procesele de creștere a pădurii au fost simulate în cadrul fiecărei celule: dispersia semințelor și gestionarea pădurii cu o rezoluție temporală decenală, iar regenerarea, creșterea, mortalitatea și competiția între cohorte (grupuri de arbori din aceeași specie și de aceeași vârstă) cu o rezoluție temporală anuală (Schumacher et al. 2004). O descriere detaliată a primei versiuni a modelului este furnizată în Schumacher (2004), iar noile module de perturbări și versiuni ale modelului pot fi găsite în Henne et al. (2013), Temperli et al. (2013a) și în Schuler et al. (2019).

LandClim a fost utilizat în întreaga Europă pentru a simula și evalua compoziția speciilor și dinamica pădurilor în Alpi (Schumacher et al. 2004, Thrippleton et al. 2016), în pădurile mediteraneene (Henne et al. 2013) și în Munții Carpați (Coșofreț et al. 2022).



**Figura 1** Localizare ocol silvic Pătrăuți  
Pătrăuți Forest District location

## Inițializarea simulării

Structura actuală a arboretelor și caracteristicile acestora (compoziția pe specii și distribuția diametrelor) pentru OS Pătrăuți au fost preluate din amenajamentul silvic și au fost utilizate pentru a genera fișierele de intrare ce descriu condițiile inițiale. Fiecărei celule i-a fost atribuită o compoziție, un volum de lemn pe picior, o vârstă și o clasa de producție conform unității amenajistice din care face parte (Bouriaud et al. 2015).

Biomasa a fost calculată pe baza compoziției speciilor, dimensiunii arborilor și modelelor de distribuție a diametrelor pentru fiecare tip de pădure. Cele 24 de specii de arbori incluse în simulări sunt cele care se găsesc în mod obișnuit în regiunea de deal a OS Pătrăuți, pentru care modelul LandClim s-a dovedit deja a fi bine calibrat.

Datele topografice de intrare (panta, expoziția și altitudinea), au fost extrase pentru centrul fiecărei celule de 25x25 m dintr-un model digital al elevației folosind fișierele GIS de tip .shp ale OS Patrauti. Altitudinea a variat de la 265 m la 510 m, cu pante între 0° și 33° și aproximativ 22 ha pe pante abrupte (>30°). Valorile expoziției variază între 0° și 360°, arboretele fiind localizate în zone umbrite (8%), parțial umbrite (37%), însorite (38%) și cu expoziții parțial însorite (18%).

Cantitatea de apă disponibilă în sol (bucket size) a fost determinată folosind clasificarea solului din amenajamentul silvic. Aceasta a fost completată cu date preluate din analiza profilelor de sol (altitudine, adâncime, textură, procentul de argilă, lutoasă și nisip) prelevate în împrejurimi (Hanewinkel și von Teuffel 2009). Cantitatea de apă disponibilă în sol a fost estimată folosind formula:

$$\text{Bucket size (cm)} = D \times \text{AWC} \quad (1)$$

unde D reprezintă adâncimea solului în metri, iar AWC reprezintă conținutul de apă disponibil în milimetri/metru, estimat din textura solului (Kuntze 1988). Valorile obținute variază între 5 și 19 cm. Această abordare a modului de estimare a cantității de apă existentă în sol a fost aplicată în mai multe studii de caz și a descris adecvat caracteristicile solului (Snell et al. 2022).

## Mortalitatea endogenă

Factorii de mortalitate endogenă luați în considerație au fost stresul, vârsta și densitatea. În modelul LandClim, mortalitatea cauzată de stres presupune că doar 1% din speciile de arbori pot tolera 10 ani de stres consecutiv pe când mortalitatea legată de vârstă este probabilitatea ca un arbore să moară dacă 1% din arborii aceleiași specii ating longevitatea maximă (Schumacher 2004). Mortalitatea endogenă cauzată de densitate simulează auto-umbrirea fiecărei cohorte de arbori, ce duce la scăderea creșterii și o mortalitate crescută din cauza stresului provocat de competiția pentru lumină (Temperli et al. 2013). Mortalitatea exogenă cauzată de incendii, gândaci de scoarță și doborâturi de vânt nu a fost simulată.

## Tipuri de gestionare

Alternativele de gestionare silvică au fost definite în funcție de structura arboretului, compoziția pădurii (fag, stejar, plop și arborete mixte de fag și stejar) și productivitatea acesteia. Tipul de gestionare „business-as-usual” a fost parametrizat și corespunde managementului forestier obișnuit al arborete pure de stejar și fag și arboretelor mixte (Bouriaud et al. 2015, Coșofreț et al. 2022). Exploatarea arboretelor mature de fag, stejar și a arboretelor mixte a fost programată pentru ultimele trei decade ale ciclului de producție de 120-140 de ani, permițând o regenerare naturală completă. Arboretele de plop cu ciclu de producție de 40 ani au fost exploatare conform Normei Tehnice 3 (MMAP 2022a).

Intensitatea răriturilor a fost menținută în limita a 15% din biomasa existentă, conform normelor tehnice românești pentru lucrări de îngrijire (MMAP 2022b). În tipul de gestionare “no management”, nu se vor efectua tăieri sau plantări. Lemnul doborât va fi fost lăsat în pădure pentru a se descompune.

## Scenarii climatice

Începând cu anul 2020, au fost rulate simulări pentru o perioadă de 100 de ani sub trei scenarii

climatice contrastante. Acestea au fost obținute din proiecțiile UKCP18 din baza de date Climate DT din perioada 2020 până în 2098 (Marchi et al. 2024). Pentru perioada 2100-2120, s-a presupus stabilizarea climatului pentru a doua perioadă de 20 de ani, s-a selectat un eșantion aleatoriu din ultimii 20 de ani ai fiecărui scenariu climatic (Sebalde et al. 2021).

Evoluția temperaturii medii anuale indică o divergență clară între scenarii, începând cu anul 2040. În scenariul climatic RCP 2.6 temperatura rămâne relativ stabilă (11-13°C), în RCP 4.5 se observă o creștere moderată, ce se stabilizează spre final în jurul valorii de 14°C iar în RCP 8.5 (scenariul pesimist) temperatura medie anuală va fi de peste 16°C. În ceea ce privește evoluția precipitațiilor totale anuale, toate scenariile prezintă o variabilitate mare ce se traduce prin secete severe succesive.

RCP 2.6 menține un regim hidric relativ constant în timp ce în RCP 8.5 ecosistemele forestiere se vor confrunta cu o scădere vizibilă a precipitațiilor medii, de la valori de 600-700 mm spre praguri critice de 300-400 mm după anul 2080 (Figura 2).

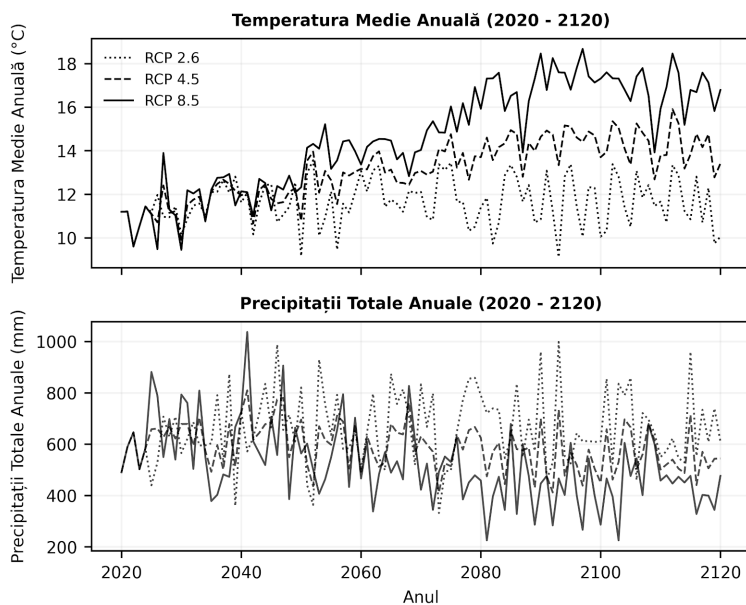
## Indicele de recreere (IR)

Potențialul recreativ a fost evaluat prin Indicele de Recreere (IR) rezultat din normalizarea și agregarea a șase indicatori care cuantifică caracteristicile pădurii, pe baza rezultatelor modelării. IR utilizat a rezultat dintr-un sondaj realizat în pădurea din Freiburg, unde vizitatorii au fost întrebați despre preferințele privind caracteristicile pădurii pentru recreere (Buckwitz et al. 2025).

IR include bogăția de specii, eterogenitatea diametrelor și înălțimilor, densitatea arboreului și a regenerării, precum și cantitatea de lemn mort. Acesta a fost raportat la preferințele din sondaj, unde majoritatea respondenților au declarat preferința pentru o diversitate a speciilor de arbori, o diversitate a dimensiunilor și înălțimilor, precum și o densitate medie a arboreului și a regenerării, acompaniată de o cantitate mai mare de lemn mort (Tabel 1).

Fiecare indicator a IR a fost ponderat în mod egal deoarece, neavând niciun motiv pentru vreo diferențiere între indicatori, așa cum au procedat Buckwitz et al. (2025).

Valorile IR sunt între 0 la 1, unde 1 reprezintă potențialul recreativ maxim.



**Figura 2** Evoluția temperaturii medii anuale și a precipitațiilor totale anuale în perioada 2020-2120  
*Evolution of mean annual temperature and total annual precipitation over the period 2020-2120*

**Table 1** Caracteristicile arboretului utilizate în cadrul Indicelui de Recreere  
*Stand characteristics used in the Recreation Index*

Caracteristicile arboretului	Valori referință
Bogăție specii (DBH > 7 cm) [specii număr·ha <sup>-1</sup> ] – BS	Max (BS)
Suprafața de bază arboret (DBH > 7 cm) [m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> ] – SBA	Max (SBA)
Suprafața de bază regenerare (DBH < 7 cm) [m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> ] – SBR	Max (SBR)
DBH SD [cm] – DBH-SD	Max (DBHSD)
Înălțime SD, [m·ha <sup>-1</sup> ] – H-SD	Max (HSD)
Lemn mort, [tone·ha <sup>-1</sup> ] – LM	Max (LM)

Cei șase indicatori au fost calculați pentru fiecare celulă de 25 x 25 m ca apoi să se calculeze media valorilor în fiecare celulă, ce aparține fiecărei unități amenajistice. Clase altitudinale și expozițiile au fost create pentru reprezentarea grafică a IR și a indicatorilor pe baza cărora s-a calculat. Valorile expoziției au fost extrase din modelul digital de elevație și variază între 0 și 360, după cum urmează: Plat (-1), N (0-22,5 și 337,5-360), NE (22,5-67,5), E (67,5-112,5), SE (112,5-157,5), S (157,5-202,5), SV (202,5-247,5), V (247,5-292,5), NV (292,5-337,5). Expoziția a fost clasificată în parțial însorit (E, SE), însorit (Plat, S, SV), parțial umbrit (V, NV), umbrit (N, NE). Prelucrarea datelor, crearea graficelor de tip boxplot și harta au fost făcute în RStudio versiunea 2025.5.1.513 cu pachetele dplyr, tidyr și ggplot2, iar graficele tip heatmap au fost create în Gemini 3 Pro 3.

## Rezultate

### Evoluția Indicelui de Recreere (IR) și a indicatorilor acestuia

În ceea ce privește bogăția specifică, cele mai mari valori (5-6 specii) se găsesc la altitudini mai mari (450-550m), în special pe versanții umbriți și parțial umbriți. Versanții însoriți la altitudini mici (250-350 m) au tendința de a avea mai puține specii (~3,4), probabil din cauza stresului termic și hidric.

Suprafața de bază a arboretului (Sb arboret) este mai mare pe versanții umbriți la altitudini medii și mari (valori peste 33-35 m<sup>2</sup>). Zonele însorite au valori vizibil mai mici ale suprafeței de bază. Suprafața de bază a regenerării (Sb regenerare) pare să fie mai mare în zonele parțial

însorite la altitudini mari (450-550 m).

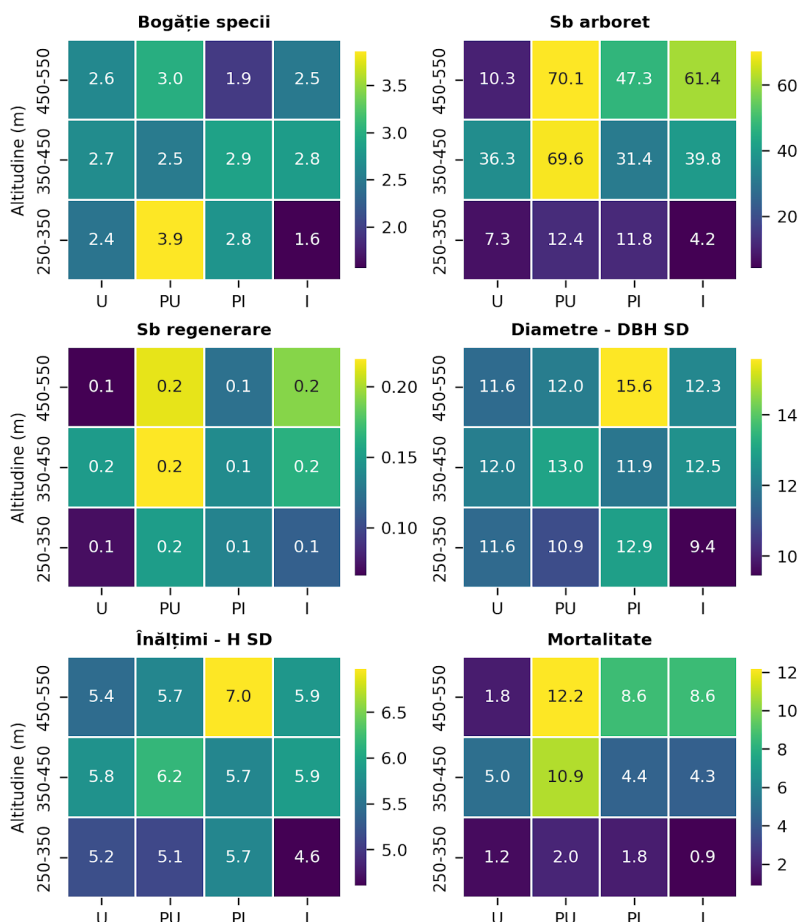
Abaterea standard a diametrelor și înălțimilor (care indică diversitatea structurală) (Diametre – DBH SD și Înălțimi – H SD) este maximă în zonele umbrite la altitudini de 450-550 m. Acest lucru sugerează păduri mai complexe, cu arbori de dimensiuni foarte variate specifice structurilor relativ pluriene.

Mortalitatea are valori mai ridicate pe versanții însoriți la altitudini de 350 - 450 și 450 – 550 m, ceea ce ar putea indica o vulnerabilitate mai mare a arborilor la perturbări în aceste zone expuse (Figura 3).

Analiza Indicelui de Recreere (IR) evidențiază un optim recreativ situat în banda altitudinală de 350-450 m, unde IR atinge un maxim de aproximativ 0,380. Acest „punct optim” este determinat de un echilibru între diversitatea speciilor și o structură dimensională complexă. În contrast, zonele situate la altitudini joase (250-350 m), în special pe versanții umbriți, prezintă un potențial recreativ limitat din cauza vizibilității reduse și a unei rate de mortalitate a arborilor mai ridicate (Figura 4).

### Evoluția IR pe trei scenarii climatice (RCP2.6, RCP4.5 și RCP8.5) și tipuri de gestionare

Scenariul RCP 2.6 sugerează un potențial recreativ ce crește constant în timp. În tipul de gestionare NOM (Figurile 5a, 6a), se observă o progresie mai clară a medianeî către pragul de 0,3 până în anul 2120. În tipul de gestionare BAU (Figurile 5b, 6b), valorile rămân mai stabile, sugerând că o gestionare activă menține constantă diversitatea structurală. În scenariul RCP 4.5, în ambele tipuri de gestionare (Figurile 5c-d, 6c-d), până în 2070, indicele IR se menține la valori acceptabile (0,2–0,3), dar



**Figura 3** Interacțiunea altitudine expoziție asupra indicatorilor IR (U – Umbrît, PU – Parțial umbrît, PI – Parțial Însorit, I – Însorit)

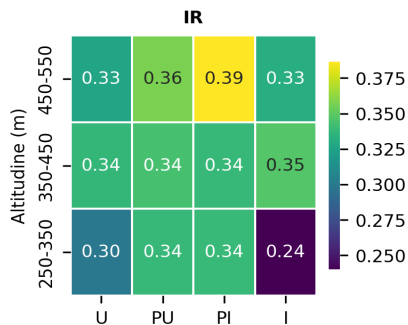
*Interaction of elevation and aspect on the IR indicators (U – Shadow, PU – Partially shadow, PI – Partially sunny, I – Sunny)*

după acest deceniu, urmează un declin abrupt.

În 2120 majoritatea valorilor vor scădea sub 0,1.

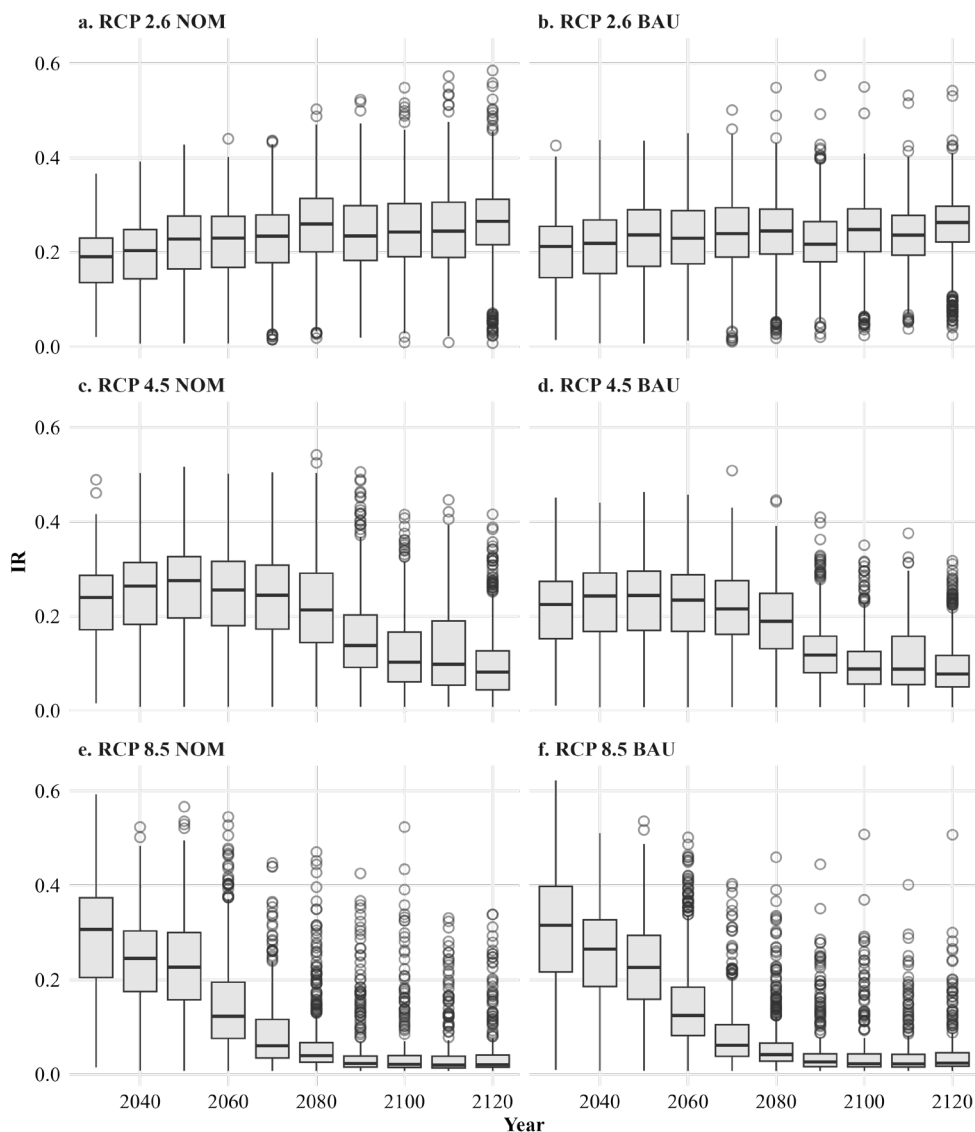
În scenariul RCP 8.5, declinul IR începe aproape imediat după 2030. Până în anul 2090, potențialul recreativ devine aproape nul (mediانا apropiată de zero). Variabilitatea se reduce semnificativ, ceea ce sugerează că pădurea este dominată de uscare. Valorile de tip „outlier” arată că foarte puține unități amenajistice izolate își mai păstrează potențialul recreativ (Figurile 5e-f, 6e-f).

În toate scenariile climatice și de gestionare, după anul 2080, apar numeroase puncte deasupra boxplot-ului. Acestea reprezintă unități amenajistice care „rezistă” mai bine decât me-



**Figura 4** Interacțiunea altitudine expoziție asupra indicatorilor IR

*Interaction of elevation and aspect on the IR indicators*



**Figura 5** Evoluția IR în cele trei scenarii climatice și doua tipuri de gestionare  
*RI trend under three climate scenarios and two management types*

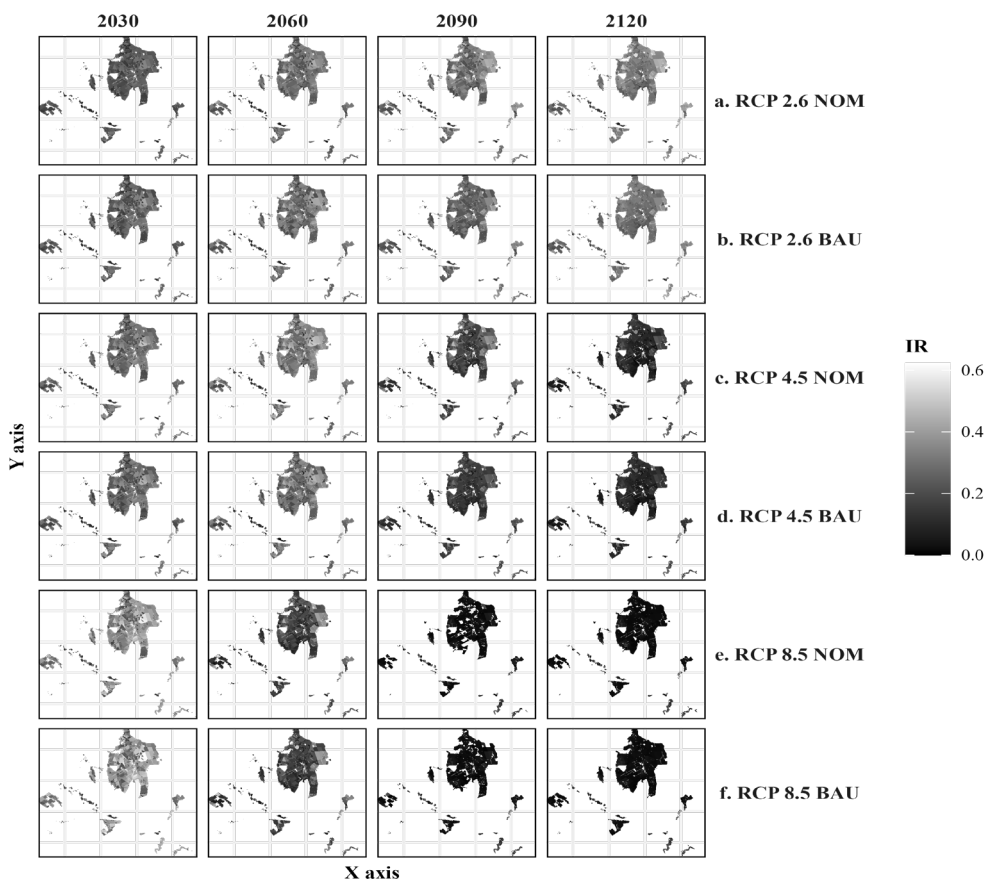
diana, probabil datorită condițiilor locale favorabile: văi mai umede, pante nordice.

**Discuții**

Potențialului recreativ optim a fost la altitudini de 350-450 m, unde valorile Indicelui de Recreare (IR) ating un maxim de aproximativ 152

0,38 datorită echilibrului între bogăția în specii și structurii dimensionale complexe.

Deși unele cercetări indică faptul că vizitatorii nu apreciază cantitățile mari de lemn mort din cauza unui impact vizual perceput ca negativ (Giergiczny et al. 2015, Ebenberger și Arnberger 2019), studiile recente arată o schimbare a percepției în favoarea lemnului mort (Pastorella et al. 2014, Buckwitz et al. 2025).



**Figura 6** Distribuția spațială a IR în cele trei scenarii climatice și două tipuri de gestionare pentru anii 2030, 2060, 2090 și 2120

*Spatial distribution of the RI under three climate scenarios and two management types in 2030, 2060, 2090 and 2120*

Densitatea regenerării variază în funcție de vârsta arboretului. Creșterea vizibilității prin îndepărtarea acestuia era considerată un plus pentru valoarea recreativă (Eriksson et al. 2012), însă percepțiile s-au schimbat, vizitatorii preferând densități medii și diversitate dimensională (Buckwitz et al. 2025).

Rezultatele noastre arată că potențialul recreativ scade o dată cu intensificarea schimbărilor climatice. Rezultatele noastre sunt diferite față de alte studii din Centrul Europei, care au arătat că recreerea ar fi mai puțin vulnerabilă la schimbările climatice. Cererea de servicii recreative a rămas stabilă chiar și sub scenarii climatice extreme, datorită preferinței vizitatorilor pentru păduri cu o diversitate dimensională ce inte-

grează lemnul mort rezultat din perturbări (Djahangard et al. 2025, Buckwitz et al. 2025).

Djahangard et al. (2025) menționează faptul că în cadrul simulărilor fără gestionarea silvică (NOM) procesele naturale, sub presiunea schimbărilor climatice, îmbunătățesc diversitatea structurală a peisajului, aspect raportat și în alte studii europene (Dollinger et al. 2023, Mina et al. 2017, Thom și Seidl 2016). Simulările noastre confirmă acest lucru, în contextul scenariilor climatice RCP2.6 și RCP4.5, însă în cazul scenariilor climatice extrem (RCP8.5) nu există diferențe între simulări cu gestionare normală (BAU) și fără gestionare (NOM). Acest aspect este evidențiat de Schuldt et al. (2020) care arată faptul că evenimentele cli-

matice extreme și atacurile de insecte modifică semnificativ caracteristicile pădurii (indicatorii) utilizați în calculul IR (Schuldt et al. 2020).

Una din limitările acestui studiu este faptul că IR este construit din indicatori ce descriu caracteristicile pădurii care au fost considerate importante de populația din jurul orașului Freiburg (Djahangard et al. 2025, Buckwitz et al. 2025). Acest indice poate fi îmbunătățit prin efectuarea unui studiu sociologic similar, dar pe populația din jurul OS Pătrăuți care să menționeze care sunt caracteristicile pădurii importante pentru recreere și apoi să ofere ponderi celor mai importante caracteristici. IR a fost construit pentru a prelucra rezultate modelărilor la nivel de peisaj însă poate fi aplicat și în modelele la nivel de arboret sau în șiruri de date rezultate în urma inventariilor sistematice.

O altă limitare este faptul că nu s-au inclus și alte perturbări, precum: doborăturile provocate de vânt, atacurile de insecte sau focul, ce ar putea fi perturbări semnificative în viitor din cauza secetelor extreme (Senf și Seidl 2021). O altă limitare se referă la perioada de simulare de 100 de ani, deoarece gestionarea silvică poate influența IR dincolo de finalul perioadei pe care s-a făcut simularea. Rezultatele ar putea diferi pe o perioadă mai lungă, deoarece unele arborete au fost recoltate, în timp ce altele au atins doar maturitatea fără să fi fost tăiate între timp. O sută de ani, perioada pe care s-a făcut simularea, înseamnă mai puțin de un ciclu de producție.

## Concluzii

Potențialul recreativ al pădurilor din OS Pătrăuți este optim la altitudini de 350-450m, dar va scădea dramatic după 2070 în scenariile climatice moderate (RCP4.5) și va deveni aproape nul până în 2090 în scenariul pesimist (RCP8.5), din cauza secetelor și temperaturilor extreme, ce produc uscări masive. Gestionarea activă (BAU) menține structura pădurii mai stabilă decât absența intervențiilor (NOM) doar în scenariul optimist RCP2.6, în timp ce

eșuează în păstrarea valorii recreative.

Pentru adaptarea la schimbările climatice, este necesară contextualizarea Indicelui de Recreere prin studii sociologice locale, includerea perturbărilor (vânt, insecte, foc) în simulările viitoare pentru o evaluare mai realistă a dinamicii pădurilor precum și validarea în teren prin compararea rezultatelor modelului cu frecvența vizitelor în zona studiată.

## Mulțumiri

Studiul s-a efectuat în cadrul proiectului internațional WILDCARD, HORIZON-CL5-2022-D1-02 / HORIZON-CL5-2022-D1-02-05 Grant Agreement number: 101081177, Effects of rewilding in forests and agricultural lands on carbon sequestration and diversity și în cadrul proiectului internațional INTERCEDE, HORIZON-CL6-2023-CIRCIBIO-01, Grant Agreement number 101135159, Incentivising Future Forest Ecosystem Services and Incomes In Europe.

## Bibliografie

- Albrich K., Rammer W., Seidl R., 2020. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. *Global Change Biology*, 26(7): 4013-4027. <https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- Allen C.D., Breshears D.D., McDowell N.G., 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8): art129. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Bielska A., Kurnatowska A., Stacherzak A., 2022. The impact of the COVID-19 pandemic on the use of urban and peri-urban forests as recreational areas. *Forest Policy and Economics*, 141: 102761. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102761>
- Bosela M., Tumajer J., Cienciala E., Dobor L., Kulla L., Marčíš P., Popa A., Sedmák R., Sedmáková D., Sitko R., Štefančík I., Vlček V., Wilmking M., Büntgen U., 2023. Climate change might lead to a productivity increase of beech and oak forests in Europe. *Communications Earth & Environment*, 4(1): 25. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00675-1>
- Bouriaud L., Bouriaud O., Elkin C., Temperli C., Reyher C., Duduman G., Barnoaiea I., Nichiforel L., Zimmermann N.E., Bugmann H., 2015. Age-class disequilibrium as an opportunity for adaptive forest management in the Carpathian Mountains, Romania. *Regional Environ-*

- mental Change, 15: 1557–1568. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0717-6>
- Bratman G.N., Daily G.C., Levy B.J., Gross J.J., 2015. The benefits of nature experience: Improved affect and cognition. *Landscape and Urban Planning*, 138: 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.005>
- Buckwitz S., Djahangard M., Costa M., Bugmann H., Yousefpour R., 2025. Assessing the recreational value and preferences in the city forest of Freiburg, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*, 103: 128500. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128500>
- Bugmann H., 1996. A simplified forest model to study species composition along a climate gradient. *Ecology*, 77(7): 2055–2074. <https://doi.org/10.2307/2265697>
- Bugmann H., Seidl R., 2022. The evolution, complexity and diversity of models of long-term forest dynamics. *Journal of Ecology*, 110(10): 2288–2307. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13989>
- Coșofreț C., Palaghianu C., Bouriaud L., 2021. Analiza influenței distorbanțelor asupra diversității speciilor forestiere din Ocolul silvic Râșca folosind modelul LandClim. *Bucovina Forestieră*, 21(1): 19–32. <https://doi.org/10.4316/bf.2021.002>
- Coșofreț C., Duduman G., Barnoaia I., Bouriaud O., 2022. Management or Climate and Which One Has the Greatest Impact on Forest Soil's Protective Value? A Case Study in Romanian Mountains. *Forests*, 13(6): 916. <https://doi.org/10.3390/f13060916>
- de Wergifosse L., André F., Goosse H., de Coligny F., Rasse D.P., Ponette Q., Jonard M., 2022. Development and evaluation of a forest growth model for management and climate change impact studies. *Ecological Modelling*, 468: 109943. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.109943>
- Djahangard M., Costa M., Bugmann H., Yousefpour R., 2025. Global warming levels exceeding 2°C may cause tipping point of low elevation forests in a peri-urban forest of the Black Forest foothills. *Forest Ecosystems*, 12: 100403. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100403>
- Dollinger C., Bauerle T., Kautz M., Bohn F., 2023. Drought and bark beetle outbreaks in Central European forests: Impacts and management options. *Forest Ecology and Management*, 529: 120732. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120732>
- Dragoi M., Cîrnu M., 2016. Plata serviciilor ecosistemice: context legal și metode consacrate de evaluare, cu aplicație la paduri. *Bucovina Forestiera*, 16(1), p.95. DOI: 10.4316/bf.2016.008
- Ebenberger M., Amberger A., 2019. Recreation use intensity and vegetation use in urban forests: A structural equation model. *Urban Forestry & Urban Greening*, 45: 126461. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126461>
- Elkin C., Gutiérrez A.G., Leuzinger S., Manusch C., Temperli C., Rasche L., Bugmann H., 2013. A 2°C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps. *Global Change Biology*, 19(6): 1827–1840. <https://doi.org/10.1111/gcb.12156>
- Eriksson L., Nordlund A.M., Olsson O., Westin K., 2012. Beliefs about urban fringe forests among urban residents in Sweden. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4): 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.02.005>
- Gazol A., Camarero J.J., 2022. Compound climate events increase tree drought mortality across European forests. *Science of the Total Environment*, 816: 151604. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151604>
- Giergiczny M., Czajkowski M., Żylicz T., Angelstam P., 2015. Choice experiment assessment of public preferences for forest structural attributes. *Ecological Economics*, 119: 8–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.032>
- Hanewinkel M., von Teuffel K., 2009. MOTIVE—models for adaptive forest management. În: IOP Conference Series. Earth and Environmental Science, Vol. 6, No. 38. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/38/382023>
- Henne P.D., Elkin C., Colombaroli D., Samartin S., Bugmann H., Heiri O., Tinner W., 2013. Impacts of changing climate and land use on vegetation dynamics in a Mediterranean ecosystem: insights from paleoecology and dynamic modeling. *Landscape Ecology*, 28(5): 819–833. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9782-8>
- Huber N., Bugmann H., Cailleret M., Bircher N., Lafond V., 2021. Stand-scale climate change impacts on forests over large areas: transient responses and projection uncertainties. *Ecological Applications*, 31(4): e02313. <https://doi.org/10.1002/eap.2313>
- Kuntze H., Roeschmann G., Schwerdtfeger G., 1988. *Bodenkunde*, 4th edition. UTB Stuttgart, 568 p.
- Marchi M., Bucci G., Iovieno P., Ray D., 2024. Climatedt: a global scale-free dynamic downscaling portal for historic and future climate data. *Environments*, 11(4): 82. <https://doi.org/10.3390/environments11040082>
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> (accesat 12 octombrie 2025)
- Mina M., Bugmann H., Cordonnier T., Irauschek F., Klopčič M., Pardos M., Cailleret M., 2017. Future ecosystem services from European mountain forests under climate change. *Journal of Applied Ecology*, 54(2): 389–401. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12772>
- MMAP, 2022a. Normele tehnice privind alegerea și aplicarea tratamentelor și a Ghidului de bune practici privind alegerea și aplicarea tratamentelor, din 28.09.2022. [https://www.mme-diu.ro/app/webroot/uploads/files/Anexa%20Ordinului%20nr.%202535%20din%202022%20\(NG%203\).pdf#page=10.09](https://www.mme-diu.ro/app/webroot/uploads/files/Anexa%20Ordinului%20nr.%202535%20din%202022%20(NG%203).pdf#page=10.09). Accesat 5 dec. 2025.
- MMAP, 2022b. Normele tehnice privind îngrijirea și conducerea arboretelor și a Ghidului de bune practici privind îngrijirea și conducerea arboretelor, din 28.09.2022. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocumentAfis/260340>. Accesat 5 dec-2025
- Nichiforel L., Duduman G., Scriban R.E., Popa B., Barnoaia I., Drăgoi M., 2021. Forest ecosystem services in Romania: Orchestrating regulatory and voluntary planning documents. *Ecosystem services*, 49, p.101276. DOI: 10.1016/j.ecoser.2021.101276
- Opdahl E., Giles L., Grinde B., 2021. Decreased cortisol among hikers who preferentially visit and value biodiverse riparian zones. *Scientific Reports*, 11: 22413.

- <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01804-7>
- Pastorella F., Giacobelli G., De Meo I., Paletto A., 2014. People's preferences for forest structures in the Italian Alps. *Forest Systems*, 23(3): 488-506. <https://doi.org/10.5424/fs/2014233-05707>
- Sacher P., Mayer M., Schötz N., Bernhardt-Römermann M., 2022. The role of deadwood for biodiversity in forests from the perspective of forest visitors. *Environmental Management*, 70: 868-882. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01695-5>
- Schuldt B., Buras A., Arend M., Vitasse Y., Beierkuhnlein C., Damm A., Gharun M., Grams T.E.E., Hauck M., Hajek P., Hartmann H., Hiltbrunner E., Hoch G., Holloway-Phillips M., Körner C., Larysch E., Lübke T., Nelson D.B., Rammig A., Rigling A., Rose L., Ruehr N.K., Schumann K., Weiser F., Werner C., Wohlgemuth T., Zang C.S., Kahmen A., 2020. A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, 45: 86-103. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003>
- Schuler L.J., Bugmann H., Petter G., Snell R.S., 2019. How multiple and interacting disturbances shape tree diversity in European mountain landscapes. *Landscape Ecology*, 34: 1279-1294. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00838-3>
- Schumacher S (2004) The role of landscapes in the European Alps. Doctoral dissertation, ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004818825>
- Schumacher S., Bugmann H., Mladenoff D.J., 2004. Improving the formulation of tree growth and succession in a spatially explicit landscape model. *Ecological Modelling*, 180(1): 175-194. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.12.055>
- Scriban R.E., Nichiforel L., 2021. Abordarea serviciilor ecosistemice în certificarea forestieră FSC: studiu de caz pentru pădurile cu valoare ridicată de conservare din ocoale silvice de regim. *Bucovina Forestieră*, 21(1), 33-56. DOI: 10.4316/bf.2021.004
- Scriban R. E., Drăgoi M., Bădăluță C., Bouriaud L., 2023. Rolul serviciilor ecosistemice culturale în managementul sustenabil—studiu de caz în pădurile administrate de ocoale silvice de regim din România. *Bucovina Forestieră*, 23(2), 111-127. <https://doi.org/10.4316/bf.2023.012>
- Sebald J., Thrippleton T., Rammer W., Bugmann H., Seidl R., 2021. Mixing tree species at different spatial scales: the effect of alpha, beta and gamma diversity on disturbance impacts under climate change. *Journal of Applied Ecology*, 58(8): 1749-1763. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13912>
- Senf C., Buras A., Zang C.S., Rammig A., Seidl R., 2020. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, 11: 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>
- Senf C., Seidl R., 2021. Persistent impacts of the 2018 drought on forest disturbance regimes in Europe. *Biogeosciences*, 18: 5223-5230. <https://doi.org/10.5194/bg-18-5223-2021>
- Snell R.S., Peringer A., Frank V., Bugmann H., 2022. Management-based mitigation of the impacts of climate-driven woody encroachment in high elevation pasture woodlands. *Journal of Applied Ecology*, 59(8): 1925-1936. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14199>
- Sommerfeld A., Rammer W., Heurich M., Hilmers T., Müller J., Seidl R., 2021. Do bark beetle outbreaks amplify or dampen future bark beetle disturbances in Central Europe? *Journal of Ecology*, 109(2): 737-749. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13502>
- Temperli C., Bugmann H., Elkin C., 2013a. Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach. *Ecological Monographs*, 83(3): 383-402. <https://doi.org/10.1890/12-1503.1>
- Temperli C., Zell J., Bugmann H., Elkin C., 2013b. Sensitivity of ecosystem goods and services projections of a forest landscape model to initialization data. *Landscape Ecology*, 28: 1337-1352. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9882-0>
- Thom D., Seidl R., 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*, 91(3): 760-781. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>
- Thom D., Golivets M., Edling L., Meigs G.W., Gourevitch J.D., Sonter L.J., Galford G.L., Keeton W.S., 2022. The climate sensitivity of carbon, timber, and species richness covaries with forest age in boreal-temperate North America. *Global Change Biology*, 28(4): 1401-1413. <https://doi.org/10.1111/gcb.15918>
- Thrippleton T., Bugmann H., Kramer-Priewasser K., Snell R.S., 2016. Herbaceous understorey: an overlooked player in forest landscape dynamics? *Ecosystems*, 19: 1240-1254. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9999-5>
- Tyrväinen L., Silvennoinen H., Kolehmainen O., 2003. Ecological and aesthetic values in urban forest management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 1(3): 135-149. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00014>
- Weinbrenner H., Breuer J., Michels C., Reif A., 2021. Keep distance, stay safe? Foraging for nature-based recreation during the COVID-19 pandemic. *Landscape and Urban Planning*, 215: 104225. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104225>
- Yousefpour R., Temperli C., Jacobsen J.B., Thorsen B.J., Meilby H., Lexer M.J., Lindner M., Bugmann H., Borges J.G., Palma J.H.N., Ray D., Zimmermann N.E., Delzon S., Kremer A., Kramer K., Reyser C.P.O., Lasch-Born P., Garcia-Gonzalo J., Hanewinkel M., 2017. A framework for modeling adaptive forest management and decision making under climate change. *Ecology and Society*, 22(4): 40. <https://doi.org/10.5751/ES-09614-220440>