

Schimbări globale, climă, perturbații și abordări alternative pentru gestionarea adaptativă a pădurilor – quo vadis? O încercare de sinteză

V.-N. Nicolescu

Nicolescu V.-N., 2025. Global change, climate, disturbances and alternative approaches for adaptive forest management – quo vadis? An attempt at synthesis. *Bucov. For.* 25(2): 157-184.

Abstract. In recent decades, the Earth has been facing numerous global changes, among which climate changes (especially warming, coupled with excessive and prolonged drought or climate extremes) have been manifested with increased intensity. Climate changes particularly affect forests and the multiple ecosystem services they provide by favouring the large-scale and high-intensity occurrence of disturbances such as fires, windthrows, attacks by diseases and pests (especially bark beetles). In return, forests have a special role in mitigating climate change, by sequestering and storing carbon in wood, soil and forest litter. Through specific active adaptive strategies, forest ecosystems are managed sustainably, mainly with the aim of increasing their natural resilience to climate change, in parallel with the conservation of biodiversity and maintaining their potential as producers of wood with multiple uses. In this context, the article presents in detail both the specific components of adaptive strategies and some modern guidelines in forest management, such as Close-to-Nature Forestry, Closer-to-Nature Forest Management, Continuous Cover Forestry, and Climate-Smart Forestry.

Keywords: climate, climate change, disturbances, adaptation, Close-to-Nature Forestry, Closer-to-Nature Forest management, Continuous Cover Forestry, Climate-Smart Forestry.

Author. Valeriu-Norocel Nicolescu (nvnicolescu@unitbv.ro) - Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Transilvania University of Brașov, Șirul Beethoven 1, 500123 Brașov, Brașov County, Romania.

Manuscript received October 21, 2025; revised December 18, 2025; accepted December 22, 2025; on-line first December 31, 2025.

Introducere

Limbajul curent s-a îmbogățit în ultimele decenii cu un termen, „schimbări globale”, care definește numeroasele modificări care au loc pe planeta noastră și afectează clima, terenurile, apa, ecosistemele (<https://www.agci.org/what-is-global-change>). Aceste schimbări,

„care creează un viitor din ce în ce mai dinamic și mai incert” (Janowiak et al. 2023), au ca forțe motrice creșterea și consumul populației umane, utilizarea energiei, modificările în utilizarea terenurilor și poluarea (Camill 2010). Evident că omenirea, care se confruntă cu riscuri și incertitudini legate de securitatea alimentară, boli, creșterea nivelului mărilor și

oceanelor, extreme climatice, influențează din ce în ce mai mult aceste schimbări, care sunt continue, interactive, conectate local-global și au un impact multiplu asupra întregii vieți (<https://www.agci.org/what-is-global-change>). Schimbările climatice fac parte dintre schimbările globale și afectează puternic pădurile globului, ale continentului nostru și, implicit, ale României, cu consecințe asupra sănătății, productivității și abilității ecosistemelor forestiere de a asigura servicii ecosistemice vitale, inclusiv lemnul necesar industriei și populației (Egger et al. 2024).

În acest context, lucrarea urmărește să prezinte unele aspecte definitorii legate de climă, schimbări climatice, păduri și modul lor de gestionare, încercând să răspundă la câteva întrebări majore:

- Ce se întâmplă cu clima și cum afectează schimbările acesteia ecosistemele forestiere?
- Cum reacționează pădurile și ce rol joacă acestea în atenuarea schimbărilor climatice?
- De ce mijloace de management dispune silvicultura actuală și care sunt eventualele modele alternative de gestiune a acestora în prezent și în perspectivă pentru a răspunde provocărilor datorate schimbărilor climatice și acțiunii perturbanților?

Este clima cu adevărat în schimbare?

Este, în general, acceptat faptul că activitățile umane, mai ales prin emisiile de gaze cu efect de seră (dioxid de carbon CO₂, metan CH₄, oxizi ai azotului NO_x, ozon O₃, clorofluorocarbonați CFC, la care se adaugă vaporii de apă), din care majoritatea (79% - IPCC 2023) provin din energie, industrie, transport, construcții, au cauzat schimbări climatice la nivelul planetei, al continentului nostru și al țării noastre.

Pe Pământ, temperatura medie la suprafața planetei în anul 2024 a depășit nivelurile preindustriale (perioada 1850-1900) cu 1,3°C (C3S și WMO 2025), așteptându-se ca acest nivel să atingă și chiar depășească 1,5°C în viitorul apropiat (IPCC 2023); creșterea acesteia, începând din anul 1970, a fost mai

rapidă decât în orice altă perioadă de 50 de ani într-un interval de cel puțin 2000 de ani (IPCC 2023). În general, schimbările climatice au redus securitatea alimentară și afectat securitatea apei, au produs daune substanțiale în ecosistemele terestre, acvatice, costiere; mortalitatea umană a fost în perioada 2010-2020 de 15 ori mai mare în regiunile puternic vulnerabile climatic decât în cele cu vulnerabilitate foarte redusă (IPCC 2023). 3,3-3,6 miliarde de oameni trăiesc în contexte care sunt puternic vulnerabile la schimbările climatice (IPCC 2023). Pentru perioada 2081-2100, ultimul (al șaselea) raport al IPCC (2023) prognozează o creștere a temperaturii medii a Pământului de 1,4°C (scenariu cu emisii foarte reduse de gaze cu efect de seră SSP1-1.9), 2,7°C (emisii intermediare SSP2-4.5), respectiv 4.4°C (emisii foarte puternice SSP5-8.5).

În Europa, cu anul 2024 cel mai cald din istoria continentului, temperatura aerului a depășit cu 2,4°C nivelurile preindustriale; Europa, începând din anul 1980, s-a încălzit de două ori mai repede decât media planetară, fiind zona de pe glob cu cea mai rapidă încălzire (EEA 2024, C3S și WMO 2025). În privința precipitațiilor, există un contrast pronunțat între estul și vestul Europei: dacă, în vest, precipitațiile sunt mai abundente, estul continentului este mai uscat (C3S și WMO 2025). În perspectivă, se recunoaște de peste 20 de ani că probabilitatea apariției secetelor de vară și valurilor de căldură va crește considerabil în viitor (Lutterbacher et al. 2004, Schär et al. 2004, ambii în Bolte et al. 2009).

În fine, în România, temperatura medie a aerului pe țară a atins +12,7°C în anul 2024, cu 3,01°C mai mare decât media intervalului de referință standard (1971-2000) (Ioniță și Nagavciuc 2025a). În condițiile în care vara anului 2024 a prezentat un deficit de precipitații de 52,4 mm, comparativ cu același interval de referință standard, 51% din suprafața țării a fost afectată de ariditate în perioada 2021-2024, comparativ cu doar 12% în anii 1970 (Ioniță și Nagavciuc 2025b). Pentru anul 2100,

folosind două scenarii de emisii ale gazelor cu efect de seră (medii RCP4.5, respectiv foarte ridicate RCP8.5), se prognozează o creștere a temperaturii medii a aerului în România, comparativ cu perioada 1971-2000, de 1,82°C (RCP4.5), respectiv de 4,24°C (RCP8.5) (Ioniță și Nagavciuc 2025a).

Schimbările climatice și influența lor asupra pădurilor

Încă de la finalul mileniului II-începutul mileniului III s-a recunoscut că schimbările climatice sunt una dintre cele mai serioase provocări la adresa lumii – a oamenilor, a mediului și a ecosistemelor terestre, inclusiv pădurile, a economiei (Millar et al. 2008, Lindner et al. 2010, Mason et al. 2012), iar „Adaptarea la climat va fi cheia pentru un viitor durabil” (Janowiak et al. 2023). Acceptarea impactului schimbărilor climatice asupra pădurilor a apărut din anul 2007 și a condus la adoptarea a două strategii în legătură cu schimbările climatice: „adaptarea” (include toate abordările utilizate pentru a ajuta, pregăti, include noile condiții create de schimbările climatice) și „atenuarea” (ia în considerare acțiunile folosite pentru a reduce și inversa influența umană asupra climei, mai ales prin reducerea emisiilor cu gaze de seră) (IPCC 2007, în Millar et al. 2008).

Aceste schimbări climatice graduale, alături de creșterea frecvenței de apariție a evenimentelor climatice extreme și a perturbațiilor, influențează stabilitatea pădurilor, precum și multiplele servicii ecosistemice pe care acestea le oferă (Bottero et al. 2021). În acest sens, proprietățile de stabilitate sunt compuse din rezistență, definită ca gradul în care starea unui sistem se schimbă după o perturbație, și reziliență, considerată drept:

- i) Procesul care permite sistemului să revină la starea inițială/de dinainte de perturbație (Pinn 1984, Larsen 1995, ambii în Bottero et al. 2021), sau
- ii) Capacitatea sistemului de a absorbi perturbațiile și reorganiza (reține, în mod esen-

țial, aceeași structură, funcție, identitate și feed-back-uri), în timp ce e supus schimbării (Walkert et al. 2004, în Nocentini et al. 2017), respectiv

iii) Abilitatea unui sistem de a rezista perturbațiilor sau a le absorbi și a se reorganiza rapid pentru a-și menține structura și funcțiile principale (Messier et al. 2019).

Factorii care influențează rezistența și reziliența pădurilor sunt abiotici (schimbări climatice rapide, poluare) și biotici (specii de plante invazive, boli și dăunători exotici), care pot acționa singuri sau cumulativ (Thompson et al. 2009). La acestea, în cazul rezilienței, se adaugă un mod de gestiune a pădurilor defectuos sau neadecvat (Messier et al. 2019, Bottero et al. 2021).

Menținerea sau ameliorarea rezistenței și rezilienței sunt obiective importante ale gestionării durabile a pădurilor, realizată prin modalități silviculturale specifice (la care se va reveni pe larg), pentru a stabili funcțiile pădurilor și a asigura producerea de servicii ecosistemice în condițiile schimbărilor climatice (Messier et al. 2019; Scheffer et al. 2001, Seidl et al. 2016, ambii în Bottero et al. 2021).

În general, pădurile sunt definite ca sisteme adaptative complexe, heterogene, foarte dinamice și multifuncționale, care produc diverse bunuri și servicii pentru o societate ale cărei preferințe și valori se pot schimba drastic într-un timp relativ scurt, atrăgând conflicte dure între, spre exemplu, producția de lemn, conservarea peisajului/a naturii și recreere (Messier et al. 2013, în Nocentini et al. 2017). Așa este cazul, în mod special, al stabilității pădurilor la schimbările climatice în condițiile ciclurilor lor lungi de viață, care nu le permit adaptarea rapidă la mediul înconjurător modificat (Lindner et al. 2010, Hörl et al. 2020). De aceea, pădurile sunt expuse din ce în ce mai mult la evenimente extreme/perturbații gen perioade prelungite de secetă, valuri de căldură, furtuni, inundații, incendii, înghețuri de primăvară, gradații de insecte (Anonymous 2008, Lindner et al. 2010, Spathelf 2019, Antonucci et al. 2021, Himes et al. 2023, Janowiak et al.

2023). Climatele calde și uscate sunt favorabile incendiilor, secetei și gradațiilor de insecte, în timp ce climatele calde și umede cresc pericolul efectelor negative datorate vântului (și zăpezii) și agenților patogeni (Seidl et al. 2017, în Kauppi et al. 2018, Thom 2023).

Schimbările climatice și perturbațiile asociate acestora afectează structura, compoziția și funcționarea pădurilor (Antonucci et al. 2021, Bottero et al. 2021), reînnoirea/regenerarea acestora (Taccoen et al. 2021, Thom 2023), numeroasele servicii ecosistemice asigurate de păduri prin multiple procese aflate în interacțiune, astfel:

i) temperaturile în creștere lungesc sezonul de vegetație (începe mai devreme primăvara și se termină mai târziu toamna) și măresc productivitatea multor păduri europene, mai ales boreale și temperate din nordul și vestul Europei, ale căror creșteri nu sunt limitate de stresul umidității de vară (Anonymous 2008, Bolte et al. 2009, Lindner et al. 2010, Mason et al. 2012, Brang et al. 2014, Spathelf 2019, Luyssaert et al. 2010, în EEA 2024, Académie des Sciences/Institut de France 2023). În sens opus, reducerea prezentă și preconizată a precipitațiilor și umidității solului în perioadele de vară, mai ales în centrul și sudul Europei, provoacă oprirea precoce a creșterilor arborilor și le reduce fixarea carbonului și productivitatea (Anonymous 2008, Montibeller et al. 2022, în EEA 2024; cu 25% în cvercelele din nord-estul Franței în 2003 - Académie des Sciences/Institut de France 2023).

ii) schimbările climatice pot modifica arealul natural al speciilor de arbori mai repede decât diseminarea lor, putând conduce astfel chiar și la înlocuirea unor specii cu altele prin procese invazive sau chiar procese succesionale, mai ales pe stațiuni extreme, datorate așa-numitei „eroziuni a arealului”, care determină schimbări în comunitățile de arbori (Bolte et al. 2009, Jandl et al. 2019, Spathelf 2019) și chiar dispariții de comunități importante pentru biodiversitate (Bottero et al. 2021; Auffret și Svenning 2022, Mauri et al. 2022, ambii în EEA 2024; Keeton et al. 2025). Cum majorita-

tea speciilor europene de arbori au abilități relativ reduse de diseminare, este improbabil ca speciile să fie capabile să compenseze eroziunea arealului prin diseminarea (migrația) naturală spre noi habitate, mai propice în condițiile schimbărilor climatice. Aceasta face ca așa-zisa „migrație asistată” (deplasarea mediată de om a speciilor, genotipurilor sau proveniențelor în locații care li se potrivesc mai bine din punct de vedere climatic în viitor (Messier et al. 2019), respectiv din climate mai calde spre locații mai reci, propusă deja de 20 de ani în dezbaterile științifice (McLachlan et al. 2007, în Millar et al. 2008) și la care vom reveni în detaliu la un paragraf ulterior, să devină o soluție în perspectivă (<https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/forests-and-climate-change/>). Speciile termofile sunt favoritele de climatul mai cald și vor deveni mai competitive la altitudini și latitudini mai înalte, comparativ cu cele adaptate la temperaturi mai scăzute (Antonucci et al. 2021). Arealul molidului și al pinului silvestru s-ar putea reduce dinspre sud și vest, în timp ce fagul și alte foioase temperate ar putea migra spre nord și la altitudini mai mari (Anonymous 2008). Cunoașterea arealelor naturale actuale ale speciilor, ca și ale celor previzionate până la finalul secolului al 21-lea, este critică pentru a atenua impactul modificării distribuției acestora asupra ecosistemelor forestiere europene. În acest sens, lucrarea „European Atlas of Forest Tree Species” (San-Miguel-Ayanz et al. (ed.), edițiile 2016 și 2021), publicată sub egida Centrului Comun de Cercetare al Comisiei Europene, în care sunt prezentate cele mai importante și mai extinse specii forestiere din Europa, precum și hărți cu arealele lor actuale și potențiale, constituie o excelentă sursă de informare la nivel pan-european (<https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/forests-and-climate-change/>).

iii) seceta („primul determinant major al stării de sănătate a pădurilor”, iar uscările de arbori urmează anii de secetă extremă - Académie des Sciences/Institut de France 2023) afectează umiditatea solului, reduce productivitatea pădurilor, iar când se combină cu arșița (va-

luri de căldură) poate slăbi și chiar usca arborii (Hartmann et al. 2022, Hammond et al. 2022, Bednar-Friedl et al. 2022, toți în EEA 2024). Secetele vor crește în frecvență și intensitate în unele zone ale globului (IPCC 2014, în Bottero et al. 2021), cu efecte negative asupra arborilor individuali și pădurilor în toate regiunile climatice în care acestea apar (Bottero et al. 2021). Așa este, în Europa, cazul molidului (specie foarte sensibilă la secetă, cu reduceri sensibile ale creșterilor sau chiar uscări în masă, în condiții de secetă puternică – Bottero et al. 2021), al pinului silvestru (puternic afectat de creșterea temperaturilor și lipsa precipitațiilor, care au dus la micșorarea creșterilor radiale sau la uscări în majoritatea pinetelor din Europa; perioadele uscate cresc riscul incendiilor în arboretele de pin silvestru – Brichta et al. 2024) și chiar al bradului (mai puțin decât molidul, dar afectat negativ de secetă intensă și prelungită, mai ales în colțul de sud-vest ale arealului natural – Bottero et al. 2021). Cel mai bun exemplu legat de efectele combinate ale secetei și arșiței (alături de uraganele Friederike – 2017 și Fabienne – 2018 și atacurile gândacilor de scoarță) este al perioadei 2018-2020, unde verile foarte călduroase din 2018 și 2019 au fost urmate de iarna 2019-2020 neobișnuit de caldă. Aceste fenomene meteo au condus la seceta pedologică care a persistat timp de trei ani consecutivi (Rakovec et al. 2022, în EEA 2024), cu efecte dezastruoase asupra pădurilor din Germania, unde rata mortalității arborilor a crescut de șapte ori între 2018 și 2020 și a rămas foarte ridicată în 2021-2022 (Hartmann et al. 2022, BMEL 2023, ambii în EEA 2024). Costul rezultat al pierderilor pentru sectorul forestier în 2018 și 2019 a fost de 17,8 miliarde de euro, adică cca 10% din cifra de afaceri a sectorului (Trenczek et al. 2022, FNR 2022, ambii în EEA 2024).

Deși mortalitatea directă datorată secetei este dificil de cuantificat, este cunoscut că aceasta reprezintă un factor predispozant pentru mortalitatea arborilor datorată incendiilor și gradațiilor de insecte. Legat de cele două perturbații majore, merită amintite câteva aspecte:

i) la nivel mondial, incendiile au afectat pe an o suprafață medie de 261 milioane ha păduri, cu o variație de la 225 milioane ha în anul 2009 la 302 milioane ha în 2007 (FAO 2025).

ii) gradațiile de insecte, în perioada 2002-2020, au afectat anual pe glob, în medie, 34,1 milioane ha păduri (variație 25,4-43,9 milioane ha) (FAO 2025). Și în Europa, în aceeași perioadă, gradațiile de insecte s-au manifestat anual pe suprafețe mari: în medie, pe 0,816 milioane ha păduri, cu o variație de la 0,479 milioane ha la 1,427 milioane ha (FAO 2025). Principala specie forestieră afectată a fost molidul, care însumează un volum pe picior în Europa de cca 7 miliarde m³ (aproximativ 25% din volumul total al pădurilor continentului – <https://www.okelly.se/bark-beetle>). Molidul, mai ales din monoculturile echiene instalate în afara arealului natural, la altitudini mai joase, sensibile atât la secetă (Lexer et al. 2002, în Lindner et al. 2010, Temperli et al. 2012, Hartmann et al. 2022, în EEA 2024), cât și la gândacii de scoarță (Hlásny et al. 2021, Gohli et al. 2024) – a fost afectat grav de gândacul de scoarță *Ips typographus*. Atacul său este a treia cea mai importantă perturbație în molidșuri, după doborâturi de vânt și incendii forestiere (Jönsson et al. 2012, Schelhaas et al. 2003, ambii în Jaakkola et al. 2023). În Suedia, seceta din anul 2018 a afectat cca 8 milioane m³ lemn de molid (Wulff și Roberge 2020, în Jaakkola et al. 2023), iar două gradații majore ale gândacului de scoarță au uscat 35 milioane m³ lemn de molid în ultimii 20 de ani (Kärvemo et al. 2023, în Gohli et al. 2024). În Germania, în anul 2019, volumul de lemn de molid uscat a cumulat cca 32 milioane m³, comparativ cu 11 milioane m³ în 2018 și 6 milioane m³ în 2017 (McNee 2020). În Cehia, vătămirile datorate gândacilor de scoarță în arboretele de molid au crescut de zece ori între 2013 și 2019, de la 0,2-1,4% din volumul lemnos pe picior al speciei între 2013-2016 (2 milioane m³ în 2015) la 3,1-5,4% în 2017-2019 (23 milioane m³ în 2019) (Hlásny et al. 2021), iar pădurile au devenit sursă de carbon (EEA 2024). În Europa Centrală, gradațiile lui *Ips typographus* au

afectat peste 270 milioane m³ lemn de molid între 2017 și 2019, ani cu veri calde și secrete, respectiv ierni blânde, cu cele mai mari vătămări în Germania, Cehia, Austria (English 2020). Volumul de lemn afectat de gândacii de scoarță în aceeași zonă a crescut la cca 360 milioane m³ pentru perioada 2018-2021 (2,3 ani de recoltă de lemn normală), peste 85% din aceste vătămări între 2018 și 2020 fiind asociate cu gândacul de scoarță al molidului, restul cu gândaci specifici laricelui și pinului silvestru (<https://www.okelly.se/bark-beetle>). Apariția gradațiilor foarte intense de gândaci de scoarță, în condiții de secetă sau doborâturi de vânt, a fost prognozată în Europa de multă vreme (Anonymous 2008; Wermelinger 2004, în Lindner et al. 2010). În viitor, populațiile de insecte și-ar putea mări arealul spre latitudini și altitudini mai mari, proces favorizat de schimbările climatice care conduc la încălziri și sezoane de vegetație mai lungi (Battisti et al. 2005, în Bolte et al. 2009, Anonymous 2008).

iii) vânturile puternice, accentuate de schimbările climatice, au fost considerate drept principala perturbație abiotică în Europa (Romagnoli et al. 2023). Acestea, sub forma furtunilor sau uraganelor, au produs vătămări imense pădurilor de pe continent: între 1950 și 2000, un volum mediu anual de lemn de 35 milioane m³ (8% din totalul volumului de lemn recoltat în Europa) a fost vătămat prin acțiunea perturbațiilor biotice și abiotice. Din acesta, 53%, totalizând peste 900 milioane m³ (18,7 milioane m³ an⁻¹), s-au datorat acțiunii vânturilor (Schelhaas et al. 2003, în Anonymous 2008; Romagnoli et al. 2023), și doar 16% din același volum a provenit din incendiile de pădure (Anonymous 2008, Lindner et al. 2010). Legat de vătămarile de vânt, sunt demne de menționat uraganele Lothar și Martin (1999, în Franța și Germania – 240 milioane m³ afectați, pierderi de circa 10 miliarde euro), Vivian (Wiebke) (1990, în Europa Centrală – cca 100 milioane m³), Gudrun (2005, în Scandinavia – 75 milioane m³), Kyrill și Per (2007, în Franța, Belgia, Țările de Jos, Germania – 66 milioane m³), Klaus (2009, în Franța – 40 milioane

m³), Friederike și Vaia (2018, în Germania – 17 milioane m³ - și Italia – 12 milioane m³), Simone, Sven și Ivar (2013, în Suedia – 14 milioane m³), Éowyn (2025, în Irlanda – cca 10 milioane m³), Johannes și Anna (2025, în Suedia, Finlanda, Norvegia – cca 10 milioane m³) (Sanginés de Cárcer et al. 2022, Locatelli 2025).

În general, prin acțiunea factorilor perturbatori amintiți, mortalitatea arborilor în Europa a crescut continuu și s-a dublat în ultimii 30 de ani (Taccoen et al. 2021, Willig et al. 2025). În general, impactul schimbărilor climatice, care afectează atât producția de lemn, cât și regenerarea pădurii (deci vor afecta compoziția viitoarelor păduri), nu este uniform distribuit pe continentul european, acestea fiind accentuate în zonele considerate vulnerabile (mai ales calde și uscate, sensibile la secetă), cum sunt cele mediteraneene, centrul și estul Europei (Lindner et al. 2010, Antonucci et al. 2021). Un exemplu concludent de specie forestieră majoră care suportă influența negativă a secetei este fagul, cea mai importantă specie de foioase din Europa, unde ocupă peste 11 milioane ha (Antonucci et al. 2021). Limită sudică a arealului său natural este determinată de disponibilitatea apei din precipitații, ceea ce face ca eventuale perioade de secetă sau de arșiță să îl predispună la vătămări severe (Anonymous 2008, Gessler et al. 2007, în Lindner et al. 2010). Fagul este sensibil la secetă și arșiță, fapt care a condus la reducerea creșterilor sale în ultimele trei decenii peste tot în Europa continentală (Antonucci et al. 2021). Specia are însă o capacitate ridicată de recuperare, chiar și după secete persistente (Pretzsch et al. 2020, în Schmied et al. 2020), mai ales în arborete amestecate, datorită unei „flexibilități fiziologice” considerabile (Anonymous 2008). După Leuschner et al. (2023) și Schmied et al. (2023), fagul a suferit deja o mortalitate ridicată (peste 5%) în diverse regiuni ale Europei Centrale, după valul de secetă din 2018-2020. La nivel planetar, probleme majore datorate schimbărilor climatice se întâlnesc și în biomi considerate majore pentru Terra și fără

vreun fel de probleme de acest gen în trecutul apropiat. Este mai ales cazul pădurilor tropicale amazoniene, cu un climat nou mai cald, cu secete mai frecvente și cu durate mai lungi, la care se adaugă incendiile și despăduriri pe scară largă. Astfel, condiții de „secete fierbinți” pot apărea până la 150 de zile pe an, reducând absorbția globală a carbonului (chiar transformând aceste păduri din absorbant de carbon în surse de carbon – Gatti et al. 2021, în Messier et al. 2022) și crescând mortalitatea normală a arborilor cu 55%, de la puțin peste 1% pe an (Chambers et al. 2025). O situație similară se întâlnește în pădurile tropicale australiene care, în condiții de creștere a temperaturilor și de apariție a perioadelor secetoase, au trecut de la postura de absorbant de carbon la cea de sursă de carbon cu aproximativ 25 de ani în urmă, în jurul anului 2000 (Carle et al. 2025). Este și cazul întinșelor păduri canadiene (cu o suprafață de 368,8 milioane ha – FAO 2025), care au devenit un emițător net de carbon începând din anii 2000 datorită incendiilor forestiere pe milioane de hectare și gradațiilor de insecte „alimentate” de schimbările climatice (Environment and Climate Change Canada 2020, în Messier et al. 2022). În fine, și pădurile continentului nostru, considerate un absorbant de carbon timp de decenii, prezintă semne regionale de anihilare a bilanțului pozitiv al carbonului datorită pierderii de biomasă prin vânt, incendiile, seceta, perturbații biotice (Forzieri et al. 2021, în Messier et al. 2022).

În România, o dovadă grăitoare a impactului diverselor perturbații (mai ales secete, arșițe și vătămări de vânt) asupra pădurilor este suprafața de peste 650 de mii ha an⁻¹ cu tăieri de

igienă și tăieri accidentale din ultima perioadă, care depășește consistent suprafața pe care s-au aplicat tăieri de regenerare și tăieri de îngrijire (tabel 1).

Pădurile pe glob și în Europa și rolul lor în atenuarea schimbărilor climatice

Pădurile globului ocupă în prezent 4,14 miliarde ha (32% din suprafața uscatului – FAO 2025), din care 92% sunt regenerare pe cale naturală, conțin 630 miliarde m³ de lemn (152 m³ ha⁻¹) și stochează 714 gigatone (Gt) de carbon (172 t C ha⁻¹), din care 46% în sol, 44% în biomasa vie și 10% în lemnul mort și litieră (FAO 2025). Prin comparație, în anul 1990, stocul de carbon al pădurilor globului era de 716 Gt, adică o medie de 165 t C ha⁻¹ (FAO 2025). Începând din anul 1750, pădurile au absorbit cca jumătate din emisiile de carbon sechestrate în mod natural din atmosferă, restul fiind contribuția mărilor și oceanelor (Brack 2019). Dacă, în anii 1970, rolul pădurilor în atenuarea schimbărilor climatice nu era aproape niciodată discutat la nivel mondial (Kauppi et al. 2018), în prezent este unanim acceptat că pădurile sănătoase joacă un rol critic în atenuarea schimbărilor climatice (Brack 2019), acest rol semnificativ în ciclul global al carbonului fiind o prioritate de vârf în politicile de mediu în legătură cu pădurile (Kauppi et al. 2018). Respectiva poziție se datorează faptului că pădurile sunt cel mai mare depozit de carbon pe glob, după mări și oceane, absorbind în biomasa lor, solurile forestiere și produsele lemnoase 25-30% din emisiile prezente de carbon datorate combustibililor fosili și industriei

Tabel 1 Suprafața parcursă cu diverse tipuri de tăieri în pădurile din România în perioada 2018-2023 (INS 2022, INS 2024 și INS 2025)

Area covered with various types of cutting in Romanian forests during 2018-2023 (INS 2022, INS 2024 and INS 2025)

Tipul de tăieri	Suprafața parcursă cu diverse tăieri în anul... (ha)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
De igienă	370.441	396.026	354.867	334.412	330.726	204.824
Accidentale	442.276	351.921	403.820	314.197	354.011	468.539
De regenerare	181.561	190.610	185.339	177.620	205.629	193.363
De îngrijire	163.772	169.116	158.384	162.723	177.244	168.180

(Brack 2019, Friedlingstein et al. 2020, Harris et al. 2021, Pan et al. 2021, toți în Gregor et al. 2022). Prin fotosinteză și durata fixării carbonului în arbori și în sol, pădurile se consideră că fac parte dintre principalele „chiuvete” de carbon atmosferic la scară globală (Académie des Sciences/Institut de France 2023).

Capacitatea pădurilor de a absorbi carbonul atmosferic depinde de vârsta arboretelor: cele tinere au un ritm de fixare mai ridicat, prezentând un stoc de carbon mai redus, iar cu vârsta ritmul/intensitatea absorbției carbonului se reduce, însă stocul său în arborete crește. De aceea, se admite că arboretele bătrâne nu mai absorb cantități importante de CO₂, deoarece fixarea sa prin fotosinteză este compensată de pierderile prin respirație (Académie des Sciences/Institut de France 2023). Pe lângă vârstă, sechestrarea carbonului de către păduri mai depinde și de (i) specii (cele cu creștere rapidă sechestrază mai repede carbon), (ii) fertilitatea solurilor și capacitatea lor de retenție a apei, (iii) sănătatea arborilor de-a lungul vieții, (iv) competiția dintre arbori (desimea/densitatea arboretului), (v) condițiile climatice sezoniere (mai ales temperatura în regiunile temperate și boreale și disponibilitatea apei în regiunile mediteraneene și tropicale), (vi) frecvența și severitatea perturbațiilor sporadice (incendii, furtuni, atacuri de insecte), (vii) intervenții silviculturale, care interacționează cu toți factorii de influență de mai sus. De aceea, există situații când un arboret poate deveni o sursă de carbon atmosferic, așa cum este cazul după perturbații extreme sau după aplicarea tăierilor rase (Académie des Sciences/Institut de France 2023).

Pădurile europene ocupă cca 227 milioane ha (35% din suprafața continentului), cu un volum de 34,98 miliarde m³ (169 m³ ha⁻¹), și sunt aproximativ 3/4 regulate (echiene și relativ echiene), cu vârsta predominant între 20 și 80 de ani (FOREST EUROPE 2020). Numai 28,2% din suprafața pădurilor continentului este ocupată de arborete neregulate (relativ pluriene și pluriene) (FOREST EUROPE 2020), iar în ele se aplică tratamente cu tăieri

continue [grădinărit pe arbori individuali sau pe buchete (grupe) de arbori] sau tăieri repetate (cvasigrădinărite) de codru. 32,8% din aceste păduri sunt pure, iar 67,2% conțin amestecuri de cel puțin două specii, din care dominante (49,5%) sunt cele cu 2-3 specii (FOREST EUROPE 2020). 53,5% din pădurile continentului sunt publice, iar restul de 46,5% sunt private (FOREST EUROPE 2020). Prin comparație, pădurile din țările membre ale UE sunt 60% private (cu cca 16 milioane de proprietari, din care 2/3 dețin suprafețe mai mici de 3 ha) și 40% publice (McMahon și Sarshar 2025).

Și pădurile europene au un rol important în atenuarea schimbărilor climatice prin sechestrarea și stocarea carbonului atmosferic, la ora actuală conținând 169 Gt C (163 t ha⁻¹), comparativ cu doar 149 Gt C (149 t C ha⁻¹) în 1990 (FAO 2025). Mărirea suprafeței pădurilor din Europa, combinată cu recoltele reduse de lemn din trecutul apropiat și climatul în schimbare, au condus la creșterea stocului de carbon în pădurile continentului de la 100 Mt CO₂ echivalent an⁻¹ în anii 1950 la peste 400 Mt CO₂ echivalent an⁻¹ în anii 1990 (Ciais et al. 2008, Nabuurs et al. 2003, ambii în EEA 2024). Pădurile europene absorb în prezent până la 9% din emisiile de CO₂ echivalent (CO_{2e}) de pe continent (Grassi et al. 2019, în Gregor et al. 2022). În țările din Uniunea Europeană, în anul 2021, pădurile au fixat 20 Mt CO₂ echivalent, aceasta reprezentând 7% din emisiile totale de gaze cu efect de seră (EEA 2024). Din păcate, rolul pădurilor de a capta CO₂ s-a redus mult în ultimii 10 ani. Această scădere se datorează, în principal, perturbațiilor climatice precum seceta, incendiile sau doborâturile de vânt. De asemenea, gradațiile de insecte afectează grav sănătatea arborilor. Din cauza acestor factori, pădurile nu mai sunt mereu „salvatori ai planetei”, ci devin victime ale schimbărilor climatice (Seidl et al. 2017, în Messier et al. 2022, EEA 2024). O altă cauză este creșterea volumului de lemn recoltat. Acesta a ajuns, în medie, la peste 73% din creșterea curentă a pădurilor de pe continent (FOREST EUROPE 2020). Totodată, recoltarea produselor

de igienă și a celor accidentale a contribuit la acest proces. Toți acești factori au transformat anumite zone forestiere ale Europei în surse de dioxid de carbon (EEA 2024). Din acest motiv, diverși autori majori (Messier et al. 2022, EEA 2024) consideră că strategiile europene și nu numai, legate de atenuarea efectului schimbărilor climatice, trebuie să se bazeze în mod prioritar pe reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, fără a se baza exagerat de mult pe rolul de captor și rezervor de carbon al pădurilor. În acest sens, pădurile urmează să joace doar un rol complementar în acest proces de tranziție spre o economie decarbonată (EEA 2024).

Capacitatea adaptativă și strategiile de adaptare a pădurilor la schimbările globale

Pădurile trebuie să se adapteze la condițiile de mediu în schimbare pentru a rămâne stabile și a-și păstra vitalitatea, asigurând continuu multiple bunuri și servicii (Nabuurs et al. 2007, în Bolte et al. 2009), dependent de valorile și cerințele societății, și acestea în schimbare (Reyer et al. 2015, Nocentini et al. 2017). Cum pădurile sunt sisteme adaptative complexe și dinamice, cheia rezilienței lor este realizarea sau menținerea diversității speciilor de arbori și a diversității structurale a acelor sisteme (Levin 1998, în Nocentini et al. 2017, Messier et al. 2019, Lindner et al. 2025).

„Capacitatea adaptativă” a pădurilor și sectorului forestier la modificările de mediu include două componente: (i) capacitatea adaptativă inerentă/naturală a arborilor și arboretelor, respectiv (ii) factorii socio-economici care determină posibilitatea de implementare a măsurilor specifice de adaptare (Anonymous 2008, Lindner et al. 2010). Prima componentă depinde de mecanismele și procesele evoluționiste care au permis speciilor de arbori să se „ajusteze” la noile condiții de mediu. Aceste mecanisme acționează la diverse niveluri: (i) individual (heterozigoția individuală, aclimatizarea, răspunsul epigenetic), (ii) populațional

(selecția naturală), (iii) al speciei (creșterea adaptării locale prin fluxul de gene, colonizarea de noi habitate), (iv) al comunității (facilitare vs. competiție între speciile de arbori, hibridizarea interspecifică) (Anonymous 2008, Lindner et al. 2010). Factorii socio-economici care determină adaptarea la schimbările climatice includ dezvoltarea economică, tehnologia și infrastructura, informația, cunoștințele și abilitățile, instituțiile, echitatea, capitalul social (McCarthy et al. 2001, în Anonymous 2008, Lindner et al. 2010).

Capacitatea adaptativă este influențată de (i) structura proprietății asupra pădurilor, în sensul că pădurile private mici și fragmentate, puțin sau chiar deloc gestionate, asemenea majorității celor europene, sunt o barieră pentru utilizarea eficientă a resurselor forestiere și aplicarea practicilor de management adaptativ. Alte aspecte importante care limitează adaptarea pădurilor și sectorului forestier la schimbările climatice anticipate sunt (ii) disponibilitatea sau deficitul de forță de muncă, împreună cu (iii) nivelul de educație al personalului din acest sector. La acestea se adaugă (iv) tendințele și credințele sociale, așa cum a fost cazul cu „silvicultura apropiată de natură” care, concentrându-se în trecut mai ales pe vegetația naturală potențială a secolului al 20-lea, a exclus specii potențial productive în condițiile schimbărilor climatice din secolul prezent (Anonymous 2008).

Arborii și-au dezvoltat în timp o varietate de mecanisme pentru a se adapta și trece peste extreme climatice (Bolte et al. 2009, Lindner et al. 2010). Este cazul acelor specii care manifestă așa-numita „plasticitate fenotipică pe termen scurt” (Spathelf 2019), datorată răspunsului individual al morfologiei și/sau fiziologiei arborilor – spre exemplu, cei care supraviețuiesc secetelor extreme prin închiderea stomatelor sau lepădarea frunzelor (Tyree și Ewers 1991, Breda et al. 2006, ambii în Bolte et al. 2009). Există însă situații în care viitoarele schimbări climatice, a căror apariție și magnitudine sunt necunoscute, creând un context „puternic incert” de luare a deciziilor în gesti-

onarea pădurilor, pot suspenda/elimina această capacitate de adaptare (Hörl et al. 2020). Cu schimbările climatice apar noi tipuri, direcții și grade de incertitudine, iar pădurile sunt sensibile la aceste schimbări și incertitudini, datorită ciclurilor lungi de viață; cum s-a mai spus, aceste cicluri lungi fac dificilă adaptarea rapidă a pădurilor la condiții de mediu modificate (Hörl et al. 2020).

Capacitatea adaptativă a arborilor și pădurilor este datorată (i) Abilității ecosistemelor forestiere (*rezistență*) de a absorbi schimbările climatice fără modificări majore în structura și compoziția lor (Lindner et al. 2010, în Brang et al. 2014, Park et al. 2014, Hörl et al. 2020) și (ii) Abilității pădurilor de a se reconstrui, posibil cu o compoziție și structură diferită, după perturbații cauzate sau alimentate de influențe climatice (*reziliență*), sau ca pădurea să evolueze continuu și nu abrupt în compoziție și structură (Brang et al. 2014, Park et al. 2014, Hörl et al. 2020).

Creșterea capacității adaptative, în condițiile unor riscuri și incertitudini rareori răspunse în planificarea și în procesul de luare a deciziilor în gospodărirea pădurilor (Hörl et al. 2020), se obține prin aplicarea unor **strategii de management forestier adaptativ** care vor asigura ca pădurile, capabile să răspundă la „surprize” diverse într-un mod „acceptabil”, să producă o gamă largă de bunuri și servicii ecosistemice (O’Hara și Ramage 2013, în Brang et al. 2014, Puettmann et al. 2014, Mattson et al. 2018). Managementul forestier adaptativ reprezintă „o parte integrantă a strategiei generale de evitare a ceea ce nu poate gestionat și de gestionare a ceea ce este inevitabil” (Bierbaum et al. 2007, în Bolte et al. 2009).

În aceste strategii, cuplate cu modalități silviculturale specifice (Lindner et al. 2010), accentul este pus pe *ameliorarea rezilienței pădurilor*, fapt datorat credinței că nu se mai poate presupune în continuare că autoreglarea și reconstrucția/refacerea pădurilor după perturbații abrupte sau continue se vor realiza în mod natural (Messier et al. 2019). Este fundamental de luat în considerare faptul că succesul

strategiilor și măsurilor de adaptare a pădurilor la schimbări climatice presupune atât suport financiar/stimulente financiare, cât și flexibilitate sporită a reglementărilor legale privind gestionarea pădurilor. Așa cum recunosc Lindner et al. (2025), „... silvicultura rezilienței, în general, costă mai mult și necesită suport financiar. Există o finanțare insuficientă pentru a acționa și a implementa aceste măsuri de adaptare și noi sisteme de management adaptativ”.

În general, adaptarea pădurilor la schimbări climatice se bazează pe acțiuni care să permită manipularea ecosistemelor forestiere pentru a le crește rezistența și reziliența la astfel de schimbări (Spittelhouse și Stewart 2003, Millar et al. 2007, ambii în Mason et al. 2012). Aceste acțiuni sunt parte a strategiei de management al riscurilor și includ, la nivel de arboret, trei strategii diferite pentru managementul prezent și viitor al pădurilor din Europa în contextul schimbărilor climatice (Bolte et al. 2009):

- „Conservarea structurii pădurii”: este o opțiune conservativă, care urmărește să mențină constanța structurii arboretelor chiar și în condițiile unei presiuni sucesionale în creștere datorită schimbărilor de mediu. Este opțiunea recomandată în arboretele mai bătrâne, cu mare valoare economică și structură dorită, din zone cu impact anticipat redus al schimbărilor climatice. Această strategie poate crește riscul unor pierderi catastrofale (Harris et al. 2006, în Bolte et al. 2009), dar și permite administratorilor pădurilor să își atingă obiectivele de gospodărire inițiale.
- „Adaptare pasivă”: folosește deliberat reziliența naturală moștenită/inerentă și procesele de adaptare spontană bazată pe succesiuni sau migrația speciilor pentru a crește capacitatea de adaptare a unui arboret la condițiile viitoare. Este o strategie care minimizează eforturile de implicare în viața arboretelor (Spathelf et al. 2015, Nagel et al. 2017, în Himes et al. 2023), elimină posibilitățile de a controla dinamica acestora și se recomandă acolo unde arboretele au valoare economică sau ecologică redusă și unde nu

se pot aplica măsuri eficiente din punct de vedere economic pentru a crește capacitatea lor adaptativă. Este cazul pădurilor seculare (old-growth) de fag (în care se mai întâlnesc teiul cu frunză mică, carpenul, specii de *Sorbus* sau de acerinee) din Europa Centrală, care și-au demonstrat potențialul ridicat de adaptare locală la secetă și o înaltă plasticitate fenotipică (Bolte et al. 2016, Stojnic et al. 2018, în Jandl et al. 2019).

- „Adaptare activă”: include intervenții gen curățiri, rărituri, conversiunea, introducerea unor specii alternative și se recomandă pentru a schimba structura și compoziția arboretelor astfel încât ceea ce rezultă este mai bine adaptat la impactele schimbărilor climatice decât ar fi fost prin evoluție naturală (Bolte et al. 2009, Jandl et al. 2019). Gestionarea activă a pădurilor sporește absorbția carbonului, atât pentru că rata de absorbție a acestuia încetinește pe măsură ce pădurile se maturizează, productivitatea primară netă scade și mortalitatea naturală crește, cât și pentru că pădurile negestionate cresc riscul unor pierderi masive de carbon cauzate de perturbări precum incendii, insecte sau boli (Hektor et al. 2016, în Brack 2019). O intervenție activă este scurtarea vârstei exploatabilității (subiect la care se va reveni pe larg într-o altă secțiune a articolului), pentru a atenua probabilitatea apariției doborâurilor de vânt (Meilby et al. 2001, în Bolte et al. 2009), acest lucru fiind posibil și deoarece sezoanele de vegetație mai lungi vor permite atingerea dimensiunilor (diametre)-țel cerute de piața lemnului mai repede (Jandl et al. 2019). Similară ca efect adaptativ este și transformarea activă a arboretului pentru a amesteca sau înlocui speciile de arbori sensibile la schimbări climatice cu altele tolerante (autohtone sau exotice ori proveniențe) care, potențial, sunt mai bine adaptate la viitoarele condiții climatice (Bolte et al. 2009). Așa este cazul molidișurilor artificiale din centrul Europei, instalate mai ales în afara arealului și, deci, vulnerabile mai ales la secetă, care ar trebui convertite fie în arborete amestecate

de rășinoase și foioase, fie în arborete de foioase, mai tolerante sau rezistente (Temperli et al. 2012). O astfel de conversiune este acceptată cu reticență de silvicultorii practicieni, deoarece există credința că arboretele amestecate sunt mai puțin productive decât molidișurile pure, iar industria cere în mod specific lemn de molid din rațiuni tehnologice (Jandl et al. 2019). Adaptarea activă este strategia de utilizat în zonele cu probabilitate mai ridicată de producere a schimbărilor datorate climei și unde se prognozează că speciile sau structurile de arborete vor fi expuse în viitor, în mod deosebit, la perturbații cum ar fi doborâurile de vânt sau secetele.

Pornind de la constatarea că modul adecvat pentru creșterea stabilității pădurilor și reducerea riscului la impact datorită schimbărilor climatice este să crești diversitatea speciilor și diversitatea structurală a arboretelor (Jandl et al. 2019), *strategia de adaptare activă este în prezent politica silviculturală favorită la nivel european* (Mason et al. 2012). În detaliu, adaptarea activă include câteva măsuri specifice (Anonymous 2008, Kolström et al. 2011, Spathelf et al. 2015, Jandl et al. 2015, 2019, Rist et al. 2016, Coșofreț și Bouriaud 2019, Hörl et al. 2020, Lindner et al. 2020, Thiffault et al. 2021, Académie des Sciences/Institut de France 2023, Himes et al. 2023, EEA 2024, Keeton et al. 2025):

- Alegerea și utilizarea unei game mai largi de specii de arbori (și proveniențe), cu precădere autohtone, dar și exotice (spre exemplu, stejar pufos, pin negru, duglas, salcâm, stejar roșu), cu o mare diversitate genetică și adaptate la viitoarele condiții climatice. Este clar că, așa cum subliniază Lindner et al. (2025), „a insista doar pe speciile autohtone, spre exemplu în siturile Natura 2000, riscă o inadecvare a adaptării și o vulnerabilitate crescută a viitoarei păduri. Pe măsură ce schimbările climatice modifică gama adecvată de specii, migrația asistată devine din ce în ce mai importantă”. Iar migrația asistată a fost folosită atât în trecut, pentru introducerea și utilizarea forestieră a unor specii actu-

almente importante în Europa, așa cum sunt duglasul verde, salcâmul, molidul de Sitka, eucaliptii, ca și ultimele decenii pentru conversiunea pădurilor cu specii afectate de riscuri diverse (cazul monoculturilor de molid, mai ales instalate în afara arealului). Această operație presupune în prezent transferul speciilor și proveniențelor (un caz special este al celor marginale, situate la limita arealului natural, care pot asigura ecotipuri mai tolerante la secetă - Spathelf et al. 2018), din climate mai calde spre climate mai reci (Park et al. 2014), de la sud spre nord (Thiffault et al. 2021), însă trebuie să ia în considerare riscul de neadaptare a materialului de împădurire transferat în stadiul juvenil, care crește cu mărirea distanței de translocare (Thiffault et al. 2021);

- Utilizarea preponderentă a regenerării naturale, însoțită, acolo unde este cazul, de „completări pentru îmbogățirea compoziției”, cu material de împădurire provenind din diferite arborete semincere parte a aceleiași regiuni de proveniență. Din rațiuni evidente, în condițiile perturbațiilor pe scară mare (cazul doborâturilor de vânt extinse), utilizarea exclusivă a materialului de împădurire local, adaptat la condițiile climatice prezente, nu este posibilă, ceea ce obligă la transferul asistat al acestuia;
- Aplicarea „silviculturii dinamice”, prin creșterea intensității lucrărilor de îngrijire și conducere a arboretelor (curățiri și rărituri), pentru creșterea stabilității și reducerea susceptibilității la perturbații gen secețe, precum și ameliorarea biodiversității și conservării solului. În cazul secetei, aceste intervenții (cu precădere răriturile, care intensifică creșterea în grosime a arborilor, un „indicator al vigorii acestora” – Gebhardt 2016, Schmitt et al. 2020) atenuează stresul datorat acesteia în condițiile modificării pozitive a bilanțului apei prin: (a) micșorarea suprafeței aparatului foliar, care reduce interceptația apei în coronament/crește scurgerea apei din precipitații prin golurile create între coroane și (b) pierderea apei ca efect

al evapotranspirației arboretului (Park et al. 2014, Gebhardt 2016, Lindner et al. 2020, Kohnle 2023, Willig et al. 2025). În general, pentru creșterea rezilienței arboretelor la secetă se recomandă aplicarea obligatorie și susținută a răriturilor, indiferent că se referă la formații forestiere nediferențiate (Lindner 2000, Elkin et al. 2015, Collalti et al. 2018, Spathelf et al. 2018, Bottero et al. 2021, Moreau et al. 2022, Kohnle 2023, Lindner et al. 2025, Keeton et al. 2025, Willig et al. 2025) ori la diverse cazuri speciale, așa cum sunt molidișurile (Gebhardt 2016, Schmitt et al. 2020), fâgetele (Antonucci et al. 2021, Rukh et al. 2023), pinetele de pin negru și pin silvestru (Navarro-Cerrillo et al. 2019, 2023), pinetele de pin silvestru și gorun (Steckel et al. 2020), arboretele de *Quercus pyrenaica* și *Q. faginea* (Fernández-de-Luna et al. 2015) din Europa ori de *Pinus ponderosa* (Sankey și Tatum 2022) sau *Pinus resinosa* (Park et al. 2014) în America de Nord. Acestea sunt predominant de sus (cele de jos nu cresc potențialul adaptativ al speciilor de arbori – Lindner 2000, Lindner et al. 2020) și cu intensități mari („nu sunt o problemă în arboretele tinere și dinamice, piciorul trebuie luat gradual de pe accelerator odată cu creșterea vârstei. Răriturile „brutale” în arborete înalte și bătrâne sunt o practică greșită...” – Kohnle 2023). Este cazul, spre exemplu, în molidișurile tinere (intensitatea cca 40% din suprafața de bază – Gebhardt 2016, Schmitt et al. 2020, Hilmers et al. 2022), pinete de pin silvestru (Sohn et al. 2016), fâgete (cu creștere liberă a arborilor de viitor – Štefančík et al. 2018, Antonucci et al. 2021), gorunete (Schmitt et al. 2020) sau gârniță (intensitate 20% din suprafața de bază – Ganatsas et al. 2024). În contextul rolului pe care răriturile îl joacă în adaptarea arborilor la secetă este necesar de reflectat la concluzia lui Sankey și Tatum (2022): „Beneficiile răriturilor, care nu sunt apreciate în anii cu precipitații medii, sunt amplificate semnificativ în perioadele de secețe fără precedent”.

- Promovarea arboretelor amestecate (cu specii

- de lumină și de umbră, cu specii cu înrădăcinare profundă, alături de specii cu înrădăcinare superficială, cu specii repede crescătoare și specii încet crescătoare, cu specii de rășinoase și specii de foioase), deoarece acestea produc mai mult decât cele pure, în medie cu 10-30% (Pretzsch și Zenner 2017, Coll et al. 2018, Messier et al. 2019), iar arboretele amestecate sunt mai rezistente la boli și dăunători decât cele pure (Coll et al. 2018, Messier et al. 2019). Este însă de reținut faptul că arboretele amestecate nu asigură în mod universal o mai mare rezistență și/sau reziliență la perturbații decât monoculturile, această adaptare depinzând în mare parte de caracteristicile speciilor amestecate în legătură cu perturbații specifice (Pretzsch, și Zenner 2017) În plus, diversitatea speciilor asigură realizarea mai multor funcții și servicii ecosistemice decât monoculturile (Río et al 2016, Coll et al. 2018, Messier et al. 2019).
- Favorizarea silviculturii cu acoperiș continuu (a tratamentelor cu regenerare naturală sub masiv gen tăieri grădinarite pe arbori individuali, tăieri grădinarite pe buchete (grupe) de arbori, tăieri cvasigrădinarite, chiar și tăieri progresive), care să favorizeze diversitatea structurală – orizontală și verticală - a arboretelor (Brang et al. 2014, Rist et al. 2016, Hörl et al. 2020, Lindner et al. 2020, Thiffault et al. 2021);
 - Aplicarea unor lucrări de exploatare a lemnului pe scară mai mică și cu impact redus asupra mediului, protejând regenerările naturale;
 - Reducerea vârstei exploatabilității în arborete pentru producerea de lemn, care va limita riscul pierderilor financiare datorate evenimentelor aleatoare/perturbațiilor (cazul unor riscuri diverse – Rist et al. 2016, Lindner et al. 2020, Thiffault et al. 2021 –, al furtunilor sau incendiilor - Académie des Sciences/Institut de France 2023 – al doborâturilor de vânt și stresului datorat secetei – Jandl et al. 2015, Kohnle 2023, Lindner et al. 2025 -, al bolilor și dăunătorilor – Keeton et al. 2025) și va contrabalansa flexibilitățile reduse de gestionare a pădurilor datorate nivelurilor excesive ale tăierilor de igienă și accidentale. Un alt motiv pentru reducerea vârstei exploatabilității, amintit uneori (Park et al. 2014, Hörl et al. 2020), este grăbirea posibilității de a înlocui prin plantare speciile afectate de schimbările climatice cu specii mai adaptate și repede crescătoare. Reducerea vârstei respective poate însă conduce la (1) mari cantități suplimentare de lemn pe piață, cu potențiale efecte economice negative, și (2) modificări structurale în arborete, respectiv pierderea de arbori groși, importanți pentru biodiversitate, ori reducerea în situ a stocului de carbon ori a calității solurilor (arboretele mai tinere sunt mai consumatoare de elemente nutritive și pot acidifica solul - Académie des Sciences/Institut de France 2023, Lindner et al. 2025);
 - Dezvoltarea unei rețele corespunzătoare de drumuri de acces, mai ales în zonele montane, care să asigure aplicarea măsurilor de management la scară redusă și accesibilitatea pentru aplicarea tăierilor sanitare. Infrastructura adecvată, incluzând și platformele primare, este importantă și pentru stocarea cantităților importante de lemn rezultate în urma doborâturilor de vânt;
 - Reducerea impactului populațiilor de ungulate asupra pădurilor, prin normalizarea efectivelor acestora.
 - Alegerea speciilor pentru împăduriri pe baza rezistenței lor la incendii (spre exemplu, foioasele rezistă mai bine la foc - Académie des Sciences/Institut de France 2023).
[De precizat că unele din aceste măsuri – folosirea de specii și proveniențe locale, amestecul de specii/realizarea de arborete amestecate, diversificarea structurii orizontale și verticale, regenerarea naturală din specii autohtone valoroase - au fost recomandate și pentru pădurile de la noi în excelența lucrare a lui Barbu et al. (2016)].
- Aceste măsuri adaptative intră în categoria celor proactive (se aplică înainte de perturbații și urmăresc să amelioreze rezistența și rezili-

ența pădurilor, prin creșterea diversității speciilor și a celor structurale), prin comparație cu cele reactive (aplicate în timpul sau după perturbații, care urmăresc să oprească desfășurarea unui eveniment sau să prevină producerea unui eveniment ulterior – cazul tăierilor de igienă ori accidentale, al stingerii incendiilor, al eliminării lemnului afectat de gândacii de scoarță) (Thom 2023). Dacă unele măsuri proactive au nevoie de perioade lungi pentru aplicare, cele reactive sunt efective imediat.

Este important de subliniat că efectele pozitive pe termen scurt pentru atenuarea schimbărilor climatice/adaptarea la schimbări climatice pot fi asociate cu efecte negative pe termen lung asupra carbonului din sol, asupra resurselor de apă, asupra ciclului elementelor nutritive din sol, asupra dinamicii biodiversității (EEA 2024).

Alternative la gospodărirea tradițională a pădurilor

În mod tradițional, pădurile europene, dominate de arborete regulate și cu compoziții relativ simple (pure sau mai ales cu 2-3 specii), au fost exploatate și regenerare mai ales cu tratamente simple (tăieri rase de codru sau de crâng, tăieri succesive), urmate – la cele rase de codru - de reîmpăduriri (McMahon și Sarshar 2025). Sistemul tradițional respectiv, numit „management rotațional” (recoltarea de masă lemnoasă se face la atingerea vârstei exploatabilității, a „rotației”), și care are tăierile rase în diverse variante, alături de tăierile succesive, ca principalele tratamente silviculturale (Mason et al. 2021), pune accentul pe producția de lemn comercializabil. Arboretele respective, cu structuri și compoziții simple, se confruntă actualmente cu riscuri biofizice (vânt, boli, dăunători), cu necesitatea stocării carbonului pentru atingerea neutralității climatice a Europei, cu îngrijorări crescânde privind reducerea biodiversității, cu opoziția publicului la aplicarea tăierilor rase, care se reflectă și în politicile de mediu și forestiere europene (cazul strategiei privind biodiversitatea și al strategiei pentru păduri, ambele cu

orizont 2030) (McMahon și Sarshar 2025).

În plus, în condițiile conștientizării existenței și efectului schimbărilor climatice, care afectează caracteristici staționale gen temperatura, umiditatea/alimentarea cu apă și elemente nutritive, a apărut incertitudinea în gospodărirea pădurilor privind cele mai potrivite măsuri de aplicat pentru a menține vitalitatea, stabilitatea și productivitatea pădurilor. De aceea, în ultimele decenii s-a răspândit ideea că problemele puse de schimbările climatice, biodiversitate, producție de lemn și alte bunuri și servicii ale pădurii, necesită abordări silviculturale deosebite de cele tradiționale. În acest sens, soluțiile de gestionare a pădurilor viitoare trebuie să fie bazate pe principiul „managementului adaptativ” (Lawrence și Gillett 2011, în Mason et al. 2012, Lawrence 2017, Jandl et al. 2019) care, luând în considerare instabilitatea și incertitudinea cu care se confruntă pădurile, să înlocuiască vechea paradigmă de gestionare a acestora și să asigure existența unor păduri viitoare reziliente, capabile să ofere atât lemnul necesar industriei de prelucrare a acestuia, cât și alte servicii ecosistemice foarte necesare societății (Egger et al. 2024). Deci, se consideră că „societatea are nevoie de trecerea spre o *silvicultură multifuncțională*, care să îndeplinească obiectivele economice, sociale și de mediu la unison” (McMahon și Sarshar 2025). Așa cum s-a subliniat, un astfel de obiectiv este parte a politicilor pan-europene pe diverse teme legate de păduri, mărturie fiind strategiile curente ale UE privind biodiversitatea, respectiv pentru păduri (European Commission 2020, 2021). Și merită subliniat faptul că există țări în lume care acționează în aceeași direcție: „... managementul activ și adaptativ va asigura că pădurile Australiei vor continua să asigure beneficii pentru societate și mediu, în multiple forme, pentru deceniile care vor veni. Managementul activ și adaptativ al pădurilor noastre este o prioritate politică pentru următorul guvern al Australiei” (cuvântarea primului ministru Bob Brown la ceremonia de investire a noului guvern, 4 mai 2022, în <https://www.forestry.org.au/media-release-next-govern->

ment-must-prioritise-active-and-adaptive-forest-management/).

Între numeroasele strategii aplicate în prezent, pe diverse scări, pentru gestionarea adaptativă a pădurilor europene, ca alternative la managementul rotațional tradițional, merită amintite cel puțin patru: „silvicultura apropiată de natură” (Close-to-Nature Forestry - CTN), amintită și în contextul silviculturii românești (Codul silvic – Legea 331/2024, art. 69), „managementul pădurilor mai apropiat de natură” (Closer-to-Nature Forest Management - CTN-FM), „silvicultura cu acoperiș continuu” (Continuous Cover Forestry - CCF) și „silvicultura inteligentă din punct de vedere climatic” (Climate-Smart Forestry - CSF) (Stritiș et al. 2016). Adăugarea particulei „natură” la denumirile unora din aceste abordări alternative, în spațiul european sau nord-american, s-a făcut pentru a le distinge de cele anterioare concentrate pe producerea de lemn și, în mod special, pentru a semnala unei societăți sceptice în legătură cu silvicultura preocupările mediului forestier pentru schimbarea paradigmei de gestionare a pădurilor (O’Hara 2016).

Suprafața arboretelor europene pe care se aplică în prezent CTN, CTNFM și CCF este de cca 39 milioane ha (22% din suprafața arboretelor de codru), ponderea sa fiind foarte variabilă: de la câteva procente în Irlanda, Portugalia, Finlanda, Suedia, Norvegia, la aproape 100% în Elveția, Slovenia și unele landuri germane (Mason et al. 2021, Larsen et al. 2022, European Commission 2023, McMahon și Sarshar 2025). Pentru o familiarizare necesară cu specificul acestor strategii adaptative, importante și în context românesc, se prezintă mai jos principalele lor caracteristici.

Silvicultura apropiată de natură (Close-to-Nature Forestry CTN)

CTN este originară din centrul Europei, unde aspecte întâlnite în teoria actuală a acestei strategii s-au descris pentru prima oară la sfârșitul secolului al 19-lea (Karl Gayer, profesor la München, recomanda (1880, 1886) realizarea

de arborete amestecate, cu structuri neregulate, ca alternativă la plantațiile echiene și pure, prevalente în centrul Europei – Brang et al. 2014, O’Hara 2016). Au urmat contribuțiile lui Gurnaud (1886, Franța), Hufnagl (1893, Slovenia) și Biolley (1901, Elveția) privind aplicarea codrului grădinarit, precum și cele ale lui Leibundgut (1948) referitor la tăierile grădinarite pe buchete, codrul cvasigrădinarit (jardinătoriu) și „alegerea liberă a tăierilor”. La acestea s-a adăugat teoria „pădurii continue” (Dauerwald) a lui Möller (1922, Germania), care militează pentru evitarea aplicării tăierilor rase, abandonarea conceptului claselor de vârstă și a vârstei exploatabilității (Vítková și Dhubháin 2013). Dauerwald a stat la baza „Grupului de lucru pentru silvicultura apropiată de natură”, înființat după cel de-al doilea război mondial și care a prefațat crearea mișcării *Pro Silva* în Slovenia (1989), mișcare care promovează filozofia CTN (Pro Silva 2012). În același context, al silviculturii apropiate de natură, s-au înscris și preocupările lui Pavari (1914, 1948), care a introdus modelul „silviculturii naturalistice”, bazat pe arborete amestecate cu structuri neregulate și regenerare naturală (Brang et al. 2014). După al doilea război mondial, aspecte specifice CTN s-au utilizat în Europa doar în Slovenia, Elveția și unele părți din Austria, Croația, Franța, Germania (Brang et al. 2014).

Interesul în aplicarea silviculturii apropiate de natură a căpătat alte dimensiuni după 1980, datorită creșterii conștientizării problemelor de mediu (rezultat al conferințelor de la Stockholm, 1972, și Rio de Janeiro, 1992), perturbațiilor pe scară largă din Germania (1972) și furtunilor din 1990 și 1999 din centrul Europei, care au demonstrat instabilitatea arboretelor artificiale, mai ales de molid, la acțiunea vânturilor, și necesitatea diversificării compoziției și structurii acestora (Vítková și Dhubháin 2013), precum și costurilor ridicate asociate cu instalarea plantațiilor (Brang et al. 2014).

În prezent, silvicultura apropiată de natură, care nu are o definiție unanim acceptată în mod oficial (a se vedea definiția dată în glosarul afe-

rent noului nostru Cod silvic din anul 2024), se bazează pe principiul central al utilizării proceselor naturale pentru a gestiona ecosistemele forestiere cu cele mai mici costuri posibile (Spathelf et al. 2015) și include diverse elemente de bază, respectiv (Pro Silva 2012, Brang et al. 2014, Puettmann et al. 2015, Spathelf et al. 2015, Mason et al. 2021, Himes et al. 2023, Keeton et al. 2025, Stritih et al. 2026):

- i) Promovarea speciilor autohtone și/sau a celor adaptate la stațiune, adesea bazată pe vegetația natural potențială. Folosirea speciilor alohtone, dacă sunt amestecate cu cele autohtone, este acceptată într-o pondere redusă;
- ii) Promovarea arboretelor amestecate;
- iii) Promovarea de arborete cu structuri orizontale și verticale diverse, cu acoperiș continuu;
- iv) Promovarea regenerării naturale;
- v) Aplicarea de practici silviculturale care se concentrează pe arbori individuali („silvicultură pe arbori de viitor”);
- vi) Evitarea tăierilor rase, pe cât posibil.
- vii) Integrarea serviciilor ecosistemice ale pădurilor (apă, recreare, clima, lemn) la cel mai mic nivel spațial posibil.

În acest fel, CTN este o abordare integratoare a gospodăririi durabile a pădurii și conservării biodiversității la nivel de arboret și asigură bogăția de specii forestiere și diversitatea structurală a arboretelor. Prin aplicarea CTN se obțin arborete neregulate, divers structurate și amestecate, însă mai ales cu specii tolerante la umbră și instalate pe cale naturală. În condițiile schimbărilor climatice, CTN propune, pe lângă regenerarea naturală din speciile locale, și ameliorarea compoziției acestora prin folosirea „plantațiilor de îmbogățire”, care să includă specii sau proveniențe rezistente la secetă, deplasate prin migrație asistată din regiuni unde există climate similare celor așteptate în viitor. Măsura ultimă este importantă în contextul necesității creșterii capacității adaptative a pădurilor (Spathelf et al. 2015).

Din punctul de vedere al respectării principiilor de management adaptativ al pădurilor, se consideră că niciunul din tratamentele silviculturale asociate silviculturii apropiate de natură

[tăieri grădinarite pe arbori individuali (grădinarit pe fir), tăieri grădinarite pe buchete (grupe) de arbori, tăieri repetate și regenerare sub masiv gen cvasigrădinarite, progresive, chiar și succesive – Spathelf et al. 2015)] nu le acoperă pe toate, neexistând tratamente optime din toate punctele de vedere. Principalele deficiențe ale tratamentelor respective, între care tăierile grădinarite pe buchete (grupe) de arbori sunt considerate cele mai flexibile și mai adecvate managementului adaptativ al pădurilor, există în respectarea principiilor „creșterea bogăției de specii”, „menținerea și creșterea variației genetice”, respectiv „înlocuirea arboretelor care prezintă riscuri mari” (Brang et al. 2014).

Oricum, se așteaptă ca pădurile gestionate prin CTN să fie mai bine adaptate la condițiile staționale locale și mai puțin sensibile la perturbații decât cele gospodărite în mod tradițional (rotațional). La acestea se adaugă opinia că, prin importanța acordată proceselor naturale și ameliorării diversității arboretelor, CTN sprijină capacitatea adaptativă a ecosistemelor forestiere (Himes et al. 2023, Stritih et al. 2026). Un aspect criticat al CTN și a cărei corectare se încearcă prin trecerea la managementul mai apropiat de natură al pădurilor (CTNFM – vezi mai jos) este limitarea gestionării la nivel de arboret, neexistând un accent pe creșterea heterogenității pădurilor la nivel de peisaj și neglijând diversitatea speciilor între arborete/habitate (beta-diversitatea), precum și dinamica pădurilor pe scară largă (Stritih et al. 2026). O critică la adresa CTN este și apropierea sa de ceea ce Kimmins (1993, în O’Hara 2016) a descris ca „religie verde”, în care plantarea de arbori, utilizarea monoculturilor și folosirea ierbicidelor sunt practici „rele”, iar grădinaritul pe arbori individuali este „bun”, dar unde nu știința este fundamentul acestor opțiuni...

Managementul pădurilor mai apropiat de natură (Closer-to-Nature Forest Management CTNFM)

Conceptul managementului mai apropiat de natură al pădurilor, având ca punct de plecare silvicultura apropiată de natură, a fost propus

în Strategia pentru biodiversitate a UE pentru 2030 (European Commission 2020), ca și în Noua strategie a UE pentru păduri pentru 2030 (European Commission 2021). Aceste două documente programatice au recomandat introducerea și dezvoltarea în continuare a CTNFM ca o practică prietenoasă cu biodiversitatea, deoarece biodiversitatea poate mări productivitatea arboretelor și reziliența ecosistemelor la perturbații (Loreau et al. 2021, Isbell et al. 2015, ambii în EEA 2025), așa cum este cazul secetelor extreme (Isbell et al. 2015, Oliver et al. 2015, ambii în Bottero et al. 2021).

CTNFM este o „umbrelă” acoperind toate abordările care, sub auspiciile gestionării durabile a pădurilor, produc păduri structural și compozițional heterogene și susțin biodiversitatea, reziliența și adaptarea la schimbările climatice a pădurilor gestionate pe baza a șapte principii (Larsen et al. 2022, European Commission 2023):

- i) Conservarea arborilor-habitat, a habitatelor speciale/cheie și a lemnului mort;
- ii) Promovarea speciilor autohtone și a celor exotice adaptate la stațiune;
- iii) Promovarea regenerării naturale a arboretelor;
- iv) Extrageri parțiale și promovarea heterogenității structurale a arboretelor;
- v) Promovarea amestecului de specii și a diversității genetice;
- vi) Evitarea sau utilizarea limitată a intervențiilor și operațiilor silvotehnice intensive (tăieri rase pe suprafețe mari fără păstrarea de arbori de rezervă, îndepărtarea resturilor de exploatare, pregătirea terenului și a solului, utilizarea de pesticide, ierbicide, fertilizanți minerali);
- vii) Asigurarea suportului pentru heterogenitatea și funcționarea peisajului, pornind de la arbori individuali sau grupuri de arbori și arborete.

Aceste șapte principii, prin care se încearcă reconcilierea obiectivelor uneori conflictuale ale Strategiei UE pentru păduri pentru 2030, respectiv atenuarea climatului, conservarea biodiversității și bioeconomia (Stritih et al. 2026), includ câteva aspecte specifice, cum

sunt (Larsen et al. 2022, European Commission 2023):

- Este posibil ca speciile autohtone și exotice adaptate la condițiile staționale trecute și prezente să nu manifeste suficientă capacitate adaptativă la schimbări climatice. Această realitate va face necesară realizarea de amestecuri între speciile autohtone sau adaptate la stațiune și specii exotice pentru producerea de arborete naturale cu capacitate adaptativă ridicată. Utilizarea speciilor autohtone și a proveniențelor locale, recomandată dintr-un punct de vedere clasic conservacionist (folosirea genelor locale, conservate *in situ* și potențial cel mai bine adaptate la acele condiții, unde au fost expuse în timp la perturbații diverse), este însă pusă sub semnul întrebării în condițiile schimbărilor climatice, care conduc la modificări în compoziția arboretelor, iar migrația asistată a speciilor de arbori și proveniențelor reprezintă o soluție (Mauri et al. 2023, în EEA 2024).
- Promovarea regenerării naturale include și introducerea unor proveniențe mai bine adaptate la climatele viitoare, transferate din zone cu secete mai severe. Așa este și cazul utilizării migrației asistate prin plantații de îmbogățire cu material de reproducere mai bine adaptat, prin care se ameliorează diversitatea genetică. Pe aceeași linie se recomandă și utilizarea de plantații cu specii autohtone, proveniențe mixte sau amestecuri de specii autohtone și specii exotice non-invasive, acestea din urmă fiind selectate cu grijă pe baza folosirii unora dintre ele deja de minim 100-150 de ani în spațiul european (cazul salcâmului, al duglasului, al molidului de Sitka, al stejarului roșu).
- Heterogenitatea structurală a arboretelor pluriene, așa cum sunt cele rezultate din aplicarea unor tratamente silviculturale gen tăieri grădinarite pe arbori individuali sau pe buchete (grupe) de arbori, cu ochiuri de maximum 0,2-0,5 ha, imitând perturbațiile naturale, sprijină reziliența arboretelor și capacitatea lor adaptativă, efectul rezultat fiind similar cu amestecul de specii (Dănescu et

al. 2016, în Larsen et al. 2022).

- Arboretele amestecate prezintă o rezistență mai ridicată decât cele pure la hazardele naturale, în prezența sau nu a schimbărilor climatice. În plus, amestecurile de specii sunt mai reziliente decât arboretele pure (Morin et al. 2014, Rfo et al. 2017, Jactel et al. 2017, 2018, Journal et al. 2019, toți în Bus de Warraffe și Angerand 2020).
- Prin creșterea diversității genetice și a speciilor se măresc rezistența și reziliența pădurilor la dăunători exotici, reziliența maximă fiind însă posibilă doar în arborete structural heterogene și amestecate.
- În arboretele parcurse cu rărituri, cu densități mai reduse, crește vitalitatea arborilor rămași și se împiedică acumularea de volume mari pe picior, care pot crește riscurile la vătămări datorate furtunilor, secetei sau insectelor (Hahn et al. 2014, în Larsen et al. 2022).

Prin compararea abilității celor șapte principii de a contribui la (i) rezistența, (ii) reziliența și (iii) capacitatea adaptativă a pădurii a rezultat că toate contribuie într-o oarecare măsură, însă niciunul nu este capabil să îndeplinească aceste trei caracteristici în totalitate, combinarea principiilor respective fiind întotdeauna necesară (Larsen et al. 2022).

La principiile și măsurile de mai sus, Comisia Europeană, în „Liniile directoare ale managementului pădurilor apropiat de natură” (European Commission 2023), a adăugat prezervarea și refacerea solurilor forestiere și a ecosistemelor forestiere din zone umede, înființarea de zone protejate integral (de non-intervenții silviculturale), gestionarea populațiilor de ungulate.

Folosirea principiilor CTNFM în păduri destinate predominant producției de lemn este însă redusă în pădurile din Europa (Larsen et al. 2022), fapt datorat numeroaselor limitări, cum sunt:

- Pierderile economice pentru proprietarii de păduri prin păstrarea arborilor-habitat și reducerea volumului de lemn recoltabil, menținerea acestora putând restricționa accesul în arborete și intervențiile silvotehnice ulter-

rioare, pe fondul inexistenței sau puținătății unor stimulente financiare. În același sens există temerea, printre proprietarii de păduri și alți „actori” forestieri, că implementarea pe scară largă a CTNFM ar putea conduce și la creșterea costurilor de producție sau reducerea producției de lemn, care ar putea afecta obiectivele bioeconomiei (Stritih et al. 2026).

- Necesitatea înlocuirii unor specii autohtone aflate deja în condiții de risc (cazul molidului în monoculturi pure), al căror loc trebuie luat de specii sau proveniențe mai bine adaptate la condițiile viitoare.
- Regenerarea naturală poate fi afectată de populațiile mari de ungulate sau de prezența unor arbori seminceri din specii neadaptate pentru condițiile staționale viitoare ori care nu se regenerează în mod suficient.
- Existența unei legislații care blochează importul materialului forestier de reproducere și amestecul de proveniențe. Ca efect imediat, este imposibilă migrația asistată a speciilor și proveniențelor mai bine adaptate la condițiile climatice viitoare (Lindner et al. 2020).
- Problemele specifice de aplicare a tratamentului tăierilor grădinarite, așa cum sunt personalul înalt calificat, folosirea de tehnologii și utilaje pentru exploatare cu impact redus asupra mediului, problemele de tehnica securității muncii, costurile ridicate cu planificarea, aplicarea și monitorizarea lucrărilor, investiții necesare într-o rețea deasă de drumuri forestiere și căi de colectare, vătămrile inevitabile de exploatare pentru arborii rămași.
- Evitarea sau limitarea intervențiilor silvotehnice intensive amintite mai sus (cazul tăierilor rase pe suprafețe mari sau al utilizării de pesticide, ierbicide, fertilizanți minerali) este sprijinită pe larg de opinia publică și este în concordanță cu legislația de protecție a mediului.
- Se consideră că aplicarea practicilor CTNFM poate reduce biodiversitatea la nivel de peisaj (Schall et al. 2018, în Larsen et al. 2022).

În concluzie, adepții CTNFM, aplicată deja în diverse țări europene (mai ales în păduri publice) cu precădere prin includerea principiilor acesteia, indiferent de tipul de proprietate, în legislația națională (European Commission 2023), consideră că abordarea respectivă „... are potențialul de a sprijini biodiversitatea, de a adapta pădurile la schimbările climatice și de a oferi servicii ecosistemice suplimentare față de gestionarea tradițională a pădurilor” (Larson et al. 2022). Acest fapt este posibil însă doar în condițiile în care milioanele de proprietari de păduri private din Europa vor fi convinși să urmeze o astfel de abordare, prin revederea schemelor de subvenții, compensații și impozitări care afectează silvicultura privată (Puettmann et al. 2015, Lindner et al. 2020, Larsen et al. 2022). Așa este cazul instrumentelor de finanțare la nivel european care pot sprijini aplicarea CTNFM, așa cum sunt Politica Agricolă Comună, programul LIFE, Fondul de Dezvoltare Regională și Fondul de Coeziune, Instrumentul de Sprijin Tehnic etc (European Commission 2023, EEA 2024). Oricum, așa cum se recunoaște în Liniile directoare amintite (European Commission 2023), „... înlocuirea unui model de silvicultură convențională, bazat în mod tipic pe silvicultura arboretelor echene, cu abordări alternative, mai ecologice, este un proces lung, care necesită continuitate și consolidare”.

Silvicultura cu acoperiș continuu (Continuous Cover Forestry CCF)

Această strategie alternativă, descrisă ca o „abordare apropiată de natură”, „abordare holistică”, „abordare ecologică” (Mason et al. 1999), a apărut ca reacție la arboretele echene și omogene compuse din puține specii, care caracterizează managementul rotațional tradițional, concentrat pe producția de lemn și bazat mai ales pe tăieri rase (alături de tăieri succesive), urmate de reîmpăduriri (Mason 2021, Mason et al. 2021, Stritih et al. 2026). Este situația întâlnită predominant în Marea Britanie și Irlanda, țările de origine a CCF la începutul

anilor 1990 (Mason et al. 1999, Mason 2021). În aceste țări, suprafața împădurită a crescut între începutul secolului trecut și prezent de la 1% (Vítková et al. 2013) la 11,6% în Irlanda (Government of Ireland 2023), respectiv de la 4,7% la 14% în Marea Britanie (Forest Research 2025), prin plantații cu specii de rășinoase exotice (molid de Sitka *Picea sitchensis*, *Pinus contorta*, larice japonez *Larix kaempferi*) și autohtone (pin silvestru) conduse prin binomul tăieri rase-reîmpăduriri. S-a ajuns astfel la situația în care rășinoasele ocupă 69,4% din suprafața pădurilor Irlandei (Government of Ireland 2023), respectiv 51% din pădurile Marii Britanii (Forest Research 2022, 2025). Plantațiile echene și pure cu astfel de specii, având molidul de Sitka specia dominantă în ambele țări, sunt grupate majoritar la vârste mici: 60% din suprafața pădurilor britanice au vârsta până la 40 de ani (Forest Research 2022, 2025), iar cele irlandeze cu vârsta de maximum 30 de ani ocupă 70% (Government of Ireland 2023).

CCF este bazată pe considerentul că ar fi potrivită pentru silvicultura multifuncțională, unde obiectivele de mediu, recreaționale, estetice sunt la fel de importante ca producția de lemn (Mason et al. 1999, Mason 2021). Elementul distinctiv al CCF este evitarea aplicării tăierilor rase pe parchete, urmat de reîmpăduriri (tratament aplicat în epoca de început pe cel puțin 90% din suprafața arboretelor exploatabile din spațiul britanic, cu o mărime de 5-10 ha), pe o suprafață mai mare de 0,25 ha sau mai mare de două înălțimi de arboret fără păstrarea unor arbori maturi (Mason et al. 1999, Dhubháin 2003). În acest scop, CCF se bazează pe regenerarea naturală a arboretelor (care poate fi însă completată pe cale artificială cu specii de „îmbogățire” - Dhubháin 2003, McMahon și Sarshar 2025), obținută prin utilizarea de tratamente silviculturale cu tăieri continue sau repetate și regenerare sub masiv și „impact redus” gen tăieri grădinărite pe arbori individuali, tăieri grădinărite pe buchete (grupe) de arbori și tăieri cvasigrădinărite. Acestea asigură, în principiu, pe lângă regenerarea naturală sub masiv din sămânță, și producerea de

arborete cu structuri neregulate (Mason et al. 1999, Dhubháin 2003, Mason et al. 2021, McMahon și Sarshar 2025). În plus, în condițiile în care răriturile de jos nu ameliorează potențialul de adaptare a arboretelor (Lindner 2000), CCF recomandă utilizarea răriturilor de sus, cu rol-cheie în transformarea culturilor pure și echiene, cum sunt cele din spațiul britanic și irlandez, spre structurile neregulate specifice CCF, prin eliminarea exemplarelor de mai slabă calitate sau competitori ale arborilor de viitor (valoare), aleși pe baza criteriilor calitate-vigoare-spațiere înainte de începerea aplicării răriturilor (Vítková și Dhubháin 2013, Vítková et al. 2013). Prin utilizarea acestui tip de rărituri se favorizează dezvoltarea structurală a arboretelor și favorizarea celor mai valoroase exemplare, care să producă arborii groși doriți la vârste mai reduse, considerate optime din punct de vedere economic (McMahon și Sarshar 2025).

În mod practic, aplicarea CCF în spațiul Marii Britanii și Irlandei, unde reprezintă alternativa la tăieri rase în parchete, este recomandată acolo unde sunt dorite modificări minime ale peisajului (publicul din cele două țări are obiecții în creșterea la impactul vizual negativ al tăierilor rase, mai ales acolo unde acestea sunt foarte vizibile în peisaj - Dhubháin 2003, Vítková și Dhubháin 2013), în păduri cu rol recreativ, situate mai ales în proximitatea orașelor, în arborete de menținut pe picior până la maturitatea biologică, în condiții unde reîmpădurirea/regenerarea este dificil de obținut prin tăieri în condiții de eficiență economică (Mason et al. 1999, Vítková și Dhubháin 2013). Așa este cazul arboretelor cu condiții favorabile pentru regenerarea naturală, care nu este limitată de densitățile ridicate ale populațiilor de ungulate (necesar sub 5-10 exemplare la 100 ha), al stațiunilor unde riscul doborâturilor de vânt este slab-moderat, respectiv situate pe soluri filtrante (cu drenaj intern bun), care să permită o înrădăcinare cât mai profundă a arborilor (Mason et al. 1999, Dhubháin 2003). Prin măsurile propuse, care măresc diversitatea speciilor și structurilor arboretelor, se prognozează creșterea

rezilienței arboretelor la schimbări climatice, creșterea rezistenței la boli și dăunători, la acțiunea vântului pe stațiuni expuse slab și moderat la acțiunea acestuia, reducerea cheltuielilor cu regenerarea (Mason 2021). În plus, pădurile gospodărite în CCF sunt mai diverse și mai naturale, cu un conținut mai ridicat de biodiversitate, prezintă o stocare sporită a carbonului, au o valoare estetică superioară (McMahon și Sarshar 2025). În cazul plantațiilor echiene și pure, predominant cu specii de rășinoase, trecerea de la structura regulată la cea neregulată trebuie să înceapă devreme, în faza de pârș (Hale et al. 2004, în Vítková și Dhubháin 2013). În acest scop, deși astfel de plantații se conduc în mod obișnuit cu rărituri de jos, în prezent se recomandă aplicarea de la primele intervenții a răriturilor forte de sus, pentru promovarea creșterii în diametru, a creșterii volumului rădăcinilor (care să asigure o ancorare superioară în sol) și coroanelor. În jurul arborilor de viitor, aleși pe baza criteriilor amintite, se elimină 1-3 exemplare competitori, situate în partea superioară a coroanamentului, iar calitatea lor se ameliorează prin aplicarea elagajului artificial (Vítková și Dhubháin 2013). După aplicarea răriturilor, exemplarele exploatabile se extrag la atingerea diametrului-țel stabilit (Vítková și Dhubháin 2013).

CCF prezintă unele dezavantaje economice, între care costurile mai ridicate atât ale exploatării, comparativ cu tăierile rase, cât și ale gestionării, datorate nevoii de inventariere a arboretelor, cât și competențelor superioare din partea silvicultorilor practicieni (McMahon și Sarshar 2025). Le acestea se adaugă și faptul că (Puettmann et al. 2015, Mason 2021, McMahon și Sarshar 2025):

- buștenii groși, rezultați prin aplicarea CCF, sunt dificil de vândut acolo unde industria de prelucrare a lemnului lucrează cu bușteni de dimensiuni mijlocii, produși în arborete cu tăieri rase exploatare la vârste mai mici;
- tratamentele specifice CCF sunt mai complicate și necesită silvicultori competenți, precum și existența unei rețele dese de căi de acces;

- transformarea plantațiilor pure și echiene spre arborete cu structuri neregulate și amestecate, adesea începută târziu și în arborete nerărite regulat, durează chiar și peste 100 de ani (Schütz 2001, în Vítková și Dhubhain 2013), iar succesul acestei operații nu este garantat, cu potențiale probleme legate de stabilitatea arboretului și creșterea riscului de doborâturi de vânt.

CCF este aplicat pe o suprafață redusă în cele două țări (spre exemplu, sub 2% în Irlanda) și necesită un suport financiar pentru introducerea și utilizarea sa; în prezent, astfel de granturi specifice nu există (Mason 2021). În plus, între limitele aplicării CCF există și inerția personalului silvic, obișnuit cu simplitatea sistemului tăieri rase-reîmpădurire și reticent la a încerca soluții tehnice mai complicate, fapt datorită eșecurilor vizibile ale unor experiențe silviculturale alternative din trecut (Puettmann et al. 2015), precum și conștientizarea insuficientă a beneficiarilor CCF legat de avantajele acestui sistem. Cu toate acestea, în diverse părți ale Europei există un interes în creștere pentru aplicarea CCF, datorită opiniei că arboratele gestionate astfel sunt mai bine adaptate la schimbările climatice pe fondul stabilității, al structurii diversificate și al diversității genetice mai ridicate (Stokes și Kerr 2009, Kúchli 2013, ambii în Vítková și Dhubhain 2013).

Silvicultura inteligentă din punct de vedere climatic (Climate-Smart Forestry CSF)

CSF este un concept similar cu cel al „agriculturii inteligente din punct de vedere climatic” (Climate-Smart Agriculture), adoptat de Organizația Națiunilor Unite pentru Alimentație și Agricultură (FAO) la Conferința pentru Agricultură, Securitate alimentară și Schimbări climatice de la Haga din anul 2010 (Nabuurs et al. 2018, Bowditch et al. 2020, Weatherall et al. 2022).

CSF, noțiune care a fost utilizată pentru prima oară în anul 2015, nu intenționează să înlocuiască conceptul de gestionare durabilă a pădurilor (este parte a acestuia, chiar și ca un

„component opțional” – Cooper și MacFarlane 2023), ci reprezintă o abordare adaptativă durabilă pentru a mări beneficiile climatice datorate pădurilor și sectorului forestier într-un mod care creează sinergii cu alte produse și servicii legate de păduri (Nabuurs et al. 2018, Bowditch et al. 2020).

Abordarea CSF a pornit de la realitatea că atenuarea semnificativă a schimbărilor climatice, datorată pădurilor și sectorului forestier, este o combinație între (i) fixarea carbonului de către arborii individuali, (ii) fixarea carbonului în vegetația și solurile forestiere și (iii) efectul de substituție a combustibililor fosili cu bioenergia datorată pădurilor, respectiv de folosire a lemnului pentru înlocuirea materialelor energofage, cu amprentă de carbon importantă (Nabuurs et al. 2018, Bowditch et al. 2020, Weatherall et al. 2022).

În acest context, adaptarea pădurilor la schimbările climatice, ca parte a CSF, include trei piloni (Nabuurs et al. 2018, Spathelf 2019, Bowditch et al. 2020, Chizmar și Parajuli 2022, <https://www.climatesmartforestry.org>):

i) Reducerea sau eliminarea CO₂ (și a altor gaze cu efect de seră) pentru atenuarea schimbărilor climatice.

ii) Adaptarea managementului forestier pentru ameliorarea rezilienței pădurilor – este cel mai ușor abordată la nivel local, unde sunt considerate atât viitoarele riscuri climatice, cât și beneficiile și costurile unor abordări diferite de management al pădurilor (Ciurean et al. 2013, în Brack et al. 2013).

iii) Management forestier activ, cu scopul de a crește productivitatea și veniturile obținute din pădure și pentru a asigura durabil toate beneficiile posibile de pe urma pădurii.

Pentru realizarea acestor obiective, între care sechestrarea carbonului nu trebuie prioritarizată, în detrimentul rezilienței, biodiversității, al furnizării durabile de bunuri și servicii de către pădure (Chizmar și Parajuli 2022, Cooper și MacFarlane 2023), CSF utilizează unele măsuri de adaptare la condițiile climatice prezente și viitoare care promovează diversitatea genetică, compozițională, structurală și

funcțională la nivel de arboret și peisaj, cum ar fi (Kauppi et al. 2018, Nabuurs et al. 2018, Spathelf 2019, Bowditch et al. 2020, Chizmar și Parajuli 2022):

- Favorizarea instalării arboretelor amestecate, preponderent pe cale naturală, dar și prin plantare, pentru creșterea rezistenței/rezilienței pădurilor la schimbări climatice;
- Utilizarea de noi proveniențe, mai bine adaptate la viitoarele condiții climatice și cu creștere mai rapidă;
- Substituirea speciilor sensibile la schimbările climatice, așa cum este molidul, cu unele specii autohtone (spre exemplu, brad și pin silvestru) sau chiar cu duglasul verde;
- Evitarea despăduririlor și împădurirea terenurilor agricole abandonate;
- Migrația asistată a speciilor și proveniențelor (o măsură considerată riscantă – Himes et al. 2023 -, însă propusă în condițiile posibilei creșteri a temperaturii medii anuale cu peste 4°C până la finele secolului actual – Spathelf 2019);
- Introducerea de specii exotice cu performanțe productive și riscuri reduse (ex. duglasul verde, bradul uriaș (*Abies grandis*), laricele japonez (*Larix kaempferi*), *Thuja plicata*, stejarul roșu);
- Mărirea rezistenței/rezilienței arboretelor prin creșterea intensității răriturilor, din care rezultă (1) ameliorarea disponibilității apei pentru arborii individuali rămași prin reducerea densității arboretului și (2) o mai rapidă recuperare a arborilor cu coroane mari („arbori de viitor fiziologici”) după episoade de secetă;
- Scurtarea vârstei exploatabilității, în condițiile unei silviculturi mai dinamice, care asigură atât producerea mai devreme de arbori cu diametre-țel urmărite, cât și reducerea riscului de producere a unor evenimente climatice gen doborâturi de vânt, al căror risc crește odată cu creșterea înălțimii arboretelor.

Măsurile CSF trebuie identificate și aplicate local sau regional, iar soluție unică (posibil de aplicat în toată Europa) nu există (Nabuurs et al. 2018).

Prin modul de acțiune propus, se consideră că CSF „... este cea mai rapidă și mai durabilă modalitate prin care pădurile pot contribui la atenuarea schimbărilor climatice. Silvicultura inteligentă din punct de vedere climatic stochează carbonul în păduri și produse din lemn, înlocuiește materiile prime, energia și produsele pe bază de combustibili fosili, promovează creșterea pădurilor și le face mai rezistente la schimbările climatice” (Nabuurs et al. 2018). Aceasta se estimează că ar putea contribui la atenuarea emisiilor de CO₂ din țările UE cu până la 20% până în 2050 (Nabuurs et al. 2017, în Kauppi et al. 2018).

Concluzii

Din cele prezentate pe larg rezultă cu claritate că pădurile sunt supuse unor presiuni în creștere, unor evenimente-surpriză, unor provocări și incertitudini, în contextul schimbărilor climatice, al necesității conservării biodiversității și al rolului pe care trebuie să îl joace în acoperirea nevoilor de produse și servicii ale unei societăți în continuă creștere demografică. În aceste condiții, managementul adaptativ și proactiv al pădurilor, opus ideilor de conservare intactă, non-intervenționistă, a acestora, cu precădere pentru stocarea carbonului în acestea (o recomandare „prea simplă pentru a fi un răspuns complet la problema atenuării schimbărilor climatice - Kauppi et al. 2018), apare ca o obligație, datorită numeroaselor beneficii pentru ecosistemele forestiere pe care le oferă. Din păcate, managementul adaptativ nu este un panaceu, care nu poate produce o soluție optimă, pentru că nu poate elimina nici evenimentele „surpriză” și nu elimină, în mod cert, riscurile și provocările.

Ne întrebăm, alături de profesorul Kevin O’Hara (2016), de la University of California, Berkeley-S.U.A., dacă silvicultura viitorului, care trebuie să fie foarte variată („Managementul pentru diversitate necesită diversitate în management” – Evans și Hibberd 1990, în Spathelf 2019) și flexibilă, va urma vreunele

din abordările detaliate mai sus sau va îmbrăca forma „silviculturii libere”. Aceasta, care oferă libertate deplină de acțiune silvicultorului practicant, însă necesită competență profesională și continuitate, este introdusă recent (Graham și Jain 2005, Bončina 2011, O’Hara 2014, toți în O’Hara 2016) și aplicată cu succes de circa 15 ani în Slovenia, unde a înlocuit parțial tăierile grădinarite, alături de tăierile cvasigrădinarite, care sunt dominante în spațiul sloven (Čater și Diaci 2021, <https://adria-balkan.fsc.org/en/forest-ecosystems/forests-in-slovenia>). Silvicultura liberă combină principiile grădinaritului pe arbori individuali cu ale cvasigrădinaritului și include toate tipurile de intervenții silvotehnice, de la lucrări de îngrijire și conducere la recoltarea de arbori exploatabili, însă fără lucrări laborioase de planificare și monitorizare a fondului de producție ca în codrul grădinarit (<https://adria-balkan.fsc.org/en/forest-ecosystems/forests-in-slovenia>). Este acea silvicultură care, pe lângă aspectele caracteristice silviculturii arboretelor neregulate, amestecate, regenerare pe cale naturală, recunoaște și importanța măsurilor adaptative „artificiale”, care se îndepărtează de natură, cum ar fi utilizarea plantațiilor, inclusiv cu specii exotice, deplasarea speciilor în afara arealului natural (migrația asistată) sau instalarea de arborete echiene (O’Hara 2016).

Profesorul Marin Drăcea, în cursul de Silvicultură (1920-1921), cu clarviziunea sa unică, spunea că „... omul e dator să îndrepte natura, acolo unde ea lucrează încet sau în contra pădurii”. Iar profesorul O’Hara (2016) îl completează, la aproape o sută de ani: „... e timpul să recunoaștem că rolul silviculturii este acela de a fi mai bună decât natura”...

Bibliografie

- Académie des Sciences/Institut de France, 2023. Les forêts françaises face au changement climatique. Rapport du Comité des sciences de l’environnement de l’Académie des sciences et points de vue d’Académiciens de l’Académie d’Agriculture de France, juin 2013, Paris, 50 p.
- Anonymous, 2008. Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation. EFI-BOKU-IFE-INRA-UMR-IAFS, AGRI-2007-G4-06. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development, Bruxelles, 173 p.
- Antonucci S., Santopuoli G., Marchetti M., Tognetti R., Chiavetta U., Garfi V., 2021. What Is Known About the Management of European Beech Forests Facing Climate Change? A Review. *Current Forestry Reports* 7:321–333. doi: 10.1007/s40725-021-00149-4
- Barbu I., Curcă M., Barbu C., Ichim V., 2016. Adaptarea pădurilor României la schimbările climatice. Editura Silvică, Voluntari, 380 p.
- Bolte A., Ammer C., Löff M., Madsen P., Nabuurs G.-J., Schall P., Spathelf P., Rock J., 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(6): 473-482. doi: 10.1080/02827580903418224
- Bolte A., Ammer C., Löff M., Madsen P., Nabuurs G.-J., Schall P., Spathelf P., 2009. Adaptive Forest Management: A Prerequisite for Sustainable Forestry in the Face of Climate Change. În: *Sustainable Forest Management in a Changing World: a European Perspective* (ed. P. Spathelf), Springer, Dordrecht-Heidelberg-London-New York, p. 115-140.
- Bottero A., Forrester D.I., Cailleret M., Kohnle U., Gessler A., Michel D., Bose A.K., Bauhus J., Bugmann H., Cuntz M., Gillerot L., Hanewinkel M., Lévesque M., Ryder J., Sainte-Marie J., Schwarz J., Yousefpour R., Zamora-Pereira J.C., Rigling A., 2021. Growth resistance and resilience of mixed silver fir and Norway spruce forests in central Europe: Contrasting responses to mild and severe droughts. *Global Change Biology*, 27:4403–4419. doi: 10.1111/gcb.15737
- Bowditch E., Santopuoli G., Binder F., del Río M., La Porta N., Klůvankova T., Lesinski J., Motta R., Pach M., Panzacchi P., Pretzsch H., Temperli C., Tonon G., Smith M., Velikova V., Weatherall A., Tognetti R., 2020. What is Climate-Smart Forestry? A definition from a multinational collaborative process focused on mountain regions of Europe. *Ecosystem Services* 32, 1011.13. doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101113
- Brack D., 2019. Forests and Climate Change. Background study prepared for the fourteenth session of the United Nations Forum on Forests. *Forests and SDG13*, March 2019, 56 p.
- Brang P., Spathelf P., Larsen J.B., Bauhus J., Bončina A., Chauvin C., Drössler L., Garcia-Güemes C., Heiri C., Kerr G., Lexer M.J., Mason B., Mohren F., Mühlethaler U., Nocentini S., Svoboda M., 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry* 87: 492–503, doi:10.1093/forestry/cpu018
- Brichta J., Šimůnek V., Bílek L., Vacek Z., Gallo J., Drozdowski S., Bravo-Fernández J. A., Mason B., Roig Gomez S., Hájek V., Vacek S., Štícha V., Brabec P., Fuchs Z., 2024. Effects of Climate Change on Scots Pine

- (*Pinus sylvestris* L.) Growth across Europe: Decrease of Tree-Ring Fluctuation and Amplification of Climate Stress. *Forests*, 15(1), 91. doi: 10.3390/f15010091
- Bus de Warnaffe G. du, Angerand S., 2020. Gestion forestière et changement climatique. Une nouvelle approche de la stratégie nationale d'atténuation. LIFE, Fédération des Amis de la Terre France, Canopée, Fern, Paris, 80 p.
- Camill P., 2010. Global Change: An Overview. *Nature Education Knowledge* 3(10): 49. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/global-change-an-overview-13255365/>
- Carle H., Bauman D., Evans M.N., Coughlin I., Binks O., Ford A., Bradford M., Nicotra A., Murphy H., Meir P., 2025. Aboveground biomass in Australian tropical forests now a net carbon source. *Nature*, vol. 646, 10 October 2025, 611-618. doi: 10.1038/s41586-025-09497-8
- Chambers J.Q., Nogueira Lima A.J., Pastorello G., Oliva Gimenez B., Meng L., Dyer L.A., Feng Y., Santos da Silva C., Costa de Oliveira R., Weber A., Koven C., Negrón-Juárez R., Spanner G.C., Gaiu T.D., Fontes C.G., de Araújo A.C., McDowell N., Leung R., Magnabosco Marra D., Warren J., Souza D.C., Wright C., Jardine K., Longo M., Xu C., Fine P.V.A., Fisher R.A., Tomasella J., dos Santos J., Higuchi, N., 2025. Hot droughts in the Amazon provide a window to a future hypertropical climate. *Nature*, 10 December 2025. doi: 10.1038/s41586-025-09728-y
- Chizmar S., Parajuli R., 2022. What is Climate Smart Forestry? A brief overview. NC State Extension Publications, Raleigh, 4 p.
- Codul silvic – Legea 331/2024. Parlamentul României, Monitorul Oficial al României nr. 7 din 9 ianuarie 2025.
- Coll L., Ameztegui A., Collet C., Löf M., Mason B., Pach M., Verheyen K., Abrudan I., Barbatí A., Barreiro S., Bielak K., Bravo-Oviedo A., Ferrari B., Govedar Z., Kulhavy J., Lazdina D., Metslaid M., Mohren F., Pereira M., Peric S., Rasztovits E., Short I., Spathelf P., Sterba H., Stojanovic D., Valsta L., Zlatanov T., Ponette, Q., 2018. Knowledge gaps about mixed forests: what do European forest managers want to know and what answers can science provide? *Forest Ecology and Management* 407:106-115. doi: 10.1016/j.foreco.2017.10.055
- Collalti A., Trotta C., Keenan T. F., Ibrom A., Bond-Lamberty B., Grote R., Vicca S., Reyer C.P.O., Migliavacca M., Veroustraete F., Anav A., Campioli M., Scoccimarro E., Šigut L., Grieco E., Cescatti A., Matteucci G., 2018. Thinning can reduce losses in carbon use efficiency and carbon stocks in managed forests under warmer climate. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10, 2427–2452. doi: 10.1002/2018MS001275
- Cooper L., MacFarlane D., 2023. Climate-Smart Forestry: Promise and risks for forests, society, and climate. *PLOS Climate* 2(6): e0000212, 26 p. doi: 10.1371/journal.pclm.0000212
- C3S, WMO, 2025. European State of the Climate 2024. Copernicus Climate Change Service (C3S) and World Meteorological Organization, 99 p. climate.copernicus.eu/ESOTC/2024. doi: 10.24381/14j9-s541
- Corona P., 2023. The Forest Factor Conference: More Nature to Fight Climate Change. *IUFRO News*, Vol. 52, Double Issue 7&8, p. 4.
- Coșofreț C., Bouriaud L., 2019. Which silvicultural measures are recommended to adapt forests to climate change? A literature review. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II, Forestry-Wood Industry-Agricultural Food Engineering*, 12(61):13-33. doi: 10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.2
- Čater M., Diaci J., 2021. Forest management silvicultural systems. In: *Forests and forestry in Slovenia*. Slovenian Forestry Institute, The Silva Slovenica Publishing Centre, Ljubljana, p. 36-53.
- Dhubháin A.N., 2003. What is continuous cover forestry (CCF)? COFORD, Dublin, 6 p.
- Drăcea M., 2020. *Curs de Silvicultură 1920-1921*. Editura Mirton, Timișoara (2018), 729 p.
- EEA, 2024. European climate risk assessment. EEA Report 1/2024. European Environment Agency, Copenhagen, 486 pp. doi: 10.2800/8671471
- Elkin C., Giuggiola A., Rigling A., Bugmann H., 2015. Short- and long-term efficacy of forest thinning to mitigate drought impacts in mountain forests in the European Alps. *Ecological applications*, Volume 25, Issue 4, pp. 1083-1098. doi: 10.1890/14-0690.1
- EC, 2006. The EU Forest Action Plan 2007-2011. European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development, Bruxelles, 25 p.
- Egger C., Grima N., Kleine M., Radosavljevic M. (eds.), 2024. Europe's wood supply in disruptive times. An evidence-based synthesis report. *IUFRO World Series*, Volume 42, International Union of Forest Research Organizations, Vienna, 160 p.
- English J., 2020. Spruce bark beetles and its impacts on wood marked. 9th June 2020. <https://internationalforestinstitut.com/2020/06/09/spruce-bark-beetle-impact-wood-markets/>
- European Commission, 2020. EU Biodiversity Strategy for 2030. Bringing nature back to our lives. European Commission, Brussels, 20.5.2020, COM(2020), 380 final, 22 p.
- European Commission, 2021. New EU Forest Strategy for 2030. European Commission, Brussels, 16.7.2021, COM(2021), 572 final, 27 p.
- European Commission, 2023. Guidelines on Closer-to-Nature Forest Management. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 98 p.
- FAO, 2025. Global Forest Resources Assessment 2025. FAO, Rome, 188 p. <https://doi.org/10.4060/cd6709en>
- Fernández-de-Uña L., Cañellas I., Gea-Izquierdo G., 2015. Stand Competition Determines How Different Tree Species Will Cope with a Warming Climate. *PLoS ONE* 10(3): e0122255. doi: 10.1371/journal.pone.0122255
- Fitzgerald J., Lindner M. (eds.), (2013) *Adapting to climate change in European forests - Results of the MOTIVE project*. Pensoft Publishers, Sofia, 108 p.

- FOREST EUROPE, 2020a. State of Europe's forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forest in Europe – FOREST EUROPE, Liaison Unit Bratislava, 392 p.
- FOREST EUROPE, 2020b. Adaptation to Climate Change in Sustainable Forest Management in Europe. Liaison Unit Bratislava, Zvolen, 52 p.
- Forest Research, 2022. Forestry Statistics 2022. Chapter 1: Woodland Area & Planting. Forest Research, Roslin, 59 p.
- Forest Research, 2025. Forestry Statistics 2025. Chapter 1: Woodland Area & Planting. Forest Research, Roslin, 80 p.
- Ganatsas P., Tsakalimi M., Karydopoulos T., Papaemannuil A., Papadopoulos S., 2024. Long-term effect of different forest thinning intensity on carbon sequestration rates and potential uses in climate change mitigation actions. *Mitigation, Adaptation, and Strategies for Global Change*, 29(3): 1-22. doi: 10.1007/s11027-023-10102-4
- Gebhardt T., 2016. *Picea abies* and climate change – does increasing thinning intensity prevent drought stress? *Waldbau und Waldökologie der Gemäßigten Zonen*, Georg-August-Universität Göttingen, Ph.D. Dissertation, Göttingen, 134 p.
- Gohli J., Krokene P., Solbjørg Flo Heggem E., Økland B., 2024. Climatic and management-related drivers of endemic European spruce bark beetle populations in boreal forests. *Journal of Applied Biology*, 61: 809-820. doi: 10.1111/1365-2664.14606
- Government of Ireland, 2023. Ireland's National Forest Inventory 2022. Main Findings. Department of Agriculture, Food and the Marine, Government Publications, Dublin, 56 p.
- Gregor K., Knoke T., Krause A., Reyer C.P.O., Lindeskog M., Papastefanou P., Smith B., Lansø A-S., Rammig A., 2022. Trade-offs for climate-smart forestry in Europe under uncertain future climate. *Earth's Future*, volume 10, issue 9, e2022EF002796, 1-25. doi: 10.1029/2022EF002796
- Hilmers T., Schmied G., Pretzsch H., 2022. Legacy effects of past thinnings modulate drought stress reactions at present, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 37(3): 182-199. doi: 10.1080/02827581.2022.2096920
- Himes A., Bauhus J., Adhikari S., Kanta Barik S., Brown H., Brunner A., Burton P.J., Coll L., D'Amato A.W., Diaci J., Dorji Y., Foli E.G., Ganz D.J., Hall J.S., Keenan R., Lu Y., Messier C., Munanura I., Piotto D., Seifert T., Sheil D., Shorohova E., Sisay K., Soto D., Tanaka H., Umunay P., Velázquez Martínez A., Puettmann K.J., 2023. Forestry in the Face of Global Change: Results of a Global Survey of Professionals. *Current Forestry Reports*, 9: 473-489. doi: 10.1007/s40725-023-00205-1
- Hlásny T., Zimová S., Merganičová K., Štěpánek P., Modlinger R., Turčáni M., 2021. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management*, 490: 119075. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119075.
- Hörl J., Keller K., Yousefpour R., 2020. Reviewing the performance of adaptive forest management strategies with robustness analysis. *Forest Policy and Economics*, 119: 102289. doi: 10.1016/j.forpol.2020.102289
- INS, 2022. Anuarul statistic al României 2021. Institutul Național de Statistică, București, 745 p.
- INS, 2024. Anuarul statistic al României 2023. Institutul Național de Statistică, București, 729 p.
- INS, 2025. Anuarul statistic al României 2024. Institutul Național de Statistică, București, 725 p.
- IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Jaakkola E., Gärtner A., Jönsson A.M., Ljung K., Olsson P.-O., Holst T., 2023. Spruce bark beetles (*Ips typographus*) cause up to 700 times higher bark BVOC emission rates compared to healthy Norway spruce (*Picea abies*). *Biogeosciences*, 20: 803-826. doi: 10.5194/bg-20-803-2023
- Jandl R., Spathelf P., Bolte A., Prescott C.E., 2019. Forest adaptation to climate change – is non-management an option? *Annals of Forest Science*, 76:48, 1-13. doi: 10.1007/s13595-019-0826-x
- Janowiak M., Nagel L., Peterson C., 2023. What does adaptive silviculture look like? *Yale Climate-Smart Forestry series*, September 25, 2023, 35 slide-uri.
- Ioniță M., Navagciuc V., 2025a. Temperatură și valuri de căldură în România. În: *Starea climei – România 2025*. Ediția a doua (ed. Cebotari, S., Roseti, A., Iosif, A.), Info Clima, București, 17 p.
- Ioniță M., Navagciuc V., 2025b. Secetă, aridizare și precipitații în România. În: *Starea climei – România 2025*. Ediția a doua (ed. Cebotari, S., Roseti, A., Iosif, A.), Info Clima, București, 16 p.
- Kauppi P., Hanewinkel M., Lundmark T., Nabuurs G.J., Peltola H., Trasobares A., Hetemäki L., 2018. Climate smart forestry in Europe. *European Forest Institute*, Joensuu, 19 p.
- Keeton W.S., McCallum S., Kuraš K., Fischer E., Egerer H., 2025. Assessment of climate risks and adaptation options for Carpathian forest ecosystems and their services. Secretariat of the Carpathian Convention, Vienna, Austria. 65 p.
- Kohnle U., 2023. Durchforsten im Klimawandel – Risiko oder Prävention. *Rheinische Bauernzeitung*, 77 (9): 24-25.
- Kolström M., Lindner M., Vilén T., Maroschek M., Seidl R., Lexer M.J., Netherer S., Kremer A., Delzon S., Barbati A., Marchetti M., Corona P., 2011. Reviewing the Science and Implementation of Climate Change Adaptation Measures in European Forestry. *Forests* 2, 961-982; doi:10.3390/f2040961
- Larsen J.B., Angelstam P., Bauhus J., Carvalho J.F., Diaci J., Dobrowolska D., Gazda A., Gustafsson L., Krumm F., Knoke T., Konczal A., Kuuluvainen T., Mason B., Motta R., Pötzelsberger E., Rigling A., Schuck A.,

2022. Closer-to- Nature Forest Management. From Science to Policy 12. European Forest Institute, 53 p. <https://doi.org/10.36333/fs12>
- Lawrence A., 2017. Adapting through practice: Silviculture, innovation and forest governance for the age of extreme uncertainty. *Forest Policy and Economics*, 79: 50-60. doi: 10.1016/j.forpol.2016.07.011
- Leuschner C., Weithmann G., Bat-Enerel B., Weigel R., 2023. The Future of European Beech in Northern Germany-Climate Change Vulnerability and Adaptation Potential. *Forests*, 14, 1448: 1-22. doi: 10.3390/f14071448
- Lindner M., 2000. Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change. *Tree Physiology*, 20: 299-307.
- Lindner M., 2019. Climate Change and Adaptation Challenge. Forest Europe Workshop "Pro-active management of forests to combat climate change driven risks – Policies and measures for increasing forest resilience and climate change adaptation", 3-4 September 2019, Istanbul, Turkey, 13 slide-uri.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698-709. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.023
- Lindner M., Kies U., Viljanen A., Lloret F., Ludvig A., Cantarello E., Seidl R., Stern T., Nabuurs G.-J., Toppinen A., Schifferdecker G., Alonso Martínez L., Bauhus J., Baumbach L., Bozzolan N., D'Adamo F., Espelta J.M., García Jácome S., Grünig M., Hagauer D., Hlásny T., Hoeben A.D., Holder J., Jankovský M., Kičić M., Kunstler G., Kunttu J., Lautrup M., Mäkelä A., Martínez Vilalta Ostrogović J., Patacca M., Pelli P., Peltoniemi M., Picos J., Rammer W., Reineking B., Rois-Díaz M., Schmid B., Senf C., Short I., Spazzi J., Uzquiano S., Vuletić D., Whitehead I., Willig, J., 2025. Deliverable D5.6. Policy and practice recommendations for improving forest resilience. Horizon 2020 project RESONATE, grant no. 101000574, European Forest Institute and University of Helsinki. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15252633>
- Locatelli T., 2025. How to windstorms affect forests in Europe? <https://efi.int/forestquestions/q26>
- Mason B., 2021. Encouraging Greater Use of Continuous Cover Forestry. *Quarterly Journal of Forestry*, 115(1): 46-54.
- Mason B., Kerr G., Simpson J., 1999. What is Continuous Cover Forestry? Forestry Commission, Edinburgh, 8 p.
- Mason W.L., Petr M., Bathgate S., 2012. Silvicultural strategies for adapting planted forests to climate change: from theory to practice. *Journal of Forest Science*, 58(6): 265–277. doi: 10.17221/105/2011-JFS
- Mason W.L., Diaci J., Carvalho J., Valkonen S., 2021. Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. *Forestry*, 95: 1–12. doi: 10.1093/forestry/cpab038.
- Mattsson B.J., Irauschek F., Yousefpour R., 2018. Gaps in Quantitative Decision Support to Inform Adaptive Management and Learning: a Review of Forest Management Cases. *Current Forestry Reports*, 4: 111-124. doi: 10.1007/s40725-018-0078-3
- McMahon P., Sarshar D., 2025. Investing in Continuous Cover Forestry in Europe. SLM White Paper, Sustainable Land Management Partners, London, 31 p.
- McNee J., 2020. Spruce bark beetle's devastating impact on German forests. 10th October 2020. <https://www.forestryjournal.co.uk/features/18766981.fighting-losing-battle/>
- Messier C., Bauhus J., Doyon F., Maure F., Sousa-Silva R., Nolet P., Mina M., Aquilué N., Fortin M.J., Puettmann K., 2019. The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems*, 6: 21, 1-16. doi: 10.1186/s40663-019-0166-2
- Messier C., Potvin C., Muys B., Brancalion P., Chazdon R., Seidl R., Bauhus J., 2022. Warning: Natural and Managed Forests are Losing their Capacity to Mitigate Climate Change. *The Forestry Chronicle*, 98(1): 2-3. doi: 10.5558/tfc2022-007
- Millar C.I., Stephenson N.L., Stephens S.L., 2008. Reframing Forest and Resource Management Strategies for a Climate Change Context. US Department of Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource Center, 7 p. <http://www.extension.org/pages/33378/adaptive-forest-management-strategies>
- Moreau G., Chagnon C., Achim A., Caspersen J., D'Orangeville L., Sánchez-Pinillos M., Thiffault, N., 2022. Opportunities and limitations of thinning to increase resistance and resilience of trees and forests to global change. *Forestry*, 95(5): 595-615. doi: 10.1093/forestry/cpac010
- Nabuurs G.J., Verkerk P.J., Schelhaas M.J., González Olabarria J.R., Trasobares A., Cienciala E., 2018. Climate-Smart Forestry: mitigation impacts in three European regions. From Science to Policy 6. European Forest Institute, Joensuu, 30 p.
- Navarro-Cerrillo R.M., Sánchez Salguero R., Rodriguez C., Duque Lazo J., Moreno-Rojas J.M., Palacios-Rodriguez G., Camarero J.J., 2019. Is thinning an alternative when trees could die in response to drought? The case of planted *Pinus nigra* and *P. sylvestris* stands in southern Spain. *Forest Ecology and Management*, 433: 313-324. doi: 10.1016/j.foreco.2018.11.006.
- Navarro-Cerrillo R.M., Cachinero-Vivar A.M., Pérez-Priego O., Aspizua Cantón R., Begueria S., Camarero J.J., 2023. Developing alternatives to adaptive silviculture: Thinning and tree growth resistance to drought in a *Pinus* species on an elevated gradient in Southern Spain. *Forest Ecology and Management*, 537: 120936. doi: 10.1016/j.foreco.2023.120936
- Nocentini S., Buttoud G., Ciancio O., Corona P., 2017. Managing forests in a changing world: the need for a systematic approach. A review. *Forest Systems* 26(1): 1-16. doi: 10.5424/fs/2017261-09443
- O'Hara K.L., 2016. What is close-to-nature silviculture in

- a changing world? *Forestry - An International Journal of Forest Research*, 89: 1–6. doi:10.1093/forestry/cpv043.
- Park A., Puettmann K., Wilson E., Messier C., Kames S., Dhar A., 2014. Can Boreal and Temperate Forest Management be adapted to the Uncertainties of 21st Century Climate Change? *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33: 251-285. doi: 10.1080/07352689.2014.858956
- Pretzsch H., Zenner E.K. 2017. Toward managing mixed-species stands: from parametrization to prescription. *Forest Ecosystems*, 4(19): 1-17. doi: 10.1186/s40663-017-0105-z
- Pro Silva, 2012. *Pro Silva Principles*. English - Français – Deutsch. Pro Silva, Zürich, 67 p.
- Puettmann K.J., 2014. Silviculture to enhance the adaptive capacity of forests. *Proceedings of the second International Congress of Silviculture*, Florence, November 26th - 29th 2014, pp. 1157-1161.
- Puettmann K.J., Wilson S.M.G., Baker S.C., Donoso P.J., Drössler L., Amente G., Harvey B.D., Knoke T., Lu Y., Nocentini S., Putz F.E., Yoshida T., Bauhus J., 2015. Silvicultural alternatives to conventional even-aged forest management - what limits global adoption? *Forest Ecosystems*, 2:8: 1-16. doi: 10.1186/s40663-015-0031-x
- Reyer C.P.O., Bugmann H., Nabuurs G.J., Hanewinkel M., 2015. Models for adaptive forest management. *Regional Environmental Change*, 15: 1483-1487. doi: 10.1007/s10113-015-0861-7
- Río M. del, Pretzsch H., Alberdi I., Bielak K., Bravo F., Brunner A., Condés S., Ducey M.J., Fonseca T., von Lüpke N., Pach M., Peric S., Perot T., Souidi Z., Spathelf P., Sterba H., Tijardovic M., Tomé M., Vallet P., Bravo-Oviedo A., 2016. Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed-species stands: review and perspectives. *European Journal of Forest Research*, 135: 23-29. doi: 10.1007/s10342-015-0927-6
- Rist L., Felton A., Marald E., Samuelsson L., Lundmark T., Rosvall O., 2016. Avoiding the pitfalls of adaptive management implementation in Swedish silviculture. *Ambio* 45(Suppl. 2): S140–S151. doi: 10.1007/s13280-015-0750-9
- Romagnoli F., Cadei A., Costa M., Marangon D., Pellegrini G., Nardi D., Masiero M., Secco L., Grigolato S., Lingua E., Picco L., Pirotti F., Battisti A., Locatelli T., Blennow K., Gardiner B., Cavalli R., 2023. TAMM Review: Wind storm impacts on European forest-related systems: An interdisciplinary perspective. *Forest Ecology and Management*, 541: 121048, 1-12. doi: 10.1016/j.foreco.2023.121048
- Rukh S., Sanders T.G.M., Krüger I., Schad T., Bolte A., 2023. Distinct Responses of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) to Drought Intensity and Length—A Review of the Impacts of the 2003 and 2018–2019 Drought Events in Central Europe. *Forests*, 14, 248: 1-24. doi: 10.3390/f14020248
- San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (ed.), 2016. *European Atlas of Forest Tree Species*. Publication Office of the European Union, Luxembourg. doi: 10.2788/038466
- Sanginés de Cárcer P., Mederski P.S., Magagnotti M., Spinelli R., Engler B., Seidl R., Eriksson A., Eggers J., Gallus Bont L., Schweier J., 2022. The Management Response to Wind Disturbances in European Forests. *Current Forestry Reports*, 7:167–180. doi: 10.1007/s40725-021-00144-9
- Sankey T., Tatum J., 2022. Thinning increases forest resiliency during unprecedented drought. *Scientific Reports*, 12: 9041: 1-11. doi: 10.1038/s41598-022-12982-z
- Schmied G., Pretzsch H., Ambs D., Uhl E., Schmucker J., Fäth J., Biber P., Hoffmann Y.-D., Šeho M., Mellert K.H., Hilmers T., 2023. Rapid beech decline under recurrent drought stress: Individual neighborhood structure and soil properties matter. *Forest Ecology and Management*, 545, 121305: 1-16. doi: 10.1016/j.foreco.2023.121305
- Schmitt A., Trouvé R., Seynave I., Lebourgeois, F., 2020. Decreasing stand density favors resistance, resilience, and recovery of *Quercus petraea* trees to a severe drought, particularly on dry sites. *Annals of Forest Science*, 77: 52. doi: 10.1007/s13595-020-00959-9
- Sohn J.A., Hartig F., Kohler M., Huss J., Bauhus J., 2016. Heavy and frequent thinning promotes drought adaptation in *Pinus sylvestris* forests. *Ecological applications*, 26(7): 2190-2205. doi: 10.1002/eap.1373
- Spathelf P., 2019. Potential adaptation options for increasing the resilience of forests in the view of the projected impacts of climate change. *Forest Europe Workshop “Pro-active management of forests to combat climate change driven risks – Policies and measures for increasing forest resilience and climate change adaptation”*, 3-4 September 2019, Istanbul, Turkey, 37 slide-uri.
- Spathelf P., Bolte A., van der Maaten E., 2015. Is Close-to-Nature Silviculture (CNS) an adequate concept to adapt forest to climate change? *Landbauforsch (Applied Agricultural Forestry Research)*, 65(3/4): 161-170. doi: 10.3220/LBF1452526188000
- Spathelf P., Stanturf J., Kleine M., Jandl R., Chiatante D., Bolte A., 2018. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration. *Annals of Forest Science*, 75(55): 1-6. doi: 10.1007/s13595-018-0736-4
- Steckel M., Moser W., Río, M. del, Pretzsch H. 2020. Implications of Reduced Stand Density on Tree Growth and Drought Susceptibility: A Study of Three Species under Varying Climate. *Forests*, 11, 627: 1-26. doi: 10.3390/f11060627
- Stritih A., Lecina-Diaz J., Mohr J., Schattenberg C., Ammer C., Anselmetto N., Bauhus J., Bončina A., Garbarino M., Hlásny T., Lindner M., Lingua E., Knific E., Krüger K., Marangon D., Morresi D., Mulec K., Nagel T.A., Potterf M., Stritih J., Thom D., Welling D., Seidl R., 2026. Can “Closer-to-Nature” Forest Management Sustain Biodiversity and Ecosystem Services in an Uncertain Future? Lessons from Central Europe. *Current Forestry Reports*, 12(1): 1-21. doi:

- 10.1007/s40725-025-00264-6.
- Štefančík I., Vacek Z., Sharma R.P., Vacek S., Rösslová M. 2018. Effect of thinning on growth and development of crop trees in *Fagus sylvatica* stands of Central Europe over fifty years. *Dendrobiology*, 79: 141-155. doi: 10.12657/denbio.079.013
- Taccoen A., Piedallu C., Seynave I., Gégout-Petit A., Nageleisen L.M., Bréda N., Gégout J.-C., 2021. Climate change impact on tree mortality differs with tree social status. *Forest Ecology and Management*, 489: 119048. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119048
- Taylor B., Kremsater L., Ellis R., 1997. Adaptive management of forests in British Columbia. British Columbia Ministry of Forests, Forest Practices Branch, Victoria, 87 p.
- Temperli C., Bugmann H., Elkin C., 2012. Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *Ecological Applications*, 22(8): 2065-2077. doi: 10.1890/12-0210.1
- Thiffault N., Raymond P., Lussier J.M., Aubin I., Royer-Tardif S., D'Amato A.W., Doyon F., Lafleur B., Perron M., Bousquet J., Isabel N., Carles S., Lupien P., Malenfant A., 2021. Adaptive Silviculture for Climate Change: From Concepts to Reality. Report on a symposium held at Carrefour Forêts 2019. *The Forestry Chronicle*, 97(1): 13-27. doi: 10.5558/tfc2021-004
- Thom D., 2023. Natural disturbances as drivers of tipping points in forest ecosystems under climate change – implications for adaptive management. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96(3): 305–315. doi: 10.1093/forestry/cpad011
- Vítková L., Dhubháin, A.N., 2013. Transformation to continuous cover forestry: a review. *Irish Forestry*, 70: 119-140.
- Vítková L., Dhubháin Á.N., Tuama O.P., Purser P., 2013. The practice of continuous cover forestry in Ireland. *Irish Forestry* 70: 141–156.
- Weatherall A., Nabuurs G.-J., Velikova V., Santopuoli G., Neroj B., Bowditch E., Temperli C., Binder F., Ditmarová L., Jamnická G., Lesinski J., La Porta N., Pach M., Panzacchi P., Sarginci M., Serengil Y., Tognetti R., 2022. Defining Climate-Smart Forestry. In: Tognetti, R., Smith, M., Panzacchi, P. (ed): *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions, Managing Forest Ecosystems* 40, 35-58. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80767-2_2
- Willig J., Schwarz J., Comeau Ph., Hartmann H., Kohnle U., Espelta J.M., Makinen H., Ogaya R., Peltoniemi M., Penuelas J., Roth B., Ruiz-Peinado R., Ruge F., Bauhus J., 2025. No increased drought-related mortality after thinning: a meta-analysis. *Annals of Forest Science*, 82(6): 1-25. doi: 10.1186/s13595-025-01278-7

Surse electronice

- <https://www.forestresearch.gov.uk/research/human-dimensions-of-adaptive-forest-management/> (accesat 02 decembrie 2025)
- <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/forests-and-climate-change/> (accesat 15 octombrie 2025)
- <https://www.forestry.org.au/media-release-next-government-must-prioritise-active-and-adaptive-forest-management/> (accesat 25 mai 2023)
- <https://www.climatesmartforestry.org/> (accesat 02 decembrie 2025)
- <https://www.okelly.se/bark-beetle/> (accesat 23 decembrie 2025)
- <https://www.agci.org/what-is-global-change> (accesat 10 decembrie 2025)
- <https://adria-balkan.fsc.org/en/forest-ecosystems/forests-in-slovenia> (accesat 02 decembrie 2025)