

UNIVERSITATEA „ȘTEFAN CEL MARE”
DIN SUCEAVA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE ȘI
INGINEREȘTI
FACULTATEA DE SILVICULTURĂ

**Elaborarea unui nou model de conversie
pentru pădurile de cvercinee provenite din
lăstari, care să faciliteze o mai bună adap-
tare structurală a acestora la schimbările
climatice**

Rezumatul tezei de doctorat

Conducător științific:

Prof. univ. habil. dr. ing. Marian DRĂGOI

Doctorand:

Ing. Ciprian CEORNEA

Suceava, 2026

CUPRINS

1	INTRODUCERE.....	6
2	STADIUL CUNOȘTINȚELOR	7
2.1	Tendențe și evoluții în modelarea proceselor succesionale.....	8
2.2	Considerații generale cu privire la arboretele cu cvercinee din România	8
2.3	Istoricul gospodăririi arboretelor cu cvercinee din zona central-nordică a Moldovei	10
2.4	Starea actuală a arboretelor cu cvercinee provenite din lăstari din zona central-nordică a Moldovei	11
3	SCOPUL ȘI OBIECTIVELE LUCRĂRII	12
4	MATERIAL ȘI METODĂ	13
4.1	Locul cercetărilor.....	13
4.2	Condițiile staționale și de vegetație ale celor două U.P. analizate.....	15
4.2.1	Elementele sintetice ale fondului forestier analizat	16
4.3	Metodele de lucru.....	16
4.3.1	Adaptarea metodei creșterii indicatoare la hazarde climatice.....	16
4.3.2	Utilizarea dominanței stocastice la încadrarea arboretelor exploatabile în a III-a urgență de regenerare	20
4.3.3	Îmbunătățirea modului de stabilire a vârstei exploatabilității pentru pădurile provenite din lăstari.....	29
4.3.4	Gestionarea lemnului mort prin analiza dominanței stocastice	31

5	REZULTATE ȘI DISCUȚII	32
5.1	Adaptarea metodei creșterii indicatoare la modelul stocastic al pădurii normale.....	32
5.2	Utilizarea dominanței stocastice la stabilirea urgenței de regenerare	37
5.3	Gestionarea arborilor de calitate inferioară în vederea susținerii biodiversității	38
5.4	Vârstele exploatabilității economice la arboretele de cvercinee provenite din lăstari	40
6	CONCLUZII.....	44
6.1	Aplicarea modelului stocastic al pădurii normale la calcul creșterii indicatoare	44
6.2	Aplicarea dominanței stocastice în procesul decizional de stabilire a urgențelor de regenerare.....	45
6.3	Aplicarea modelului recursiv pentru optimizarea vârstei exploatabilității economice la arboretele de cvercinee provenite din lăstari	48
6.4	Testarea modelelor decizionale în gestionarea arborilor de calitate inferioară pentru susținerea biodiversității	49
7	CONTRIBUȚII ORIGINALE	50
8	RECOMANDĂRI PENTRU PRODUCȚIE	51
9	Bibliografie selectivă.....	53

1 INTRODUCERE

În ultimii ani se constată o degradare a stării de vegetație a pădurilor din țara noastră, în general, dar în special a celor cu proporții mari de participare a cvercineelor din lăstari. Deși fenomenul este ciclic (Alexe 1986) fiind dictat, se pare, de condițiile climatice; aceasta nu înseamnă că nu este necesară o cercetare amănunțită a cauzelor care au dus la recurența acestui fenomen, ce apare și la alte specii, atât în Europa cât și pe continentul american, pe fondul schimbărilor climatice (Cortés-Molino și colab. 2022; Kubíková 1991; Pautasso și colab. 2013).

Dezechilibrarea ecologică a arborilor și arboretelor provenite din lăstari se manifestă prin scăderea vitalității arborilor, apariția unor atacuri în masă sau gradații cu agenți patogeni secundari, ce cauzează fenomene de uscare în masă (Simonca și Taut 2010), urmată de scăderea proporției speciilor principale (gorun și stejar) ceea ce duce la imposibilitatea regenerării naturale a acestor specii, la vârsta exploatabilității (Vlonga și Baci 1991).

Schimbările climatice se manifestă în special prin reducerea accesului rădăcinilor arborilor la pânza freatică, dar studiile au arătat și incidența altor cauze, precum poluarea industrială (Cheval și colab. 2022). În țara noastră, s-au efectuat ample cercetări cu privire la starea actuală a pădurilor de cvercinee (Kasper și colab. 2022; Crisan și colab. 2022; Ciceu și colab. 2020), stabilindu-se o serie de corelații între vârstă, proveniență, condiții staționale, compoziție și apariția factorilor destabilizatori care declanșează uscarea. S-a constatat că arboretele care au o consistență peste 0.75, compoziții optime și în care au fost efectuate lucrările de conducere și îngrijire sunt afectate într-o pondere scăzută de fenomene de uscare.

Având în vedere premisele de mai sus, amenajarea amestecurilor și șleaurilor de deal necesită o nouă abordare, care să ia în considerare tendințele succesionale ce se manifestă, tot mai vizibil, prin înlocuirea fagului cu cvercinee (Meyer și colab. 2020) sau prin reducerea concurenței, în condițiile stresului climatic (Verdonck și colab. 2025). Întrucât legislația silvică românească a fost adaptată relativ recent noilor comandamente privind conservarea biodiversității, conceptul de lemn mort trebuie să-și facă loc în modul în care sunt gestionate pădurile (Bujoczek, Bujoczek, și Zięba 2021; Kulha și colab. 2023), în special cele situate în situri Natura 2000.

2 STADIUL CUNOȘTIȚELOR

Într-o ordine cronologică a cercetărilor relevante din punct de vedere al rezultatelor, enumerăm: 1) modelul stohastic al pădurii regulate, elaborat de profesorul Ian Kouba, de la Universitatea din Praga, încă din anii șaptezeci (Kouba 2002); 2); corectarea creșterii medii pe nivele de productivitate, pentru pădurile de molid, fag și brad, folosind probabilități Bayes (Dissescu 1990), 3) dimensionarea fondului de rezervă pentru pădurile de codru regulat (Drăgoi 1999); calcularea cotei ne-precomptabile din volumul produselor accidentale I pentru pădurile de afectate de doborâturi de vânt, folosind un model Bayesian în cascadă, combinat cu lanțuri Markov (Dragoi și Barnoaica 2018).

În contextul schimbărilor climatice, ariile de răspândire ale speciilor se vor schimba, localizarea geografică a zonelor de optim ecologic se va modifica și ea, ceea ce va duce la modificarea productivității și a arealelor speciilor forestiere (Campbell și colab. 2009). Schimbările viitoare vor avea o amploare mai mare și vor depăși capacitatea naturală de adaptare a speciilor și ecosisteme forestiere, ceea ce va duce la dispariții locale și la pierderea unor funcții și servicii importante, inclusiv reducerea capacității de stocare a carbonului (Seppälä, Buck, și Katila 2009).

Pe de o parte, vulnerabilitatea este definită de Grupul Interguvernamental de experți în Schimbări Climatice (IPCC) ca fiind "*înclinația sau predispoziția de a fi afectată/afectate în mod negativ de un pericol, inclusiv sensibilitatea sau susceptibilitatea la daune și lipsa capacității de a face față și de a se adapta*" (Beck și Mahony 2018). Pe de altă parte, riscul este înțeles ca fiind "Consecințele potențiale când este în joc ceva de valoare și când rezultatul este incert și rezultă din interacțiunea dintre vulnerabilitate (a sistemului afectat la un anumit pericol), expunerea sa în timp la pericol, precum și pericolul (când este vorba de climă) și probabilitatea apariției acestuia" (Beck și Mahony 2018).

În România, vulnerabilitățile și riscurile asociate hazardelor climatice sunt particulare fiecărei regiuni și forme de relief, având un specific diferit pentru fiecare etaj fito-climatic, în funcție de specia preponderantă. De exemplu, în zona montană principalul factor climatic destabilizator este vântul (Jonášová, Vávrová, și Cudlín 2010; Lanquaye-Opoku și Mitchell 2005; Jalakanen și Mattila 2000), în zona de deal și colinară factorul climatic perturbator este seceta (Costăchescu și colab. 2012; Munteanu și colab. 2016), în timp ce în zona de câmpie principalul factor climatic perturbator îl reprezintă

temperaturile medii anuale, în creștere, și secetele prelungite, chiar la speciile de rășinoase, mai puțin expuse unor astfel de riscuri (Anders și colab. 2025).

2.1 Tendințe și evoluții în modelarea proceselor succesionale

Sucesiunea vegetației forestiere este un fenomen foarte lent ce se produce la scară continentală (Cenușă 2023; Penman, Binns, și Kavanagh 2008; Nikolov 2009). Faptul că pădurea trece prin mai multe etape de dezvoltare și creștere a atras interesul matematicienilor cu peste 250 ani în urmă, când au apărut primele tabele de producție (Curtis 1972; Hans Pretzsch 2008; Hans Pretzsch și colab. 2014; H. Pretzsch și colab. 2015).

Totuși, nu doar procesele de creștere interesează, ci și cele de eliminare naturală, forțate, direct sau indirect, de schimbările climatice (Allen și colab. 2010; Meigs, Kennedy, și Cohen 2011; Neumann și colab. 2017; Breshears și colab. 2009; Allen, Breshears, și McDowell 2015). De aceea, studiarea mortalității arborilor se bucură de un interes tot mai mare, beneficiind de un aparat matematic tot mai divers, bazat pe lanțurile Markov (Bruner, H. și Moser, J., M. 1973; Chuang și colab. 2011; Strigul și colab. 2012)., sau a modelelor statistice bayesiene (Dragoi și Barnoaia 2018; Hepinstall și Sader 1997; Virpi, Matti, și Tuomo 2014).

Pe lângă modelele matriciale, se bucură de un real interes și regresia logistică, ce are avantajul de a se baza pe inventarii dihotomice (Lanquaye-Opoku și Mitchell 2005; Jalkanen și Mattila 2000; Lakes, Müller, și Krüger 2009).

Grație progresului tehnologic în materie de utilizare a imaginilor satelitare și a inteligenței artificiale, aria de acoperire a modelelor predictive s-a extins foarte mult, ceea ce a generat un interes tot mai mare de utilizare a scannerelor LiDAR, atât a celor aeriene (Borz și Proto 2025; Hu și colab. 2016) cât și a celor terestre (Li și colab. 2025; Cullotta și colab. 2015; Dassot, Constant, și Fournier 2011), pentru validarea sau corecția unor estimări în ceea ce privește volumul arborilor și arboretelor, mai mult sau mai puțin afectate de factori biotici sau antropici (Hilker și colab. 2010; Van Breugel și colab. 2011; Huang și Pretzsch 2010).

2.2 Considerații generale cu privire la arboretele cu cvercinee din România

În cazul uscării premature a arboretelor de cvercinee, simptomele constau în reducerea creșterilor în înălțime și în suprafața de bază, rădăcirea

coroanelor, decolorarea frunzelor și o grupare anormală a acestora pe vârful lujerilor, urmată la scurt timp de apariția lăstarilor lacomi (Taut, Simonca, și Holonec 2011)(Dănescu și colab. 2015).

Declinul arborilor constă în reducerea treptată și progresivă a sănătății și vigorii, cauzată de acțiunea mai multor agenți biotici și abiotici. Uscările anormale ale cvercineelor apar de la vârsta de 50 de ani și se manifestă în arboretele provenite din lăstari, unde aceste specii au o proporție de peste 50-60%. Fenomenul de uscare este mai intens în suprafețele cu expoziții însoțite cu pante peste 15 grade, care au consistențe <0,8 și prezintă atacuri repetate ale defoliatori.

Aceste fenomene au fost observate de autor cu ocazia punerilor în valoare a arboretele din cadrul O.S. Bașotă, districtul II Iași, care este arondat județelor Iași și Botoșani, dar și în timpul inventarierii arboretelor din cadrul

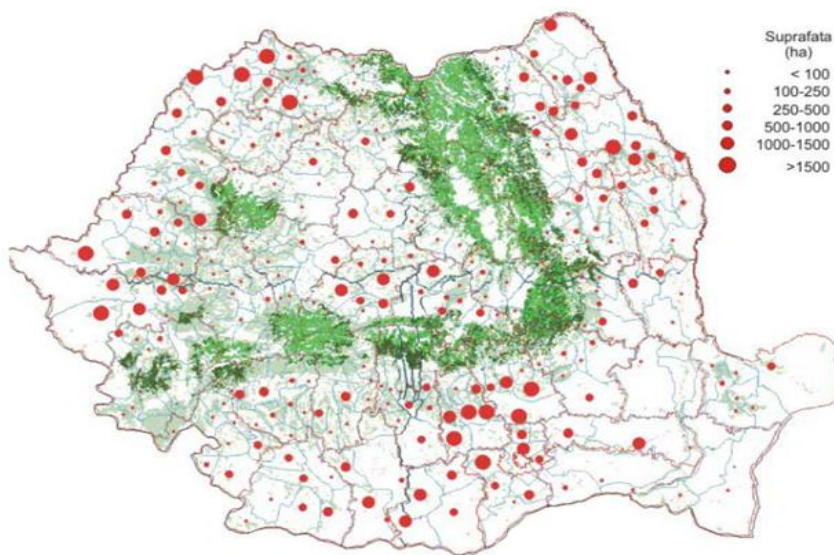


Figura 1 Distribuția gorunului (*Quercus petraea* Liebl.) în România (Sursa: <http://www.icashd.ro/oakgis.html>, Coordonator: ICAS, Director proiect: Dr. ing. Flaviu Popescu, Proiect: CNMP – Programul IV Parteneriate, domeniul 5 Agricultură, Nr. proiect: PC 51-029/2009, Titlul: Evaluarea și cartarea diversității genetice a speciilor de stejari autohtoni din România în scopul gestionării durabile a ecosistemelor forestiere și conservarea dinamică a resurselor genetice, Date nepublicate - manuscris)

O.S. Cetățuia, U.P. I Dumești și U.P. II Băcești, situate pe raza județului Vaslui.

Potrivit datelor IFN, din cele 6.9 milioane de hectare acoperite cu pădure, suprafața cvercineelor este de 1.1 milioane de ha (16%), iar în zonele de deal și câmpie au o pondere mai însemnată 24% (IFN – Ciclul II 2018). Dintre toate cvercineele autohtone, ponderile cele mai mari le au gorunul (*Quercus petraea* Liebl.) (Figura 1) și stejarul pedunculat (*Quercus robur* L.). Aceste specii sunt importante atât prin valoarea lemnului, cu multiple utilizări industriale și casnice (de la furnir estetic la lemn de foc), cât și datorită faptului că acest gen domină regiunile de deal și câmpie ale țării (Șofletea și Curtu 2007).

Arboretele cu cvercinee (gorun și stejar pedunculat) din țara noastră au un volum mediu 264 m³/ha, iar din toate regiunile țării cele din Transilvania realizează cel mai ridicat volum mediu 292 m³/ha, urmat de Moldova cu 287 m³/ha și Tara Românească cu 221 m³/ha. În medie, creșterea curentă anuală la hectar este 7.2 m³/an/ha (al treilea grup important de specii conform IFN – Ciclul II 2018), fiind mai mare în arboretele cu cvercinee din Moldova 8.3 m³/an/ha.

2.3 Istoricul gospodăririi arboretelor cu cvercinee din zona central-nordică a Moldovei

În ultimii 100 de ani, pădurile din România au fost gospodărite în mod diferit, potrivit legislației fiecărei perioade istorice și diferitelor forme de proprietate, cu consecințe majore asupra integrității, productivității, stării de sănătate, structuri și compoziției.

Pădurile luate în studiu, pentru a exemplifica acest istoric, sunt situate în zona central-nordică a Moldovei, în județele Botoșani, Iași și Vaslui. Acum, aceste păduri aparțin unor persoane juridice (unități de cult, obști, societăți comerciale) și unor persoane fizice, ce dețin frecvent suprafețe de peste 100 ha. Persoanele fizice sunt moștenitori ai vechilor familii boierești din Moldova, iar societățile comerciale au dobândit aceste suprafețe prin cumpărare de la o parte din moștenitorii acestor familii.

Până în anul 1948, cea mai mare parte a acestor suprafețe au fost deținute de familiile boierești din Moldova (Candiani, Calimachi, Fischer) și de unitățile de cult (Parohia Sfântu Spiridon Iași). La rândul lor, aceste familii au dobândit pădurile prin daniile domnești sau prin cumpărare (potrivit Amenajamentul silvic U.P. I Obștea Dracșani, 2018).

Primele amenajamente silvice unitare pentru aceste păduri au fost întocmite în anii 1952-1954 în baza instrucțiunilor elaborate în 1949, 1951 și 1953. Amenajamentele au fost realizate la nivel de U.A.T. pentru trupurile de pădure mai mici și în cadrul M.U.F. pentru marile proprietăți, fără a mai ține cont de vechile forme de proprietate, acestea fiind gospodărite unitar.

2.4 Starea actuală a arboretelor cu cvercinee provenite din lăstari din zona central-nordică a Moldovei

Arboretele de cvercinee pure sau în amestec cu alte specii au o pondere de circa 30% din totalul pădurilor din zona central-nordică a Moldovei analizate (U.P. I Callimachi, U.P. I Manolescu, U.P. I Obștea Dracșani, U.P. I Dumești și U.P. II Băcești), iar din acestea circa 50% provin din lăstari. Proporția ridicată a arboretelor provenite din lăstari este caracteristică suprafețelor de pădure ce au aparținut marilor și micilor proprietari până în anul 1948, fiind rezultat tăierilor repetate în crâng.

Prin punerea în valoare a arboretele studiate din cadrul O.S. Bașotă, precum și cu ocazia inventarierilor statistice efectuate pentru determinarea volumelor și a proporției speciilor, în cadrul activităților de amenajare a pădurilor desfășurate la O.S. Cetățuia, s-a constatat că uscarea afectează în egală măsură atât exemplarele din plafonul superior, cât și pe cele din plafonul inferior.

Dispariția exemplarelor de cvercinee din arboret, acolo unde sunt în amestec cu alte specii, de la vârste de 50-80 de ani favorizează crearea unor arborete derivate.

Volumul mediu este între 160 – 210 m³/ha la vârsta de 50-80 de ani, realizând creșteri medii 5.7 m³/an/ha, cu mult mai scăzute față de arboretele cu proveniență din sămânță sau mixtă, unde creșterea medie este de circa 6.5 m³/an/ha. În arboretele pure creșterea este și mai redusă. O cauză a diminuării creșterilor o reprezintă și defolierile severe și repetate din ultimi ani, cauzate de *Tortrix viridana*, *Lymantria dispar*, *Operophtera brumata* și atacuri de *Microsphaera abbreviata*, care afectează suprafețe tot mai mari.

3 SCOPUL ȘI OBIECTIVELE LUCRĂRII

În tabelul 1 sunt sintetizate scopul, obiectivele, metodele și rezultatele ce încheie demersul științific.

Tabelul 1 Matricea de corespondență dintre scop, obiective, metode și rezultate finale

Scop	Obiective	Metode	Rezultate obținute
Recomandări practice pentru gestionarea cvercineelor provenite din lăstari, în vederea creșterii rezilienței acestora	Modelarea structurii pe clase de vârste pentru pădurile afectate de HC	Lanțuri Markov	două alternative de corecție a creșterii indicatoare: în funcție de suprafața parcursă cu tăieri de produse accidentale I și II și în raport cu volumul extras ca ACC1.
	Integrarea în modul de calcul al CI a modelului stohastic		
Adaptarea bazelor de amenajare a pădurilor de cvercinee provenite din lăstari la schimbările climatice	Stabilirea vârstei exploatabilității pentru arboretele din lăstari	Modelul recursiv al deprecierei calitative	Vârsta exploatabilității economice pentru arboretele provenite din lăstari
	Creșterea obiectivității la stabilirea urgenței de regenerare	Analiza dominanței stocastice și metoda medie - varianță	Indicele dominanței stocastice (IDS) pentru arboretele încadrate în urgența 3.2 și 3,3
	Gestionarea lemnului mort în arboretele de cvercinee		criterii de delimitare a insulelor de îmbătrânire pe baza IDS

Așa cum rezultă din prima coloană a tabelului, scopul este dublu, pentru că se adresează, pe de o parte, inginerilor de fond forestier și, pe de altă parte, inginerilor amenajiști, în speranța că vor fi puși în situația de a gândi într-o nouă paradigmă a planificării amenajistice.

4 MATERIAL ȘI METODĂ

4.1 Locul cercetărilor

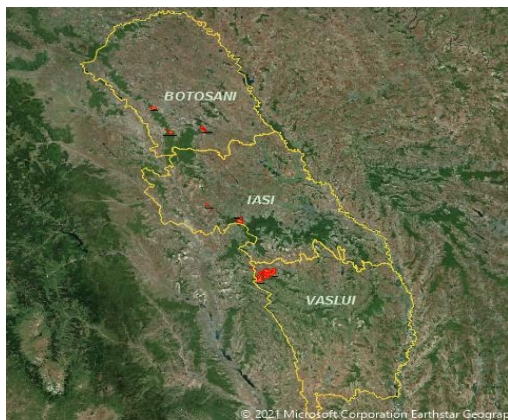


Figura 2 Localizarea celor trei ocoale silvice în care s-au făcut măsurătorile de teren



Figura 2 Localizarea U.P. I Dumești, O.S. Cetățuia

lemnului mort. În contextul unității de producție analizate (U.P. I Dumești), stabilirea obiectivă a urgențelor de regenerare este chiar necesară, întrucât majoritatea

În figura 2 sunt prezentate suprafețele de studiu plasate în trei județe (Vaslui, Iași și Botoșani), reprezentative pentru situația critică a pădurilor de cvercinee. Cercetările au fost realizate în U.P. I Dumești și U.P. II Băcești din cadrul O. S. Cetățuia (județul Vaslui), U.P. I Manolescu, județul Iași și U.P. I Calimachi, județul Botoșani având serviciile silvice asigurate de O.S. Bașotă și U.P. I Obșteștii Dracșani cu serviciile silvice asigurate de O. S. P. Fălticeni.

În figura 3 este reprezentată harta U.P. I Dumești, O. S. Cetățuia, din care s-au cules datele pentru testarea modelului de încadrare a arboretelor în urgențe de regenerare, determinarea exploatabilității arboretelor provenite din lăstari și utilizarea dominanței stocastice la fundamentarea obiectivă a deciziilor privind gestionarea

arboretelor sunt din lăstari, iar menținerea îndelungată a exemplarelor slăbite fiziologic este contraproductivă, deoarece însăși capacitatea de regenerare vegetativă se reduce, odată cu înaintare în vârstă. De aceea, pentru a focaliza analiza pe arboretele cu cvercinee provenite din lăstari, am procedat la filtrarea datelor primare, reținând doar u.a.-urile în care majoritatea elementelor de arboret sunt din lăstari.

Datele de teren au fost culese în 2020, odată cu elaborarea amenajamentului silvic care a intrat în vigoare la data de 01.01.2021. Această reamenajare a fost diferită de cele anterioare prin faptul că a fost acordată o atenție deosebită determinării suprafețelor, modului de colectare a datelor dendrometrice și calitative ale arborilor. În figura 3 sunt prezentate parcelele și unitățile amenajistice pe care s-a făcut analiza dominanței stocastice.

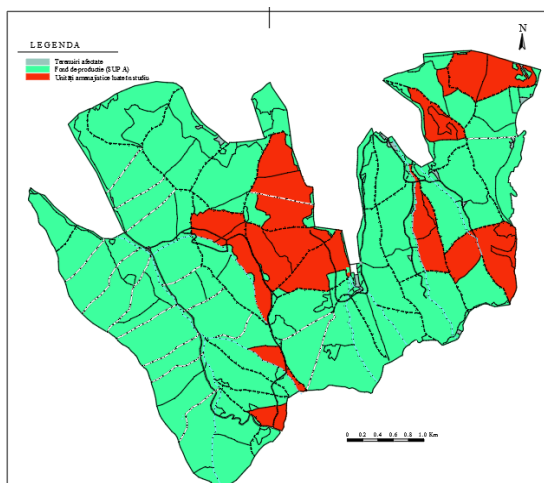


Figura 3 Unitățile amenajistice din U.P. I Dumești (O.S. Cetățuia), luate în studiu pentru analiza dominanței stocastice (arborete exploatabile și pre-exploatabile)

Modelul de corecție a creșterii indicatoare în funcție de hazardele climatice a fost elaborat și testat pe datele culese din U.P. I Calimachi, județul Botoșani (figura 4), care este situat din punct de vedere geografic în ținutul podișului Moldovei, subunitatea Câmpia Moldovei, fiind amplasat în zona depresionară Jijia-Bahlui, în județul Botoșani.

Suprafața unității de producție este de 314.00 ha, iar suprafața

fondului de producție este de 302.90 ha. Datele biomertice și structurale ale



Figura 4 U.P. I Calimachi, O.S. Bașotă, județul Botoșani

de categoria I și II, conform APV emise de O. S. Botoșani și O. S. Bașotă.

4.2 Condițiile staționale și de vegetație ale celor două U.P. analizate

Studiul stațiunii și al vegetației forestiere are rolul de a fundamenta măsurile de gospodărire, fiind realizat pe baza tuturor informațiilor colectate în etapele de documentare și cercetare pe teren. Datele au fost preluate din amenajamentele silvice U.P. I Dumești și U.P. I Callimachi și coroborate cu cele culese din teren cu ocazia inventarierilor.

Anterior lucrărilor de teren s-a realizat o etapă de documentare bazată pe amenajamentele anterioare. Aceasta a inclus verificarea substratului litologic, geomorfologiei, solurilor, climei, hidrologiei, tipurilor de stațiune și de pădure, precum și descrierea vegetației forestiere. În prealabil, s-a efectuat o recunoaștere generală a terenului pentru a facilita organizarea lucrărilor ulterioare.

Volumul de masă lemnoasă al arboretelor a fost estimat pe baza tabelor de producție, corelate cu măsurătorile realizate pe teren.

Datele culese din teren au fost prelucrate cu ajutorul programelor specifice, iar pe baza interpretărilor obținute au fost stabilite măsurile de gospodărire aplicabile pentru următorii 10 ani.

arboretelor folosite sunt cele din amenajamentul silvic din anul 2015, iar datele de testare ale volumelor recoltate sunt din perioada 2015-2020.

Datele au fost prelevate prin extragerea volumelor provenite din speciile gorun și stejar, puse în valoare ca produse accidentale

4.2.1 Elementele sintetice ale fondului forestier analizat

Fondul forestier al U.P. I Callimachi este organizat într-o singură subunitate de gospodărire (S.U.P. A), gestionată în codru regulat cu scopul de a produce lemn de calitate superioară, menținând în același timp stabilitatea ecologică și funcția de protecție a mediului. Suprafața acestei subunități este de 302.90 ha, dintre care 54% reprezintă arborete de productivitate superioară, 42% sunt de productivitate mijlocie, iar 4% de productivitate inferioară (tabelul 2). În cadrul acestei unități nu există arborete exploatabile, însă arboretele pre-exploatabile ocupă 34 ha (11%), având un volum total de 8113 m³.

Tabelul 2 Productivitatea reală a arboretelor din U.P. I Callimachi

Bonitatea stațiunilor			Productivitatea arboretelor		
Categoria	Suprafața (ha)	%	Categoria	Suprafața (ha)	%
Superioară	273.00	89	Superioară	269.60	89
Mijlocie	32.80	11	Mijlocie	29.30	10
Inferioară	-	-	Inferioară	4.00	1
Total	305.80	100	Total	302.90	100

4.3 Metodele de lucru

4.3.1 Adaptarea metodei creșterii indicatoare la hazarde climatice¹

Actualele metode de amenajare a pădurilor, bazate pe clase de vârste sau pe creșterea indicatoare, pornesc de la premisa că, la un moment dat, mai devreme sau mai târziu, pădurea va fi ajuns la structură normală pe clase de vârste (Duduman și Drăgoi 2019).

Această premisă este tot mai rar justificată, motiv pentru care am procedat la studierea literaturii privind diversele modele stocastice folosite în mai buna gestionare a pădurilor. Pentru corectarea creșteri indicatoare în arboretele

¹ Articol publicat în Bucovina Forestieră în anul 2022 (Ceornea, Mititelu, și Drăgoi 2022)

studiate am folosit volumele recoltate prin produse accidentale din U.P. I Calimachi situat pe raza județului Botoșani, din cadrul O. S. Bașotă. Volumele au fost preluate din APV emise de O. S. Botoșani (D. S. Botoșani) până la data de 15.08.2020, iar după această dată au fost preluate volumele din APV emise de O. S. Bașotă.

Metoda de calcul a posibilității prin intermediul creșterii indicatoare presupune că toate arboretele dintr-o clasă de vârste vor trece automat, la fiecare 20 ani, în următoarea clasă de vârste; ultima clasă fiind singura ce va trece integral în clasa I. Dar, în condițiile unor hazarde climatice, o parte din aceste arborete, neexploatabile și pre-exploatabile vor reveni mai repede clasa I de vârste, dezechilibrând astfel demersul de normalizare a clasele de vârste (Drăgoi 2004a).

O altă ipoteză pe care se bazează actualul model determinist este aceea că suprafețele u.a. rămân neschimbate tot ciclul de producție, ipoteză ce nu mai poate fi susținută în condițiile în care arborete sunt parcurse anual cu extrageri de produse accidentale, perfect justificate din punct de vedere al menținerii stării fito-sanitare optime a pădurii, dar perturbatoare din punct de vedere al continuității producției.

Lanțurile Markov (LM), ce intră în vasta categorie a modelelor matriciale se bucură de un interes constant în ceea ce privește modelarea unor procese stocastice, caracterizate prin trecere prin mai multe stări de echilibru dinamic. În cazul nostru, prin stări se înțeleg clase de vârste.

Relația (1), adaptată planificării amenajistice de prof. Ian Kouba, descrie starea absorbantă a unui lanț Markov ((Kouba 2002), înțelegându-se prin stare absorbantă aceea stare – ce poate fi o combinație de probabilități – din care un sistem nu mai poate ieși; în cazul amenajamentului, stare absorbantă este chiar structura normală pe clase de vârste. În relația (1) ai reprezintă ponderea clasei de vârste a_i iar probabilitățile de trecere din clasa de vârste i în clasa de vârste următoare ($i+1$) sunt notate cu $p_{i,i+1}$.

Dacă toate produsele de probabilități din relația (1) sunt egale cu unu, înseamnă că $a_i=1/n$, (n fiind numărul claselor de vârste), ceea ce înseamnă că procesul este determinist – toate clasele de vârste sunt aproximativ egale.

$$a_i = \frac{\prod_{l=1}^6 p_{i,l+1}}{\sum_{k=1}^6 \prod_{l=1}^{k-1} p_{i,l+1}} \quad (1)$$

Lanțurile Markov sunt descrise matematic de relația (2) în care V este un vector ce reprezintă starea sistemului iar P este matricea probabilităților de trecere dintr-o stare în altă stare. În format matriceal (relația 1) (Kouba 2002) a arătat că, înmulțind repetat matricea P cu vectorul V , se ajunge la o structură stabilă a vectorului V

$$V^{t+1} = P \cdot V^t \quad (2)$$

Conform normelor tehnice în vigoare, creșterea indicatoare se calculează cu ajutorul relației (3)

$$C_i = \sum_{i=1}^m S_i \cdot k_i \cdot c_i \quad (3)$$

unde: S_i este suprafața ocupată de specia i , k_i este consistența medie a speciei i , iar c_i este media creșterilor curente corespunzătoare claselor de vârste considerate.

Uscările anormale produc o reducere atât a fondului de producție, cât și a creșterii curente. Prin urmare, datele primare utilizate la calculul creșterii indicatoare trebuie și ele corectate, pentru a încorpora astfel și efectul uscării arborilor, dacă acest fenomen este evident de lungă durată.

Astfel, vom corecta suprafața aferentă fiecărei specii și creșterea medie pe specie și u.a. în funcție de volumul extras ca ACC1 sau ACC2. Ipoteza de lucru de la care am pornit este următoarea: dacă volumul accidentalelor este zero, nu se modifică niciun parametru, dar dacă s-au extras deja produse ACC, atât suprafața cât și creșterea pe specii vor fi diminuate.

Corectarea creșterii indicatoare se face ținând cont de suprafața afectată de uscare pentru fiecare specie, iar corectarea creșterii curente pe specii se face cu relația 4 :

$$C_i' = \sum_{i=1}^m S_i' \cdot k_i \cdot c_i' \quad (4)$$

unde: C_i' este creșterea indicatoare corectată, S_i' este suprafața reală ocupată de specia i după corectarea, prin scăderea suprafeței de pe care s-au extras ACC1 și ACC2, k_i este consistența medie a speciei i , iar c_i' este media creșterilor curente corespunzătoare claselor de vârste considerate, corectată cu volumul recoltat ca ACC1 și ACC2.

Potrivit relației (4), nu ținem cont de volumele de ACC1 și ACC2 recoltate, ci doar de faptul că structura normală pe clase de vârste a fost, de-a lungul timpului perturbată sistematic, iar structura reală spre care tinde pădurea nu mai este normală, în sensul egalității claselor de vârste, ci este mai mult sau

mai puțin înclinată spre dreapta, adică arboretele tinere sunt mai bine reprezentate decât cele ce au trecut de jumătatea ciclului de producție, potrivit relației (1) vom avea $a_1 \geq a_2 \dots \geq a_n$, în care n reprezintă numărul de clase de vârste considerate. Practic, dacă folosim relația (4), modificând doar suprafețele din membrul drept, vom avea o creștere indicatoare mai mare.

Dacă se dorește a lua în considerare și volumele recoltate sub formă produse accidentale, suprafețele din relația (4) nu vor mai fi calculate cu relația 1 ci cu relația 5)

$$Sa_{ij} = \frac{Vrec_{ij}}{Vha_{ij}} \quad (5)$$

al cărui membru drept are la numărător volumul recoltat sub formă de produse accidentale de la intrarea în vigoare a amenajamentului, din arboretul i și specia j , iar la numitor este fondul de producție la hectar, în arboretul i pentru specia j , înregistrat în descrierea parcellară, la intrarea în vigoare a amenajamentului. Dacă se aplică relația 5 la nivel de arboret, incluzând toate speciile afectate, se ajunge la relația 6), unde n reprezintă numărul de elemente de arboret din ua i .

$$S_{ai} = \sum_{j=1}^n \frac{Vrec_{ij}}{Vha_{ij}} \quad (6)$$

unde: n este numărul de elemente de arboret din u.a. i .

Prin această formulă am transformat metri cubi pe fiecare specie afectată de uscare și recoltați, în suprafață afectată de uscare (la numitorul fracției avem m^3/ha).

Creșterea indicatoare corectată (C') pentru elementul i s-a realizat cu ajutorul relației (7)

$$C_i' = C_i \frac{SUP A - Sa}{SUP A} \quad (7)$$

unde: C_i este creșterea curentă pentru un element de arboret, $SUP A$ este suprafața subunității pentru care se calculează posibilitatea (de regulă $SUP A$) iar Sa este suprafața despre care s-au recoltat produsele accidentale rezultate în urma hazardelor climatice.

Astfel, vom putea corecta suprafața aferentă fiecărei specii, dar și creșterea medie pe specie și u.a., în funcție de volumul extras ca produse accidentale și probabilitatea producerii unor perturbații climatice ce produce fenomene de uscare.

4.3.2 Utilizarea dominanței stocastice la încadrarea arboretelor exploatabile în a III-a urgență de regenerare²

Pentru o corectă încadrare a arboretelor în clasele de exploatabilitate, este esențială realizarea unei descrieri parcelare cât mai exacte. Aceasta presupune efectuarea de măsurători dendrometrice, determinarea precisă a suprafețelor și parcurgerea detaliată a terenului pentru consemnarea, în fișa de teren, a informațiilor care nu necesită măsurători directe. În cazul arboretelor exploatabile analizate în această cercetare, pentru a obține o imagine cât mai fidelă a structurii și stării acestora, au fost aplicate atât metode de inventariere statistică, cât și integrală. În continuare este prezentată metodologia utilizată pentru obținerea datelor analizate în cadrul acestui studiu.

Determinarea suprafeței fiecărui u.a. a fost realizată prin măsurarea integrală a conturului acestuia cu ajutorul tehnologiei GPS, măsurătorile fiind realizate cu dispozitivul Trimble TDC 600. Datele au fost prelucrate în programul AutoCAD 2021-2023, iar hărțile au fost realizate în sistemul de proiecție Stereo 70.

Piețele de probă au fost stabilite după un caroiaj conform îndrumarului pentru amenajarea pădurilor (figura 6) iar numărul suprafețelor de probă amplasate pentru o toleranță de 10%, o probabilitate de acoperire de 90% și pentru un coeficient de variație al volumului de 30%, pentru suprafețele de probă de 500 m² cu formă circulară.

² Articol publicat în revista Forestist în 2025 (Ceornea, Ciprian și Drăgoi, Marian 2025).

Amplasarea suprafețelor de probă de 300 m² cu formă circulară s-a făcut pentru o toleranță de 15%, probabilitate de acoperire de 80%, pentru un coeficient de variație al volumului de 30%. La amplasarea fiecărei suprafețe de probă circulară (300 m² și 500 m²), distanța până la centrul cercului a fost măsurat cu ajutorul dendrometrul Vertex IV, iar raza cercului a fost corectată în funcție de pantă.

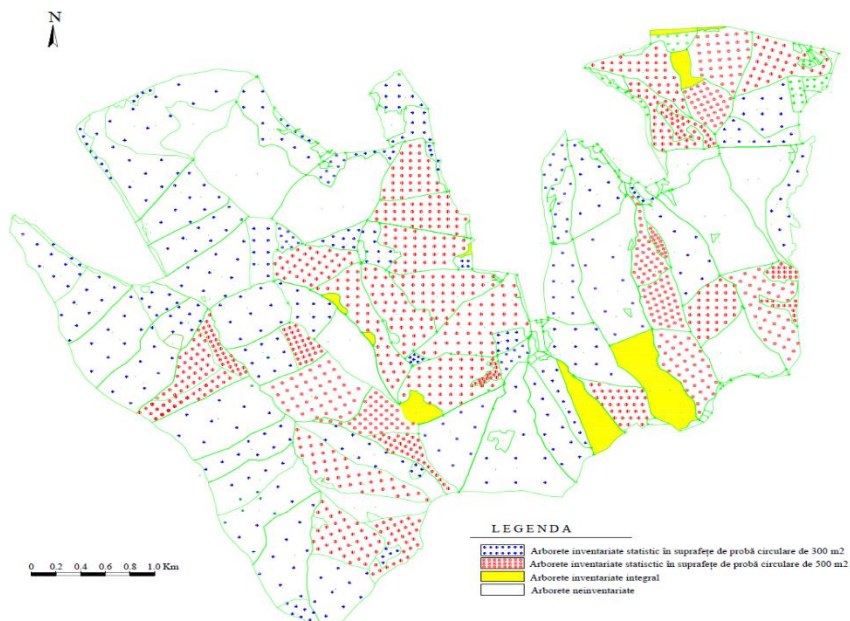


Figura 6 Amplasarea piețelor de probă în care au fost realizate inventarieri statistice și integrale din U.P. I Dumești (O.S. Cetățuia)

Odată cu măsurarea elementelor dendrometrice (diametrul la 1,3 m și înălțimea), s-a estimat și clasa de calitate a arborilor. Evaluarea acestora s-a realizat vizual, conform prevederilor Normei Tehnice nr. 4/2000 (Anonymus, 2000) privind evaluarea volumului de lemn destinat comercializării. Volumele s-au calculat pentru 5663 de arbori. Simultan cu măsurarea elementelor dendrometrice a fost identificat și modul de regenerare a exemplarelor de gorun și stejar pedunculat și consemnat în fișa de inventariere.

Datele obținute prin inventarii au fost prelucrate în programul Office Excel, iar din cele 35 de u.a. exploatabile și pre exploatabile din acest U.P. doar 21 au fost incluse în acest studiu, fiind reprezentative în ceea ce privește proporția elementelor de cvercinee (gorun și stejar pedunculat) cu proveniență din lăstari dar și din sămânță.

În arboretele neexploatabile și cele în care au fost propuse tăieri de conducere și îngrijire în care elementul preponderent are diametrul mediu mai mare de 12 cm, au fost amplasate 445 de piețe de probă circulare cu suprafața de 300 m².

În vederea încadrării unui arboret în subcategoriile din urgența a III-a, în cazul existenței unui excedent sau deficit de arborete exploatabile, am căutat noi date suplimentare, precum și procedee de prelucrare a acestora, pentru a propune un nou indice, menit a fi folosit pentru o mai bună fundamentare a deciziilor amenajistice. Indicele pe care îl propunem este indicele dominanței stocastice (IDS).

Metoda aduce un progres în problema încadrării arboretelor în urgențele de regenerare și permite comparații pertinente, între două sau mai multe arborete pe care nu le puteam discrimina ușor în raport cu calitatea arborilor și prezența sau nu a unor specii.

Utilizarea analizei DS pe volum reprezintă o noutate. Din datele cunoscute această metodă, reprezintă o noutate în cercetarea silvică, oferind o altă imagine a caracteristicilor structurale ale arboretelor, comparativ cu estimările tradiționale. Pentru implementarea acestei metode este necesară efectuarea unei inventarii cantitative și calitative suplimentare a arboretelor exploatabile (indiferent de urgența de regenerare).

Folosind această metodă încercăm crearea unui model decizional bazat pe măsurători directe și mai puțin pe aprecieri subiective. Aceasta are rolul de a asigura o cât mai eficientă utilizare a resurselor de lemn acumulate prin modelul de calcul al posibilității prin metoda creșterii indicatoare. Acest lucru este necesar deoarece s-a constatat că în majoritatea unităților de producție, arboretele exploatabile sunt constituite preponderent din arbori cu volume foarte mari din clasa a III-a și a IV-a de calitate.

Când avem de ales între doi vectori în care se înregistrează două șiruri de valori, criteriul cel mai la îndemână este media; în funcție de interes, alegem fie vectorul cu media cea mai mare, sau cu media cea mai mică. Dar media în sine nu spune mare lucru, este doar un indicator al tendinței centrale, ce nu

spune nimic despre dispersia valorilor. De aceea, criteriul de decizie trebuie să fie ceva mai complex iar indicatorul cel mai potrivit este coeficientul de variație, adică raportul dintre abaterea standard și medie.

Dacă cei doi vectori se referă la diametre pe clase de calitate (calitate superioară I și II, inferioară III și IV), iar valorile din cei doi vectori sunt diametrele, putem spune că arborii de calitate inferioară sunt mai groși decât cei de calitate superioară dacă coeficientul de variație al diametrelor de calitate superioară este mai mare decât coeficientul de variație al diametrelor de calitate inferioară (Jun-hui și colab. 2009).

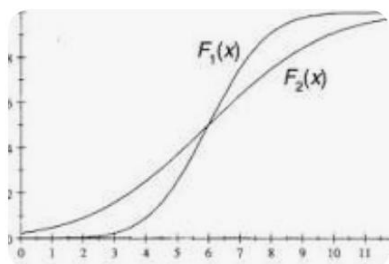


Figura 7 Dominanța stocastică de ordinul I

Considerând două loterii³ F1 și F2, spunem că F1 domină stocastic F2 dacă aria situată sub curba distribuției cumulate a lui F1, acolo unde aceasta se află deasupra lui F2, este mai mare decât aria în care F2 o depășește pe F1 (figura 7). Dacă cele două distribuții cumulate se intersectează de două ori avem dominanță de ordinul II și așa mai departe.

Cele două loterii pe care le-am analizat sunt frecvențele relative cumulate ale arborilor de calitate su-

perioară, respectiv ale arborilor de calitate inferioară.

Matematic, avem două opțiuni: raportul dintre coeficienții de variație⁴ (MAS – medie/abatere standard) ai celor două populații statistice (arbori de calitate superioară, respectiv arbori de calitate inferioară), rescris potrivit relației 8, sau indicele dominanței stocastice propus prin această lucrare (relația 9):

$$MAS = \frac{\frac{SDV_{HQ}}{media_{HQ}}}{\frac{SDV_{LQ}}{media_{LQ}}} = \frac{Media_{HQ}}{Media_{LQ}} \cdot \frac{SDV_{HQ}}{SDV_{LQ}} (8)$$

³ Termenul de loterie semnifică, în statistică, orice șir de date randomizate.

⁴ Coeficientul de variație este raportul dintre abaterea standard și media unui șir de valori.

$$IDS = \left(\frac{\sum CDF(HQ)}{\sum CDF(LQ)} \right)^2 \quad (9)$$

În relația 8, în prima egalitate, este prezentată formula de calcul al coeficientului de variație iar în relația 9 noul indice propus, respectiv IDS. La numărătorul relației 9, suprafața de sub curba frecvențelor relative cumulate pentru arborii QS, iar la numitor suprafața de sub curba frecvențelor relative cumulate pentru arborii QI.

(Parton și Carberry 1995) au prezentat limitările celor două modalități de evaluare a riscului asociat unei decizii. Cele două frecvențe relative cumulate au fost calculate pentru diametre (grupate în clase de 4 cm), respectiv volume (grupate în clase de 0,5m³). În cazul de față, decizia nu se referă la a alege sau nu un anumit arbore pentru a fi recoltat ci la încadrarea corectă în cele două mari clase de calitate a tuturor arborilor unei specii de interes, într-un arboret oarecare.

În contextul actual, Norma tehnică pentru amenajarea pădurilor O.M. nr. 2536 din 28 septembrie 2022 definește urgența 3 de regenerare, unde sunt descrise principalele criterii calitative de încadrare a arboretelor, fără nici o metrică care să permită cuantificarea obiectivelor. Utilizarea DS ca un criteriu de evaluare a măsurii în care arborii ce îndeplinesc un anumit criteriu domină din punct de vedere statistic arborii ce nu îndeplinesc criteriul respectiv, ambele populații statistice fiind definite în raport cu clasele de diametre la 1.30 (Barucke Marcondes și colab. 2017).

În prezentul studiu, cele două populații statistice sunt gorunul cu proveniență din lăstari și stejarul pedunculat cu proveniență din lăstari încadrate în clase de calitate superioare (I și II) și inferioare (III și IV).

Practic, se analizează care din cele două populații statistice o domină stohastic pe cealaltă și modul în care acest lucru influențează modul de încadrare a arboretelor în urgențele de regenerare.

Dominanța stocastică presupune compararea ariilor de sub curba frecvențelor relative cumulate pentru cele două populații statistice de arbori: cei aflați în clasele I și II calitate, respectiv III și IV.

Cele două condiții de încadrare a arboretelor în urgențe de regenerare sunt prezentate în relațiile 10 și 11 (în formă analitică)

(10) Dacă: $\int_{V1^{I-II}}^{V18^{I-II}} di^{I-II} fi^{I-II} > \int_{V1^{III-IV}}^{V18^{III-IV}} di^{III-IV} fi^{III-IV}$

atunci arboretul este încadrat în urgența 3.3.

Dacă: $\int_{V1^{I-II}}^{V18^{I-II}} di^{I-II} fi^{I-II} < \int_{V1^{III-IV}}^{V18^{III-IV}} di^{III-IV} fi^{III-IV}$ (11)

atunci arboretul este încadrat în urgența 3.2.

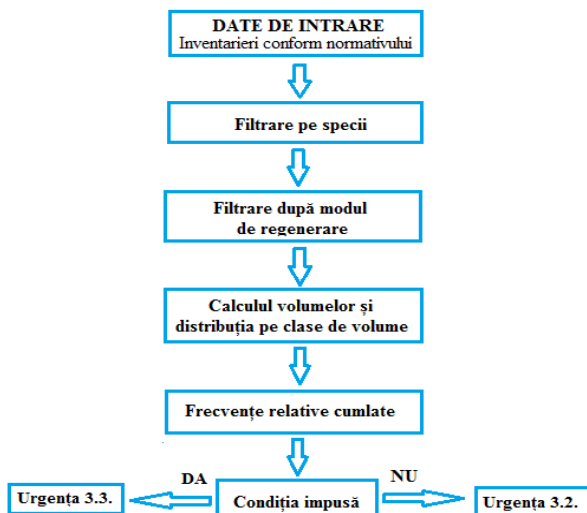


Figura 8 Schema logică a stabilirii celor două urgențe de regenerare prin ADS

Simbolurile matematice din cele două condiții sunt următoarele: $V 1 \dots 18^{I-II, III-IV}$ este volumul arborilor din clasele I, II și III, IV de calitate din clasele de diametre 1-18; $di^{I-II, III-IV}$ sunt diametrele arborilor din clasele I, II și III, IV de calitate din clasa de diametre i ; $fi^{I-II, III-IV}$ sunt frecvențele relative cumulate, pentru diametre. (pentru clasele I, II și III, IV de calitate până la clasa de diametre i . Indicii $i=1 \dots 18$ semnifică cele 18 clase de valori în

care s-au grupat diametrele și volumele. Întregul proces este descris în schema logică din figura 8.

În prezent, încadrarea arboretelor exploatabile în urgențe de regenerare și în categoriile specifice acestora se realizează conform Ordinului Ministrului Mediului, Apelor și Pădurilor nr. 2536 din 28 septembrie 2022, care stabilește Normele tehnice privind amenajarea pădurilor. De-a lungul timpului, aceste criterii au fost redefinite pentru a reflecta mai bine realitățile socio-economice și ecologice, fiind ajustate la fiecare revizuire a normelor tehnice.

De exemplu, ediția din 1986 clasifică arboretele în trei urgențe de regenerare: urgența I cuprindea 5 categorii, urgența II avea 7 categorii, iar urgența III includea 4 categorii. În anul 2000, sistemul a fost extins la 5 urgențe de regenerare, însă doar primele trei erau aplicabile în practică. Urgența I conținea 4 categorii, urgența II avea 9, urgența III – 5, iar urgențele IV și V includeau câte 2 categorii fiecare. Odată cu revizuirea din 2022, numărul urgențelor a fost redus la 4, iar distribuția categoriilor a fost modificată astfel: urgența I – 3 categorii, urgența II – 9 categorii, urgența III – 6 categorii și urgența IV – o singură categorie.

În prezent, criteriile de încadrare pe urgențe de regenerare a arboretelor exploatabile sau trecute de vârsta exploatabilității sunt următoarele: consistența, vitalitatea, productivitatea, vârsta, proporția semințișului utilizabil (dacă este cazul) și tipul de structură. Potrivit normei 5 din 2000 (pag. 160-151), amenajistii operează cu cinci sub-urgențe, după cum urmează:

”3.1. Arborete cu densități de 0,7 și peste, echiene și relativ echiene, de productivitate inferioară și vitalitate cel puțin normală, trecute de vârsta exploatabilității;

3.2. Arborete cu densități de 0,7 și peste, echiene și relativ echiene, de productivitate mijlocie și superioară, de vitalitate cel puțin normală, trecute de vârsta exploatabilității;

3.3. Arborete cu densități de 0,7 și peste, echiene și relativ echiene de productivitate cel puțin normală, ajunse la vârsta exploatabilității;

3.4. Arborete cu densități de 0,7 și peste, echiene și relativ echiene, de productivitate cel mijlocie și superioară, de vitalitate cel puțin normală, ajunse la vârsta exploatabilității;

3.5. Arborete cu densități de 0,7 și peste, pluriene și relativ pluriene, de productivitate inferioară și sau vitalitate sub-normală, considerate exploatabile în raport cu vârsta cel le-a fost atribuită”.

La aceste criterii calitative – excepție face doar densitatea – în ediția din 2022 a aceluiași norme s-a adăugat urgența 3.6 în care se încadrează „*arborete cu structuri de tip natural stabile, de regulă arborete pluriene sau relativ pluriene, de productivitate superioară sau mijlocie, de vitalitate cel puțin normală, cu consistență normală, considerate exploatabile în raport cu vârsta ce le-a fost atribuită*”.

O simplă analiză a semnificațiilor termenilor folosiți ne direcționează spre analiza combinatorie a două nivele de productivitate (de fapt ar trebui să fie trei, la rigoare), două niveluri de vitalitate și două tipuri de structură (echienă, respectiv relativ plurienă și plurienă), deoarece structurii pluriene îi este asociată vârsta elementului de referință, avem doar cinci sub-urgențe: două pentru arboretele ajunse la vârsta exploatabilității, două pentru cele trecute de vârsta exploatabilității și una pentru cele considerate exploatabile în raport cu vârsta elementului de referință.

Motivul pentru care în 2022 se vorbește de „structuri de tip natural, stabile...” nu poate fi altul decât încercarea de a defini o „urgență de avarie” care să poată fi invocată în situațiile în care oricare din celelalte cinci urgențe nu se poate invoca.

Un alt factor care poate influența deciziile este presiunea economică exercitată de proprietari sau administratori, care pot solicita explicit încadrarea în urgența I sau urgența II, pentru a facilita exploatarea mai rapidă: iar argumente se pot găsi ușor în starea actuală a arboretelor, mai mult sau mai puțin afectate de intervențiile antropice anterioare sau de factori biotici, cum ar fi atacurile de insecte sau uscările anormale.

O metodă mai precisă pentru încadrarea arboretelor în urgența III-a este utilizarea dominanței stocastice. Am ales urgența a III-a deoarece aceasta joacă cel mai important rol în grăbirea sau amânarea exploatării unui anumit arboret, care a depășit vârsta exploatabilității.

Urgențele I și II, deși acoperă situațiile de afectare severă, nu sunt suficiente pentru a încadra toate arboretele destabilizate structural. Se omite astfel o zonă critică — specifică Urgenței III — în care arboretele nu sunt complet compromise, dar nici viabile pe termen lung, necesitând decizii prudente și bine argumentate.

Este important de subliniat că încadrarea într-una dintre subcategoriile urgenței III-a (3.1, 3.2 sau 3.3, conform normelor din 1986) are consecințe directe asupra planificării intervențiilor silvice. Astfel, arboretele încadrate în 3.1 și, uneori, în 3.2 sunt incluse în planul decenal de recoltare, în timp ce exploatarea celor urgență 3.3 este amânată pentru deceniul următor. Criteriile actuale de departajare — bazate pe productivitate și vitalitate — pot conduce la menținerea în producție a unor arborete formate în proporție majoră din exemplare de calitate inferioară (clasele a III-a și a IV-a), în ciuda faptului că acestea au o capacitate de regenerare și o stabilitate structurală reduse.

Pentru Urgența III de regenerare, unde arboretele au ajuns sau au trecut de vârsta exploatabilității, dominanța stocastică poate fi utilizată pentru a decide cât de urgentă este regenerarea unui arboret, pe baza comparației dintre arborii de calitate superioară (I-II) și cei de calitate inferioară (III-IV).

Noua abordarea pe care o propunem în locul combinațiilor de productivitate, vitalitate, structură și vârstă (consistența mai mare de 0,7, fiind element comun, nu este criteriu discriminatoriu) este tot combinatorie, dar operează cu două metrici noi, comensurabile pe baza inventarierilor: acestea sunt IDS pe diametru, respectiv pe volum.

Deoarece cele două variante de IDS iau valori supra sau subunitare, am încercat să abordăm unitar deciziile bazate pe urgența de regenerare – ce ne spun, într-o manieră mai complicată, când putem face sacrificii de exploatabilitate în plus sau minus – cu cele bazate pe IDS. În tabelul 3 prezentăm cele patru decizii pe care inginerul amenajist le poate lua, în funcție de cele două seturi de IDS pe care le poate calcula, la finele inventarierii arboretelor exploatabile. Dacă IDS pe volum este supraunitar iar cel pe diametre este subunitar, arboretul poate fi exploatat la termen.

Tabelul 3 Utilizare DS la fundamentarea deciziei de adoptare a unor sacrificii de exploatabilitate și gestionarea unitară a lemnului mort

	IDS diametre >1	IDS diametre ≤ 1
IDS volum > 1	Sacrificii de exploatare în plus	Exploatare la termen
IDS volum ≤ 1	Sacrificii de exploatabilitate în minus	Lemn mort

O exploatare anticipată nu-și are rostul, iar un sacrificiu de exploatare în plus nici atât. Dacă ambii IDS sunt supraunitari este evident că un sacrificiu de exploatabilitate în plus are sens, arborii speciilor valoroase acumulând creșteri pentru încă un deceniu.

Pentru a calcula IDS, trebuie calculate frecvențele relative cumulate ale diametrelor sau volumelor arborilor de calitate superioară, respectiv a celor de calitate inferioară, atât pentru volume cât și pentru diametre.

Utilizarea dominantei stocastice pentru clasificarea arboretelor în Urgența III de regenerare aduce un plus de obiectivitate și precizie în luarea deciziilor silvice. Prin compararea distribuțiilor cumulative ale diametrelor arborilor de calitate superioară și inferioară, se poate determina gradul de urgență a regenerării, contribuind astfel la o gestionare sustenabilă a fondului forestier.

4.3.3 Îmbunătățirea modului de stabilire a vârstei exploatabilității pentru pădurile provenite din lăstari

Vârsta exploatabilității tehnice, așa cum este stabilită prin normele tehnice în vigoare, nu a mai fost schimbată semnificativ de aproape patru decenii, deși contextul socioeconomic și ecologic în care sunt gestionate pădurile s-a schimbat radical și ireversibil, din multe puncte de vedere. Exploatabilitatea tehnică presupune raportarea la un anumit sortiment-țel, iar vârsta la care creșterea medie a respectivului sortiment-țel este vârsta exploatabilității tehnice. Soluții alternative la această abordare ar fi exploatabilitatea absolută, exprimată prin vârsta la care creșterea medie totală atinge un maxim, precum și exploatabilitatea economică, definită ca vârsta la care renta forestieră netă atinge un maxim ((Drăgoi 2008; 2004a)). În acest caz, prin rentă forestieră netă se înțelege suma veniturilor nete realizate la exploatabilitate, prin vânzarea la prețurile pieței a tuturor sortimentelor lemnoase optenabile.

Modelul pe care îl propunem este versiunea simplificată a modelului recursiv propus de (M. Drăgoi și G. Duduman 2006). Simplificarea constă în faptul că fiecărui prag de vârstă îi corespunde un indice al dominanței stocastice iar vârsta optimă este aceea căreia îi corespunde un indice al dominanței stocastice egal cu unu. Modelul ce simulează acest proces este constituit din relațiile

$$N_i^I = N_i^T \frac{N_i^T - N_m^T}{N_{50}^T - N_m^T} \quad (12)$$

$$N_i^{II} = (N_i^T - N_i^I) \left(\frac{N_i^T - N_m^T}{N_{50}^T - N_m^T} \right) \quad (13)$$

$$N_i^{III} = (N_i^T - N_i^I - N_i^{II}) \frac{N_i^T - N_m^T}{N_{50}^T - N_m^T} \quad (14)$$

$$N_i^{IV} = N_i^T - N_i^I - N_i^{II} - N_i^{III} \quad (15)$$

Tabelul 4 Extras din tabelele de producție 1972 privind arboretele de stejar, provenit din lăstari, clasa I de producție (Giurgiu, Armășescu, și Decei 1972)

Vârsta	Nr. fire/ha clasa I prod.	Volum mc/ha
50	757	379
55	696	410
60	641	438
65	600	461
70	563	480
75	530	499
80	505	516
85	481	530
90	460	540
95	441	547
100	426	553

în care variabilele au următoarele semnificații: N_i^T - numărul total de arbori la vârsta i (dat de tabelele de producție); $N_i^I, N_i^{II}, N_i^{III}, N_i^{IV}$ numărul de arbori pe cele patru clase de calitate, la vârsta i , N_m^T numărul total de arbori ce ar rămâne pe o suprafață de un hectar, la vârsta exploatabilității fiziologice m , N_{50}^T - numărul de arbori la hectar rămas după aplicarea ultimei rărituri; convențional, s-a considerat că acesta

este numărul de arbori corespunzător vârstei de 50 de ani, conform tabelelor de producție.

Până la relația (14) modelul este eminamente recursiv, în sensul că raportul din membrul drept al relațiilor 12-14 scade treptat; la 50 ani are valoare unitară (numărătorul este egal cu numitorul), iar la vârsta exploatabilității fiziologice numărătorul este zero, deci tot raportul este zero. Cele patru relații au fost implementate în patru coloane adăugate la stânga coloanelor preluate din tabelele de producție 1972 (Tabelul 4).

Procesul deprecierei calitative este simulat dincolo de limitele date de tablele de producție, unde sunt înregistrate date până la vârsta de 100 ani,

pentru arboretele de crâng. După această vârstă, rata deprecierei calitative a fost corectată iterativ, prin tatonări, astfel încât la vârsta exploatabilității fiziologice să rămână doar câteva exemplare la hectar, și acelea în clasa a IV de calitate.

Problema longevității speciilor forestiere este destul de complexă, pentru că intervin și alți factori, în afara calității lemnului, a conținutului de lignina și a climatului general (Piovesan și Biondi 2021). Pe baza numărului de fire în fiecare clasă de calitate, volumul total poate fi împărțit în două categorii, cu prețuri diferite: lemn de lucru, respectiv lemn de foc.

4.3.4 Gestionarea lemnului mort prin analiza dominanței stocastice

În contextul certificării forestiere FSC (Forest Stewardship Council), acest proces natural poate fi integrat într-un mod constructiv. Standardele FSC prevăd păstrarea unei cantități minime de lemn mort, arbori uscați în picioare sau doborâți, ca element esențial pentru menținerea biodiversității și a funcțiilor ecologice ale pădurii. Astfel, arborii de cvercinee afectați de declin pot fi lăsați intenționat ca lemn mort, contribuind la atingerea cerințelor FSC.

Adoptarea sistemului de certificare FSC la nivel de ocol presupune, printre multe alte activități, identificarea și monitorizarea lemnului mort. Potrivit standardului FSC⁵, *„Arborii uscați sau în curs de uscare (pe picior sau căzuți la sol) prezenți în arboret vor fi păstrați în limita a minim 1-3 arbori la hectar, începând cu primele rărituri comerciale. În cazul punerii în valoare de produse secundare ...se vor alege, cu precădere, arbori pe picior, din esențe moi, cu diametrul de minim 24 cm sau arbori pre-existenți. În cazul punerii în valoare de produse principale, se vor alege, cu precădere, arbori doborâți sau iescari, arbori foarte bătrâni ajunși la limita fiziologică, arborii valoroși din punct de vedere al biodiversității (cu crăpături, scorburoși, prezența cuiburilor, surse hrană pentru păsări etc)”*

Conservarea biodiversității prin lemn mort (arbori habitat sau arbori pentru biodiversitate) a devenit un obiectiv îmbrățișat de tot mai multe țări, iar

⁵ The FSC National Forest Stewardship Standard of Romania, Anexa K – Material lemnos important pentru biodiversitate – Lemn mort, 2019.

o sinteză la nivel european, destul de veche, este încă de referință (Johansson și colab. 2013).

Spre deosebire de analiza anterioară, ce s-a desfășurat în toate arboretele exploatabile și pre-exploatabile, pentru localizarea potențialilor arbori menținuți ca lemn mort, au fost extrase din baza de date (folosite la metoda dominanței stocastice), doar arboretele ce au compoziție mai mult de cinci exemplare de fag, gorun sau stejar, deoarece doar aceste specii interesează ca lemn mort.

Dacă încadrarea pe urgențe de regenerare s-a făcut prin analiza tuturor arborilor inventariați în piețele de probă iar decizia s-a luat pentru întregul arboret, în cazul lemnului mort decizia s-a luat pentru fiecare arbore în parte.

Toți arborii inventariați au fost introduși într-o foaie de calcul Excel, cu următoarele coloane: u.a., specie, diametru, înălțime, volum, clasă de calitate și proveniență. Proveniența contează, deoarece arborii de fag, gorun și stejar proveniți din lăstari sunt mai puțin longevivi iar păstrarea lor ca arbori habitat are un cost de oportunitate mai mic decât au cei proveniți din sămânță, al căror lemn este mai potrivit pentru lemn de foc.

Filtrarea datelor s-a făcut la fiecare interogare în funcție de specie și proveniență iar datele filtrate au fost grupate pe clase de diametre de 4 cm, respectiv clase de volume de $0,5 \text{ m}^3$. Acest aspect este important deoarece, spre deosebire de stabilirea urgențelor de regenerare, unde gruparea arborilor pe clase de diametre este de regulă suficientă, în cazul arborilor habitat pot apărea situații ușor confuze.

Aria de sub fiecare curbă de frecvențe relative cumulate s-a calculat cu ajutorul metodei trapezelor (Dinçkal 2018), ușor implementabilă în Excel.

5 REZULTATE ȘI DISCUȚII

5.1 Adaptarea metodei creșterii indicatoare la modelul stocastic al pădurii normale

Creșterea indicatoare este un parametru cheie în calculul posibilității de produse principale. În mod normal, dacă produsele accidentale ar fi sporadice și neglijabile din punct de vedere al volumului, nu ar fi nici necesară și nici

justificată modificarea modului de calcul al posibilității. Pentru acest studiu au fost selectate cele mai reprezentative 8 arborete din cadrul U.P. I Callimachi.

Volumul afectat de uscări doar în cinci ani este de 2873 m³, în condițiile în care întregul fond de producție este 69860 m³, ceea ce reprezintă 4 % din fondul de producție (Tabelul 5). Acest volum de arbori uscați recoltați prin ACC1 și ACC2 a fost recoltat în perioada 2015-2020, majoritatea exemplarelor uscate prezentau atacuri de *Agrilus biguttatus*. Atacurile acestui dăunător sunt mai intense în anii secetoși, iar în ultimii ani acesta a dezvoltat gradații puternice.

Pentru a testa modelul propus de profesorul Ian Kouba, am preluat din Tabelul 5 ultima coloană și am raportat suprafețele afectate de uscare la suprafețele fiecărei clase de vârste, estimând astfel probabilitatea de revenire în clasa I de vârste, pentru fiecare clasă de vârste.

Tabelul 5 Principalele caracteristici ale datelor utilizate pentru adaptarea modelului de calcul a creșterii indicatoare în condițiile influenței hazardelor climatice și rezultatele obținute (eșantion din baza de date).

u.a.	Vârsta	Specia	Suprafața (ha)	Consistența	Creșterea (m ³ /an/ha)	Vol. m ³ /ha	Vol. m ³ /u.a.	Vol. Recoltat (m ³)	Natura produsului	Suprafața afectată (ha)	Creșterea reală (m ³ /an/ha)
29 A	70	GO	18,30	0,56	3,0	173	3166	361	ACC I	2.09	2.66
		CA		0.16	1.4	29	531	24	ACC I	0.83	1.34
		DT		0.08	0.5	19	348	31	ACC I	1.63	0.46
		Total		0.8	4.9	221	4045	416	-	-	4.40
30 C	50	GO	8.70	0.36	2,5	76	661	33	ACC II	0,43	2,38
		TE		0,18	2,0	50	435	-	-	-	2,00
		CA		0,27	2,0	36	313	-	-	-	2,00
		DT		0,09	0,7	16	139	-	-	-	0,70
		Total		0,9	7,2	178	1548	33	-	-	7,05

Am completat astfel a doua linie în Tabelul 6, iar probabilitățile de trecere în următoarea clasă de vârste sau calculat ca diferențe între unu și

probabilitățile de revenire, Deoarece aceste probabilități reprezintă doar un „cadru” al procesului continuu de trecere dintr-o clasă de vârste în următoarele, am trecut la calculul vectorului P din relația 2, înmulțindu-l cu matricea V_t până când diferențele dintre V_t și V_{t+1} au devenit foarte mici, neglijabile. În acest scop am folosit funcția produs matriceal MMULT (), implementată în Excel. Rezultatul acestor înmulțiri repetate este prezentat în figura 9.

tabelul 6 Probabilitățile de revenire în prima clasă de vârste pentru cvercinele din U.P. I Callimachi, O.S. Bașotă

Clasa de vârste	1	2	3	4	5	6
Probabilitate de revenire în prima clasă de vârste (%)	8	12	12	4	0,1	1
Probabilitatea de trecere în următoarea clasă de vârste (%)	92	88	88	96	0,9	0

Pentru a calcula produsele matriceale din relația 2, s-a folosit funcția mmult (produs matriceal) implementată în foile electronice de calcul. Matricea de trecere V_1 și vectorul P sunt reprezentate în Tabelul 7.

Tabelul 7 Vectorul probabilităților de revenire și de trecere

P	I	II	III	IV	V	VI
0,08	0,92					
0,12		0,88				
0,12			0,88			
0,04				0,96		
0,001					0,999	
0,01						0,99

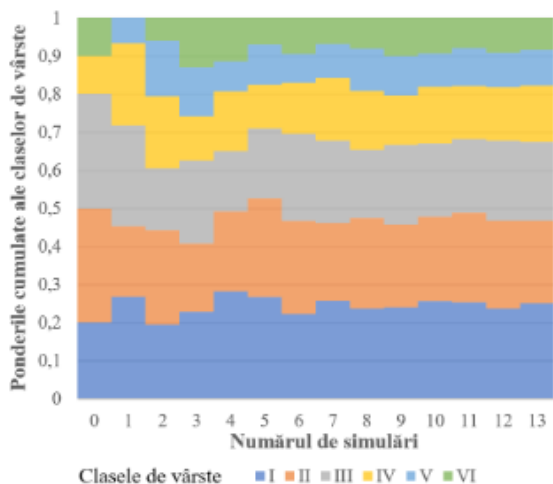


Figura 9 Rezultatul simulării de 13 ori a procesului Markov

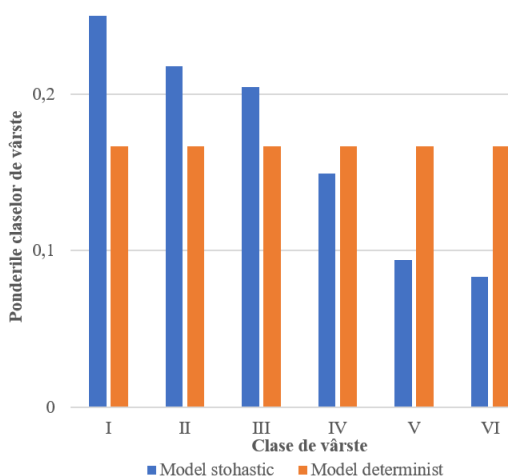


Figura 10 Cele două structuri de referință: structura normală, structura stocastica

În figura 9 este reprezentat rezultatul înmulțirii de 13 ori (numărul simulărilor este reprezentat pe abscisă) a structurii inițiale pe clase de vârste cu probabilitățile de trecere dintr-o clasă de vârste în clasa următoare. Pe coloana zero se citesc ponderile fiecărei clase de vârste, la începutul simulării. Se observă că a V-a clasă de vârste (colorată în albastru deschis) nu apare în situația inițială, iar între 20 și 40 ani dispare clasa a VI-a, ce reapare după 40 ani.

Creșterea indicatoare inițială, calculată conform actualelor norme tehnice, este $896 \text{ m}^3/\text{an}$ iar creșterea indicatoare calculată conform structurii determinată prin LM este de $1030 \text{ m}^3/\text{an}$, ca urmare a ponderilor relativ mari, deținute de clasele de vârste I, a II-a și a III-a.

În Figura 10 sunt prezentate două

structuri pe clase de vârste: structura inițială (cu gri), respectiv structura finală pe clase de vârste (marcată cu portocaliu), ca urmare a înmulțirii repetate cu matricea probabilităților de trecere. Pe abscisă sunt reprezentate clasele de vârste iar pe ordonată ponderea acestora.

Figura 9 dovedește faptul că lanțurile Markov modelează corect „rostogolirea” claselor de vârste și procesul de stabilizare a fondului de producție: clasele de vârste devin stabile peste 60 ani.

Evident, asemenea probabilități, dacă sunt calculate pentru o anumită specie sau pentru o anumită combinație specie-condiții de vegetație, indică un proces foarte activ de eliminare naturală. Probabilitățile din Tabelul 7 pot fi calculate în diverse modalități, folosind metode statistice deja în literatură (Dragoi și Barnoaia 2018).

De asemenea, pot fi schimbate, după un anumit număr de rotații, probabilitățile de revenire în prima clasă de vârste, în funcție de prognozele climatice și modelele de simulare recent publicate (Coșofreț și Bouriaud 2019). De asemenea, fenomenele succesionale pot fi mai ușor modelate ca lanțuri Markov, așa cum a demonstrat cu decenii în urmă profesorul Ian Kouba sau, la scară mult mai mare, așa cum au demonstrat studii mai recente (Neumann și colab. 2017; Halofsky și colab. 2018).

Spre deosebire de varianta alternativă, bazată pe calculul valorilor și vectorilor proprii asociați matricei probabilităților de trecere (Drăgoi 1999) modul de calcul prezentat în această lucrare este mai stabil, întrucât putem porni de la matricea de trecere cu valori proprii în domeniul numerelor imaginare, ce fac imposibilă găsirea unor soluții realmente fezabile.

Un alt aspect ce trebuie luat în considerație este scara geografică: la unități mici de producție, creșterile indicatoare vor fi, de asemenea, mici, iar modificarea creșterilor prea puțin sesizabilă.

O altă soluție ar putea fi introducerea unui factor de corecție egal cu raportul dintre suprafața afectată de extrageri de produse accidentale și suprafața întregii SUP A. Așadar aplicând relația 7, vom avea:

$$Ci' = 1 - \frac{35.64}{302.90} \cdot 896 = (1 - 0.12) \cdot 896 = 788 \text{ m}^3$$

Practic, avem trei variante de calcul al creșterii indicatoare: abordarea normală, în care nu ținem cont de extragerile de produse accidentale, situație în care posibilitatea este 896 m³/an (calculată cu relația 3); varianta în care

ținem cont de produsele accidentale, dar considerăm că acestea apar repetat, pe aceeași suprafață – situație în care posibilitatea este de 1030 m³ (calculată cu relația 4, care, pe termen lung, va duce la un dezechilibru al claselor de vârste) și varianta în care ținem cont de produsele accidentale deja extrase (relația 7), ca și cum am precompta permanent produsele accidentale, situație în care posibilitatea este de 788 m³.

5.2 Utilizarea dominanței stocastice la stabilirea urgenței de regenerare

În ipoteza că se dorește păstrarea unui anumit număr de arbori pentru biodiversitate, în vederea îndeplinirii criteriului FSC, metoda permite evaluarea costului de oportunitate al păstrării arborilor habitat, întrucât permite decidentului să răspundă la următoarea întrebare: *care sunt arboretele în care vom păstra arbori pentru biodiversitate, astfel încât costul de oportunitate al unei asemenea decizii să fie minim?* Adică să pierdem cât mai puțin, păstrând câțiva arbori foarte groși pentru biodiversitate, restul urmând a fi exploatați conform tratamentului indicat de amenajament.

Beneficiarul a dorit nu doar o simplă inventariere, ci și încadrarea pe clase calitate a arborilor, ceea ce a constituit o premisă îmbucurătoare pentru prelucrarea ceva mai complexă a datelor primare. Din totalul celor 35 arborete exploatabile și pre-exploatabile inventariate, din U.P. I Dumești, am selectat 21 de u.a.-uri reprezentative (exploatabile și pre-exploatabile) în care am aplicat metoda ADS (Tabelul 8). Criteriul care a stat la baza luări în studiu a celor 21 de u.a. a fost procentul mai ridicat de gorun și stejar pedunculat cu proveniență din lăstari.

Tabelul 8 Principalele caracteristici ale unităților amenajistice luate în cercetare (eșantion din baza de date folosită pentru analiză).

u.a.	Suprafața	Vârsta	URG	Cons.	Lucrarea propusă	Proporția speciilor	Volum total	Volum de extras
2 A	30.16	140	26	0.5	T. Progresivă (punere în lumină)	5FA 2TE 1GO 1FR 1DT	8248	4089
2 B	7.70	100	33	0.9	T. Igienă (T. Prog. dec. II)	8GO 1TE 1DT	2534	-

Simularea a constat în reîncadrarea arborilor de gorun și stejar pedunculat cu proveniență din lăstari, cu un volum $\geq 1\text{ m}^3$, încadrați inițial în clasa a III-a de calitate, dar trecuți în clasa a II-a de calitate. Prin acest exercițiu s-a urmărit stabilirea un criteriu mai sensibil și mai exact de diferențiere a arboretelor încadrate în urgențele 3.2. și 3.3 de regenerare. Procedul are la bază următorul raționament: dacă arborii din clasele de calitate I și II domină stocastic pe cei din clasele de calitate III și IV, atunci acel arboret va fi încadrat în urgența 3.3 de regenerare și îl amânăm de la exploatare pentru un deceniu, fiind sănătos.

5.3 Gestionarea arborilor de calitate inferioară în vederea susținerii biodiversității

Tabelul 9 Sinteza măsurătorilor făcute în arborete exploatabile și pre-exploatabile

Specie	Calitate superioară	Calitate inferioară
	Volum total(m^3)	
Fag	895.496	551.193
Gorun	929.496	628.375
Stejar	180.987	166.724
Număr total de arbori		
Fag	348	261
Gorun	407	317
Stejar	71	92
Total	826	670
Volumul arborelui mediu(m^3)		
Fag	2.573	2.112
Gorun	2.284	1.982
Stejar	2.549	1.812

În tabelul 9 sunt prezentate volumele totale, pe specii, ale tuturor arborilor de gorun, fag și stejar din suprafața inventariat, din care au fost selectați arbori de calitate inferioară, candidați pentru a alimenta stocul de lemn mort. Se observă că predomină arborii de calitate superioară, iar volumul arborelui mediu de calitate inferioară este sub $2,5\text{ m}^3$.

În tabelul 10 este prezentată sinteza selectării arborilor candidați, respectiv suprafața totală a arboretelor ce constituie insulele

de îmbătrânire, arborii a căror exploatare poate fi amânată, deoarece în u.a respective arborii de calitate superioară domină arborii de calitate inferioară (încordarea în urgența III-3 este justificată de calitatea arborilor de fag, gorun și stejar).

Întârzierea recoltării – echivalentă cu încadrarea în urgența 3.3 – a fost recomandată pe o suprafață foarte mică, într-o singură u.a. Toți arborii din clase inferioare de calitate, ce pot găzdui elemente de biodiversitate, pot fi re-uniți în insule de îmbătrânire, ce ar cumula 57,4 ha.

Poziționarea insulelor de îmbătrânire urmează a se realiza efectiv în anul 2025, alegând arboretele la care ambii indici de dominanță (pe volume și diametre) sunt subunitari, la cvercinee și fag. Indicii DS au fost ponderați pe volum pentru a permite comparații pertinente între cele trei decizii luate pe baza IDS: crearea de insule de îmbătrânire sau simpla marcare a lemnului

mort, amânarea exploatării (sacrificiu de exploatabilitate în plus) sau exploatarea în deceniu a arboretelor din urgențele I și II.

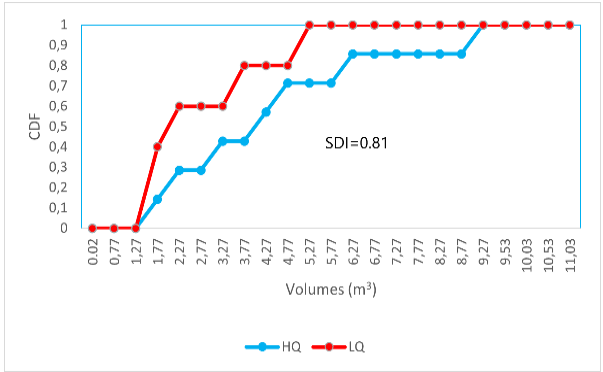


Figura 11 ADS pe volum, u.a.11 A, gorun din lăstari

dominanță de ordinul I iar IDS este sub unitar, motiv pentru care cei cinci arbori groși de gorun, provenit din lăstari, pot fi lăsați ca lemn mort. Dar dacă avem doar un singur arbore de calitate inferioară, va rezulta un IDS subunitar, motiv pentru care este nevoie de un număr minim de cinci arbori pe u.a. pentru fiecare clasă de calitate. Atunci când IDS pe volum este supraunitar iar cel pe diametre este subunitar avem de-a face cu un arboret valoros, în sensul că arborii foarte înalți sunt de calitate superioară.

În figura 11 sunt prezentate cele două curbe ale frecvențelor relative cumulate, pe clase de volume; Este o do-

Tabelul 10 Sinteza deciziilor luate prin analiza dominanței stocastice

Decizia recomandată	Suprafața totală (ha)	SDI mediu ponderat pe volum
Insule de îmbătrânire	57.4	0.85
Întârzierea recoltării	2.4	1.16
Recoltare în termen sau mai devreme (urgența a III-a)	96.8	0.92

Tabelul 11 Comparatie între rezultatele produse de cei doi IDS: ADS vs MSD

u.a	spe- cia	Pe diametre		Pe volume		Vo- lum total (m³)	Număr de arbori		VAM m³	Ordinul DS	
		IDS	MSD	SDI	MSD		QS	QI		Pe dia- me- tre	Pe vo- lume
11 A	Fag	1,19	1,41	1,08	2,06	171,94	32	18	3,439	1	1
13 D	Fag	1,01	2,11	0,82	1,59	127,55	27	23	2,551	2	2

Arboretele în care IDS sunt supraunitare atât pe volum cât și pe diametre pot fi recoltate, dacă sunt exploatabile, dar se recomandă încadrarea lor în urgența III-3, deoarece pot suporta sacrificii de exploatabilitate în plus.

Din contră, dacă IDS este supraunitar doar pe diametre, fiind subunitar pe volum, înseamnă că arborii valoroși din punct de vedere economic sunt mai slab reprezentați, putând fi exploatați la termen, conform amenajamentului.

5.4 Vârstele exploatabilității economice la arboretele de evercinee provenite din lăstari

Așa cum s-a precizat în capitolul destinat metodologiei de lucru, eliminarea naturală a arborilor este *precedată* de o depreciere calitativă a acestora, simulată printr-un proces iterativ, descris mai bine în figura 13, pentru stejar, clasa I producție, provenit din lăstari.

Curba arborilor de calitate superioară intersectează curba celor de calitate inferioară la vârsta de 110 ani, ceea ce înseamnă că după această vârstă vor fi evident mai mulți arbori de calitate inferioară, ceea ce înseamnă că vârsta

oricărui arboret exploatabil, cu stejar din lăstari ca specie principală, trebuie să fie mai mică decât 110 ani, dar nu mai puțin de atât.

Calculând indicele dominanței stocastice între arborii de calitate superioară și cei de calitate inferioară, a rezultat că pragul de la o valoare supraunitară a IDS la una subunitară este între 110 și 115 ani, valoare ce este apropiată de vârsta exploatabilității tehnice, având drept sortiment-țel lemnul pentru construcții rurale.

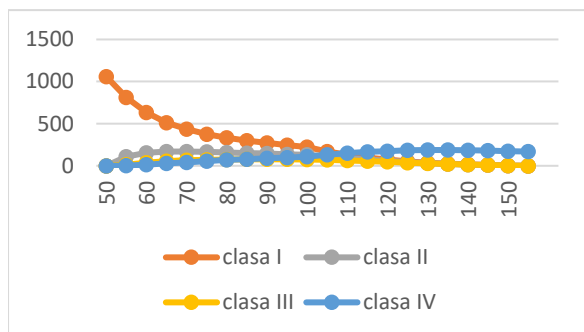


Figura 12 Depreciere gorun, clasa a III-a

În Figura prezentăm aceleași curbe calculate pentru gorun, clasa a II-a de producție, provenit tot din lăstari. Vârsta exploatabilității este undeva între 110 și 115 ani; numărul inițial de arbori crește ușor, comparativ cu arboretele din clasa I de producție.

Tabelele de producție din care au fost preluate datele primare nu oferă informații despre arboretele de fag provenite din lăstari din cauza faptului că în perioada în care s-au cules date pentru tabelele de producție românești s-a considerat că aceste regim este irelevant pentru arboretele de fag.

Ba mai mult, variabilitatea foarte mare a fagului în ceea ce privește diametrele și înălțimile i-a determinat pe mulți specialiști în dendrometrie și auxologie să considere că arboretele de fag au structuri pluriene când ele erau de fapt echiene. De fapt, această problemă a apărut după ce fostele păduri comunale au intrat în fondul forestier al statului, adică după 1986 (Duduman 2019).

Deoarece datele disponibile în tabelele de producție acoperă doar 50 ani (de la 50 ani la 100 an) – au lipsit efectiv date relevante pentru arboretele de vârste mai mari, la gorun și stejar – simularea deprecierei calitative s-a făcut până la vârsta de 150, considerând o rată a deprecierei constantă, de 2% pe an.

Trebuie precizat că rata anuală a deprecierei calitative nu este egală cu rata anuală a eliminării naturale, figurată în cele trei grafice. De asemenea,

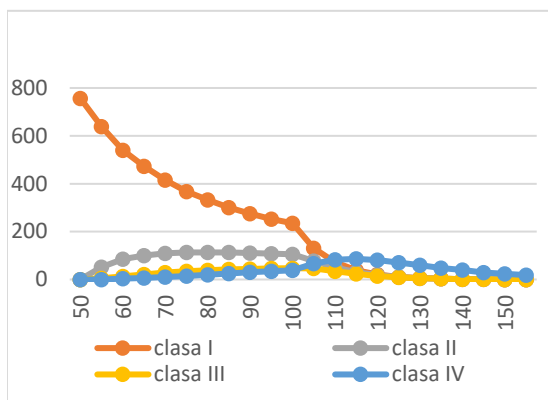


Figura 13 Deprecierea calitativă a arborilor de stejar din lăstari, clasa I de producție

nea soluție ar lua prea mult timp și nu s-ar justifica, mai ales că astfel de probleme – eliminarea naturală a cvercineelor din lăstari – se întâlnește pe arii relativ mici (mici proprietăți private sau păduri publice din zona de deal și de câmpie.

Numărul de arbori rămași în final este relativ constant, indiferent de clasa de producție, pentru că s-a pornit de la populații aproximativ egale.

Analizând graficul referitor la arboretele de productivitate mijlocie, se constată că vârsta exploatabilității este tot în jurul valorii de 100 ani (Figura 7).

Procedând la analiza sensibilității în raport rata anuală a deprecierei (2% pe an) s-a constatat că vârsta exploatabilității depinde foarte puțin de rata deprecierei, în sensul că poziționarea pe abscisă a intersecției dintre curba arborilor de calitate superioară și curba arborilor de calitate inferioară nu variază în raport cu rata anuală a deprecierei calitative.

modelul deprecierei calitative este unul complet determinist, în sensul că nu lasă loc unor erori de estimare, cum ar fi normal.

Întrebarea care se pune este la ce ne raportăm atunci când calculăm abaterea; firește, cea mai simplă cale ar fi să avem o monitorizare atentă a tranziției arborilor dintr-o clasă de calitate superioară într-una inferioară, dar o asemenea

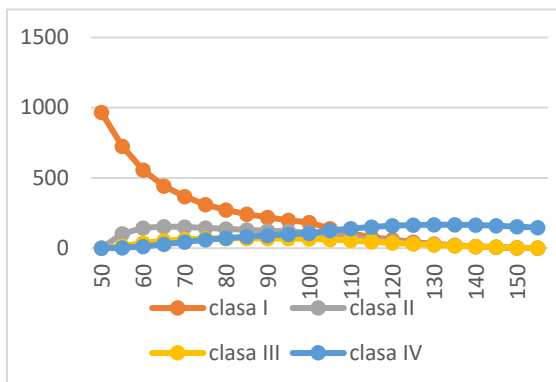


Figura 14 Deprecierea arborilor de gorun, din lăstari, clasa a II de producție

populația arborilor de calitate a III-a ș.a.m.d. Acesta este motivul pentru care numărul arborilor de calitate a II-a rămâne relativ constant, între 60 și 100 ani (figura 12). Arborii de clasa a III sunt relativ puțini, apar târziu și dispar repede, după 120 ani, vârstă după care arborii din primele trei clase de calitate dispar, treptat, rămânând doar cei din clasa a IV-a.

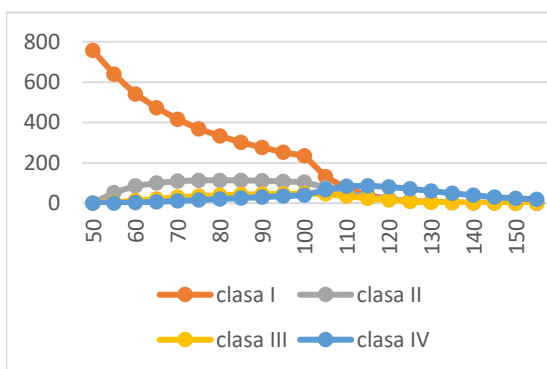


Figura 15 Cele patru curbe de depreciere pentru stejar, lăstar, clasa I producție, la o rată de depreciere de 5% an.

Simularea deprecierii s-a făcut până la 155 ani, vârstă la care s-a considerat că rămân în pădure cca 200 arbori la hectar, toți în clasa a IV-a de calitate.

Explicația constă în faptul că populația de arborii de calitate a I alimentează populația de arbori de calitate a II-a, din care o parte rămâne de calitate a II-a iar o porțiune mai mică alimentează

Rezultatele acestei analize vin să confirme ideea revenirii la SUP C, de conversie prin îmbătrânire, pentru că o astfel de SUP va avea cu siguranță un ciclu de producție mai mic *cu cel puțin o clasă de vârste* față de ciclul SUP A – codrul regulat, lemn rotund.

Așa cum se arată în figura 13 o creștere de cinci ori a ratei depreciere (de la 1% la 5%) nu

schimbă rezultatul analizei, ci doar curba descreșterii numărului de arbori de clasa I de calitate, al căror număr scade brusc la vârsta de 100 ani, dincolo de care numărul arborilor rămași pe picior s-a calculat cu ajutorul unei rate a eliminării de 5%.

Modelul propus este stabil sensibil în special la longevitatea speciei, fiind singura abordare ce se bazează pe exploatabilitatea fizică. Astfel, la stejar din sămânță, clasa I de producție, exploatabilitatea este de 140 ani, așa cum se arată în figura 16 la stejar din sămânță numărul de arbori la hectar a fost extrapolat până la vârsta de 250 ani iar simularea a început de la vârsta de 80 ani. Numărul inițial de arbori este mai mic, comparativ cu valorile preluate din tabelele de producție. Un rezultat similar (140 ani, vârsta exploatabilității economice), obținut prin

aplicare a formulei lui Faustmann la o rată a dobânzii de 0% a fost raportat într-un studiu comparativ, realizat pe date din Germania (Möhring 2001).

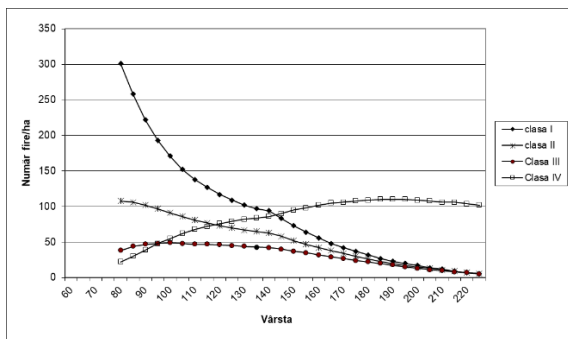


Figura 16 Exploatabilitatea la stejar din sămânță, clasa I de producție

6 CONCLUZII

6.1 Aplicarea modelului stocastic al pădurii normale la calcul creșterii indicatoare

Modelul clasic al pădurii normale este unul complet determinist, în sensul că nu ține cont de faptul că parte din arbori nu ajung la exploatabilitate, nu doar din cauza eliminării naturale dar și a unor fenomene anormale, precum atacuri de insecte, doborâturi de vânt sau pur și simplu uscări accelerate, după lungi perioade de secetă fiziologică.

Modelul stocastic al pădurii normale ține cont de toate aceste aspecte iar probabilitățile de trecere dintr-o clasă de vârste în clasa de vârste următoare sunt subunitare. În astfel de condiții, pădurea va tinde, cu timpul, spre o structură ne-echilibrată pe clase de vârste, în sensul că primele clase de vârste vor avea suprafețe mai mari decât ultimele clase de vârste, ceea ce înseamnă că însăși creșterea indicatoare va fi mai mare, datorită suprafețelor mai mari ocupate de primele clase de vârste. Așadar, creșterea indicatoare va fi *prin definiție* mai mare, pentru că și clasele de vârste cu creșteri curente mai mari vor ocupa, la rândul lor, suprafețe mai mari decât cele rezultate din simpla împărțire la suprafeței totale la numărul claselor de vârste.

Volumul produselor accidentale, precum și suprafața de pe care acestea se recoltează pe durata ultimei perioade pot da indicii valoroase asupra probabilităților de trecere amintite anterior, pe două căi: 1) una ce ține cont strict de calculul *probabilistic* și folosește modelul Lanțurilor Markov, în care se intră cu raportul dintre suprafețele actualelor clase de vârste și suprafețele parcurse cu extrageri de produse accidentale I și II, și 2) o modalitate mai simplă, în care creșterea indicatoare este corectată cu raportul dintre diferența dintre suprafața SUP A și suprafața de pe care s-au recoltat produse accidentale, din arborete trecute de vârsta de 60 ani. Prima variantă conduce la creșteri indicatoare mai mari decât cele aferente unei păduri normale, a doua variantă duce la creșteri indicatoare mai mici.

Coroborând eliminarea naturală cu procesul deprecierei calitative a arborilor, ce este mai accelerat la arboretele provenite din lăstari, a rezultat ciclul de producție pentru subunitățile de tip C – conversie prin îmbătrânire – ar trebui să fie de 100 ani, urmând ca o astfel de SUP să fie inclusă în SUP A odată ce toți arborii din lăstari vor fi fost înlocuiți de arbori proveniți din sămânță.

6.2 Aplicarea dominanței stocastice în procesul decizional de stabilire a urgențelor de regenerare

Am arătat cum inventarierea pădurilor și încadrarea arborilor în clase de calitate, urmate imediat de ADS, pot reconcilia două paradigme opuse: cea utilitară, în care ceea ce contează cu adevărat este procentul lemnului de lucru, și una nouă, în care silvicultorul poate renunța la recoltarea unor arbori pentru a asigura habitate valoroase pentru diverse insecte și păsări, protejate sau nu.

Urgența a III-a de regenerare a fost modificată în câteva rânduri în normele de amenajare și joacă un rol cheie în echilibrarea volumelor recoltabile în deceniul următor. Nu întâmplător, din 1986 până în prezent, la fiecare

actualizare a normelor de amenajare a pădurilor (în anii 2000, respectiv 2022) s-au adăugat noi criterii de încadrare în urgența a III-a. ajungându-se la pase urgențe în prezent, față de trei, câte erau în 1986.,

Analiza dominanței stocastice poate fi utilizată într-o manieră elegantă și ușor de aplicat pentru a decela cele patru situații ce caracterizează urgența a III-a: 1) arborete ce suportă sacrificii de exploatabilitate în plus (arborii de calitate superioară domină stocastic pe cei de calitate inferioară), 2) arborete ce ar trebui recoltate mai repede, din cauza degradării accelerate a arborilor speciei principale; 3) arborete ce trebui recoltate în deceniu, dacă au ajuns la vârsta exploatabilității, respectiv 4) arborete foarte degradate din punct de vedere calitativ,

Încadrarea doar în două clase de calitate a arborilor exploatabili și pre-exploatabili ar crește productivitatea muncii la punerea în valoare, cu pierderi minime din punct de vedere al calității rezultatului final al evaluării.

Atunci când diametrele și sau volumele se împrăștie pe o gamă largă de valori, este foarte probabil să se întâlnească ordine superioare de DS (DS de ordinul III sau chiar V) care produc indici de dominanță foarte apropiați de unu, deci inutilizabili pentru fundamentarea unei decizii de recoltare sau de păstrare ca lemn mort (Bayraktar, Paletto, și Floris 2020; Dragoi 2018; Bujoczek, Bujoczek, și Zięba 2021).

Într-o astfel de situație, decizia trebuie să se bazeze pe alte considerente, inclusiv accesibilitatea arboretului respectiv sau configurația terenului: dacă traseele de exploatare sunt prea abrupte sau întregul arboret este foarte îndepărtat, inaccesibil din punct de vedere tehnologic, valoarea reziduală a arborilor de calitate ar putea fi atât de mică încât opțiune de a-i păstra ca depozitari ai lemnului mort să vină de la sine. Oricum, diversitatea diametrelor în interiorul unui arboret asigură conservarea biodiversității intraspecifice iar (Buongiorno și colab. 1994) au arătat că indicele Shanon-Weaver este un bun instrument de măsurare diversității biologice. Totuși, extragerea cu precădere a arborilor groși și foarte groși reduce, în timp, capacitatea pădurii de a rezista stresului climatic (Park Williams și colab. 2012; Barbu și colab. 2016).

De asemenea, am demonstrat că metoda ADS permite mai buna fundamentare a încadrării arboretelor pe urgențe de regenerare. Implicațiile adaptării unor urgențe obiectiv stabilite sunt multiple și în continuare enumerăm câteva dintre acestea:

- o mai mare flexibilitate în echilibrarea claselor de vârste întrucât arboretele trecute de vârsta exploatabilității care sunt viguroase pot fi păstrate ca un fond de rezervă pentru 2-3 decenii (puțin probabil). În schimb putem aduce în categoria arboretelor exploatabile, arborete ai căror descriptivi (grad de vătămare, vitalitate scăzută, etc.), sunt mai puțin vizibili cu ocazia descrierii parcelare;

- metoda permite o autentică analiză a sensibilității în sensul în care modificarea clasei de calitate a arborilor groși duce la creșterea ariei de sub curba frecvențelor relative cumulate. Această analiză întărește încă o dată teza potrivit căreia ADS este un instrument util și necesar pentru îmbunătățirea soluțiilor amenajistice, cu un efort suplimentar minim.

- faptul că ADS este sensibilă la reîncadrarea ipotetică a arborilor de clasa a III-a de calitate în arbori de clasa a II-a de calitate, ar trebui să aibă implicații majore asupra modului de evaluare a prejudiciilor de exploatare în același sens al obiectivizării valorilor prejudiciilor respective.

Urgențele de regenerare au rămas un subiect deschis în planificarea amenajistică întrucât s-a înregistrat, de-a lungul timpului, o lentă dar sigură depărtare de semantica termenului „urgentă”, ce presupune ierarhizarea sau prioritizarea unui șir de entități – în cazul nostru, arboretele exploatabile sau care au depășit vârsta exploatabilității.

Clasificarea corectă a arborilor și arboretelor pe clase de calitate influențează direct managementul forestier, determinând lucrările de îngrijire, tipul de tăiere de regenerare aplicat. Dacă proporția speciilor principale nu este corect determinată, dacă existența mai multor elemente de vârstă pentru aceeași specie și sunt determinate sau evidențiate în descierea parcelară sau dacă seminișul utilizabil nu este evaluat corespunzător, există riscul de a genera arborete derivate. Acestea pot rezulta fie din exploatarea prematură a unor arborete fără fructificație suficientă a speciilor principale (cvercinee), fie din amânarea excesivă a exploatării unor arborete îmbătrânite. În aceste situații, refacerea compoziției arboretelor devine foarte dificilă și costisitoare, necesitând completări, degajări, curățiri sau alte lucrări de îngrijire.

Pentru a reduce subiectivismul și a îmbunătăți precizia încadrării arboretelor în urgențe de regenerare, este esențială utilizarea unor metode avansate de măsurare și analiză. Aplicarea unor măsurători riguroase ale elementelor dendrometrice (diametru, înălțime), amplasarea piețelor de probă conform unor scheme geometrice și determinarea calității arborilor de personal silvic bine instruit sunt aspecte cheie în acest proces. Prelucrarea acestor date prin

programe specifice ar permite determinarea cu mai mare acuratețe a consistenței, proporției speciilor principale și volumului arborilor și arboretelor, reducând riscul de erori umane.

Totodată, pentru a asigura o monitorizare continuă și obiectivă a evoluției pădurilor, este necesară instalarea piețelor de probă permanente, analizate periodic la fiecare revizuire a amenajamentului. Introducerea unor modele matematice pentru încadrarea în urgențe de regenerare ar permite un management forestier mai eficient, mai bine fundamentat și adaptat cerințelor actuale de sustenabilitate.

Calitatea arborilor exploatabili trebuie înțeleasă și interpretată ca un semnal economic în funcție de care amenajistul poate opta pentru o planificare mai riguroasă sau mai puțin riguroasă, în funcție de calitatea lucrărilor de amenajare și, implicit, costul lucrărilor. Cu alte cuvinte, proprietarul sau administratorul pădurii poate opta pentru un amenajament mai simplu, fără inventarieri în arboretele pre-exploatabile, sau cu inventarieri în ambele categorii de arborete (exploatabile și pre-exploatabile).

6.3 Aplicarea modelului recursiv pentru optimizarea vârstei exploatabilității economice la arboretele de cvercinee provenite din lăstari

Exploatabilitatea economică sau tehnică a arboretelor de cvercinee trebuie să țină seama de proveniența majorității arborilor: este evident că cei proveniți din lăstari, la prima sau la a doua generație, vor fi mai puțini longevivi iar procesul deprecierii calitative începe mult mai devreme decât în cazul arborilor proveniți din sămânță.

Coroborând toate consecințele pe care le au schimbările propuse în această lucrare, în materie de amenajare a pădurilor, este de așteptat ca posibilitatea anuală să crească ușor, conform actualei perioade de re-amenajare, de 10 ani. O mai bună predictibilitate trebuie acompaniată cu o mai mare flexibilitate în luarea deciziilor, nu cu mai multă rigiditate. Dictatura amenajamentului, despre care vorbea profesorul Vintilă Stinghe, a rămas de actualitate, din păcate.

Revenirea la SUP de tip C – „conversiune prin îmbătrânire” este mai potrivită decât includerea tuturor arboretelor cu cvercinee provenite din lăstari într-o SUP de tip A, deoarece există riscul pierderii controlului asupra compoziției-țel. Acest risc apare în special în situațiile în care arborii de cvercinee

sunt recoltați între timp ca produse accidentale, înainte de aplicarea tratamentelor planificate. Literatura nu documentează astfel de situații deoarece sunt prea strâns legate de particularitățile amenajamentului românesc; totuși procesele de teizare și cărpinizare sunt considerate riscuri majore (Cărăbuș și Șoflețea 2014; Varol și colab. 2022).

În contextul schimbărilor climatice și al vulnerabilității tot mai accentuate a arboretelor de cvercinee cu proveniență din lăstari, reevaluarea vârstei de exploatabilitate devine o necesitate silvică rațională. Observațiile din teren evidențiază faptul că, în numeroase astfel de arborete aflate între 60 și 80 de ani, se manifestă deja fenomene de uscare accentuată, urmate de apariția ochiurilor de regenerare naturală.

Acest proces indică faptul că speciile de cvercinee își exprimă potențialul de regenerare începând cu vârsta de aproximativ 60-80 de ani, în special în cazul exemplarelor provenite din cioate exploatate anterior în regim de crâng, pe durata mai multor cicluri. Practic, arboretele respective încep să se comporte ca sisteme depășite fiziologic, cu vitalitate scăzută, dar cu un răspuns regenerativ spontan, semn clar al intrării în faza de declin biologic.

Menținerea unei vârste de exploatabilitate mai mari (ex. 100–110 de ani) pentru aceste arborete nu mai este justificată nici ecologic, nici economic. Arborii aflați în declin devin mai susceptibili la boli, atacuri de insecte și la stres climatic, ceea ce duce la o pierdere treptată a valorii lemnului și la o reducere a stabilității ecosistemului.

Vechile SUP C se caracterizau prin cicluri mai mici cu 20 ani decât ciclurile SUP A și, foarte important, prin perioade de regenerare mai scurte.

6.4 Testarea modelelor decizionale în gestionarea arborilor de calitate inferioară pentru susținerea biodiversității

Se pot lua trei decizii distincte pe baza IDS privind diametrele și volumele: alocarea insulelor de arbori îmbătrâniți (ambele IDS sunt mai mici decât unu), amânarea operațiunilor de recoltare (ambele IDS sunt mai mari decât unu) sau grăbirea operațiunilor în timp util, dacă cele două IDS transmit mesaje opuse (o SDI este mai mare sau egală cu unu, cealaltă este mai mică decât unu). Cu toate acestea, acest algoritm simplu nu poate rezolva întreaga problemă, deoarece silvicultorul trebuie să decidă asupra strategiei privind lemnul mort: arbori de habitat împrăștiați și/sau arbori de habitat grupați (adică insula de pădure îmbătrânită).

Ulterior, nu este nevoie să se repete inventarierea arborilor de calitate inferioară deoarece monitorizarea lemnului mort este mult mai simplă și nu trebuie să se facă anual, deoarece arborii respectivi vor rămâne neexploatați, în pădure.

Această abordare simplă nu este suficientă pentru a aborda alte probleme legate de lemnul mort, cum ar fi monitorizarea prezenței speciilor protejate de insecte și evaluarea biodiversității ciupercilor. Cu toate acestea, acest tip de analiză ajută personalul silvic responsabil cu conservarea biodiversității să își planifice mai bine activitatea pe teren pentru a repartiza arborii pentru lemnul mort în același ritm cu crugul regulat al lemnului.

S-a demonstrat că, în pădurile în care arborii valoroși de fag și cvercinee, care provin din lăstari sau sămânță, este mai bine să se păstreze ca lemn mort arborii de slabă calitate, al căror cost de oportunitate este mai mic decât costul de oportunitate al celor de calitate superioară.

7 CONTRIBUȚII ORIGINALE

Întrucât pădurile din zona de studiu au fost afectate de numeroase uscări anormale, care au dus la extragerea unor mari cantități de arbori sub formă de produse accidentale precomptabile, am căutat să îmbunătățim modul de calcul al creșterii indicatoare, în două direcții: 1) formularea unui model stocastic al claselor de vârste, ce ține cont de faptul că o parte din arbori nu mai ajung la exploatabilitate, fiind extrași ca produse accidentale și 2) corectarea creșterii indicatoare, potrivit modelului stocastic.

Creșterea indicatoare este și ea afectată dacă se renunță la modelul determinist al structurii normale pe clase de vârste, ce ar trebui să conducă la egalizarea claselor de vârste (Leahu 2001; Drăgoi 2004b). Corect ar fi să se vorbească de *stabilizarea*, nu de normalizarea structurii pe clase de vârste, deoarece eliminarea naturală este mai activă pentru unele specii și mai puțin activă pentru ale specii, ce-și modifică treptat arealul, în funcție de schimbările climatice (Allen și colab. 2010; Allen, Breshears, și McDowell 2015; Coșofreț și Bouriaud 2019; Park Williams și colab. 2012).

Modelul lanțurilor Markov (Kouba 2002) permite includerea în procesul decizional de stabilire a posibilității și altor factori ce conduc, în final, la extragerea unor produse accidentale precomptabile, ce întârzie, *sine die*, normalizarea structurii pe clase de vârste.

Un element practic, preluat dintr-o lucrare publicată cu 19 ani în urmă (M. Drăgoi și G. Duduman 2006), este un nou mod de stabilire a vârstei exploatabilității economice, ce ține cont de deprecierea calitativă a arborilor, ce precede eliminarea naturală a acestora. Spre deosebire de studiul citat mai sus, în care s-au calculat efectiv rentele anuale, în funcție de volume și prețuri pe sortimente, de data acesta s-a folosit indicele dominanței stocastice calculat la fiecare prag de vârste, stabilindu-se ca vârstă a exploatabilității vârsta la care arborii de calitate superioară domină statistic pe cei de productivitate inferioară.

Deprecierea calitativă a arborilor a fost simulată cu ajutorul unui model recursiv, potrivit căruia, după ultima răritură, toți arborii sunt în clasa I de calitate. Ulterior, o parte din acești arbori trec în clasa a II-a de calitate, din care o altă parte vor trece în clasa a III-a de calitate ș.a.m.d. Pentru arboretele de cvercinee provenite din lăstari, simularea s-a făcut pe un interval de vârste de la 50 ani la 155 ani. A rezultat că la vârste între 110 și 115 ani numărul arborilor de calitate superioară este egal cu numărul arborilor de calitate inferioară, ceea ce constituie un argument pentru stabilirea unor cicluri de 100 ani, indiferent de clasa de producție.

8 RECOMANDĂRI PENTRU PRODUCȚIE

Toate aspectele de noutate aduse prin această lucrare se bazează pe măsurători care oricum se fac în activitatea curentă, ceea ce înseamnă că o îmbunătățire a managementului arboretelor de cvercinee (și nu numai a acestora) nu presupune costuri suplimentare.

În ceea ce privește amenajamente silvice, este necesară o mai mare flexibilitate în stabilirea soluțiilor tehnice, cu atât mai mult cu cât noul cod silvic prevede prelungirea cu încă un deceniu a valabilității viitoarelor amenajamente. Soluțiile tehnice pe care le propunem prin această lucrare ar trebui să intre în discuție odată cu actualizarea normelor tehnice de amenajare, întrucât permit o valorificare superioară a datelor de teren.

Modelul deprecierei calitative a arborilor, ce precede eliminarea naturală, poate fi îmbunătățit în continuare, în direcția evaluării mai precise a ratei eliminării naturale la vârste mai mari decât cele utilizate pentru calculul mării fondului de producție, așa cum apar în tabelele de producție.

Modelul stocastic al pădurii normale permite o mai bună adaptare a structurii normale a pădurii la provocările gestionării pădurilor în condițiile schimbărilor climatice. Creșterea indicatoare, elementul de referință în calculul posibilității, necesită o abordare mai atentă, întrucât premisa fundamentală este aceea potrivit căreia clasele de vârste au întinderi egale. Acest model trebuie utilizat cu atenție, deoarece probabilitățile de revenire în prima clasă de vârste pot fi estimate conjunctural: într-un an extrem din punct de vedere climatic, cu numeroase doborâturi sau uscări, probabilitățile de revenire forțată în prima clasă de vârste pot fi exagerat de mari, ceea ce înseamnă, în final, o ultimă clasă de vârste foarte mică, ca suprafață, așa cum se arată în Figura 10. Totuși, pe baza unei cartări simple a doborâtorilor sau uscărilor anormale, se pot corecta probabilitățile brute, folosind un model bayesian simplu, încorporat într-o foaie electronică de calcul (Dragoi și Barnoaiea 2018).

În situații normale, în care descriptorii arborilor (diametru sau volum) din cele două categorii calitative sunt distribuiți normal, dominanța stocastică dă aceleași rezultate ca și coeficienții de variație ai celor două eșantioane statistice. Dacă distribuțiile sunt departe de distribuția normală, putem avea de-a face cu dominanță de rang superior, ce permit calculul indicilor de dominanță stocastică, pe baza cărora se pot lua decizii punctuale, în fiecare arboret în parte.

În contextul noului cod silvic, prevederea potrivit căreia periodicitatea reamenajării crește la 20 ani este un adevărat pericol pentru pădurile de evercinee, a căror permanentă monitorizare ar trebui să fie principala prioritate. Cele două amenajamente pe care s-au bazat cercetările întreprinse prin această teză arată cât de mare trebuie să fie efortul de monitorizare efectivă a stării de sănătate, astfel încât soluțiile tehnice – cum ar fi, de exemplu, încadrarea pe urgențe de regenerare sau alegerea lemnului mort – să fie adoptate în cunoștință de cauză.

9 BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Alexe, A. 1986. „Analiza sistemică a fenomenului de uscarea a cvercineelor și cauzele acesteia [Systemic analysis of the phenomenon and the causes of drying the quercus species]”. *Revista Pădurilor* 101:19–23.
- Allen, Craig D., David D. Breshears, și Nate G. McDowell. 2015. „On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene”. *Ecosphere* 6 (8): 1–55.
- Allen, Craig D., Alison K. Macalady, Haroun Chenchouni, Dominique Bachellet, Nate McDowell, Michel Vennetier, Thomas Kitzberger, și colab. 2010. „A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests”. *Forest Ecology and Management* 259 (4): 660–84. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>.
- Anders, Tim, Jessica Hetzer, Nikolai Knapp, Matthew Forrest, Liam Langan, Merja Helena Tölle, Nicole Wellbrock, și Thomas Hickler. 2025. „Modelling past and future impacts of droughts on tree mortality and carbon storage in Norway spruce stands in Germany”. *Ecological Modelling*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:274889235>.
- Barbu, Ion, Marius Curcă, Cătălina Oana Barbu, și Viorica Ichim. 2016. *Adaptarea pădurilor României la schimbările climatice*. Editura Silvică.
- Barucke Marcondes, Guilherme Augusto, Rafael Coradi Leme, Marcela da Silveira Leme, și Carlos Eduardo Sanches da Silva. 2017. „Using mean-Gini and stochastic dominance to choose project portfolios with parameter uncertainty”. *The Engineering Economist* 62 (1): 33–53.
- Bayraktar, Selim, Alessandro Paletto, și Antonio Floris. 2020. „Deadwood volume and quality in recreational forests: the case study of the Belgrade forest (Turkey)”. *Forest Systems* 29 (2 SE-Research Articles): e008. <https://doi.org/10.5424/fs/2020292-16560>.
- Beck, Silke, și Martin Mahony. 2018. „The IPCC and the new map of science and politics”. *WIREs Climate Change* 9 (6): e547. <https://doi.org/10.1002/wcc.547>.
- Borz, Stelian Alexandru, și Andrea Rosario Proto. 2025. „Low-cost phone-based LiDAR scanning technology provides sub-centimeter accuracy

- when measuring the main dimensions of motor-manual tree felling cuts". *Ecological Informatics* 85:102999.
- Breshears, David D, Orrin B Myers, Clifton W Meyer, Fairley J Barnes, Chris B Zou, Craig D Allen, Nathan G McDowell, și William T Pockman. 2009. „Tree die-off in response to global change-type drought: mortality insights from a decade of plant water potential measurements". *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (4): 185–89. <https://doi.org/10.1890/080016>.
- Bruner, H., D., și Jr. Moser, J., M. 1973. „A Markov Chain Approach to the Prediction of Diameters Distributions in Uneven-aged Forest Stands". *Canadian Journal of Forest Research*.
- Bujoczek, Leszek, Małgorzata Bujoczek, și Stanisław Zięba. 2021. „How much, why and where? Deadwood in forest ecosystems: The case of Poland". *Ecological Indicators* 121:107027.
- Buongiorno, Joseph, Sally E. Dahir, Hsien-Chih Lu, și Ching Rong Lin. 1994. „Tree Size Diversity and Economic Returns in Uneven-Aged Forest Stands". *Forest Science*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:88789255>.
- Campbell, Elizabeth, Sari C Saunders, Dave Coates, Del Meidinger, Andy Mackinnon, G O'Neill, Deb Mackillop, Craig Delong, și Don Morgan. 2009. „Ecological resilience and complexity: a theoretical framework for understanding and managing British Columbia's forest ecosystems in a changing climate."
- Cărbuș, MC, și N Șofletea. 2014. „European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) and oriental hornbeam (*C. orientalis* Mill.): a review on origin, evolution, phytocoenology and genetics."
- Cenușă, Radu Leontie. 2023. „Modelul catastrofei – vârf și utilizarea lui la caracterizarea dinamicii pădurilor". *Bucovina Forestiera*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267946663>.
- Ceornea, Ciprian și Drăgoi, Marian. 2025. „A New Metrics to Manage the Deadwood in Forest Stewardship Council Certified Forests". *Forestist*, 2025.
- Ceornea, Ciprian, Cristian Mititelu, și Marian Drăgoi. 2022. „Contribuții la îmbunătățirea modului de calcul al creșterii indicatoare în contextul

- schimbărilor climatice – studiu de caz, Ocolul Silvic Bașotă, jud. Botoșani”. *Bucovina Forestieră* 22 (1): 21–28. <https://doi.org/10.4316/bf.2022.003>.
- Cheval, Sorin, Ana Bulai, Adina-Eliza Croitoru, Ștefan Dorondel, Dana Micu, Dumitru Mihăilă, Lucian Sfică, și Adrian Țișcovschi. 2022. „Climate change perception in Romania”. *Theoretical and Applied Climatology* 149 (1): 253–72.
- Chuang, Chin-Wei, Chao-Yuan Lin, Chang-Hai Chien, și Wen-Chieh Chou. 2011. „Application of Markov-chain model for vegetation restoration assessment at landslide areas caused by a catastrophic earthquake in Central Taiwan”. *Ecological Modelling* 222 (3): 835–45. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.11.007>.
- Ciceu, Albert, Ionel Popa, Stefan Leca, Diana Pitar, Serban Chivulescu, și Ovidiu Badea. 2020. „Climate change effects on tree growth from Romanian forest monitoring Level II plots”. *Science of the Total Environment* 698:134129.
- Cortés-Molino, Álvaro, Juan Carlos Linares, Benjamín Viñegla, Víctor Lechuga, A Enrique Salvo-Tierra, Antonio Flores-Moya, Ismael Fernández-Luque, și Jose A Carreira. 2022. „Unexpected resilience in relict *Abies pinsapo* Boiss forests to dieback and mortality induced by climate change”. *Frontiers in Plant Science* 13:991720.
- Costăchescu, Cornel, Florin Dănescu, M Ianculescu, E Mihăilă, și D Nuțu. 2012. „Soluții tehnice pentru realizarea rețelilor de perdele forestiere de protecție a terenurilor agricole din Câmpia Română și Podișul Dobrogei”. *Silvicultură* 30:48–55.
- Coșofreț, Cosmin, și Laura Bouriaud. 2019. „Which Silvicultural Measures Are Recommended To Adapt Forests To Climate Change? a Literature Review” 12 (61). <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.2>.
- Crisan, Vlad, Lucian Dinca, Cosmin Braga, și Sorin Deca. 2022. „Oak reaction to future climate changes in central and eastern Romania.” *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering* 11.
- Cullotta, Sebastiano, Bončina ,Andrej, Carvalho-Ribeiro ,Sonia M., Chauvin ,Christophe, Farcy ,Christine, Kurttila ,Mikko, și Federico G. and

- Maetzke. 2015. „Forest planning across Europe: the spatial scale, tools, and inter-sectoral integration in land-use planning”. *Journal of Environmental Planning and Management* 58 (8): 1384–1411. <https://doi.org/10.1080/09640568.2014.927754>.
- Curtis, Robert O. 1972. „Yield Tables Past and Present”. *Journal of Forestry* 70 (1): 28–32. <https://doi.org/10.1093/jof/70.1.28>.
- Dassot, Mathieu, Thiéry Constant, și Meriem Fournier. 2011. „The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges”. *Annals of forest science* 68:959–74.
- Dănescu, F, C Ungurean, F Chira, D Horga, și T Jung. 2015. „Oak decline in Livada Forest District.” *Revista de Silvicultură și Cinegetică* 20 (37): 66–78.
- Dinçkal, Çiğdem. 2018. „Design of integral spreadsheet calculator for engineering applications”. *Computer Applications in Engineering Education* 26 (5): 1159–72.
- Dissescu, R. 1990. „Abordarea Bayesiană a deciziilor amenajistice”. *Revista Pădurilor* 105 (2): 62–65.
- Dragoi, Marian. 2018. „Gaming with Deadwood: How to Better Teach Forest Protection when Bugs Are Lurking Everywhere”. În *The Human Dimensions of Forest and Tree Health: Global Perspectives*, ediție de Julie Urquhart, Mariella Marzano, și Clive Potter, 331–54. Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan.
- Dragoi, Marian, și Ionut Barnoaiea. 2018. „Accounting for windthrow risk in forest management planning : a Romanian tailor-made solution”. *Forest Systems; Vol 27, No 3 (2018)* 27 (3). <https://doi.org/10.5424/fs/2018273-13333>.
- Drăgoi, Marian. 1999. „Contribuții la dimensionarea fondului de rezervă”. *Revista Pădurilor* 104 (2): 29–36.
- . 2004a. *Amenajarea pădurilor*. Editura Universității din Suceava.
- . 2004b. *Amenajarea pădurilor*. Editura Universității din Suceava.
- . 2008. *Economie și management forestier*. Suceava: Editura Universității din Suceava.

- Duduman, Gabriel. 2019. „Scurt istoric al amenajării pădurilor din România”. *Bucovina Forestieră* 19 (2): 139–58. <https://doi.org/10.4316/bf.2019.019>.
- Duduman, Gabriel, și Marian Drăgoi. 2019. „Amenajarea pădurilor”.
- Giurgiu, Victor, S Armășescu, și I Decei. 1972. *Biometria arborilor și arbo-
retelor din România: Tabele dendrometrice*. Ed. Ceres.
- Halofsky, Jessica E., Sheri A. Andrews-Key, Jason E. Edwards, Mark H. Johnston, Harry W. Nelson, David L. Peterson, Kristen M. Schmitt, Christopher W. Swanston, și Tim B. Williamson. 2018. „Adapting forest management to climate change: The state of science and applications in Canada and the United States”. *Forest Ecology and Management* 421. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.037>.
- Hepinstall, Jeffrey A, și Steven A Sader. 1997. „Using Bayesian Statistics , Thematic Mapper Satellite Imagery , and Breeding Bird Survey Data to Model Bird Species Probability of Occurrence in Maine”. În *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63:1231–37. Bethesda: AMER SOC PHOTOGRAMMETRY.
- Hilker, Thomas, Martin Leeuwen, Nicholas C. Coops, Michael a. Wulder, Glenn J. Newnham, David L. B. Jupp, și Darius S. Culvenor. 2010. „Comparing canopy metrics derived from terrestrial and airborne laser scanning in a Douglas-fir dominated forest stand”. *Trees* 24 (5): 819–32. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0452-7>.
- Hu, Tianyu, Yanjun Su, Baolin Xue, Jin Liu, Xiaoqian Zhao, Jingyun Fang, și Qinghua Guo. 2016. „Mapping global forest aboveground biomass with spaceborne LiDAR, optical imagery, and forest inventory data”. *Remote Sensing* 8 (7). <https://doi.org/10.3390/rs8070565>.
- Huang, Peng, și Hans Pretzsch. 2010. „Using terrestrial laser scanner for estimating leaf areas of individual trees in a conifer forest”. *Trees* 24 (4): 609–19. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0431-z>.
- Jalkanen, A, și U Mattila. 2000. „Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data”. *Forest Ecology and Management* 135 (1–3): 315–30. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(00\)00289-9](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(00)00289-9).

- Johansson, Therese, Joakim Hjältén, Johnny De Jong, Henrik Von Stedingk, Johnny de Jong, și Henrik von Stedingk. 2013. „Environmental considerations from legislation and certification in managed forest stands : A review of their importance for biodiversity”. *Forest Ecology and Management* 303:98–112. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.012>.
- Jonášová, M., E. Vávrová, și P. Cudlín. 2010. „Western Carpathian mountain spruce forest after a windthrow: Natural regeneration in cleared and uncleared areas”. *Forest Ecology and Management* 259 (6): 1127–34. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.027>.
- Jun-hui, Zhao, Kang Xin-gang, Zhang Hui-dong, și Liu Yan. 2009. „Relationship between coefficient of variation of diameter and height and competition index of main coniferous trees in Changbai Mountains.” *Yingyong Shengtai Xuebao* 20 (8).
- Kasper, Jan, Christoph Leuschner, Helge Walentowski, Any Mary Petritan, și Robert Weigel. 2022. „Winners and losers of climate warming: Declining growth in *Fagus* and *Tilia* vs. stable growth in three *Quercus* species in the natural beech–oak forest ecotone (western Romania)”. *Forest Ecology and Management* 506:119892. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119892>.
- Kouba, Jan. 2002. „Das Leben des Waldes und seine Lebensunsicherheit”. *Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch* 121 (4): 211–28. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0337.2002.02026.x>.
- Kubíková, J. 1991. „Forest dieback in Czechoslovakia”. *Vegetatio* 93 (2): 101–8.
- Kulha, Niko, Juha Honkaniemi, Julien Barrere, Susanne Brandl, Thomas Cordonnier, Kari T. Korhonen, Georges Kunstler, Carola Paul, Björn Reineking, și Mikko Peltoniemi. 2023. „Competition-induced tree mortality across Europe is driven by shade tolerance, proportion of con-specifics and drought”. *Journal of Ecology* 111:2310–23.
- Lakes, Tobia, Daniel Müller, și Carsten Krüger. 2009. „Cropland change in southern Romania: a comparison of logistic regressions and artificial neural networks”. *Landscape Ecology* 24 (9): 1195–1206. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9404-2>.

- Lanquaye-Opoku, Naa, și Stephen J. Mitchell. 2005. „Portability of stand-level empirical windthrow risk models”. *Forest Ecology and Management* 216 (1–3): 134–48. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.032>.
- Leahu, Iosif. 2001. *Amenajarea pădurilor: metode de organizare sistemică, modelare, fiabilitate, optimizare, conducere și reglare structural-funcțională a ecosistemelor forestiere*. Editura Didactică și Pedagogică.
- Li, Mei, Zengyuan Li, Qingwang Liu, și Erxue Chen. 2025. „Growing Stock Volume Estimation in Forest Plantations Using Unmanned Aerial Vehicle Stereo Photogrammetry and Machine Learning Algorithms”. *Forests* 16 (4). <https://doi.org/10.3390/fl6040663>.
- M. Drăgoi și G. Duduman. 2006. „Asupra exploatabilității economice la arborii de codru regulat - Aspecte metodologice”. În , 51–55. Chișinău: Institutul de cercetări și amenajări silvice.
- Meigs, Garrett W., Robert E. Kennedy, și Warren B. Cohen. 2011. „A Landsat time series approach to characterize bark beetle and defoliator impacts on tree mortality and surface fuels in conifer forests”. *Remote Sensing of Environment* 115 (12): 3707–18. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.009>.
- Meyer, Benjamin F, Allan Buras, Anja Rammig, și Christian S Zang. 2020. „Higher susceptibility of beech to drought in comparison to oak”. *Dendrochronologia* 64:125780. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125780>.
- Möhring, Bernhard. 2001. „The German struggle between the ‘Bodenreinertragslehre’(land rent theory) and ‘Waldreinertragslehre’(theory of the highest revenue) belongs to the past—but what is left?” *Forest Policy and Economics* 2 (2): 195–201.
- Munteanu, Catalina, Mihai Daniel Nita, Ioan Vasile Abrudan, și Volker C. Radeloff. 2016. „Historical forest management in Romania is imposing strong legacies on contemporary forests and their management”. *Forest Ecology and Management* 361:179–93. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.023>.
- Neumann, Mathias, Volker Mues, Adam Moreno, Hubert Hasenauer, și Rupert Seidl. 2017. „Climate variability drives recent tree mortality in

- Europe". *Global Change Biology* 23 (11). <https://doi.org/10.1111/gcb.13724>.
- Nikolov, Stoyan C. 2009. „Effect of stand age on bird communities in late-successional Macedonian pine forests in Bulgaria". *Forest Ecology and Management* 257 (2): 580–87. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.030>.
- Park Williams, A, Craig D Allen, Alison K Macalady, Daniel Griffin, Connie A Woodhouse, David M Meko, Thomas W Swetnam, și colab. 2012. „Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality". *Nature Climate Change* 3 (septembrie):292.
- Parton, KA, și PS Carberry. 1995. „Stochastic dominance and mean-standard deviation analysis: some critical issues". *Australian Journal of Agricultural Research* 46 (7): 1487–91.
- Pautasso, Marco, Gregor Aas, Valentin Queloz, și Ottmar Holdenrieder. 2013. „European ash (*Fraxinus excelsior*) dieback—a conservation biology challenge". *Biological Conservation* 158:37–49.
- Penman, Trent D., Doug L. Binns, și Rodney P. Kavanagh. 2008. „Quantifying successional changes in response to forest disturbances". *Applied Vegetation Science* 11 (2): 261–68. <https://doi.org/10.3170/2008-7-18424>.
- Piovesan, Gianluca, și Franco Biondi. 2021. „On tree longevity". *New Phytologist* 231 (4): 1318–37.
- Pretzsch, H., M. del Río, Ch Ammer, A. Avdagic, I. Barbeito, K. Bielak, G. Brazaitis, și colab. 2015. „Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe". *European Journal of Forest Research* 134 (5). <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0900-4>.
- Pretzsch, Hans. 2008. „Forest dynamics, growth, and yield: A review, analysis of the present state, and perspective". *Forest dynamics, growth and yield: From measurement to model*, 1–39.
- Pretzsch, Hans, Peter Biber, Gerhard Schütze, Enno Uhl, și Thomas Rötzer. 2014. „Forest stand growth dynamics in Central Europe have

- accelerated since 1870". *Nature Communications* 5:4967.
<https://doi.org/10.1038/ncomms5967>.
- Seppälä, Risto, Alexander Buck, și Pia Katila. 2009. „Adaptation of forests and people to climate change-a global assessment report.”
- Simonca, V, și I TAUT. 2010. „Uscarea Cvercineelor din Nordul și Vestul Transilvaniei”. *ProEnvironment Promediu* 3 (5).
- Strigul, Nikolay, Ionuț Florescu, Alicia R. Welden, și Fabian Michalczewski. 2012. „Modelling of forest stand dynamics using Markov chains”. *Environmental Modelling & Software* 31:64–75.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.12.004>.
- Șofletea, N, și L Dendrologie Curtu. 2007. „Editura Universitatii Transilvania: Brasov”. *Romania*.
- Van Breugel, Michiel, Johannes Ransijn, Dylan Craven, Frans Bongers, și Jefferson S. Hall. 2011. „Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models”. *Forest Ecology and Management* 262 (8): 1648–57.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.018>.
- Varol, Tugrul, Mehmet Cetin, Halil Baris Ozel, Hakan Sevik, și Ilknur Zeren Cetin. 2022. „The effects of climate change scenarios on *Carpinus betulus* and *Carpinus orientalis* in Europe”. *Water, Air, & Soil Pollution* 233 (2): 45.
- Verdonck, Sanne, Anneleen Geussens, Roman Zweifel, Arno Thomaes, Koenraad Van Meerbeek, și Bart Muys. 2025. „Mitigating drought stress in European beech and pedunculate oak: The role of competition reduction”. *Forest Ecosystems* 13 (august):100303.
<https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100303>.
- Virpi, Julia, Maltamo Matti, și Lauranne Tuomo. 2014. „Sparse Bayesian Estimation of Forest Stand Characteristics from Airborne Laser Scanning”. *Forest Science* 54 (5): 543–52.
- Vlonga, S, și G Baciuc. 1991. „Forest decline symptoms of *Quercus petraea* and *Q. robur* trees in 1988-89.”