



Universitatea
Ștefan cel Mare
Suceava

Facultatea de Silvicultură

TEZĂ DE DOCTORAT

DOMENIUL SILVICULTURĂ

Modelarea evoluției stării
pădurii sub influența
schimbărilor climatice și a
modului de gestionare

REZUMAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof.univ.habil.dr.ing. Laura BOURIAUD

DOCTORAND:

Ing. Vasile-Cosmin COȘOFRET

SUCEAVA, 2021

www.usv.ro

Școala Doctorală de Științe Aplicate și Inginerești

Modelling forest ecosystems services under the influence of climate change and forest management

Modelarea evoluției stării pădurii sub influența schimbărilor
climatice
și a modului de gestionare

Conducător doctorat:	Doctorand
Profesor univ. habil. dr. ing. Laura BOURIAUD	Vasile-Cosmin COȘOFREȚ

Suceava,
Septembrie 2021

Cuprins

1.	INTRODUCERE.....	5
1.1	Scopul și obiectivele tezei de doctorat	9
2.	MATERIAL ȘI METODĂ.....	10
2.1	Site description.....	10
2.2	Identificarea practicilor silvice pentru adaptarea gestionării pădurilor	11
2.3	Scenarii de gestionare.....	11
2.4	Crearea și identificarea gestiunii private	12
2.5	Descrierea modelului LandClim Model	13
2.6	Scenariile climatice	16
2.7	Ecosystem services	16
2.8	Analysis of private, regular and no management on Frasin private forests before restitution process	18
2.9	Index pentru evaluarea valorii protective a pădurilor incluse în categoria funcțională de protecție a solului în cadrul OS Râșca	18
3	REZULTATE	20
3.1	Definirea tipurilor de gestionare a pădurilor pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice.	20
3.1.1	Măsuri și practice silviculturale identificate în literatură	20
3.1.2	Corelații între măsurile și practicile silviculturale și tipul de păduri sau provocările legate de schimbările climatice.....	21
3.2	Modelarea schimbărilor compoziției arboretelor și evoluția biomasei în diferite scenarii climatice și de gestiune	22
3.2.1	Evoluția compoziției și biomasei în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și gestiunea adaptivă (AM2)....	22
3.2.3	Evoluția compoziției și biomasei în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și gestiunea conservativă (CONS)	25
3.3	Servicii ecosistemice de furnizare – cantitatea de biomasă exploatăată pe specii.....	28
3.4	Servicii ecosistemice de reglare	30
3.4.1	Stocul de carbon supateran și subteran	30
3.4.2	Efectele doborâturilor asupra stocului de Carbon.....	31
3.4.3	Efectele incendiilor asupra stocului de carbon	32
3.4.4	Efectele tipului de gestiune asupra carbonului stocat ...	33
3.4.5	Conservarea biodiversității – Diversitatea speciilor	34
3.4.6	Conservarea biodiversității – Diversitatea dimensională a arborilor	35
3.5	Identificarea gestiunii private	36
3.6	Evoluția pădurii private din Frasin OS înainte de retrocedare	37
3.6.1	Evoluția compoziției în pădurile private din Frasin	37

3.6.2	Evoluția stocului de carbon supratean si subteran în pădurile private din OS Frasin	39
3.6.3	Efectele gestiunii asupra stocului de carbon din pădurile private din OS Frasin	40
3.6.4	Efectele doborâturilor asupra stocului de carbon din pădurile private din OS Frasin	40
3.6.5	Evoluția diversității speciilor din pădurile private din OS Frasin.....	41
3.7	Evalurea serviciilor ecosistemice de protecție a solului în difeite scenarii climatice și de gestionare	42
3.7.1	Valoarea protectivă a pădurii	42
3.7.2	Simularea indexului pentru evaluarea valorii protective.....	42
3.7.3	Evoluția valori protective a pădurii pe clase altitudinale	44
4	DISCUȚII	46
4.1	Tipuri de măsuri de gestionare a pădurilor pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice	46
4.2	Modelarea compoziției și evoluția biomasei sub diferite scenarii climatice și strategii de gestionare	46
4.2.1	Gestiunea adaptivă și normală	46
4.2.2	Gestiune conservativă și lipsa gestiunii	47
4.3	Identificarea evoluției serviciilor ecosistemice sub diferite scenarii climatice si de gestionare	48
4.3.1	Servicii ecosistemice de aprovizionare – producția de cherestea	48
4.3.2	Servicii ecosistemice de reglare – stocul supratean si subteran de carbon	49
4.3.3	Servicii ecosistemice de reglare – efectele perturbarilor naturale si antropice asupra stocului de carbon (doboraturi, incendii and exploatare).....	49
4.3.4	Servicii ecosistemice de reglare – Conservarea biodiversitatii	50
4.4	Simularea pădurii private din OS Frasin înainte de procesul de retrocedare	51
4.5	Evaluarea valorii protective a pădurii din categoria functionala de protectie a solului și influenta scenariilor climatice și a strategiilor de gestionare	53
5	CONCLUZII.....	54
5.1	Contribuții personale	56
	Bibliografie selectivă	57

1. INTRODUCERE

În noua strategie forestieră pentru 2030 dezvoltată de Uniunea Europeană, se recunoaște că pădurile sunt importante pentru sănătatea umană în lupta împotriva schimbărilor climatice. Noua strategie dorește să protejeze pădurile cu grad ridicat de naturalitate și să creeze păduri rezistente și reziliente pentru populația urbană și rurală într-un viitor incert (European Commission 2021). Prin urmare, pentru adaptarea climatică și măsuri de gestionare reziliente sunt promovate diverse practici ca (păduri pluriene) pentru a sprijini biodiversitatea și a menține pădurile de amestec la nivel de peisaj. Pentru viabilitatea socio-economică a pădurilor, noua strategie propune o reducere a intensității în pădurilor de producție și evitarea sau abordarea cu precauție a practicilor silvice ca tăierile rase, deoarece afectează biodiversitatea supranaturală și carbonul subteran (European Commission 2021).

Toate aceste măsuri propuse de Comisia Europeană trebuie testate împreună cu statele membre pentru a identifica care este gestionarea adecvată a pădurilor în raport cu tipologia pădurilor și nevoile populației fiecărui stat.

Pădurile sunt afectate în mod fundamental de **schimbările climatice** ca o combinație a încălzirii alterării regimului de precipitații, evenimente extreme imprevizibile și un regim al perturbărilor în schimbare (Jandl și colab. 2019).

Pentru silvicultură, schimbările climatice reprezintă o provocare datorată impactului direct asupra ecosistemelor forestiere și efectului întârziat al gestiunii asupra pădurilor (Yousefpour și colab. 2017). Efectele așteptate asupra pădurilor au o gamă largă care variază de la distribuția speciilor de arbori (Hanewinkel, D. Cullmann, și colab. 2012), efecte asupra productivității pădurilor (Reyer și colab. 2014), risc crescut de furtuni (Kjellström și colab. 2011), incendii (Carvalho și colab. 2011), atacuri de insecte (Robinet și Roques 2010) și secetă (Allen și colab. 2010).

Schimbările climatice la scară largă pot avea o influență puternică asupra compoziției speciilor și asupra dinamicii și structurii pădurii (Reyer și colab. 2014), deoarece modul în care pădurile răspund la climă este influențat de topografie, distribuția spațială și condiții de creștere specifice, ultimele două fiind rezultatul gestionării pădurilor din trecut (Temperli, Bugmann și Elkin 2012).

Apariția ridicată a modificărilor de mediu îngrijorează, deoarece adaptarea rapidă a arborilor nu este suficient de rapidă (Davis și Shaw 2001). În timpul istoriei lor evolutive, speciile de arbori au fost expuse la schimbări de mediu pe termen lung și au demonstrat capacitatea de a răspunde și de a se adapta la aceste schimbări (Hamrick 2004).

Adaptarea la schimbările climatice este percepută acum ca o provocare primară pentru societatea modernă (Innes et al. 2009).

Adaptarea la schimbările climatice implică monitorizarea, anticiparea schimbărilor, evitarea consecințelor negative și utilizarea potențialelor avantaje ale acestor schimbări (Schelhaas și colab. 2015).

Adaptarea pădurilor gestionate la condițiile de mediu în schimbare trebuie făcută prin modificarea gestiunii tradiționale a pădurilor (Lindner 2000) pentru a reduce susceptibilitatea arboretelor la perturbări și pentru a îmbunătăți rezistența pădurilor. Managementul adaptiv este recomandat la scară locală și regională pentru a reduce incertitudinea și riscul iar în acest sens, Bolte și colab. (2009) au clasificat strategiile de adaptare în: adaptare activă, adaptare pasivă și conservare pădurilor.

Sunt necesare **scenarii climatice** precise pentru modelarea evoluției pădurilor. Clima globală se încălzește și se așteaptă ca această tendință să continue și să fie asociată și cu schimbări drastice în regimurile de precipitații (IPCC 2007).

Cel de-al 5 lea raport IPCC afirmă că probabilitatea ca temperaturii globale să depășească 4,9 °C este de 14%, dar cel mai probabil scenariu de încălzire la scară globală este încă de 3,0 °C.

Conform scenariului IPCC A1B, climatul Carpaților se va schimba în următoarele decenii. În toate anotimpurile, temperatura va crește, iar regimul de precipitații va varia cu $\pm 10\%$ în comparație cu clima actuală. În Carpați, în perioada de vară 2021-2050 este așteptată o creștere a temperaturii de 2,5-3,0 °C în comparație cu perioada de referință 1961-1990. În scenariul A2, perioada 2070-2099, comparativ cu aceeași perioadă de referință, arată o creștere cu 5 °C în Carpații Orientali și 4,5-5 °C în Carpații Occidentali și Meridionali (Micu și colab. 2015).

Evaluarea făcută de IPCC arată că schimbările climatice vor avea un impact negativ asupra structurii și stabilității ecosistemelor forestiere din România, pe măsură ce monoculturile de molid devin mai vulnerabile la perturbările biotice și abiotice (Tudoran și Zotta 2020) sau arboretele de amestec nu vor fi la fel de productive ca în climatul actual.

În ultimii ani, interacțiunea dintre **tipurile de gestionare** și impactul schimbărilor climatice asupra pădurilor reprezintă subiectul unui număr tot mai mare de studii, precum și al simulărilor avansate (Reyer și colab. 2014; Trasobares și colab. 2016).

Rolul gestionării pădurilor are o evoluție rapidă în contextul schimbărilor climatice. În special, gestionarea intenționează să favorizeze adaptarea prin menținerea compoziției și structurii pădurilor (D'Amato și colab. 2011).

Gestionarea pădurilor înseamnă o gamă întreagă de decizii pe care gestionarul/proprietarul trebuie să le ia în considerare: alegerea speciilor, proveniența, regenerarea, curățirile și răriturile, vârsta exploatabilității,

volumul de recoltat, măsurile de protecție, împădurirea, despăduyrirea etc. (Yousefpour, Bredahl Jacobsen, și colab. 2012). Unele măsuri nu sunt noi în silvicultură fiind folosite cu mult înainte de schimbările climatice (Sousa-Silva și colab. 2018). În primul rând, gestionarea pădurilor influențează în mod direct starea pădurii, dar poate modifica și relațiile conexe existente în pădure: susceptibilitatea la doborâturi, consecințele secetei și impactul economic al unui factor poate fi modificat prin gestionare (reducerea pierderilor de exploatare, creșterea beneficiilor) (Yousefpour, Jacobsen și colab. 2012). Gestionarea adaptivă a pădurilor include o mare varietate de măsuri silviculturale: schimbări în compoziția speciilor prin convertirea monoculturilor în păduri de amestec, în structura pădurilor (conversie către păduri pluriene), rărituri intense sau vârsta exploatabilității redusă (Yousefpour și colab. 2017).

Măsurile adaptative la schimbările climatice la nivel regional trebuie implementate după o simulare preliminară ale cărei rezultate pot ajuta la alegerea unor strategii adecvate (Kellomaki et al. 2008).

Gestionarea adaptivă trebuie să fie flexibilă, deoarece trebuie să facă față provocărilor multiple date de incertitudinea schimbărilor climatice (IPCC 2014), apariția perturbărilor, viteza schimbărilor și modul în care pădurea reacționează la schimbările climatice (Lindner și colab. 2014).

Un alt factor important în găsirea și aplicarea unei gestiuni adaptive adecvate sunt administratorii/proprietarii deoarece aceștia au propriile percepții și credințe cu privire la schimbările climatice, iar decizia lor este ajustată în funcție de credința lor (Yousefpour et al. 2014). Chiar dacă administratorii/proprietarii (73%) sunt convingși că schimbările climatice își vor afecta pădurea, doar 36% dintre aceștia și-au modificat gestionarea cu variații mari între țări (Sousa-Silva și colab. 2018).

Pentru micii proprietari privați români, strategiile de adaptare nu au fost o soluție pentru că aceștia se informează prin emisiuni TV și nu cred că schimbările climatice le vor afecta pădurile (Coșofreț nepublicat).

În alegerea strategiilor de adaptare ar trebui să ne amintim că pădurile sunt un furnizor major de **servicii ecosistemice** și acest lucru este ilustrat de utilizarea comună a acoperirii forestiere ca indicator al mai multor servicii ecosistemice (ES) (Maes și colab. 2016).

Pădurile sunt importante pentru stocarea carbonului. Având o amplitudine ecologică mare, pădurea răspunde încet la schimbările minore ale climei (Thom, Rammer și Seidl 2017) fapt care asigură o aprovizionare stabilă a serviciilor ecosistemice pe termen scurt (Albrich et al. 2017). Furnizarea acestor servicii va fi afectată considerabil de creșterea regimului de perturbări (furtuni și focare de insecte) provocate de schimbările climatice (Elkin și colab. 2013; Seidl și colab. 2017).

În trecut, gestionarea pădurilor a fost dezvoltată în condiții climatice stabile, concentrându-se pe maximizarea producției de cherestea, fapt care

simplifica foarte mult planificarea gestionării pădurilor. Astăzi, datorită incertitudinii crescute date de schimbările climatice și regimurile de perturbare este necesar pentru a proteja simultan mai multe servicii ecosistemice (Albrich și colab. 2017; Daniel și colab. 2017).

Având niveluri ridicate și o stabilitate ridicată a aprovizionării ES pe termen lung este nevoie de o schimbare a modului de gestionare și o implementare rapidă în următoarele decenii, deoarece efectul asupra evoluției pădurilor se va observa în următoarele decenii (Bugmann și colab. 2017; Vacchiano și colab. 2015). Păstrarea unei continuități temporale a ES este foarte importantă pentru protecția solului împotriva eroziunii, deoarece o ploaie torențială poate produce pierderi consistente de sol care pot fi recuperate în secole (Shakesby și colab. 1993).

Există multe studii care au analizat contribuția gestionării pădurilor în furnizarea de ES multiple în diferite scenarii climatice, importanța ES individuale (Albrich și colab. 2017;).

Pădurile joacă, de asemenea, un rol important în **protecția solului**. Protecția solului aparține categoriei de servicii ecosistemice de reglare (MEA 2005) și a fost calculată la scară locală, regională și globală (Terranova și colab. 2009).

Există mai mulți indicatori pentru evaluarea valorii de protecție a pădurii: densitatea arboretului (arbore/ha), gradul de închidere al coronamentului (Zhao și colab. 2013), panta (Vannier și colab. 2018), diversitatea speciilor, tipul arboretului, înrădăcinarea (Calder 2002; Dupire și colab. 2016), tipul și textura solului (Forest Stewardship Council 2018).

Indicii existenței de evaluare a valorii de protecție a pădurilor FPGH (Forest Protection against Gravitation Hazards) (Briner, Elkin și Huber 2013) și LPI (Landslide Protection Index) (Zlatanov și colab. 2017) depind numai de indicatori dendrometrici (amestec de specii de arbori, structura pădurilor, sistemul de înrădăcinare, potențialul de regenerare și grad de închidere al coronamentului) și neglijează indicatorii topografici (Gellrich et al. 2008).

În acest context, am dezvoltat un nou indice pentru a evalua valoarea de protecție a pădurilor care include atât indicatori biologici cât și non-biologici ai parcelelor forestiere și care este ușor de evaluat utilizând rezultatele simulării LandClim.

Modelul la nivel de peisaj este potrivit pentru a examina răspunsul simulării vegetației forestiere la scări mari temporale și spațiale și rezultatele proceselor spațiale (recoltare, foc, vânt) (He 2008). Rezoluția spațială se referă mărimea celulelor și rezoluția temporală este durata simulării. Datorită rezoluției spațiale și temporale mari, pădurile sunt considerate un grid de celule, unde în fiecare celulă sunt descrise după compoziția speciilor, clasa de vârstă, biomasa, numărul arborilor sau tipul de management (Taylor, Chen și VanDamme 2009). De asemenea, pentru

fiecare celulă sunt necesare informații despre altitudine, panta, aspect, sol și sunt utilizate mai multe tehnici GIS pentru a ajunge la aceste informații.

Evoluția ecologiei forestiere, ecologiei peisajului, teledetecției și tehnicilor de calcul a dus la o îmbunătățire a FLM după cum urmează: TreeMig (Lischke et al 2006.), LandClim (Schumacher, Bugmann și Mladenoff 2004), LANDIS -II (Scheller și Mladenoff 2007) și iLand (Seidl și colab. 2012).

LandClim a fost dezvoltat pentru studierea impactului topografiei, schimbărilor climatice, gestionării pădurilor și perturbărilor asupra dinamicii, compoziției și structurii pădurilor (Schumacher și colab. 2006; Schumacher și Bugmann 2006) și a fost utilizat pentru a simula pădurile actuale, precum și paleo-ecologice (Thrippleton și colab. 2014), dinamica pădurilor viitoare (Bouriaud și colab. 2014) și pentru a evalua impactul schimbărilor climatice și perturbărilor, privind serviciile ecosistemice (Schuler, Bugmann și Snel 2017; Thrippleton și colab. 2016).

Utilizarea modelului LandClim pentru studierea impactului schimbărilor climatice și a gestionării pădurilor asupra serviciilor ecosistemice dinamice, la scară largă, și-a dovedit utilitatea și aplicabilitatea prin urmare a fost utilizat în nord-estul României.

1.1 Scopul și obiectivele tezei de doctorat

Modul în care va evolua pădurea în viitor este strâns legat de intensitatea și frecvența schimbărilor climatice, dar și de modul în care a fost, este și va fi gestionat. Rezultatele modelării la nivel de peisaj reprezintă o soluție pentru administratorii și proprietarii de păduri pentru a-și modifica gestionarea cu scopul de a crea păduri adaptate la schimbările climatice.

În Carpații există puține studii care utilizează modele la nivel de peisaj pentru a determina măsuri de gestionare adaptivă a pădurilor la schimbările climatice (Bouriaud și colab. 2014; Chivulescu și colab. 2021; Ciceu și colab. 2020) și în acest context, scopul tezei de doctorat este de a modela evoluția pădurilor sub diferite schimbări climatice și scenarii de gestionare contrastante folosind modelul LandClim.

Obiectivele tezei de doctorat sunt:

1. Definirea tipurilor de măsuri de gestionare a pădurilor pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice.
2. Modelarea compoziției speciilor și evoluției biomasei în diferite scenarii climatice și strategii de gestionare a pădurilor
3. Identificarea evoluției serviciilor ecosistemice sub diferite scenarii climatice și de gestionarea a pădurilor

4. Evaluarea valorii de protecție a pădurilor în ceea ce privește eroziunea solului și analiza influenței scenariilor climatice și a tipurilor de management asupra valorii indicelui

2. MATERIAL ȘI METODĂ

2.1 Site description

Pădurile proprietate a statului din ocolul silvic Frasin au o suprafață de 11,742.5 ha și sunt localizate în zona estică a munților Carpați (45°51'N, 25°77').

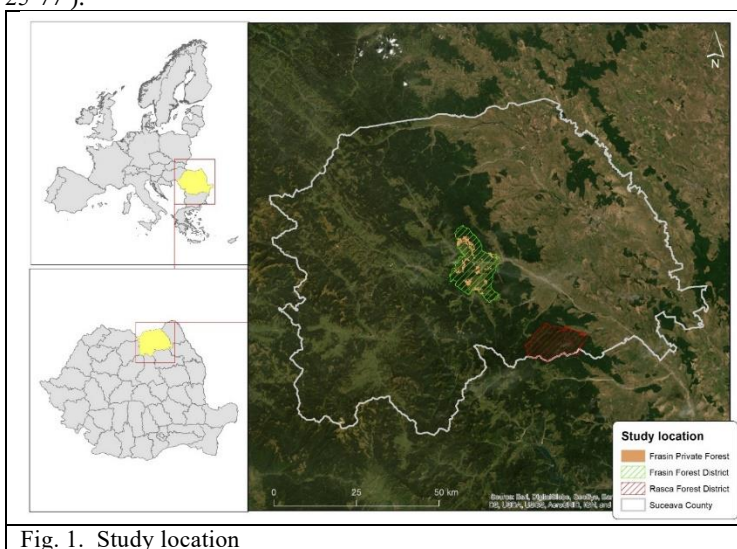


Fig. 1. Study location

Clima este temperat continentală, cu o temperatură medie anuală de 6,7 °C și precipitații anuale de 788 mm. Altitudinea variază de la 500 la 1300 m, iar pantele sunt moderat abrupte: între 10 ° și 20 ° și rareori depășesc 40 ° (<1% din suprafață).

Datorită procentului ridicat de districambosoluri, în comparație cu celelalte tipuri de sol prezente de cele două tipuri de standuri selectate, a fost considerat principalul tip de sol din OS Frasin. Prin urmare, în modelul LandClim a fost rulat folosind un singur tip de sol: **districambosol**.

Ocolul Silvic Râșca este situat în partea de nord a României, la altitudini cuprinse între 400 și 1200 m. Arboretele dominante din OS Râșca

sunt cele de amestec (brad și fag), iar raportul dintre arboretele echien și pluriene este de 1.

Din 13350 ha peste 1100 ha sunt pe o pantă mai mare 30 °, fiind incluse în categorii funcționale corespunzătoare serviciilor ecosistemice de protecție a solului. Se întâlnesc două tipuri principale de sol: eutricambosol (49%) și districambosol (41%). Adâncimea medie totală a districambosolului este de 110 cm, iar pentru eutricambosol este de 95 cm, dar adâncimea solului și cantitatea de schelet variază substanțial pe un substrat neconsolidat.

2.2 Identificarea practicilor silvice pentru adaptarea gestionării pădurilor

Pentru a accesa și colecta lucrările relevante pentru această sinteză, în urma unei căutări bazate pe cuvinte cheie pe motoarele de căutare: „Web of Science” și „Google Scholar” a rezultat o listă brută de 162 de articole. În aceste publicații au fost căutate măsuri și practici silvice iar 98 de articole nu au fost relevante pentru scopul lucrării, iar restul de 64 de lucrări a fost analizat mai departe (Coșofreț și Bouriaud 2019).

Pentru o mai bună evaluare a măsurilor silviculturale de adaptare, am creat clase pentru fiecare măsură silviculturală distinctă (Coșofreț și Bouriaud 2019).

Pe baza clasificării lui Bolte (2009), opțiunile de adaptare au fost grupate după cum urmează:

a) adaptare activă (creșterea numărului de rărituri - ITN, creșterea intensității răriturilor - ITI, vârsta exploatabilității redusă - RRL, compoziții mixte de specii - MTSC, introducerea unor specii mai adaptate - MAS, schimbarea structurii arboretelui - UEA);

b) adaptare pasivă (conversie la păduri naturale - CNV, creșterea vârstei exploatabilității - IRL, intensitate scăzută a lucrărilor - LI, tratamente cu tăieri repetate și regenerare sub masiv - SNR);

c) conservarea structurii pădurilor (fără gestionare - NOM, creșterea suprafeței împădurite - IAFF).

Pe baza Analizei Corespondenței Multiple am analizat relațiile dintre diferitele variabile identificate în lucrările științifice, cu scopul de a identifica care sunt factorii care discriminează cel mai bine setul de măsuri propuse în cele 64 de articole (Coșofreț și Bouriaud 2019).

2.3 Scenarii de gestionare

Tipurile de gestionare și regulile de exploatare implementate în LandClim se diferă prin tipul de arboret (echien sau plurien), speciile dominante (fag, molid sau amestec) și clasa de producție, pentru a avea o descriere exactă a gestiunii actuale (Bouriaud et al. 2014).

Monoculturile de molid se recoltează pe suprafețe de maximum 3 ha, urmate de a fi plantate cu molid (5.000 de puiți pe ha). Acest regim de exploatare a fost parametrizat prin exploatare în fiecare decadă a unei treimi din suprafața care a atins vârsta exploatabilității, întregul arboret exploatat complet în cel puțin trei decenii (Bouriaud et al. 2014).

Arboretele de fag au fost regenerate în mod natural în conformitate tratamentelor cu tăieri repetate și regenerare sub masiv prin care o treime din cohortă este exploatată în fiecare deceniu, pe întreaga suprafață, astfel încât pădurea este regenerată succesiv în 30 de ani.

Arboretele de amestec sunt exploatate la fel ca arboretele de fag. O treime din arborii sunt exploatați o dată pe deceniu în arboretele mature. Biomasa minimă pe care trebuie să o atingă cei mai mari 100 de arbori înainte ca un arboret să fie exploatat este de 2,5 t ha⁻¹.

Conform normelor tehnice românești (Anonim 2000b), răriturile se programează în fiecare tip de arboret, în funcție de compoziția speciilor și vârsta arboretului. Intensitățile lor nu depășesc 15% din volumul curent.

În amenajamente sunt descrise regulile de exploatare, răriturile, regenerarea, controlul compoziției speciilor, acțiuni care reflectă gestionarea normală (BAU) (Bouriaud și colab. 2014).

În ceea ce privește regenerarea, gestiunea impune o densitate minimă de 5.000 de arbori pe ha. Pentru a respecta normele, am simulat plantarea diferențiată pentru fiecare tip de arboret (arborete de molid: 5000 puiți de molid/ha; arborete de fag: 5000 puiți de fag/ha; amestec de molid și fag (2.500 puiți de molid și 2.500 plante de fag per ha), ca o completare a regenerării naturale (Bouriaud et al. 2014).

2.4 Crearea și identificarea gestiunii private

Pentru a identifica care a fost gestiunea reală aplicată de proprietarii privați de păduri, a fost analizată evoluția gestiunii din 1989 până în 2009 și a fost create o bază de date a parcelelor înainte de a deveni private. Au fost colectat informații despre vârsta arboretului, compoziția pădurii, volumul, clasa de producție și gradul de închidere al coronamentului din amenajamentele 1989. Pentru 1989, am presupus că toate pădurile au fost gestionate normal.

Identificarea gestiunii private s-a făcut folosind o ortofotoplanuri (rezoluție de 0,5 m) din 2009. Cartarea gestiunii private s-a făcut folosind o metodologie adaptată din proiectul Informa (Nichiforel și colab. 2016). A fost cartată gradului de închidere al coronamentului și vârsta arboretului. Pentru gradul de închidere al coronamentului s-a dat o valoare de la 0 - câmp deschis la 10 - pădure închisă și au fost grupate pe 4 clase: D: 0 ; C: 1-3; B: 4-6; A: 7-10 (A, B, C conform normelor tehnice 2/2000).

Vârsta arboretului a fost cartată în funcție de următoarele clase: 1 - regenerare, 2 - arborete tinere, 3 - arborete mature și 4 - fără regenerare.

Pe baza gradului de închidere al coronamentului și a vârstei arboretelor au fost identificate două tipuri de gestionare privată a pădurilor: CCUT (când pădurea a fost tăiată imediat și apoi a fost lăsată să se regenereze natural fără efectuarea răriturilor sau când gradul de închidere al coronamentului a scăzut continuu) și BAU (gestiune normală). Aceste tipuri de gestionare au fost atribuite fiecărei parcele identificate forestieră (Tab. 1).

Tab.1. Describing the type of private management					
Nr.crt.	Grad închidere		Vârsta arboret		Tip Gestiune
1	0	D	1	REGENERATION	CCUT
			2	YOUNG STAND	
			4	NO REGENERATION	
2	0.1-0.3	C	1	REGENERATION	CCUT
			2	YOUNG STAND	
			3	MATURE STAND	
			4	NO REGENERATION	
3	0.7-1.0	A	1	REGENERATION	CCUT
			2	YOUNG STAND	CCUT
4	0.4-0.6	B	2	YOUNG STAND	BAU
			3	MATURE STAND	BAU
5	0.7-1.0	A	3	MATURE STAND	BAU

2.5 Descrierea modelului LandClim Model

Modelul LandClim permite simularea dezvoltării pădurilor pe decenii (perioadă scurtă de timp) și sute până la mii de ani (perioadă lungă de timp) (Reineking și Kwanghun 2011; Snell și colab. 2018).

Proiectarea modelului reflectă procesele la două scări spațiale: (1) la nivel de peisaj și (2) la nivel de arboret (celule de 25 x 25 m).

În cadrul fiecărei celule, dinamica pădurilor este simulată folosind un model al "ochiurilor"/golurilor (Bugmann 2001; Bugmann și Cramer 1998) cu procese spațiale la nivel de peisaj, precum dispersia semințelor, gestionarea pădurilor și regimul perturbărilor care conectează celulele (Schumacher și colab. 2004). Regenerarea, creșterea, mortalitatea și concurența între cohortele de specii de arbori sunt sensibile la temperatură și seceta (Bugmann 2001).

Setarea fișierelor de intrare

Modelele forestiere la nivel de peisaj sunt sensibile la condițiile inițiale (fișiere de intrare) și specificând în mod incorect caracteristicile arboreteleor poate avea consecințe negative asupra rezultatelor (Temperli,

Bugmann și Elkin 2013). În acest sens, descrierea structurii arboretelor, compoziția speciilor și distribuția diametrelor a fost efectuată cu mai multă atenție (Bouriaud et al. 2014).

Informațiile despre compoziția arboretelor pentru fiecare unitate amenajistică, volum, vârstă și clasă de producție sunt furnizate de amenajamente. Compoziția arboretului include doar principalele specii fără descriere a speciilor de amestec/pionere și distribuția diametrelor acestora (Bouriaud et al. 2014).

Conform Temperli și Elkin (2013), arborii au fost selectați aleator, până când biomasa totală a arboretului a atins volumul din amenajament, dar pentru variabilitatea spațială s-a lăsat de la 1 până la 3% din volum pentru speciile de amestec/pionere.

Prin urmare, utilizarea LandClim pentru evaluarea evoluției pădurilor în diferite scenarii climatice și strategii de gestionare în OS Frasin și Râșca este adecvată.

Modelul a fost aplicat fără modificări ale parametrilor interni care definesc procesele de bază și funcțiile arborilor și parametrii modelelor fenologice (Schumacher și Bugmann 2006).

Fișierul de control al modelului necesită fișiere de intrare diferite care au fost create pentru a rula modelul utilizând tehnici avansate de GIS și R.

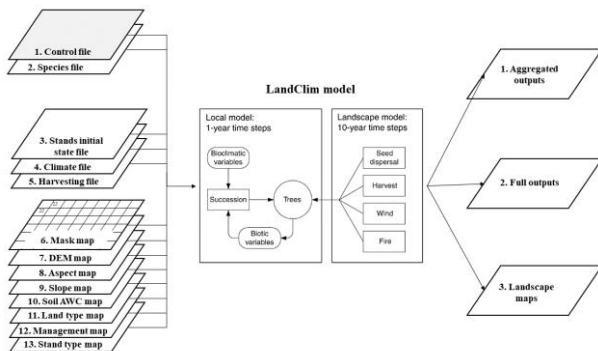


Fig. 2 Date de intrare și rezultate ale modelului LandClim

LandClim produce o varietate de rezultate pentru fiecare cohortă în fiecare celulă a matricii, inclusiv numărul de arbori și biomasa, diametrul la 1.30 (DBH), înălțimea și vârsta. Aceste variabile au fost utilizate pentru a calcula biomasa existentă, biomasa recoltată și serviciile ecosistemice de reglare și aprovizionare (Snell și colab. 2018).

Parametrii privind gestiunea

Pentru OS Frasin și Râșca au fost simulate patru tipuri de gestionare: normală (BAU), adaptivă (AM2), conservativă (CONS) și fără management (NOM) și în toate scenariile au fost activate submodulele de vânt și foc din fișierul de control al modelul LandClim.

În tipul de gestionare BAU (gestiune normală) unde principalul obiectiv este producția de cherestea, pădurile sunt exploatate prin tratamente cu tăieri cu regenerare sub masiv. Răriturile au fost efectuate în conformitate cu normele tehnice românești (Anonymous 2000b).

Gestiunea adaptivă (AM2) o vârstă a exploatabilității mai mică și rărituri intense și gestiune conservativă CONS simulează tăieri cu intensitate redusă.

Pentru simulare fără gestiune (NOM), exploatarea a fost dezactivată din fișierul de control LandClim fiind active doar submodulele de foc și vânt.

În ceea ce privește pădurile private din Frasin FD și gestiunea privată au identificate în capitolul 2.4.

Parametri vânt/doborâturi

Submodulul vânt necesită parametri specifici fiecărui site analizat: dimensiunea minimă, medie și maximă a doborâturilor (toate în metri pătrați), coeficientul de mărime și perioada de revenire. În zonele analizate, dimensiunea minimă a unei doborâturi este estimată la 0,5 ha (Marcean 2002). Dimensiunea medie a unei doborâturi în cazul cercetărilor din Alpi a fost de 2,2 ha (Schumacher 2004) și conform lui Simionescu și colab. (2012) dimensiunea medie a doborâturii a fost setată la 40 ha. Similar cu dimensiunea minimă și medie a doborâturii, dimensiunea maximă a doborâturii limitează dimensiunea simulată. Valoarea normală în Alpii Elvețieni a fost stabilită la 50 ha, dar pentru zonele analizate, dimensiunea maximă a fost limitată la 100 ha (Simionescu și colab. 2012).

Intervalul mediu de revenirea doborâturilor puternice, ca cele din 1977, pentru arboretele din județul Suceava a fost calculat împărțind intervalul mediu de apariție (10 ani), la proporția zonei afectate (0,065) reieșind un interval mediu de revenire de 165 de ani. Această perioadă este cea mai scurtă perioadă de rotație comparativ cu 200, 400 și 600 de ani calculați pentru Alpii Elvețieni (Schumacher 2004).

Parametri foc/incendii

În LandClim, sensibilitatea sub-modelul foc a fost testat în studii anterioare și a arătat că modelul este capabil să simuleze rezultate realiste. Curba de răspândire a focului este dată de coeficientul de probabilitate la foc (*fireProb*).

O valoare a *fireProb* de 2.5 înseamnă o estimare conservatoare de apariție a focului, în schimb o valoare a *fireProb* de 2.0, simulează mai multe incendii ca de obicei (Schumacher 2004). Pentru simulările noastre a fost ales o a valoare conservatoare a incendiilor datorită dimensiunii medii a incendiilor din județul Suceava (2.5 ha) în perioada 1990-2009 (Burlui 2013).

2.6 Scenariile climatice (CCSM3, ECHAM5, HADCM3)

În simulări au fost utilizate trei combinații de modele GCM/RCM din scenariul de emisii A1B (IPCC 2007) pentru a evalua impactul schimbărilor climatice asupra pădurilor. În 2100, scenariile climatice selectate proiectează condiții secetoase și diferă semnificativ între ele. Scenariul climatic CCSM3 proiectează cele mai mici schimbări climatice (Kjellström și colab. 2011), scenariul climatic ECHAM5 proiectează schimbări medii (Roeckner și colab. 2003) și proiecția climatică HadCM3 este cea mai extremă, cu cele mai mari creșteri ale temperaturii în perioada verii și cea mai mare scădere a precipitațiilor (Collins și colab. 2006).

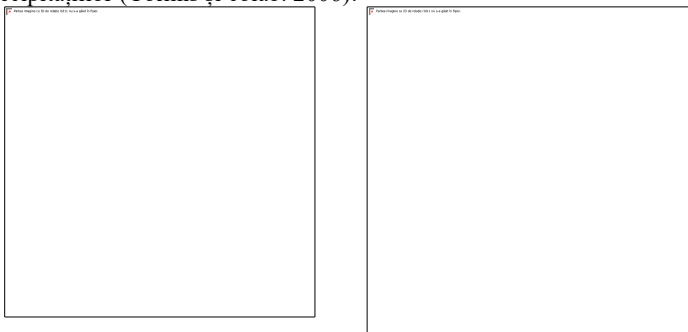


Fig. 3. Temperatura medie (°C) and suma precipitațiilor anuale (mm)

* Gri – scenariu climatic blând (CCSM3); Portocaliu – scenariu climatic moderat (ECHAM5); Albastru – scenariu climatic extrem (HADCM3)

2.7 Ecosystem services

Servicii ecosistemice de furnizare. Producția de lemn reprezintă un serviciu ecosistemic major furnizat de păduri. Acesta va fi evaluat prin doi indicatori care pot fi estimați din rezultatele LandClim: **volumul de lemn recoltat** și **stocarea biomasei**. Fiecare dintre acești indicatori va fi măsurat în **tone sau tone ha⁻¹**. **Volumul total exploatat per specie** se va calcula și pe tip de management.

Servicii ecosistemice de reglare. Carbonul supraterean (AGC) este masa uscată de carbon conținută în biomasa arborilor vii (trunchi + ramuri + frunze). Calculul cantității de carbon supraterean se poate face pe baza informațiilor privind biomasa arboretului ($t\ ha^{-1}$).

Biomasa supratereană la hectar este utilizată pentru a calcula stocurile de carbon supraterean (C_{above}). Din IPCC (2007):

$$C_{above} = BM_{above} * CF$$

unde BM_{above} este biomasa supratereană ($t\ ha^{-1}$) și CF este fracția de carbon a materiei uscate ($t\ C * t\ d.m.^{-1}$) descrisă pentru foioase și rășinoase.

Carbonul subteran (BGC) reprezintă masa de carbon uscată conținută de biomasă subterană. Modelul LandClim nu simulează explicit carbonul stocat subteran acesta fiind determinat pe baza masei uscate a carbonului stocat supraterean folosind raportul rădăcina-mugure al IPCC:

$$C_{below} = C_{above} * R, \text{ unde } R \text{ este raportul rădăcina-mugure}$$

Conservarea biodiversității este un aspect important în gestionarea pădurilor, care a fost recunoscut în procesele politice internaționale (Baskent și Keles 2005) și strategiile de gestionare. Prin urmare, au fost dezvoltate practici pentru a conserva mai bine biodiversitatea în pădurile gestionate (prin silvicultură, recoltarea lemnului etc.).

Diversitatea speciilor de arbori reprezintă un indice direct de evaluare a biodiversității.

Un indice utilizat pe scară largă pentru a evalua diversitatea speciilor de arbori la nivel de arboret și peisaj este indicele de entropie al lui Shannon, H (Neumann și Starlinger 2001). În studiile caz a fost calculatp diversitatea α pe numărul de arbori cu $DBH \geq 5cm$.

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Diversitatea dimensională a arborilor - indicele post-hoc prezentat de Staudhammer și LeMay (2001) a fost utilizat fără diversitatea speciilor care a fost determinate independent. Indicele post-hoc corespunde mediei indicilor de entropie Shannon aplicate claselor de diametre și înălțime.

$$H_{size} = \frac{H_{DBH} + H_H}{2}$$

2.8 Analysis of private, regular and no management on Frasin private forests before restitution process

Pentru a analiza diferența dintre gestionarea privată definită în capitolul 2.4, gestionarea normală (BAU) și lipsa gestionării în pădurile private din Frasin FD, am utilizat datele din amenajamentul din 1990. Datele disponibile au fost compoziția pădurilor, vârsta arboretului și clasa de producție. Compoziția pădurilor a fost clasificată în trei categorii: fagus (dacă ponderea de *Fagus sylvatica* a fost > 70%), molid (dacă ponderea *P. abies* a fost > 70%) și de amestec, vârsta arboretelor a fost grupată în clase decenale și clasa de producție (CLP) în trei categorii: CLP I și II în prima categorie, CLP III în a doua categorie și CLP IV și V în a treia categorie. Utilizând datele din amenajamentul din 2010 pentru întregul OS, pe lângă caracteristicile anterioare, au fost completate și informații privind volumul arboretelor. Pădurile de stat au fost clasificate ca pădurile private. Având un volum pentru fiecare tip de arboret din pădurile proprietate a statului, categorie de vârstă și clasa de producție, am putut atribui arboretelor private cu aceleași caracteristici un volum similar.

Având volumul inițial, am putut inițializa fișierul de intrare pentru simularea gestiunii private, normale și a lipsei acestuia în trei scenarii climatice diferite. Conform cartării gestiunii private a rezultat că pe ortofotoplanurile din 2010, 52% din pădurile private au fost tăiate ras și 48% au fost gestionate normal. Pentru pădurile private care au fost tăiate ras, în fișierul de intrare privind tipul de gestionare au fost selectate primele două decenii după 1990 pentru a fi tăiate. Din 2010, din cauza lipsei amenajamentului, a arboretelor tinere și a sancțiunilor dure pentru tăierile ilegale, s-a presupus că proprietarii privați au ales să recolteze 5 m³/an/ha și au fost programate tăieri de intensitate scăzută până la sfârșitul perioadei de simulare.

Ulterior am analizat evoluția compoziției speciilor și a biomasei, stocul carbon, diversitatea speciilor și diversitatea dimensională a arborilor în scenariile climatice și în tipurile de gestionare menționate anterior.

2.9 Index pentru evaluarea valorii protective a pădurilor incluse în categoria funcțională de protecție a solului în cadrul OS Râșca

Capacitatea pădurii de a oferi protecție împotriva hazardelor gravitaționale depinde nu numai de compoziție, structură și înrădăcinare (Briner, Elkin, și colab. 2013), ci și de panta și expoziție, adâncimea solului, numărul de arbori, vârsta și biomasa arboretelor.

Indicatorii folosiți pentru a crea un indice care evaluează serviciile ecosistemice de protecție a solului pe versanți abrupti (Tab. 9) sunt indicatori statici (adâncimea solului, structura pădurii, clasa de producție,

panta și expoziție) și dinamici (diversitate, tip de înrădăcinare, înrădăcinare, vârstă, biomasă totală). Pentru fiecare indicator, au fost create 4 clase și a fost atribuită o pondere specifică de la 1 la 4. Ponderea ridicată acordată indicatorilor ca: structura pădurii (Briner, și colab., 2013), vârsta arboretului, numărul de arbori (Gaspar 2000) și biomasă sunt importante în protecția împotriva hazardelor gravitaționale, în timp ce diversitatea (Briner, Elkin, și colab. 2013), adâncimea solului, clasa de producție (Gaspar 2000) și expoziție au o importanță mai scăzută. De asemenea, pentru indicele GEF arată că densitatea și structura pădurii au o importanță ridicată, în timp ce diversitatea, înrădăcinarea și vârsta au o importanță secundară (Cenușă & Barbu, 2004).

Tab. 2. Indicatorii utilizați în indicele de protecție a solului

No crt.	Indicator i	Abreviere	Pondere generată (gw)	Pondere specifică (pw)			
				Valoarea protectivă			
				1	2	3	4
				Extremely low			Very high
1	Aspect	Asp	0.2	Shadow	Partially shadow	Partially sunny	Sunny
2	Slope (°)	Slp	0.6	>30	21-30	10-20	<10
3	Soil Depth (cm)	SD	0.5	<30	30-60	60-90	>90
4	Forest structure	Str	0.6	Even aged	Two aged	Uneven-aged irregular	Uneven-aged balanced
5	Yield class	YC	0.3	I	II	III	IV-V
6	Species Diversity	Div	0.5	<1	1-1.5	1.5-2	>2
7	Root type	RT	0.5	1-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0
8	Total stems	TS	0.5	<12 and >150	72-150	36-72	12-36
9	Age (years)	Age	0.7	<20	20-50	>90	50-90
10	Total Biomass (tons)	TB	0.6	<4	4-8	8-12	>12

Următorul index a fost creat pentru a evalua serviciile ecosistemice de protecție a solului în arborete situate pe pante mari:

$$I_s = \frac{0,2 \cdot Asp + 0,6 \cdot Slp + 0,5 \cdot SD + 0,6 \cdot Str + 0,3 \cdot YC + 0,5 \cdot Div + 0,5 \cdot RT + 0,5 \cdot TS + 0,7 \cdot Age + 0,6 \cdot TB}{5}$$

Indicele variază între 1.0-1.5 – extrem de scăzut (EL), 1.5-2.0 – foarte scăzut (VL), 2.0-2.5 – scăzut (L), 2.5-3.0 – mediu (M), 3.0-3.5 – ridicat (H) și 3.5 – 4.0 – foarte ridicat (VH).

Au fost simulate două scenarii de gestionare (CONS – tăieri reduse și BAU – gestiune normală) pentru arboretele incluse în categoria funcțională de protecție a solului în cele 3 scenarii climatice blând (CCSM3), moderat (ECHAM5) și extreme (HADCM3).

3 REZULTATE

3.1 Definirea tipurilor de gestionare a pădurilor pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice.

3.1.1 Măsuri și practice silviculturale identificate în literatură

Pentru identificarea categoriilor de practici și măsuri silviculturale am făcut o sinteză a literaturii pe 64 de articole publicate în 30 de reviste diferite. Analiza cronologică a arătat că la începutul anului 2000 au fost publicate primele articole pe această temă și au avut o tendință de creștere până în 2015, când a început să scadă.

În analiză au fost identificate 12 practici și măsuri silviculturale adaptive. Cele mai recomandate practici au fost „arborete de amestec” și „rărituri intense”, urmată de „reducerea vârstei exploatabilității” și „introducerea unor specii mai adaptate”. Mai puțin menționată a fost „tăieri cu intensitate redusă” și „creșterea suprafeței împădurite” (Coșofreț și Bouriaud 2019).

Măsurile identificate au fost clasificate în adaptarea activă, adaptarea pasivă și conservarea pădurilor.

Adaptarea activă se poate face prin reducerea vârstei exploatabilității, ceea ce conduce la un volum mare de lemn recoltat și la o conversie mai rapidă a speciilor (Schelhaas et al. 2015). În studiul de caz al Bouriaud și colab. (2014), reducerea vârstei de exploatabilitate cu 10 ani și răriturile intense au avut un efect moderat asupra compoziției speciilor și stocului de biomasă în 100 de ani, prin urmare. Într-un interval scurt de timp există o mare probabilitate ca efectul de adaptare să nu fie observabil (Coșofreț și Bouriaud 2019).

În adaptarea pasivă au fost grupate următoarele practici silviculturale: creșterea vârstei de exploatare, tăieri cu intensitate redusă, regenerarea naturală și migrarea asistată a speciilor mai adaptate. Adaptarea pasivă poate avea un impact pozitiv sau negativ asupra evoluției pădurilor fiind un risc ridicat de doborâturi și de pierderi de calitate în cazul creșterii vârstei de exploatare (Ray et al. 2015).

În categoria conservarea pădurilor au fost incluse orice tip de gestionare și creștere suprafeței împădurite. Avantajele lipsei gestionării au fost creșterea stocului de carbon și numărul mare de arbori bătrâni (Schwenk și colab. 2012), dar pentru proprietarii de păduri private această opțiune nu este una viabilă din punct de vedere economic (Triviño și colab. 2017). Diversitatea speciilor de arbori nu a beneficiat de această gestionare și păstrarea compoziției monospecifice a pădurilor de producție de molid va crește daunele în climatul extrem (Hlásny et al. 2017).

3.1.2 Corelații între măsurile și practicile silviculturale și tipul de păduri sau provocările legate de schimbările climatice

Primele două dimensiuni ale analizei corespondenței multiple au explicat 37,4% din varianță (fig. 4). Prima dimensiune a fost definită de următoarele măsuri silvice UEA - schimbarea structurii arborelui, IRL - creșterea vârstei exploatabilității, MTSC - arborete mixte, ITI - creșterea intensității răriturilor. Majoritatea au fost incluse în strategia de adaptare activă, cu excepția creșterii vârstei exploatabilității.

În a doua dimensiune a MCA au fost corelate următoarele variabile: ITN – rărituri intense, LI – tăieri cu intensitate scăzută și IAFF - creșterea suprafeței împădurire care aparțin fiecărei categorii identificate (ITN - adaptare activă, LI - adaptare pasivă și IAFF - conservarea pădurilor). Cu toate acestea, a doua dimensiune a exprimat o tendință de intervenții mai frecvente cu o intensitate scăzută pentru a adapta pădurile la schimbările climatice (Coșofreț și Bouriaud 2019).

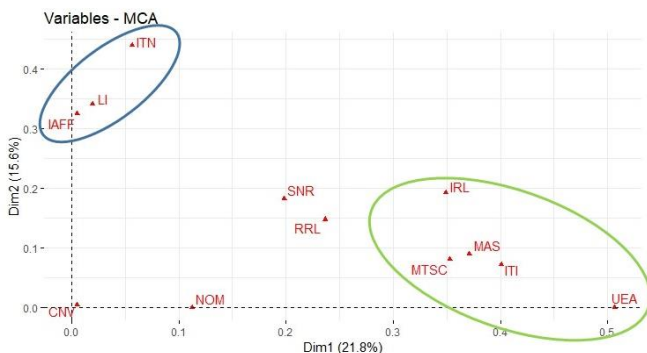


Fig. 4. Analiza corespondenței multiple a măsurilor și practicilor silviculturale

3.2 Modelarea schimbărilor compoziției arboretelor și evoluția biomasei în diferite scenarii climatice și de gestiune

3.2.1 Evoluția compoziției și biomasei în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și gestiunea adaptivă (AM2)

În gestiunea adaptivă (AM2), **la 500 m altitudine**, în scenariul CCSM3, la începutul perioadei de simulare, compoziția a fost dominată de *Fagus sylvatica* (70 tone/ha). *Picea abies* a scăzut lent până în 2060 și de aici fiind înlocuită de specii pioniere precum *Carpinus betulus*, *Populus tremula* și *Betula pendula*. În ceea ce privește evoluția biomasei, în 2020, biomasa medie a fost de aproximativ 140 tone/ha, iar scăderea *Fagus sylvatica* și *Picea abies* a făcut ca biomasa medie să ajungă la 80 tone/ha în 2060. Din 2060 până în 2090, evoluția biomasei *F. sylvatica* a fost constantă, *A. alba* a avut o creștere constantă iar specia pionieră *C. betulus* a avut biomasa mai mare (~ 20 tone/ha) în 2090. Comparativ cu primul deceniu, în 2110, ponderea speciilor a fost *A. alba* - *F. sylvatica* (70%) și *C. betulus*, *B. pendula* - *P. tremula* (30%) (Fig. 5a).

În scenariul climatic extrem (HadCM3), productivitatea a speciilor existente a scăzut puternic comparativ cu CCSM3 (Fig. 17 a) și ECHAM5 începând de la ~ 60 tone/ha, în 2020 (Fig. 17 c). Biomasa a crescut de la 60 tone/ha la 90 tone/ha în cinci decenii datorită creșterii *F. sylvatica*. De la 2060-2080, *A. alba* și speciile pioniere *C. betulus* și *P. tremula* nu mai sunt în compoziție, biomasa medie scăzând la ~ 25 tone/ha. Cele mai secetoase condiții climatice promovează *P. sylvestris*, care în 2100 domina compoziția. Până la sfârșitul perioadei de simulare, *P. sylvestris* a fost în continuă creștere dominând compoziția.

La 1100 m altitudine, în scenariul climatic blând (CCSM3), biomasa medie în 2020 este de 220 tone/ha și este dominată de *F. sylvatica* cu peste 90 de tone/ha urmată de *P. abies* și *A. alba* cu 50 de tone/ha. De asemenea, biomasa medie a speciilor pioniere este de ~ 30 tone/ha și există mai mult de cinci specii. Până în 2050, biomasa a scăzut sub 180 tone/ha din cauza declinului *F. sylvatica* care a ajuns la 40 tone/ha având o scădere până la 30 tone/ha până în 2110. *P. abies* a scăzut în 100 de ani de la 50 tone/ha la 20-25 tone/ha, dar după scăderea din 2050 până în 2090, biomasa forestieră a crescut la 240 tone/ha datorită creșterii următoarele specii *A. alba*, *P. tremula*, *B. pendula*, *S. caprea* și *C. betulus*. În ultimele două decenii, biomasa a scăzut deoarece speciile precum *F. sylvatica*, *B. pendula* și *S. caprea* au avut o scădere a biomasei datorită intervențiilor forestiere (Fig. 5c).

În scenariul climatic extrem HADCM3, biomasa medie stocată în 2020 a fost de 160 tone/ha. *F. sylvatica* a avut o scădere puternică în primele patru decenii de la 80 tone/ha la 40 tone/ha ceea ce a dus la creșterea *C.*

betulus și *P. tremula*. Din 2050 până în 2070, biomasa medie a crescut datorită speciilor pioniere și *A. alba*, dar din 2070 până în 2100, biomasa a avut o scădere ușoară urmând declinul *P. abies* și scăderea în biomasă a *F. sylvatica*. În ultima decadă, a crescut biomasa stocată de speciile existente, probabil ca efect al unei perturbări sau intervenții silviculturale (Fig. 5d).

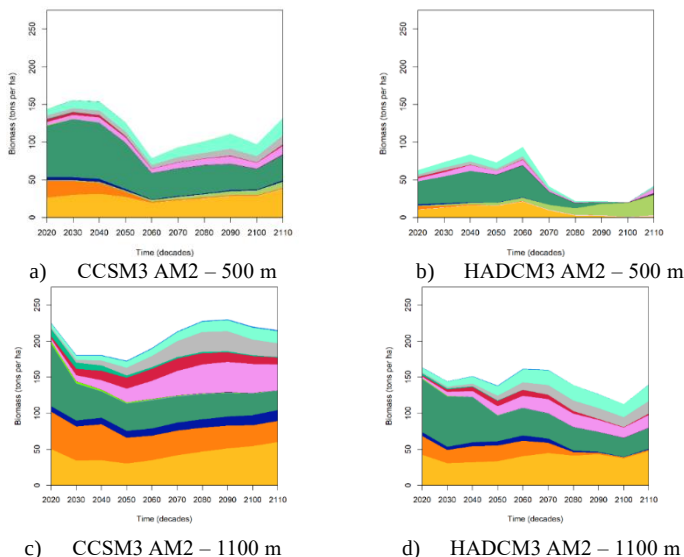
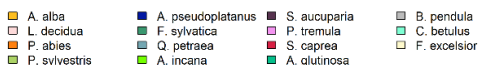


Fig. 5. Succesiunea speciilor la altitudine joase, intermediare și ridicate în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5, HADCM3 și gestiunea adaptivă AM2 - Râșca FD



3.2.2 Evoluția compoziției și biomasei în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și gestiunea normală (BAU)

În Râșca FD, în gestiunea normală (BAU), la **500 m altitudine** și în scenariul CCSM3, după primul deceniu, compoziția speciilor a fost dominată de *F. sylvatica* (80 tone/ha) care a scăzut până în 2060 la ~ 30 tone/ha. În primele cinci decenii, *P. abies* a scăzut lent și din 2060 până în 2110 a fost înlocuit în compoziție de *P. sylvestris*.

În ceea ce privește evoluția biomasei, în 2020, biomasa medie a fost de aproximativ 140 de tone/ha, din care *F. sylvatica*, cât și *A. alba*, au adunat 100 de tone/ha. Chiar dacă *P. abies* a început să scadă până în 2040, creșterea data de *F. sylvatica* și *A. alba* a dus la o biomasă de 170 tone/ha. În

următoarele 2 decenii, biomasa medie a scăzut la 90 de tone/ha în principal din cauza declinului *F. sylvatica*. Din 2060 până în 2090, evoluția biomasei *F. sylvatica* a fost constantă, *A. alba* a avut o creștere scăzută și constantă (de la 20 tone/ha la 40 tone/ha) iar din speciile pioniere, *C. betulus* a avut biomasa mai mare (~ 15 tone/ha) în 2090. Comparativ cu primul deceniu de simulare, în 2110, ponderea speciilor în compoziția este *A. alba* (30%), *F. sylvatica* (30%) și *C. betulus*, *B. pendula* - *P. tremula* (30%) (Fig. 6a).

În scenariul climatic extrem (HADCM3), productivitatea speciilor existente a scăzut puternic în comparație cu scenariile blânde și moderate. Creșterea în biomasă nu a fost constantă, în primele două decenii crescând de la 60 tone/ha la 85 tone/ha și pentru a ajunge la 100 tone/ha în 2060. Din 2060 până în 2100, *A. alba*, *F. sylvatica*, *C. betulus* și *P. tremula* nu au mai dominat compoziția, biomasa dominantă de 20 tone/ha fiind a speciei *P. sylvestris*. Până în 2100, *P. sylvestris* a avut cea mai mare creștere și părea a fi specia care se potrivește cel mai bine scenariului climatic extrem (Fig. 6b).

La 1100 m altitudine, în scenariul climatic blând (CCSM3), biomasa medie în 2020 este de 260 tone/ha și este dominată de *F. sylvatica* (100 tone/ha) urmată de *P. abies* și *A. alba* cu 60 tone/ha. De asemenea, biomasa medie a speciilor pioniere este de ~ 25 tone/ha. Din 2020 până în 2040, biomasa forestieră a scăzut la 190 tone/ha din cauza declinului *F. sylvatica* care a atins în două decenii 35 tone/ha și a scăzut la 20 tone/ha până la sfârșitul perioadei de simulare. Chiar dacă este în optim, *P. abies* a scăzut cu 50% în 100 de ani.

După scăderea din 2040, până în 2110, biomasa forestieră a crescut la 250 tone/ha datorită creșterii *A. alba* (40 tone/ha la 60 tone/ha), *P. tremula* (10 tone/ha la 30 tone/ha), *B. pendula* (<5 tone/ha la 15 tone/ha), *S. caprea* (între 10-15 tone/ha) și *C. betulus* (5 tone/ha la 20 tone/ha) (Fig. 6c). În scenariul climatic extrem HADCM3, biomasa medie stocată în 2020 este de 200 tone/ha. *F. sylvatica* a avut o scădere puternică în primele patru decenii, de la 90 tone/ha la ~ 40 tone/ha, ceea ce a dus la creșterea *C. betulus* (10 tone/ha la 20 tone/ha) și *P. tremula* (10 tone/ha la 20 tone/ha) din 2050 până în 2070. Analizând biomasa totală, din 2070 până în 2100, biomasa forestieră a scăzut din cauza declinului total al *P. abies* și a faptului că și *F. sylvatica* începe să intre în declin (Fig. 6d).

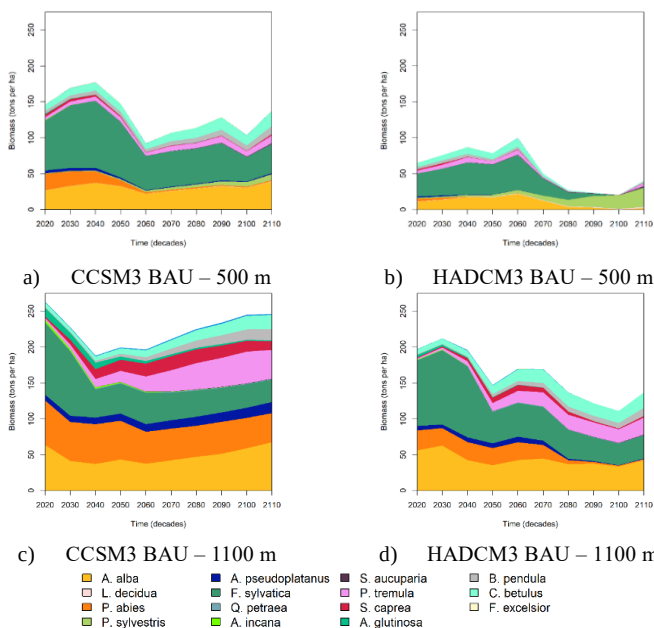


Fig. 6. Succesiunea speciilor la altitudine joase, intermediare și ridicate în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5, HADCM3 și gestiunea normală BAU–Râșca FD

3.2.3 Evoluția compoziției și biomasei în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și gestiunea conservativă (CONS)

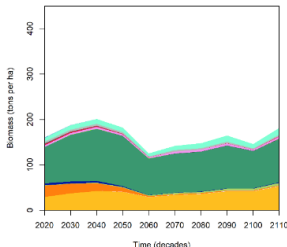
În OS Râșca, la 500 m altitudine, în gestiune conservativă și în scenariul climatic CCSM3, în primele trei decenii, biomasa a crescut de la 170 tone/ha la 200 tone/ha datorită creșterii speciei *F. sylvatica*. Din 2040 până în 2060, biomasa *P. abies* a scăzut deoarece nu se află în optim și nici nu a afectat celelalte specii. După scăderea biomasei din 2060, *F. sylvatica* și *A. alba* au început să crească ca la sfârșitul simulării, biomasa să fie ~ 180 tone/ha. Chiar dacă în OS Râșca sunt prezente mai multe specii pioniere, gestiunea conservativă promovează doar *C. betulus* (Fig. 7a).

În scenariul climatic HADCM3, productivitatea speciilor a scăzut puternic din cauza condițiilor secetoase. Se poate observa că biomasa *P. abies* a scăzut în 3 decenii, dar speciile rămase au crescut la 100 tone/ha în 2060. Din 2060 până în 2100, biomasa a scăzut la 20 tone/ha și specii

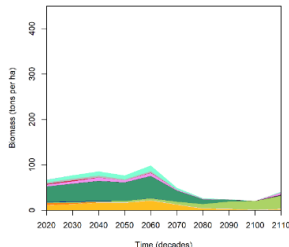
precum *F. sylvatica* și *A. alba* au fost înlocuite de *P. sylvestris*. Din 2100 până în 2110, biomasa forestieră a început să crească încet, compoziția speciilor fiind dominată de *P. sylvestris* (Fig. 7b).

La 1100 m, în scenariul climatic blând (CCSM3), biomasa medie în 2020 a fost de peste 280 tone/ha, dominată de *F. sylvatica* (~ 100 tone/ha), *A. alba* (70 tone/ha) și *P. abies* (~ 50 tone/ha). Până în 2070, biomasa a crescut la 320 tone/ha datorită *A. alba* și *F. sylvatica*. Dacă această creșterea a biomasei a fost cauzată de fag și brad, scăderea dintre 2070 și 2110 s-a datorat *F. sylvatica*. Speciile pioniere au început cu o biomasă scăzută și în timpul simulării, biomasa a variat în jurul valorii de 20 de tone/ha (Fig. 7c).

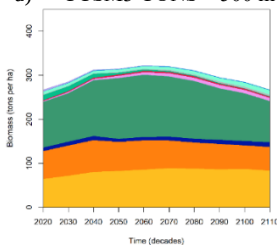
În scenariul climatic extrem HADCM3, biomasa stocată în 2020 a fost de 190 tone/ha (Fig. 7d) fiind dominată de *A. alba* și *F. sylvatica*. În 2060, biomasa a crescut la 300 tone/ha datorită *F. sylvatica* (95 tone/ha la 170 tone/ha), *A. alba* (60 tone/ha la 90 tone/ha). Din această decadă, în cel mai secetos scenariu climatic, biomasa a scăzut lent datorită tipului de gestiune mai puțin intensiv. Din speciile pioniere instalate până în 2060 numai *C. betulus* a avut o biomasă medie de 10-15 tone/ha din 2060 până în 2110. Chiar dacă este în optim, se observă declinul *P. abies* datorită climatului secetos. În 2110, *F. sylvatica* și *A. alba* domină biomasa cu peste 160 de tone/ha.



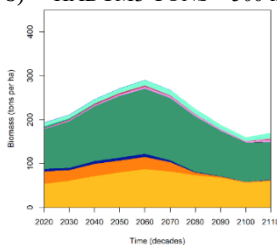
a) CCSM3 CONS – 500 m



b) HADCM3 CONS – 500 m



c) CCSM3 CONS – 1100 m



d) HADCM3 CONS – 1100 m

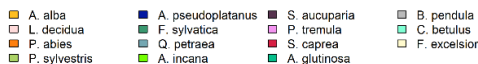


Fig. 7. Succesiunea speciilor la altitudine joase, intermediare și ridicate în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5, HADCM3 și gestiune conservativă (CONS)– **Râșca FD**

3.2.4 Evoluția compoziției și biomasei în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și fără gestiune (NOM)

În OS Râșca, **la 500 m altitudine**, fără gestiune (NOM) și în cel mai blând scenariu climatic, până în 2040, biomasa a crescut la 210 tone/ha datorită *F. sylvatica* și *A. alba*. Din 2040 până în 2060, biomasa *P. abies* scade datorită altitudinii care este factor limitativ. Scăderea biomasei de la 210 tone/ha la 140 tone/ha a fost din cauza scăderii biomasei *F. sylvatica*. Din 2060, *F. sylvatica* și *A. alba* au început să crească și în 2110, biomasa medie a ajuns la ~ 210 tone/ha. Din speciile pioniere, numai *C. betulus* a avut creștere în biomasă (10 tone/ha)(Fig. 8a).

În climatul extrem HADCM3 productivitatea speciilor existente a fost limitată de climatul secetos. Speciile dominante (*A. alba* și *F. sylvatica*) au avut o creștere redusă (de la 70 tone/ha la 100 tone/ha) până în 2060 și din acest deceniu, biomasa tuturor speciilor a început să scadă (declinul *A. alba* în 2090 și *F. sylvatica* în 2100) la mai puțin de 20 tone/ha în 2100. În 2110, biomasa a crescut cu 10 tone/ha în principal datorită *P. sylvestris* care domină compoziția(Fig. 8b).

La 1100m, în scenariul climatic blând (CCSM3), în 2020 biomasa a fost de ~ 280 tone/ha din care biomasa *F. sylvatica* a ajuns la 100 tone/ha, *A. alba* 80 tone/ha și *P. abies* mai mult de 40 de tone/ha. În 5 decenii, biomasa forestieră a crescut la 410 tone/ha datorită creșterii semnificative a *F. sylvatica* și *A. alba*. Biomasa speciilor pioniere a avut 20 de tone/ha în 2020 și a rămas constantă până în 2110(Fig. 8c).

În scenariul climatic extrem HADCM3, biomasa în 2020 a fost dominată de *F. sylvatica* (100 tone/ha) și *A. alba* (60 tone/ha). În 2060, biomasa forestieră a crescut la 330 tone/ha datorită *F. sylvatica* și *A. alba*. Din acest deceniu, din cauza condițiilor climatice extreme, biomasa *P. abies* a început să scadă, biomasa *A. alba* a rămas constantă (90 tone/ha) și *F. sylvatica* a scăzut de la 160 tone/ha la 100 tone/ha până în 2110(Fig. 8d).

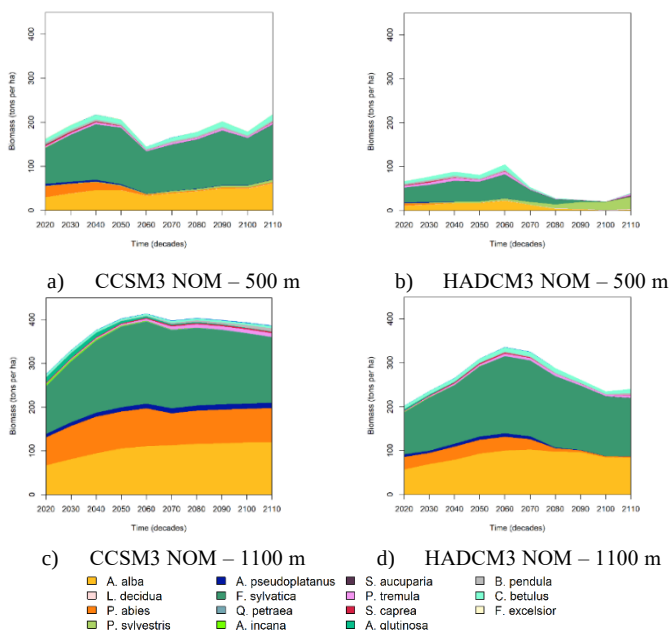


Fig. 8. Succesiunea speciilor la altitudine joase, intermediare și ridicate în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5, HADCM3 și fără gestiune (NOM) – Râșca FD

3.3 Servicii ecosistemice de furnizare – cantitatea de biomasă exploatată pe specii

În Râșca OS, în scenariul climatic blând CCSM3 și **gestiunea adaptivă AM2**, cantitatea de biomasă recoltată în primul deceniu a fost de 300000 tone iar aceasta a crescut la 490.000 tone/deceniu în 2030. Cantitatea de biomasă recoltată a început să scadă și în 2090 a ajuns la aproape 200000 tone/deceniu. În primele 4 decenii a fost recoltată o cantitate importantă de biomasă deoarece vârsta arboretelor este aproape de vârsta exploatabilității. Din 2020 până în 2090, principalele specii exploatate au fost *F. sylvatica* și *A. alba*, dar în 2100 se poate observa că au fost extrase 80000 de tone de specii de pioniere ca *C. betulus*, *B. pendula* și *P. tremula* (Fig. 9a). Dacă în gestiune adaptivă, exploatarea începe mai devreme, în **gestiunea normală**, extragerea biomasei este întârziată. Cea mai mare cantitate de biomasă extrasă este în 2040, când a atins 450000 de tone. Din acest deceniu, cantitatea exploatată a scăzut treptat până în 2100 când au fost extrase 280000 tone. În acest

scenariu de gestiune, prezența speciilor pioniere în biomasa extrasă este mai mica (Fig. 9b). În **gestiunea conservativă**, biomasa extrasă în primele 3 decenii este mai mică comparativ cu gestiunea AM2 și BAU, dar în 2050 a atins 280000 tone/deceniu, această cantitate fiind recoltată în fiecare deceniu până în 2110. Din 2050 până în 2110, aproape 60% din biomasa recoltată a fost din specia *F. sylvatica* (Fig. 9c).

În scenariul climatic extrem HADCM3 și **gestiunea adaptivă AM2**, biomasa recoltată în primul deceniu a fost de ~ 200000 tone și apoi a scăzut în 2030 la 90000 tone. Din acest deceniu până în 2070, cantitatea de biomasă recoltată a crescut din nou și a ajuns la 200000 tone/deceniu. Într-un deceniu, biomasa recoltată a scăzut la mai puțin de 10000 tone și a continuat să scadă până în 2110, când biomasa recoltată a scăzut sub 1000 tone/deceniu (Fig. 9d). În **gestiunea normală**, biomasa maximă recoltată a fost în 2050 (~ 190000 tone). Din deceniul 2070, biomasa recoltată a început să scadă și să atingă în 2110 mai puțin de 1000 tone/deceniu (Fig. 9e). În **gestiunea conservativă**, cantitatea de biomasă recoltată crește de la 30000 de tone în 2020 la 110000 tone în 2070 și din acest deceniu, cantitatea recoltată are aceeași tendință de scădere până la 2110 când a ajuns la mai puțin de 5000 de tone/deceniu.

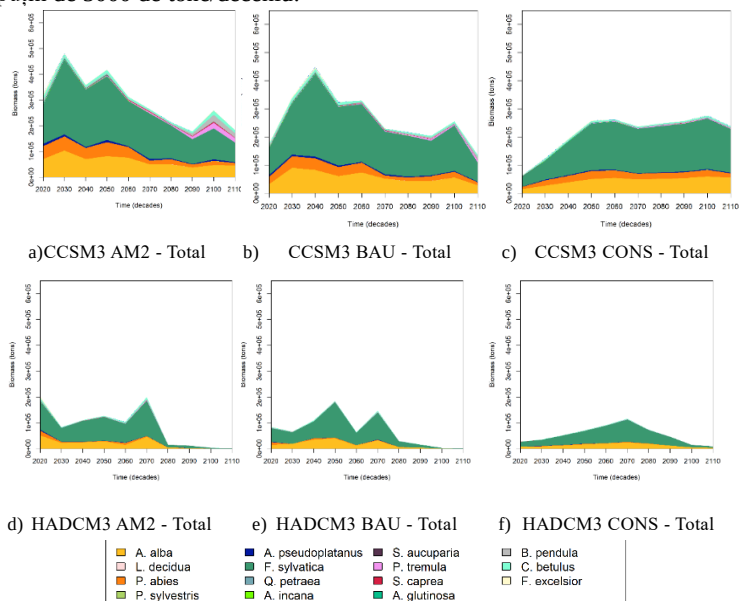


Fig. 9. Cantitatea de biomasă exploatată pe specii în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 în tipurile de gestiune AM2, BAU și NOM

3.4 Servicii ecosistemice de reglare

3.4.1 Stocul de carbon suprateran și subteran

În primul grafic a fost analizată evoluția stocului de în scenariile climatice bland (CCSM3), moderat (ECHAM5) și extrem (HadCM3) și în **gestiunea adaptivă AM2**. În scenariul **CCSM3**, stocul suprateran de Carbon (AGC), în 2020 a fost de 1100000 de tone și a scăzut la 880000 tone / deceniu în 2060 ca mai apoi să crească și să atingă valoarea din 2110. În scenariul climatic extrem **HADCM3**, stocul AGC a început de la 600000 tone în 2020 și a crescut la 800000 tone în 2060, depășind scenariul ECHAM5. Plecând din acest deceniu, AGC a scăzut la 200000 de tone în 2100, apoi a crescut în ultimul deceniu la 360000 de tone. În ceea ce privește stocul de carbon subteran (BGC), în primele 4 decenii, nu există diferențe între scenariile **CCSM3** și **ECHAM5**, cel mai mic stoc de BGC fiind în scenariul **HadCM3**, 140000 de tone în 2020 și terminând cu 100000 tone în 2110 (Fig. 10a).

În **gestiunea normală**, se poate observa că, în scenariul climatic **CCSM3**, stocul AGC a avut o creștere în primele două decenii. În deceniile următoare, stocul de AGC a început să scadă ajungând la 1000000 tone în 2060, ca mai apoi să fie constant până în 2100. În scenariul climatic extrem **HADCM3**, stocul AGC a fost de 600000 tone în 2020 și a crescut la 900000 tone în 2060. Între 2060-2070, stocul AGC a fost mai mare decât în scenariul climatic moderat, dar în următoarele decenii, a scăzut vertiginos ajungând la 200000 de tone în 2100.

În **gestiunea conservativă (CONS)** și în scenariul **CCSM3** se poate observa o creștere a stocului de AGC în primele trei decenii la 1600000 tone / deceniu ca din 2040, AGC stoc să varieze în jur de 140 0000 tone / deceniu până la sfârșitul perioadei de simulare. În scenariul climatic extrem **HADCM3**, în primele 5 decenii stocul de AGC a crescut cu ~ 400000 tone și a ajuns la 1000000 tone în 2060 ca mai apoi, condițiile secetoase să scadă AGC la 200000 tone în 2110.

În **simularea fără gestiune**, în **CCSM3** scenariu, stocul de AGC a crescut rapid la 1720000 tone în 2050. Din acest deceniu, stocul de AGC a avut unele scăderi dar în final a atins 1900000 tone. În scenariul climatic **HADCM3**, evoluția stocului AGC a fost aproximativ similară cu cea din gestiunea conservativă, stocul de AGC fiind mai mare în 2060 ajungând la 1100000 tone.

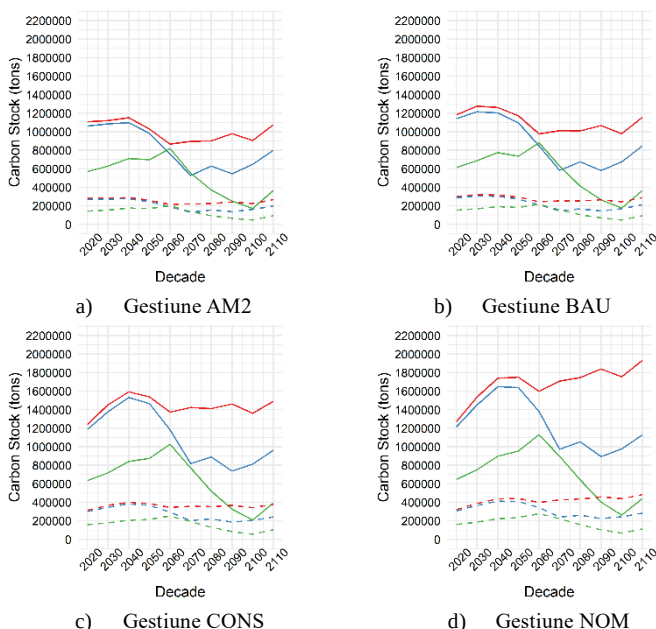


Fig. 10. Evoluția stocului de carbon supraterean și subteran în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 în tipurile de gestiune AM2, BAU și NOM în Râșca OS

* linia roșie – CCSM3, linia albastră – ECHAM5, linia verde – HADCM3

** linie continuă – carbon supraterean (ABG), linie întreruptă – carbon subteran (BG)

3.4.2 Efectele doborâturilor asupra stocului de Carbon

În ceea ce privește efectele doborâturilor în Râșca OS, în gestionarea **adaptivă (AM2)** care simulează o vârstă a exploatabilității mai mică și rărituri mai intense, nu există diferențe semnificative între scenariile climatice cu privire la cantitatea de carbon afectată de perturbări. În scenariul blând (**CCSM3**), nu au fost doborâturi excepționale, cea mai mare cantitate de carbon afectată de perturbări (13000 tone în 2060) și cea mai mică cantitate afectată de perturbări (5000 tone în 2090). În scenariul climatic extrem **HADCM3**, cantitatea de carbon afectată de **doborâturi** a crescut continuu până în 2070 când a afectate de doborâturi 20000 tone și apoi intensitatea doborâturilor a scăzut (sub 2000 tone în 2110) (Fig. 11a)

În **lipsa gestiunii** și un climat blând **CCSM3** a fost cea mai mare cantitate de carbon afectată de perturbări. În prima jumătate a simulării doborâturile au afectat 36000 de tone ca între 2080-2100, doborâturile să afecteze peste 128000 de tone. În ceea ce privește scenariul climatic extrem **HADCM3**, carbonul afectat de doborâturi a fost mai scăzut decât în gestiunea adaptivă. Cea mai puternică doborâtură a afectat 16000 de tone în 2070 ca la sfârșitul perioadei de simulare, cantitatea de carbon afectată de doborâturi să fie sub 2500 tone (Fig. 11b).

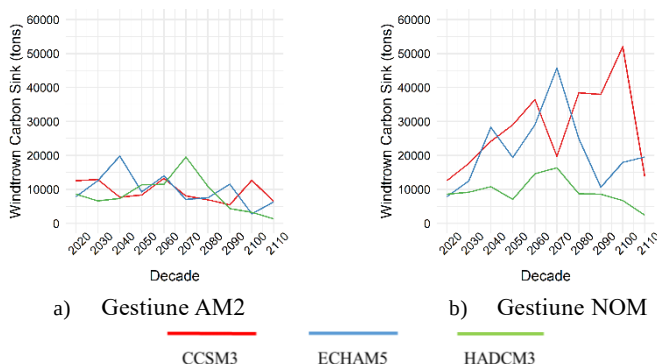


Fig. 11. Influența doborâturilor asupra stocului de Carbon în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și în tipurile de gestiune AM2, NOM în Râșca OS

* CCSM3 – blând, ECHAM5 – moderat, HADCM3 – extrem; ** AM2 – gestiune adaptivă, NOM – fără gestiune

3.4.3 Efectele incendiilor asupra stocului de carbon

În Râșca OS, în gestiunea adaptivă (**AM2**) și cel mai blând scenariu climatic (**CCSM3**), carbonul afectat de incendiile forestiere a fost de 1500 de tone în 2020 și s-a dublat până în 2050. Din acest deceniu a început să scadă și a ajuns la 1000 de tone în 2090. În scenariul climatic extrem (**HADCM3**), cantitatea de carbon afectată de incendii a variat între 1000 și 1400 tone / deceniu până în 2070. În ultimele decenii, cantitatea de biomasă afectată de incendii a scăzut o dată cu stocul de biomasă și în 2110 a ajuns la mai puțin de 200 de tone (Fig. 12a).

În lipsa gestionării și în scenariul climatic HADCM3, cantitatea de carbon afectată s-a dublat în doar două decenii. Din 2040 până în 2070, creșterea carbonului afectat de incendii nu a fost similară cu primele două decenii, în 2070 fiind perturbate 4300 tone. A existat o perioadă cu incendii mai puțin intense, data de scăderea stocului de biomasă da cantitatea de

carbon afectată a depășit 4000 de tone / deceniu. Chiar dacă în scenariul climatic extrem (**HADCM3**) se aștepta o creștere a frecvenței incendiilor forestiere din cauza secetei crescute, cantitățile afectate au fost mai mici decât în scenariile climatice blânde și moderate. În acest scenariu au existat două evenimente majore care au afectat 2000 tone în 2040 și 2100 de tone în 2070, ca mai apoi, cantitatea să scadă sub 900 de tone în 2110 (fig. 12b).

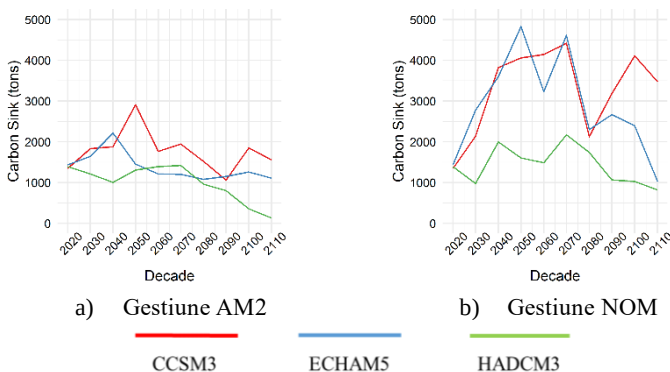


Fig. 12. Influența incendiilor privind evoluția stocului de carbon în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și în tipurile de gestiune AM2, NOM în Râșca OS

* CCSM3 – blând, ECHAM5 – moderat, HADCM3 – extrem; ** AM2 – gestiune adaptivă, NOM – fără gestiune

3.4.4 Efectele tipului de gestiune asupra carbonului stocat

Cantitățile de carbon recoltate în Râșca OS au fost mai mici decât în Frasin OS, probabil datorită unei distribuții mai echilibrate a claselor de vârstă. În gestiunea adaptivă **AM2** și scenariul climatic **CCSM3**, cele mai mari cantități de carbon recoltate au fost în prima jumătate a perioadei de simulare (240000 tone în 2030 și 200000 tone în 2050). Din 2050, cantitățile de carbon recoltate au scăzut continuu până în 2090 când au ajuns la 90000 tone. În scenariul climatic extrem HADCM3 au fost două decenii (2020 și 2070) în care carbonul recoltat a ajuns la 100000 tone / deceniu ca într-un deceniu, carbonul recoltat să scadă sub 10000 tone / deceniu în 2110 (Fig. 13a).

În gestiunea conservativă **CONS**, cantitățile de carbon recoltate în primul deceniu au fost sub 10000 tone / deceniu în toate scenariile climatice. În scenariul climatic CCSM3, cantitatea de carbon recoltat a crescut în 4 decenii la 130000 tone. Din 2050, carbonul recoltat a fost constant până la sfârșitul simulării. În scenariul climatic extrem HADCM3, în primele și

ultimele două decenii, carbonul recoltat a fost sub 1000 tone / deceniu și cea mai mare cantitate fiind recoltată a fost în 2070. În toate scenariile climatice, creșterea și scăderea cantității de carbon recoltate a fost în funcție de stocul de carbon (Fig. 13b).

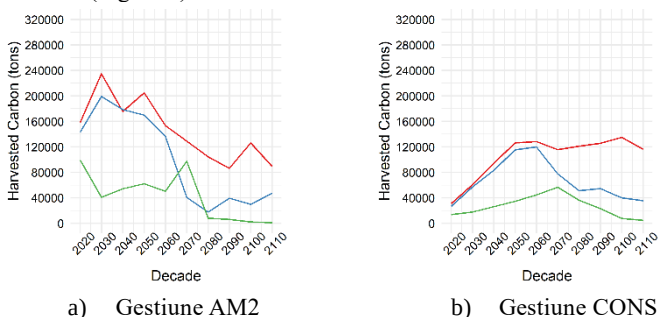


Fig. 13. Influența gestiunii asupra stocului de carbon în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și în tipurile de gestiune AM2, CONS în Râșca OS

* CCSM3 – blând, ECHAM5 – moderat, HADCM3 – extrem; ** AM2 – gestiune adaptivă, CONS – gestiune conservativă

3.4.5 Conservarea biodiversității – Diversitatea speciilor

În Râșca OS au fost simulate mai multe specii decât în Frasin FD și era de așteptat ca valoarea indicelui să fie mai mare. În primele două decenii, în gestiunea AM2 și BAU, cea mai mare diversitate a fost în scenariul climatic extrem (HadCM3), urmat de scenariul moderat până la 2060, când cea mai mare diversitate a fost înregistrată în scenariu climatic (CCSM3). În ultimii 50 de ani, diversitatea speciilor a avut o scădere puternică în climatul extrem, cu o creștere puternică în ultimul deceniu al gestiunii BAU (Fig. 14a).

În gestiunile cu intensități mai scăzute (CONS și NOM), diversitatea speciilor a avut valori mai mici în prima jumătate a simulării în toate scenariile climatice, cea mai mare diversitate fiind înregistrată în climatul extrem (HadCM3). Comparând gestiunile CONS și NOM, nu a existat nicio diferență importantă în evoluția diversității speciilor de arbori în climatul extrem. Dacă în prima jumătate a simulării, diversitatea speciilor a fost mai mică, în a doua jumătate a simulării între climatul blând și moderat nu au existat diferențe între scenarii (Fig. 14b).

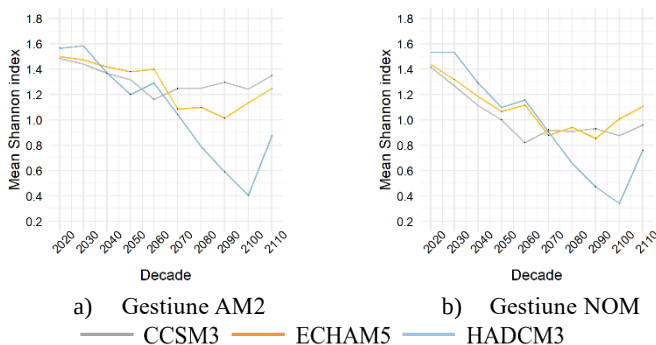


Fig. 14. Evoluția diversității speciilor în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și în tipurile de gestiune AM2, NOM în Râșca OS

* CCSM3 – blând, ECHAM5 – moderat, HADCM3 – extrem; ** AM2 – gestiune adaptivă, NOM – fără gestiune

3.4.6 Conservarea biodiversității – Diversitatea dimensională a arborilor

În Râșca OS, în primele 5 decenii nu au fost diferențe în evoluția diversității dimensionale a arborilor între scenariul climatic blând și moderat și gestiunea **AM2** și **BAU**. În a doua parte a simulării, diversitatea dimensiunii arborilor a fost mai mare în climatul blând și a scăzut odată cu creșterea temperaturii și scăderea precipitațiilor. În scenariul climatic extrem, gestiunea a avut o influență scăzută în evoluția diversității dimensionale a arborilor (Fig. 15a).

Gestiunea conservativă (CONS) și lipsa acesteia (NOM), a dus la creșterea diversității dimensionale diversității în climatul CCSM3, în prima jumătate a simulării. În a doua jumătate, în gestiunea CONS, s-a înregistrat o scădere a diversității dimensionale în toate scenariile climatice, diferența dintre acestea crescând până în 2110.

În lipsa gestiunii, în primele 5 decenii, evoluția diversității dimensionale a fost similară cu cea din gestiunea conservativă, în toate scenariile climatice. În a doua parte a simulării, în toate scenariile climatice, diversitatea dimensională a avut valori mai mici decât în gestiunea conservativă, dar evoluția generală a fost similară (Fig. 15b).

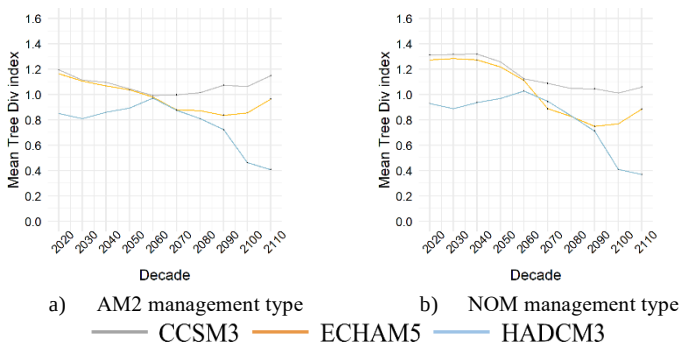


Fig. 15. Evoluția diversității dimensionale a arborilor în scenariile climatice CCSM3, ECHAM5 și HADCM3 și în tipurile de gestiune AM2, NOM în Râșca OS

* CCSM3 – blând, ECHAM5 – moderat, HADCM3 – extrem; ** AM2 – gestiune adaptivă, NOM – fără gestiune

3.5 Identificarea gestiunii private

Cartografierea gradului de închidere al coronamentului în parcelele private a arătat că 4% din 2530 ha sunt poienite (D), 51% sunt brăcuite (C), 6% au o consistență aproape plină (B) și 39% au consistență plină (A). În ceea ce privește vârsta arboretului, 50% din suprafața privată analizată în 2009 a fost inclusă în clasa de regenerare, 16% în arborete tinere și 33% în arborete mature. Mai puțin de 1% din suprafață nu este regenerată.

Din cele 3 legi de retrocedare, în OS Frasin, 55% din suprafața privată a pădurilor a fost restituită prin Legea 1/2000 și 41% prin Legea 18/1991 (Fig. 16a).

Din cartarea suprafeței private de pădure a rezultat că pe 1316 ha (52%) s-a găsit tipul de management privat „CCUT”, în timp ce tipul de management „BAU” a fost găsit pe 1212 ha (48%) (Fig. 16b).

Aproape 900 ha din zona privată de pădure sunt incluse în categoria de conservare (SUP M) și 44% au fost gestionate „CCUT”. Parcelele forestiere restituite prin Legea 18/1991 au fost predominant gestionate „CCUT” (78%) în comparație cu parcelele forestiere restituite prin Legea 1/2000 și Legea 247/2005 care au fost gestionate „BAU” (22%).

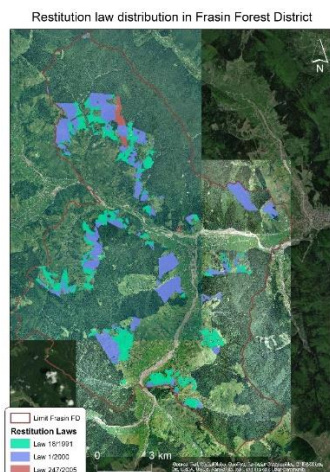


Fig. 16a. Distribuția legilor de retrocedare în Frasin OS

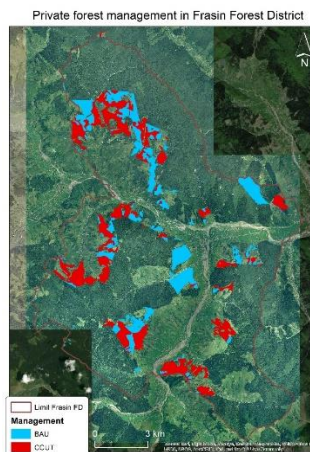


Fig. 16b. Gestiunea privată în Frasin OS

Deoarece procesul de restituire a fost realizat în 3 etape: Legea 18/1991, Legea 1/2000 și Legea 247/2005 (Bouriaud 2005), este de așteptat ca proprietarii de păduri private să o gestioneze diferit. Rezultatele susțin ipoteza, deoarece din 1041 ha de suprafață privată de pădure restituită prin Legea 18/1991, mai mult de 832 ha (80%) a avut gestiunea „CCUT” (când pădurea a fost tăiată ras și lăsată să se regenereze natural fără rărituri sau o reducere continuă a consistenței) și 209 (20%) ha au fost gestionate „BAU”. Pe pădurile private restituite prin Legea 1 / 2000 (1406 ha) s-a aplicat „CCUT” pe 476 ha (34%) și tipul de gestionare „BAU” pe 930 ha (66%). Suprafața forestieră restituită conform Legii 247/2005 reprezintă 0,3% (82 ha) din suprafața forestieră privată și 90% a fost administrată „BAU”.

Pe baza rezultatelor cartării, cele două tipuri de gestionare ale proprietarilor de păduri private CCUT (52%) și BAU (48%) au fost implementate în fișierul de intrare privind parametrii exploatarei pentru fiecare tip de arboret (molid, fag și amestec).

3.6 Evoluția pădurii private din Frasin OS înainte de retrocedare

3.6.1 Evoluția compoziției în pădurile private din Frasin

În **scenariul climatic CCSM3**, la o **altitudine de 500 m**, managementul privat are un impact important asupra biomasei în primele decenii, biomasa specie *F. sylvatica* fiind mai recoltată. Biomasa scade până

în 2040, din cauza declinului *P. abies* și recoltării *F. sylvatica*, dar până în 2090, biomasa a crescut la 140 tone / ha datorită *C. betulus* și *P. tremula* (Fig. 17a). Gestiunea normală a avut un impact mai mic asupra biomasei în primele decenii. Fiind un tip de gestiune mai puțin intens în primele 3 decenii decât managementul privat, biomasa nu a avut aceeași creștere (Fig. 17b). Fără gestionare, *P. abies* dispare din compoziție în 4 decenii, ajungând la o scădere a biomasei medii la 120 de tone / ha, dar speciile existente și cele pioniere *C. betulus* au crescut biomasa la ~ 200 tone / ha.

La 1100 m altitudine, specia dominantă este *P. abies* și între 2000 și 2020 se poate observa efectul managementului privat, în 2000, biomasa medie a fost de 90 tone / ha iar în gestionarea normală 180 tone / ha. Ca și în celelalte clase altitudinale, managementul privat a condus la creșterea rapidă a speciilor existente, ajungând la 250 tone / ha în 2080 (Fig.17d). Impactul gestiunii normale asupra biomasei este mai redus în primele decenii și se poate observa că acest management a dus la o creștere a speciilor pioniere ca *P. tremula* și *C. betulus* în defavoarea *A. alba* (Fig.17e). În lipsa gestiunii, creșterea biomasei speciilor s-a datorat *P. abies* (de la 70 tone / ha în 2000 la ~ 180 tone / ha în 2090).

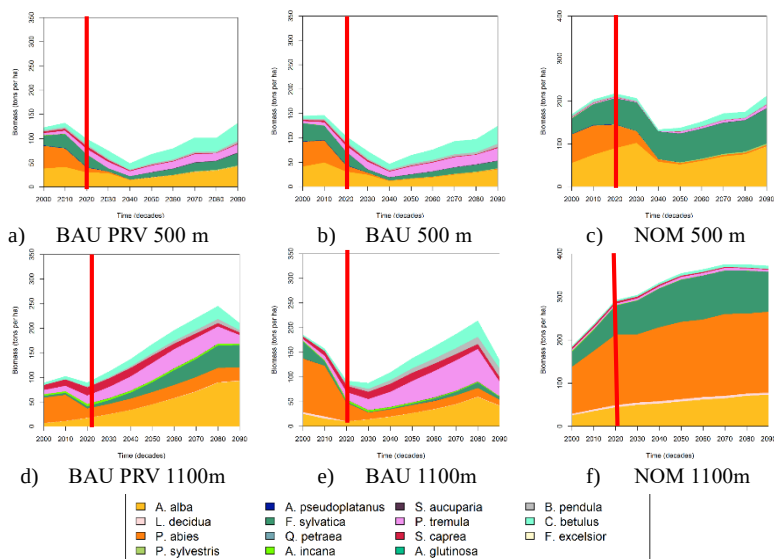


Fig. 17. Evoluția compoziției în scenariul climatic și tipuri de gestionare pe clase altitudinale

*BAU PRV – gestiune privată, BAU – gestiune normală, NOM – fără gestiune

La 500 m, în scenariul climatic extrem HADCM3 nu există nicio diferență semnificativă între managementul privat (BAU PRV) și managementul regulat (BAU) în prima jumătate a perioadei de simulare. În a doua jumătate, biomasa a scăzut sub 30 tone / ha în 2060. Fiind un management mai puțin intens (BAU), nu a avut un impact important asupra biomasei, dar compoziția speciilor s-a schimbat în 100 de ani, de la o compoziție dominată de *F. sylvatica* și *A. alba* la *P. sylvestris* la specii pionier precum: *S. aucuparia*, *P. tremula* și *C. betulus*. Lipsa gestiunii promovează *A. alba* și *F. sylvatica* în prima jumătate și apoi odată cu scăderea biomasei din cauza condițiilor climatice extreme, *F. sylvatica* este înlocuit de *P. sylvestris* și *S. aucuparia*.

La 1100 m altitudine din cauza condițiilor climatice extreme și a managementului privat, biomasa permanentă este de 50 tone/ha în 2000, dar a început să crească, chiar dacă biomasa *P. abies* a scăzut în următoarele 4 decenii și a ajuns la 130 tone/ha în 2090 datorită creșterii speciilor *A. alba*, *C. betulus*, *P. tremula* și *F. sylvatica*. La sfârșitul simulării, se poate observa prezența *L. decidua* în compoziția. Ca și în celelalte clase altitudinale, în gestiunea normală nu s-a recoltat o cantitate mare în primele decenii, biomasa stocându-se doar în gestiunea privată. În lipsa gestiunii, biomasa a crescut în prima jumătate a simulării la 230 tone/ha datorită *F. sylvatica* și *A. alba*. Chiar dacă, *P. abies* este în optimul său ecologic din cauza condițiilor climatice extreme acesta a dispărut din compoziție. Fără gestiune, biomasa maximă atinsă de speciile pionere a fost de ~ 30 tone/ha în 2040.

3.6.2 Evoluția stocului de carbon suprateran și subteran în pădurile private din OS Frasin

În scenariul climatic blând, stocul de carbon în managementul privat a ajuns la 150000 tone în 2000 și a crescut peste 250000 tone în 2090. Impactul gestionării normale asupra stocului de carbon suprateran (AGC) este mai mic în primele decenii, scăzând la 125000 tone în 2030, apoi stocul AGC a început să crească depășind 200000 tone în 2090. În scenariul climatic blând și fără management nu a fost afectat stocul AGC, care a avut o creștere importantă care depășește 450000 tone în 2090. De asemenea, stocul BGC a fost afectat de tipul de gestiune, în primele decenii fiind o diferență între managementul privat și cel normal. Din 2030, în ambele tipuri de management, stocul BGC a început să crească depășind 50000 tone în 2090.

Scenariul climatic extrem HADCM3 are un efect puternic asupra stocului de biomasă în toate scenariile de management simulate. Între

managementul privat și cel normal există o diferență, în stocul AGC, de 50000 de tone în 2000, dar după 5 decenii diferența a fost anulată, deoarece intensitatea managementului privat se schimbă din al treilea deceniu. În 2080, în ambele tipuri de management, stocul AGC a scăzut la ~ 60000 tone. Fără management, creșterea stocului AGC s-a oprit în 2040 când a ajuns la 250000 tone și apoi a scăzut puternic sub 75000 tone în 2080.

3.6.3 Efectele gestiunii asupra stocului de carbon din pădurile private din OS Frasin

În **scenariul climatic blând CCSM3**, carbonul recoltat este mai mare în primele două decenii în gestiunea privată din cauza tăierilor rase iar cantitatea recoltată a scăzut până în 2050, când a început să fie egal cu carbonul recoltat în tipul de management normal. În primul deceniu, au fost recoltate 28.000 de tone de carbon în gestiunea normală, iar cantitatea maximă recoltată a fost de 92.000 de tone în 2020.

În **scenariul climatic extrem HADCM3**, chiar dacă productivitatea arborelui a scăzut din cauza condițiilor limitative de creștere, în tipul de management privat au fost recoltate peste 90000 tone de carbon în 2000 și apoi cantitățile au scăzut la 10000 tone în 2010. Cantitatea recoltată a scăzut la 0 tone în ultimele 5 decenii. În tipul de gestionare normal (BAU), cantitatea de carbon care nu a fost recoltată în primul deceniu ca în gestionarea privată, cea mai mare cantitate fiind de 40000 de tone în 2040.

3.6.4 Efectele doborâturilor asupra stocului de carbon din pădurile private din OS Frasin

În **scenariul climatic blând CCSM3** și management privat (BAU PRV), cantitatea de carbon afectat de doboraturi este mai mică în primele decenii, unde intensitatea managementului este mai ridicată și o dată cu scăderea valorii recoltate, apariția doborâturilor a dus la apariția a două evenimente în 2050 (3800 tone) și 2080 (4000 de tone). În gestionarea normală (BAU), doborătura a afectat în 2010 (peste 5000 de tone) și apoi cantitățile de carbon afectate de doboraturi au scăzut sub 2000 de tone/deceniu până la sfârșitul perioadei de simulare. Fără gestionare, doborâturi puternice au avut loc în 2030 (9000 tone) și în 2070 (11500 tone).

În **scenariul climatic extrem HADCM3** datorită productivității scăzute și a cantităților reduse de carbon recoltat în managementul privat și regulat, carbonul afectat de doboraturi nu a depășit 1800 tone/deceniu în timpul simulării în ambele tipuri de management. Doar fără management au existat două doborâturi puternice care au perturbat 4000 de tone în 2040 și 3800 de tone în 2070.

3.6.5 Evoluția diversității speciilor din pădurile private din OS Frasin

Managementului privat BAU PRV a făcut ca diferențele dintre scenarii climatice să fie foarte mici, iar tendința de scădere a diversității speciilor să fie din cauza tăierilor de conservare programate după 2020 din cauza lipsei amenajamentului. În acest tip de management a fost înregistrată cele mai mare valoare a diversitatii, ca și în ultimele decenii, având valori medii ale diversității speciilor pentru scenarii climatice blânde (CCSM3) și moderate (ECHAM5). Scăderea puternică a biomasei în ultimele decenii ale climatului extrem a condus la o scădere a diversității speciilor în 2080, dar odată cu creșterea cantității de biomasa s-a observat o creștere a diversității speciilor (Fig. 18a).

Dacă în parcele private s-ar fi aplicat **gestionarea normală** **inca** din 1990, în primele 3 decenii, ar rezulta o diversitate mai mică comparativ cu managementul privat și diferențele dintre climatul bland și moderat ar fi foarte mici. În a doua jumătate a perioadei de simulare, diversitatea speciilor ar fi constantă și mai mare decât managementul privat, în timp ce în climatul moderat și extrem, diversitatea speciilor a avut aceeași evoluție (Fig. 18b).

Lipsa gestiunii ar duce la o diversitate de specii scăzută și în scădere pentru climatul bland și moderat, comparativ cu managementul privat și normal. În acest scenariu, climatul bland a condus la cea mai mică diversitate de specii în timpul simulării de 100 de ani, în schimb, în climatul extrem (HADCM3), diversitatea speciilor a avut cele mai mari valori în prima jumătate a simulării (Fig. 18c).

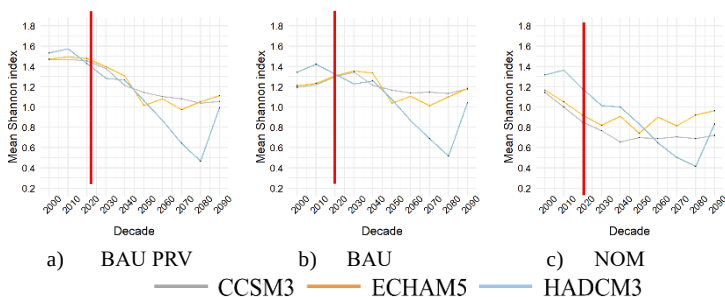


Fig. 18 Evoluția diversității speciilor în diferite scenarii climatice și tipuri de gestionare pe clase altitudinale

*BAU PRV – gestiune privată, BAU – gestiune normală, NOM – fără gestiune

** CCSM3 – blând, ECHAM5 – moderat, HADCM3 – extrem

3.7 Evaluarea serviciilor ecosistemice de protecție a solului în diferite scenarii climatice și de gestionare

3.7.1 Valoarea protectivă a pădurii

La început valoarea protectivă a arboretelor analizate a fost medie pe 55% din suprafața analizată, joasă pe 39%, foarte joasă pe 5% și mare pe aproximativ 1% (Fig. 19).

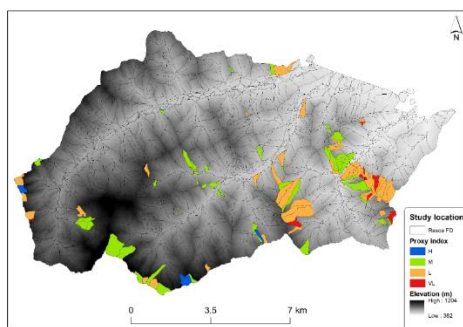


Fig. 19 Digital elevation model of Râșca Forest District and average of index cells value on forest compartment included in soil protection category

3.7.2 Simularea indexului pentru evaluarea valorii protective

În climatul blând și managementul conservativ (Fig. 20a), la început, valoarea de protecție a pădurii (P) a fost medie (M) pe ~ 40% din suprafață și scăzută (L) pe ~ 50. Ponderea pădurilor cu PV mare (H) și foarte scăzut (VL) a fost de doar 5% și nu există zone cu valoare de protecție extrem de mică (EL). Până în 2050, suprafața forestieră cu un PV mediu împotriva eroziunii solului a crescut la 55%, apoi a scăzut sub 50. În schimb, PV scăzută a ajuns la 25% în 2050, dar creșterea din următoarele două decenii nu a continuat până în 2110. PV ridicată a crescut de la 5% la 20% în primele patru decenii, apoi a scăzut la 15% într-un deceniu, rămânând constant.

În gestionarea normală și climatul blând (Fig. 20c), suprafața forestieră a PV mediu a crescut continuu până la 52% în 2110. Ponderea suprafeței forestiere cu PV mare a crescut de la 5% la 18% în 2090 cu o scădere scăzută la sfârșit de simulare. Aceste creșteri s-au datorat scăderii suprafețelor forestiere cu PV scăzut de la 50% în 2010 la 30% în 2110.

Scenariul climatului extrem a avut un impact puternic asupra valorii de protecție a pădurii. În gestionarea conservativă (Fig. 20b), PV

mediu a crescut la 52% până în 2060 și de la acest vârf a scăzut la 15% în 2110. PV mare a avut o creștere lentă la 10% în primele cinci decenii, apoi a scăzut la 1% în 2110. Suprafața forestieră cu PV mica în 2010 a fost de 50% și scade sub 40% în 2060. Din 2060 până în 2100, suprafața forestieră cu PV mica a crescut la 60% și, în aceeași perioadă, PV foarte mica a crescut de la 3% până la 30%.

Gestiunea normala (Fig. 20d) a avut o influență slabă în prima jumătate a simulării, unde PV medie a atins 50% până în 2060 și tendința fiind similară în managementul mai puțin intensiv. În a doua jumătate, managementul nu a avut influență, PV medie scăzând la 15% și PV mica a crescut de la 38% la 60% și PV foarte mica crescând de la 3 la 30% la sfârșitul perioadei de simulare.

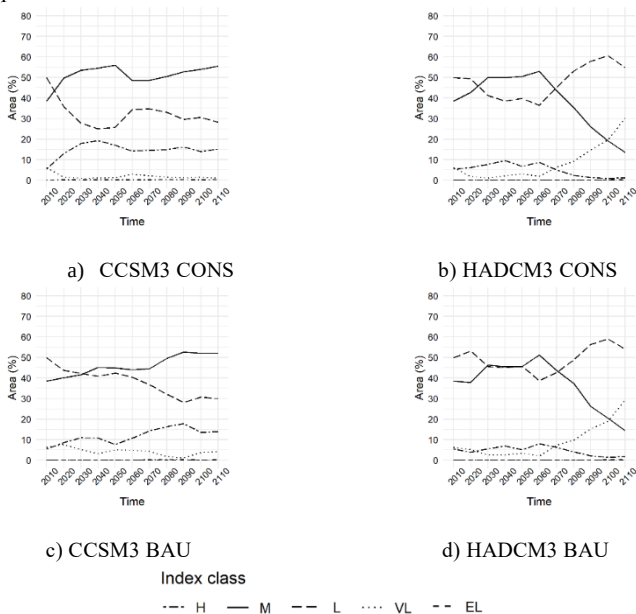


Fig. 53 Forecasting protective value index evolution in different climate and management scenarios.

* CCSM3 – mild climate, ECHAM5 – moderate climate, HADCM3 – extreme climate

** CONS – conservative management, BAU – regular management

3.7.3 Evoluția valori protective a pădurii pe clase altitudinale

La 500 m, în gestiune conservativa și climat bland, PV medie a crescut de la 34% la 55% în primul deceniu și a fost constantă până în 2050. După acest deceniu, a scăzut la 35% în 2060 și apoi a crescut continuu până la sfârșitul perioadei de simulare. În primele trei decenii, PV mica a scăzut de la 60% la 25% până în 2060. În a doua jumătate a perioadei de simulare, scăderea la 35% a PV mica a fost în opoziție cu creșterea PV medie. PV mare a atins cea mai ridicată valoare în 2040 (19%) și apoi a variat între 11-14% până la sfârșitul perioadei de simulare (Fig. 21a).

În climatul extrem, suprafața cu PV mica a scăzut de la 60% la 40% în trei decenii, dar din 2040 a crescut la 63% în 2100. În schimb, după creșterea din primele două decenii, suprafața forestieră cu PV medie a scăzut continuu sub 10% în 2110. Suprafața forestieră cu PV foarte mica a avut o creștere exponențială începând cu 2040, ajungând la 35% la sfârșitul simulării (Fig. 21c).

În gestionarea normală și climatul blând, excluzând primul deceniu, suprafața pădurii cu PV medie și scăzut a variat între 38 și 48% în timpul perioadei de simulare. Suprafața forestieră cu PV mare a crescut atunci când PV foarte mica a scăzut și invers, la final, suprafața de padure cu PV mare pentru a ajunge la 15% și PV foarte mica ajunge la 2% (Fig. 21b).

În climatul extrem, suprafața forestieră cu PV medie a crescut doar în primele două decenii la 45% și apoi a scăzut la 10% în 2110. Suprafața cu PV scăzută a avut 60% în 2010 și a scăzut la 45% în 2040 fiind constantă până în 2070 când, în două decenii, a crescut la 65%. O creștere importantă a suprafețelor forestiere cu PV foarte mica a fost observată în ultimele decenii de simulare (35% în 2110) (Fig. 21d).

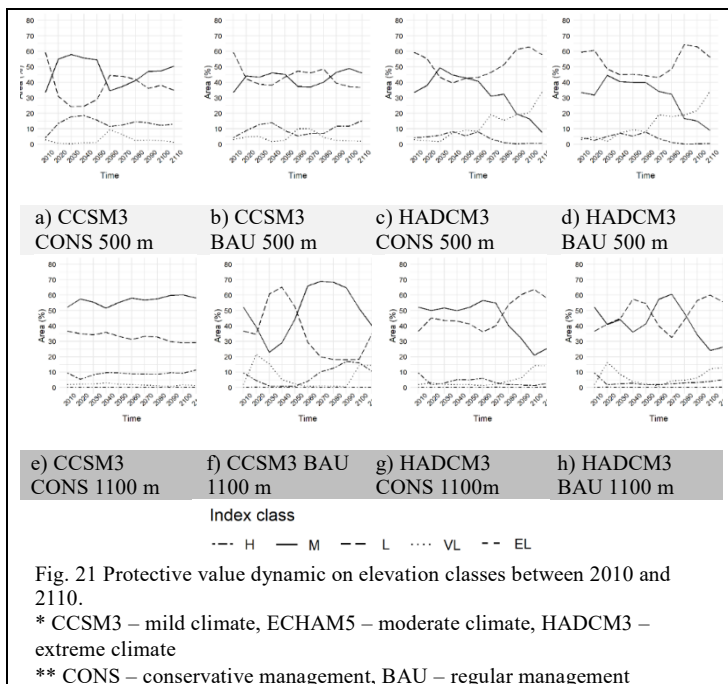
La 1100 m altitudine, în gestionarea conservativă și climat blând, în simularea de 100 de ani, suprafața forestieră cu PV mică a început de la 35% și a scăzut la 30% în 2110. Suprafața forestieră cu PV medie a crescut de la 52% la 60% în 2110 și zona cu PV mare a înregistrat o scădere scăzută în 2020, apoi fiind constantă (10%) până la sfârșitul simulării (Fig. 21e).

În condiții climatice extreme, suprafața forestieră cu PV medie a variat între 50-55% până în 2070 ca în ultimele decenii, sa scădea puternic la 20%. Suprafața forestieră cu PV mica a variat între 38-45% până în 2070 și apoi a crescut la 63% până în 2100. Odată cu creșterea PV mica, din 2070, PV foarte mica a crescut la 15% până în 2110 (Fig. 21g).

În schimb, în gestionarea regulată și climatul blând (Fig. 21f), suprafața forestieră cu PV mica a crescut la 65% până în 2040 iar din cauza tăierilor definitive, dar a scăzut până în 2100 cu PV medie la 20%. Suprafața forestieră cu PV foarte mica a avut două vârfuri: unul în 2020 (20%) și al

doilea în 2100 (15%), iar suprafața forestieră cu PV mare a crescut în a doua jumătate a perioadei de simulare.

În condiții climatice extreme, managementul a afectat evoluția PV medie și scăzută, care arăta o incertitudine ridicată în furnizarea de funcții de protecție în timpul perioadei de simulare (Fig. 21h).



4 DISCUȚII

4.1 Tipuri de măsuri de gestionare a pădurilor pentru a face față provocărilor legate de schimbările climatice

Articolele despre măsurile silviculturale pentru adaptarea pădurii la schimbările climatice au o tendință de scădere, deoarece practicile silviculturale nu s-au schimbat și nu se vor schimba în viitorul apropiat (Bouriaud et al. 2015). Implementarea unor schimbări radicale în gestionarea pădurilor reprezintă o provocare, deoarece au un câștig marginal și impactul lor asupra pădurilor este pe termen lung.

Punerea în aplicare a acestor măsuri poate fi dificilă și de lungă durată. O varsta a exploatabiliteții mai mare reprezintă un cost suplimentar în gestionarea pădurilor iar promovarea speciilor rezistente la secetă va crește diversitatea speciilor de arbori, dar va afecta producția de lemn și veniturile viitoare ale sectorului forestier (Kolström și colab. 2011).

Aceste măsuri pot spori opoziția socială, fie de la proprietarii private de păduri, întreprinderile forestiere care sunt direct afectate, fie de la ONG-urile ecologiste care nu ar fi de acord cu o intervenție umană sporită în păduri.

Kolström și colab. (2011) nu au recomandat lipsa managementului ca măsură de adaptare, deoarece acestea sunt afectate în climatul extrem, perturbările la scară largă din pădurile negestionate și lipsa recoltării lemnului ar avea probabil un impact economic mai drastic.

În literatura de specialitate au fost identificate măsuri silviculturale potențiale și strategii de adaptare a pădurilor, dar punerea lor în aplicare rămâne în urmă (Kolström și colab. 2011). Există puține cazuri în care măsurile silviculturale pentru adaptarea pădurilor la schimbările climatice au fost aplicate în modelarea pădurilor (Seidl și colab. 2009).

O adaptare cu succes a gestionării pădurilor este dată de adaptarea locală, printr-o combinație de măsuri de adaptare existente și o înțelegere profundă a efectelor schimbărilor climatice.

4.2 Modelarea compoziției și evoluția biomasei sub diferite scenarii climatice și strategii de gestionare

4.2.1 Gestiunea adaptivă și normală

Rezultatele simulării au proiectat modificări importante în compoziția speciilor (creșterea speciilor rezistente la secetă) și a biomasei, dar cu un climat mai extrem, schimbările în compoziția speciilor și în biomasă au fost determinate de climă decât management (Bouriaud et al. 2014)

Rezultatele simulărilor noastre sunt în concordanță cu aceste constatări, unde managementul adaptiv și normal al pădurilor a indus regenerarea *P. tremula*, *C. betulus* și *B. pendula* în **climatul blând**, în special, în a doua jumătate a perioadei de simulare. Aceste specii mai adaptate la climă au condus la o tranziție rapidă către păduri de amestec mai puțin vulnerabile (Thrippleton și colab. 2020) în toate clase altitudinale. În **condițiile unui climat extrem**, de-a lungul gradientului de altitudinal, rezultatele simulării au arătat o pantă ascendentă a speciilor pioniere, care sunt în conformitate cu alte studii care au raportat o extindere a intervalelor de distribuție a arborilor (Penuelas și Boada 2003; Vitasse și colab. 2012).

În **climatul extrem**, în pădurile gestionate, perioada de tranziție cu biomasă foarte scăzută, nu poate fi evitată indiferent de tipul de gestionare (Bouriaud et al. 2014). La **altitudini mari** *P. abies* și-a pierdut productivitatea, în ciuda speciilor pioniere.

În Râșca OS, bradul a fost mai potrivit pentru producția de biomasă decât molidul, ceea ce a fost în acord cu studiile ecologice anterioare (Schuler și colab. 2017; Schwörer, Henne și Tinner 2014), iar fagul european a fost afectat la **altitudini mici și intermediare**.

Schimbările proiectate în compoziția speciilor, de managementul adaptativ și normal, sunt în acord cu studiile privind schimbări climatice din trecut și contemporane (Thrippleton și colab. 2020), dar Wohlgemuth și Moser (2018) au descoperit că creșterea *B. pendula* a fost supraestimată la **altitudini mari** și iar în cazul nostru, răspunsul *P. tremula* la climă și management a avut aceeași supraestimare.

În studiile noastre de caz, managementul adaptiv nu a reprezentat un management extrem ca în Gutsch și colab. (2011) incluzând mici modificări în intensitatea rarității și reducerea varstei exploatabilității pentru a ajuta regenerarea speciilor adaptate la climă (Bouriaud et al. 2014).

În managementul adaptativ și regulat, în OS Râșca, *F. sylvatica* are o biomasă superioară la altitudini **mici și medii** decât alte specii, în prima jumătate a simulării **climatului bland și moderat**. În ceea ce privește rezistența la secetă, s-a constatat că *F. sylvatica* prezintă o rezistență ridicată în arboretele mixte, indiferent de tipul de amestec, dar resiliencia și rezistența au fost mai mari în arboretele monospecifice (Pardos și colab. 2021).

4.2.2 Gestione conservativă și lipsa gestiunii

În toate scenariile climatice (bland, moderat și extrem), la **altitudini joase**, biomasa a crescut în primele decenii în cazul gestiunii conservative sau fara gestiune (Schumacher 2004). La **altitudini mari**, influența gestiunii conservative asupra stocului de biomasă poate fi observată în a doua jumătate a perioadei de simulare a **climatului** blând. Ca și în Bugmann

și colab. (2015, clima extremă a arătat că, în a doua jumătate, biomasa existentă și speciile actuale nu sunt sustinute nici de lipsa gestiunii.

Creșterea abundenței *F. sylvatica* la altitudini mari în condițiile viitoarelor schimbări climatice a fost identificată în studiul Schwörer, Henne și Tinner (2014). În schimb, în Râșca FD s-a observat o creștere a biomasei *F. sylvatica* la **altitudini mici atât în climat bland cât și în climat extrem**. La **altitudini mari**, în toate scenariile climatice, nu exista o specie dominantă în compoziția pădurilor.

În lipsa gestiunii, spre deosebire de scenariile climatice blande, **clima extremă** a avut un impact negativ începând cu jumătatea acestui secol, cu o scădere puternică a stocului de biomasă exploatabilă și o pierdere a funcției de protecție, în arboretele de **la altitudini mici**, dar fără modificări ale compoziției ca în Thrippleton și colab. (2020).

La altitudini mari, arboretele au fost de asemenea mai puțin afectate, stocul de biomasă a fost în creștere datorită *F. sylvatica*. Printre altele, studiul nostru susține constatările conform cărora impactul schimbărilor climatice depinde puternic de condițiile abiotice și biotice locale (Thrippleton și colab. 2020).

Lipsa gestiunii în OS Rasca a dus la arborete batrane care au devenit mai reziliente și mai rezistente la schimbările climatice, acest efect fiind mai mare în arboretele mixte decât în arboretele monospecifice (Carrer și Urbinati 2006; Pardos și colab. 2021; Thurm, Uhl și Pretzsch 2016). Creșterea vârstei arborilor poate reduce stresul secetei datorită unui acces mai bun la apa din sol datorită sistemelor radiculare extinse (Pretzsch, Schütze și Biber 2018).

4.3 Identificarea evoluției serviciilor ecosistemice sub diferite scenarii climatice și de gestionare

4.3.1 Servicii ecosistemice de aprovizionare – producția de cherestea

Producția de cherestea și stocarea carbonului reacționează diferit față de schimbările climatice (Bugmann și colab. 2015). În studiile noastre de caz, producția de cherestea a scăzut în climă moderată (din a doua jumătate a simulării) și în climă extremă (întreaga perioadă de simulare). Declinul producției potențiale de lemn a dus la apariția unor specii mai tolerante la secetă și la lipsa unor specii impotrante economic (Huber și colab. 2014).

În Râșca OS, principalele specii recoltate în gestiunea adaptivă, normală și conservativă a fost *F. sylvatic*. În managementul adaptiv, în ultimele decenii de simulare s-au recoltat peste 80000 de tone de specii pionieri ca *C. betulus*, *B. pendula* și *P. tremula*.

Clima extremă a afectat stocul de biomasă, care a afectat și biomasă recoltată în toate tipurile de gestionare și pe întreaga suprafață, nu numai pe expozitiile însoțite din Alpii Elvetieni (Mina și colab. 2017).

4.3.2 Servicii ecosistemice de reglare – stocul suprateran și subteran de carbon

Dinamica carbonului în regiunile montane nu a fost sensibilă la modificările compoziției (Fahey și colab. 2010) ci la gestiunea pădurilor. Modificările în sechestrarea carbonului au fost legate mai mult de vârsta pădurilor, nu de schimbările climatice (Elkin și colab. 2013).

Rezultatele studiului lui Briner, Huber și colab. (2013) au arătat că o intensitate crescută a gestiunii ar putea crește stocarea carbonului. Rezultatele noastre au dovedit contrariul, managementul scade stocarea carbonului în climatul blând.

În Alpii iberici și occidentali, managementul adaptiv a arătat o multifuncționalitate ridicată, dar nu a contracarat impactul negativ al schimbărilor climatice având același efect ca și managementul normal (Mina și colab. 2017), aceleași diferențe fiind înregistrate și în cazul nostru.

În simularea fără gestiune, stocul AGC a fost mai mare decât în tipurile de management mai intense, în toate scenariile climatice.

Măsurile ca reducerea vârstei exploatabilă și raritățile intensive, nu au avut un impact semnificativ și pot fi evitate în favoarea lipsei gestiunii care promovează biodiversitatea, stocarea carbonului și valorile culturale (Dobor, Hlásny și Zimová 2020; Thom și colab. 2019).

4.3.3 Servicii ecosistemice de reglare – efectele perturbărilor naturale și antropice asupra stocului de carbon (doborături, incendii și exploatare)

Furnizarea de servicii ecosistemice și structura pădurilor va fi afectată de perturbări la scară largă (Bugmann și colab. 2017) în scenarii climatice blande și moderate și în tipuri de gestionare mai puțin intensive.

Doborăturile sunt influențate de condițiile topografice și de sol (Everham și Brokaw 1996) și reprezintă un factor important pentru serviciile ecosistemice de reglare la nivel european (Schuler și colab. 2019).

Dacă în alte studii au fost simulate regimuri de doborături diferite, fără rezultate diferite între ele (Schumacher și Bugmann 2006), am stabilit un singur regim al vântului și efectele sale au fost observate în simulări cu gestiune conservativă sau fără gestiune, unde cantitatea de carbon afectată a fost mai mare.

Chiar dacă lipsa gestiunii are avantajele creșterii stocului de biomasă, acestea pot fi contracarate de perturbări biotice și abiotice (Thrippleton și colab. 2020) a căror frecvență și intensitate au fost sporite de lipsa managementului. În studiul nostru de caz, creșterea stocului de carbon din climatul blând și lipsa gestiunii au condus la o creștere în frecvența și intensitate a doborărilor.

Analizând literatura despre **efectele incendiilor** asupra dinamicii pădurilor s-a observat că schimbările climatice (seceta estivală) a crescut probabilitatea de incendiu în Alpii europeni.

În Râșca OS s-a stabilit un regim conservator al incendiilor, la fel ca în Schumacher și Bugmann (2006), unde rezultatele lor au arătat că cel mai mare incendiu a afectat 45 ha, ceea ce este similar cu rezultatele noastre, unde, în gestionarea normală, au fost afectate 54 ha și în lipsa gestiunii au fost afectate 62 ha.

Tulburările antropice au cele mai puternice efecte asupra stocului de carbon, cantități exploatate variind în funcție de intensitatea managementului.

În Râșca FD, în managementul adaptiv a fost recoltată o cantitate mai mare de carbon decât în gestionarea normală. În ambele tipuri de management, în scenariile climatice blânde s-a recoltat mai mult carbon decât în scenariile climatice moderate sau extreme. Distribuția claselor de vârstă a făcut ca diferența între carbonul recoltat în prima și a doua jumătate a perioadei de simulare să fie mai mică. De asemenea, în acest studiu de caz, climatul extrem a redus cantitatea de carbon recoltat.

4.3.4 Servicii ecosistemice de reglare – Conservarea biodiversității

Creșterea **diversității speciilor de arbori** poate reprezenta o măsură adecvată de adaptare și promovarea speciilor tolerante la secetă, precum fagul, ar crește rezistența și reziliența la schimbările climatice și va păstra o gamă largă de servicii ecosistemice (Mina și colab. al. 2017). În OS Râșca, unde fagul este specia dominantă, s-a dovedit a fi tolerant doar în condițiile climatului blând și moderat.

Unele studii au descoperit un efect pozitiv al creșterii dimensiunii ochiurilor din tratamentele cu taieri și regenerare sub masiv asupra diversității speciilor, deoarece există o creștere a speciilor pioniere în aceste ochiuri (Phillips și Shure 1990), ceea ce este în conformitate cu constatările noastre că managementul adaptativ și normal a condus la o diversitate ridicată comparativ cu gestiunea conservativă sau lipsa acesteia.

Diversitatea dimensională reprezintă un indice care leagă structura pădurilor de biodiversitate, pentru a evalua diversitatea habitatelor pentru speciile de arbori (McElhinny et al 2005. Rouvinen și Kuuluvainen 2005).

Cea mai mică diversitate dimensională din toate tipurile de gestionare simulate în **Râșca OS** a fost în prima jumătate a simulării managementului adaptiv, fără nicio diferență de evoluție între climă blândă și moderată. În a doua jumătate, evoluția diversității dimensionala a fost influențată de stocul de biomasă și în climatul extrem sau moderat biomasă scade.

Tipul de gestiune conservative sau lipsa acestia, a condus la valori mai mari ale diversității dimensionale în prima jumătate a simulării, în climatul blând și moderat. În a doua jumătate, diferența în diversitatea dimensională, între scenariile climatice, a crescut în ultimul deceniu, având valori ridicate pentru clima blândă și valori scăzute pentru clima extremă.

Rezultatele noastre sunt în concordanță parțială cu punctul de vedere al (Shanin et al. 2011) conform căruia managementul adaptiv poate contracara efectele schimbărilor climatice asupra serviciilor ecosistemice, deoarece în studiile noastre de caz, o recoltare intensă a avut un efect pozitiv rezultând cantități mari de biomasă recoltată, diversitate mare de specii de arbori și cantități reduse de carbon afectate de perturbări naturale, dar un efect negativ asupra biomasei și a diversității dimensionale.

4.4 Simularea pădurii private din OS Frasin înainte de procesul de retrocedare

Atitudinea proprietarilor privați de păduri față de schimbările climatice diferă, unii dintre ei având o atitudine defensivă sau conservatoare, în timp ce alții o atitudine mai agresivă (Wagner și colab. 2014; Yousefpour și colab. 2013).

În studiul nostru de caz, în 1990, proprietarii privați de păduri nu au luat în considerare schimbările climatice, gestionarea acestora fiind adaptată nevoilor actuale, astfel încât jumătate dintre ei au decis să taie ras pădurile moștenite, iar ceilalți au avut o atitudine conservatoare.

La altitudini joase, în scenariul climatului blând, în managementul privat a fost tăiat ras 50% din suprafața privată a pădurii, în primele 3 decenii, fără respectarea amenajamentelor anterioare (Bouriaud 2005). Reglementarea clară a procesului de restituire și îmbunătățirea legislației forestiere au limitat tăierilor rase și au permis proprietarilor privați de păduri să aplice doar tăieri cu intensitate redusă ce a condus la o evoluție a biomasei și a speciilor similare cu gestionarea normală. În schimb, în lipsa gestiunii, stocul de biomasă a crescut în primele decenii și a înregistrat o scădere la jumătatea perioadei simulate datorită declinului *P. abies* (Mina și colab. 2017).

În **scenariile climatice extreme** nu a existat nicio diferență între managementul privat, regulat sau lipsa acestuia privind evoluția biomasei, iar *P. sylvestris* a fost specie dominantă (50 tone/ha) în ultimele decenii.

La altitudini ridicate și în climă blândă, tăierile rase din primii 30 de ani de management privat au dus la o creștere exponențială a biomasei în următorii 70 de ani, datorită *A. alba* și *F. sylvatica* (Schumacher și Bugmann 2006). În schimb, în gestionarea regulată, stocul de biomasă a fost mai mare datorită arboretelor de molid care nu au atins vârsta de recoltare. Recoltarea *P. abies* cu de 20 de ani mai târziu a supraestimat speciile pioniere (Wohlgemuth și Moser 2018) și a limitat creșterea *F. sylvatica* și *A. alba*. Când pădurile private nu au fost gestionate, biomasa a avut o creștere puternică.

În **scenariile climatice extreme**, în managementul privat a fost recoltată mai multă biomasă în primele decenii, ceea ce a dus la o creștere continuă a biomasei datorită *A. alba* și *L. decidua*. În schimb, în gestionarea normală a fost stocată mai multă biomasă (*A. alba*, *P. abies* și *F. sylvatica*), iar impactul climatic asupra concurenței și compoziției speciilor a dus la faptul că 50% din biomasa totală este reprezentată de *C. betulus* și *P. tremula* (Schumacher și Bugmann 2006). În simularea fara gestiune, biomasa existentă a crescut până în 2050 datorita fagului și bradului, iar în condițiilor climatice extreme, *P. abies* a început să scadă (Bugmann și colab. 2015).

La început, **serviciile ecosistemice** par a fi un beneficiu, dar pot avea un efect negativ asupra atitudinii administratorilor și proprietarilor de păduri față de schimbările climatice, din cauza lipsei impactului climatic observat asupra pădurilor (Elkin et al. 2013).

Serviciile ecosistemice de reglare precum carbonul stocat suprateran și subteran au arătat că lipsa de gestionare a stocat cea mai mare cantitate de carbon în pădurea privată din Frasin. Efectele climatului moderat și extrem asupra stocului de carbon au fost observate în a doua jumătate a perioadei de simulare și au fost în concordanță cu evoluția stocului de carbon la nivel de peisaj.

Managementul privat din primele decenii a crescut stocarea carbonului într-un climat bland și moderat, aceste rezultate fiind în conformitate cu studiul lui Briner, Huber și colab. (2013). În condiții climatice extreme, aplicarea managementului privat a condus la un stoc scăzut de carbon comparat cu gestiunea normală Mina și colab. (2017) și climatul extrem din a doua jumătate a anulat influența diferitelor tipuri de management (Briner, Huber și colab. 2013).

Indiferent de scenariul climatic, un management intensiv reduce **serviciile ecosistemice pentru societate** (siguranța la incendiu, stocarea carbonului și biodiversitatea) și crește serviciile ecosistemice individuale precum carbonul recoltat (Geerten M Hengeveld și colab. 2015). Aceleași rezultate reiesit și în simulările managementului privat care în primul deceniu al tuturor scenariilor climatice s-a recoltat cea mai mare cantitate de carbon. Cantitatea de carbon recoltată în gestionarea

normala a crescut între 2010 și 2030, arătând că vârsta arboretelor private a fost aproape de vârsta de exploatare și decizia proprietarilor privați de a taia ras pădurea lor, de fapt, a fost o reducere a varstei de exploatabilitate (Coșofreț și Bouriaud 2019).

În ceea ce privește cantitatea de carbon perturbată de doborâturi, lipsa managementului a condus la o frecvență și intensitate ridicată a doborârilor în a doua jumătate a climatului blând, unde stocul de biomasă a avut o creștere continuă și doar în prima jumătate a climatului moderat, deoarece biomasa a scăzut în a doua jumătate (Thrippleton et al. 2020).

În primele trei decenii, **diversitatea speciilor** a fost mai mare în managementul privat, deoarece tăierile rase au reprezentat un impuls pentru speciile invazive Schuler și colab. (2019). În prima jumătate a simulării fără gestiune, diversitatea speciilor a scăzut în toate scenariile climatice, având valori ridicate în climatul extrem și valori scăzute în climatul blând. Chiar dacă în a doua jumătate a simulării, diversitatea speciilor a fost mai mare în condițiile unui climat moderat, lipsa gestiunii, nu duce la o diversitate ridicată ca în studiul lui Mina și colab. (2017).

4.5 Evaluarea valorii protective a pădurii din categoria funcțională de protecție a solului și influența scenariilor climatice și a strategiilor de gestionare

Există o mulțime de studii care arată că, un scenariu climatic blând crește biomasa molidului la altitudini mari (Hartl-Meier și colab. 2014) și are un impact negativ la altitudini mici (Hartl -Meier și colab. 2014).

În managementul conservativ, modificările valorii protective au început de la climatul moderat, în timp ce în gestionarea normală, declinul biomasei și trecerea la specii tolerante la secetă, modificarea valorii protective a fost înregistrată în toate scenariile climatice și la toate clasele de altitudine. Aplicarea unei gestiuni normale și combinate cu perturbări naturale a dus la o supraestimare a speciilor pioniere ca în studiul Wohlgemuth și Moser (2018).

Rezultatele noastre confirmă studiile anterioare și au arătat că la **altitudini reduse (500 m)**, de la climat blând la cel extrem, compoziția speciilor și biomasa se modifică în diferite scenarii de gestiune.

La 1100 m, în scenariu climatic extrem, managementul conservativ a susținut mai multe decenii o PV medie decât un management normal, unde PV medie are o formă sinusoidală.

Avantajele indicelui ce evaluează valoarea protectivă în comparație cu alți indici sunt indicatorii non-biologici incluși care arată influența geomorfologiei asupra evoluției indicelui, descrierea sistemului de înrădăcinare, sursele de date diverse și adaptarea la celulele matricei. Dezavantajele acestui indice sunt clasa de producție și structura ce

sunt extrase din amenajament deoarece amenajamentele celorlalte țări europene nu este similar amenajamentul din România și ponderile indicatorilor care au fost atribuite pe baza referințelor din literatură.

5 CONCLUZII

Adaptarea pădurilor la schimbările climatice se poate face prin diferite practici silviculturale, dar implementarea lor la scară largă rămâne în urmă datorită politicii europene și a legislației naționale.

Schimbările climatice au o influență mai mare asupra compoziției speciilor și asupra distribuției biomasei decât gestionarea pădurilor de-a lungul gradientului altitudinal.

Prezența speciilor pionere în compoziție a fost dată de gestionarea adaptivă și regulate, în a doua jumătate a scenariilor climatice blande și moderate. Managementul intensiv schimbă compoziția speciilor, în timp ce lipsa managementului a menținut speciile dominante. Indiferent de climat, la altitudini mari, gestionarea normal are tendința de a supraestima speciilor pioniere.

Chiar dacă *P. abies* face parte din arboretele mixte de-a lungul gradientului altitudinal, va dispărea la altitudini mici în toate scenariile climatice. La altitudini intermediare și mari, prezenta *P. abies* va scădea odată cu intensificarea schimbărilor climatice.

În Râșca OS, *F. sylvatica* părea să aibă o rezistență ridicată la schimbările climatice în arboretele mixte, chiar dacă biomasa sa a început să scadă în climatul extrem.

Managementul adaptiv nu a reprezentat o soluție pentru proprietarii de păduri, deoarece rezultatele sale sunt similare cu gestiunea normală, deci este nevoie de o gestiune extremă pentru rezultate diferite.

Fiind recoltată o biomasă constantă în gestiunea conservativă, efectele managementului sau ale climei pot fi observate odată cu intensificarea schimbărilor climatice. Așa cum era de așteptat, în lipsa gestiunii, stocul de biomasă a crescut de-a lungul gradientului altitudinal în climatul blând și a scăzut în climatul extrem chiar și la înălțimi mari.

În ceea ce privește servicii ecosistemice de aprovizionare, producția de lemn a evoluat în scenariile climatice simulate, cea mai mare cantitate de biomasă recoltată fiind în climatul blând și gestionare adaptivă și a scăzut odată cu intensificarea secetei.

Regimul de perturbări naturale care a fost stabilit pentru studiile noastre de caz a demonstrat că, în gestionarea conservativă, cantitatea de carbon perturbat a fost mai mare decât în gestionarea normală sau adaptivă.

Analiza dinamicii incendiilor forestiere a arătat că regimul conservator al incendiilor a afectat suprafețe mici de pădure, indiferent de tipul de gestionare. Așa cum era de așteptat, în cadrul simulărilor

conservatoare și fără management a fost perturbata o cantitate mare de carbon, mai ales în prima jumătate a perioadei simulate.

Cel mai mare impact asupra stocului de carbon îl au perturbările antropice fiind dependente și de intensitatea managementului. În OS Rasca, cele mai mari cantități au fost recoltate în primele decenii de gestionare normala și adaptativă în climatul blând și moderat.

Evoluția diversității speciilor nu a diferit între managementul adaptiv și cel normal în toate scenariile climatice. În climatul extrem, în prima jumătate a tuturor tipurilor de gestiune, diversitatea speciilor a fost ridicată, dar rezistența scăzută la secetă a unor specii a scăzut diversitatea speciilor în a doua jumătate a perioadei de simulare, indiferent dacă managementul a fost conservativ, normal sau adaptativ.

În ceea ce privește evoluția diversității dimensionale, influența managementului normal a fost similară cu cea a managementului adaptativ, diversitatea dimensională scăzând în prima jumătate a simulării climatice blânde și moderate, în timp ce în climatul extrem a fost constantă. În a doua jumătate, evoluția diversității dimensionale diferă în toate scenariile climatice, cele mai mari valori ale indicelui diversității dimensionale fiind în climatul blând și cel mai scăzute, în climatul extrem.

Separat a fost simulate și evoluția pădurii private din Frasin înainte de procesul de restituire, în trei tipuri de management (privat, normal și lipsă de management). La altitudini intermediare și mari, în climatul blând și moderat, gestiunea privată din primele decenii a permis creșterea speciilor economice importante și nu a favorizat creșterea speciilor pioniere ca în gestionarea normală. Climatul extrem a afectat stocul de biomasă de-a lungul gradientului altitudinal și influența managementului privat fiind observabilă și la altitudini mari.

Managementul privat are un efect crescător asupra stocului de carbon în scenarii climatice blande și moderate. În managementul privat și cel normal au fost recoltate cantități mari de biomasă în prima jumătate a secolului, ceea ce reduce serviciile ecosistemice pentru societate.

În scenariile climatice ușoare și moderate, lipsa managementului a sporit frecvența și intensitatea doboraturilor. În ceea ce privește diversitatea speciilor din pădurile private din Frasin, în primele 3 decenii, gestionarea privată a sporit diversitatea speciilor.

Valoarea protectivă a pădurilor inclusă în categoria funcția de protecție a solului variază și depinde de scenariile climatice, tipul de management și gradientul altitudinal. La altitudini mici, gestiunea conservativă păstrează o valoare protectivă ridicată numai în prima jumătate a scenariilor climatice blande și moderate. Climatul extrem anulează influența diferitelor tipuri de management la altitudini mici și medii.

La altitudini medii și mari, evoluția valorii protecție a pădurii este constantă în gestionarea conservativă în scenariile climatice blande și

moderate excepție fiind climatul extrem. În schimb, gestionarea normală a dus la o variație ridicată a valorii protective a pădurilor.

Prin urmare, modelul LandClim este o soluție pentru evaluarea evoluției compoziției, a stocului de biomasă și a serviciilor ecosistemice în diferite scenarii climatice și tipuri de management iar rezultatele sale nu ar trebui înțelese ca indicații clare de către administratorii pădurilor, dar îi pot ajuta să creeze o imaginea de ansamblu a evoluției serviciilor ecosistemice.

5.1 Contribuții personale

- S-a făcut o sinteză a literaturii privind practicile silvice pentru adaptarea gestionării pădurilor și au fost grupate în categorii de adaptare conform Bolte et al 2009.
- A fost creat tipul de gestionare conservativă și simulată pentru toate scenariile climatice pentru a analiza influența asupra biomasei speciilor și evoluția serviciilor ecosistemice;
- A fost cartată gestiunea privată folosind datele GIS din amenajament, ortofotoplanul din 2009 și o metodologie adaptată pentru datele disponibile pe ortofotoplanuri. Tipurile de gestionare rezultate au fost adăugate pentru fiecare parcelă privată.
- Crearea unei baze de date Excel privind starea pădurilor înainte de procesul de restituire utilizând fișierele GIS din 2009 ale pădurilor private Frasin.
- Simularea compoziției speciilor forestiere și a serviciilor ecosistemice utilizând modelul LandClim versiunea 1.7
- Selecția speciilor existente în OS Râșca din lista speciilor LandClim pe baza sintezii literaturii privind trăsăturile speciilor și aria de distribuție.
- S-au definit parametri specifici pentru submodulul vânt prin analiza bazei de date privind doboraturile din Direcția silvică Suceava între 1970 și 2004 care au fost publicate în revista Bucovina Forestiera. Din această bază de date s-a determinat frecvența și intensitatea doboraturilor pentru studiile de caz.
- Stabilirea regimului incendiilor s-a făcut în conformitate cu baza de date privind regimul incendiilor din regiunea montană Suceava (Burlui, 2013).
- Din fișierele de ieșire LandClim s-a determinat volumul recoltat pe specie și tip de management pentru a evalua serviciile ecosistemice de furnizare.

- În ceea ce privește serviciilor ecosistemice de reglare, s-a determinat stocul de carbon suprateran și subteran utilizând biomasă supraterană și fracția de carbon din substanța uscată.
- Conservarea biodiversității a fost reprezentată de indicele diversității speciilor care a fost evaluat folosind indicele Shannon și de indicele diversității dimensionale care a fost evaluat prin indicele post-hoc (media indicelui Shannon aplicat pe clasele dbh și înălțime).
- Crearea unui index pentru evaluarea valorii protective a pădurilor incluse în categoria de protecție a solului.

Bibliografie selectivă

- Albrich, Katharina, Werner Rammer, Dominik Thom, and Rupert Seidl. 2017. "Trade-Offs between Temporal Stability and Long-Term Provisioning of Forest Ecosystem Services under Climate Change." *Ecological Applications* (April).
- Allen, Craig D., Alison K. Macalady, Haroun Chenchouni, Dominique Bachelet, Nate McDowell, Michel Vennetier, Thomas Kitzberger, Andreas Rigling, David D. Breshears, E. H. (Ted) Hogg, Patrick Gonzalez, Rod Fensham, Zhen Zhang, Jorge Castro, Natalia Demidova, Jong Hwan Lim, Gillian Allard, Steven W. Running, Akkin Semerci, and Neil Cobb. 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.
- Allen, Myles R., Peter A. Stott, John F. B. Mitchell, Reiner Schnur, and Thomas L. Delworth. 2000. "Quantifying the Uncertainty in Forecasts of Anthropogenic Climate Change." *Nature* 407:617.
- Anonymous. 2000. "Normele Tehnice Pentru Îngrijirea Și Conducerea Arboretelor. Ordin Nr. 1649 Din 31.10.2020."
- Baskent, Emin Zeki, and Sedat Keles. 2005. "Spatial Forest Planning: A Review." *Ecological Modelling* 188(2–4):145–73.
- Bouriaud, Laura. 2005. "Causes of Illegal Logging in Central and Eastern Europe." *Small-Scale Forests Economics, Management and Policy* 4(3):269–91.
- Bouriaud, Laura, Olivier Bouriaud, Ché Elkin, Christian Temperli, Christopher Reyer, Gabriel Duduman, Ionuț Barnoaiea, Liviu Nichiforel, Niklaus Zimmermann, and Harald Bugmann. 2014. "Age-Class Disequilibrium as an Opportunity for Adaptive Forest Management in the Carpathian Mountains, Romania." *Regional Environmental Change*.
- Briner, Simon, Ché Elkin, and Robert Huber. 2013. "Evaluating the Relative

- Impact of Climate and Economic Changes on Forest and Agricultural Ecosystem Services in Mountain Regions.” *Journal of Environmental Management* 129(August):414–22.
- Briner, Simon, Robert Huber, Peter Bebi, Ché Elkin, Dirk R. Schmatz, and Adrienne Grêt-Regamey. 2013. “Trade-Offs between Ecosystem Services in a Mountain Region.” *Ecology and Society* 18(3).
- Bugmann, Harald; P; Brang, C; Elkin, Paul Daniel; Henne, O; Jakoby, M; Lévesque, Heike; Lischke, A; Psomas, A; Rigling, B; Wermelinger, and N. E. Zimmermann. 2015. “Climate Change Impacts on Tree Species, Forest Properties, and Ecosystem Services.” Pp. 79–88 in *CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland*.
- Bugmann, Harald. 2001. “A Review of Forest Gap Models.” *Climatic Change* 51(3):259–305.
- Bugmann, Harald, Thomas Cordonnier, Heimo Truhetz, and Manfred J. Lexer. 2017. “Impacts of Business-as-Usual Management on Ecosystem Services in European Mountain Ranges under Climate Change.” *Regional Environmental Change* 17(1):3–16.
- Bugmann, Harald, and Wolfgang Cramer. 1998. “Improving the Behaviour of Forest Gap Models along Drought Gradients.” *Forest Ecology and Management* 103(2):247–63.
- Burlui, Ion. 2013. “Managementul Riscului de Incendiu În Pădurile Județului Suceava.”
- Calder, Ian R. 2002. *Forests and Hydrological Services: Reconciling Public and Science Perceptions**. Vol. 2.
- Carrer, Marco, and Carlo Urbinati. 2006. “Long-Term Change in the Sensitivity of Tree-Ring Growth to Climate Forcing in Larix Decidua.” *New Phytologist* 170(4):861–72.
- Carvalho, A. C., A. Carvalho, H. Martins, C. Marques, A. Rocha, C. Borrego, D. X. Viegas, and A. I. Miranda. 2011. “Fire Weather Risk Assessment under Climate Change Using a Dynamical Downscaling Approach.” *Environmental Modelling & Software* 26(9):1123–33.
- Cenușă, Radu, and Ion Barbu. 2004. *Metodă Pentru Determinarea Gradului de Exercițiu a Funcțiilor Ecoprotective În Păduri*.
- Chivulescu, Serban, Juan García-Duro, Diana Pitar, Tefan Leca, and Ovidiu Badea. 2021. “Past and Future of Temperate Forests State under Climate Change Effects in the Romanian Southern Carpathians.” *Forests* 12:17.
- Ciceu, Albert, Juan Garcia-Duro, Cristina Aponte, Ionuț Silviu Pascu, Alexandru Claudiu-Dobre, Virgil Zamfira, Ștefan Leca, Diana Pitar, Bogdan Apostol, Ecaterina Nicoleta Apostol, Serban Chivulescu, and Ovidiu Badea. 2020. “Integrarea Modelului de Simulare Landis-II În Gospodărirea Pădurilor Din Romania.” *Revista de Silvicultură Și*

Cinegetică (46).

- Collins, Matthew, Ben B. B. Booth, Glen R. Harris, James M. Murphy, David M. H. Sexton, and Mark J. Webb. 2006. "Towards Quantifying Uncertainty in Transient Climate Change." *Climate Dynamics* 27(2):127–47.
- Colombaroli, Daniele, and Paul D. Henne. 2010. "Species Responses to Fire, Climate and Human Impact at Tree Line in the Alps as Evidenced by Palaeo - Environmental Records and a Dynamic Simulation Model Species Responses to Fire, Climate and Human Palaeo-Environmental Records and a Dynamic." (June 2016).
- Coşofreţ, Cosmin, and Laura Bouriaud. 2019. "WHICH SILVICULTURAL MEASURES ARE RECOMMENDED TO ADAPT FORESTS TO CLIMATE CHANGE? A LITERATURE REVIEW." 12(61).
- Creutzburg, Megan K., Robert M. Scheller, Melissa S. Lucash, Stephen D. LeDuc, and Mark G. Johnson. 2017. "Forest Management Scenarios in a Changing Climate: Trade-Offs between Carbon, Timber, and Old Forest." *Ecological Applications* 27(2):503–18.
- Dupire, S., F. Bourrier, J. M. Monnet, S. Bigot, L. Borgniet, F. Berger, and T. Curt. 2016. "The Protective Effect of Forests against Rockfalls across the French Alps: Influence of Forest Diversity." *Forest Ecology and Management* 382:269–79.
- Elkin, Ché, Alvaro G. Gutiérrez, Sebastian Leuzinger, Corina Manusch, Christian Temperli, Livia Rasche, and Harald Bugmann. 2013. "A 2 °C Warmer World Is Not Safe for Ecosystem Services in the European Alps." *Global Change Biology* 19(6):1827–40.
- European Commission. 2007. *Adapting to Climate Change in Europe-Options for EU Action {SEC(2007) 849}*.
- European Commission. 2021. *New EU Forest Strategy for 2030*.
- Everham, Edwin M., and Nicholas V. L. Brokaw. 1996. "Forest Damage and Recovery from Catastrophic Wind." *Botanical Review* 62(2):113–85.
- Gutsch, M., P. Lasch, F. Suckow, and C. Reyer. 2011. "Management of Mixed Oak-Pine Forests under Climate Scenario Uncertainty." 20(3):453–63.
- Hamrick, J... 2004. "Response of Forest Trees to Global Environmental Changes." *Forest Ecology and Management* 197(1–3):323–35.
- Hanewinkel, Marc, Dominik A. Cullmann, Mart-Jan Schelhaas, Gert-Jan Nabuurs, and Niklaus E. Zimmermann. 2012. "Climate Change May Cause Severe Loss in the Economic Value of European Forest Land." *Nature Climate Change* 3:203.
- Hanewinkel, Marc, Dominik Cullmann, Mart-Jan Schelhaas, Gert-Jan Nabuurs, and Niklaus Zimmermann. 2012. "Climate Change May Cause Severe Loss in the Economic Value of European Forest Land." *Nature Climate Change* 3(3):203–7.

- Hartl-Meier, C., C. Zang, C. Dittmar, J. Esper, A. Göttlein, and A. Rothe. 2014. "Vulnerability of Norway Spruce to Climate Change in Mountain Forests of the European Alps." *Climate Research*
- Hickler, Thomas, Katrin Vohland, Jane Feehan, Paul A. Miller, Benjamin Smith, Luis Costa, Thomas Giesecke, Stefan Fronzek, Timothy R. Carter, Wolfgang Cramer, Ingolf Kühn, and Martin T. Sykes. 2012. "Projecting the Future Distribution of European Potential Natural Vegetation Zones with a Generalized, Tree Species-Based Dynamic Vegetation Model." *Global Ecology and Biogeography* 21(1):50–63.
- Hlásny, Tomáš, Ivan Barka, Ladislav Kulla, Tomáš Bucha, Róbert Sedmák, and Jiří Trombik. 2017. "Sustainable Forest Management in a Mountain Region in the Central Western Carpathians, Northeastern Slovakia: The Role of Climate Change." *Regional Environmental Change* 17(1):65–77.
- Huber, Robert, Simon Briner, Harald Bugmann, Ché Elkin, Christian Hirschi, Roman Seidl, Rebecca Snell, and Andreas Rigling. 2014. "Inter- and Transdisciplinary Perspective on the Integration of Ecological Processes into Ecosystem Services Analysis in a Mountain Region." *Ecological Processes* 3(1):1–14.
- Innes, John, Joyce Linda A., Seppo Kellomäki, Bastiaan Louman, Aynslie Ogden, John Parrotta, and Ian Thompson. 2009. "Management for Adaptation." Pp. 135–69 in *ADAPTATION OF FORESTS AND PEOPLE TO CLIMATE CHANGE – A Global Assessment Report Prepared*, edited by R. Seppälä, A. Buck, and P. Katila.
- Lindner, Marcus, Michael Maroschek, Sigrid Netherer, Antoine Kremer, Anna Barbati, Jordi Garcia-Gonzalo, Rupert Seidl, Sylvain Delzon, Piermaria Corona, Marja Kolström, Manfred J. Lexer, and Marco Marchetti. 2010. "Climate Change Impacts, Adaptive Capacity, and Vulnerability of European Forest Ecosystems." *Forest Ecology and Management* 259(4):698–709.
- Lischke, Heike, Niklaus E. Zimmermann, Janine Bolliger, Sophie Rickebusch, and Thomas J. Löffler. 2006. "TreeMig: A Forest-Landscape Model for Simulating Spatio-Temporal Patterns from Stand to Landscape Scale." *Ecological Modelling* 199(4):409–20.
- Liski, Jari, Ari Pussinen, Kim Pingoud, Raisa Mäkipää, and Timo Karjalainen. 2001. "Which Rotation Length Is Favourable to Carbon Sequestration?" *Canadian Journal of Forest Research* 31(11):2004–13.
- Marcean, Mihai. 2002. "Pădurile Sucevei Și Calamitățile Din Perioada 1945-2002." *Bucovina Forestiera* X(1–2):59–73.
- McElhinny, Chris, Phillip Gibbons, Cris Brack, and Juergen Bauhus. 2005. "Forest and Woodland Stand Structural Complexity: Its Definition and Measurement." *Forest Ecology and Management* 218(1–3):1–24.

- MEA. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-Being - Synthesis*.
- Micu, Dana Magdalena, Alexandru Dumitrescu, Sorin Cheval, and Marius-Victor Bîrsan. 2015. "Climate of the Romanian Carpathians: Variability and Trends." 213.
- Mina, Marco, Harald Bugmann, Thomas Cordonnier, Florian Irauschek, Matija Klopčič, Marta Pardos, and Maxime Cailleret. 2017. "Future Ecosystem Services from European Mountain Forests under Climate Change." *Journal of Applied Ecology* 54:389–401.
- Neumann, Markus, and Franz Starlinger. 2001. "The Significance of Different Indices for Stand Structure and Diversity in Forests." *Forest Ecology and Management* 145(1–2):91–106.
- Nichiforel, Liviu, Ramona Elena Scriban, Ionuț Barnoaiea, Cătălina Barbu, and Cosmin Coșofreț. 2016. *Analiza Impactului Antreprenoriatului Instituțional În Gestionarea Durabilă a Pădurilor În România Prin Instrumente Socio-Economice Și de Teledetecție (INFORMA)*.
- Penuelas, Josep, and Martí Boada. 2003. "A Global Change-Induced Biome Shift in the Montseny Mountains (NE Spain)." *Global Change Biology* 9(2):131–40.
- Phillips, D. L., and D. J. Shure. 1990. "Patch-Size Effects on Early Succession in Southern Appalachian Forests." *Ecology* 71(1):204–12.
- Pohjanmies, Tähti, María Triviño, Eric Le Tortorec, Adriano Mazziotta, Tord Snäll, and Mikko Mönkkönen. 2017. "Impacts of Forestry on Boreal Forests: An Ecosystem Services Perspective." *Ambio* 46(7):743–55.
- Pretzsch, Hans, Gerhard Schütze, and Peter Biber. 2018. "Drought Can Favour the Growth of Small in Relation to Tall Trees in Mature Stands of Norway Spruce and European Beech." *Forest Ecosystems* 5(1):1–19.
- Ray, Duncan, Stephen Bathgate, Darren Moseley, Philip Taylor, Bruce Nicoll, Stefania Pizzirani, and Barry Gardiner. 2015. "Comparing the Provision of Ecosystem Services in Plantation Forests under Alternative Climate Change Adaptation Management Options in Wales." *Regional Environmental Change* 15(8):1501–13.
- Reineking, Björn, and Choi Kwanghun. 2011. "Forest Landscape Development: Linking Forest Structure to Landscape Function." (1):217–20.
- Reyer, Christopher, Petra Lasch-Born, Felicitas Suckow, Martin Gutsch, Aline Murawski, and Tobias Pilz. 2014. "Projections of Regional Changes in Forest Net Primary Productivity for Different Tree Species in Europe Driven by Climate Change and Carbon Dioxide." *Annals of Forest Science* 71(2):211–25.
- Schou, Erik, Jette Bredahl Jacobsen, and Kristian Løkke Kristensen. 2012.

- “An Economic Evaluation of Strategies for Transforming Even-Aged into near-Natural Forestry in a Conifer-Dominated Forest in Denmark.” *Forest Policy and Economics* 20:89–98.
- Schuler, Laura J., Harald Bugmann, Gunnar Petter, and Rebecca S. Snell. 2019. “How Multiple and Interacting Disturbances Shape Tree Diversity in European Mountain Landscapes.” *Landscape Ecology* 34(6):1279–94.
- Schuler, Laura J., Harald Bugmann, and Rebecca S. Snell. 2017. “From Monocultures to Mixed-Species Forests: Is Tree Diversity Key for Providing Ecosystem Services at the Landscape Scale?” *Landscape Ecology* 32(7):1499–1516.
- Schumacher, Sabine. 2004. “The Role of Landscapes in the European Alps.”
- Schumacher, Sabine, and Harald Bugmann. 2006. “The Relative Importance of Climatic Effects, Wildfires and Management for Future Forest Landscape Dynamics in the Swiss Alps.” *Global Change Biology* 12(8):1435–50.
- Schumacher, Sabine, Harald Bugmann, and David J. Mladenoff. 2004. “Improving the Formulation of Tree Growth and Succession in a Spatially Explicit Landscape Model.” *Ecological Modelling* 180(1):175–94.
- Schumacher, Sabine, Björn Reineking, Jason Sibold, and Harald Bugmann. 2006. “Modeling the Impact of Climate and Vegetation on Fire Regimes in Mountain Landscapes.” 1–45.
- Seidl, Rupert, Dominik Thom, Markus Kautz, Dario Martin-Benito, Mikko Peltoniemi, Giorgio Vacchiano, Jan Wild, Davide Ascoli, Michal Petr, Juha Honkaniemi, Manfred J. Lexer, Volodymyr Trotsiuk, Paola Mairota, Miroslav Svoboda, Marek Fabrika, Thomas A. Nagel, and Christopher P. O. Reyer. 2017. “Forest Disturbances under Climate Change.” *Nature Climate Change* 7(6).
- Shakesby, Richard A., Celeste De O. A. Coelho, Antonio D. Ferreira, James P. Terry, and Rory P. D. Walsh. 1993. “Wildfire Impacts on Soil Erosion and Hydrology in Wet Mediterranean Forest, Portugal.” *International Journal of Wildland Fire* 3(2):95–110.
- Shanin, Vladimir N., Alexander S. Komarov, Alexey V. Mikhailov, and Sergei S. Bykhovets. 2011. “Modelling Carbon and Nitrogen Dynamics in Forest Ecosystems of Central Russia under Different Climate Change Scenarios and Forest Management Regimes.” *Ecological Modelling* 222(14):2262–75.
- Simionescu, A., D. Chira, V. Mihalciuc, C. Ciornei, and C. Tulbure. 2012. *Starea de Sănătate a Pădurilor Din România În Perioada 2001-2010*. Suceava: Editura Mușatinii.
- Snell, Rebecca S., Ché Elkin, Sven Kotlarski, and Harald Bugmann. 2018. “Importance of Climate Uncertainty for Projections of Forest

- Ecosystem Services.” *Regional Environmental Change*.
- Sousa-Silva, Rita, Bruno Verbist, Ângela Lomba, Peter Valent, Monika Suškevičs, Olivier Picard, Marjanke A. Hoogstra-Klein, Vasile Cosmin Cosofret, Laura Bouriaud, Quentin Ponette, Kris Verheyen, and Bart Muys. 2018. “Adapting Forest Management to Climate Change in Europe: Linking Perceptions to Adaptive Responses.” *Forest Policy and Economics* 90:22–30.
- Staudhammer, C. L., and V. M. LeMay. 2001. “Introduction and Evaluation of Possible Indices of Stand Structural Diversity.” *Canadian Journal of Forest Research* 31(7):1105–15.
- Taylor, Anthony R., Han Y. H. Chen, and Laird VanDamme. 2009. “A Review of Forest Succession Models and Their Suitability for Forest Management Planning.” *Forest Science* 55(1):23–36.
- Temperli, Christian, Harald Bugmann, and Ché Elkin. 2012. “Adaptive Management for Competing Forest Goods and Services under Climate Change.” *Ecological Applications* 22(8):2065–77.
- Temperli, Christian, Harald Bugmann, and Che Miguel Elkin. 2013. “Cross-Scale Interactions among Bark Beetles, Climate Change, and Wind Disturbances: A Landscape Modeling Approach.” *Ecological Monographs* 83(3):383–402.
- Terranova, O., L. Antronico, R. Coscarelli, and P. Iaquina. 2009. “Soil Erosion Risk Scenarios in the Mediterranean Environment Using RUSLE and GIS: An Application Model for Calabria (Southern Italy).” *Geomorphology* 112(3–4):228–45.
- Thom, Dominik, Marina Golivets, Laura Edling, Garrett W. Meigs, Jesse D. Gourevitch, Laura J. Sontner, Gillian L. Galford, and William S. Keeton. 2019. “The Climate Sensitivity of Carbon, Timber, and Species Richness Covaries with Forest Age in Boreal–Temperate North America.” *Global Change Biology* gcb.14656.
- Thom, Dominik, Werner Rammer, and Rupert Seidl. 2017. “Disturbances Catalyze the Adaptation of Forest Ecosystems to Changing Climate Conditions.” *Global Change Biology* 23(1):269–82.
- Thrippleton, Timothy, Harald Bugmann, Kathrin Kramer-Priewasser, and Rebecca S. Snell. 2016. “Herbaceous Understorey: An Overlooked Player in Forest Landscape Dynamics?” *Ecosystems* 19(7):1240–54.
- Thrippleton, Timothy, Klara Dolos, George L. W. Perry, Jürgen Groeneveld, and Björn Reineking. 2014. “Simulating Long-Term Vegetation Dynamics Using a Forest Landscape Model: The Post-Taupo Succession on Mt Hauhungatahi, North Island, New Zealand.” *New Zealand Journal of Ecology* 38(1):26–38.
- Thrippleton, Timothy, Felix Lüscher, and Harald Bugmann. 2020. “Climate Change Impacts across a Large Forest Enterprise in the Northern Pre-Alps: Dynamic Forest Modelling as a Tool for Decision Support.”

- European Journal of Forest Research* 139(3):483–98.
- Thuiller, Wilfried, Cécile Albert, Miguel B. Araújo, Pam M. Berry, Mar Cabeza, Antoine Guisan, Thomas Hickler, Guy F. Midgley, James Paterson, Frank M. Schurr, Martin T. Sykes, and Niklaus E. Zimmermann. 2008. “Predicting Global Change Impacts on Plant Species’ Distributions: Future Challenges.” *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9(3–4):137–52.
- Thuiller, Wilfried, Sébastien Lavergne, Cristina Roquet, Isabelle Boulangeat, Bruno Lafourcade, and Miguel B. Araújo. 2011. “Consequences of Climate Change on the Tree of Life in Europe.” *Nature* 470(7335):531–34.
- Thurm, Eric A., Enno Uhl, and Hans Pretzsch. 2016. “Mixture Reduces Climate Sensitivity of Douglas-Fir Stem Growth.” *Forest Ecology and Management* 376:205–20.
- Trasobares, Antoni, Andreas Zingg, Lorenz Walthert, and Christof Bigler. 2016. “A Climate-Sensitive Empirical Growth and Yield Model for Forest Management Planning of Even-Aged Beech Stands.” *European Journal of Forest Research* 135(2):263–82.
- Triviño, María, Tähti Pohjanmies, Adriano Mazziotta, Artti Juutinen, Wohlgemuth, Thomas, and Barbara Moser. 2018. “Ten Years of Vegetation Dynamics in a Forest Fire Patch in Leuk (Valais).” *Epidemiologia e Prevenzione* 169(5):279–89.
- Yousefpour, Rasoul, Jette Bredahl Jacobsen, Henrik Meilby, and Bo Jellesmark Thorsen. 2014. “Knowledge Update in Adaptive Management of Forest Resources under Climate Change: A Bayesian Simulation Approach.” *Annals of Forest Science* 71(2):301–12.
- Yousefpour, Rasoul, Jette Bredahl Jacobsen, Bo Jellesmark Thorsen, and Henrik Meilby. 2012. “A Review of Decision-Making Approaches to Handle Uncertainty and Risk in Adaptive Forest Management under Climate Change.” 1–15.
- Yousefpour, Rasoul, Christian Temperli, Harald Bugmann, Che Elkin, Marc Hanewinkel, Henrik Meilby, Jette Bredahl Jacobsen, and Bo Jellesmark Thorsen. 2013. “Updating Beliefs and Combining Evidence in Adaptive Forest Management under Climate Change: A Case Study of Norway Spruce (*Picea Abies* L. Karst) in the Black Forest, Germany.” *Journal of Environmental Management* 122(June 2016):56–64.