

Universitatea de Științele Vieții “Regele Mihai I” din Timișoara



Facultatea de Agricultură

Ing. CIONTU CĂTĂLIN - IONEL

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

**STUDIU COMPARATIV PRIVIND PREZENȚA ȘI
FRECVENȚA MICROHABITATELOR ÎN PĂDUREA
NATURALĂ ȘI PĂDUREA CULTIVATĂ DE FAG**

Conducător Științific

Prof.univ.dr.ing. Borlea Gheorghe-Florian

Timișoara

2024

REZUMAT

Scopul tezei de doctorat cu titlul „**Studiu comparativ privind prezența și frecvența microhabitatelor în pădurea naturală și pădurea cultivată de fag**” este de a obține informații științifice privind prezența și frecvența microhabitatelor de pe arbori, precum și potențiala influență a diverșilor factori în acest sens. Realizarea unei comparații între pădurea naturală (Rezervația Naturală „Izvoarele Nerei”) și pădurea cultivată (zona adiacentă Rezervației din masivul Semenic) va permite folosirea informațiilor despre microhabitate ca indicatori potențiali (proxy) ai biodiversității.

Pentru realizarea scopului propus, au fost urmărite trei obiective specifice principale:

- identificarea tipurilor de microhabitate și a numărului de microhabitate de pe arbori, pe suprafețele luate în studiu în pădurea naturală și pădurea cultivată de fag;
- analiza influenței a diverși factori (locali, morfologici, fiziologici) asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arbori în pădurea naturală și pădurea cultivată de fag;
- realizarea unor comparații privind prezența, frecvența și caracteristicile calitative ale microhabitatelor de pe arbori, între pădurea naturală și pădurea cultivată de fag.

Teza de doctorat cu titlul „Studiu comparativ privind prezența și frecvența microhabitatelor în pădurea naturală și pădurea cultivată de fag” este structurată în două părți principale, conform specificațiilor metodologice în vigoare, respectiv **Stadiul actual al cunoașterii în domeniu și Cercetări proprii**.

Prima parte a tezei de doctorat conține două capitole, care oferă o analiză detaliată a pădurilor naturale și cultivate, punând accent pe microhabitatele de pe arbori și importanța acestora pentru biodiversitate.

În *primul capitol* se stabilesc definițiile fundamentale și se explică diferențele dintre pădurea naturală, cea cultivată și microhabitatele de pe arbori. De asemenea, sunt prezentate succint aspecte referitoare la cercetările de interes din domeniu.

„Pădurea naturală” ca termen, este destul de controversat, definițiile bazându-se pe diverși factori (Schuck, A., *et al.*, 1994). Astfel, nu a fost găsit încă un consens, motiv pentru care există o serie de definiții. Modul în care autorii au tratat problema e strâns legat de contextul analizat și de imposibilitatea cuprinderii într-o definiție a diversității extraordinare a pădurilor naturale de pe Terra.

Termenul „naturalitate” în ecologia forestieră se referă la măsura în care o pădure reflectă compoziția naturală a speciilor, fără intervenții majore umane. Un alt termen important este „hemerobie”, care indică gradul de influență umană asupra unei păduri, variind de la păduri virgine (cu o naturalitate foarte ridicată) la plantații de specii exotice (cu o naturalitate foarte scăzută) (Naturnähe Österreichischer Walder, 1997).

„Pădurea cultivată este pădurea care a suferit intervenții antropice în trecut și care este îndrumată, prin intervenții silvotehnice, în realizarea funcțiilor social economice stabilite prin amenajament (prin zonarea funcțională)” (Ciontu *et al.*, 2020).

Microhabitatele de pe arbori sunt definite ca structuri esențiale care apar pe arborii vii sau morți și care oferă condiții de viață specifice pentru anumite specii. Aceste microhabitate includ cavități, crăpături, vătămări ale scoarței, lemn mort în coroană și alte structuri care sunt critice pentru supraviețuirea unor organisme (Larrieu *et al.*, 2018).

Fagul (*Fagus sylvatica*) este una dintre speciile dominante ale pădurilor temperate din Europa Centrală și de Vest. Este răspândit pe scară largă, de la nivelul mării până la altitudini montane, formând păduri pure sau amestecate cu alte specii. În Europa, fagul se extinde din vest, până la Oceanul Atlantic, și până în nordul Moldovei și Carpați, atingând sudul Franței, Grecia și sudul Scoției.

În România, fagul este cea mai răspândită specie forestieră, acoperind aproximativ 2 milioane de hectare (31% din suprafața împădurită a țării). Se întâlnește în toate zonele muntoase ale Carpaților, între 300-500 m altitudine la limita inferioară și 1200-1400 m la limita superioară, dar coboară izolat în văile umede și urcă până la 1650 m în Munții Parâng și Apuseni. Pădurile de fag din România formează asocieri cu gorunul, carpenul, bradul și molidul, și sunt esențiale pentru menținerea biodiversității forestiere.

Caracteristicile structurale ale pădurilor naturale includ un volum mare de biomasă, arbori de dimensiuni mari și vârstă avansată, un volum semnificativ de lemn mort în diferite stadii de descompunere, și o structură heterogenă, cu o distribuție mozaică a componentelor ecosistemice. Aceste păduri sunt esențiale pentru

conservarea biodiversității datorită variabilității habitatelor și condițiilor microclimatice pe care le oferă (Radu *et al.*, 2004).

Pădurile cultivate, în contrast, prezintă un volum mediu de biomasă, o uniformitate relativă în dimensiunile și vârstele arborilor, și un volum mai mic de lemn mort. Aceste păduri sunt gestionate activ pentru a maximiza producția de lemn sau pentru alte funcții sociale și economice, ceea ce reduce complexitatea și diversitatea ecosistemului.

Microhabitatele de pe arbori sunt studiate recent în contextul pădurilor naturale și cultivate, fiind recunoscute ca elemente esențiale pentru conservarea biodiversității forestiere. Ele includ structuri precum cavitățile, vătămări și răni, scoarță, lemn mort, deformări/forme datorate creșterii, epifite și cuiburi, toate acestea contribuind la crearea unor condiții de viață pentru diverse specii de organisme.

Studiile asupra microhabitatelor de pe arbori au crescut în ultimii ani, dar există încă multe necunoscute în ceea ce privește factorii determinanți ai apariției și dezvoltării acestora, mai ales în pădurile naturale din diferite regiuni geografice. Cercetările au arătat că microhabitatele sunt mai abundente și mai diverse în pădurile naturale comparativ cu cele cultivate, datorită gestionării mai puțin intensive și a prezenței arborilor bătrâni.

În România, cercetările asupra microhabitatelor de pe arbori sunt încă la început, dar primele studii sugerează o corelație înaltă între prezența microhabitatelor și biodiversitatea ridicată în pădurile naturale. De exemplu, studiile din zona Semenic au arătat că aproape fiecare arbore din pădurile virgine prezintă cel puțin un microhabitat, subliniind importanța conservării acestor păduri pentru biodiversitate (Futterer și Diener, 2017).

Legătura dintre microhabitate și alte elemente structurale și de biodiversitate ale pădurii, cum ar fi diametrul și vârsta arborilor, altitudinea, densitatea arborilor și speciile de arbori, este esențială pentru înțelegerea rolului acestor structuri în ecosistemele forestiere. Arborii de mari dimensiuni și morți pe picior de exemplu, sunt mai susceptibili să găzduiască microhabitate, iar altitudinea și densitatea arborilor influențează de asemenea diversitatea și abundența acestora (Winter *et al.*, 2008; Vuidot *et al.*, 2011; Larrieu *et al.*, 2012; Regnery *et al.*, 2013).

Microhabitatele de pe arbori sunt importante și pentru numeroase grupuri de organisme, inclusiv păsările, liliecii, insectele saproxilice și diverse specii de ciuperci (Gossner *et al.*, 2016). De exemplu, lemnul mort, un component esențial al pădurilor naturale, oferă habitate critice pentru multe specii de gândaci saproxilici și alte nevertebrate, contribuind astfel la menținerea unui nivel ridicat de biodiversitate (Doerfler *et al.*, 2018, 2020).

În concluzie, capitolul 1 subliniază importanța înțelegerii și conservării microhabitatelor de pe arbori pentru a asigura biodiversitatea pădurilor naturale și cultivate. Aceste microhabitate, alături de alți factori structurali, sunt esențiale pentru menținerea ecosistemelor forestiere sănătoase și diverse.

În *capitolul 2* al lucrării este prezentată „*Localizarea cercetărilor; condiții fizico-geografice ale zonei studiate*” printr-o descriere detaliată a zonelor în care au fost realizate cercetările, precum și a condițiilor fizico-geografice ale acestora. Cercetările au fost desfășurate în două zone distincte din sud-vestul României: Rezervația Naturală „Izvoarele Nerei” și o pădure cultivată din apropierea acesteia, care cuprinde mai multe unități de producție (U.P.). Suprafețele de probă din pădurea naturală se găsesc pe raza Ocolului Silvic Nera, în timp ce suprafețele de probă din pădurea cultivată se găsesc pe raza Ocolului Silvic Văliug, ambele ocoale silvice fiind administrate de Direcția Silvică Caraș-Severin. În pădurea naturală au fost stabilite opt suprafețe de probă, situate pe patru niveluri altitudinale diferite, cu altitudini variind între 824 m și 1346,6 m. Coordonatele exacte ale acestor suprafețe au fost înregistrate în sistemul Stereo 70. Similar, opt suprafețe de probă au fost stabilite și în pădurea cultivată, pe aceleași niveluri altitudinale, cu altitudini între 786,27 m și 1326,84 m. Aceste suprafețe sunt amplasate pe versantul nordic al Masivului Semenic.

Ambele zone studiate sunt situate în județul Caraș-Severin, în cadrul Munților Banatului, Masivul Semenic. Suprafețele din Rezervația Naturală „Izvoarele Nerei” sunt amplasate pe versantul sudic al muntelui Semenic, în bazinul superior al râului Nera, într-o zonă sălbatică și relativ inaccesibilă, parte a Parcului Național Semenic – Cheile Carașului. Rezervația ocupă o suprafață totală de 5028 ha și este delimitată de coordonatele 45°5' - 45°10' latitudine nordică și 22°2'30" - 22°6'40" longitudine estică (xxx, 2015).

Suprafețele de probă din pădurea cultivată sunt localizate pe versantul nordic al Masivului Semenic, în cadrul Ocolului Silvic Văliug, învecinându-se cu Ocolul Silvic Reșița. Altitudinea acestor suprafețe variază similar cu cele din pădurea naturală, atingând aproximativ 1400 m. Condițiile orografice din această zonă influențează direct clima și solul, având un impact semnificativ asupra distribuției vegetației (xxx, 2021).

Condițiile geologice sunt uniforme în mare parte din Rezervația „Izvoarele Nerei”, cu excepția unei mici zone (aproximativ 5% din suprafața U.P. II Nergana), unde au fost identificate granite și granodiorite. Restul

suprafeței este dominat de micașisturi, o rocă metamorfă care contribuie la formarea solurilor locale. Rezervația se întinde de la confluența râurilor Nergana și Nergănița, până la altitudini de aproximativ 1400 m, cu o expoziție generală sudică (xxx, 2015).

În pădurea cultivată, substratul geologic este compus din roci metamorfice de mezozonă, cu micașisturi și alte minerale, care au generat soluri de tip cambisol, cu grade variabile de aciditate. Aceste soluri sunt specifice pentru pădurile din provincia central-europeană, subprovincia piemonturilor vestice, și sunt situate pe versanții Masivului Semenic orientați spre nord, est și vest (xxx, 2021).

Rezervația „Izvoarele Nerei” și întregul Ocol Silvic Nera sunt situate într-un climat temperat-continental, cu influențe mediteraneene. Temperatura medie anuală variază în funcție de altitudine, de la 9-10°C în zonele mai joase, până la 4°C pe vârful Semenic. Precipitațiile anuale sunt de asemenea variabile, de la 750-900 mm în zona deluroasă, până la 1200 mm pe vârful Semenic. Vânturile dominante sunt din vest și nord-vest, cu viteze medii de 8 m/s pe vârful Semenic (xxx, 2015).

În pădurea cultivată, temperatura medie anuală este de 5,5°C, cu precipitații anuale variind între 900 mm și 1300 mm, în funcție de altitudine. Vânturile dominante sunt Austrul și Coșava, care nu au produs pagube semnificative vegetației forestiere. Rețeaua hidrografică este bine dezvoltată, cu râurile Bârzava și Timiș care străbat teritoriul Ocolului Silvic Văliug și sunt asociate cu un complex sistem hidrotehnic (xxx, 2021).

Solurile din Rezervația „Izvoarele Nerei” sunt în principal de tip districambosol, cu subtipurile tipic și litic, influențate de factorii geologici, geomorfologici, hidrologici și climatici. În pădurea cultivată, solurile predominante sunt cambisolurile (eutricambisol și districambisol), care au fost formate în condiții similare cu cele din rezervație, dar sunt influențate și de gestionarea forestieră (xxx, 2015, 2021).

În Rezervația „Izvoarele Nerei”, tipurile de stațiuni forestiere sunt repartizate în etajul montan și premontan de fâgete, cu diverse productivități și asocieri vegetale. În pădurea cultivată din O.S. Văliug, distribuția tipurilor de stațiuni este similară, cu predominanța stațiilor montane și submontane, care susțin păduri de fag cu diverse productivități (xxx, 2015, 2021).

În cadrul rezervației, au fost identificate mai multe tipuri de pădure, predominând fâgetele montane și de deal, cu diferite grade de productivitate și asocieri florale, cum ar fi fâgetele cu *Rubus hirtus* sau cu *Vaccinium myrtillus*. În pădurea cultivată, tipurile de pădure sunt similare, dar adaptate managementului forestier, incluzând fâgete montane și de deal, cu soluri schelete și diverse productivități (xxx, 2015, 2021).

În concluzie, capitolul 2 prezintă o descriere detaliată a locațiilor cercetărilor și a condițiilor fizico-geografice care influențează vegetația forestieră din Rezervația Naturală „Izvoarele Nerei” și pădurea cultivată din apropiere. Aceste informații sunt esențiale pentru înțelegerea contextului ecologic și geografic în care se desfășoară cercetările, evidențiind diferențele și similaritățile dintre pădurile naturale și cele gestionate activ.

Partea a doua a tezei de doctorat prezintă Cercetările proprii, expuse în trei capitole.

Capitolul 3, denumit „Identificarea microhabitatelor de pe arbori în pădurea naturală și pădurea cultivată” detaliază cercetările efectuate pentru identificarea și clasificarea microhabitatelor de pe arbori pe tipuri în pădurea naturală din Rezervația Naturală „Izvoarele Nerei” și pădurea cultivată situată pe versantul nordic al Masivului Semenic. Scopul principal al acestui capitol a fost identificarea microhabitatelor de pe arbori în suprafețele de probă situate în pădurea naturală și pădurea cultivată, pe cele patru niveluri altitudinale. Obiectivele specifice pentru realizarea scopului cuprind identificarea microhabitatelor de pe arbori, pe tipuri de microhabitate, în fiecare suprafață de probă pe cele 4 niveluri altitudinale din pădurea naturală și pădurea cultivată.

Materialul de cercetare a constat în arboretele de fag din Rezervația Naturală „Izvoarele Nerei” și din pădurea cultivată adiacentă. Pentru atingerea obiectivelor, au fost amplasate 16 suprafețe de probă circulare, fiecare cu o suprafață de 0,25 hectare (2500 m²), distribuite uniform pe patru niveluri altitudinale: 800 m, 1000 m, 1200 m și 1350 m. Dintre acestea, 8 suprafețe au fost instalate în pădurea naturală și 8 în pădurea cultivată.

Metoda de cercetare a inclus inventarierea detaliată a microhabitatelor pe fiecare arbore din suprafețele de probă, utilizând un dispozitiv de măsurare de tip FieldMap, care a permis înregistrarea poziției exacte a fiecărui arbore și caracteristicilor acestuia. Au fost utilizate fișe de teren specifice pentru fiecare arbore, în care au fost notate:

- Specia arborelui (în acest caz, majoritar fag);
- Diametrul arborelui, măsurat la înălțimea standard de 1,30 m;
- Înălțimea totală a arborelui;

- Starea de vegetație a arborelui (sănătos, vătămat, mort);
- Tipul și numărul de microhabitate prezente pe fiecare arbore.

În pădurea naturală, au fost inventariate un total de 4376 microhabitate pe 624 arbori dintr-un total de 636, distribuite pe cele 8 suprafețe de probă. Cele mai frecvente microhabitate identificate la diferite altitudini includ:

- la altitudinea de 800 m, cele mai comune microhabitate au fost găurile de la ramuri (CV31) și cavitățile în contraforți radiculari (GR11);
- la altitudinea de 1000 m, găurile de la ramuri (CV31) și buzunarele în scoarță (BA11) au fost cele mai frecvente;
- la altitudinea de 1200 m, au predominat microhabitatele din categoria licheni frunzoși (EP32) și cavitățile în trunchi (IN32);
- la altitudinea de 1350 m, licheni frunzoși (EP32) și corpuri de fructificație de la ciuperci (EP12) au fost cele mai frecvente.

În pădurea cultivată, au fost identificate un total de 9258 de microhabitate pe 1879 arbori, dintr-un total de 1969 arbori inventariați. Distribuția tipurilor de microhabitate la diferite altitudini a arătat:

- la altitudinea de 800 m, cavitățile (CV31) și ramurile moarte expuse la soare (DE11) au fost cele mai frecvente microhabitate;
- la altitudinea de 1000 m, cele mai frecvente au fost aceleași tipuri de microhabitate ca la altitudinea de 800 m, cu predominanța găurilor de la ramuri (CV31) și ramurilor moarte (DE11);
- la altitudinea de 1200 m, cele mai frecvente microhabitate au fost din nou ramurile moarte (DE11) și găurile de la ramuri (CV31);
- la altitudinea de 1350 m, microhabitatele dominante au fost găurile de la ramuri (CV31 și CV32).

Rezultatele cercetării arată o diversitate semnificativă a microhabitatelor în ambele tipuri de păduri, dar raportat la numărul de arbori din suprafețele de probă pe care au fost identificate acestea, în cazul pădurii naturale avem un raport de 7 microhabitate / arbore, iar în cazul pădurii cultivate 5 microhabitate / arbore, datorită faptului că în arboretele cultivate sunt mai mulți arbori la hectar (470 arbori/ha) față de (156 arbori/ha) în pădurea naturală. De asemenea, diversitatea tipurilor de microhabitate în pădurea naturală este mai mare față de cea cultivată, cu un raport de 49/43 tipuri de microhabitate identificate. Aceste rezultate evidențiază importanța păstrării pădurilor naturale pentru conservarea biodiversității și subliniază necesitatea integrării unor practici de gestionare care să promoveze diversitatea microhabitatelor și în pădurile cultivate.

În *capitolul 4* din lucrare „Cercetări privind influența a diverși factori asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor în pădurea naturală și în pădurea cultivată” este prezentată o cercetare detaliată asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arbori în două zone. Scopul acestui capitol îl reprezintă analiza prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arbori în suprafețele de probă luate în studiu, din pădurea naturală și pădurea cultivată de fag, având ca obiective specifice: (1) analiza influenței unor factori locali asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arbori în pădurea naturală și pădurea cultivată; (2) analiza influenței unor factori locali asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arborii de dimensiuni mari în pădurea naturală și pădurea cultivată; (3) analiza influenței unor factori locali asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arborii morți pe picior în pădurea naturală și pădurea cultivată.

Deși inventarierea și descrierea microhabitatelor de pe arbori s-a efectuat pe arbori individuali, analizele din acest capitol privind caracterizarea prezenței, respectiv frecvenței, s-a făcut la nivelul arboretului, pe fiecare suprafață de probă în parte, pe cele 4 niveluri altitudinale, acestea constituind materialul de cercetare.

Metodologia de cercetare folosită în acest capitol a presupus utilizarea testului statistic t-Student fiind testată ipoteza conform căreia există o legătură statistică între grupuri de anumite tipuri de microhabitate de pe arbori și altitudine. Totodată, folosind coeficientul de corelație Pearson, a fost studiată corelația dintre numărul de microhabitate, din grupurile cu cele mai comune tipuri de microhabitate, și nivelurile altitudinale la care au fost observate. Pentru grupurile de microhabitate care au cea mai mare corelație între numărul de microhabitate și expunere (exprimat în grade sexagesimale la nord) și panta (exprimată în grade), au fost elaborate modele de legături statistice liniare.

În pădurea naturală, cercetarea a identificat un total de 32 tipuri de microhabitate înregistrate cu o frecvență de peste 10 pe fiecare tip. Cel mai frecvent tip de microhabitat a fost CV31 („Gauri de la ramuri $\varnothing \geq 5$ cm”), cu o frecvență de 635 înregistrări, urmat de IN32 („Crăpături și cicatrici Lungime ≥ 100 cm; Lățime > 1 cm; Adâncime > 10 cm”) și GR11 („Cavități de contrafort radicular $\varnothing \geq 5$ cm”). În ceea ce privește variația cu altitudinea, s-a

constatat că anumite tipuri de microhabitate (de exemplu, GR11) au o frecvență mai mare la altitudini mai joase, în timp ce altele, precum EP32 („Licheni frunzoși și fruticuloși epifitici ce acoperă > 25%”), cresc în frecvență odată cu altitudinea. Analiza corelației Pearson a arătat că grupurile de microhabitate scoarță (BA), ramuri moarte și crăci/lemn mort în coroană (DE), și epifite (EP) au o corelație directă foarte înaltă cu altitudinea, în timp ce grupul cavităților (CV) a prezentat o corelație inversă.

În pădurea cultivată, au fost identificate 34 de tipuri de microhabitate, cu o frecvență de peste 10 pe fiecare tip, cu CV31 („Gauri de la ramuri $\varnothing \geq 5$ cm”) fiind din nou cel mai frecvent tip, urmat de DE11 („Ramuri moarte și lemn mort în coroană \varnothing 10-20 cm, expus la soare”) și CV32 („Găuri de la ramuri $\varnothing \geq 10$ cm”). S-a observat un trend general descrescător al numărului total de microhabitate cu altitudinea, cu unele variații între altitudinile de 1000 și 1200 m. Coeficientul de corelație Pearson a indicat o relație inversă foarte înaltă între altitudine și frecvența microhabitadelor din grupurile CV, IN, și BA, în timp ce grupurile EP și OT au avut o corelație directă foarte înaltă, sugerând că aceste microhabitate sunt mai frecvente la altitudini mai mari.

În pădurea naturală, au fost inventariați 175 de arbori de dimensiuni mari (diametru > 50 cm), care au adăpostit un total de 1759 microhabitate. Cele mai frecvente microhabitate au fost GR11 („Cavități în contraforți radiculari $\varnothing \geq 5$ cm”) și DE15 („Vârf mort $\varnothing \geq 10$ cm”). Analiza corelației Pearson a relevat că grupul de microhabitate GR a avut o corelație inversă înaltă cu altitudinea, datorită faptului că odată cu creșterea altitudinii scade și numărul de arbori de dimensiuni mari. În schimb, grupul EP a avut o corelație directă, sugerând o creștere a vulnerabilității arborilor la altitudini mai mari, în ceea ce privește dezvoltarea epifitelor.

În pădurea cultivată, au fost identificați doar 30 de arbori de dimensiuni mari, care au adăpostit un total de 292 microhabitate. Cel mai frecvent tip de microhabitat a fost CV32 („Găuri de ramuri $\varnothing \geq 10$ cm”), urmat de cavitățile în contraforți radiculari (GR11 și GR12). În acest caz, corelația Pearson a indicat o relație directă înaltă între altitudine și frecvența microhabitadelor din grupurile CV, DE, și GR. Arborii de dimensiuni mari situați la altitudini mai mari au fost mai predispuși la dezvoltarea acestor microhabitate, în special datorită condițiilor climatice mai dure și eroziunii solului, dar și datorită faptului că în suprafețele de probă de la altitudinea de 1350 m, arborii de dimensiuni mari au o prezență semnificativă.

În pădurea naturală, cercetarea a identificat 49 de arbori morți pe picior, cu un total de 929 microhabitate. Cele mai frecvente microhabitate au fost EP12 („Polipore perene”) și BA11 („Adăpost în scoarță”). S-a observat o corelație directă înaltă între altitudine și frecvența microhabitadelor din grupurile EP și BA, indicând că la altitudini mai mari, condițiile de mediu favorizează dezvoltarea acestor tipuri de microhabitate. În schimb, grupul GR a prezentat o corelație inversă înaltă, cu o frecvență mai mică a deformărilor radiculare la altitudini mai mari.

În pădurea cultivată, au fost inventariați 198 de arbori morți pe picior, cu un total de 948 microhabitate. Cele mai frecvente tipuri de microhabitate au fost BA11 („Adăpost în scoarță”) și BA12 („Buzunar în scoarță”). Corelația Pearson a arătat o relație inversă foarte înaltă între altitudine și frecvența microhabitadelor din grupurile DE și BA, indicând că la altitudini mai mari, vulnerabilitatea arborilor morți la condițiile de mediu crește, rezultând o scădere a acestor tipuri de microhabitate. În schimb, grupul EP a avut o corelație directă înaltă, cu o creștere a frecvenței microhabitadelor de tipul epifite odată cu altitudinea.

Concluziile acestui capitol indică faptul că altitudinea joacă un rol semnificativ în distribuția și frecvența microhabitadelor pe arborii din pădurea naturală și cultivată. În pădurea naturală, s-au observat diferențe semnificative în frecvența microhabitadelor în funcție de altitudine, cu o corelație directă între altitudine și frecvența grupurilor EP, BA, și DE, iar în pădurea cultivată, altitudinea a influențat negativ frecvența microhabitadelor din grupurile IN, BA, și CV. Rezultatele sugerează că gestionarea pădurii influențează semnificativ prezența și dezvoltarea microhabitadelor, iar pădurea naturală prezintă o diversitate mai mare de microhabitate, în special la altitudini mai mari.

Capitolul 5 „Comparații privind prezența și frecvența microhabitadelor de pe arbori între pădurea naturală și pădurea cultivată” prezintă o analiză comparativă detaliată a prezenței și frecvenței microhabitadelor de pe arbori între pădurea naturală și cea cultivată, în funcție de altitudine. Analiza a fost realizată prin inventarierea și compararea microhabitadelor din cele două tipuri de păduri pe cele patru niveluri altitudinale diferite. Scopul acestui capitol a fost compararea prezenței și frecvenței microhabitadelor de pe arborii din suprafețele de probă luate în studiu, din pădurea naturală și pădurea cultivată. Acest scop a fost atins prin îndeplinirea următoarelor obiective:

- influența altitudinii asupra prezenței și frecvenței microhabitadelor de pe arbori între pădurea naturală și pădurea cultivată de fag;

- influența altitudinii asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arborii de dimensiuni mari, din pădurea naturală și din pădurea cultivată;
- influența altitudinii asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arborii morți pe picior, din pădurea naturală și din pădurea cultivată.

Materialul de cercetare a fost constituit din totalitatea arborilor inventariați în suprafețele de probă din pădurea naturală și cea cultivată. Pe baza frecvenței microhabitatelor în pădurea naturală și în pădurea cultivată, determinată anterior în suprafețele de probă și pe niveluri altitudinale, a fost determinată diferența între numărul de microhabitate constatate pe grupuri CV (cavități), IN (vătămări și răni), BA (scoarță), DE (lemn mort în coroană), GR (deformări / forme datorate creșterii), EP (epifite), OT (microsol) în parte, pe niveluri altitudinale. Relația dintre aceste diferențe și altitudinea a fost reprezentată grafic, iar coeficienții de determinare (R^2) au fost calculați pentru a evalua relațiile liniare observate. Cauzele potențiale ale diferențelor privind variația frecvenței microhabitatelor din pădurea naturală și din cea cultivată au fost prezentate și discutate în contextul altor cercetări în domeniu.

Pe baza numărului total de microhabitate pe grupe ale acestora și a numărului total de arbori de dimensiuni mari, respectiv arbori morți pe picior, a fost calculat numărul mediu de microhabitate pe arbore mort pe picior/de dimensiuni mari, prin raportarea numărului total de microhabitate identificate la numărul total de arbori din aceste două categorii, pe niveluri altitudinale (800, 1000, 1200, 1350 m), precum și variația numărului mediu de microhabitate pe grupe de pe arborii de dimensiuni mari/arborii morți pe picior, pe total arbori.

Analizând diferențele în ceea ce privește frecvența microhabitatelor de pe arbori în cele 16 suprafețe de probă, dispuse pe cele 4 niveluri altitudinale, din pădurea naturală și din pădurea cultivată, determinată anterior, rezultă că microhabitatele din grupa scoarță (BA) sunt mai numeroase în pădurea cultivată la altitudini mai mici, ceea ce se explică prin lucrările de exploatare forestieră care au provocat vătămări și desprinderi de scoarță. Pe de altă parte, microhabitatele din grupa cavități (CV) au fost mai frecvente în pădurea cultivată la altitudini mai joase, dar această diferență scade pe măsură ce altitudinea crește.

În ceea ce privește microhabitatele din grupa deformări (GR), acestea au fost mai numeroase în pădurea naturală la altitudini mai mici, dar frecvența lor scade la altitudini mai mari, unde condițiile climatice și morfologia terenului favorizează dezvoltarea contraforților radiculari în pădurea cultivată.

Numărul arborilor de dimensiuni mari a fost semnificativ mai mic în pădurea cultivată la altitudini între 800 și 1200 m, ceea ce a limitat posibilitatea unor comparații detaliate. La altitudinea de 1350 m, microhabitatele din grupa cavități (CV) au fost mai numeroase în pădurea naturală, iar microhabitatele din grupa scoarță (BA) au fost mai frecvente în pădurea cultivată. Aceste diferențe se datorează condițiilor specifice de mediu și impactului exploatărilor forestiere asupra arborilor de dimensiuni mari.

Comparațiile între arborii morți pe picior au arătat că microhabitatele din grupa scoarță (BA) sunt mai numeroase în pădurea cultivată la altitudini joase, dar această diferență se diminuează la altitudini mai mari, unde desimea mai mică a arborilor și vătămările mai reduse limitează formarea acestor microhabitate. În pădurea naturală, microhabitatele din grupa epifite (EP) au fost mai frecvente la toate nivelurile altitudinale, datorită prezenței arborilor morți pe picior de dimensiuni mari, în diferite stadii de descompunere, mediu prielnic pentru dezvoltarea corpurilor de fructificație de la ciuperci.

Diferențele privind frecvența microhabitatelor de pe arbori între pădurea naturală și cea cultivată sunt influențate de altitudine, desimea arborilor, exploatarea forestieră și condițiile de mediu specifice fiecărui tip de pădure. Microhabitatele din grupa scoarță (BA) și cavități (CV) sunt mai numeroase în pădurea cultivată la altitudini joase, dar aceste diferențe se reduc sau chiar se inversează la altitudini mai mari. Microhabitatele din grupa deformări (GR) și epifite (EP) sunt mai numeroase în pădurea naturală, în special la altitudini mari, unde condițiile climatice mai aspre și stabilitatea redusă a solului favorizează formarea acestor microhabitate.

Concluzii generale și recomandări

Măsura în care au fost atinse obiectivele cercetării

Scopul tezei de doctorat a fost acela de a obține cunoștințe și informații noi privind prezența și frecvența microhabitatelor de pe arbori, pentru realizarea unei comparații între pădurile naturale (Rezervația Naturală

„Izvoarele Nerei”) și pădurile cultivate (zona adiacentă Rezervației) și a fost atins prin realizarea fiecărui obiectiv propus.

Astfel, primul obiectiv propus, identificarea microhabitatelor de pe arbori pe suprafețele luate în studiu din pădurea naturală și pădurea cultivată, a fost atins prin determinarea unor caracteristici ale tuturor arborilor din suprafețele luate în studiu (specie, diametru, înălțime și starea de sănătate), din pădurea naturală și cultivată, folosind echipamentul FieldMap. Arborii au fost evaluați din punct de vedere al existenței microhabitatelor, tipul acestora, numărul microhabitatelor identificate pe fiecare arbore, în conformitate cu „Catalogul microhabitatelor din arbori” (Anexa 4).

Cel de-al doilea obiectiv propus, prezența și frecvența microhabitatelor de pe arbori în pădurea naturală și pădurea cultivată, a fost realizat prin determinarea acestora utilizând testul statistic t-Student, fiind testată ipoteza conform căreia există o legătură statistică între grupuri de anumite tipuri de microhabitate de pe arbori și altitudine. Totodată, folosind coeficientul de corelație Pearson, a fost studiată corelația dintre numărul de microhabitatele din grupurile cu cele mai comune tipuri de microhabitate și nivelurile altitudinale la care au fost observate. Pentru grupurile de microhabitate care au cea mai mare corelație între numărul de microhabitate și expunere (exprimat în grade sexagesimale la nord) și panta (exprimată în grade), au fost elaborate modele de legături statistice liniare.

Al treilea obiectiv propus, analiza comparativă a pădurii naturale și a pădurii cultivate de fag privind prezența, frecvența și caracteristicile calitative ale microhabitatelor de pe arbori, a fost realizat determinând diferența între numărul de microhabitate identificate pe grupuri și pe niveluri altitudinale. Variația diferențelor constatate în funcție de altitudine a fost reprezentată grafic și a fost stabilită relația liniară a acestei variații precum și coeficientul de determinare (R^2) pentru fiecare caz în parte.

Identificarea, inventarierea și analiza factorilor de influență ai microhabitatelor în pădurea naturală și în cea cultivată, precum și valorizarea recentă a microhabitatelor de pe arbori, permit luarea unor decizii responsabile privind gestionarea durabilă a pădurilor.

În concluzie, menținerea biodiversității prin microhabitate în pădurile de producție și gestionate prin management activ poate fi realizată prin folosirea influenței unor factori de mediu locali, prin menținerea și promovarea existenței unor arbori de dimensiuni mari cu coronament dezvoltat, o menținere și o distribuire bună a arborilor morți pe picior și a arborilor habitat în arborete.

Conflictul dintre conservare și dezvoltare-producție în managementul forestier actual poate fi manageriat prin asigurarea unei diversități mari a componentelor biologice în ecosistemele forestiere, iar politicile forestiere europene recente urmează această cale.

Direcțiile în care trebuie continuată cercetarea

Evaluarea creșterii arborilor și a dezvoltării microhabitatelor de pe aceștia rămâne o provocare, dar reprezintă un aspect interesant de investigat. Mai mult, din punct de vedere științific, înțelegerea modului în care caracteristicile arborilor (fenologia, morfologia trunchiului) interacționează cu microhabitatele, rămâne de asemenea o provocare, precum și evaluarea interrelațiilor dintre microhabitate și speciile individuale de arbori.

După cum a fost subliniat și de către Asbeck *et al.* (2021), relația dintre numărul mare de microhabitate și practicile silvice este greu de analizat și depinde în mare măsură de amploarea implementării managementului silvic, precum și perioada de timp de la ultima intervenție silvică. Într-adevăr, absența managementului silvic tradițional ar putea facilita dezvoltarea microhabitatelor de pe arbori.

În mod similar, dacă ar fi implementate practici forestiere mai apropiate de natură, frecvența rării selective, precum și reținerea potențială a lemnului mort la fața locului, ar ajuta la creșterea apariției microhabitatelor.

Perioada de timp de la ultima intervenție forestieră care determină evoluția structurilor forestiere (dimensiunea arborelui, cantitatea de lemn mort) ar putea fi un aspect interesant de explorat în cercetări viitoare, pentru a analiza mai profund efectele antropice asupra microhabitatelor.

Am obținut o modelare bună cu un număr redus de parametri, cu toate acestea, luarea în considerare a altor parametri structurali, cum ar fi de exemplu înălțimea arborilor, volumul, coeficientul de zveltețe (Santopuoli *et al.*, 2022) ar putea îmbunătăți probabil robustețea modelului. De asemenea, extinderea setului de date (mai mulți arbori), acoperind o gamă mai mare de specii de arbori și diferite tipuri de pădure, acestea putând îmbunătăți în continuare precizia studiului privind prezența microhabitatelor de pe arbori.

Îmbunătățirea detectării microhabitatelor de pe arbori ar putea fi atinsă având în vedere cantitatea de lemn mort și stadiul său de degradare (Larrieu *et al.*, 2014). Este bine cunoscut faptul că lemnul mort este un indicator

important al biodiversității pădurilor (Parisi *et al.*, 2016) în special în pădurile naturale. Cu toate acestea, identificarea unui prag minim pentru cantitatea de lemn mort, chiar și sub condiții de management viabile din punct de vedere economic, este provocatoare, dar și necesară pentru o mai bună implementare a managementului integrativ al pădurilor cultivate.

Nu am luat în considerare în ce măsură timpul de la ultima intervenție forestieră în pădurea cultivată ar fi putut afecta apariția și bogăția microhabitatelor de pe arbori, așa cum a fost explorat recent în pădurile naturale de către Marziliano *et al.* (2021).

Pentru păstrarea biodiversității prin microhabitate în pădurea cultivată, administratorii de păduri ar trebui să fie orientați spre identificarea și menținerea arborilor de dimensiuni mari și spre reducerea concurenței între indivizii apropiați pentru stimularea dezvoltării coroanei (de văzut abordarea integrativă în managementul pădurilor Boncina (2011)).

În plus, o distribuție omogenă a arborilor habitat în pădure va asigura conservarea biodiversității echilibrând compromisurile cu altele servicii ecosistemice forestiere. Cu toate acestea, calcularea unui număr adecvat de arbori-habitat care trebuie păstrați, ar merita o explorare suplimentară (Asbeck *et al.*, 2020b).

Există într-adevăr necesitatea evaluării dispersiei spațiale și/sau distanța minimă între arborii habitat, pentru a promova conservarea biodiversității. În plus, este important să se definească o metodă fiabilă de evaluare a numărului necesar de arbori de habitat la hectar, favorizând recunoașterea și selecția acestora, promovând astfel conservarea biodiversității.

Prin urmare, managementul pădurilor trebuie adaptat la anumite aspecte ale caracteristicilor arboretelor și diversificate la nivel de peisaj prin echilibrarea producției cu obiectivele de conservare.

Doar prin integrarea problemelor de conservare a biodiversității în cadrul managementului obișnuit, sustenabilitatea impactului uman asupra pădurilor poate fi îmbunătățită.

Contribuțiile proprii ale autorului

Cercetările desfășurate în cadrul acestei teze sunt valoroase și inedite, oferind un model complex de studiu al microhabitatelor de pe arbori, structurat pe categorii de ecosisteme diferite și niveluri altitudinale. Cele mai importante contribuții ale lucrării sunt:

- Analiza bibliografică a morfologiei și tipologiei microhabitatelor de pe arbori din pădurea de fag;
- Identificarea microhabitatelor de pe arbori pe suprafețele de studiu din pădurile naturale și cultivate de fag, oferind o bază solidă de date pentru comparații viitoare;
- Realizarea analizei influenței a diverși factori locali (altitudine, pantă, expoziție) asupra prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arbori, în pădurea naturală și în pădurea cultivată de fag;
- Realizarea unei comparații privind prezența, frecvența și caracteristicile calitative ale microhabitatelor de pe arbori, între pădurea naturală și pădurea cultivată de fag.

Elemente de Originalitate

Contribuțiile originale ale acestei teze includ:

- Realizarea în premieră în România a unui studiu complex privind microhabitatele de pe arbori structurat pe categorii de ecosisteme diferite și pe niveluri altitudinale, în păduri de fag, cu o inventariere detaliată a 13.634 de microhabitate pe 2.503 arbori.
- Studiul privind microhabitatele de pe arbori în pădurea naturală are un profund caracter original, astfel de studii au fost făcute în foarte mică măsură, datorită suprafețelor reduse cu păduri naturale de fag.
- Un profund caracter de originalitate îl are studiul microhabitatelor de pe arbori din pădurea cultivată de fag, aceasta nefiind abordată cu astfel de studii de biodiversitate decât în foarte mică măsură.
- O contribuție originală o reprezintă, de asemenea, abordarea comparativă a prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arbori în relație cu unele condiții staționale (altitudine, pantă, orientarea cardinală a terenului), în pădurea naturală versus pădurea cultivată, într-o manieră complexă, pe niveluri altitudinale.
- De asemenea, altă contribuție originală o reprezintă abordarea comparativă a prezenței și frecvenței microhabitatelor de pe arbori pe grupe de microhabitate.

University of Life Sciences “King Michael I” Timișoara



Faculty of Agriculture

CIONTU CĂTĂLIN - IONEL

ABSTRACT
PH.D. THESIS

**COMPARATIVE STUDY ON THE PRESENCE AND
FREQUENCY OF MICROHABITATS IN NATURAL AND
MANAGED BEECH FOREST**

Scientific Coordinator

Prof. Borlea Gheorghe-Florian, PhD

Timișoara

2024

X

ABSTRACT

The purpose of the doctoral thesis entitled „**Comparative study regarding the presence and frequency of microhabitats in the natural and managed beech forest**” is to obtain scientific information regarding the presence and frequency of microhabitats on trees, as well as the potential influence of various factors in this regard. Making a comparison between the natural forest (the "Izvoarele Nerei" Nature Reserve) and the managed forest (the area adjacent to the Reserve in the Semenice massif) will allow the use of information on microhabitats as potential (proxy) indicators of biodiversity.

To achieve the proposed goal, three main specific objectives were pursued:

- identification of the types of microhabitats and the number of microhabitats on trees, on the surfaces studied in the natural and managed beech forest;
- analysis of the influence of various factors (local, morphological, physiological) on the presence and frequency of microhabitats on trees in the natural and managed beech forest;
- making some comparisons regarding the presence, frequency and qualitative characteristics of the microhabitats on trees, between the natural and managed beech forest.

The doctoral thesis with the title „Comparative study regarding the presence and frequency of microhabitats in the natural and managed beech forest” is structured in two main parts, according to the methodological specifications in force, namely the current state of knowledge in the field and own research.

The first part of the PhD contains two chapters, which provides a detailed analysis of natural and managed forests, focusing on tree microhabitats and their importance for biodiversity.

The first chapter establishes the fundamental definitions and explains the differences between natural forest, managed forest and microhabitats on trees. Also, aspects related to research in this field of interest are briefly presented.

"Natural forest" as a term is quite controversial, the definitions being based on various factors (Schuck, A., *et al.*, 1994). Thus, a consensus has not yet been found, which is why there are a number of definitions. The way the authors treated the problem is closely related to the analyzed context and the impossibility of including in a definition the extraordinary diversity of natural forests on Earth.

The term "naturalness" in forest ecology refers to the extent to which a forest reflects its natural species composition without major human intervention. Another important term is "hemerobia", which indicates the degree of human influence on a forest, ranging from virgin forests (with high degree of naturalness) to plantations of exotic species (with very low degree of naturalness) (Naturnähe Österreichischer Walder, 1997).

"The managed forest is the forest that has undergone human interventions in the past and which is guided, through silvotechnical interventions, in achieving the social and economic functions established by the forest management plan (through the functional zoning)" (Ciontu C.I. *et al.* 2020).

Microhabitats on trees are defined as essential structures that occur on living or dead trees and that provide specific living conditions for certain species. These microhabitats include cavities, cracks, injuries and wounds, bark, crown deadwood, deformation/growth form and other structures that are critical for the survival of some organisms (Larrieu *et al.*, 2018).

Beech (*Fagus sylvatica*) is one of the dominant species of temperate forests in Central and Western Europe. It is widely distributed, from sea level to mountain altitudes, forming pure forests or mixed with other species. In Europe, the beech tree extends from the West to the Atlantic Ocean and to the North of Moldova and the Carpathians, reaching southern France, Greece and southern Scotland.

In Romania, beech is the most widespread forest species, covering approximately 2 million hectares (31% of the country's forested area). It is found in all mountainous areas of the Carpathians, between 300-500 m altitude at the lower limit and 1200-1400 m at the upper limit, but descends in isolated wet valleys and climbs up to 1650 m in the Parâng and Apuseni Mountains. Beech forests in Romania form associations with sessile oak, hornbeam, fir and spruce and are essential for maintaining forest biodiversity.

The structural characteristics of natural forests include a large volume of biomass, large trees and impressive ages, a significant volume of dead wood in various stages of decay, and a heterogeneous structure with a mosaic distribution of ecosystem components. These forest are essential for the conservation of biodiversity because of the variability of habitats and the microclimatic conditions they provide (Radu *et al.*, 2004).

Managed forests, in contrast, have an average volume of biomass, a relative uniformity in tree sizes and ages, and a lower volume of dead wood. These forests are actively managed to maximize timber production or for other social and economic functions, which reduces ecosystem complexity and diversity.

Microhabitats on trees are recently studied in the context of natural and managed forests, being recognized as essential elements for the conservation of forest biodiversity. They include structures such as cavities, cracks, injuries and wounds, bark, crown deadwood, deformation/growth form, epiphytes and nests, all of which contribute to the creation of living conditions for various species of organisms.

Tree microhabitat studies have increased in recent years, but there are still many unknown facts about the determinants of their occurrence and development, especially in natural forests in different geographic regions. Research has shown that microhabitats are more abundant and diverse in natural forests compared to managed ones, due to less intensive management and the presence of old trees.

In Romania, research on microhabitats on tree is still at the beginning, but the first studies suggest a high correlation between the presence of microhabitats and high biodiversity in natural forests. For example, studies in the Semenic area have shown that almost every tree in virgin forests presents at least one microhabitat, underscoring the importance of conserving these forests for biodiversity (Futterer and Diener, 2017).

The link between microhabitats and other forest structural and biodiversity elements, such as tree diameter and age, elevation, tree density and tree species, is essential to understanding the role of these structures in forest ecosystems. Large, standing dead trees, for example, are more likely to host microhabitats, and the altitude and density of trees also influence their diversity and abundance (Winter *et al.*, 2008; Vuidot *et al.*, 2011; Larrieu *et al.*, 2012; Regnery *et al.*, 2013).

Microhabitats on trees are also important for numerous groups of organisms, including birds, bats, saproxylic insects, and various fungal species (Gossner *et al.*, 2016). For example, dead wood, an essential component of natural forests, provides critical habitats for many species of saproxylic beetles and other invertebrates, thus contributing to maintaining a high level of biodiversity (Doerfler *et al.*, 2018, 2020).

In conclusion, Chapter 1 emphasizes the importance of understanding and conserving of tree microhabitats to ensure the biodiversity of natural and managed forests. These microhabitats, along with other structural factors, are essential for maintaining healthy and diverse forest ecosystems.

In chapter 2 of the works, „Localization of research, physical-geographical conditions of the studied area” is presented through a detailed description of the areas where the research was carried out, as well as their physical-geographical conditions. The research was carried out in two distinct areas in the southwest of Romania: the Natural Reserve "Izvoarele Nerei" and a nearby managed forest, comprising several production units (UP). The plots from the natural forest are found within the radius of the Nera Forest District, while the plots from the managed forest are located within the radius of the Văliug Forest District, both forest districts being administered by the Caraș-Severin County Forest Administration. In the natural forest, eight test plots were located, located on four different elevation levels, with altitudes varying between 824 m and 1346.6 m. The exact coordinates of these plots were recorded in the Stereo 70 system. Similarly, eight test plots were established also in the managed forest, on the same altitudinal levels, with altitudes between 786.27 m and 1326.84 m. These surfaces are located on the northern slope of the Semenic Massif.

Both studied areas are located in Caraș-Severin County, within the Banat Mountains, the Semenic Massif. The plots of the Natural Reserve "Izvoarele Nerei" are located on the southern slope of the Semenic mountain, in the upper basin of the Nera river, in a wild and relatively inaccessible area, part of the Semenic National Park - Cheile Carașului. The reserve occupies a total area of 5028 ha and is delimited by coordinates 45°5' - 45°10' North latitude and 22°2'30" - 22°6'40" East longitude (xxx, 2015).

The plots from the managed forest are located on the northern slope of the Semenic Massif, within the Văliug Forest District, bordering the Reșita Forest District. The altitude of these surfaces varies similarly to those in the natural forest, reaching approximately 1400 m. The orographic conditions in this area directly influence the climate and soil, having a significant impact on the distribution of vegetation (xxx, 2021).

The geological conditions are uniform in most of the "Izvoarele Nerei" Reserve, except for a small area (about 5% of the surface of U.P. II Nergana), where granites and granodiorites have been identified. The rest of the surface is dominated by micaschists, a metamorphic rock that contributes to the formation of local soils. The reserve stretches from the confluence of the Nergana and Nergănița rivers, up to altitudes of approximately 1400 m, with a general exposure to the south (xxx, 2015).

In the managed forest, the geological substratum is composed of mesozone metamorphic rocks, with micaschists and other minerals, which have generated cambisol-type soils with varying degrees of acidity. These soils are specific to the forests of the Central European Province, the Western Piedmont subprovince, and are located on the slopes of the Semenic Massif facing North, East and West (xxx, 2021).

The "Izvoarele Nerei" reserve and the entire Nera Forest District are located in a temperate-continental climate with Mediterranean influences. The average annual temperature varies depending on the altitude, from 9-10°C in the lower areas, up to 4°C on the Semenic peak. The annual precipitation is also variable, from 750-900 mm in the hilly area, up to 1200 mm on the Semenic peak. The dominant winds are from the west and northwest, with average speeds of 8 m/s on the Semenic peak (xxx, 2015).

In the managed forest, the average annual temperature is 5.5°C, with annual precipitation varying between 900 mm and 1300 mm, depending on altitude. The dominant winds are Auștrul and Coșava, which did not cause significant damage to the forest vegetation. The hydrographic network is well developed, with the Bârzava and Timiș rivers that cross the territory of the Văliug Forest District and are associated with a complex hydrotechnical system (xxx, 2021).

The soils of the "Izvoarele Nerei" Reserve are mainly of districambosol type, with typical and lithic subtypes, influenced by geological, geomorphological, hydrological and climatic factors. In managed forest, the predominant soils are cambisols (eutricambisol and districambisol), which were formed under conditions similar to those in the reserve, but are also influenced by forest management (xxx, 2015, 2021).

In the "Izvoarele Nerei" Reserve, the types of forest sites are distributed on the mountain and premontane forest laiers, with various productivity and plant associations. In the managed forest of Văliug Forest District, the distribution of forest sites types is similar, with the predominance of mountain and submontane site types, which support beech forests with various productivities (xxx, 2015, 2021).

Within the reserve, several types of forest have been identified, predominating mountain and hill beech forests, with varying degrees of productivity and floral associations, such as beech forests with *Rubus hirtus* or *Vaccinium myrtillus*. In the managed forest, forest types are similar but adapted to forest management, including mountain and hill beech stands with skeletal soils and various productivities (xxx, 2015, 2021).

In conclusion, chapter 2 presents a detailed description of the research locations and the physical-geographical conditions that influence the forest vegetation in the "Izvoarele Nerei" Nature Reserve and the nearby managed forest. This information is essential for understanding the ecological and geographic context in which research is conducted, highlighting the differences and similarities between natural and actively managed forests.

The second part of the PhD presents the own research, displayed in three chapters.

Chapter 3, named "Identification of microhabitats on trees in the natural forest and managed forest" details the research carried out for the identification and classification of tree microhabitats by types in the natural forest of the "Izvoarele Nerei" Nature Reserve and the managed forest located on the northern slope of the Semenic Massif. The main aim of this chapter was to identify the tree microhabitats in the plots located in the natural forest and the managed forest, at the respective four altitudinal levels. The specific objectives for achieving the goal include the identification of microhabitats on trees, by type of microhabitats, in each plots on the 4 altitudinal levels in the natural forest and the managed forest.

The research material consisted of the beech stands in the "Izvoarele Nerei" Nature Reserve and the adjacent managed forest. In order to achieve the objectives, 16 circular plots, each with an area of 0.25 hectares (2500 m²) were located, evenly distributed over four altitudinal levels: 800 m, 1000 m, 1200 m and 1350 m. Of these, 8 plots were installed in natural forest and 8 in managed forest.

The research method included the detailed inventory of microhabitats on each tree in the plots, using a FieldMap type measuring device, which allowed recording the exact position of each tree and its characteristics. Specific field sheets were used for each tree, in which were noted:

- Tree species (in this case, mainly beech);
- The diameter of the tree (dbh), measured at the standard height of 1.30 m;
- The total height of the tree;
- Vegetation status of the tree (healthy, damaged, dead);
- The type and number of microhabitats present on each tree.

In the natural forest, a total number of 4376 microhabitats were inventoried on 624 trees out of a total of 636, distributed over the 8 plots. The most common microhabitats identified at different altitudes include:

- at the altitude of 800 m, the most common microhabitats were brach holes (CV31) and root buttress cavities (GR11);
- at the altitude of 1000 m, brach holes (CV31) and bark shelter (BA11) were the most frequent;
- at the altitude of 1200 m, microhabitats from the category of epiphytic foliose and fruticose lichens (EP32) and cracks and scars (IN32) predominated;
- at the altitude of 1350 m, epiphytic foliose and fruticose lichens (EP32) and perennial polypores (EP12) were the most common.

In the managed forest, a total of 9258 microhabitats were identified on 1879 trees, out of a total of 1969 inventoried trees. The distribution of microhabitat types at different altitudes showed:

- at the altitude of 800 m, brach holes (CV31) and dead branches sun exposed (DE11) were the most frequent microhabitats;
- at the altitude of 1000 m, the most frequent types of microhabitats were the same as at the altitude of 800 m, with the predominance of brach holes (CV31) and dead branches sun exposed (DE11);
- at the altitude of 1200 m, the most frequent microhabitats were again dead branches sun exposed (DE11) and brach holes (CV31);
- at the altitude of 1350 m, the dominant microhabitats were brach holes (CV31 and CV32).

The results of the research show a significant diversity of microhabitats in both types of forests, but compared to the number of trees in the plots on which they were identified, in the case of the natural forest we have a ratio of 7 microhabitats / tree, and in the case of the managed forest 5 microhabitats / tree, due to the fact that in the managed stands there are more trees per hectare (470 trees/ha) compared to (156 trees/ha) in the natural forest. Also, the diversity of microhabitat types in the natural forest is higher compared to the managed forests, with a ratio of 49/43 identified microhabitat types. These results highlight the importance of preserving natural forests for biodiversity conservation and underline the need to integrate management practices that promote microhabitat diversity in managed forests as well.

In *chapter 4* of the paper "Research on the influence of various factors on the presence and frequency of microhabitats in natural forest and managed forest" a detailed research on the presence and frequency of microhabitats on trees in two areas is presented. The purpose of this chapter is the analysis of the presence and frequency of tree microhabitats in the plots taken in the study, from the natural and the managed beech forest, having as specific objectives: (1) the analysis of the influence of some local factors on the presence and frequency of microhabitats on trees in natural forest and managed forest; (2) analysis of the influence of some local factors on the presence and frequency of microhabitats on large trees in natural and managed forest; (3) analysis of the influence of local factors on the presence and frequency of microhabitats on standing dead trees in natural forest and managed forest.

Although the inventory and description of the microhabitats on trees was carried out on individual trees, the analyzes in this chapter regarding the characterization of the presence, respectively the frequency, were done at the level of the forest stand, on each plots separately, on the 4 altitudinal levels, these constituting the material of research.

The research methodology used in this chapter involved the use of the t-Student statistical test, testing the hypothesis that there is a statistical link between groups of certain types of tree microhabitats and altitude. At the same time, using the Pearson correlation coefficient, the correlation between the number of microhabitats, from the groups with the most common types of microhabitats, and the altitudinal levels at which they were observed was studied. For this microhabitat groups having the highest correlation between number of microhabitats and exposure (expressed in sexagesimal degrees North) and slope (expressed in degrees), they were developed linear statistical relationship models.

In the natural forest, the research identified a total of 32 microhabitat types with a frequency of more than 10 per type. The most frequent type of microhabitat was CV31 („Branch holes $\varnothing \geq 5$ cm”), with a frequency of 635 records, followed by IN32 („Cracks and scars Length ≥ 100 cm; Width > 1 cm; Depth > 10 cm”) and GR11 („Root buttress cavities $\varnothing \geq 5$ cm”). Regarding the variation with altitude, certain types of microhabitats (e.g. GR11) were found to have a higher frequency at lower altitudes, while others, such as EP32 („Epiphytic foliose and fruticose lichens covering $> 25\%$ ”), increase in frequency with altitude. Pearson correlation analysis showed that the microhabitat groups bark (BA), dead branches and limbs/crown deadwood (DE), and epiphytes (EP) have a very high direct correlation with altitude, while the cavity group (CV) showed an inverse correlation.

In the managed forest, 34 microhabitat types were identified, with a frequency of more than 10 per type, with CV31 („Branch holes $\varnothing \geq 5$ cm”) again being the most frequent type, followed by DE11 („Dead branches and limbs/crown deadwood \varnothing 10-20 cm, sun”) and CV32 („Branch holes $\varnothing \geq 10$ cm”). A general decreasing trend of the total number of microhabitats with altitude was observed, with some variation between altitudes of 1000 and 1200 m. The Pearson correlation coefficient indicated a very high inverse relationship between altitude and the frequency of microhabitats in the CV, IN, and BA groups, while the EP and OT groups had a very high direct correlation, suggesting that these microhabitats are more common at higher altitudes.

In the natural forest, 175 large trees (diameter > 50 cm) were inventoried, which housed a total of 1759 microhabitats. The most common microhabitats were GR11 („Root buttress cavities $\varnothing \geq 5$ cm”) and DE15 („Dead top $\varnothing \geq 10$ cm”). Pearson correlation analysis revealed that the GR microhabitat group had a high inverse correlation with altitude, due to the fact that with increasing altitude, the number of large trees also decreases. In contrast, the EP group had a direct correlation, suggesting an increase in the vulnerability of trees at higher altitudes, in terms of epiphyte development.

In the managed forest, only 30 large trees were identified, which housed a total of 292 microhabitats. The most common type of microhabitat was CV32 („Branch holes $\varnothing \geq 10$ cm”), followed by root buttress cavities (GR11 and GR12). In this case, the Pearson correlation indicated a high direct relationship between elevation and the frequency of microhabitats in the CV, DE, and GR groups. Large trees located at higher altitudes were more prone to the development of these microhabitats, mainly due to harsher climatic conditions and soil erosion, but also due to the fact that in the plots from the altitude of 1350 m, large trees have a significant presence.

In the natural forest, the research identified 49 standing dead trees, with a total of 929 microhabitats. The most common microhabitats were EP12 („Perennial polypore $\varnothing > 10$ cm”) and BA11 („Bark shelter”). A high direct correlation was observed between altitude and the frequency of microhabitats in the EP and BA groups, indicating that at higher altitudes, environmental conditions favor the development of these types of microhabitats. In contrast, the GR group showed a high inverse correlation with a lower frequency of root deformities at higher altitudes.

In the managed forest, 198 standing dead trees were inventoried, with a total of 948 microhabitats. The most common microhabitat types were BA11 („Bark Shelter”) and BA12 („Bark Pocket”). The Pearson correlation showed a very high inverse relationship between altitude and the frequency of microhabitats in the DE and BA groups, indicating that at higher altitudes, the vulnerability of dead trees to environmental conditions increases, resulting in a decrease in these types of microhabitats. In contrast, the EP group had a high direct correlation, with an increase in the frequency of epiphyte-type microhabitats with altitude.

The conclusions of this chapter indicate that elevation plays a significant role in the distribution and frequency of tree microhabitats in natural and managed forest. In the natural forest, significant differences were observed in the frequency of microhabitats depending on the altitude, with a direct correlation between the altitude and the frequency of the EP, BA, and DE groups, and in the managed forest, the altitude negatively influenced the frequency of the microhabitats in the IN, BA and CV groups. The results suggest that forest management significantly influences the presence and development of microhabitats, and natural forest exhibits a greater diversity of microhabitats, especially at higher altitudes.

Chapter 5 „Comparisons between natural forest and managed forest regarding the presence and frequency of microhabitats on trees” presents a detailed comparative analysis of the presence and frequency of tree microhabitats between natural and managed forest by elevation. The analysis was carried out by inventorying and comparing the microhabitats of the two forest types at the four different altitudinal levels. The aim of this chapter was to compare the presence and frequency of tree microhabitats in the plots taken in the study, from the natural and managed forest. This aim was achieved by fulfilling the following objectives:

- the influence of altitude on the presence and frequency of microhabitats on trees between the natural and managed beech forest;
- the influence of altitude on the presence and frequency of microhabitats on large trees, in the natural and managed forest;
- the influence of altitude on the presence and frequency of microhabitats on standing dead trees, in the natural and managed forest.

The research material consisted of all the trees inventoried in the plots of the natural and managed forest. Based on the frequency of microhabitats in the natural and managed forest, previously determined in the sample plots and on altitudinal levels, it was determined the difference between the number of microhabitats found per

groups CV (cavities), IN (injuries and wounds), BA (bark), DE (deadwood), GR (deformations/growth form), EP (epiphytes), OT (microsoil) in part, on altitudinal levels. The relationship between these differences and altitude was plotted and coefficients of determination (R^2) were calculated to assess the observed linear relationships. The potential causes of the differences regarding the variation in the frequency of microhabitats in natural and managed forest have been presented and discussed in the context of other research in the field.

Based on the total number of microhabitats per their groups and the total number of large trees, respectively standing dead trees, the average number of microhabitats per standing dead tree/large tree was calculated, by comparing the total number of identified microhabitats to the total number of trees in these two categories, by altitudinal levels (800, 1000, 1200, 1350 m), as well as the variation of the average number of microhabitats by group on large trees/ standing dead trees, by total number of trees.

Analyzing the differences in the frequency of microhabitats on trees in the 16 plots, arranged on the 4 altitudinal levels, from the natural and managed forest, determined previously, it results that microhabitats from the bark group (BA) are more present in the managed forest at lower altitudes, which is explained by the logging activities that caused damage and detachment of the bark. On the other hand, microhabitats in the cavity group (CV) were more common in managed forest at lower elevations, but this difference decreases as elevation increases.

Regarding microhabitats of the deformation group (GR), they were more numerous in natural forest at lower altitudes, but their frequency decreases at higher altitudes, where climatic conditions and terrain morphology favor the development of root buttresses in managed forest.

The number of large trees was significantly lower in managed forest at altitudes between 800 and 1200 m, which limited the possibility of detailed comparisons. At the altitude of 1350 m, the microhabitats of the cavity group (CV) were more numerous in the natural forest, and the microhabitats of the bark group (BA) were more frequent in the managed forest. These differences are due to specific environmental conditions and the impact of logging on large trees.

Comparisons regarding the standing dead trees showed that bark group (BA) microhabitats are more abundant in managed forest at lower elevations, but this difference diminishes at higher elevations, where lower density of trees and less injury limit the formation of these microhabitats. In the natural forest, microhabitats from the epiphyte group (EP) were more common at all altitudinal levels, due to the presence of large standing dead trees in different stages of decomposition, a favorable environment for the development of fruiting bodies from fungi.

Differences in the frequency of tree microhabitats between natural and managed forest are influenced by altitude, tree density, logging activities and environmental conditions specific to each forest type. Bark group (BA) and cavity (CV) microhabitats are more numerous in managed forests at low altitudes, but these differences are reduced or even reversed at higher altitudes. Microhabitats of the deformation/growth form group (GR) and epiphytes (EP) are more numerous in the natural forest, especially at high altitudes, where harsher climatic conditions and reduced soil stability favor the formation of these microhabitats.

General conclusions and recommendations

The extent to which the research objectives were achieved

The aim of the doctoral thesis was to obtain new knowledge and information regarding the presence and frequency of tree microhabitats, in order to make a comparison between natural forests (Nature Reserve "Izvoarele Nerei") and managed forests (the area adjacent to the Reserve) and was reached by achieving each proposed objective.

Thus, the first proposed objective, the identification of the microhabitats on the trees in the studied areas of the natural forest and the cultivated forest, was achieved by determining some characteristics of all the trees in the studied areas (species, diameter, height and state of health), from natural and managed forest, using FieldMap equipment. The trees were evaluated from the point of view of the existence of microhabitats, their type, the number of microhabitats identified on each tree, according to the „Catalogue of tree microhabitats” (Appendix 4).

The second proposed objective, the presence and frequency of microhabitats on trees in the natural and cultivated forest, was achieved by determining them using the t-Student statistical test, testing the hypothesis that there is a statistical link between groups of certain types of microhabitats on trees and altitude. At the same time, using the Pearson correlation coefficient, the correlation between the number of microhabitats in the groups with the most common types of microhabitats and the altitudinal levels at which they were observed was studied. For

microhabitat groups having the highest correlation between number of microhabitats and exposure (expressed in sexagesimal degrees north) and slope (expressed in degrees), linear statistical relationship models were developed.

The third proposed objective, the comparative analysis of the natural and managed beech forest regarding the presence, frequency and qualitative characteristics of the microhabitats on the trees, was carried out by determining the difference between the number of microhabitats identified by groups and by altitudinal levels. The variation of the differences found according to the altitude was represented graphically and the linear relationship of this variation was established as well as the determination coefficient (R^2) for each individual case.

The identification, inventory and analysis of influencing factors of microhabitats in natural and managed forest, as well as the recent valorization of tree microhabitats, allow responsible decisions on sustainable forest management.

In conclusion, the preservation of biodiversity through microhabitats in production forests and managed by active management can be achieved by using the influence of local environmental factors, by maintaining and promoting the existence of large trees with developed crowns, a good maintenance and distribution of standing dead trees and of habitat trees in forest stands.

The conflict between conservation and development-production in current forest management can be managed by ensuring a high diversity of biological components in forest ecosystems, and recent European forest policies follow this path.

The directions in which to continue the research

Assessing the growth of trees and the development of microhabitats on them remains a challenge, but an interesting aspect of investigation. Furthermore, from a scientific point of view, understanding how tree characteristics (phenology, trunk morphology) interact with microhabitats also remains a challenge, as well as assessing the interrelationships between microhabitats and individual tree species.

As also pointed out by Asbeck *et al.* (2021), the relationship between the large number of microhabitats and forestry practices is difficult to analyze and largely depends on the extent of forest management implementation, as well as the time period since the last forestry intervention. Indeed, the absence of traditional forestry management could facilitate the development of microhabitats on trees.

Similarly, if forest practices closer to nature were implemented, the frequency of selective thinning, as well as the potential retention of dead wood on site, would help increase the occurrence of microhabitats.

The time period since the last forest intervention that determines the evolution of forest structures (tree size, amount of dead wood) could be an interesting aspect to explore in future research, to analyze more deeply the anthropogenic effects on microhabitats.

It was obtained a good modeling with a reduced number of parameters, however, consideration of other structural parameters, such as for example tree height, volume, slenderness index (Santopuoli *et al.*, 2022) could probably improve robustness the model. Also, expanding the data set (more trees), covering a larger range of tree species and different forest types, could further improve the accuracy of the study regarding the presence of microhabitats on trees.

Improving the detection of microhabitats on trees could be achieved considering the amount of dead wood and its decay stage (Larrieu *et al.*, 2014). It is well known that dead wood is an important indicator of forest biodiversity (Parisi *et al.*, 2016), especially in natural forests. However, identifying a minimum threshold for the amount of dead wood, even under economically viable management conditions, is challenging, but also necessary for a better implementation of integrative management of managed forests.

It was not considered the extent to which time since the last forestry intervention in managed forest might have affected the occurrence and richness of microhabitats on trees, as recently explored in natural forests by Marziliano *et al.* (2021).

To preserve biodiversity through microhabitats in the managed forest, forest managers should be oriented towards identifying and maintaining large trees and reducing competition between closely located individuals to stimulate crown development (see the integrative approach in forest management Boncina (2011)).

In addition, a homogeneous distribution of habitat trees in the forest will ensure the conservation of biodiversity by balancing trade-offs with other forest ecosystem services. However, calculating an appropriate number of habitat trees to be retained would merit further exploration (Asbeck *et al.*, 2020b).

There is indeed a need to assess the spatial dispersion and/or minimum distance between habitat trees to promote biodiversity conservation. In addition, it is important to define a reliable method for assessing the required

number of habitat trees per hectare, favoring their recognition and selection, thus promoting the conservation of biodiversity.

Therefore, the forest management must be adapted to certain aspects of the stand characteristics and diversified at the landscape level by balancing production with conservation objectives.

Only by integrating biodiversity conservation issues into regular management the sustainability of human impact on forests can be improved.

Author's own contributions

The research carried out in this thesis is valuable and original, providing a complex study model of tree microhabitats, structured by different ecosystems categories and altitudinal levels. The most important contributions of the thesis are:

- Bibliographic analysis of the morphology and typology of the tree microhabitats in the beech forest;
- Identification of tree microhabitats in the study areas in natural and managed beech forests, providing a solid database for future comparisons;
- Analysis of the influence of various local factors (altitude, slope, exposure) on the presence and frequency of microhabitats on trees, in the natural and managed beech forest;
- Making a comparison regarding the presence, frequency and qualitative characteristics of the microhabitats on the trees, between the natural and managed beech forest.

Elements of originality

Original contributions of this thesis include:

- The realization for the first time in Romania of a complex study on the tree microhabitats structured by different ecosystems categories and on altitudinal levels, in beech forests, with a detailed inventory of 13,634 microhabitats on 2,503 trees.
- The study of the tree microhabitats in the natural forest has a high originality, such studies have been done to a very small extent, due to the small areas with natural beech forests.
- The study of the tree microhabitats in the managed beech forest has a deep character of originality, these forests being not approached with such biodiversity studies except to a very small extent.
- An original contribution is also represented by the comparative approach to the presence and frequency of microhabitats on trees in relation to some forest site conditions (altitude, slope, cardinal orientation of the land), in the natural forest versus the managed forest, in a complex manner, on altitudinal levels.
- Also, another original contribution is the comparative approach of the presence and frequency of tree microhabitats by groups of microhabitats.