

UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” SUCEAVA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE ȘI INGINEREȘTI

Domeniul de doctorat: ȘTIINȚE INGINEREȘTI

Specializarea: SILVICULTURĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof.univ.dr.ing. Adrian Ioan TIMOFTE

DOCTORAND:

Bogdan BODEA

Suceava

2026

UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” SUCEAVA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE ȘI INGINEREȘTI

Domeniul de doctorat: ȘTIINȚE INGINEREȘTI

Specializarea: SILVICULTURĂ

EVALUAREA INSTALĂRII ARTIFICIALE ȘI A EVOLUȚIEI NATURALE
A VEGETAȚIEI FORESTIERE PE HALDA DE STERIL DIN CARIERA
RECEA-ȘUNCUIUȘ (JUDEȚUL BIHOR)

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof.univ.dr.ing. Adrian Ioan TIMOFTE

DOCTORAND:

Bogdan BODEA

Suceava

2026

Cuprins

MULȚUMIRI	5
1. INTRODUCERE.....	7
1.1 LOCALIZAREA PERIMETRULUI STUDIAT ȘI CADRUL GEOGRAFIC.....	7
1.2 ISTORICUL CERCETĂRIILOR GEOLOGICE ȘI AL EXPLOATĂRII MINIERE	7
1.3 FORMAREA HALDELOR DE STERIL ȘI EFECTELE ASUPRA MEDIULUI.....	9
1.4 HALDA 2008 – INTERVENȚII SILVICE ȘI REGENERARE NATURALĂ	10
1.5 ÎNCADRAREA NORMATIVĂ ȘI JUSTIFICAREA UTILIZĂRII SPECIILOR FORESTIERE	10
1.6 EVOLUȚIA CERCETĂRIILOR PRIVIND INSTALAREA ARTIFICIALĂ ȘI DINAMICA NATURALĂ A VEGETAȚIEI FORESTIERE ÎN PERIMETRUL CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ.....	10
2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRIILOR	12
2.1 SCOPUL CERCETĂRIILOR	12
2.2 OBIECTIVELE CERCETĂRIILOR.....	12
3. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTINȚELOR.....	14
3.1 INTRODUCERE.....	14
3.2 TERENURILE HALDATE REZULTATE DIN EXPLOATĂRI MINIERE – PARTICULARITĂȚI STAȚIONALE ȘI IMPLICAȚII PENTRU INSTALAREA VEGETAȚIEI FORESTIERE.....	14
3.4 INFLUENȚA FACTORILOR STAȚIONALI ȘI TEHNOLOGICI ASUPRA CREȘTERII PUIEȚILOR FORESTIERI PE TERENURI HALDATE	15
3.5 REGENERAREA NATURALĂ ȘI SUCCESIUNEA PE TERENURI HALDATE	15
3.6 BIOCRUSTELE ȘI ROLUL LOR ÎN STABILIZAREA SUBSTRATULUI ȘI INIȚIEREA SUCCESIUNII	15
3.7 UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR UAV ȘI A FOTOGRAMMETRIEI ÎN ANALIZA VEGETAȚIEI FORESTIERE ȘI A TERENURILOR DEGRADATE.....	16
4. EVALUAREA REUȘITEI ȘI COMPORTĂRII PLANTAȚIILOR DE SALCÂM (<i>ROBINIA PSEUDOACACIA</i> L.) INSTALATE ÎN ANUL 2016 PE HALDELE DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ.....	17
4.1 INTRODUCERE.....	17
4.2 MATERIAL ȘI METODĂ.....	17
4.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII	18
4.4 CONCLUZII	19
5. EVALUAREA REUȘITEI ȘI A STĂRII DE SĂNĂTATE A PLANTAȚIILOR DE PIN NEGRU (<i>PINUS NIGRA</i> ARN.) INSTALATE ÎN PERIOADA 2008–2009 PE HALDELE DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ.....	20
5.1 INTRODUCERE.....	20
5.2 MATERIAL ȘI METODĂ.....	21

5.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII	21
5.4 CONCLUZII	22
6. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A EVOLUȚIEI PUIEȚILOR DE PIN NEGRU (<i>PINUS NIGRA</i> ARN.) PROVENIENȚĂ AUSTRIA PLANTAȚI ÎN 2023 ÎN CONDIȚII DE PANTĂ ȘI FERTILIZARE DIFERENȚIATE.....	23
6.1 INTRODUCERE.....	23
6.2 MATERIAL ȘI METODĂ.....	23
6.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII – ANUL I DE VEGETAȚIE (2023)	27
6.4 EVOLUȚIA PINULUI NEGRU ÎN PERIOADA 2023–2025	28
6.4.1 Cadru experimental, momente de măsurare și logică factorială	28
6.4.2 Supraviețuire și instalarea culturii (2023–2025)	28
6.4.3 Evoluția înălțimii (H) în perioada 04.2023–11.2025	29
6.4.3.1 Valori medii pe momente de măsurare	29
6.4.3.2 Creșteri anuale (H) și creștere totală	29
6.4.4 Evoluția diametrului la colet (d) în perioada 04.2023–11.2025.....	30
6.4.5 Analiză statistică formală (ANOVA bifactorială pantă × fertilizare)	30
6.4.6 Interpretare factorială clară (medii pe niveluri: pantă × fertilizare).....	31
6.4.7 Distribuții și variabilitate biologică (2025)	31
6.4.8 Infurcări frecvență, diferențe între variante și explicații.....	31
6.4.9 Structura coroanei: verticile și ramuri/verticil	32
6.4.10 Discuție integrată: mecanisme ecologice și fiziologice	32
6.5 CONCLUZII	32
7. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A EVOLUȚIEI PUIEȚILOR DE PIN SILVESTRU (<i>PINUS SYLVESTRIS</i> L.), PROVENIENȚĂ LOCALĂ PLANTAȚI ÎN 2023 ÎN CONDIȚII DE PANTĂ ȘI FERTILIZARE DIFERENȚIATE.....	33
7.1 INTRODUCERE.....	33
7.2 MATERIAL ȘI METODĂ.....	34
7.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII - ANUL I DE VEGETAȚIE (2023)	37
7.4 EVOLUȚIA PINULUI SILVESTRU (plantat în 2023) ÎN PERIOADA 2023–2025 ...	37
7.4.1 Cadru experimental, momente de măsurare și logică factorială	37
7.4.2 Supraviețuire și instalarea culturii (2023–2025)	37
7.4.3 Evoluția înălțimii (H) în perioada 04.2023–11.2025	38
7.4.3.1 Valori medii pe momente	38
7.4.3.2 Creșteri anuale și total	38
7.4.4 Evoluția diametrului la colet (d).....	39
7.4.3.3 Creșteri anuale (d) și total	39
7.4.4 Analiză statistică (ANOVA 2×2)	39
7.4.5 Distribuții (2025).....	40

7.4.6 Infurcări.....	40
7.4.7 Structura coroanei	41
7.5 CONCLUZII	42
8. DINAMICA NATURALĂ A VEGETAȚIEI FORESTIERE PE HALDA DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ.....	43
8.1 COLONIZAREA PRIMARĂ PRIN BIOCRUSTE PE HALDA DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ	43
8.1.1 Introducere	43
8.1.2 Material și metodă.....	43
8.1.2.1 Analiza distribuției spațiale și a acoperirilor realizate de biocruste.....	43
8.1.2.2 Asocierea suprafețelor de probă și a speciilor în biocrustele de pe halda de steril	46
8.1.3 Rezultate.....	46
8.1.4 Discuții	46
8.1.5 Concluzii	47
8.2 INFLUENȚA CARACTERISTICILOR SUBSTRATULUI ȘI A RELIEFULUI ASUPRA DEZVOLTĂRII VEGETAȚIEI REGENERATE NATURAL, PE HALDA DE STERIL	47
8.3 ANALIZA VARIABILITĂȚII ELEMENTELOR BIOMETRICE: LA <i>PINUS SYLVESTRIS</i> ÎN FUNCȚIE DE CONDIȚIILE DE TEREN PE HALDA DE STERIL.....	50
8.3.1. Statistici descriptive și testarea normalității datelor.....	50
8.3.2 Concluzii relative la analiza descriptivă și testarea normalității datelor	50
8.3.3 Compararea variabilelor utilizând testul t	50
8.3.4 Concluziile analizei inferențiale.....	50
8.4 UTILIZAREA DRONEI ȘI TEHNOLOGIILOR AVANSATE DE FOTOGRAMMETRIE PENTRU CARTAREA HALDEI DE STERIL.....	51
9. CONCLUZII GENERALE	54
10. CONTRIBUȚII PERSONALE	56
Bibliografie selectivă	58

MULȚUMIRI

În primul rând, îmi exprim întreaga apreciere față de conducătorul meu științific, prof. univ. dr. ing. Timofte Adrian Ioan, pentru sprijinul constant, îndrumarea riguroasă și deschiderea acordată pe parcursul elaborării tezei. Contribuția sa a fost esențială în formarea mea profesională, atât prin orientarea științifică oferită, cât și prin încurajarea dezvoltării unei gândiri autonome și critice.

De asemenea, adresez sincere mulțumiri membrilor comisiei de îndrumare - conf. univ. dr. ing. Palaghianu Ciprian, prof. univ. dr. ing. Roibu Cătălin și șef lucrări dr. ing. Savin Alexei - pentru observațiile pertinente, recomandările valoroase și implicarea în evaluarea etapelor de lucru. Sugestiile dumealor au contribuit în mod direct la consolidarea calității științifice a prezentei teze.

Mulțumesc Conducerii Universității din Suceava și Facultății de Silvicultură, precum și întregului colectiv de cadre didactice ai facultății pentru îndrumare și sprijinul oferit pe parcursul celor 4 ani.

Un gând deosebit de recunoștință se îndreaptă către șef lucrări dr. ing. Hâruga Ovidiu Ioan și conf.univ.dr.ing. Budău Ruben, pentru sprijinul acordat în desfășurarea unor experimente și pentru implicarea activă în activitățile de cercetare, contribuția sa fiind de real ajutor în obținerea și interpretarea rezultatelor.

Adresez, de asemenea, mulțumiri colegilor și colaboratorilor care au fost implicați în activitățile de teren și în diverse etape ale cercetării. Sprijinul lor, atât profesional cât și uman, a făcut posibilă desfășurarea în bune condiții a unui demers științific complex.

În mod special, îmi exprim recunoștința față de familie, colegi și prieteni pentru susținerea morală, răbdarea și înțelegerea manifestate pe parcursul acestor ani de muncă intensă.

Închei prin a mulțumi tuturor celor care, direct sau indirect, au contribuit la realizarea acestei teze.

Ing. Bogdan BODEA

1. INTRODUCERE

Exploatarea miniere la suprafață determină transformări profunde ale mediului, concretizate prin distrugerea stratului de sol, dezechilibre fizico-chimice și instabilitate geomorfologică. Haldele de steril rezultate constituie sisteme edafice tinere, caracterizate prin heterogenitate structurală, conținut redus de materie organică și proprietăți hidrofizice limitative pentru instalarea vegetației (Bradshaw, 1997; Tordoff et al., 2000). Analizele realizate pe halda studiată confirmă aceste caracteristici, evidențiind un substrat moderat acid, slab aprovizionat cu humus și elemente nutritive esențiale (N, P, K), ceea ce limitează instalarea vegetației forestiere și impune intervenții de ameliorare (Alloway, 2008; Raven et al., 2017).

În acest context, instalarea vegetației forestiere reprezintă o soluție eficientă de stabilizare ecologică, contribuind la reducerea eroziunii, îmbunătățirea proprietăților substratului și creșterea biodiversității (Mendez & Maier, 2008; Pietrzykowski, 2014a). Speciile utilizate trebuie să prezinte toleranță la condiții restrictive și plasticitate ecologică ridicată (Prach & Hobbs, 2008).

Pe lângă intervențiile artificiale, procesele naturale – colonizarea spontană și succesiunea primară – au un rol esențial în evoluția ecosistemelor haldate (Walker & del Moral, 2003). În stadiile incipiente, biocrustele (licheni, mușchi, cianobacterii) contribuie la stabilizarea substratului și la crearea condițiilor pentru instalarea vegetației vasculare (Belnap & Lange, 2003; Bowker, 2007).

Teza abordează integrat interacțiunea dintre instalarea artificială, regenerarea naturală și procesele de colonizare primară pe halda Recea–Șuncuiș, utilizând atât metode clasice, cât și tehnologii moderne (UAV, fotogrammetrie) pentru analiza spațială a vegetației.

1.1 LOCALIZAREA PERIMETRULUI STUDIAT ȘI CADRUL GEOGRAFIC

Cercetările geologice din zona Șuncuiș au debutat în secolul al XVIII-lea și s-au intensificat în secolul XX, incluzând studii stratigrafice, tectonice și paleontologice (Codarcea, 1948, citat de Czier & Popescu, 1988). Dezvoltarea exploatarea miniere a fost susținută de investigații detaliate realizate de instituții specializate.

Exploatarea argilei refractare a avut un rol economic major, dar s-a desfășurat în condiții dificile, generând impacturi semnificative asupra mediului și condițiilor de muncă (Barna, 2012).

1.2 ISTORICUL CERCETĂRILOR GEOLOGICE ȘI AL EXPLOATĂRII MINIERE

Depozitarea sterilului rezultat din exploatarea argilei a condus la formarea haldelor, constituite din amestecuri de gresie cuarțoasă și argilă. Proprietățile fizice ale materialului (granulometrie fină, umiditate ridicată) favorizează instabilitatea și apariția alunecărilor.

Aceste procese au efecte negative asupra mediului, prin degradarea solului și poluarea apelor de suprafață, afectând ecosistemele acvatice din aval. De asemenea, halda 2008 a generat riscuri pentru infrastructura locală, prin colmatarea drumurilor și transportul materialului aluvionar.

Activitatea minieră a determinat distrugerea completă a vegetației inițiale și afectarea vegetației limitrofe prin depuneri de praf și perturbarea proceselor fiziologice.

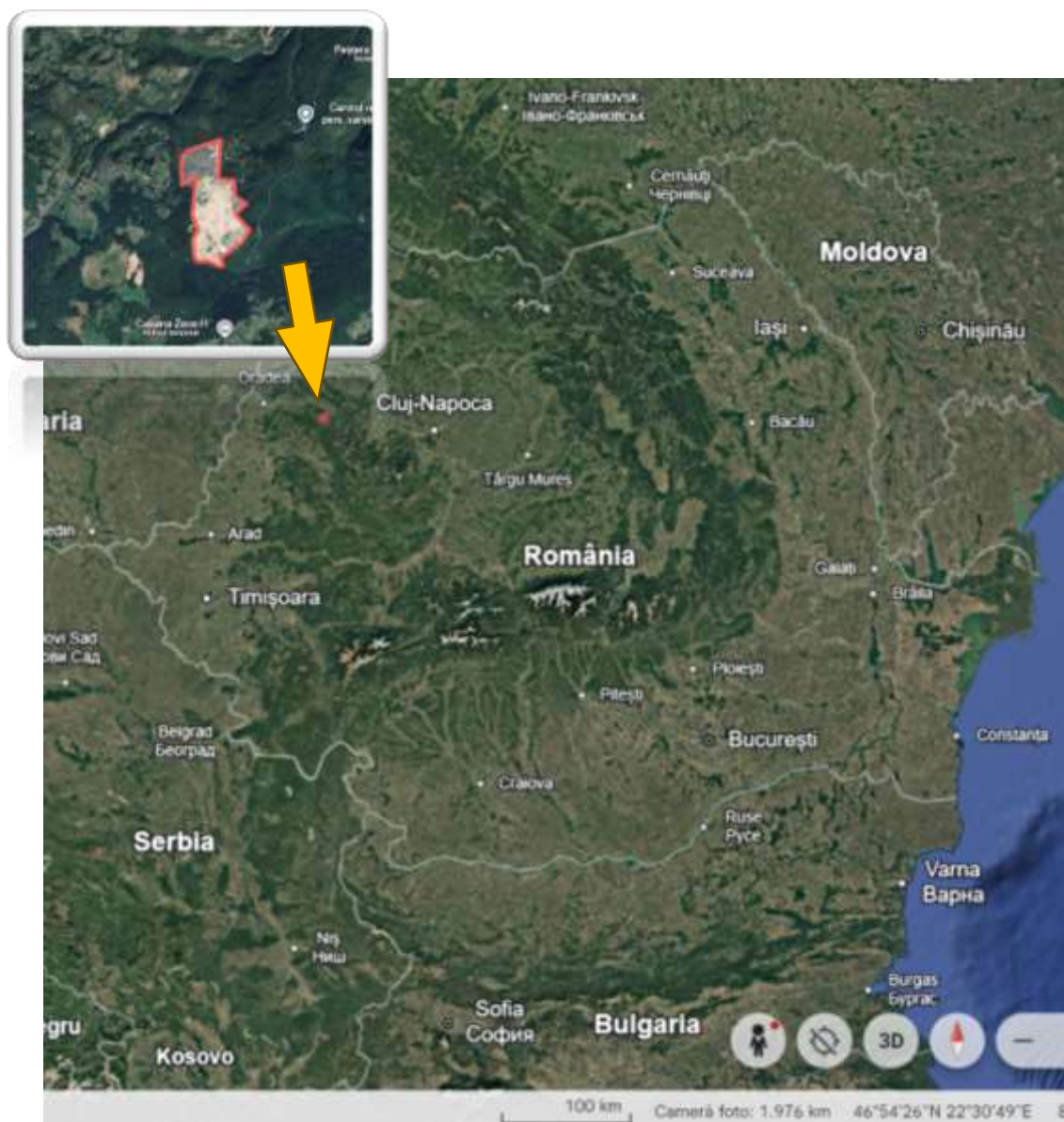


Figura 1.1. Localizarea perimetrului studiat

Sursa:

<https://earth.google.com/web/@47.04058157,16.44980446,768.57651992a,1975381.46472395d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwolCiExWkdWTHhGZ3VZU09neVZ1azR2blFRVUZkbUFqeVNUcHQgAToDCgEwQgIIAEoICMCTs84GEAE>

HALDA 2008 coincide în mare parte cu localizarea studiului actual și este redată în figura 1.2

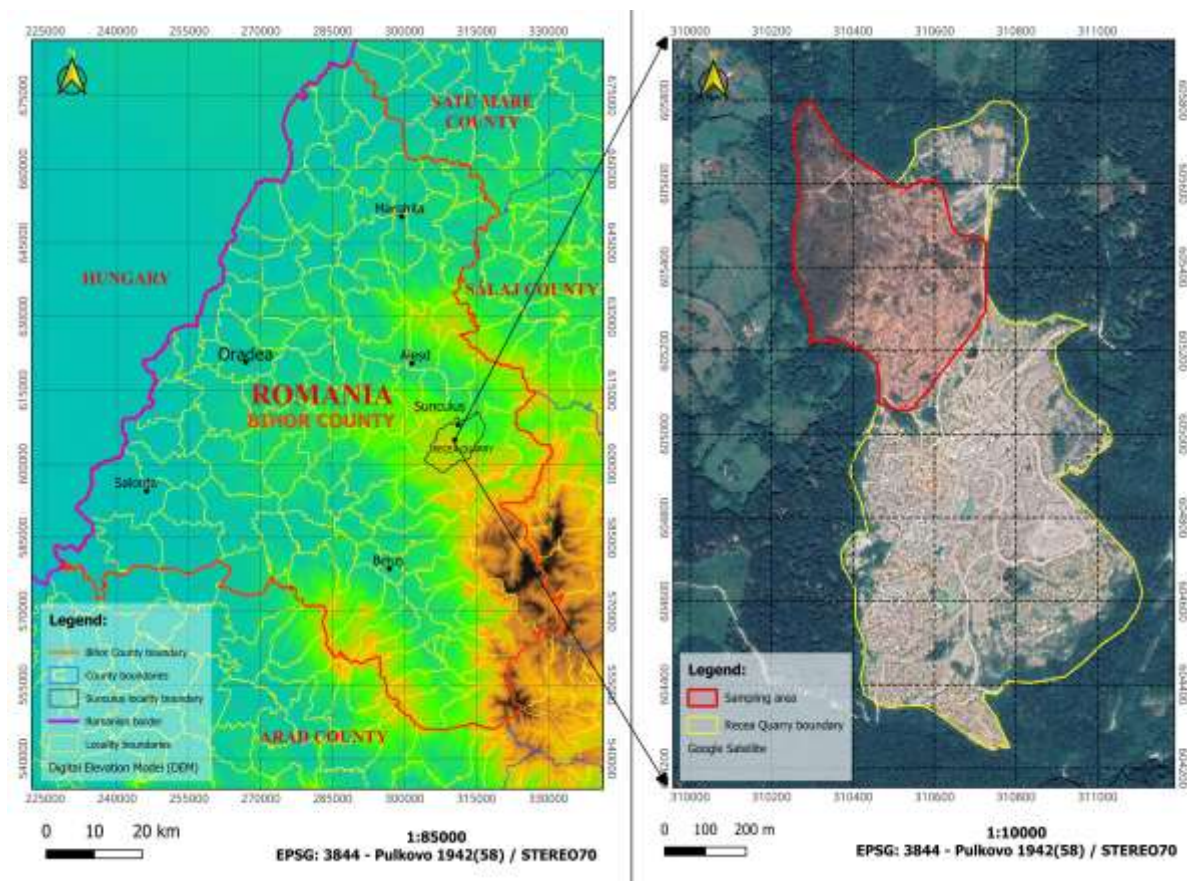


Figura 1.2. Locul cercetărilor (HALDA 2008) (Hârța et al., 2026)

1.3 FORMAREA HALDELOR DE STERIL ȘI EFECTELE ASUPRA MEDIULUI

În urma activității de extracție a argilei refractare în suprafață din Cariera Recea au rezultat milioane de metri cubi de steril, depozitați în amplasamente stabilite, formând haldele de steril. Haldele diferă prin geometrie, suprafața de teren ocupată și volumul de material înglobat. Din punct de vedere petrografic, acestea sunt alcătuite dintr-un amestec de gresie cuarțoasă și argilă.

Frecarea interioară a materialului, datorată umidității excesive și prezenței în proporție însemnată a fracțiunii granulometrice praf-argilă, favorizează apariția alunecărilor haldele, producând poluarea mediului înconjurător. Aceste fenomene prejudiciază calitatea solului, dar și calitatea apelor de suprafață, materialul fin fiind transportat anual în emisarii locale, afectând flora și fauna acvatică din aval, respectiv din Valea Izbândișului și Crișul Repede.

Halda 2008 a constituit un factor de risc pentru drumul comunal D.C.177, care în anumite perioade, după ploii torențiale, a fost colmatat de aluviunile transportate de viituri și alunecările ce se formau pe haldă.

Activitatea de exploatare a avut efecte directe asupra vegetației: speciile vegetale din zona în care au fost executate lucrările de exploatare au dispărut în totalitate, iar speciile vegetale din vecinătatea perimetrului au fost afectate prin depunerea prafului pe frunze, cu obturarea stomatelor și perturbarea proceselor de fotosinteză și respirație (Raport 1). Depozitarea sterilului s-a realizat prin basculare în grămezi de 1–2 m, urmată de nivelare, tasare și compactare tehnologică.

1.4 HALDA 2008 – INTERVENȚII SILVICE ȘI REGENERARE NATURALĂ

Pentru reducerea impactului negativ, s-au realizat intervenții silvice și s-a favorizat regenerarea naturală. Plantările inițiale (mojdrean, paltin) au avut o rată foarte scăzută de succes, evidențiind dificultățile instalării vegetației în condiții edafice restrictive.

Regenerarea naturală a fost dominată de specii pioniere (*Betula pendula*, *Populus tremula*), urmate de instalarea coniferelor (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*). Colonizarea a fost influențată de sursele de semințe, condițiile de substrat și factorii topografici.

Procesul de succesiune a evidențiat:

- instalarea preferențială în zonele inferioare ale taluzului;
- dezvoltarea mai rapidă a speciilor pioniere;
- înlocuirea treptată a acestora de către specii mai competitive (ex. pinul silvestru);
- limitări severe în zonele cu substrat sărac și instabil.

În paralel, biocrustele au reprezentat primele structuri biologice stabile, contribuind la fixarea particulelor fine și acumularea materiei organice, facilitând instalarea vegetației forestiere.

1.5 ÎNCADRAREA NORMATIVĂ ȘI JUSTIFICAREA UTILIZĂRII SPECIILOR FORESTIERE

Conform OM 2533/2022, terenurile analizate se încadrează în categoria haldelor miniere (tip YD1B), pentru care sunt prevăzute tehnologii specifice de împădurire.

Speciile din genul *Pinus* sunt frecvent utilizate în reconstrucția ecologică datorită adaptabilității ridicate (Doniță et al., 2004; Schulze et al., 2005). Pinul negru (Clinovschi, 2005) și pinul silvestru (Milescu, 2006) prezintă toleranță la condiții edafice dificile și contribuie la stabilizarea ecosistemelor și la refacerea biodiversității (Xue et al., 2022).

Rezultatele cercetării trebuie interpretate în contextul heterogenității substratului haldat, care influențează variabilitatea locală a condițiilor staționale.

1.6 EVOLUȚIA CERCETĂRIILOR PRIVIND INSTALAREA ARTIFICIALĂ ȘI DINAMICA NATURALĂ A VEGETAȚIEI FORESTIERE ÎN PERIMETRUL CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ

Cercetările s-au desfășurat etapizat, vizând atât plantațiile artificiale, cât și regenerarea naturală. Studiile asupra salcâmului (2016) au evidențiat un grad moderat de menținere (~50%) și influența pantei asupra creșterii.

Plantațiile de pin negru (2008–2009) au prezentat o bună stabilitate, cu diferențe semnificative ale creșterii în funcție de pantă. Evaluările ulterioare (2022–2025) au analizat starea de sănătate a arborilor, evidențiind procese de adaptare în condiții climatice variabile.

În 2023 a fost instalat un câmp experimental cu pin negru și pin silvestru, pentru evaluarea influenței factorilor staționali și tehnologici asupra creșterii puieților. Monitorizarea pe termen mediu a permis analiza comportării speciilor în condiții de stres climatic.

Analiza solului prelevat din Halda 2008, Carieră Recea (Șuncuiș, Bihor) a fost realizată în cadrul **Laboratorului de agrochimie și nutriție a plantelor – SC Alcedo SRL (MyAlcedoSoil)**, în anul 2024. Indică prezența unui substrat cu fertilitate redusă, caracterizat printr-o aciditate moderată spre ridicată ($\text{pH H}_2\text{O} = 5,50$, $\text{pH KCl} = 4,56$) și un conținut scăzut de materie organică (humus = 0,79%, carbon organic = 0,46%). Aceste condiții pot influența semnificativ regenerarea naturală a vegetației, afectând disponibilitatea nutrienților esențiali. Nivelurile foarte scăzute de azot (0,59 mg/kg), fosfor (2,19 mg/kg), potasiu (74,08 mg/kg),

mangan (7,13 mg/kg sol) și zinc (0,33 mg/kg sol) indică deficiențe severe care pot limita creșterea plantelor. Există o aprovizionare mai bună cu magneziu asimilabil (133,63 mg/kg sol), sulf mobil (40,77 mg/kg sol) și fier (12,91 mg/kg sol) (Fig. 1.3).

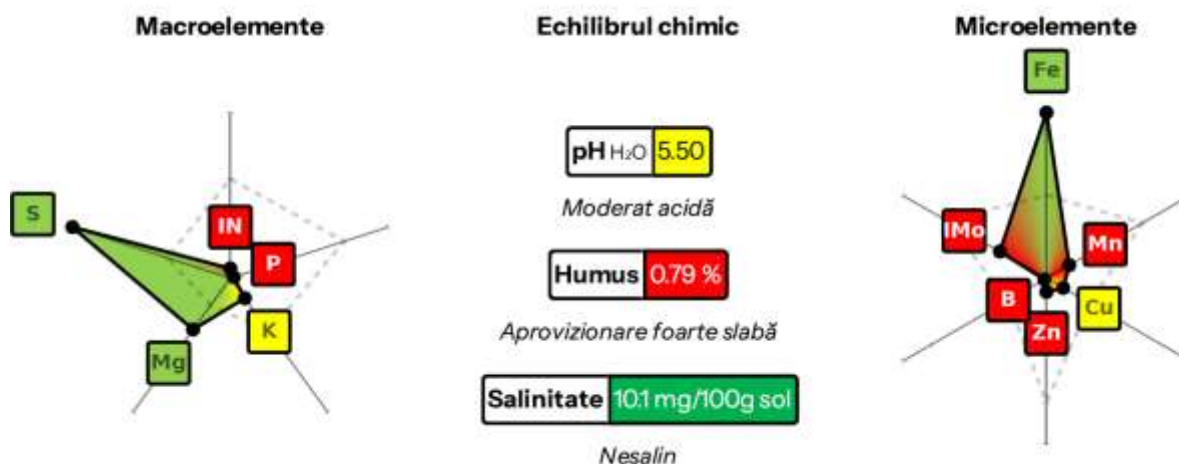


Figura 1.3. Facsimil buletin de analiză a solului, halda de steril Recea, Șuncuiuș (jud. Bihor)

Haldele de steril se diferențiază prin formă, suprafață și volum, însă din punct de vedere petrografic sunt alcătuite din același amestec de gresie cuarțoasă și argilă (***, 2005). Studiile realizate de Czier și Popescu (2012) descriu condițiile geologice ale zonei Șuncuiuș. Analizele din Raportul de bilanț de mediu (2007) indică existența unor valori locale de radioactivitate mai ridicate (cu până la 86% peste fondul natural) în anumite argile, fără a afecta însă zonele locuite. Solul de pe haldele analizate este moderat acid, slab bogat în humus și azot, cu proprietăți chimice și fizice relativ reduse, având o textură luto-argiloasă (***, 2015).

În paralel, au fost studiate procesele de regenerare naturală și colonizare prin biocruste, utilizând tehnologii UAV pentru analiza spațială a distribuției vegetației și a gradului de stabilizare a substratului.

2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR

2.1 SCOPUL CERCETĂRILOR

Scopul tezei îl constituie analiza integrată a proceselor de instalare artificială și a dinamicii naturale a vegetației forestiere pe halda de steril din perimetrul Cariera Recea – Șuncuiș, județul Bihor, în vederea evaluării modului în care intervențiile silvice și mecanismele naturale de colonizare și succesiune contribuie, separat și complementar, la stabilizarea substratului și la constituirea treptată a unui ecosistem forestier funcțional.

Cercetarea pornește de la premisa că terenurile haldate rezultate în urma exploatărilor miniere reprezintă sisteme staționale limitative, caracterizate prin substrat instabil, conținut redus de materie organică, heterogenitate texturală și regim hidric variabil, precum și fertilitate redusă, cu disponibilitate limitată a unor nutrienți esențiali. În aceste condiții, evoluția vegetației forestiere depinde atât de tehnologiile aplicate în instalarea culturilor (alegerea speciei, proveniența materialului săditor, schema de plantare, fertilizarea), cât și de procesele naturale de colonizare biologică, de la biocruste și vegetație pionieră până la regenerarea naturală a speciilor lemnoase.

Teza urmărește evaluarea comparativă a plantațiilor forestiere instalate în etape diferite (2008–2016), a unui câmp experimental multifactorial realizat în anul 2023, precum și a proceselor naturale de regenerare și colonizare criptogamică. Prin integrarea acestor componente, se urmărește evidențierea continuității dintre fazele incipiente ale refacerii naturale și etapele de instalare și dezvoltare a vegetației forestiere, precum și rolul tehnologiilor UAV (Unmanned Aerial Vehicle - vehicul aerian fără pilot) în monitorizarea spațială a acestor procese.

Prin rezultatele obținute, cercetarea contribuie la fundamentarea unor soluții silvice adecvate terenurilor haldate rezultate din exploatarea minieră, prin identificarea speciilor, tehnologiilor și indicatorilor de monitorizare capabili să asigure stabilitatea și evoluția favorabilă a vegetației forestiere în timp.

Interpretarea datelor este realizată în raport cu particularitățile amplasamentului studiat, urmărindu-se evidențierea unor tendințe și mecanisme relevante pentru situații similare de terenuri degradate.

2.2 OBIECTIVELE CERCETĂRILOR

În vederea fundamentării unei analize integrate asupra modului în care intervențiile silvice, procesele naturale de colonizare și instrumentele moderne de monitorizare contribuie la evoluția vegetației forestiere pe halda de steril din Cariera Recea – Șuncuiș, cercetarea a fost structurată pe următoarele obiective specifice:

◆ Obiectivul 1

Evaluarea reușitei și comportării plantațiilor de salcâm instalate în anul 2016 pe haldele de steril din Cariera Recea – Șuncuiș, prin analiza parametrilor dendrometrici și a influenței pantei asupra dezvoltării arborilor.

◆ Obiectivul 2

Analiza reușitei și stabilității în timp a plantațiilor de pin negru (proveniență locală) instalate în perioada 2008–2009, prin evaluarea supraviețuirii și a creșterii arborilor în raport cu condițiile staționale.

◆ Obiectivul 3

Evaluarea stării de sănătate a arboretelor de pin negru plantate în perioada 2008–2009, prin determinarea gradului de vătămare, defoliere și decolorare a acelor și analiza evoluției acestora în intervalul 2022–2025.

◆ Obiectivul 4

Testarea comportării în condiții experimentale a puieților de pin negru (proveniență Austria) și pin silvestru plantați în anul 2023, în funcție de pantă și fertilizare, prin analiza creșterii, supraviețuirii și a răspunsului factorial al acestora în perioada 2023–2025.

◆ Obiectivul 5

Analiza dinamicii regenerării naturale a pinului silvestru pe halda de steril, în relație cu condițiile de teren, caracteristicile substratului și parametrii biometrici ai puieților și arborilor tineri.

◆ Obiectivul 6

Caracterizarea proceselor de colonizare primară prin biocruste pe halda de steril din Cariera Recea – Șuncuiș, ca etapă incipientă a refacerii naturale a substratului, prin analiza compoziției, distribuției spațiale și a relației acestora cu poziția topografică și cu instalarea ulterioară a vegetației vasculare.

◆ Obiectivul 7

Integrarea tehnologiilor UAV și a fotogrammetriei digitale în monitorizarea spațială a regenerării naturale și a suprafețelor colonizate biologic pe halda de steril, în vederea susținerii analizei structurii, distribuției și dinamicii vegetației în raport cu microrelieful.

3. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTINȚELOR

3.1 INTRODUCERE

Terenurile degradate rezultate din exploatarea miniere reprezintă sisteme ecologice aflate în stadii incipiente de dezvoltare, caracterizate prin absența solului funcțional, conținut redus de materie organică și limitări hidrofizice severe (Bradshaw, 1997; Walker & del Moral, 2003; Mendez & Maier, 2008). Instalarea vegetației forestiere este un proces dificil, dependent de condițiile staționale și de intervențiile aplicate (Tordoff et al., 2000).

Vegetalizarea acestor terenuri contribuie la inițierea pedogenezei și stabilizarea substratului, iar factorii topografici, în special panta, influențează semnificativ succesul instalării (Frouz et al., 2007). În paralel, procesele naturale, precum succesiunea primară și dezvoltarea biocrustelor, joacă un rol esențial în refacerea ecosistemelor (Belnap & Lange, 2003; Bowker, 2007).

Stadiul actual al cercetărilor se concentrează pe caracterizarea substratului, comportarea speciilor, succesiunea naturală și utilizarea tehnologiilor moderne de monitorizare (Colomina & Molina, 2014; Torresan et al., 2017).

3.2 TERENURILE HALDATE REZULTATE DIN EXPLOATĂRI MINIERE – PARTICULARITĂȚI STAȚIONALE ȘI IMPLICAȚII PENTRU INSTALAREA VEGETAȚIEI FORESTIERE

Haldele de steril sunt substraturi minerale „tinere”, cu heterogenitate structurală și limitări fizico-chimice majore, care controlează instalarea vegetației (Bradshaw, 1997; Walker & del Moral, 2003). Variabilitatea texturală determină diferențe în regimul hidric și stabilitatea substratului, influențând dezvoltarea sistemelor radiculare (Tordoff et al., 2000; Pietrzykowski, 2014a).

Deficitul de materie organică și nutrienți încetinește procesele pedogenetice și limitează activitatea biologică (Mendez & Maier, 2008). Vegetația forestieră are un rol esențial în ameliorarea acestor condiții, prin acumularea de biomasă și stabilizarea substratului (Haigh, 2000).

Panta reprezintă un factor determinant, controlând simultan eroziunea, drenajul și stabilitatea. Succesiunea naturală este inițiată de specii pioniere și biocruste, dar rămâne dependentă de condițiile locale (Belnap & Lange, 2003; Bowker, 2007). În România, aceste terenuri sunt încadrate în categoria terenurilor degradate, iar împădurirea este considerată o intervenție prioritară (OM 2533/2022).

3.3. INSTALAREA ARTIFICIALĂ A SPECIILOR FORESTIERE PE TERENURI DEGRADATE – PRINCIPII, CRITERII DE SELECȚIE ȘI EXPERIENȚE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE

Principii generale

Împădurirea terenurilor degradate are rol de stabilizare, inițiere a pedogenezei și creștere a biodiversității (Bradshaw, 1997; Haigh, 2000). Succesul depinde de corelarea specie–stațiune–tehnologie (Tordoff et al., 2000).

Principiile esențiale includ controlul factorilor limitativi, prioritizarea stabilizării, integrarea succesiunii naturale și utilizarea abordărilor mixte (Prach & Hobbs, 2008).

Criterii de selecție a speciilor

Speciile trebuie să prezinte plasticitate ecologică, toleranță la stres și capacitate de stabilizare (Bradshaw, 1997). Frecvent sunt utilizate conifere (*Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*) și foioase pioniere (*Betula*, *Populus*, *Robinia*) (Tordoff et al., 2000).

Specii relevante

Robinia pseudoacacia – specie amelioratoare, eficientă în stațiuni drenate, dar sensibilă la exces de apă și cu potențial invaziv (Sofletea & Curtu, 2008; Prach & Hobbs, 2008).

Pinus nigra – specie rezistentă la condiții dificile, utilizată pentru stabilizarea versanților (Clinovschi, 2005).

Pinus sylvestris – specie pionieră, adaptabilă, frecvent implicată în colonizare naturală (Sofletea & Curtu, 2008).

Experiențe naționale și internaționale

Studiile evidențiază importanța substratului și a tehnologiei de instalare, nu doar a speciei (Haigh, 2000; Harris, 1996). Restaurarea eficientă presupune refacerea funcțiilor ecosistemice, nu doar acoperirea vegetală (Walker & del Moral, 2003).

Implicații tehnologice

Pregătirea terenului, materialul săditor și fertilizarea influențează semnificativ reușita, însă efectele fertilizării sunt limitate dacă factorii fizici rămân restrictivi (Tordoff et al., 2000).

3.4 INFLUENȚA FACTORILOR STAȚIONALI ȘI TEHNOLOGICI ASUPRA CREȘTERII PUIEȚILOR FORESTIERI PE TERENURI HALDATE

Creșterea puietilor este determinată de interacțiunea dintre factorii staționali și tehnologia aplicată (Bradshaw, 1997; Sheoran et al., 2010).

- **Panta** influențează eroziunea și regimul hidric (Haigh, 2000).
- **Textura substratului** controlează dezvoltarea radiculară și aerarea (Mendez & Maier, 2008).
- **Nutrienții** sunt limitați, iar acumularea materiei organice este lentă (Frouz et al., 2007).
- **Fertilizarea** are efecte variabile, dependente de apă și structură.
- **Proveniența genetică** influențează adaptarea la stres (Enescu et al., 2016).
- **Schimbările climatice** amplifică stresul hidric (Allen et al., 2010).

Succesul este determinat de interacțiunea acestor factori, necesitând abordări experimentale multifactoriale.

3.5 REGENERAREA NATURALĂ ȘI SUCCESIUNEA PE TERENURI HALDATE

Regenerarea naturală pe halde reprezintă un proces de succesiune primară, dependent de dispersia propagulelor și condițiile locale (Walker & del Moral, 2003).

Sucesiunea începe cu organisme criptogamice și continuă cu specii pionier (*Betula*, *Populus*, *Pinus sylvestris*) (Frouz et al., 2007). Poziția topografică influențează puternic instalarea, zonele inferioare fiind mai favorabile (Prach & Hobbs, 2008).

Pe termen mediu, pot apărea ecosisteme forestiere funcționale, însă limitările edafice persistă. Interacțiunea dintre regenerarea naturală și plantări crește stabilitatea și diversitatea ecosistemului (Bradshaw, 1997).

3.6 BIOCRUSTELE ȘI ROLUL LOR ÎN STABILIZAREA SUBSTRATULUI ȘI ÎNȚIEREA SUCCESIUNII

Biocrustele sunt comunități pionier formate din cianobacterii, licheni și mușchi, esențiale în stadiile incipiente ale succesiunii (Belnap & Lange, 2003).

Acestea:

- stabilizează substratul,
- reduc eroziunea,
- contribuie la ciclurile biogeochimice,
- favorizează instalarea vegetației.

Pe halde miniere, ele reprezintă primele structuri biologice stabile și pot accelera pedogeneza (Frouz et al., 2007; Weber et al., 2016).

3.7 UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR UAV ȘI A FOTOGRAMMETRIEI ÎN ANALIZA VEGETAȚIEI FORESTIERE ȘI A TERENURILOR DEGRADATE

Tehnologiile UAV și fotogrammetria digitală permit monitorizarea detaliată a vegetației și a terenurilor degradate (Colomina & Molina, 2014).

Acestea facilitează:

- cartarea vegetației,
- analiza regenerării naturale,
- modelarea microreliefului,
- evaluarea eroziunii.

Metodele SfM oferă modele 3D precise și ortofotoplanuri de înaltă rezoluție (Westoby et al., 2012). UAV-urile sunt eficiente pentru monitorizarea dinamicii ecosistemelor post-miniere, dar necesită validare prin măsurători de teren (Torresan et al., 2017).

Stadiul actual al cunoștințelor evidențiază că reconstrucția ecologică a terenurilor haldate este un proces complex, controlat de interacțiunea dintre condițiile staționale, alegerea speciilor și tehnologia aplicată. Integrarea intervențiilor silvice cu procesele naturale de succesiune și utilizarea tehnologiilor moderne de monitorizare reprezintă direcții esențiale pentru creșterea eficienței restaurării ecosistemelor post-miniere (Bradshaw, 1997; Prach & Hobbs, 2008; Walker & del Moral, 2003).

4. EVALUAREA REUȘITEI ȘI COMPORTĂRII PLANTAȚIILOR DE SALCÂM (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) INSTALATE ÎN ANUL 2016 PE HALDELE DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ

O parte dintre rezultatele prezentate în acest capitol au fost valorificate anterior în lucrarea (BDI, prim autor):

Bogdan BODEA, Ruben BUDĂU, Adrian Ioan TIMOFTE - Aspects Regarding the Establishment of Acacia on the Sterile Dumps from Recea Șuncuiuș Quarry, Bihor County. Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului, 2022, Vol. XXXIX, (B+), pg. 61-66.

https://protmed.uoradea.ro/facultate/publicatii/protecția_mediului/2022B/silv/01.%20Bodea%20Bogdan.pdf

În cadrul prezentei teze, analiza a fost extinsă prin integrarea completă a datelor statistice, prin corelarea cu factorii staționali specifici haldei de steril și prin formularea unor recomandări silvice aplicative privind instalarea speciei *Robinia pseudoacacia* pe terenuri degradate.

4.1 INTRODUCERE

Capitolul analizează reușita plantațiilor de salcâm (*Robinia pseudoacacia* L.) instalate în anul 2016 pe haldele de steril din Cariera Recea – Șuncuiuș, pe baza evaluărilor realizate la șase ani de la plantare. Studiul urmărește comportarea speciei în condiții specifice terenurilor degradate, cu accent pe influența factorilor staționali, în special a pantei.

Salcâmul este utilizat frecvent în reconstrucția ecologică datorită toleranței la soluri sărace și instabile și capacității de instalare rapidă pe substraturi dificile (Panagopoulos & Hatzistathis, 1995; Ciuvăț et al., 2022). Cu toate acestea, performanța sa depinde de condițiile microstaționale, precum panta, stabilitatea substratului și disponibilitatea apei, care influențează atât supraviețuirea puieților, cât și creșterea acestora (Pietrzykowski, 2014a; Vítková et al., 2017).

Analiza se bazează pe măsurători dendrometrice realizate în 2022 pe 12 suprafețe de probă, incluzând diametrul la colet, înălțimea arborilor și gradul de menținere. Abordarea diferențiată pe categorii de pantă permite evaluarea relației dintre condițiile staționale și reușita plantației.

Rezultatele oferă o bază aplicativă pentru aprecierea eficienței utilizării salcâmului în reconstrucția ecologică forestieră pe haldele de steril și pentru identificarea unor direcții de optimizare a tehnologiilor de împădurire.

4.2 MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările au fost realizate în perioada august–octombrie 2022, pe Halda 2008 din perimetrul Cariera Recea – Șuncuiuș (jud. Bihor), unde în anul 2016 au fost instalați aproximativ 10.000 de puieți de salcâm (*Robinia pseudoacacia*), proveniența Carei. Plantarea s-a realizat după schema 2×1 m, fără pregătirea prealabilă a solului, ceea ce poate influența procentul de prindere și dezvoltarea ulterioară (Florescu, 1994; Budău & Timofte, 2016).

Factorul experimental analizat a fost panta terenului, structurată în trei variante:

P1: $< 5^\circ$

P2: $5\text{--}15^\circ$

P3: $> 15^\circ$

Pentru fiecare variantă au fost amplasate câte 4 suprafețe de probă (în total 12), de dimensiuni 10×10 m, distribuite pe întreaga suprafață a haldei (~50 ha).

În cadrul fiecărei suprafețe s-au realizat inventarieri integrale și măsurători dendrometrice, vizând:

- gradul de menținere a puieților (%),
- înălțimea,
- diametrul la colet,
- observații privind regenerarea vegetativă (lăstari, drajoni), condițiile edafice și instalarea altor specii.

Determinările s-au efectuat cu instrumente standard (șubler electronic, tijă gradată), iar datele au fost prelucrate statistic prin calculul mediilor și analiza varianței, utilizând teste de semnificație (DL și testul t) pentru evidențierea diferențelor între variante (Ardelean et al., 2002).

Metodologia adoptată permite evaluarea comparativă a influenței pantei asupra reușitei plantațiilor de salcâm și oferă un cadru experimental adecvat pentru interpretarea comportării speciei pe terenuri haldate.

4.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII

În ceea ce privește gradul de menținere după șase ani de la plantare a puieților de salcâm luați în studiu, datele tabelului 4.1 arată faptul că din 50 de puieți plantați în anul 2016 pe 100mp, se regăsesc în toamna anului 2022 doar 22 buc. în suprafața de probă S1P2 (cei mai puțini) și 31 de exemplare în S1P3 (cel mai mult). Astfel, gradul de menținere este situat între 44% și 62%.

Tabelul 4.1. Număr de plante și gradul de menținere după 6 ani de la plantare

Varianta, (categorii de pantă)	Număr de plante/grad de menținere pentru suprafața de probă...			
	S1	S2	S3	S4
P1	24/48	24/48	22/44	23/46
P2	22/44	25/50	26/52	27/54
P3	31/62	24/48	26/52	25/50

Conform figurii 4.1 se observă că gradul de menținere a puieților plantați crește liniar odată cu panta terenului, înregistrându-se un procent de 53% pentru terenurile cu pantă mare de peste 15°.

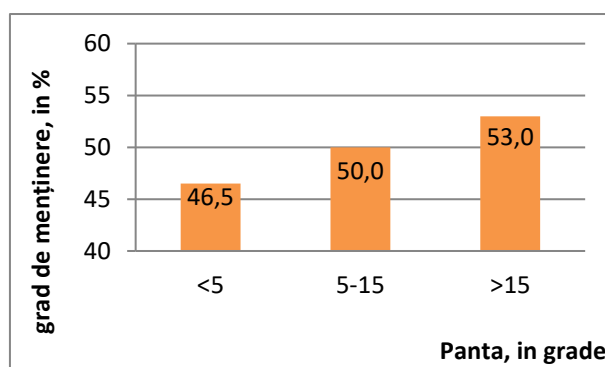


Figura 4.1. Reprezentarea mediilor celor 4 repetiții în ce privește gradul de menținere a puieților plantați

Pierderile înregistrate în plantațiile de salcâm după 6 ani se încadrează în limitele raportate în literatura de specialitate (19–94%), fiind considerate normale pentru această specie (Costea et al., 1996). În plus, regenerarea vegetativă (lăstari și drajoni) a contribuit la creșterea efectivului de exemplare, determinând o majorare medie de aproximativ **7,5%**, cu valori apropiate între variantele de pantă.

Analiza diametrului la colet evidențiază o **variabilitate ridicată până la foarte ridicată** în toate suprafețele de probă, reflectând heterogenitatea condițiilor staționale. Deși valorile medii ale diametrului au fost ușor mai mari pe pantele medii (P2, +7% față de martor), diferențele dintre variante nu sunt semnificative statistic.

Un comportament similar se observă și în cazul înălțimilor, unde variabilitatea este foarte mare pentru toate categoriile de pantă. Deși puietii de pe pantele medii au înregistrat valori medii mai ridicate (+11,1%), analiza statistică indică **lipsa unor diferențe semnificative** între variante.

În ansamblu, rezultatele arată că:

- salcâmul prezintă o capacitate bună de instalare și regenerare vegetativă;
- variabilitatea creșterilor este determinată în principal de heterogenitatea substratului;
- influența pantei asupra parametrilor biometrici (diametru și înălțime) este redusă și nesemnificativă statistic în condițiile analizate.

Aceste concluzii sugerează că factorii locali de microstațiune și proprietățile substratului au un rol mai important decât panta în determinarea reușitei plantațiilor de salcâm pe haldele de steril.

4.4 CONCLUZII

Analiza realizată la șase ani de la instalarea plantațiilor de salcâm indică faptul că **panta terenului nu influențează semnificativ statistic** gradul de menținere, diametrul și înălțimea puietilor. Totuși, valorile medii ușor mai ridicate înregistrate pe pantele medii (5–15°) sugerează existența unor **condiții microstaționale mai favorabile** în această categorie.

Rezultatele confirmă rolul pozitiv al împăduririlor în **stabilizarea substratului și reducerea eroziunii**, în special pe terenurile în pantă, unde vegetația forestieră contribuie la limitarea fenomenelor de șiroire și alunecare.

Plantarea este considerată necesară în special pe suprafețele neregenerate natural și pe terenurile cu pantă mare, unde salcâmul a demonstrat o **bună capacitate de adaptare**. În schimb, performanțele sunt reduse pe terenurile plane afectate de **exces de umiditate**, identificat ca principal factor limitativ pentru reușita culturilor.

De asemenea, **instabilitatea substratului** și eroziunea accentuată influențează negativ creșterea puietilor, iar **expoziția** joacă un rol important, versanții însoriți oferind condiții mai favorabile decât cei umbriți.

În ansamblu, reușita plantațiilor de salcâm pe halde este determinată mai ales de **factorii microstaționali (umiditate, stabilitate, expoziție)** decât de pantă, subliniind necesitatea adaptării intervențiilor silvice la condițiile locale.

5. EVALUAREA REUȘITEI ȘI A STĂRII DE SĂNĂTATE A PLANTAȚIILOR DE PIN NEGRU (*PINUS NIGRA* ARN.) INSTALATE ÎN PERIOADA 2008–2009 PE HALDELE DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIUȘ

O parte dintre rezultatele privind evoluția arboretului de pin negru (*Pinus nigra* Arn.) instalat în perioada 2008–2009 pe halda de steril din Cariera Recea au fost valorificate anterior (ca prim autor) în lucrările:

BODEA, B., BUDĂU, R., & TIMOFTE, A. I. (2023). Study on the Evolution of the Black Pine Stand (*Pinus nigra* Arn.) Artificially Installed on the Site of the Recea Șuncuiuș Quarry, Bihor County. *Analele Universității din Oradea, Fascicle: Environmental Protection*, Vol. XLI (2023B), 63–70. https://protmed.uoradea.ro/nou/images/Publicatii/Protectia-mediului/2023B/01_Bodea_Bogdan.pdf

BODEA, B., ENESCU, C. M., BUDĂU, R., & TIMOFTE, A. I. (2025). A comparative study on the evolution of planted black pine saplings on the sterile dumps from Recea Șuncuiuș Quarry, Bihor County. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXVIII, No. 1. ISSN 2285-5785; ISSN CD-ROM 2285-5793; ISSN Online 2285-5807; ISSN-L 2285-5785. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2025/issue_1/Art92.pdf

În cadrul prezentei teze, analiza este extinsă prin integrarea evaluărilor succesive ale stării de sănătate (2022–2025), prin corelarea parametrilor dendrometrici cu factorii staționali (pantă, expoziție, substrat) și prin formularea unei interpretări sintetice privind stabilitatea și vulnerabilitatea arboretului pe termen mediu.

5.1 INTRODUCERE

Capitolul analizează reușita și starea de sănătate a plantațiilor de **pin negru** (*Pinus nigra* Arn.), instalate în perioada 2008–2009 pe haldele de steril din Cariera Recea – Șuncuiuș, utilizând material săditor de proveniență locală. Evaluările realizate la peste 13 ani de la plantare permit aprecierea comportării speciei pe termen mediu și lung în condiții staționale restrictive.

Studiul, inițiat în 2023 și completat cu observații din perioada 2022–2025, vizează analiza integrată a:

- gradului de menținere;
- parametrilor dendrometrici (diametru, înălțime) în funcție de pantă;
- stării de sănătate (grad de vătămare, defoliere, decolorare a acelor).

Plantațiile sunt amplasate pe terenuri cu substrat instabil și fertilitate redusă, condiții în care pinul negru este considerat o specie adaptată și eficientă pentru stabilizarea terenurilor degradate (Panagopoulos & Hatzistathis, 1995; Pietrzykowski, 2014b).

Introducerea componentei fitosanitare este justificată de apariția, începând cu 2022, a simptomelor de declin asociate stresului hidric și variabilității climatice, factori recunoscuți pentru influența lor asupra sănătății arboretelor (Desprez-Loustau et al., 2006; Allen et al., 2010).

Prin corelarea analizelor dendrometrice cu cele fitosanitare, capitolul oferă o evaluare completă a vitalității și stabilității plantațiilor de pin negru în contextul reconstrucției ecologice forestiere pe terenuri haldate.

5.2 MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările s-au desfășurat în perioada decembrie 2022 – ianuarie 2023 pe Halda 2008 din Cariera Recea – Șuncuiuș (jud. Bihor), unde în anii 2008–2009 au fost instalate plantații de **pin negru** (*Pinus nigra*), cu o rată ridicată de prindere (până la 90%), exceptând zonele cu exces de umiditate și pante reduse. Plantarea s-a realizat după schema 2×2 m.

Factorul experimental analizat a fost **panta terenului**, structurată în trei categorii (P1 < 5°, P2: 5–15°, P3 > 15°). Pentru fiecare categorie au fost amplasate câte 2 suprafețe de probă (în total 6), de 10×10 m, în care s-au efectuat inventarieri integrale și măsurători dendrometrice.

Au fost analizați următorii parametri:

- gradul de menținere (la 13–14 ani),
- înălțimea arborilor,
- diametrul la colet,
- caracteristici suplimentare (verticile, ramificații, condiții edafice, regenerare naturală).

Măsurătorile au fost realizate cu instrumente specifice (șubler electronic, Vertex 5), iar datele au fost prelucrate statistic prin analiza varianței și teste de semnificație (Ardelean et al., 2002).

Evaluarea stării de sănătate a fost efectuată conform normelor tehnice în vigoare (OM 2533/2022), incluzând:

- gradul și tipul vătămarilor (biotice și abiotice),
- intensitatea acestora (scară 0–3),
- procentul de defoliere,
- procentul de decolorare a acelor.

Metodologia adoptată permite o evaluare integrată a performanței dendrometrice și a stării fitosanitare a plantațiilor de pin negru în funcție de condițiile staționale, în special panta terenului.

5.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII

După 13–14 ani de la plantare, pinul negru prezintă un **grad ridicat de menținere (72–96%)**, superior altor specii (ex. salcâm), cu valori maxime pe unele suprafețe (96%). Se evidențiază însă o **variabilitate mare a diametrelor**, influențată de condițiile staționale.

Diametrele medii la colet sunt apropiate între variante (≈ 8 – $8,3$ cm), iar **diferențele nu sunt semnificative statistic**, ceea ce indică o influență redusă a pantei asupra acestui parametru. În schimb, pentru înălțime se observă diferențe mai clare: varianta cu **pantă medie (5–15°)** înregistrează cele mai mari valori ($\approx 5,52$ m) și diferențe distinct semnificative față de martor.

Frecvența înfurcilor este influențată de pantă, fiind **maximă pe terenuri plane (23,1%)** și minimă pe pante mari ($\approx 4,4\%$), ceea ce indică o calitate mai bună a formei arborilor pe versanți.

Din punct de vedere fitosanitar, **vătămarile produse de insecte și factori abiotici sunt reduse**, însă agenții fungici determină afectări moderate, mai accentuate pe pante mici. Defolierea și decolorarea acelor sunt mai ridicate pe terenuri plane și medii (≈ 25 – 35%) și mai reduse pe pante mari, sugerând o **corelație inversă între pantă și intensitatea afectării**.

În ansamblu, pinul negru prezintă **stabilitate bună și adaptabilitate ridicată**, panta influențând semnificativ înălțimea, forma arborilor și starea fitosanitară, dar mai puțin diametrul la colet.

5.4 CONCLUZII

În urma analizei statistice a datelor obținute, s-a constatat că panta terenului nu influențează semnificativ gradul de menținere al puieților de pin negru și nici valorile diametrului mediu, la aproximativ 13 ani de la plantare (Figura 5.1). Acest rezultat indică o bună capacitate de adaptare a speciei la condițiile geomorfologice variate ale haldelor de steril din perimetrul Cariera Recea.

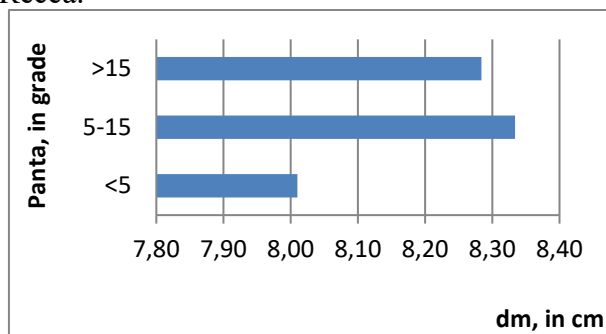


Figura 5.1. Reprezentarea diametrelor medii pe categorii de pantă

În ceea ce privește înălțimea arborilor, analiza statistică evidențiază existența unor diferențe distinct semnificative între categoriile de pantă analizate. Astfel, pe pantele medii (5–15°), valorile medii ale înălțimilor sunt semnificativ mai mari comparativ cu cele înregistrate pe pantele reduse (Figura 5.2).

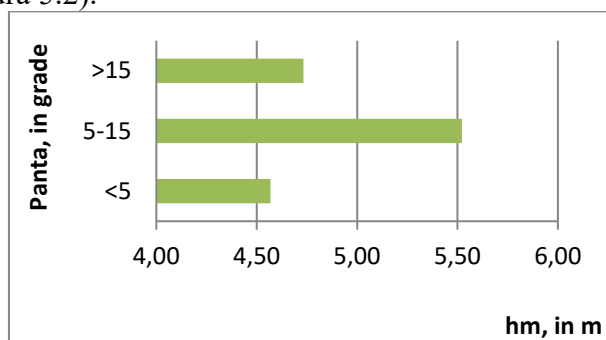


Figura 5.2. Reprezentarea înălțimilor medii pe categorii de pantă

Gradul de menținere al pinului negru crește odată cu panta, atingând valori de până la 90% pe terenurile înclinate ($>15^\circ$), ceea ce indică o adaptare bună în aceste condiții. Arboretul a avut inițial o stare bună de sănătate, însă în ultimii ani a fost afectat de boli foliare (*Lophodermium*, *Dothistroma*, *Sphaeropsis*, *Cyclaneusma*), favorizate de secetă și variații climatice.

Atacurile au fost mai intense pe versanții însoriți, determinând reducerea creșterilor și apariția unor boli complexe. Evaluările recente (2025) indică o ușoară ameliorare a stării de sănătate, deși defolierea și decolorarea rămân mai accentuate pe pantele mici.

În ansamblu, factorii limitativi principali sunt stresul hidric și fertilitatea scăzută a substratului, iar regenerarea naturală apare mai ales pe terenuri cu pantă redusă, fiind slabă pe pantele mari.

6. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A EVOLUȚIEI PUIEȚILOR DE PIN NEGRU (*PINUS NIGRA* ARN.) PROVENIENȚĂ AUSTRIA PLANTAȚI ÎN 2023 ÎN CONDIȚII DE PANTĂ ȘI FERTILIZARE DIFERENȚIATE

O parte dintre rezultatele privind evoluția puieților de pin negru (*Pinus nigra* Arn.), proveniență Austria, plantați în anul 2023 pe halda de steril din Cariera Recea – Șuncuiuş, au fost valorificate anterior (ca prim autor) în lucrările:

Bodea, B., Mălai, F. O., & Timofte, A. I. (2024). Comparative analysis of the annual growth of black pine and Scots pine saplings planted in 2023 on the degraded land in Recea Quarry, Suncuiuş, Bihor County. *Annals of the University of Oradea, Fascicle: Environmental Protection*, 42(2024A), 73–78. https://protmed.uoradea.ro/nou/images/Publicatii/Protectia-mediului/2024A/03_Forestry/01_Bodea_Bogdan.pdf

Bodea, B., Enescu, C. M., Budău, R., & Timofte, A. I. (2025). A comparative study on the evolution of planted black pine saplings on the sterile dumps from Recea Șuncuiuş Quarry, Bihor County. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 68(1). Vol. LXVIII, No. 1, ISSN 2285-5785; ISSN CD-ROM 2285-5793; ISSN Online 2285-5807; ISSN-L 2285-5785 (ISI) https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2025/issue_1/Art92.pdf

În cadrul prezentei teze, analiza este extinsă prin integrarea măsurătorilor realizate în perioada 2023–2025, prin aplicarea unei analize factoriale bifactoriale (pantă × fertilizare), prin evaluarea variabilității biologice (abatere standard, coeficient de variație) și prin interpretarea mecanismelor ecologice care controlează dinamica de creștere a puieților în condițiile staționale specifice haldei de steril.

6.1 INTRODUCERE

Capitolul analizează evoluția puieților de pin negru) de proveniență austriacă, plantați în 2023 pe haldele de steril din Cariera Recea, urmărind comportarea acestora în primii trei ani de vegetație.

Studiul vizează capacitatea de adaptare a materialului săditor în condiții edafice restrictive, având în vedere importanța provenienței genetice asupra performanței (Rafii & Dodd, 2007; Jaramillo-Correa et al., 2010). Dispozitivul experimental testează influența pantei și a fertilizării asupra creșterii inițiale.

Evaluările includ gradul de prindere, parametrii dendrometrici și dinamica creșterilor, oferind o bază pentru aprecierea eficienței utilizării acestei proveniențe în reconstrucția ecologică pe terenuri haldate.

6.2 MATERIAL ȘI METODĂ

Studiul urmărește creșterea și aclimatizarea puieților de **pin negru** în condițiile haldelor de steril, în faza de instalare și în primii ani de vegetație. În primăvara anului 2023 au fost organizate **patru suprafețe experimentale** (50 m² fiecare), cu câte 25 de puieți plantați după schema 2 × 1 m.

Experimentul a fost conceput pentru a testa influența **pantei** ($\leq 10^\circ$ / $> 10^\circ$) și a **fertilizării** (**fertilizat** / **nefertilizat**), rezultând patru variante experimentale. Suprafețele au fost amplasate pe terenuri unde regenerarea naturală și plantările anterioare au avut rezultate slabe, inclusiv pe taluzuri cu pante mari (30–40°) și pe terase afectate de exces de umiditate.

Tehnologia de plantare a inclus utilizarea de puieți în containere, introducerea de sol vegetal și turbă, precum și adaptarea la substratul argilos al haldei. Pe pantele mari au fost aplicate măsuri de **stabilizare mecanică** (zidărie din piatră uscată).

În plus, au fost introduse exemplare de alun, cu rol în îmbunătățirea substratului prin aport de materie organică și nutrienți (Gupta & Malik, 1999; Berg & McClaugherty, 2003).

Metodologia urmărește reducerea variabilității staționale, deși heterogenitatea substratului haldat rămâne un factor limitativ important.

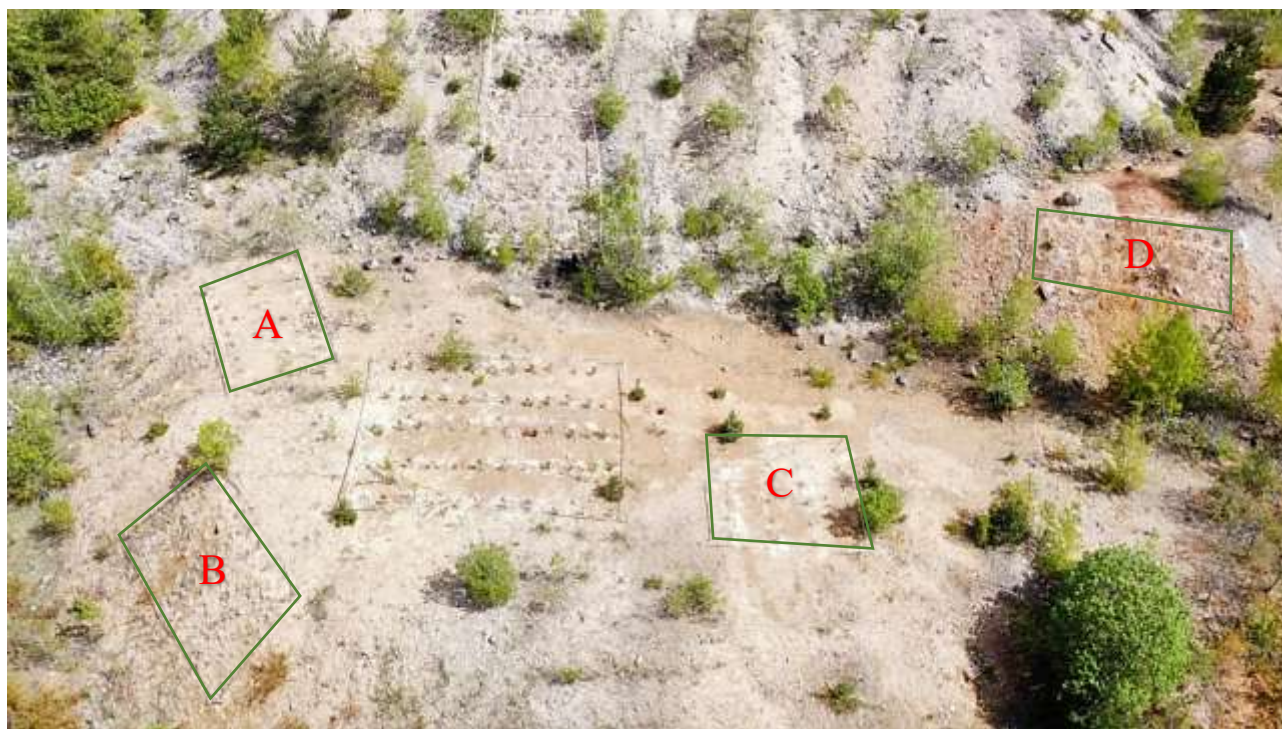


Figura 6.1. Amplasarea celor 4 suprafețe de probă

Rezumat – fertilizare și măsurători

Fertilizarea a fost aplicată la jumătate dintre variante imediat după plantare, utilizând un îngrășământ complex pentru rășinoase (N, P, K, Mg, S și microelemente), în doză de aproximativ **20 g/puieț**.

Monitorizarea biometriei s-a realizat etapizat: la plantare (2023), la finalul primului an de vegetație și ulterior în anii 2024–2025, pentru evaluarea evoluției pe termen scurt.

Au fost analizate principalele caracteristici de creștere și dezvoltare:

- gradul de prindere și menținere,
- înălțimea,
- diametrul la colet,
- numărul de verticile și ramuri.

Măsurătorile au fost efectuate cu instrumente standard (șubler și ruletă), metodologia permițând evaluarea comparativă a efectelor fertilizării și a condițiilor staționale asupra dezvoltării puieților.



A



B

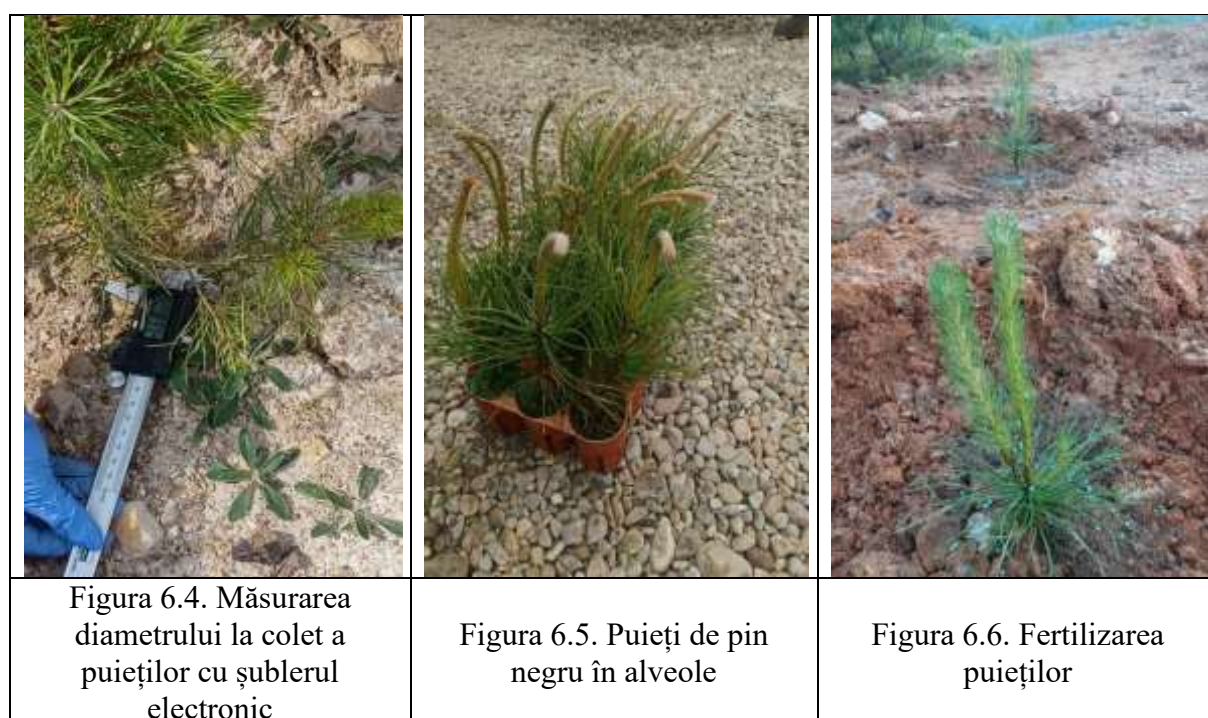


C



D

Figura 6.2. Pin negru – Cele 4 suprafețe experimentale



În continuare sunt prezentate rezultatele obținute în primul an de vegetație (2023), analizate detaliat din punct de vedere biometric și statistic, în vederea evidențierii influenței factorilor experimentali asupra creșterilor inițiale ale puietilor de pin negru.

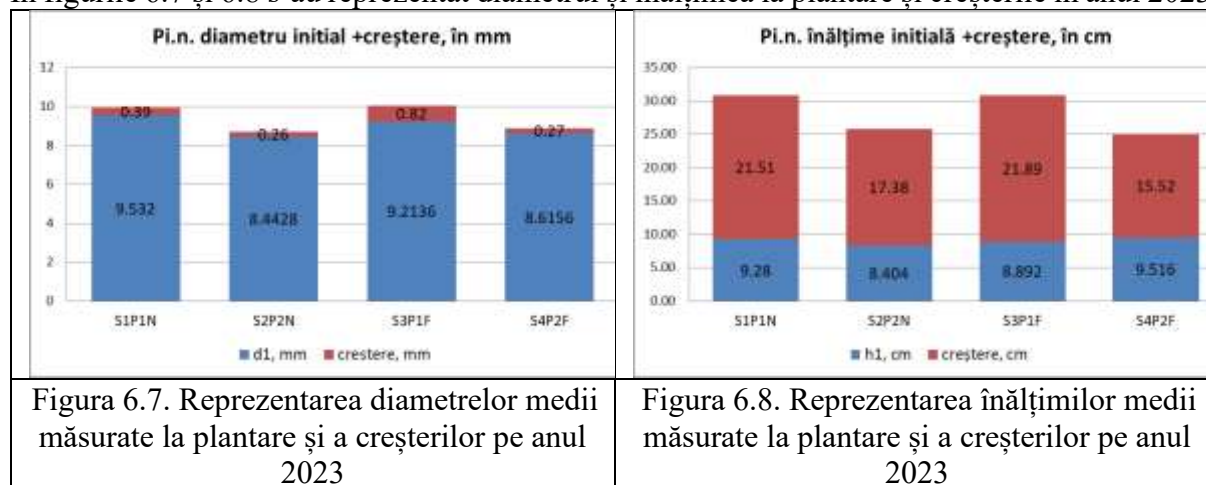
6.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII – ANUL I DE VEGETAȚIE (2023)

Puietii utilizați la instalarea experienței au avut vârsta de un an și au prezentat o uniformitate dimensională corespunzătoare claselor I și II de calitate. Înainte de plantare au fost efectuate măsurători privind înălțimea și diametrul la colet, pentru verificarea omogenității materialului biologic. Puietii, la plantarea din 2023, au avut vârsta de un an la pinul negru prezentând, practic, valori dimensionale destul de apropiate, pentru înălțimea tulpinii și grosimea acesteia la colet. Măsurătorile executate asupra tuturor puietilor, înainte de plantare, au confirmat încadrarea acestora în clasele I și II de calitate, din punctul de vedere al înălțimii tulpinilor și al diametrului mediu al acestora la colet. Rezultatele concrete ale acestor măsurători sunt prezentate în tabelul 6.1.

Tabel 6.1. Mediile diametrelor și înălțimilor măsurate în primăvara și toamna anului 2023 la *P. nigra*

COD	Varianta	Ø la colet, mm		Înălțimea, cm	
		03.2023	11.2023	03.2023	11.2023
Pi.n. - S1P1N	A	9.53	9.92	9.28	30.79
Pi.n. - S2P2N	B	8.44	8.70	8.40	25.79
Pi.n. - S3P1F	C	9.21	10.03	8.89	30.78
Pi.n. - S4P2F	D	8.62	8.89	9.52	25.04
Medii		8.95	9.38	9.02	28.10

În figurile 6.7 și 6.8 s-au reprezentat diametrul și înălțimea la plantare și creșterile în anul 2023.



Tabelele 6.2 și 6.3 confirmă uniformitatea materialului plantat precum și faptul că, în momentul plantării, între puieti nu au existat diferențe semnificative în ceea ce privește înălțimea puietilor și diametrul acestora la colet.

Datele primare, înregistrate pe câte 25 de indivizi din prima variantă (A) luată în studiu (fără pantă, nefertilizat), arată că înălțimea puietilor, la sfârșitul primului an de vegetație după plantare, a variat între 22–42 cm, cu un coeficient de variabilitate al acestui caracter de 14,8% (variabilitate mijlocie).

Calcularea și interpretarea rezultatelor obținute în experiențe de câmp bifactoriale cuprinde:

Factorul A: modul de fertilizare, cu graduările: N=nefertilizat
F=fertilizat

Factorul B: panta, cu graduările: P1= 0-10° și P2 > 10°.

Experiența a fost așezată după metoda blocurilor randomizate, în 25 repetiții ($n=b=25$). Numărul de variante al experienței ($v=4$) rezultă din înmulțirea graduărilor celor doi factori experimentali ($2 \times 2=4$).

Fiecare suprafață de probă a cuprins un număr de 25 puieți, valoarea creșterii înălțimii puieților, pentru suprafața-repetiție, fiind obținută ca medie a măsurătorilor efectuate la cei 25 puieți ai suprafeței de probă.

Analiza varianței evidențiază diferențe foarte semnificative a creșterilor în înălțime a puieților pe o pantă mare față de varianta martor – NP1 nefertilizat, pe pantă redusă.

În ceea ce privește gradul de menținere după plantare, în anul 2023 pierderile au fost foarte mici, de 1% (1 exemplar din 100 s-a uscat).

6.4 EVOLUȚIA PINULUI NEGRU ÎN PERIOADA 2023–2025

6.4.1 Cadru experimental, momente de măsurare și logică factorială

Specia analizată: *Pinus nigra*. Studiul urmărește evoluția biometriei (înălțime și diametru la colet), a creșterilor anuale și a unor caractere morfologice (înfurcire, verticile, ramificație) în perioada **04.2023–11.2025**.

Momente de măsurare utilizate în analiză:

- **04.2023** – plantare (H_{initial} , d_{initial})
- **11.2023** – sfârșit sezon 2023 (H_{2023} , d_{2023})
- **11.2024** – sfârșit sezon 2024 (H_{2024} , d_{2024})
- **11.2025** – sfârșit sezon 2025 (H_{2025} , d_{2025})

În varianta B (S2P2N) un puiet s-a uscat în perioada de vegetație; acesta nu a fost înlocuit și nu a fost inclus în calculele prezentate ($n=24$).

Structura variantelor (factorial pantă $\times$ fertilizare):

- **A – Pi.n. S1P1N:** pantă mică $P1 \leq 10^\circ$, substrat **nefertilizat (N)**
- **B – Pi.n. S2P2N:** pantă mare $P2 > 10^\circ$, substrat **nefertilizat (N)**
- **C – Pi.n. S3P1F:** pantă mică $P1 \leq 10^\circ$, substrat **fertilizat (F)**
- **D – Pi.n. S4P2F:** pantă mare $P2 > 10^\circ$, substrat **fertilizat (F)**

În consecință, comparațiile biologice corecte sunt:

- **A vs C:** efect fertilizare pe pantă mică
- **B vs D:** efect fertilizare pe pantă mare
- **A vs B:** efect pantă în condiții nefertilizate
- **C vs D:** efect pantă în condiții fertilizate

6.4.2 Supraviețuire și instalarea culturii (2023–2025)

În total au fost plantați **100 puieți** ($4 \text{ variante} \times 25$). În 11.2025 sunt vii **99 puieți**, rezultând o rată totală de supraviețuire de **99%**.

Supraviețuirea foarte ridicată indică o instalare reușită a culturii, cu mortalitate punctuală (1 exemplar în B). Din perspectivă stațională, scăderea la B (pantă mare, N) este coerentă cu un stres mai pronunțat (hidric și/sau de stabilitate a substratului), mai ales în primul an după plantare.

6.4.3 Evoluția înălțimii (H) în perioada 04.2023–11.2025

6.4.3.1 Valori medii pe momente de măsurare

Toate variantele cresc substanțial între 04.2023 și 11.2025. Se observă:

- avantaje consistente ale pantei mici în raport cu panta mare (C vs D; A vs B, la momentele finale),
- o diferențiere în 11.2025, unde **D** are valoarea medie cea mai redusă.

Figura 6.9 (evoluția înălțimii) sintetizează grafic traiectoriile și evidențiază faptul că diferențierea între condiții devine mai clară odată cu trecerea timpului.

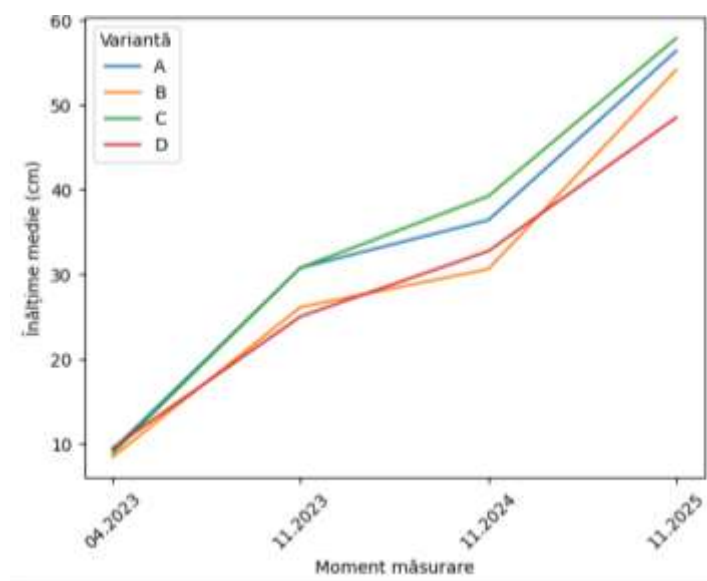


Figura 6.9. Evoluția înălțimii (04.2023–11.2025)

6.4.3.2 Creșteri anuale (H) și creștere totală

- **2023** (instalare): creșterile sunt mai mari pe pantă mică (A și C), ceea ce sugerează condiții mai stabile pentru prindere și refacere radiculară.
- **2024**: creșterile medii sunt relativ mai mici în A și B, dar cresc în C și D. Variabilitatea (s mare) indică reacții individuale diferite, tipice în culturile juvenile pe substrat heterogen.
- **2025**: creșterile cresc semnificativ, ceea ce poate marca trecerea într-o etapă de funcționare mai eficientă a sistemului radicular și a aparatului fotosintetic.
- **total 3 ani**: cea mai mare creștere totală este la C, iar cea mai mică la D, sugerând că fertilizarea este eficientă pe pantă mică, dar pe pantă mare apar limitări/efecte de interacțiune.

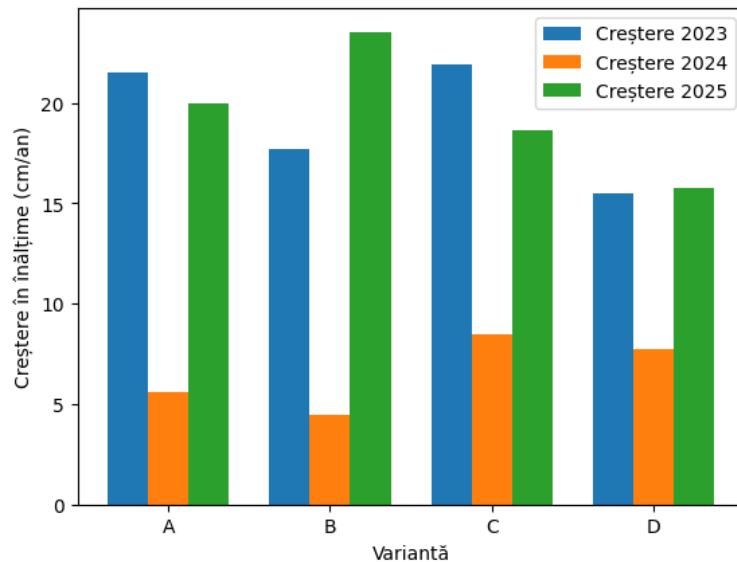


Figura 6.10. Creșteri anuale în înălțime (2023, 2024, 2025)

6.4.4 Evoluția diametrului la colet (d) în perioada 04.2023–11.2025

În perioada 04.2023–11.2025, evoluția diametrului la colet evidențiază diferențe clare între variante, influențate de pantă și fertilizare. În 2025, valorile maxime ale diametrului sunt înregistrate la varianta C (24,9 mm), iar cele minime la varianta B (19,8 mm).

Panta are un efect pronunțat, terenurile cu pantă mică (P1) favorizând diametre mai mari comparativ cu pantele mari (P2), atât în condiții nefertilizate, cât și fertilizate. Fertilizarea pe pantă mică determină un spor evident al diametrului ($C > A$), indicând un efect pozitiv asupra creșterii cambiale.

Creșterile anuale sunt reduse în 2023, ca urmare a adaptării post-plantare, dar cresc semnificativ în perioada 2024–2025, marcând intrarea într-o fază de dezvoltare activă. Varianta C înregistrează cele mai mari creșteri totale, confirmând eficiența fertilizării în condiții favorabile.

Pe pante mari, fertilizarea are un efect pozitiv ($D > B$), dar nu compensează complet limitările staționale, menținând diferențe față de variantele de pe terenuri mai stabile. În ansamblu, diametrul este puternic influențat de interacțiunea dintre pantă și fertilizare.

6.4.5 Analiză statistică formală (ANOVA bifactorială pantă $\times$ fertilizare)

Pentru anul 2025 și pentru creșterile totale (04.2023–11.2025) s-a aplicat ANOVA 2 $\times$ 2:

- factor 1: **Pantă** ($P1 \leq 10^\circ$ vs $P2 > 10^\circ$)
- factor 2: **Fertilizare** (N vs F)
- interacțiune: Pantă $\times$ Fertilizare

Interpretare:

- **Pantă** are efect **semnificativ** asupra înălțimii în 2025 ($p < 0,01$).
- Fertilizarea nu este semnificativă la nivel global ($p > 0,05$).
- Interacțiunea este **aproape semnificativă** ($p \approx 0,069$), sugerând că răspunsul la fertilizare poate depinde de pantă.

ANOVA 2 $\times$ 2 pentru diametru în 11.2025

Interpretare:

Pantă are efect **foarte semnificativ** asupra diametrului ($p \ll 0,001$).

- Fertilizarea este **marginală** ($p \approx 0,09$), ceea ce sugerează un efect posibil, dar insuficient de robust în acest set de date.
- Interacțiunea nu este semnificativă.

ANOVA 2×2 pentru creșterea totală în înălțime

Interpretare:

- Pantă: efect semnificativ ($p < 0,01$).
- Fertilizare: nesemnificativ global.
- **Interacțiunea Pantă $\times$ Fertilizare este semnificativă ($p \approx 0,025$)**
- **efectul fertilizării asupra creșterii în înălțime diferă în funcție de pantă.**

6.4.6 Interpretare factorială clară (medii pe niveluri: pantă $\times$ fertilizare)

Interpretare:

- Pe **pantă mică**, fertilizarea are efect pozitiv clar
- Pe **pantă mare**, fertilizarea crește ușor diametrul, dar **nu crește înălțimea** în acest set (H_2025: 48,52 în F vs 54,17 în N).

Aceste rezultate explică **interacțiunea semnificativă** la ΔH_{total} : răspunsul la fertilizare nu este uniform, ci depinde de pantă.

Există câteva explicații biologice coerente pentru faptul că pe pantă mare fertilizarea nu se traduce automat în creștere axială:

1. **Limitarea hidrică:** pe pantă mare, drenajul și scurgerea superficială reduc apa disponibilă; nutrienții suplimentari nu pot fi valorificați fără apă (transport, asimilare, turgescență).
2. **Levigare/instabilitate:** nutrienții pot fi spălați mai rapid (mai ales N), crescând eficiența redusă a fertilizării.
3. **Alocare diferită a resurselor:** în condiții stresante, puietul poate alocă relativ mai mult către rădăcini și menținere (supraviețuire) decât către alungire.
4. **Efect osmotic / concentrații locale:** pe un substrat sărac și uscat, fertilizarea punctuală poate crește temporar salinitatea/șocul osmotic (în special imediat după aplicare), ceea ce penalizează creșterea în înălțime, chiar dacă diametrul poate continua să crească moderat.

6.4.7 Distribuții și variabilitate biologică (2025)

Distribuțiile sunt utile pentru a arăta că diferențele nu sunt doar „pe medie”, ci și în structură (heterogenitate).

- distribuția înălțimii la 11.2025: sugerează dispersie mai mare în unele variante, posibil datorată microstațiunilor (umiditate, compactare, textură substrat).
- distribuția diametrului: confirmă că diametrul este sensibil la pantă și mai “stabil” ca interpretare pentru consolidarea mecanică.

6.4.8 Infurcări frecvență, diferențe între variante și explicații

Interpretare:

- Total infurciți: **9/99 (9,1%)**.
- Frecvența maximă: **D (16%)**.
- Frecvența minimă: **C (4%)**.

Explicații posibile (coerente silvic/eco-fiziologic):

- înfurcirea apare frecvent după **afectarea mugurelui terminal** (mecanic, desicare, vătămări), urmată de dezvoltarea a doi lăstari concurenți;
- pe pantă mare, stresul hidric/termic și instabilitatea substratului cresc probabilitatea de microvătămări și dezechilibre de creștere;
- fertilizarea pe pantă mare poate amplifica uneori ramificarea laterală dacă dominanța apicală este slăbită (context dependent).

6.4.9 Structura coroanei: verticile și ramuri/verticil

Interpretare:

- Valorile sunt tipice fazei juvenile: ~1–2 verticile și ~2–3 ramuri/verticil.
- **D** are cea mai mică medie de verticile (1,16), coerent cu o creștere generală mai limitată (H și d mai mici), indicând o dezvoltare coronară mai redusă în condiții staționale mai stresante (pantă mare).
- Ramificarea (ramuri/verticil) este relativ similară între variante; diferențele sunt mici, sugerând că **factorii staționali** influențează mai mult formarea etajelor (verticile) decât numărul de ramuri pe etaj.

6.4.10 Discuție integrată: mecanisme ecologice și fiziologice

Analiza statistică confirmă faptul că **panta este factorul ecologic dominant**, având efect semnificativ asupra înălțimii și diametrului în 2025, precum și asupra creșterilor totale. Aceasta controlează procese esențiale precum **hidrologia, stabilitatea substratului, microclimatul și disponibilitatea nutrienților**, influențând direct funcționarea ecofiziologică a plantelor. Pe pante mari, condițiile conduc la **reducerea potențialului hidric și a expansiunii celulare**, limitând creșterea.

Fertilizarea nu este global semnificativă statistic, dar are **importanță biologică clară**, fiind eficientă în special pe pante mici, unde condițiile sunt favorabile. Pe pante mari, efectul este limitat, ceea ce evidențiază o **interacțiune între factori**, tipică ecosistemelor în restaurare, unde nutrienții devin importanți doar dacă alți factori nu sunt limitativi.

Diametrul la colet se dovedește un **indicator mai robust al vigoriei**, reflectând balanța de carbon și stabilitatea structurală. Influența puternică a pantei asupra acestuia indică impactul direct al stresului stațional asupra dezvoltării arborilor.

Înfurcirea apare ca un **indicator sensibil al stresului**, cu frecvență mai mare în condiții nefavorabile. Aceasta poate fi utilizată ca parametru calitativ în evaluarea culturilor și poate fi corectată prin intervenții silvotehnice.

6.5 CONCLUZII

Rezultatele obținute în perioada 2023–2025 indică o **instalare foarte reușită** a puieților de pin negru de proveniență austriacă, cu un grad de menținere de 99%, confirmând eficiența materialului săditor și a tehnologiei de plantare.

Creșterile în înălțime și diametru au fost pozitive în toate variantele, evidențiind depășirea fazei critice de instalare. **Panta terenului** s-a dovedit factorul principal care influențează dezvoltarea, în timp ce efectul fertilizării a fost variabil și dependent de condițiile staționale.

Puieții au demonstrat o **bună capacitate de adaptare**, iar structura lor este normală pentru stadiul juvenil, cu un nivel redus de infurcire. În ansamblu, cultura prezintă stabilitate și potențial bun de evoluție, susținând utilizarea acestei proveniențe în reconstrucția ecologică a terenurilor haldate, cu adaptarea tehnologiei la condițiile locale.

7. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A EVOLUȚIEI PUIEȚILOR DE PIN SILVESTRU (*PINUS SYLVESTRIS* L.), PROVENIENȚĂ LOCALĂ PLANTAȚI ÎN 2023 ÎN CONDIȚII DE PANTĂ ȘI FERTILIZARE DIFERENȚIATE

O parte dintre rezultatele privind evoluția puietilor de pin silvestru (*Pinus sylvestris* L.), proveniență locală, plantați în anul 2023 pe halda de steril din Cariera Recea – Șuncuiș, au fost valorificate anterior în lucrările (ca prim autor):

Bodea, B., Mălai, F. O., & Timofte, A. I. (2024). Comparative analysis of the annual growth of black pine and Scots pine saplings planted in 2023 on the degraded land in Recea Quarry, Suncuiș, Bihor County. *Annals of the University of Oradea, Fascicle: Environmental Protection*, 42(2024A), 73–78. https://protmed.uoradea.ro/nou/images/Publicatii/Protectia-mediului/2024A/03_Forestry/01_Bodea_Bogdan.pdf

Bodea, B., Enescu, M., Hăruța, O. I., Moga, C. E., Budău, R., & Timofte, A. I. (2025). Analysis of diameter and height growth of Scots pine saplings planted in 2023 on the sterile dumps of Recea Șuncuiș Quarry, Bihor County. Conferința Internațională „Agriculture for Life, Life for Agriculture”, 5–7 iunie 2025, București, România. ISSN 2285-6064. <https://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2025/vol2025.pdf>

În prezenta teză, analiza este extinsă prin integrarea măsurătorilor realizate în perioada 2023–2025, prin aplicarea unei analize factoriale complete (pantă × fertilizare), prin evaluarea variabilității biologice (abatere standard, coeficient de variație), precum și prin analiza structurii coroanei și a frecvenței înfurcilor. Această abordare permite o interpretare integrată a proceselor de aclimatizare și adaptare a speciei în condițiile staționale specifice haldei de steril.

7.1 INTRODUCERE

Obiectivul principal al acestui capitol este de a analiza introducerea și testarea reconstrucției ecologice în zona carierei Recea, cu ajutorul puietilor de Pin silvestru (*Pinus sylvestris* L.), cu proveniență locală, din pepiniera Șuncuiș, jud. Bihor, România, prin realizarea a 4 loturi experimentale (figura 7.1, 7.2) în zona carierei Recea, Șuncuiș.

Cercetările au urmărit modul de creștere, aclimatizare și manifestare ale pinului silvestru în perioada de instalare și perioada imediat următoare (2023-2025).

Materialul biologic a constat în puieti proveniți din sămânță, având vârsta de trei ani și o înălțime medie de 30 cm. Plantarea în câmpul experimental a fost realizată la sfârșitul lunii aprilie 2023, în condiții de sol și climă similare. Întârzierea plantării a fost cauzată de condițiile climatice nefavorabile din luna martie.

Pinul de pădure (*Pinus sylvestris* L.) este unul din cele mai răspândite conifere din Eurasia. Pinul silvestru este o specie recomandată pentru împădurirea terenurilor degradate datorită adaptabilității sale ridicate. Acesta poate crește pe soluri sărace, nisipoase, pietroase sau acide, unde alte specii întâmpină dificultăți.



Figura 7.1. Amplasarea celor 4 suprafețe de probă cu Pin silvestru

Reîmpădurirea terenurilor degradate cu specii de pin aduce beneficii ecologice importante, însă succesul depinde de condițiile locale de mediu, precum solul și clima (Bobreshov et al., 2024). Studiile arată că astfel de intervenții contribuie la **îmbunătățirea biodiversității solului** și la creșterea activității biologice (Xue et al., 2022).

Pinul silvestru se remarcă prin **toleranța la secetă**, sistem radicular profund și capacitatea de a stabiliza solurile erodate. Datorită adaptabilității ecologice și creșterii relativ rapide, acesta reprezintă o specie eficientă pentru refacerea ecosistemelor degradate și prevenirea proceselor de degradare a terenurilor (Milescu, 2006; Doniță et al., 2004).

7.2 MATERIAL ȘI METODĂ

Studiul analizează creșterea și adaptarea puieților de **pin silvestru** în perioada 2023–2025, în condițiile specifice haldelor de steril din Cariera Recea. În primăvara anului 2023 au fost instalate **patru câmpuri experimentale** (50 m² fiecare), cu puieți de 3 ani, plantați după schema 2 × 1 m.

Experimentul a urmărit influența a doi factori principali: **panta** ($\leq 10^\circ$ / $> 10^\circ$) și **fertilizarea** (fertilizat / nefertilizat). Au fost monitorizați parametri precum gradul de prindere și menținere, înălțimea, diametrul la colet și elemente de structură (verticile, ramuri).

Fertilizarea a fost aplicată pe jumătate din variante, utilizând un îngrășământ complex pentru rășinoase. Măsurătorile au fost realizate periodic în anii 2023–2025, folosind instrumente standard.

Metodologia permite evaluarea comparativă a comportării pinului silvestru în funcție de condițiile staționale, în contextul heterogenității specifice substraturilor haldate.

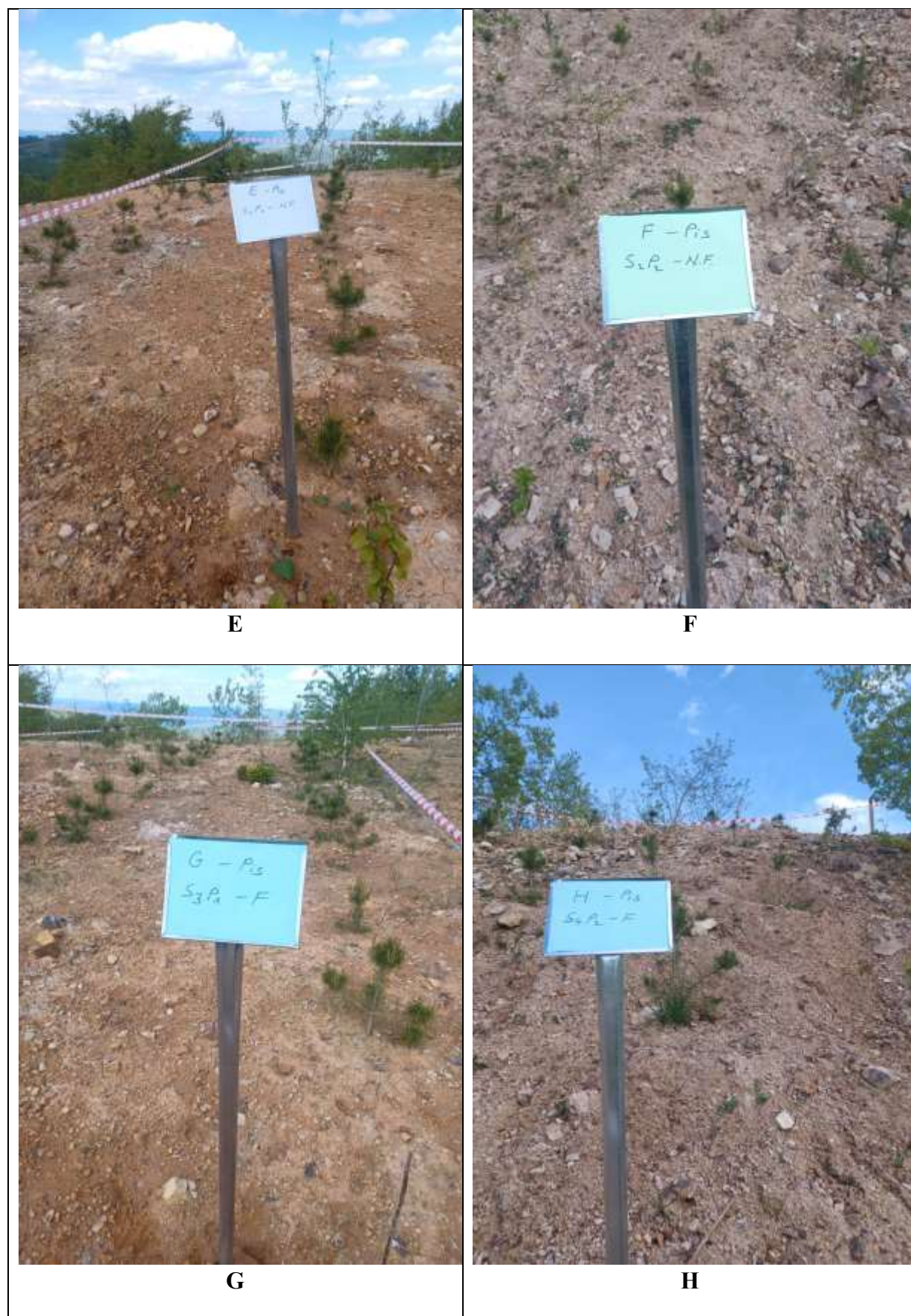


Figura 7.2. Pin silvestru – Cele 4 suprafețe experimentale



Figura 7.3. Măsurarea înălțimii puieților cu ruleta, în toamna anului 2024



Figura 7.4. Măsurarea diametrului la colet a puieților cu șublerul electronic



Figura 7.5. Plantarea puieților cu rădăcină protejată cu pământ de împrumut



Figura 7.6. Rând cu puieți fertilizați de pin silvestru pe teren plan, primavara 2023

În anul I de vegetație (2023), puieții de *Pinus sylvestris*, în vârstă de 3 ani la plantare, au prezentat dimensiuni inițiale relativ uniforme, fiind încadrați în clasele I și II de calitate.

7.3 REZULTATE ȘI DISCUȚII - ANUL I DE VEGETAȚIE (2023)

Pentru varianta martor (fără pantă, nefertilizată), înălțimea puieților la sfârșitul primului an a variat între 25 și 67,5 cm, cu un coeficient de variație de 23,8%, indicând o variabilitate mare.

Evaluarea corectă a creșterilor s-a realizat prin diferența dintre înălțimea finală și cea inițială, în cadrul unui experiment bifactorial ce a analizat influența fertilizării (N/F) și a pantei (P1: 0–10°, P2: >10°).

Experimentul a fost organizat în blocuri randomizate, cu 4 variante și 25 repetiții, fiecare suprafață conținând 25 puieți. Creșterea în înălțime a fost exprimată ca valoare medie pe suprafață, oferind o bază solidă pentru analiza influenței factorilor experimentali asupra dezvoltării în primul an.

Din calculul varianței se poate observa că valorile F calculate pentru pantă sunt superioare valorilor F teoretice pentru P_{5%}. Aceasta înseamnă că influența factorului pantă asupra creșterii înălțimii puieților în anul I de la plantare, este reală, adevărată.

Rezultate:

- indiferent de pantă, fertilizarea aplicată nu imprimă puieților o creștere semnificativă;
- indiferent de fertilizarea aplicată, panta influențează negativ creșterea puieților dar nesemnificativ.

7.4 EVOLUȚIA PINULUI SILVESTRU (plantat în 2023) ÎN PERIOADA 2023–2025

Modul de lucru este similar ca și la punctul 6.4 pentru pinul negru austriac.

7.4.1 Cadru experimental, momente de măsurare și logică factorială

Specia analizată: *Pinus sylvestris*. Studiul urmărește evoluția biometriei (înălțime și diametru la colet), a creșterilor anuale și a caracterelor morfologice (inf., verticile, ramuri/verticil) în perioada **04.2023–11.2025**.

Momente:

- **04.2023** – plantare (H_{initial}, d_{initial})
- **11.2023** – sfârșit sezon 2023 (H₂₀₂₃, d₂₀₂₃)
- **11.2024** – sfârșit sezon 2024 (H₂₀₂₄, d₂₀₂₄)
- **11.2025** – sfârșit sezon 2025 (H₂₀₂₅, d₂₀₂₅)

Notă: măsurătoarea din noiembrie este considerată valabilă pentru primăvara următoare.

Structura variantelor (pantă × fertilizare):

- **E – S1P1N:** P1≤10°, N
- **F – S2P2N:** P2>10°, N
- **G – S3P1F:** P1≤10°, F
- **H – S4P2F:** P2>10°, F

Comparații:

- E vs G (fertilizare pe pantă mică)
- F vs H (fertilizare pe pantă mare)
- E vs F (efect pantă în N)
- G vs H (efect pantă în F)

7.4.2 Supraviețuire și instalarea culturii (2023–2025)

În total au fost plantați 100 puieți (4×25). În 11.2025 sunt vii 98 puieți (2 ușați în F).

Supraviețuirea este ridicată (98%), cu mortalitate punctuală în **F (P2, N)**.

7.4.3 Evoluția înălțimii (H) în perioada 04.2023–11.2025

7.4.3.1 Valori medii pe momente

Toate variantele cresc constant. În 11.2025, G are valoarea maximă, iar diferențierea între fertilizat și nefertilizat este clară.

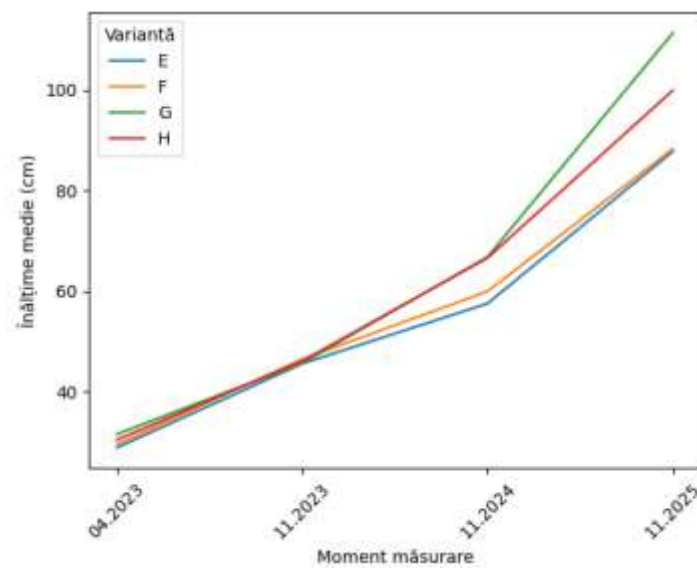


Figura 7.7. Evoluția înălțimii (04.2023–11.2025)

7.4.3.2 Creșteri anuale și total

Definiții:

- $\Delta H_{2023} = H_{11.2023} - H_{initial}$
- $\Delta H_{2024} = H_{11.2024} - H_{11.2023}$
- $\Delta H_{2025} = H_{11.2025} - H_{11.2024}$
- $\Delta H_{total} = H_{11.2025} - H_{initial}$

În 2024–2025 fertilizarea determină creșteri superioare, iar G are cel mai mare spor total.

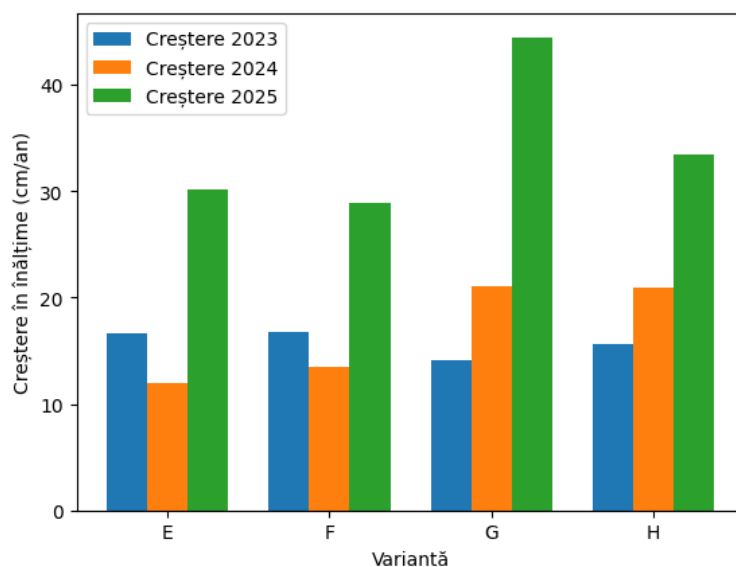


Figura 7.8. Creșteri anuale în înălțime

7.4.4 Evoluția diametrului la colet (d)

În 11.2025, diametrul maxim este la **G**, minim la **F**. Panta mare reduce diametrul ($E > F$; $G > H$).

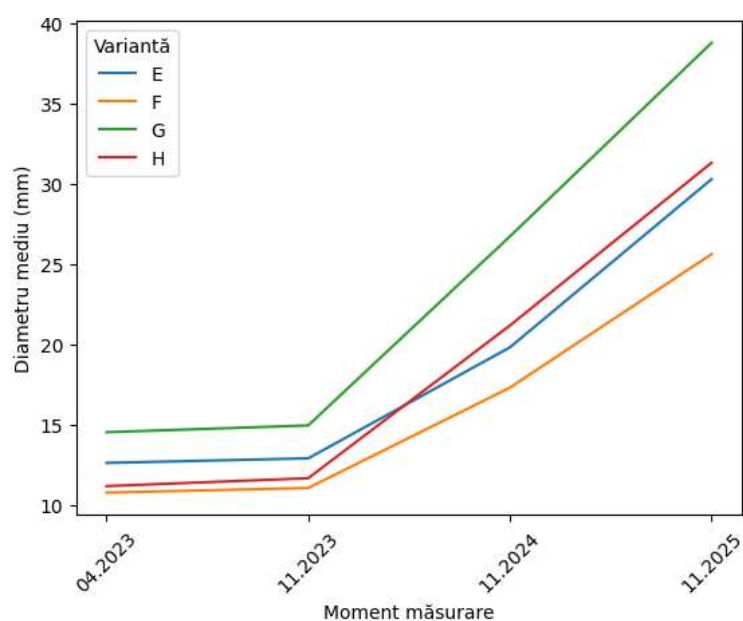


Figura 7.9. Evoluția diametrului (04.2023–11.2025)

7.4.3.3 Creșteri anuale (d) și total

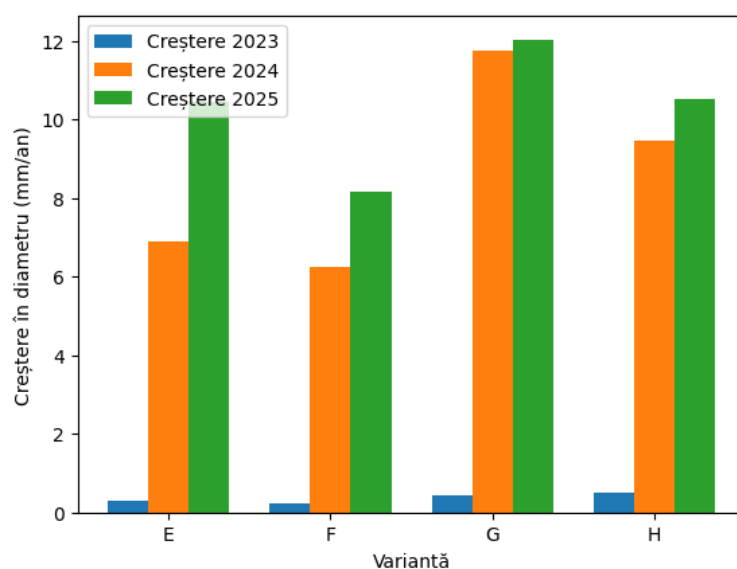


Figura 7.10. Creșteri anuale în diametru

7.4.4 Analiză statistică (ANOVA 2×2)

Modul de lucru este identic cu punctul 6.4. Fertilizarea influențează semnificativ înălțimea.

Diametrul este influențat de ambii factori.

7.4.5 Distribuții (2025)

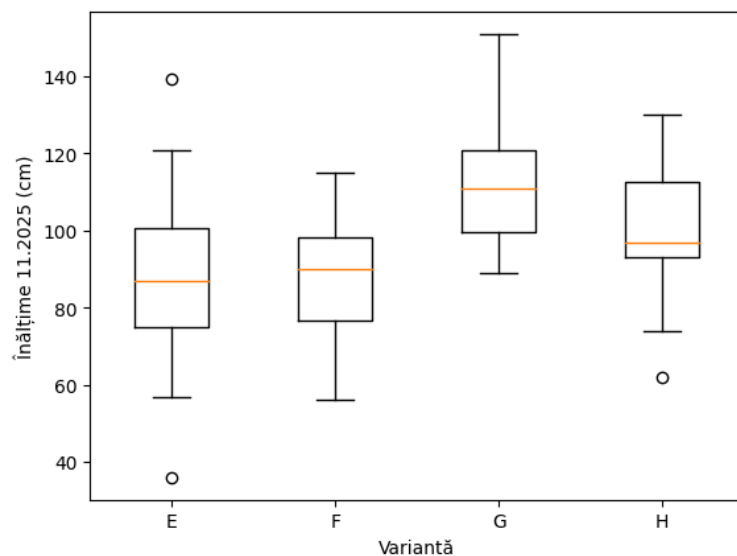


Figura 7.11 Boxplot înălțime (11.2025)

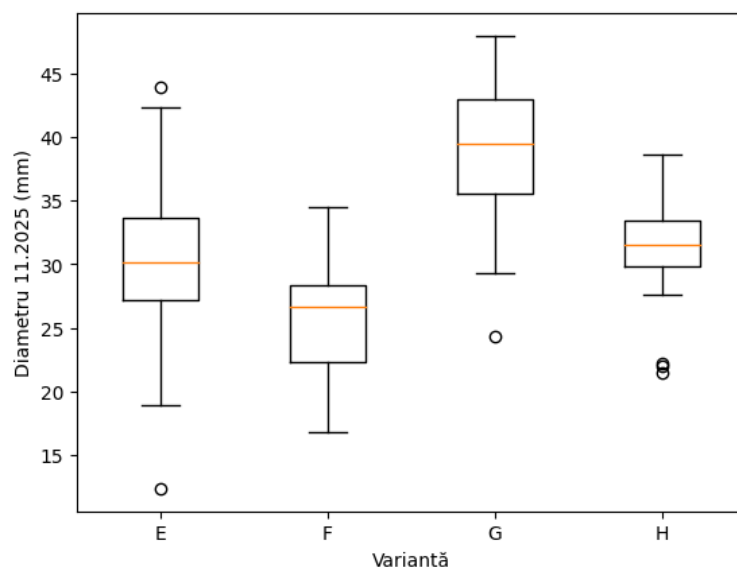


Figura 7.12 Boxplot diametru (11.2025)

7.4.6 Infurciri

Se observă că frecvența maximă se găsește în câmpurile în F și H.

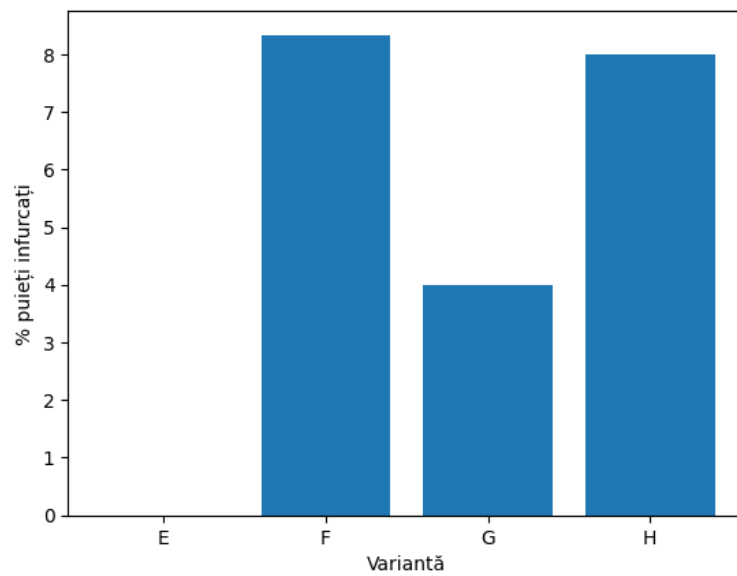


Figura 7.13. Frecvența înfurcării (%)

7.4.7 Structura coroanei

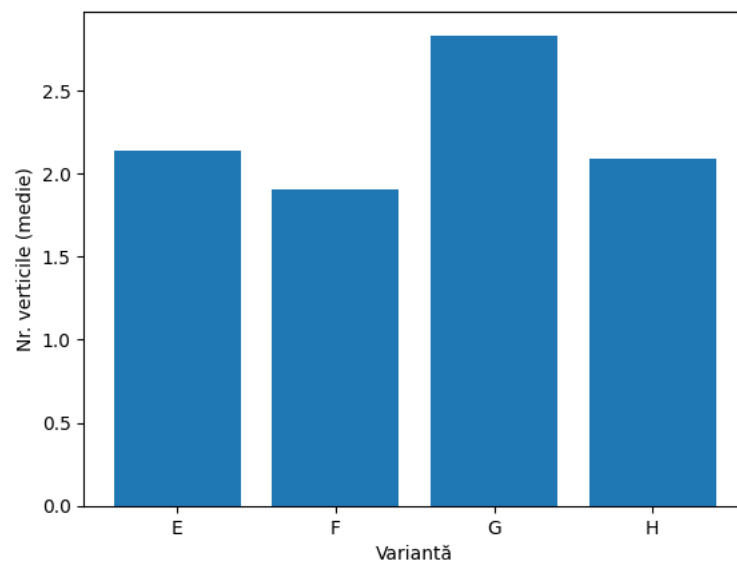


Figura 7.14. Număr mediu verticile

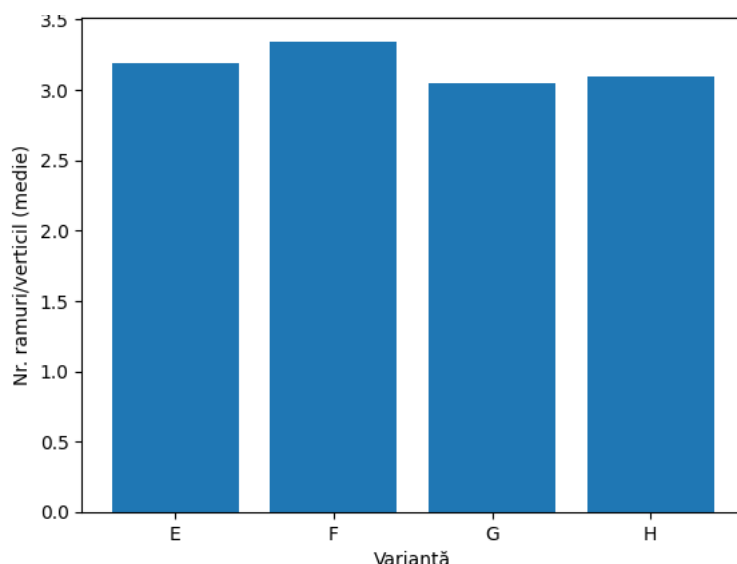


Figura 7.15. Număr mediu ramuri/verticil

În ceea ce privește gradul de menținere după plantare, datele arată că pierderile au fost foarte mici, de 1% în primul an și de încă 1% (un puiet uscat în câmpul experimental H) în anul 2025.

7.5 CONCLUZII

Puieții de **pin silvestru** au prezentat o **rată ridicată de supraviețuire (98%)**, demonstrând o bună adaptare la condițiile haldelor de steril. Fertilizarea nu a influențat semnificativ creșterile în primul an, însă în anii următori a avut un efect major, determinând creșteri semnificativ mai mari în înălțime și diametru.

Rezultatele arată că:

- **fertilizarea** influențează decisiv creșterea în înălțime;
- **diametrul** este influențat atât de fertilizare, cât și de pantă;
- cele mai bune rezultate au fost obținute pe **pantă mică fertilizată (variante G)**;
- cele mai slabe performanțe au fost înregistrate pe **pantă mare nefertilizată (variante F)**.

Pantele mari favorizează apariția unor defecte morfologice, iar condițiile climatice (seceta) pot reduce creșterile, mai ales în lipsa fertilizării.

În ansamblu, pinul silvestru confirmă o **bună capacitate de adaptare și potențial ridicat** pentru reconstrucția ecologică a terenurilor degradate, în special atunci când tehnologia de plantare este corelată cu fertilizarea și condițiile staționale.

8. DINAMICA NATURALĂ A VEGETAȚIEI FORESTIERE PE HALDA DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIȘ

Haldele de steril reprezintă substraturi favorabile pentru **succesiunea primară**, unde primele etape sunt dominate de specii pioniere adaptate la condiții edafice restrictive (Odum, 1969). Colonizarea începe cu microorganisme (cianobacterii, alge, ciuperci, licheni), urmate de mușchi și plante ierboase, care contribuie la formarea **biocrustelor** și inițierea pedogenezei (Rosentreter et al., 2007; Frouz, 2013).

Biocrustele au un rol esențial în **stabilizarea substratului și crearea microhabitatelor**, facilitând instalarea vegetației lemnoase și dezvoltarea ecosistemelor (Hobbs & Harris, 2006).

Studiul evidențiază relația dintre biocruste și regenerarea naturală, analizând puiți de diferite vârste și influența topografiei asupra creșterii acestora. Abordarea integrată permite identificarea factorilor care susțin instalarea arborilor și oferă baze pentru **restaurarea ecologică pasivă** a terenurilor haldate.

8.1 COLONIZAREA PRIMARĂ PRIN BIOCRUSTE PE HALDA DE STERIL DIN CARIERA RECEA – ȘUNCUIȘ

8.1.1 Introducere

Biocrustele reprezintă comunități complexe formate din microorganisme și particule de sol, care creează un strat viu cu rol esențial în funcționarea ecosistemelor (Weber et al., 2022). În mediile post-miniere, acestea acționează ca **organisme pionier**, colonizând substraturi sterile în condiții extreme și inițiind procesele de refacere ecologică.

Structura și dezvoltarea biocrustelor sunt influențate de factori edafici și climatici, iar prezența lor contribuie la **stabilizarea substratului, fixarea carbonului și azotului, reducerea eroziunii și inițierea pedogenezei** (Belnap & Lange, 2003; Bowker, 2007a). Prin acumularea materiei organice și îmbunătățirea retenției apei, acestea creează microhabitate favorabile instalării vegetației superioare.

Cianobacteriile, lichenii și mușchii au un rol central în aceste procese, fiind adaptați la condiții restrictive și contribuind la ciclurile biogeochimice (Rosentreter et al., 2007). În același timp, dispersia organismelor componente este influențată de factori de mediu și de agenți biotici (Nash, 2012).

În ansamblu, biocrustele constituie o etapă cheie în succesiunea primară, facilitând tranziția de la substraturi sterile la ecosisteme funcționale și susținând regenerarea naturală pe haldele de steril.

8.1.2 Material și metodă

8.1.2.1 Analiza distribuției spațiale și a acoperirilor realizate de biocruste

Pentru determinarea acoperirii haldei de steril cu biocruste, au fost delimitate 30 de suprafețe de formă pătrată, fiecare cu latura de 48,5 cm, rezultând o suprafață unitară de 2352,25 cm². Suprafețele au fost amplasate pe halda de steril astfel încât să fie reprezentative pentru zona analizată, câte zece la baza, mijlocul și partea superioară a acesteia. Pentru fiecare

suprafață unitară de probă au fost determinate coordonatele geografice (latitudine și longitudine) utilizând un receptor GPS portabil Garmin GPSMAP 64S (Fig. 8.1 și 8.2).

Fiecare suprafață de eșantionare a fost fotografiată perpendicular pe sol, pentru a asigura posibilitatea calibrării ulterioare a imaginilor. Fotografiile au fost realizate astfel încât să surprindă în totalitate suprafața pătrată delimitată, fiind achiziționate la o rezoluție de 7296 x 5472 pixeli (Fig.8.2). Ulterior, imaginile au fost decupate, pentru a reține exclusiv aria de interes corespunzătoare fiecărei suprafețe de eșantionare, eliminând zonele din afara cadrului util și asigurând astfel acuratețea analizelor spațiale (Fig. 8.3).



Figura 8.1. Colectarea informațiilor de teren, constând în delimitarea suprafeței unitare de eșantionare pe halda de steril și înregistrarea coordonatelor geografice (latitudine și longitudine) cu ajutorul unui receptor GPS portabil.



Figura 8.2. Fotografierea perpendiculară a suprafeței unitare de probă, în vederea calibrării și analizei spațiale ulterioare.

Imaginile astfel obținute au fost importate în software-ul ProView ver. x64, unde au fost inițial calibrate (Fig. 8.3), pe baza dimensiunilor de $48,5 \times 48,5$ cm ale laturilor suprafețelor unitare de probă, fiind ulterior aplicată scara corespunzătoare fiecărei imagini (Fig. 8.4), pentru a permite măsurători spațiale precise.

Contururile acoperirilor realizate de mușchi și licheni au fost vectorizate manual, pentru toate speciile identificate, rezultând poligoanele corespunzătoare ariilor ocupate de acestea în cadrul fiecărei suprafețe de eșantionare. Aria fiecărui poligon (cm^2) a fost calculată și raportată la suprafața totală a pătratului pentru determinarea acoperirii specifice. Softul ProView oferă posibilitatea exportării automate a datelor rezultate din măsurători în format tabelar (Excel).

Pe teren au fost colectate probe din fiecare specie (Fig. 8.5) și efectuate fotografiile de detaliu, pentru a facilita identificarea corectă a taxonilor care alcătuiesc biocrustele, precum și corelarea precisă a observațiilor de teren cu elementele vectorizate în analiza imagistică. Cum unele specii de licheni și mușchi necesită, pentru validarea identificării, analize suplimentare în condiții de laborator cu ajutorul stereomicroscopului, microscopului optic și prin efectuarea unor reacții de culoare cu substanțe specifice, probele au fost analizate ulterior în laborator, conform metodologiilor standard de determinare taxonomică (Fig. 8.6 și 8.7).

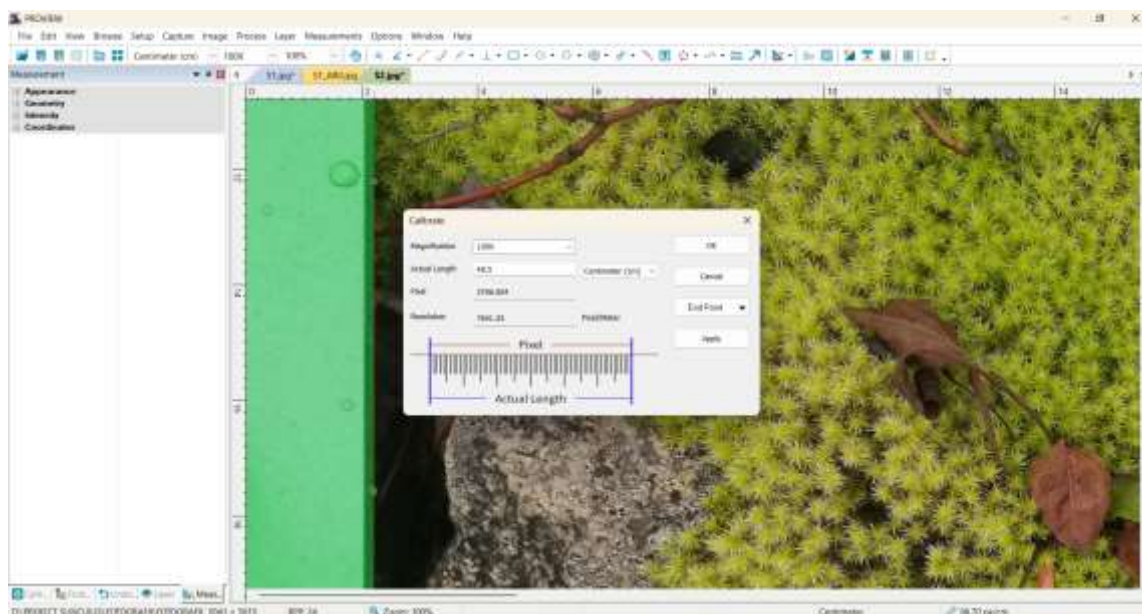


Figura 8.3. Captură de ecran din software-ul ProView ilustrând calibrarea spațială a fotografiilor

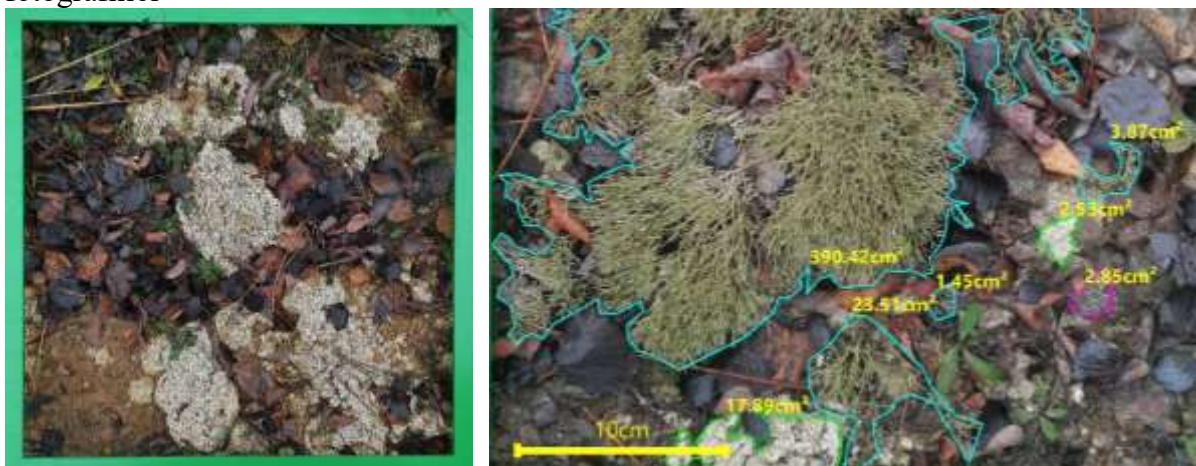


Figura 8.4. Suprafața de probă S6 (N 46'55.206"/ E 22'30.575"), detaliu cu scara dimensională corespunzătoare fotografiei calibrate



Figura 8.5. Probă cu mușchi colectată din suprafața unitară de probă numărul 24



Figura 8.6. Aspectul macroscopic al lichenului saxicol *Lecidella carpathica*

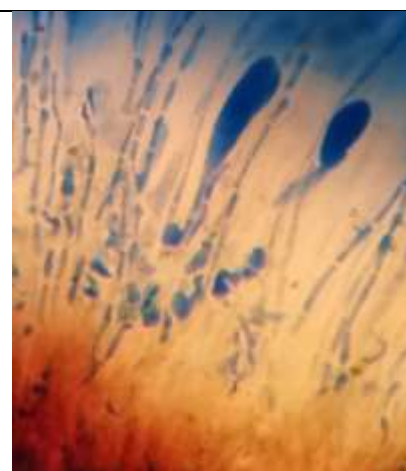


Figura 8.7. Aspectul microscopic al lichenului saxicol *Lecidella carpathica*

8.1.2.2 Asocierea suprafețelor de probă și a speciilor în biocrustele de pe halda de steril

Analiza biocrustelor a evidențiat **tipare non-aleatorii de distribuție**, influențate de poziția pe versant și stadiul succesiunii. Gradul de asociere între suprafețe și specii a fost evaluat prin **indicele Jaccard**, pe baza datelor de prezență/absență, evidențiind relații ecologice și similarități structurale între comunități.

8.1.3 Rezultate

Biocrustele de pe halda de steril sunt alcătuite dintr-o comunitate mixtă de licheni, mușchi și ciuperci, dominată de specii pioniere adaptate condițiilor extreme și sărace în nutrienți, reflectând diferite stadii ale succesiunii ecologice. Lichenii (în special genul *Cladonia*) domină etapele inițiale, contribuind la stabilizarea substratului, în timp ce mușchii devin mai importanți în stadii mai avansate, favorizând acumularea de materie organică. Ciupercile apar predominant în zonele mai stabile, indicând etape succesionale mai evolute și relații simbiotice cu vegetația lemnoasă.

Distribuția spațială a biocrustelor este puternic heterogenă, influențată de microtopografie și tipul substratului, variind de la structuri fragmentate la clustere compacte. Analizele de similaritate arată că suprafețele apropiate topografic au compoziții similare, în timp ce comunitățile diferă semnificativ între zonele haldei.

Asocierea speciilor este în general redusă, indicând o comunitate dinamică, în curs de organizare, dominată de procese de colonizare și facilitare. În funcție de poziția pe haldă, se conturează un gradient ecologic clar: lichenii domină în zona superioară, structurile mixte apar pe versanți, iar mușchii domină la bază, unde substratul este mai stabil și biocrustele sunt mai dezvoltate.

8.1.4 Discuții

Colonizarea haldei de steril este dominată de biocruste aflate în stadii incipiente și intermediare de succesiune, formate din licheni, mușchi și alte organisme adaptate condițiilor extreme. Lichenii (în special *Cladonia* și *Dibaeis*) domină fazele timpurii, având o distribuție fragmentată pe substraturi instabile, în timp ce mușchii devin dominanți în zonele mai stabile, unde formează structuri compacte și contribuie la acumularea materiei organice și la formarea solului. Ciupercile apar în etape mai avansate, asociate cu vegetația lemnoasă și procese trofice mai complexe.

Distribuția biocrustelor este controlată de microtopografie și stabilitatea substratului, generând un gradient succcesional clar. Analiza similarității (indicele Jaccard) arată că suprafețele din aceeași poziție topografică au compoziții apropiate, cu coerență maximă pe mijlocul versantului, unde condițiile sunt optime pentru dezvoltarea comunităților.

Se evidențiază un gradient ecologic:

- vârful haldei – dominat de licheni pionieri, condiții restrictive;
- mijlocul versantului – structură mixtă licheni–mușchi, stadiu de tranziție;
- baza haldei – dominată de mușchi, substrat stabil și umiditate mai ridicată, indicând stadii succesionale mai avansate.

În ansamblu, biocrustele au un rol esențial în stabilizarea substratului și inițierea restaurării ecologice, facilitând trecerea către ecosisteme mai complexe.

8.1.5 Concluzii

Speciile de licheni și mușchi identificate sunt predominant **pioniere**, adaptate la condiții edafice restrictive, având un rol esențial în **stabilizarea substratului, acumularea materiei organice și inițierea succesiunii ecologice**, facilitând instalarea plantelor vasculare.

Ciupercile, în schimb, apar în **stadii succesionale mai avansate**, fiind asociate cu prezența materiei organice și a vegetației lemnoase, indicând o evoluție progresivă a ecosistemului, în special la baza haldei.

În ansamblu, rezultatele evidențiază un **proces activ de refacere ecologică**, în care biocrustele funcționează ca sisteme dinamice, structurate de gradientul topografic și condițiile microambientale. Acestea au un rol cheie în restaurarea ecosistemului și pot fi utilizate ca **indicatori ai stadiului successional** în terenurile degradate.

8.2 INFLUENȚA CARACTERISTICILOR SUBSTRATULUI ȘI A RELIEFULUI ASUPRA DEZVOLTĂRII VEGETAȚIEI REGENERATE NATURAL, PE HALDA DE STERIL

Regenerarea naturală pe haldele de steril este un proces lent și dependent de condițiile specifice ale substratului, unde prezența gresiei cuarțoase la suprafață limitează retenția apei și accesul rădăcinilor, în timp ce zonele cu un conținut ridicat de argilă favorizează reținerea umidității, dar pot crea probleme de drenaj, influențând astfel tipul și ritmul de dezvoltare a puieților și arborilor tineri.

Analiza solului prelevat din Halda 2008, Carieră Recea (Șuncuiș, Bihor) a fost prezentată la punctul 1.6. S-a evidențiat un substrat cu fertilitate redusă, cu o aciditate moderată spre ridicată și un conținut scăzut de materie organică.

Macronutrienții și micronutrienții sunt esențiali pentru funcționarea fiziologică a plantelor, influențând procesele metabolice, fotosinteza și echilibrul hidric. În lucrările de reabilitare a terenurilor degradate, fertilizarea (organică și/sau minerală) este necesară pentru corectarea deficitelor nutritive, în special de azot și fosfor, esențiale în fazele inițiale de creștere (Wade, 2010; Antwi et al., 2024).

Deficiențele nutritive afectează direct dezvoltarea plantelor (ex. cloroză la lipsa azotului, necroze la deficit de potasiu), iar micronutrienții precum zincul și manganul au rol important în activitatea enzimatică și fotosinteză (Alloway, 2008) ((Fig. 8.8 și 8.9).). Reglarea pH-ului și gestionarea umidității solului contribuie la creșterea disponibilității nutrienților și la îmbunătățirea rezistenței plantelor la stres (Raven et al., 2017).

Colonizarea haldei cu vegetație lemnoasă se realizează prin **dispersia semințelor (zoocorie și anemocorie)** din zonele învecinate, fiind influențată de caracteristicile substratului și de condițiile microclimatice. Deși procesul de instalare este avansat, distribuția puieților este **neuniformă**, determinată de variabilitatea substratului, prezența biocrustelor și a vegetației ierboase, care pot facilita sau limita regenerarea naturală.

Pe de altă parte, în regiunile unde sterilul conține predominant argilă, substratul prezintă o capacitate mai mare de reținere a apei, însă poate deveni compact și slab aerat, creând dificultăți pentru dezvoltarea rădăcinilor. Totodată, în perioadele ploioase, solul argilos tinde să rețină exces de umiditate, ceea ce poate afecta stabilitatea puieților, în special pe versanți.

Comparând terenul plan cu zonele în pantă, se observă că arborii tineri de pe terenurile plane au, în general, o creștere mai uniformă și o stabilitate mai bună, beneficiind de o distribuție mai echilibrată a apei și a nutrienților (Fig. 8.10 și 8.11). În schimb, pe versanți,

eroziunea și scurgerea apei pot influența negativ dezvoltarea puieților, reducând rata de supraviețuire și favorizând expunerea substratului de steril (Fig. 8.12 și 8.13).



Figurile 8.8 și 8.9. Puieți și arbori tineri de pin silvestru cu simptome de îngălbenire a acelor fotografiați în februarie 2025, pe halda de steril 2008, Carieră Recea (Șuncuiuș, Bihor)





Figurile 8.10 și 8.11. Puieți și arbori tineri care vegetează pe teren plan fotografiați în ianuarie 2025, Halda 2008, Cariera Recea (Șuncuius, Bihor)(fotografii în original).



Figurile 8.12 și 8.13. Puieți și arbori tineri care vegetează pe teren din zonele cu pantă fotografiați în ianuarie 2025, Halda 2008, Cariera Recea (Șuncuius, Bihor)

8.3 ANALIZA VARIABILITĂȚII ELEMENTELOR BIOMETRICE: LA *PINUS SYLVESTRIS* ÎN FUNCȚIE DE CONDIȚIILE DE TEREN PE HALDA DE STERIL

8.3.1. Statistici descriptive și testarea normalității datelor

Analiza statistică descriptivă realizată pe 450 de puiți de *Pinus sylvestris* evidențiază influența semnificativă a condițiilor de teren (plan vs. pantă) asupra dezvoltării acestora. Parametrii analizați (diametru la colet, înălțime și creștere curentă) indică o **variabilitate ridicată**, mai accentuată pe terenurile în pantă, unde factorii precum eroziunea, drenajul și instabilitatea substratului influențează negativ creșterea.

Pe teren plan, valorile sunt mai **omogene și stabile**, în timp ce pe pantă se observă distribuții mai asimetrice și o variabilitate mai mare. Analizele de skewness și kurtosis arată distribuții în general apropiate de normalitate, cu unele abateri datorate valorilor extreme. Testul Shapiro-Wilk confirmă **normalitatea datelor în majoritatea cazurilor**, iar corelațiile Pearson și graficele QQ susțin această concluzie.

În ansamblu, rezultatele demonstrează că **topografia terenului este un factor determinant în dinamica creșterii**, iar metodele statistice aplicate oferă o bază solidă pentru interpretarea variabilității și a tiparelor de dezvoltare ale regenerării naturale.

8.3.2 Concluzii relative la analiza descriptivă și testarea normalității datelor

Parametrii dendrometrici (D, H, C) sunt influențați semnificativ de condițiile haldei, arborii de pe terenuri plane prezentând **creșteri mai bune și mai uniforme**, în timp ce pe versanți creșterea este mai redusă și mai variabilă. Variabilitatea ridicată reflectă impactul factorilor de mediu (apă, nutrienți, lumină, stabilitatea substratului), fiind mai accentuată pe pante.

Majoritatea variabilelor au distribuții apropiate de normal, confirmate prin testele statistice și graficele QQ, însă pe versanți apar mai frecvent **abateri și valori extreme**, indicând o heterogenitate crescută.

Prezența unor indivizi cu creșteri superioare sugerează oportunitatea **selecției arborilor viguroși** pentru accelerarea proceselor de restaurare ecologică.

8.3.3 Compararea variabilelor utilizând testul t

Analiza inferențială (testul t și corelațiile Pearson) confirmă că **majoritatea variabilelor sunt comparabile statistic între teren plan și pantă**, datorită distribuției normale și varianțelor în general egale (test F, $p > 0,05$).

8.3.4 Concluziile analizei inferențiale

Rezultatele evidențiază că unele variabile dendrometrice (în special **D4, D5, D6, D7, H1, H2 și mai multe variabile de creștere C**) prezintă **diferențe semnificative între condițiile topografice**, indicând influența directă a pantei asupra dezvoltării arborilor. Alte variabile nu au arătat diferențe semnificative, sugerând o influență redusă a topografiei.

Corelațiile Pearson indică **relații în general slabe până la moderate** între valorile de pe teren plan și pantă, cu unele cazuri de co-variație (ex. H1, H2, C1, C3), dar și situații fără relații clare.

În ansamblu, rezultatele demonstrează că **topografia influențează selectiv creșterea arborilor**, iar variabilitatea răspunsului biologic reflectă heterogenitatea condițiilor de pe halda de steril, oferind o bază solidă pentru interpretări ecologice și aplicații în restaurarea ecosistemelor degradate.

8.4 UTILIZAREA DRONEI ȘI TEHNOLOGIILOR AVANSATE DE FOTOGRAMMETRIE PENTRU CARTAREA HALDEI DE STERIL

Ortofotoplanul Haldei de Steril 2008 (Hârța et al., 2026) a fost realizat utilizând imagini RGB obținute cu drona **DJI Air 2S**, echipată cu senzor CMOS de 1 inch și rezoluție ridicată (5472×3078 pixeli).

Achiziția datelor s-a desfășurat în condiții meteorologice favorabile, prin **6 misiuni de zbor** (februarie 2025), la o altitudine constantă de aproximativ **30 m AGL**, asigurând acoperire completă și uniformitate. Zborurile au fost planificate în software-ul **Litchi**, folosind 247 waypoint-uri pentru a garanta suprapunerea optimă a imaginilor (fig.8.14-8.16).

Datele obținute au permis generarea unui **ortofotoplan de înaltă precizie și a unui model 3D**, esențiale pentru identificarea coroanelor de pin și realizarea analizelor biometrice ulterioare.

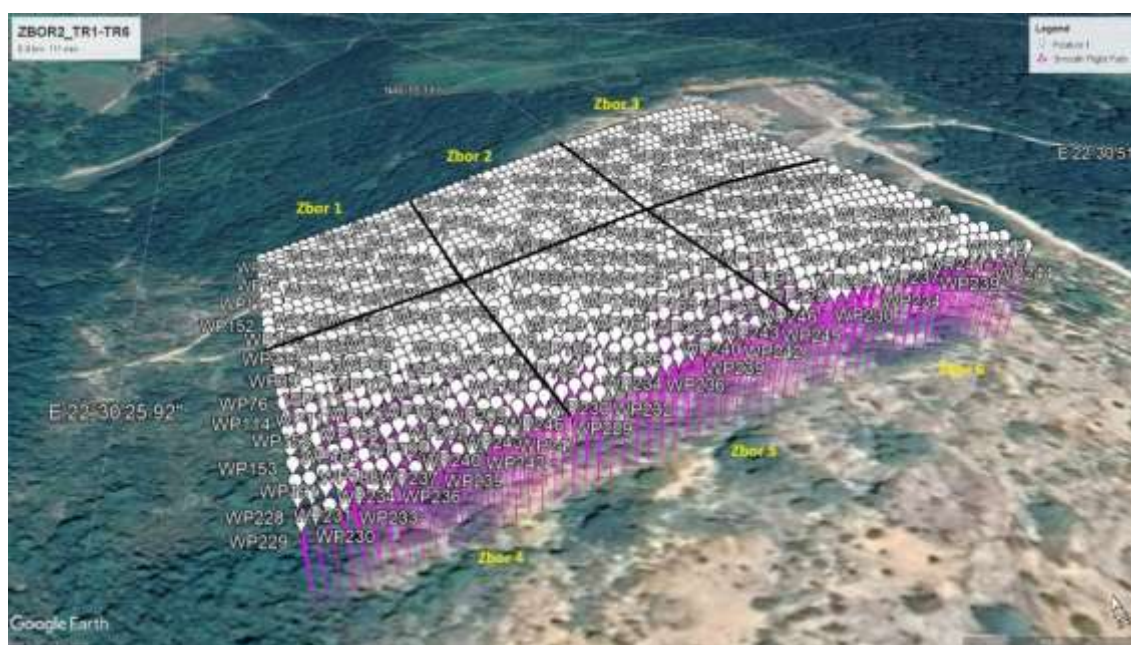
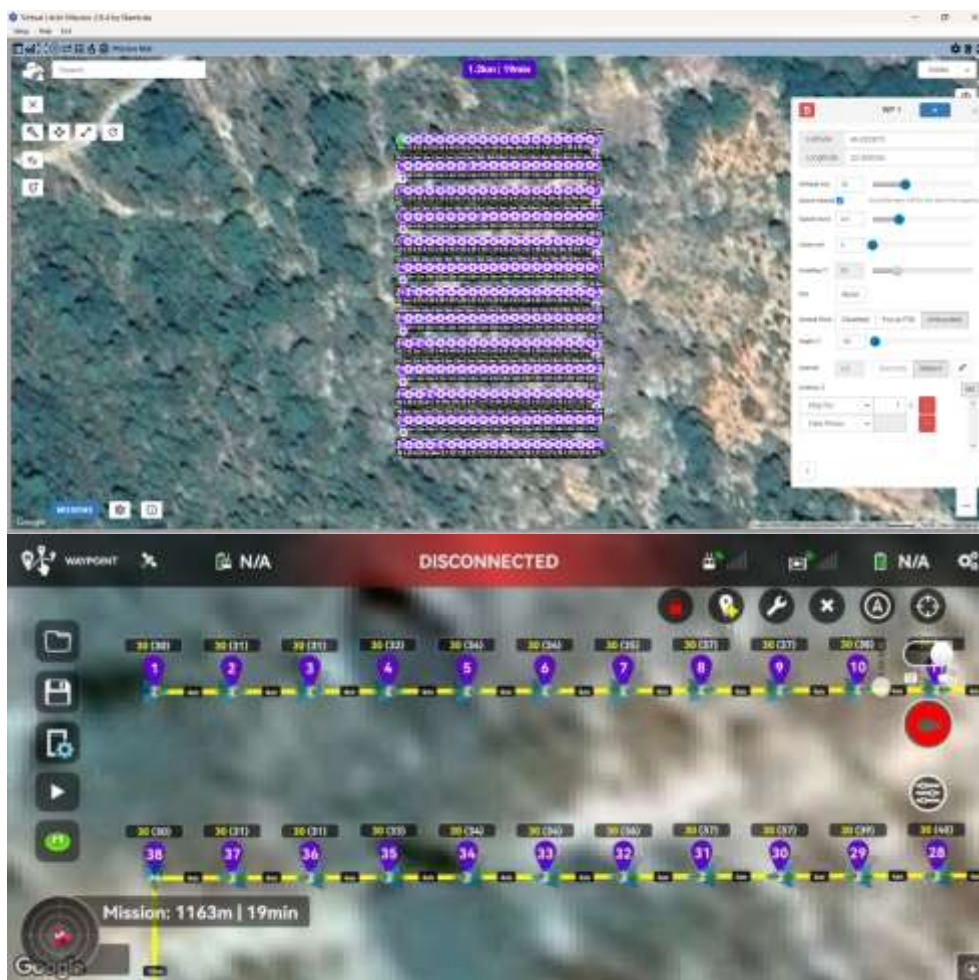


Figura 8.14. Vizualizarea celor 6 misiuni de zbor în Google Earth pentru cartarea Haldei de Steril 2008, Cariera Recea (Șuncuiș, Bihor)

Zborurile UAV au fost realizate automat, cu o **suprapunere a imaginilor de 80%**, asigurând generarea unui ortofotoplan georeferențiat de înaltă acuratețe. Viteza de deplasare a fost de **4 m/s**, cu fotografiere în fiecare waypoint și suplimentar la fiecare 2 m pe traseu.

Suprafața totală analizată a fost de **6 ha**, împărțită în **6 parcele de câte 1 ha**, pentru a optimiza atât autonomia dronei, cât și procesarea datelor. Delimitarea suprafețelor s-a realizat în **QGIS**, prin eliminarea zonelor de suprapunere și a marginilor.

În total, pentru primele trei zboruri au fost capturate între **525 și 669 imagini/zbor**, acoperind suprafețe de aproximativ **1,27–1,81 ha**, asigurând o rezoluție spațială adecvată pentru analize detaliate.



Figurile 8.15 și 8.16. Traseul misiunii de zbor numărul 2 și detaliu puncte intermediare de referință, generat cu software-ul Litchi 2.8.4., pentru cartarea Haldei de Steril 2008, Cariera Recea (Șuncuiș, Bihor)

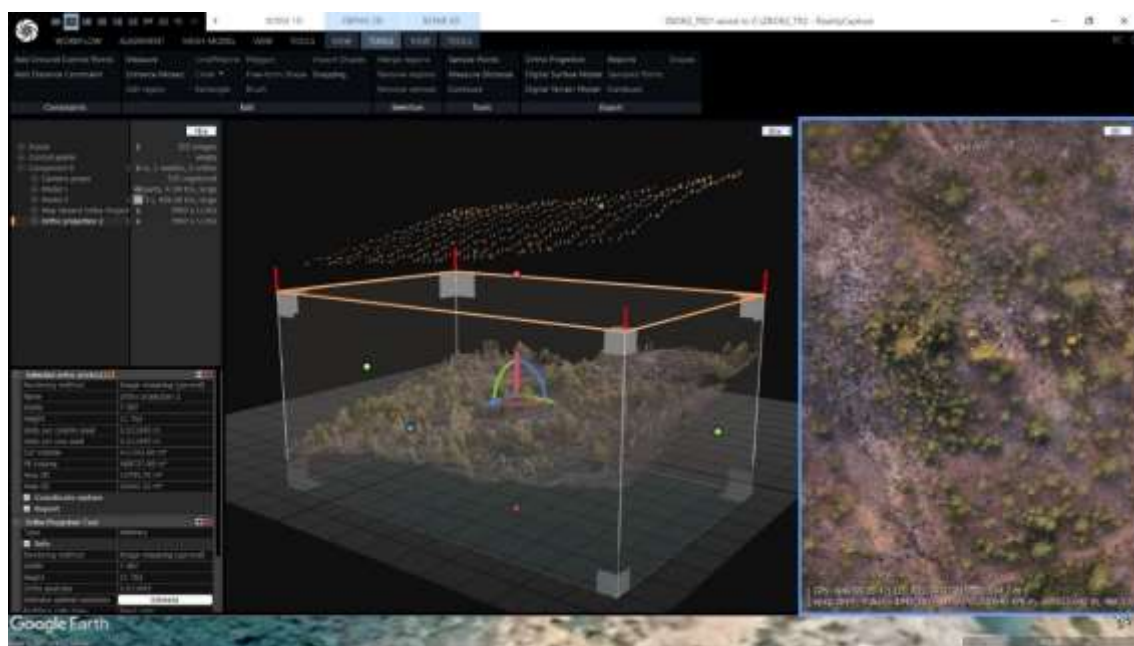
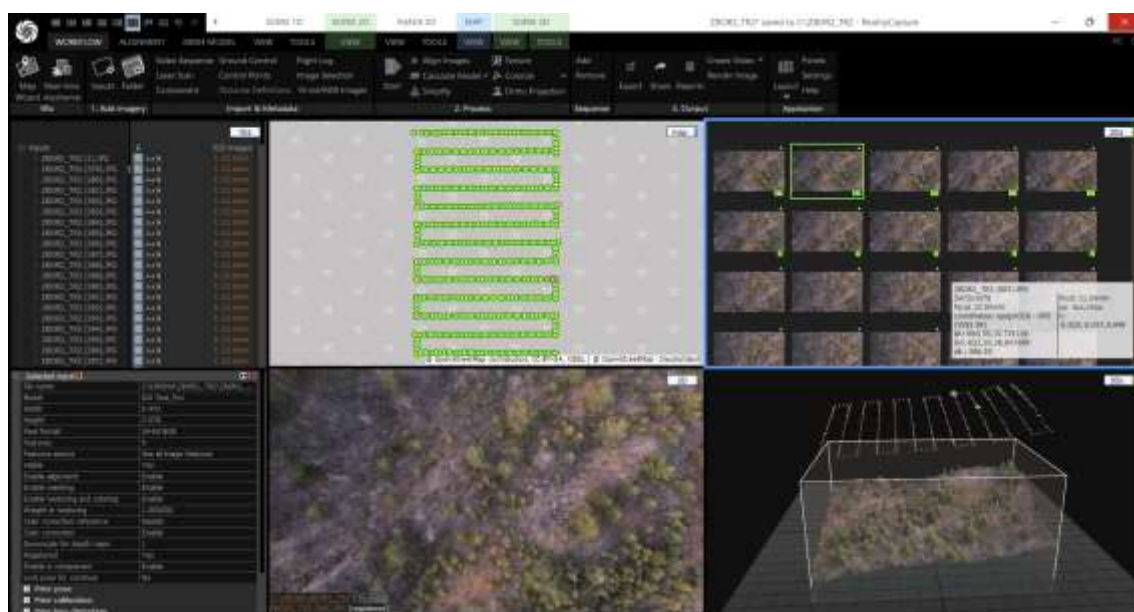


Figura 8.17. Fotografie aeriană a Haldei de Steril 2008, Cariera Recea (Șuncuiș, Bihor), capturată cu drona DJI Air 2S

Prin georeferențiere și menținerea unei înălțimi constante de zbor, datele UAV au fost **corect poziționate spațial**, permițând generarea unui **model 3D utilizabil pentru analize volumetrice și simulări**.

Imaginile au fost procesate fotogrammetric, parcurgând etape de **corecție geometrică, aliniere, mozaicare și georeferențiere**, utilizând sistemul de coordonate **Stereo70 (EPSG:3844)**. Procesarea a fost realizată în software-ul **Reality Capture 1.5.1**, recunoscut pentru precizia ridicată în generarea ortofotoplanurilor și modelelor 3D (fig.8.18, 8.19).

Rezultatul constă în produse cartografice de înaltă acuratețe, care oferă o **reprezentare detaliată a haldei** și constituie o bază solidă pentru analize spațiale, monitorizare și managementul terenurilor degradate.



Figurile 8.18 și 8.19. Etape de procesare în Reality Capture 1.5.1. pentru generarea ortofotoplanului și modelului 3D

9. CONCLUZII GENERALE

Studiul realizat în Cariera Recea – Șuncuiș evidențiază că refacerea haldelor de steril este un **proces successional complex**, rezultat din interacțiunea dintre intervențiile silvice și dinamica naturală a ecosistemului.

Biocrustele reprezintă **etapa inițială a stabilizării**, contribuind la ameliorarea condițiilor edafice, însă instalarea vegetației forestiere este esențială pentru consolidarea structurală a ecosistemului. Plantațiile artificiale accelerează acest proces, în timp ce regenerarea naturală reflectă capacitatea sistemului de a evolua autonom.

Speciile utilizate prezintă adaptări diferențiate: **salcâmul** este eficient pe versanți bine drenați, iar **pinul negru** are o bună adaptabilitate, dar sensibilitate la stres. **Panta** este factorul ecologic determinant în instalare, iar fertilizarea are efecte variabile în funcție de condițiile locale.

Regenerarea naturală a **pinului silvestru** indică procese active de selecție și adaptare, influențate de heterogenitatea substratului. Distribuția biocrustelor și a vegetației confirmă existența unui **gradient successional controlat de topografie**.

Utilizarea tehnologiilor UAV și a fotogrammetriei a permis o analiză spațială detaliată, demonstrând eficiența metodelor moderne în monitorizarea ecosistemelor degradate.

În ansamblu, halda de steril este un **ecosistem dinamic**, în care procesele naturale și intervențiile antropice acționează sinergic, conducând către formarea unor structuri vegetale stabile și funcționale.

- **Cu privire la evaluarea reușitei și comportării plantațiilor de salcâm (*Robinia pseudoacacia* L.) instalate în anul 2016 pe haldele de steril:** Plantațiile de salcâm au contribuit semnificativ la **stabilizarea haldei și reducerea eroziunii**, în special pe versanți. Specia se dezvoltă mai bine pe pante și expoziții însorite, dar este limitată de excesul de umiditate pe terenuri plane și de instabilitatea substratului.

- **Cu privire la evaluarea reușitei și a stării de sănătate a plantațiilor de pin negru (*Pinus nigra* Arn.) instalate în perioada 2008–2009 pe haldele de steril:** Pinul negru prezintă **adaptabilitate ridicată și stabilitate bună**, inclusiv pe terenuri instabile, dar este sensibil la stres hidric și patogeni. Creșterea este influențată de condițiile topografice, iar regenerarea naturală este mai activă pe suprafețe stabile.

- **Cu privire la analiza experimentală a evoluției puieților de pin negru (*Pinus nigra* Arn.) proveniență Austria, plantați în 2023, în condiții de pantă și fertilizare diferențiate** Puieții au o **rată foarte mare de supraviețuire și creștere constantă**, panta fiind factorul determinant principal. Fertilizarea are efecte pozitive mai ales pe pante reduse, iar variabilitatea biologică este redusă.

- **Cu privire la analiza experimentală a evoluției puieților de pin silvestru (*Pinus sylvestris* L.), proveniență locală, plantați în 2023, în condiții de pantă și fertilizare diferențiate:** Pinul silvestru prezintă **adaptabilitate ridicată și stabilitate a creșterilor**, cu influență moderată a pantei și fertilizării. Specia confirmă statutul de pionier, fiind bine adaptată substraturilor sărace.

- **Cu privire la colonizarea primară prin biocruste pe halda de steril din Cariera Recea – Șuncuiș:** Biocrustele reflectă un **gradient successional clar**, de la licheni pionieri la mușchi, controlat de topografie. Ele joacă un rol esențial în **stabilizarea substratului și inițierea pedogenezei**, facilitând instalarea vegetației vasculare.

- **Cu privire la regenerarea naturală și variabilitatea biometrică a pinului silvestru pe halda de steril:** Regenerarea naturală este **activă, dar dependentă de stabilitatea substratului și topografie**. Creșterile sunt mai bune pe terenuri plane, iar variabilitatea mai

mare pe versanți. Există diferențe statistice semnificative și un potențial adaptativ ridicat al populației.

- **Cu privire la utilizarea tehnologiilor UAV și fotogrammetriei în analiza haldei de steril:** Tehnologiile UAV au permis **analize spațiale de înaltă rezoluție**, evidențiind relația dintre vegetație și microrelief. Metoda este eficientă pentru monitorizare și, integrată cu analize clasice, oferă o **abordare complexă a restaurării ecosistemelor degradate**.

10.CONTRIBUȚII PERSONALE

- Cu privire la evaluarea reușitei și comportării plantațiilor de salcâm (*Robinia pseudoacacia* L.) instalate în anul 2016 pe haldele de steril: Analiza efectuată la șase ani de la instalarea culturilor evidențiază faptul că intervențiile de împădurire au contribuit la reducerea proceselor de eroziune, în special pe terenurile cu pantă accentuată. Instalarea vegetației forestiere reprezintă o măsură necesară pentru stabilizarea haldelor, în special pe suprafețele neregenerate natural. Pantele medii și mari oferă condiții favorabile pentru dezvoltarea salcâmului, în timp ce excesul de umiditate limitează creșterea pe terenurile plane. Instabilitatea substratului conduce la diminuarea parametrilor biometrici, iar expozițiile însoțite favorizează dezvoltarea. În ansamblu, salcâmul este o specie adecvată pentru stabilizarea haldelor, cu condiția evitării stagnării apei.

- Cu privire la evaluarea reușitei și a stării de sănătate a plantațiilor de pin negru (*Pinus nigra* Arn.) instalate în perioada 2008–2009 pe haldele de steril: Analiza efectuată la 13–14 ani de la instalare evidențiază o bună capacitate de adaptare a pinului negru la condițiile haldei. Stabilitatea culturii este ridicată, cu un grad de menținere de până la 90% pe pantele mari. Panta influențează înălțimea arborilor, dar nu semnificativ diametrul sau menținerea. Plantațiile de pe pante accentuate contribuie la stabilizarea substratului. Din punct de vedere fitosanitar, starea a fost bună în primii ani, însă ulterior au apărut atacuri fungice corelate cu stres climatic. Determinările recente indică o ameliorare, dar persistă vulnerabilitatea la stres hidric. Regenerarea naturală este mai pronunțată pe suprafețele stabile. În ansamblu, pinul negru este o specie adecvată, cu sensibilitate moderată la factori de stres.

- Cu privire la analiza experimentală a evoluției puieților de pin negru (*Pinus nigra* Arn.) proveniență Austria, plantați în 2023, în condiții de pantă și fertilizare differentiate: Experimentul factorial a evidențiat o reușită foarte ridicată (99%) și o evoluție biometrică pozitivă constantă. Panta este factorul determinant principal, influențând semnificativ creșterile, iar fertilizarea are efecte mai evidente pe pantele reduse. Variabilitatea biologică este redusă, iar structura coronară indică o dezvoltare normală. În ansamblu, pinul negru proveniență Austria prezintă o adaptabilitate foarte bună în faza de instalare.

- Cu privire la analiza experimentală a evoluției puieților de pin silvestru (*Pinus sylvestris* L.), proveniență locală, plantați în 2023, în condiții de pantă și fertilizare differentiate: Pinul silvestru prezintă un grad ridicat de supraviețuire și o evoluție biometrică pozitivă în toate variantele. Influența pantei este mai moderată comparativ cu pinul negru, iar fertilizarea accelerează creșterile în primii ani, cu efecte care se atenuează ulterior. Variabilitatea biologică este normală, iar structura coronară indică o dezvoltare stabilă. Specia confirmă o plasticitate ecologică ridicată și o bună adaptare la substraturi sărace.

- Cu privire la colonizarea primară prin biocruste pe halda de steril din Cariera Recea – Șuncuiș: Analiza evidențiază existența unui proces activ de colonizare primară, desfășurat pe un gradient topografic. Biocrustele prezintă stadii succesionale distincte, de la licheni pionieri la mușchi, reflectând stabilizarea progresivă a substratului. Distribuția este fragmentată, dar în zonele stabile apar structuri compacte. Poziția topografică controlează comunitățile: vârful favorizează specii tolerante la stres, zona mediană permite coexistența, iar baza susține dominanța mușchilor și apariția ciupercilor. Biocrustele au un rol esențial în stabilizare și în facilitarea succesiunii ecologice.

- Cu privire la regenerarea naturală și variabilitatea biometrică a pinului silvestru pe halda de steril: Regenerarea naturală este un proces activ, influențat de topografie și stabilitatea substratului. Parametrii biometrici indică diferențe între terenurile plane și cele în pantă, cu creșteri superioare pe suprafețele stabile. Pe versanți, variabilitatea este mai mare, reflectând limitările ecologice. Analiza inferențială confirmă diferențe semnificative pentru anumite

variabile, iar corelațiile moderate sugerează o bază ecologică comună. Distribuțiile asimetrice indică un potențial adaptativ important. În ansamblu, regenerarea naturală completează rolul plantațiilor în stabilizarea haldei.

- Cu privire la utilizarea tehnologiilor UAV și fotogrammetiei în analiza haldei de steril: Tehnologia UAV a permis obținerea unor date spațiale de înaltă rezoluție pentru 6 ha, evidențiind distribuția regenerării și relația cu microrelieful. Ortofotoplanurile și modelul 3D au facilitat analiza morfologică a coroanelor și a proceselor succesionale. Corelarea datelor a confirmat influența topografiei asupra vegetației. Tehnologiile UAV s-au dovedit eficiente pentru monitorizare, iar integrarea lor cu metodele clasice permite o analiză complexă a proceselor de restaurare ecologică.

O contribuție majoră a tezei constă în **integrarea a trei niveluri complementare**:

- (i) instalarea artificială,
- (ii) procesele naturale de colonizare și regenerare,
- (iii) monitorizarea spațială prin UAV.

Această abordare definește halda ca un **ecosistem în tranziție**, unde biocrustele acționează ca etapă precursoră, iar vegetația forestieră asigură stabilizarea pe termen lung.

Rezultatele sunt specifice condițiilor locale din Recea–Șuncuiuș și trebuie extrapolate cu prudență, însă oferă **reper aplicative valoroase** pentru restaurarea terenurilor degradate. Direcțiile viitoare vizează utilizarea **senzorilor multispectrali** pentru evaluarea stării fiziologice a vegetației.

Bibliografie selectivă

- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A., & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Alloway, B. J. (2008). *Micronutrient deficiencies in global crop production*. Springer Science & Business Media.
- Antwi, R. A., Chappell, C., Twumasi, Y. A., Anning, D. K., Oppong, J., Annan, J. B., Ferchaud, V. (2024). Fertility and management strategies of soils in rural and urban forest ecosystems: a review of selected rural and urban forests in Ghana and USA. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/24749508.2024.2334512>
- Ardelean, M., Sestras, R., Cordea, M., (2002). Horticultural experimental technique, AcademicPres Printing House, Cluj-Napoca
- Belnap, J., Lange, O.L. (Eds.) (2003). *Biological soil crusts: Structure, function, and management*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8>
- Berg, B., & McClaugherty, C. (2003). *Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration* (2nd ed.). Springer
- Bodea, B., Budău, R., Timofte, A.I. (2023). *Study on the Evolution of the Black Pine Stand (Pinus nigra) Artificially Installed on the Site of the Recea Suncuius Quarry, Bihor County*. Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului, 2023B, Vol. XLI, (B+), pg. 63-70
https://protmed.uoradea.ro/nou/images/Publicatii/Protectia-mediului/2023B/01._Bodea_Bogdan.pdf
- Bodea, B., Enescu, M., Hâruga, O.I., Moga, C.E., Budău, R., Timofte, A.I., (2025). Analysis of Diameter and Height Growth of Scot Spine Saplings Planted in 2023 on the Sterile Dumps of Recea Șuncuius Quarry, Bihor County. Conferința Internațională “Agriculture for Life, Life for Agriculture”, din 5-7 iunie 2025, București, Romania, ISSN 2285-6064, (ISI) <https://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2025/vol2025.pdf>
- Bodea, B., Mălai F.O., Timofte, A.I., (2024). Comparative Analysis of the Annual Growth of Black Pine and Scots Pine Saplings Planted in 2023 on the Degraded Land in Recea Quarry, Suncuius, Bihor County. Annals of the University of Oradea, Fascicle: Environmental Protection 2024A, Vol. XLII, (BDI), pg. 73-78
https://protmed.uoradea.ro/nou/images/Publicatii/Protectia-mediului/2024A/03._Forestry/01._Bodea_Bogdan.pdf
- Bodea, B., Enescu C.E., Budău, R., Timofte, A.I. (2025). A Comparative Study on the Evolution of Planted Black Pine Saplings on the Sterile Dumps from Recea Șuncuius Quarry, Bihor County. Scientific Papers. Series A. Agronomy, Vol. LXVIII, No. 1, 2025 ISSN 2285-5785; ISSN CD-ROM 2285-5793; ISSN Online 2285-5807; ISSN-L 2285-5785 (ISI) https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2025/issue_1/Art92.pdf
- Bodea, B., Budău, R., Timofte, A.I. (2023). Study on the Evolution of the Black Pine Stand (*Pinus nigra*) Artificially Installed on the Site of the Recea Suncuius Quarry, Bihor County. Analele Universității din Oradea, Fascicle: Environmental Protection 2023B, 2023, Vol. XLI, (BDI), pg. 63-70
https://protmed.uoradea.ro/nou/images/Publicatii/Protectia-mediului/2023B/01._Bodea_Bogdan.pdf

- Bowker, M. A. (2007a). Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: An underexploited opportunity. *Restoration Ecology*, 15(1), 13–23. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00185.x>
- Bowker, M. A. (2007b). Biological soil crusts: Ecological roles and management. *USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-195*, 1–27
- Bowker, M. A., Maestre, F. T., Escobar, C. (2010). Biological soil crusts as a model system for examining the biodiversity–ecosystem function relationship in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 42, 405–417
- Bradshaw, A. D. (1997). Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecological Engineering*, 8(4), 255–269. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00022-0)
- Budău R., Timofte C.S. (2016). Results of Increased Seedlings per Unit Area in the *Robinia Pseudoacacia* Species. Natural Resources and Sustainable Development. Oradea, 2016
- Clinovschi Fl. (2005). Dendrologie. Editura Universității din Suceava, Suceava
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Desprez-Loustau, M.-L., Marçais, B., Nageleisen, L. M., Piou, D., & Vannini, A. (2006). Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, 63(6), 597–612. <https://doi.org/10.1051/forest:2006045>
- Doniță, N., Geambașu, T., Brad, R.R. (2004). *Dendrologie, Ro: Vasile Goldiș University Press, Arad*
- Enescu, C. M., Toma, S., & Băltăceanu, G. (2016). *Forest genetic resources in Romania*. Springer
- Florescu, Gh., (1994) – Împăduriri. Universitatea Transilvania Brașov
- Frouz, J., Prach, K., Pižl, V., Háněl, L., Starý, J., Tajovský, K., Materna, J., Balík, V., Kalčík, J., & Řehouňková, K. (2007). Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post-mining sites. *European Journal of Soil Biology*, 43(4), 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.01.002>
- Frouz, J. (Ed.). (2013). *Soil biota and ecosystem development in post mining sites*. CRC Press, Taylor & Francis. ISBN 9781466599314
- Gupta, S. R., & Malik, V. (1999). *Measurement of Leaf Litter Decomposition* (pp. 181–207). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03887-1_7
- Haigh, M. J. (Ed.). (2000). *Reclaimed land: Erosion control, soils and ecology*. Routledge. <https://www.routledge.com/Reclaimed-Land/Haigh/p/book/9789054107934>
- Haigh, M. J. (2000). Reclaimed coal-mine spoils in the UK: A review of soil development and revegetation. *Land Degradation & Development*, 11(6), 519–535. [https://doi.org/10.1002/1099-145X\(200011/12\)11:6<519::AID-LDR413>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1099-145X(200011/12)11:6<519::AID-LDR413>3.0.CO;2-2)
- Hâruga, O., Bodea, B., Timofte, A.I., Enescu, C.M., Fodor, E. (2026). Predictive modelling of growth in *Pinus sylvestris* seedlings and saplings on abandoned clay spoil heap under passive reforestation. *Annals of Forest Research* (în curs de publicare)
- Hobbs, R. J., Harris, J.A. (2006). *Restoration ecology: Repairing the Earth's ecosystems in the new millennium*. *Restoration Ecology*, 9(2), 239–246. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2001.009002239.x>
- Jaramillo-Correa, J. P., Grivet, D., Terrab, A., Kurt, Y., De Lucas, A. I., Wahid, N., Vendramin, G. G., & González-Martínez, S. C. (2010). The Strait of Gibraltar as a major biogeographic barrier in Mediterranean conifers: A comparative phylogeographic survey. *Molecular Ecology*, 19(24), 5452–5468, <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04850.x>

- Mendez, M. O., & Maier, R. M. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—An emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives*, 116(3), 278–283. <https://doi.org/10.1289/ehp.10608>
- Milescu, I. (2006). Cartea silviculturului. Editura Petru Maior, Reghin
- Nash, T.H. (ed.) (2012). *Lichen Biology*. 2nd ed., Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790478>
- Odum, E.P. (1969). The strategy of ecosystem development: an understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Science*, 164(3877), 262–270. <https://doi.org/10.1126/science.164.3877.262>
- Panagopoulos, T., & Hatzistathis, A. (1995). Early growth of *Pinus nigra* and *Robinia pseudoacacia* stands on lignite spoils in Ptolemaida. *Forest Ecology and Management*, 71(3), 275–284. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)06077-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)06077-7)
- Pietrzykowski, M. (2014a). Soil quality and tree growth on reclaimed mine sites. *Ecological Engineering*, 73, 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.081>
- Pietrzykowski, M. (2014b). Soil quality changes on reclaimed post-mining sites planted with forest trees. *Ecological Engineering*, 68, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.009>
- Prach, K., & Hobbs, R. J. (2008). Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restoration Ecology*, 16(3), 363–366. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00412.x>
- Rafii, Z. A., & Dodd, R. S. (2007). Genetic diversity and structure of *Pinus nigra* populations in Europe. *Tree Genetics & Genomes*, 3, 191–200. <https://doi.org/10.1007/s11295-006-0063-7>
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2017). *Biology of Plants* (8th ed.). W. H. Freeman and Company
- Rosentreter, R., Bowker, M., Belnap, J. (2007). A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Drylands. U.S. Government Printing Office, Denver, Colorado
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). *Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review*. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), Article 13. https://www.researchgate.net/publication/268179022_Soil_Reclamation_of_Abandoned_Mine_Land_by_Revegetation_A_Review
- Sofletea, N., & Curtu, L. (2008). *Dendrologie* (Ed. a 2-a). Braşov, România: Editura „Pentru Viaţă”
- Tordoff, G. M., Baker, A. J. M., & Willis, A. J. (2000). Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41(1–2), 219–228. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00414-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00414-2)
- Torresan, C., Berton, A., Carotenuto, F., Di Gennaro, S. F., Gioli, B., & Matese, A. (2017). Forestry applications of UAVs in Europe: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), 2427–2447. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1252477>
- Vítková, M., Müllerová, J., Sádlo, J., Pergl, J., & Pyšek, P. (2017). Black locust (*Robinia pseudoacacia*) – A review of its impacts on biodiversity and ecosystem services. *Biological Invasions*, 19, 1073–1091. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1282-5>
- Wade, B. (2010). *Symptoms of deficiency in essential minerals*. *Plant physiology* (5th ed.). Taiz Lincoln and Zeiger Eduardo
- Walker, L. R., & del Moral, R. (2003). *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511615077>
- Weber, B., Büdel, B., Belnap, J. (2016). *Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30214-0>

- Xue, H., Wang, Q., Mao, K., Liu, Y., Jiang, X., Murray, P. G., Zhang, L., & Liu, W. (2022). Positive Effects of Reforestation on the Diversity and Abundance of Soil Fauna in a Landscape Degraded Red Soil Area in Subtropical China. *Forests*, 13(10), 1596. <https://doi.org/10.3390/f1310159>
- ***, (2005). Plan de prevenire și combatere a poluărilor accidentale. S.C. Bega Minerale Industriale S.A. Punct de lucru Șuncuius
- ***, (2007). Raportul la bilanțul de mediu, nivel II, etapa 2007.
- ***, (2015). Planul de refacere a mediului afectat de activitatea de exploatare a argilei refractare în perimetrul Șuncuius, județul Bihor. Intocmit de S.C.Belevision Impex S.R.L., București
- ***, (2022). ORDIN nr. 2.533 din 28 septembrie 2022 pentru aprobarea Normelor tehnice privind compoziții, scheme și tehnologii de regenerare a pădurilor și de împădurire a terenurilor degradate și a Ghidului de bune practici privind compoziții, scheme și tehnologii de regenerare a pădurilor și de împădurire a terenurilor degradate
- ***, https://biblioteca-digitala.ro/reviste/Crisia/dl.asp?filename=18-Crisia-Muzeul-Tarii-Crisurilor-XVIII-1988_603.pdf - Czier Z., Popescu V. - Cercetari geologic-paleobotanice asupra liasicului inferior de la Șuncuius-Cariera Principală Recea (Județul Bihor), Partea I, consultat în 10.2022