



Influența altitudinii asupra proprietăților fizico-chimice ale solurilor din amestecuri de fag cu rășinoase

Avram CICȘA^{a,b}, Gheorghe Marian TUDORAN^{b,*}, Maria BOROEANU^b,
Alexandru Claudiu DOBRE^{a,b}, Gheorghe SPÂRCHEZ^b

^a Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”, Departamentul Amenajarea pădurilor și Departamentul Monitorizarea pădurilor, Bd. Eroilor 128, 077190, Voluntari, România, cicsa_avram@yahoo.co.uk (A.C.), dobre.alexandruclaudiu@gmail.com (A.C.D.)

^b Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatarea Forestiere, Șirul Beethoven 1, 500123, Brașov, România, tudoran.george@unitbv.ro (G.M.T.), maria_boroeanu@yahoo.com (M.B.), sparchez@unitbv.ro (G.S.)

REPERE

- Altitudinea este un factor determinant al proprietăților fizico-chimice ale solului.
- Humusul se corelează statistic cu proprietățile fizico-chimice ale solului.
- Suma hidrogenilor schimbabili se corelează pozitiv cu altitudinea.

INFORMAȚII ARTICOL

Istoricul articolului:

Manuscris primit la: 24 iulie 2021

Primit în forma revizuită: 18 noiembrie 2021

Acceptat: 18 noiembrie 2021

Număr de pagini: 14 pagini.

Tipul articolului:

Cercetare originală

Editor: Stelian Alexandru Borz

Cuvinte cheie:

Altitudine

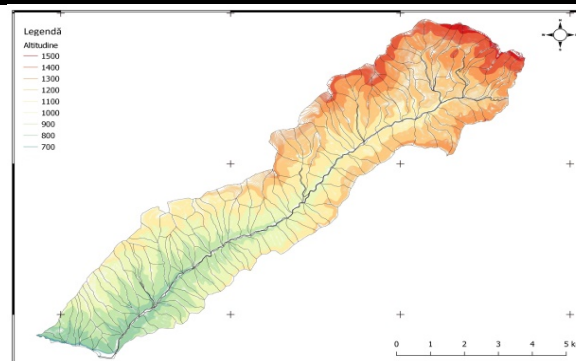
Proprietățile solului

Humus

Azot

Reacția solului

REZUMAT GRAFIC



REZUMAT

Prin aceste cercetări s-a urmărit determinarea variației caracteristicilor solurilor din Munții Gurghiu din România în raport cu altitudinea. Lucrările de cartare s-au realizat în etajul fitoclimatic al amestecurilor de fag cu rășinoase. Suprafața cercetată s-a stratificat în unități staționale omogene sub raport climatic, hidric și trofic. La nivelul unităților staționale elementare identificate s-au amplasat 35 de profile principale de sol și 46 de profile de control. Probele de sol recoltate din profilele principale au fost analizate în laborator. Proprietățile chimice se corelează semnificativ cu altitudinea. Valoarea pH-ului scade în orizontul A de la 5,5 (la altitudinea de 750 m) la 3,7 (la 1550 m), iar în orizontul B de la 6,2 la 4,7. De asemenea, capacitatea de schimb pentru baze, în orizontul A, scade de la 48 me/100 g sol la 27 me/100 g sol. Gradul de saturație în baze prezintă o tendință descrescătoare; în orizontul A scade de la 55% la 25%, iar în orizontul B, de la 70 la 30%. Prin regresie multiplă, proprietățile chimice determinate au fost introduse într-o ecuație care estimează humusul cu o abatere medie pătratică (RMSE) de 2,502.

* Autor corespondent. Tel.: +40-727-201-608.

Adresa de e-mail: tudoran.george@unitbv.ro

1. INTRODUCERE

În România, dintre pădurile amestecate, amestecurile de rășinoase cu fag au cea mai mare răspândire (22.38%), [1], ele fiind strâns legate de relieful muntos. Datorită condițiilor naturale, etajul amestecurilor de fag cu rășinoase prezintă o neuniformitate destul de accentuată în masivele muntoase din România.

Capacitatea stațiunii de a întreține o anumită vegetație forestieră se reflectă în vigoarea de creștere a speciilor forestiere care exprimă potențialul productiv al stațiunii [2]. Astfel că, indiferent de funcția pădurii sau de țelurile urmărite în gospodărirea ei, stațiunea forestieră devine o condiție pentru asigurarea stabilității pădurii, întrucât ea influențează starea de sănătate și vitalitatea arborilor și arboretelor.

Toate elementele componente ale stațiunilor forestiere cum sunt cele geologice, geomorfologice, edafice și climatice determină gradul de favorabilitate al stațiunilor pentru vegetația forestieră. Elementele edafice și climatice exprimă măsura în care stațiunea satisface cerințele ecologice ale arborilor și, ca urmare, prezintă o importanță mai mare în determinarea gradului de favorabilitate al stațiunilor [3].

Solul este un element fundamental al stațiunii forestiere și are rol în descompunerea materiei organice, în aprovizionarea cu apă și în ciclul nutrienților, fiind un element important în dinamica arboretelor [4]. În formarea și fertilitatea solurilor, intervin mai mulți factori. Altitudinea, ca element geomorfologic, este un factor determinant pentru distribuția speciilor și a solurilor. Ea influențează formarea unui anumit tip de humus, celelalte proprietăți ale solului, precum și calitatea arborilor [3, 5-7]. Gradientul altitudinal este caracterizat și de precipitații și temperaturi diferite, care influențează descompunerea materiei organice și proprietățile chimice ale solului [8, 9]. Proprietățile chimice sunt influențate de natura materialului parental și de alte condiții de solificare [10]. De asemenea, altitudinea este un factor care influențează carbonul din sol. Rata de acumulare a carbonului depinde de rata de acumulare a azotului, iar acumularea azotului depinde de fixarea lui biologică din atmosferă [11]. Azotul din sol este influențat de condițiile climatice, dar și de proprietățile fizice și chimice ale solului [11]. Conținutul de azot din sol scade cu altitudinea și este strâns corelat cu bonitatea stațiunii și cu creșterea plantelor [12, 13]. pH-ul solului este negativ corelat cu altitudinea [14-16]. Studiile au demonstrat că structura comunității microbiene este dirijată de pH-ul solului și de raportul C/N odată cu creșterea altitudinii. Astfel, un nivel ridicat al pH-ului corespunzător altitudinilor joase poate fi corelat cu creșterea biomasei microbiene și cu diversitatea bacterială [17]. Cationii de bază sunt într-o corelație negativă cu altitudinea, deoarece solurile din zona montană sunt mai acide și mai sărace în cationi bazici. Acest fapt se poate datora precipitațiilor [16, 18]. În schimb, capacitatea totală de schimb cationic din orizontul A înregistrează o corelație pozitivă cu altitudinea datorită resturilor vegetale din primii centimetri ai solului [16]. Caracteristicile humusului sunt principalele elemente care caracterizează tipul de sol sau fertilitatea acestuia și ele reflectă condițiile bioclimatice de formare a solului [19]. Tipurile de humus (mull, moder sau humus brut) variază în funcție de climă, materialul parental [20, 21], de vârsta arboretului [22] sau de tipul de management [23, 24]. De asemenea, humusul este considerat un bun indicator al climatului din prezent și din trecut [6, 7] pentru că este

rezultatul unor interacțiuni complexe între compoziția arboretului, proprietățile solului, condițiile de mediu și activitățile microorganismelor [17]. Humusul poate fi folosit pentru a evidenția și tendințele schimbărilor climatice [6].

Dacă proprietățile solului sunt influențate de condițiile de relief, climatice, de vegetație, atunci ele ar trebui să prezinte valori diferite în raport cu factorii geomorfologici care ar conduce la diferențierea potențialului productiv al stațiunii și implicit a productivității arboretelor. Prin acest studiu s-a urmărit stabilirea unor corelații între caracteristicile solurilor și unul dintre principalii factori geomorfologici - altitudinea - care caracterizează stațiunile montane specifice amestecurilor de rășinoase cu fag.

2. MATERIALE ȘI METODE

Cercetările s-au efectuat în Munții Gurghiu, din Carpații Orientali din România, în Unitatea de producție IV Fâncel ($46^{\circ}47'59''$ N, $25^{\circ}9'22''$ E) din Ocolul silvic Fâncel (**Figura 1**). Pădurile sunt situate la altitudini cuprinse între 700 și 1600 m, pe roci vulcanice. În cuprinsul arboretelor se întâlnește o mare varietate a factorilor geomorfologici. Frecvent, însă, înclinarea terenului este cuprinsă între 25 și 35 grade, iar cele mai întâlnite expoziții sunt cele însorite și parțial însorite.

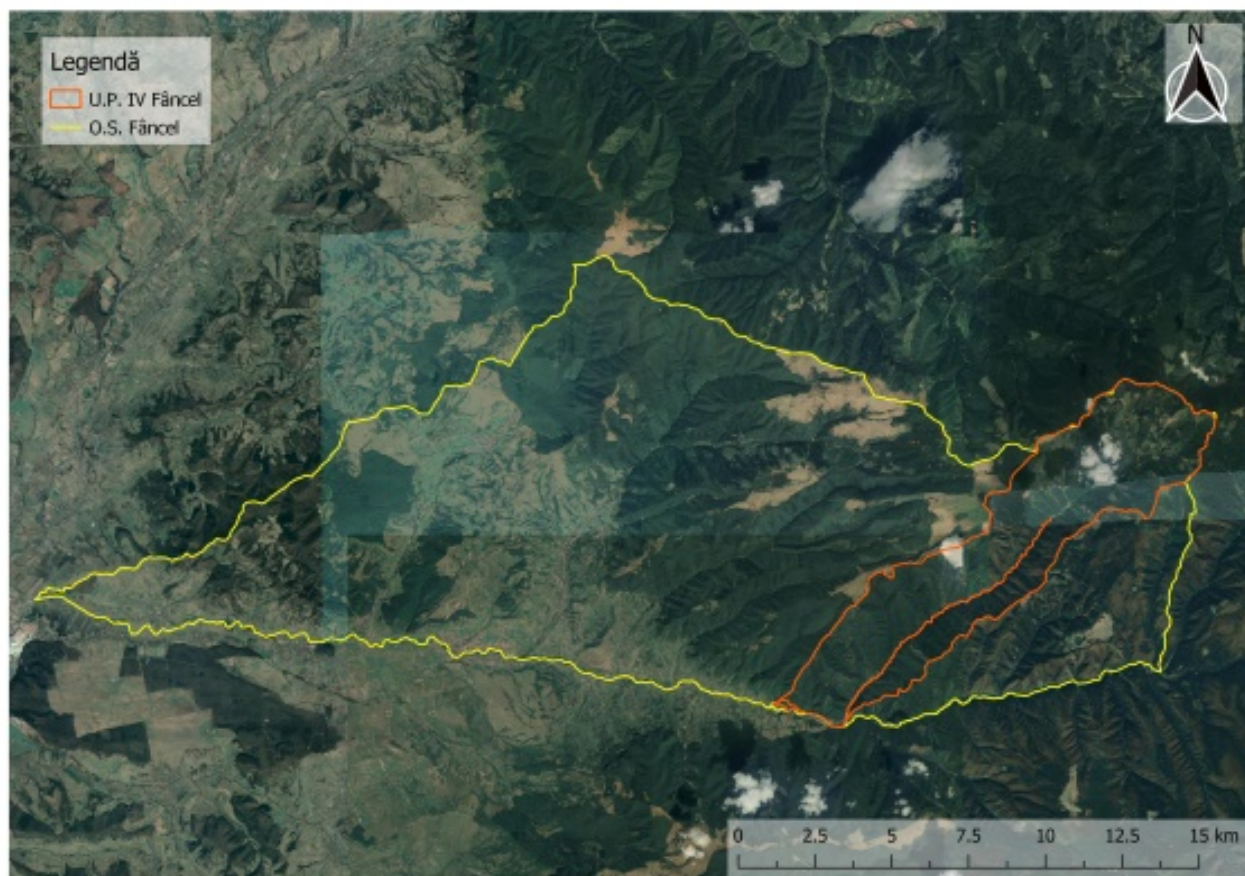


Figura 1. Zona de studiu cu amplasarea unității de producție cercetată

Pentru desfășurarea lucrărilor de teren s-a realizat o documentare din literatură despre condițiile fizico-geografice din zonă pe baza hărților geologice, geomorfologice și pedologice [25]. A urmat studiul amenajamentelor silvice pentru a cunoaște informații despre fondul de producție al arboretelor din cuprinsul ocolului. Pe baza informațiilor din amenajamente (descrierea arboretelor și hărți tematice) s-a stratificat suprafața pădurii în raport cu altitudinea.

Observațiile de teren s-au realizat prin metoda cartării staționale [26]. Lucrările de teren au constatat în recunoașterea și caracterizarea unităților staționale elementare omogene sub raportul însușirilor morfologice, fizice și chimice ale solurilor. Pentru simplificarea lucrărilor, s-a avut în vedere organizarea pădurii pe unități amenajistice, urmărindu-se ca în cuprinsul lor să se mențină aceleași condiții staționale. În general, schimbarea factorilor geomorfologici și profunzimea solului au fost criterii care au determinat constituirea de noi unități amenajistice [27, 28]. În total, în cadrul suprafeței experimentale s-au parcurs 429 de unități amenajistice. Unitățile amenajistice s-au grupat în unități omogene sub raport climatic, trofic și hidric. După realizarea echivalenței lor ecologice, zona de studiu a fost împărțită în unități omogene sub raportul condițiilor geomorfologice (forma de relief, altitudinea, poziția pe versant, expoziția și înclinarea lor) și edafice la nivelul cărora s-au amplasat 81 de profile de sol (35 profile principale de sol și 46 de profile de control). Numărul de profile s-a determinat statistic, în funcție de coeficientul de variație al proprietăților solurilor, acesta având o valoare medie de 30, astfel încât să asigure o eroare de cel mult 10%. Pentru fiecare profil de sol s-au înregistrat coordonatele geografice pentru a realiza o stratificare a profilelor de sol pe categorii altitudinale. Profilele au fost create cu lățimea de 80 cm și o lungime variabilă care a permis identificarea tipului și subtipului de sol, descrierea lui, colectarea probelor pentru analize din fiecare orizont și fotografierea acestuia.

Din cele 35 profile de sol s-au recoltat probe care s-au analizat în laborator pentru determinarea însușirilor fizico-chimice. Colectarea probelor de sol, din fiecare orizont, a fost realizată începând de la baza profilului. Probele de sol au fost recoltate din fiecare orizont de diagnostic și au fost analizate în Laboratoarele de Pedologie și Stațiuni forestiere din cadrul Filialei Brașov a I.N.C.D.S. „Marin Drăcea” și din cadrul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov. Separarea orizonturilor pe profil s-a realizat în funcție de culoare, structură și textură. Colectarea probelor de sol din fiecare orizont a fost realizată începând cu cel mai mic orizont al profilului și continuând în sus pe profil. Probele au fost colectate din mijlocul orizontului de diagnostic, cu excepția orizontului A. În cazul acestuia probele au fost colectate din întregul orizont, și la fel și în cazul orizonturilor mai mici de 10 cm. Tipurile de sol au fost stabilite pe teren și pe baza rezultatelor analizei de laborator. Analizele efectuate în laboratoare au propriul sistem de asigurare și control a calității prin participarea colectivelor de lucru la exerciții europene. Pregătirea probelor de sol s-a bazat pe metodele descrise în standardul ISO 11464. Probele au fost fie uscate la aer, fie uscate la cuptor la o temperatură de 40°C și depozitate până când au putut fi analizate chimic [16]. Prin analiza de laborator s-au determinat următoarele elemente: pH (în H₂O), procentul de humus (H), azot total (N), suma bazelor schimbabile (SB), suma hidrogenilor schimbabili (SH), capacitatea totală de schimb cationic (T = SB+SH), gradul de saturație în baze (V) și umiditatea (U). pH-ul solului a fost electro-chimic determinat în apă, iar citirea a fost făcută cu un pH-metru Thermo Orion 3. Pe baza caracteristicilor solurilor, a indicațiilor plantelor ierboase și a etajului arborilor s-au identificat mai multe tipuri de stațiuni dintre care reprezentativă este

3.3.3.3 Montan de amestecuri de productivitate superioară, eutricambosol și districambosol andic edafic mare (eutrofic - megafic, euhidric), cu *Asperula-Dentaria*.

SPSS Statistics Data Editor a fost folosit pentru analiza datelor. Relația dintre proprietățile solului și factorii geomorfologici a fost studiată cu ajutorul testului ANOVA. Prin regresie multiplă, proprietățile chimice determinate au fost introduse într-o ecuație care estimează humusul din fiecare orizont al solului.

3. REZULTATE

3.1. Variația proprietăților solurilor în raport cu altitudinea

Proprietățile solurilor (H, pH, N, SB, SH, T, U, V) sunt condiționate de caracteristicile morfogenetice ale solurilor. Aceste proprietăți se corelează semnificativ cu altitudinea ($p = 0,01$), cu excepția umidității pentru care corelația este semnificativă doar în raport cu expoziția și înclinarea terenului. Azotul, la nivelul orizontului A, prezintă valori cuprinse între 0,4 și 1,1%. Acestea scad pe profil, astfel în orizontul B ajungând la valori cuprinse între 0,05 și 0,8. Procentul de azot la nivelul orizontului A prezintă o tendință descrescătoare pe măsură ce crește altitudinea (**Figura 2**).

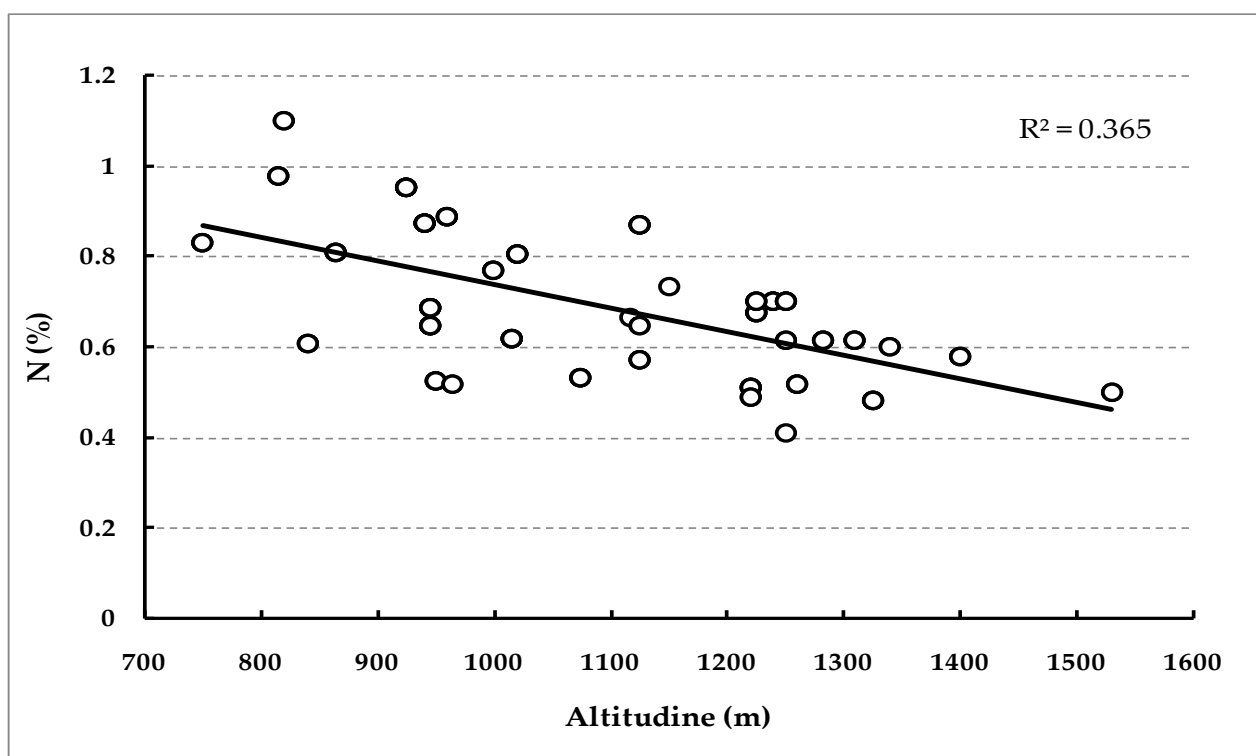


Figura 2. Variația procentului de azot în orizontul A în raport cu altitudinea

Valorile parametrilor chimici T, SB, V și pH se corelează statistic ($p < 0,01$) cu altitudinea (**Figura 3**). Valoarea pH-ului scade în orizontul A de la 5,5 (la altitudinea de 750 m) la 3,7 (la 1550 m), iar în orizontul B de la 6,2 la 4,7. Valorile medii ale sumei bazelor schimbabile scad în orizontul

Cicșa et al.: Influența altitudinii asupra proprietăților fizico-chimice ale solurilor...

A de la 20 la 10 me/100 g sol, iar în orizontul B de la 18 la 7. Capacitatea totală de schimb cationic, în orizontul A, scade de la 48 la 27 me/100 g sol, iar în orizontul B, de la 30 la 25. De asemenea, gradul de saturație în baze prezintă o tendință descrescătoare, în orizontul A scade de la 55% la 25%, iar în orizontul B, de la 70 la 30%.

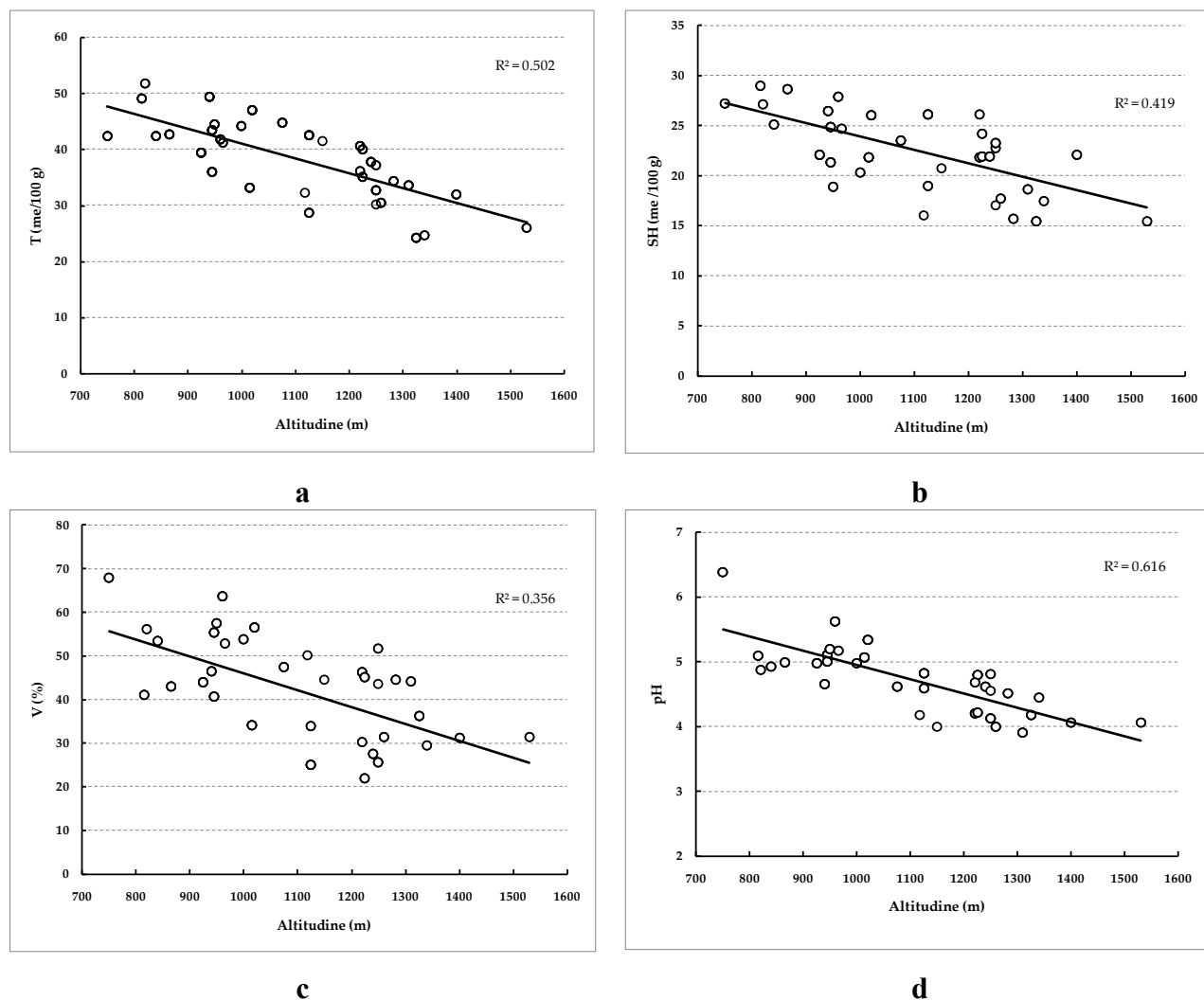


Figura 3. Variația capacității totale de schimb cationic (a), variația sumei bazelor de schimb (b), variația gradului de saturație în baze (c) și a pH-ului (d) la nivelul orizontului A

Spre deosebire de ceilalți indicatori, suma hidrogenilor schimbabili indică o creștere a valorilor în raport cu altitudinea, de la 5 (la 800 altitudine) la 25 me/100 g sol (la altitudini de 1500 m). SH crește pe măsură ce procesele de levigare și debazificare sunt mai intense ca urmare a creșterii altitudinii și implicit a cantității de precipitații.

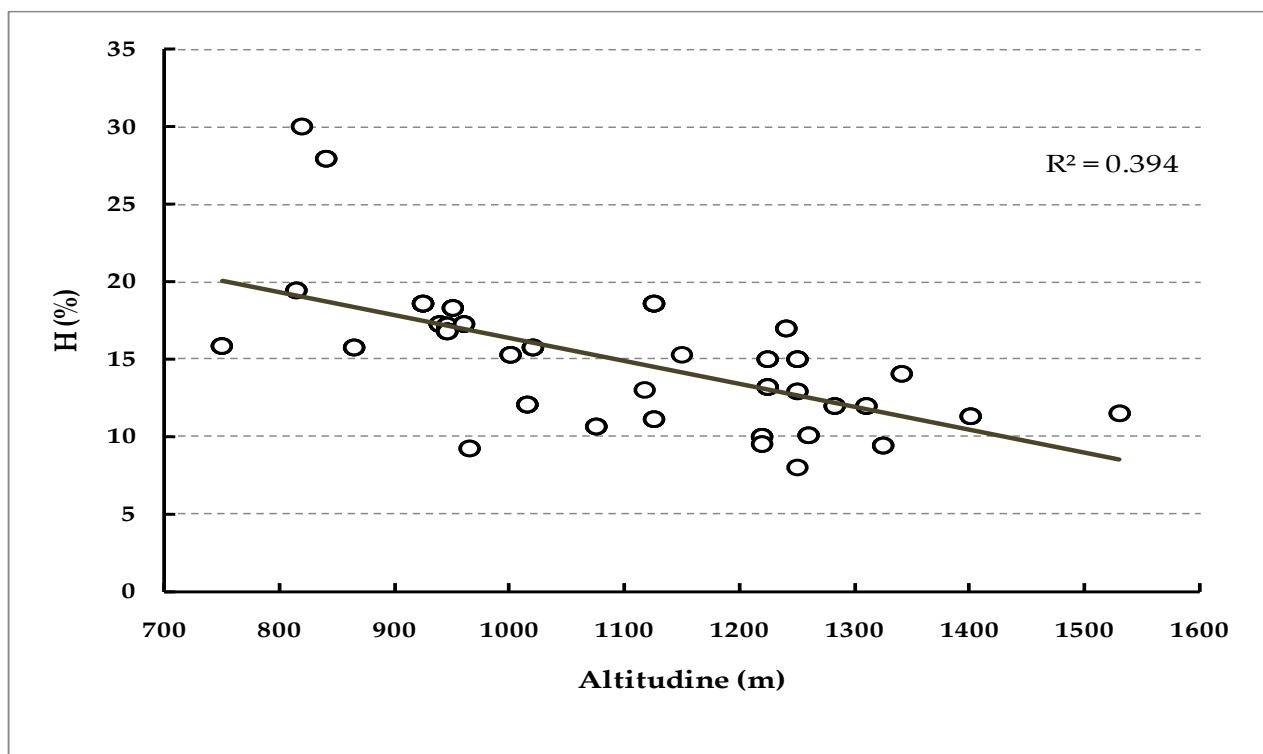


Figura 4. Variația procentului de humus în orizontul A în raport cu altitudinea

Humusul este de tip mull andic și mull-moder andic și conține frecvent o cantitate de substanță organică în jur de 10% (2-30%). Cele mai mari valori prezintă orizontul A (8-30%). Acestea scad pe profil, în orizontul B fiind cuprinse între 2 și 10%. Humusul, la nivel de orizont prezintă, de asemenea, o tendință descrescătoare pe măsură ce crește altitudinea (Figura 4).

3.2 Relația dintre humus și celelalte proprietăți ale solului în raport cu altitudinea

Humusul exercită o importantă influență asupra celorlalte însușiri ale solului și determină nivelul potențialului productiv al solului. Valoarea humusului poate fi determinată la nivelul fiecărui orizont și indirect prin intermediul celorlalte însușiri ale solului determinate prin analiza de laborator (N, pH, SB, SH, T, V), cu ajutorul relației:

$$H = 10,122 \times N - 1,112 \times pH - 0,811 \times SB + 0,057 \times SH + 0,628 \times T + 0,255 \times V - 9,937 \quad (1)$$

în care:

H este procentul de humus al orizontului de diagnostic (%);

N – conținutul în azot al orizontului (%);

SB – capacitatea de schimb pentru baze (me/100 g sol);

SH – capacitatea de schimb pentru hidrogen (me/100 g sol);

T – capacitatea totală de schimb cationic (me/100 g sol);

V – gradul de saturație în baze (%) la pH = 8,3.

Tabelul 1 Semnificația statistică a parametrilor ecuației de regresie (Ecuația 1)

HUMUS	Termen liber	N (%)	pH	SB (me/100 g)	SH (me/100 g)	T (me/100 g)	V (%)	R ²	R ² ajust.
Valoare p	0,005037	$2,8 \times 10^{-19}$	0,00145	0,000108	0,023492	$4,93 \times 10^{-9}$	$2,14 \times 10^{-5}$	0,793	0,789

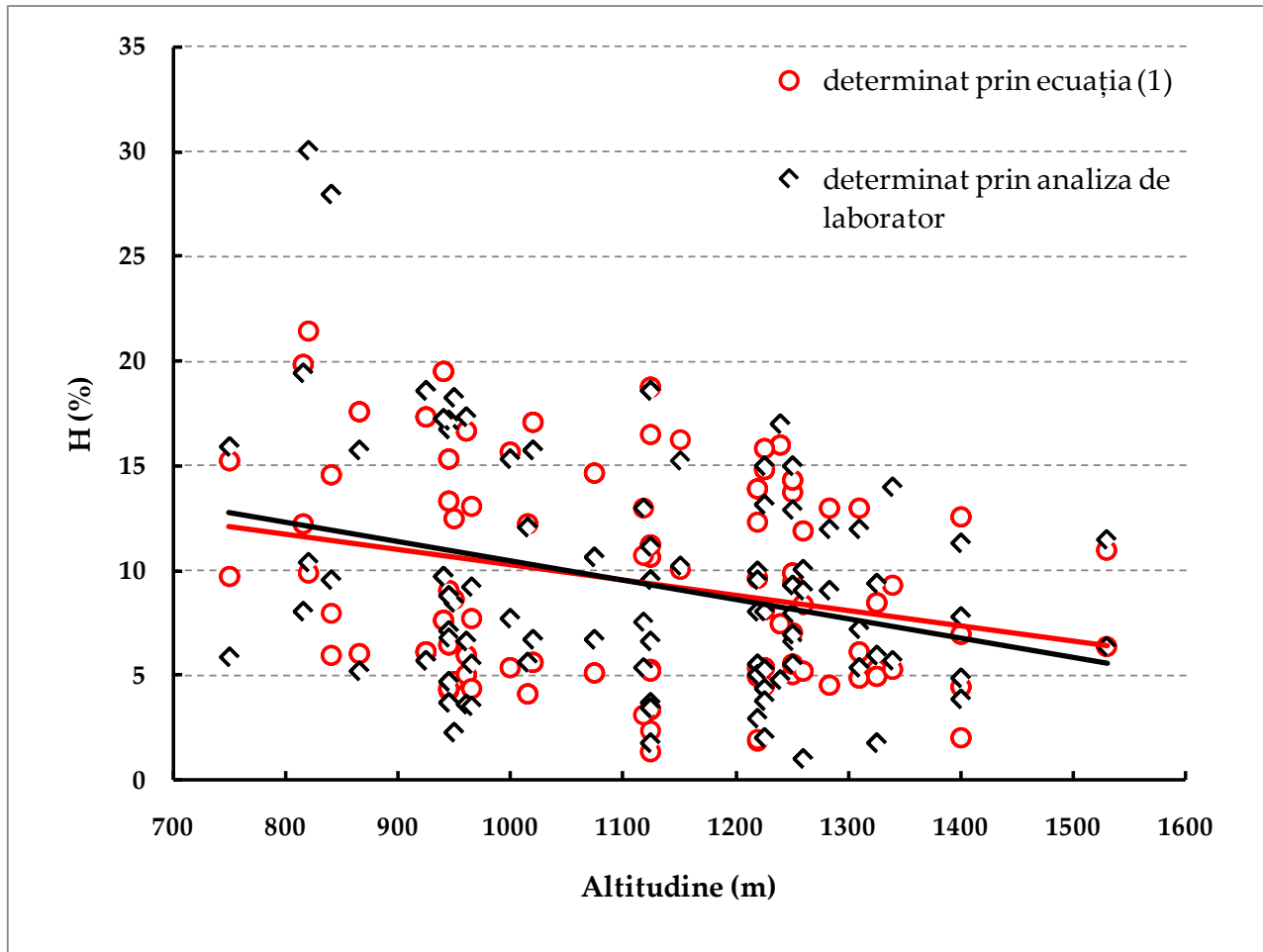
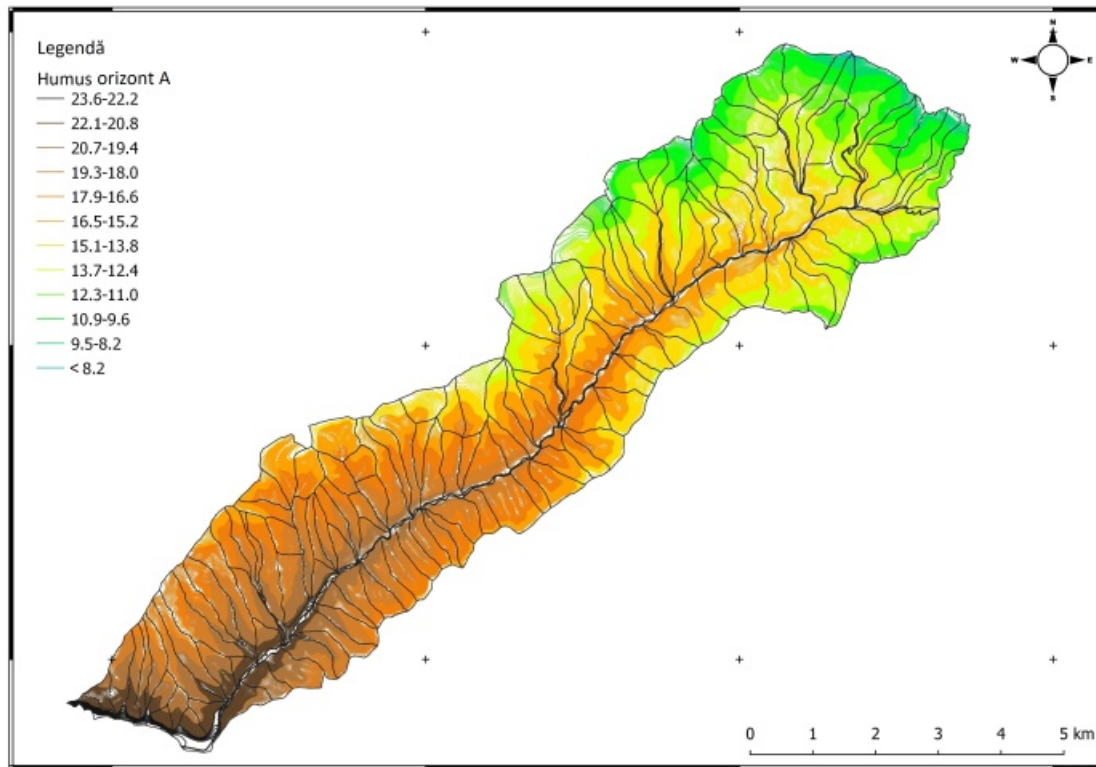
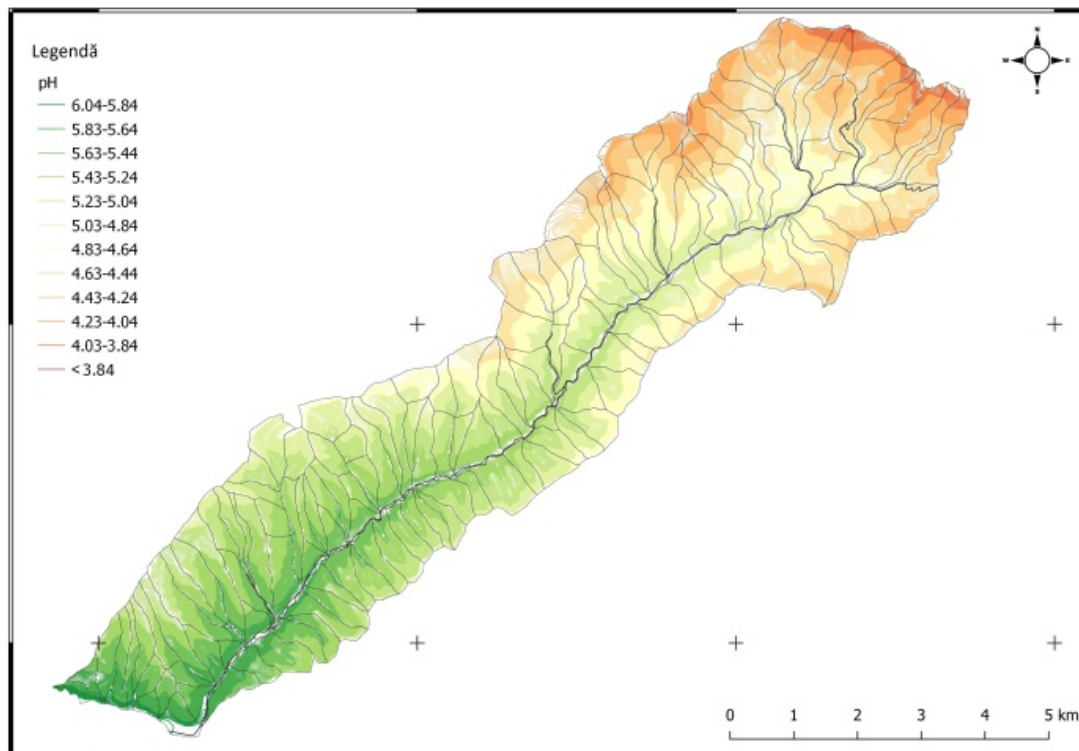


Figura 5. Valorile humusului (H , %) la nivelul orizonturilor de diagnostic determinate prin relația (1) comparativ cu cele determinate prin analiza de laborator ($RMSE = 2,502$)

Valorile obținute prin **Relația 1** sunt asigurate statistic ($p < 0,05$). Ele manifestă aceeași tendință ca și cele determinate prin analiza de laborator (**Figura 5**), abaterea medie pătratică ($RMSE$) având o valoare de 2,502.



a



b

Figura 6. Distribuția humusului (a) și a pH-ului (b) în raport cu altitudinea în orizontul A. Procentul de humus scade cu 5% la fiecare 350 m (20% la altitudine de 750 m, 15% la 1100 m și 10% la 1450 m), iar pH-ul scade de la 5,9 (la 750 m altitudine) la 4,5 (la 1450 m altitudine)

În raport cu altitudinea s-au generat hărți ale principalelor însușiri ale solurilor. În **Figura 6** se prezintă doar harta distribuției humusului (**Figura 6a**) și a pH-ului (**Figura 6b**).

4. DISCUȚII

Acest studiu relevă faptul că proprietățile chimice ale solurilor sunt influențate de altitudine. Relațiile care evidențiază legătura dintre proprietățile solurilor și altitudine explică 26-62% din variația acestora în raport cu altitudinea (**Figurile 2 și 3**). Odată cu altitudinea se modifică condițiile climatice și ele afectează proprietățile fizice și chimice ale solului [9]. Aceste cercetări au evidențiat valori ale *SH* pentru solurile din zonă cuprinse între 5 (la altitudinea de 750) și 30 me/100g sol (la altitudinea de 1550 m). Valori de 30 - 35% pentru *SH* și humus, și de 12-18% pentru *pH* s-au înregistrat și în cazul eutricambosolurilor din diferite regiuni ale țării [16]. Cele mai mici valori în raport cu altitudinea s-au determinat în cazul gradului de saturație în baze, acesta prezentând valori medii cuprinse între 47-55%. Aceasta se explică prin creșterea *SH* ca urmare a intensificării proceselor de levigare pe măsură ce crește altitudinea de la 10 (altitudine 750 m) la 22 (altitudine 1500 m).

Prin alte cercetări, pentru *SH* s-au determinat valori de 16,95 me/100 g sol la altitudini de 900 m [16]. Creșterea *SH* se datorează și vegetației existente și anume a molidului a cărui proporție crește cu altitudinea, acesta având tendința de acidificare a solului [16]. Valoarea *pH*-ului este influențată de materialul parental și de tipul de vegetație [16, 29]. *pH*-ul și azotul se corelează negativ cu altitudinea [17]. Alte cercetări au evidențiat că altitudinea are un impact scăzut asupra conținutului de carbon și azot, vegetația fiind factorul principal care explică variația acestor proprietăți [11]. În majoritatea solurilor din Carpații Orientali au fost determinate procese incipiente de podzolire (criptospodice), puse în evidență de migrarea pe profil a complexelor humico-ferice și humico-aluminice. Aceasta sugerează, în cazul solurilor din Munții Gurghiu - Harghita, prezența unui nivel mai redus al caracteristicilor specifice andosolurilor tipice, astfel că aceste soluri ar putea fi încadrate în sistemul WRB sub numele de andosoluri spodice [30].

5. CONCLUZII

Schimbările de altitudine au un impact semnificativ asupra proprietăților solului. Acestea sunt relevante pentru adaptarea managementului arboretelor amestecate, așa încât amestecurile de specii care se promovează prin gospodărirea acestor arborete, la diferite altitudini, să valorifice sustenabil potențialul stațiunilor forestiere din zona cercetată. Altitudinea este un factor determinant în distribuția humusului și în variația celorlalte proprietăți ale solului. În orizontul A, altitudinea explică 39% din variația humusului, 36% din variația azotului, 50% din variația capacității totale de schimb cationic, 26% din variația sumei bazelor de schimb, 35% din variația gradului de saturație în baze și 62% din variația *pH*-lui. Proprietățile chimice ale solului, cu excepția sumei hidrogenilor schimbabili, sunt influențate negativ de către altitudine. Relația dintre proprietățile chimice ale solurilor și altitudine a fost evidențiată printr-un model, determinat prin regresie multiplă, care explică 79% din variația valorilor proprietăților în raport cu altitudinea.

Cercetările trebuie continuate pentru clarificarea încadrării acestor soluri ca un subtip andic al solurilor din zonă (Cambisoluri și Spodosoluri) sau ca un subtip al Andosolurilor.

MATERIALE SUPLIMENTARE

Nu este cazul.

FINANȚARE

Această lucrare nu a fost finanțată din exteriorul organizației.

MULȚUMIRI

Adresăm mulțumiri personalului Laboratoarelor de Pedologie și Stațiuni Forestiere din cadrul I.N.C.D.S. „Marin Drăcea”, Filiala Brașov, și Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov pentru analiza chimică a probelor de sol.

CONFLICT DE INTERESE

Autorii nu declară niciun conflict de interese.

ANEXE

Nu este cazul

REZUMAT EXTINS – EXTENDED ABSTRACT

Title in English: *The influence of altitude on the physical and chemical properties of the soil in mixed beech-coniferous stands*

Introduction: *Soil is a fundamental element of the forest site and plays a role in the decomposition of organic matter, in the water supply, the nutrient cycle, and it is an important element in the dynamics of stands. In the formation and fertility of soils, several factors are involved. Altitude influences the formation of a specific type of humus and other soil properties, as well as the quality of trees. If the soil properties are influenced by the relief, climatic, and vegetation conditions, then they should have different values in relation to the geomorphological factors that would lead to the differentiation of the productive potential of the site and implicitly on the productivity of the stands. This study aimed to establish relations between soil characteristics and one of the main geomorphological factors - altitude - that characterizes the mountain sites specific to mixed beech-coniferous stands.*

Materials and methods: *This research was carried out in the Gurghiu Mountains, from the Eastern Carpathians of Romania, in the management unit IV Fâncel (46° 47'59" N, 25° 9'22" E) from the Fâncel Forest District. The forests are located at altitudes between 700-1600 m, on volcanic bedrock. In total, 429 compartments were traversed within the experimental area. From 35 soil profiles, samples were collected and analyzed in the laboratory to determine the physico-chemical properties. Soil samples were collected from each diagnostic horizon and were analyzed in the Laboratories of Pedology and Forest Sites within the Brasov Office of the I.N.C.D.S. "Marin Drăcea" and of the Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Brașov. The laboratory analysis determined the following properties: pH (in H₂O), percentage of humus (H), total nitrogen (N), the sum of exchange basis (SB), sum of exchangeable hydrogens (SH), total cationic exchange capacity (T = SB + SH), the base saturation degree (V), and humidity (U). Based on soil's characteristics, herbaceous plant indications, and tree layer, several types of sites were identified. SPSS Statistics Data Editor was used for data analysis. The relation between soil properties and geomorphological factors was*

studied using the ANOVA test. The determined chemical properties were introduced into a multiple regression equation that estimates the humus content.

Results: Soil properties (H, pH, N, SB, SH, T, U, V) are conditioned by the morphogenetic characteristics of soils. These properties were significantly correlated with altitude ($p = 0.01$), except for humidity, for which the correlation was significant only in relation to the aspect and inclination of the terrain. N, at the level of horizon A, was between 0.4 and 1.1%. These values decreased in profile; thus, in horizon B, values reached between 0.05 and 0.8%. The percentage of nitrogen at horizon A showed a decreasing trend as the altitude increased. The average values of SB decreased in horizon A from 20 to 10, and in horizon B from 18 to 7 me/100 g soil. The value of humus can be estimated by the regular procedures at the level of each horizon, as well as indirectly by the use of equation $H = 10.122 \times N - 1.112 \times pH - 0.811 \times SB + 0.057 \times SH + 0.628 \times T + 0.255 \times V - 9.937$.

Discussion: With altitude, climatic conditions change, and they affect the physical and chemical properties of the soils. Our study revealed SH values for soils in the range between 5 (750 m a.s.l.) and 30 me/100g soil (1550 m a.s.l.). Values of 30-35% for SH and humus and of 12-18% for pH were also recorded for eutric Cambosols in different regions of the country. The lowest values in relation to altitude were determined in the case of V (average 47-55%). This finding is explained by the increment of SH as a result of the intensification of leaching processes as the altitude increased. It ranged from 10 (750 m a.s.l.) to 22 (1500 m a.s.l.).

Conclusions: Altitude is a determining factor in the distribution of H and in the variation of other soil properties. The relation that highlights the association between soil properties and altitude explained 26-62% of their variation. In horizon A, the altitude explained 39% of the H variation, 36% of the N variation, 50% of the T variation, 26% of the SB variation, 35% of the V variation, and 62% of the pH variation. The chemical properties of the soil, with the exception of SH, were negatively influenced by altitude. The relation between the chemical properties of soils and altitude was described by a model built by multiple regression which explained 79% of their variation in relation to altitude.

Keywords: altitude, soil properties, humus, Nitrogen, pH

REFERINȚE

1. IFN, 2018: Informații rezultate din al doilea ciclu (2013 - 2018) al IFN. Disponibil online la: <http://roifn.ro/site/ifn-ciclul-ii/> (accesat în iulie 2021).
2. Chiriță C., Vlad I., Păunescu C., Pătrășcoiu N., Roșu C., Iancu I., 1997: Stațiuni forestiere. Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, România, pp. 30-31.
3. Târziu D., Spârchez Gh., 2013: Soluri și Stațiuni Forestiere. Editura Universității Transilvania, Brașov, România, ISBN 978-606-19-0260-6, pp. 172-178.
4. Meyer M.D., North M.P., Gray A.N., Zald H.S.J., 2007: Influence of soil thickness on stand characteristics in a Sierra Nevada mixed-conifer forest. *Plant Soil*, 294, 113-123, doi: 10.1007/s11104-007-9235-3.
5. Spârchez Gh., Târziu D.R., Dincă L., 2011: Pedologie. Editura Lux Libris: Brașov, Romania, ISBN 978-973-131-106-7, 292 p.
6. Ponge J.F., Jabiol B., Gégout J.C., 2011: Geology and climate conditions affect more humus forms than forest canopies at large scale in temperate forests. *Geoderma*, 162, 187-195. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.02.003.
7. Bayranvand M., Kooch Y., Hosseini S.M., Alberti G. 2017: Humus forms in relation to altitude and forest type in the Northern mountainous regions of Iran. *Forest Ecology and Management*, 385, 78-86. doi: 10.1016/j.foreco.2016.11.

8. Saeed S., Barozai M.Y.K., Ahmad A., Shah S.H., 2014: Altitude on Soil Physical and Chemical Properties in Sra Ghurgai (Takatu mountain range) Quetta, Balochistan. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 5(3), 730-735.
9. Fan S., Sun H., Yang J., Qin J., Shen D., Chen Y. 2021: Variations in Soil Enzyme Activities and Microbial Communities along an Altitudinal Gradient on the Eastern Qinghai - Tibetan Plateau. *Forests*, 12, 681. <https://doi.org/10.3390/f12060681>.
10. Enache R.D., Spârchez Gh., 2012: The variation of the chemical properties of eutricambosols and luvosols of the foresty land from the Ialomița Subcarpathians. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry - Wood Industry - Agricultural Food Engineering*, 4(53), 91-98.
11. Shedayi A.A., Xu M., Naseer I., 2016: Khan, B. Altitudinal gradients of soil and vegetation carbon and nitrogen in a high-altitude nature reserve of Karakoram ranges. *Springerplus*, 5, 320-334. doi: 10.1186/s40064-016-1935-9.
12. Keeney D.R., 1980: Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: a literature review. *Forest Science*, 26, 159-171.
13. Zhang S., Chen D., Sun D., Wang X., Smith J.L., Du G., 2012: Impacts of altitude and position on the rates of soil nitrogen mineralization and nitrification in alpine meadows on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Biol. Fertil. Soils*, 48(4), 393-400. doi: 10.1007/s00374-011-0634-5.
14. Dincă L., Spârchez G.H., Dincă M., Blujdea V., 2012: Organic carbon concentrations and stocks in Romanian mineral forest soils. *Annals of Forest Research*, 55(2), 229-241.
15. Charan G., Bharti V.K., Jadhav S.E., Kumar S., Acharya S., Kumar P., Gogoi D., Srivastava, R.B., 2013: Altitudinal variations in soil physico-chemical. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(2), 267-277, doi.org/10.4067/S0718-95162013005000023.
16. Spârchez Gh., Dincă L.C., Marin G., Dincă M., Enescu R.E., 2018: Variation of eutric cambisols' chemical properties based on altitudinal and geomorphologic zoning. *Environmental Engineering and Management Journal*, 16(12), 2911-2918. doi: 10.30638/eemj.2017.300.
17. Bayranvand M., Akbarinia M., Salehi Jouzani G., Gharechahi J., Alberti G., 2021: Dynamics of humus forms and soil characteristics along a forest altitudinal gradient in Hyrcanian forest. *iForest*, 14, 26-33, doi: 10.3832/ifor3444-013.
18. Tavant Y., Tavant H., Bruckert S., 1994: Change in organic-carbon concentrations as function of soil properties and altitude in French Jura. *Geoderma*, 61, 133-141.
19. Kostenko I.V., 2017: Relationships between Parameters of the Humus Status of Forest and Meadow Soils and Their Altitudinal Position on the Main Crimean Range. *Soil Science*, 50(2), 515-525.
20. Sadaka N., Ponge J.F., 2003: Climatic effects on soil trophic networks and the resulting humus profiles in holm oak (*Quercus rotundifolia*) forests in the High Atlas of Morocco as revealed by correspondence analysis. *Eur. J. Soil Sci*, 54, 767-777, doi: 10.1046/j.1365-2389.2003.00566.x.
21. Ponge J.P., Chevalier R., 2006: Humus Index as an indicator of forest stand and soil properties. *Forest Ecology and Management*, 233, 165-175, doi.org/10.1016/j.foreco.2006.06.022.

22. Aubert M., Bureau F., Alard D., Bardat J., 2004: Effect of tree mixture on the humic epipedon and vegetation diversity in managed beech forests (Normandy, France). *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 233-248, doi: 10.1139/x03-205.
23. Covington W.W., 1981: Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods. *Ecology*, 62, 41-48.
24. Bragă C., Spârchez Gh., 2015: The influence of forest management on the amount of litter organic carbon in beech forests. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry - Wood Industry - Agricultural Food Engineering*, 57 (1), 1-6.
25. Tudoran G.M., Zotta M., 2020: Adapting the planning and management of Norway spruce forests in mountain areas of Romania to environmental conditions including climate change. *Science of the Total Environment*, 698, Article 133761, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133761
26. Cicșa A., Tudoran G.-M., Boroeanu M., Dobre A.-C., Spârchez G., 2021: Estimation of the Productivity Potential of Mountain Sites (Mixed Beech-Coniferous Stands) in the Romanian Carpathians. *Forests*, 12, 549, doi.org/10.3390/f12050549.
27. Carcea F., Tudoran G.M., 2012: Functional zoning of the forests included in protected natural areas. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry - Wood Industry - Agricultural Food Engineering*, 5(54)2, 7-14.
28. Tudoran G.M., 2013: Regulations regarding the management of forests included in natural protected areas. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry - Wood Industry - Agricultural Food Engineering*, 6(55)1, 33-38.
29. Blonska E., Jaroslaw L., 2017: Soil organic matter accumulation and carbon fractions along a moisture gradient of forest soils. *Forests*, 8, 448, doi:10.3390/f8110448.
30. Jakab S., Fazakas C., Fuleky G., 2011: Andosols of the East Carpathian volcanic range. *Acta Univ. Sapientiae Agric. Environ.*, 3, 110-121.