

## UTILIZAREA PROGRAMELOR DE MODELARE ÎN PEDOLOGIA FORESTIERĂ

LUCIAN DINCĂ<sup>1</sup>, MARIA DINCĂ<sup>1</sup>, NICOLAE BĂCĂINȚAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Brașov, Romania

<sup>2</sup>O.S.P.A. Brașov

### Abstract

#### UTILIZATION OF FOREST PEDOLOGY MODELLING PROGRAMS

After a short presentation of forest pedology modelling (definition and purpose), some soil organic mater (SOM) simulation models, such as LINKAGE, ITE, SOMM and ROMUL are presented. The LINKAGE model is often used in the case of forest ecosystems and the ITE model in the case of forest plantations. The SOMM model has a part concerning the litter and three parts concerning the SOM. By the utilization of the ROMUL model are obtained the following data: the litter quantity (in OL, OF and OH), the C/N ratio, the CO<sub>2</sub> and accessible plant nitrogen quantities.

The SOILWATER model of hidro-physic index simulation is described together with his test in the case of 8 Romanian soil types. The main conclusion resulted after these simulations is that the SOILWATER program can be utilized to the Romanian soils for the fast determination of the available water and the bulk density.

**Keywords:** models, pedologie, soli organic mater, hidro-physic index

### Rezumat

După prezentarea definiției și scopului modelării, sunt descrise câteva din modelele utilizate în prezent pentru simularea materiei organice din sol (SOM): LINKAGE, ITE, SOMM și ROMUL.

Modelul LINKAGE este utilizat frecvent în prezent, mai ales pentru ecosistemele forestiere. Modelul ITE este utilizabil în cazul plantațiilor forestiere. Modelul SOMM are o parte componentă referitoare la litieră și trei la SOM. Datele ce se obțin cu ajutorul modelului ROMUL sunt: cantitatea anuală de litieră (în OL, OF și OH), raportul C/N, cantitatea de CO<sub>2</sub> și de azot accesibile plantelor.

Este analizat apoi modelul SOILWATER, de simulare a indicilor hidrofizici ai solurilor. Acest model a fost testat pentru 8 tipuri de soluri din țara noastră. Concluzia obținută în urma acestor testări este că Programul SOILWATER poate fi utilizat pentru determinarea expeditivă a capacității de apă utilă și a densității aparente a anumitor tipuri de soluri din România, plecând de la textura acestora.

**Cuvinte cheie:** modele, pedologie, materie organică din sol, indici hidrofizici.

## 1. DEFINIȚIA ȘI SCOPUL MODELĂRII

### 1.1. Definiția modelului

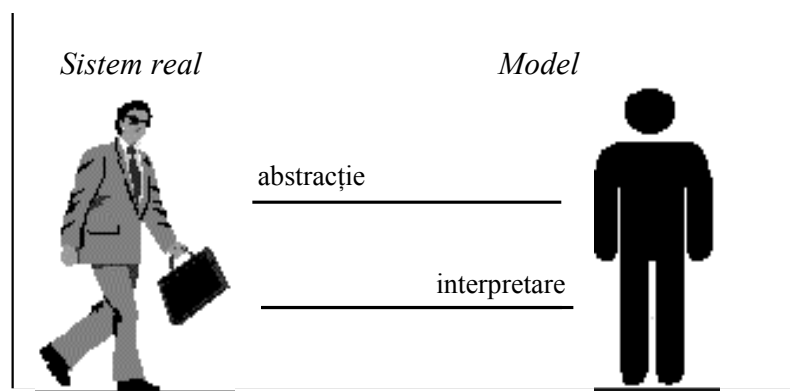
Modelarea (analiza unor procese biologice cu ajutorul unor programe speciale, întocmite pentru calculatoarele electronice) este un procedeu modern utilizat din ce în ce mai mult în biologie în general și în silvicultură în particular.

Modelele sunt, în majoritatea lor, caricaturi ale realității, dar dacă sunt bune, a-tunci, ca și caricaturile bune, ele portretizează, deși poate într-o manieră distorsionată, unele dintre trăsăturile lumii reale (Skovsgaard, J.P., 2001).

După Rennie, P., modelul este o versiune simplificată a realității, folosit pentru înțelegerea mai bună a proceselor biologice și pentru adoptarea corectă a deciziilor.

Dunster (1996) definește modelul ca o reprezentare idealizată a realității, constituită pentru a descrie, analiza și înțelege comportamentul unor componente ale sale.

Modelul este legat de realitate prin două procedee: abstracția și interpretarea (fig.1).



**Fig. 1.** Abstracția și interpretarea în cazul modelării

The abstraction and the interpretation in modelling

Abstracția înseamnă generalizare, adică luarea în considerare a celor mai importante componente ale unui sistem real și ignorarea celor mai puțin importante. Importanța este evaluată prin efectul relativ al componentelor sistemului asupra dinamicii sale.

Interpretarea înseamnă că funcționarea și componentele modelului (parametri, variabile) pot fi comparate cu cele ale sistemului real.

Astăzi, termenul de model este folosit pe larg pentru un număr foarte mare de reprezentări ale realității, de la simple descrieri calitative ale unui sistem, până la abstracții matematice complexe ale unor funcții (Kleine, 1997).

## 1. 2 Scopul modelării

Scopul principal al modelelor nu este atât de mult cel de a explica și prezice (deși, în definitiv, acestea sunt principalele cerințe ale științei), ci de a polariza gândirea și de a pune întrebări pertinente (Kac, M.).

În silvicultură, modelele se bazează pe utilizarea calculatoarelor pentru prezicerea: creșterii arboretelor, infestării lor cu dăunători, dinamicii ecosistemelor, dinamicii populațiilor de animale etc. De fapt, singurul mod în care se pot face prevederi pe termen lung și pe suprafețe mari în silvicultură este cel de utilizare a modelelor (Rennie, P.).

“Modelele sunt întotdeauna greșite,..... dar multe dintre ele sunt folositoare”. Cum se poate întâmpla ca un model greșit să dea totuși răspunsuri corecte? În același mod în care o hartă veche (care considera Pamântul plat și folosea distanțe greșite), a fost folo-sitoare pentru călătorii din trecut.

Pentru construirea unui model se parcurg următoarele etape: i) observarea sistemului real ce va fi modelat; ii) definirea scopului modelării; iii) formularea unui model descriptiv; iv) alcătuirea modelului matematic; v) constituirea unei simulări computerizate; vi) testarea modelului.

În funcție de tipul de model utilizat, nu toate aceste activități sunt absolut necesare. Însă, procesele complexe ale ecosistemelor necesită modele matematice mai mult sau mai puțin elaborate. Aceste modele trebuie să fie implementate cu ajutorul computerului deoarece, comparativ cu mintea umană, procesarea electronică a datelor este mult mai sigură pentru relevarea implicațiilor multiple ale multitudinii de relații existente între componentele sistemului (Bossel, 1994).

## 2. MODELE DIN DOMENIUL PEDOLOGIEI FORESTIERE

Primele abordări teoretice ale procesului de simulare a caracteristicilor solului au fost realizate în anii 1970 (Kline, 1973; Runnge, 1973; Bondarenko și Liapunov, 1973; Hugget, 1975; Yaalon, 1975). Unele lucrări referitoare la metodologia de simulare matematică a caracteristicilor solului au apărut în aceeași perioadă (Bayilevich, 1978; Certov s.a., 1978; Ulrich s.a., 1979). Problematika aceasta a fost analizată mai târziu și de Smeck s.a., 1983; Lavalley, 1987; Sverdrup, 1990; Addiscott, 1993.

Dintre modelele de simulare din domeniul Pedologiei forestiere vom detalia două categorii de modele.

### 2.1. Modele de simulare a materiei organice din sol (modele SOM)

Simularea dinamicii materiei organice din sol (sau simularea SOM, cum va fi menționată în continuare din considerente de exprimare concisă), a debutat încă de la începuturile simulării proceselor pedogenetice.

**Modelele SOM "vechi"** au fost elaborate în anii 1960-1970 și au derivat din modelele aplicate ecosistemelor și, deci, nu din aplicarea strictă a cunoștințelor pedologice.

Primul model ce poate fi încadrat în categoria modelelor SOM este modelul Olson (1963). Acesta consideră însă descompunerea resturilor organice doar ca un proces de mineralizare și nu includea o descriere a humusului.

În 1977, Prusinkiewicz a întocmit primul model SOM bazat pe conceptul de tip de humus (mull, moder și moor). Acest model are, totodată, și meritul de a încorpora pentru prima oară și activitatea microorganismelor din sol.

Modelul elaborat de Nakane în 1978 a fost unul al dinamicii SOM în ecosistemele naturale, care a luat în considerare mineralizarea litierii, humificarea și, în plus față de alte modele anterioare, și distribuția humusului pe adâncimea solului.

**Modelele SOM "recente"** sunt în număr destul de mare. Chertov face o prezentare foarte sintetică a câtorva dintre acestea, fără a lua în considerare modelele privind dinamica azotului din sol.

Majoritatea modelelor moderne consideră dinamica SOM ca dependentă de cantitatea și calitatea litierii, de temperatură și de alți parametri ce reflectă regimul de apă din sol. Unele modele necesită introducerea de date privind umiditatea solului (Li et al., 1994; Franko et al., 1995; Certov și Komarov, 1996), altele necesită date privind evapotranspirația, fiind sub-modele ale unor modele generale privind ecosistemele (modelul LINKAGE al lui Pastor și Post, 1985 și modelul CENTURY al lui Parton et al., 1988). Există, de asemenea, un grup de modele în care textura solului joacă un rol important (Jenkinson, 1990; Verberne et al., 1990; Hansen et al., 1991; Li et al., 1994; Franko et al., 1995).

**Modelul LINKAGE**, elaborat de Pastor și Post în 1985, este un foarte cunoscut model al ecosistemelor forestiere, care are implementat un model SOM privind procesele pedogenetice din solurile forestiere. Modelul asigură simularea mineralizării SOM, cu referințe speciale la accesibilitatea și utilitatea azotului din sol pentru nutriția arborilor. O caracteristică particulară a modelului o reprezintă utilizarea evapotranspirației ca un parametru de bază ce determină mineralizarea SOM. Acest model este utilizat pe scară largă în prezent. De exemplu, el a fost folosit de Kellomäki s.a. în 1992 ca un component într-un model general referitor la pădurile boreale.

**Modelul elaborat de Ägren și Bosatta**, în 1987, se bazează pe studiile efectuate în Suedia și în alte țări scandinave privind descompunerea litierii de pădure. Modelul ține cont de variația în cele mai mici detalii a compoziției litierii, de modificările ce apar în cursul transformării SOM și de interacțiunea dintre substrat și procesul de descompunere a resturilor organice.

**Modelul ITE**, elaborat de Thornley și Cannel în 1992, este un model utilizabil pentru plantațiile forestiere. El reprezintă o abordare relativ simplistă a dinamicii SOM, tratând doar mineralizarea (cu o prezentare detaliată a transformării azotului - amonificare și nitrificare), dar neluând în considerare procesul de humificare. Modelul are patru componente ale litierii și trei ale azotului mineral. El a fost elaborat inițial ca o abordare teoretică, dar este utilizat în prezent la simularea dinamicii SOM și a nutriției

arborilor.

**Modelul elaborat de Grant** și colaboratorii (1993) conține o prezentare detaliată a organizării și funcționării a patru componente ale litierei și ale SOM (masa SOM, biomasa microorganismelor, materia organică solubilă și reziduurile microbiologice) și reprezintă procesul transformării SOM și al biomasei în fiecare din aceste patru componente. Acest model poate fi considerat ca unul foarte complex, permițând calcularea dinamicii carbonului și azotului în SOM (ex.: mineralizarea, imobilizarea și retenția, produsele intermediare ale descompunerii și biomasa microorganismelor). Modelul a fost verificat în condiții controlate, prin experimente de laborator.

**Modelul elaborat de Goto et al.** (1994) este o extensie a modelului Nakane. SOM se regăsește în model ca necromasă și humus. Modelul are două componente ale litierei și include humificarea necromasei, descompunerea acesteia și a humusului și, în final, repartiția humusului pe profilul solului. Acesta poate fi considerat ca un model de tip universal, permițând simularea dinamicii SOM pentru o mare varietate de ecosisteme terestre. Pe baza ideilor încorporate în acest model, s-au elaborat ulterior, de către alți specialiști, alte modele similare (ex.: modelul NAM-SOM al lui Ryzhova).

**Modelul SOMM** (Certov și Komarov, 1996; 1997) se bazează pe folosirea conceptului clasic de tip de humus. Modelul are o parte componentă referitoare la litieră și trei la SOM: litiera nedescompusă, materie organică parțial humificată și humus. Intrările din model reprezentând litiera pot fi reprezentate și în alte elemente, cum ar fi lemnul mort, care are elemente caracteristice speciei, cenușă și conținut de azot specifice. Sunt luate în considerare trei procese de humificare a SOM realizate de trei comunități de microorganisme (fără a se lua în considerare biomasa acestora) și trei procese de mineralizare.

Modelul se bazează pe un sistem de ecuații diferențiale a căror coeficienți depind de: umiditatea și temperatura solului, conținutul litierei în azot și cenușă, respectiv raportul C/N din sol. Corelațiile dintre acești coeficienți și variabilele redate mai sus au rezultat din experimente privind descompunerea litierei în condiții variate.

Principalele caracteristici ale modelului SOMM sunt deci următoarele: i) corepondența sa cu conceptul clasic de tip de humus; ii) setul minimal de parametri de introdus în model (cantitatea de litieră, calitatea litierei în funcție de specie, temperatura și umiditatea solului); iii) considerarea faunei din sol ca o componentă importantă și interacțiunea acesteia cu microorganismele în procesele biochimice ale descompunerii litierei.

**Modelul ROMUL** (“model of Raw humus, mOder and MULI”, - Certov, Komarov, s.a., 2001), este o formă îmbunătățită a modelului SOMM. Acest model are încorporat un model climatic, ce permite conversia precipitațiilor și temperaturii aerului în temperatură și umiditatea solului.

Spre deosebire de SOMM, modelul ROMUL ia în considerare două categorii de materie organică: de deasupra solului și din sol, realizând modelarea separată a acestora.

Datele ce se obțin cu ajutorul acestui model sunt: cantitatea anuală de litieră (în

OL, OF și OH), raportul C/N, cantitatea de CO<sub>2</sub> și de azot accesibile plantelor.

Certov și Komarov au efectuat o simulare cu ajutorul programului ROMUL privind dinamica SOM după efectuarea unei tăieri rase într-un arboret de molid cu *Vaccinium* din Rusia. Litiera acumulată anual a fost de 0,4 kg/m<sup>2</sup>/an, acele de molid au avut un conținut de cenușă de 1,7% și de azot de 0,6%; ramurile: cenușă = 1,5%, N = 0,24%; rădăcinile fine: cenușă = 2,0%, N = 0,6%, iar rădăcinile grosiere: cenușă = 1,5%, N = 0,2%.

Rezultatele obținute, arată că variația SOM este similară cu cea a litierei. Materia organică din sol ajunge la valoarea inițială abia la 50 de ani de la efectuarea tăierii arboretului. Cantitatea de litieră crește cam de 6 ori în momentul efectuării tăierii, după care, cum era de așteptat, scade brusc. În următorii ani se constată o creștere a cantității de litieră, după care aceasta devine relativ constantă.

Numărul modelelor de simulare SOM este în continuă creștere. La nivelul anului 1996 erau înregistrate la Registrul modelelor agro-ecosistemelor (Plentinger și Penning de Vries), un număr de 18 modele SOM propriu-zise, la care se pot adăuga un număr însemnat de modele auxiliare.

Dacă primele modele SOM aveau mai mult un caracter teoretic, în prezent modelele elaborate sunt validate prin experimente în laborator și pe teren.

Printre carențele teoretice ale unor modele SOM pot fi amintite următoarele:

Majoritatea modelelor nu iau în considerare rolul faunei din sol. Acest fapt este o lacună importantă, pentru că fauna solului joacă un rol important în procesul de humificare (Wilde, 1958; Duchaufour, 1961; Certov, 1981). Unele modele (Hunt et al., 1987; Moran et al., 1988; De Ruiter și Van Faassen, 1994; Zheng et al., 1997), iau în considerare activitatea faunei din sol, dar numai din punct de vedere taxonomic, al grupelor funcționale de organisme, fără nici un concept al comunității descompunătorilor din sol.

O includere explicită a activității faunei din sol în modelele SOM permite relevarea impactului unor factori externi (ex.: poluarea) asupra caracteristicilor solului. De exemplu, s-a dovedit prin modelul SOMM că este suficientă modificarea activităților de descompunere făcute de fauna din sol pentru a se descrie modificările globale ale carbonului și azotului în relație cu schimbarea condițiilor de mediu. Uneori este suficient să se "stopeze" activitățile unui anumit grup de descompunători (râme, de exemplu) pentru a se simula perturbările din ecosistem.

Unele modele SOM, mai ales cele din domeniul agricol, evită identificarea acizilor fulvici și a celor huminici. Doar un singur model (Morozov și Samoilova, 1993) este teoretic acceptat în prezent ca oferind o simulare matematică corectă a dinamicii acizilor huminici.

Pe viitor, ar fi necesar să se dezvolte și modele privind transformarea părții minerale a solului, care să fie corelate cu modelele SOM. Aceste modele vor fi mai greu de întocmit, deoarece ecuațiile utilizate vor deveni neliniare. Primele încercări au fost făcute în acest domeniu de către Ägren și Bosatta în 1996.

În momentul de față, modelele care pot fi utilizate pentru simularea SOM în

ecosistemele forestiere sunt următoarele: CENTURY, LINKAGE, ITE, ROTHC, SOMM și ROMUL.

În concluzie, se poate afirma că, deși simularea dinamicii materiei organice din sol este foarte dificilă, s-au realizat progrese însemnate în acest domeniu, iar programele existente permit obținerea unor rezultate remarcabile. În viitorul apropiat se vor întocmi, în mod cert, noi programe perfecționate de modelare și în acest domeniu, aria de activitate a modelării fiind cea mai dinamică dintre cele ale lărgirii cunoștințelor în silvicultură. Modelarea dinamicii SOM joacă un rol foarte important în simularea evoluției ecosistemelor terestre datorită importanței procesului de acumulare a materiei organice în sol, de descompunere a acesteia în substanțe nutritive necesare plantelor și de variație a stabilității ecosistemelor. De asemenea, aceste modelări permit cunoașterea mai bună a proceselor pedogenetice.

## 2.2. Modele de simulare a indicilor hidrofizici ai solului

Acest tip de modele permite calculul indicilor hidrofizici ai solurilor, pornind de la parametri care pot fi detectați cu ușurință (fracțiunile granulometrice). Dintre aceste modele, prezentăm în continuare modelul american **SOILWATER**.

Pe baza datelor privind fracțiunile granulometrice ale unui sol (se introduc procente de nisip și argilă), se calculează următorii parametri ai solului respectiv (fig. 2):

i)-coeficientul de ofilire (wilting point) -CO; ii) -capacitatea de apă în câmp (field capacity)-CC; iii) -capacitatea de apă utilă (available water) -CU; iv) -capacitatea totală pentru apă (saturation); v) -densitatea aparentă (bulk density) -Da; vi) -conducitivitatea hidraulică în mediu saturat (sat. hydraulic conduct.).

S-a testat modelul SOILWATER folosindu-se date provenind de la diferite profile de sol (8 soluri din trei clase, conținând 44 orizonturi). Testarea s-a făcut în două variante: cu fracțiunea nisip conform standardului românesc ("variantea românească", în care nisipul are 2-0,02 mm) și conform standardului american ("variantea americană", în care nisipul are 2-0,05 mm). Ambele variante, determinate cu modelul SOILWATER, au fost comparate cu rezultatele obținute prin determinări de laborator.

Din datele redate în tabelul 1 se pot trage următoarele concluzii:

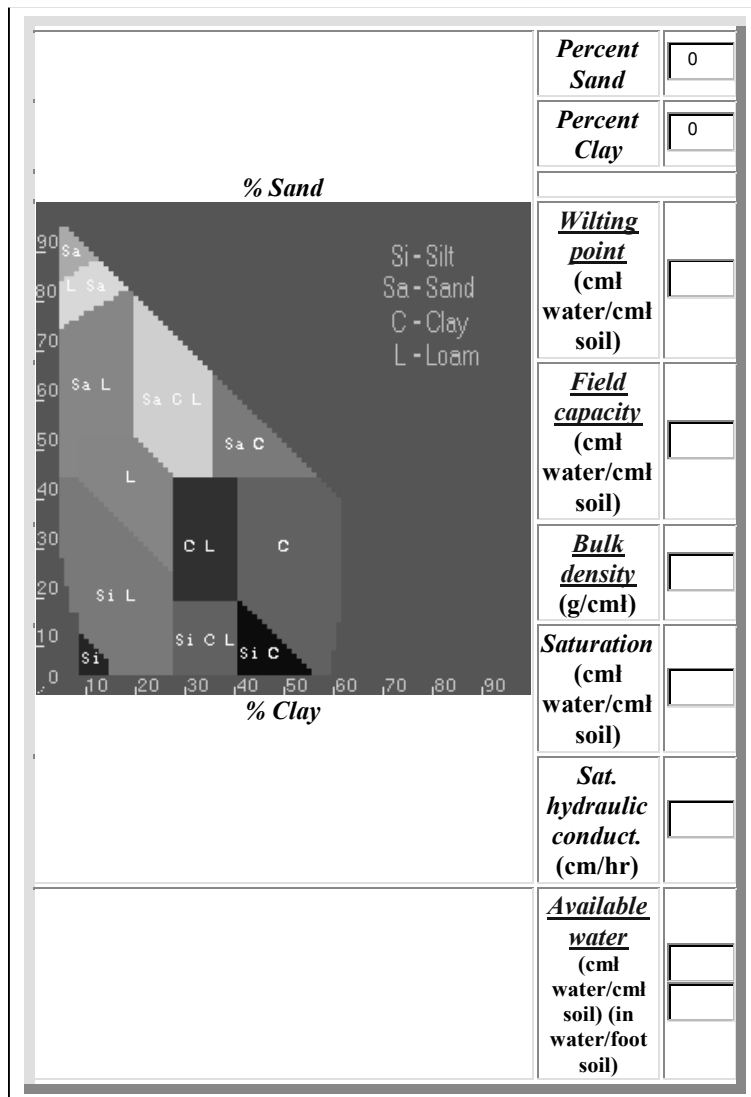
Diferențele obținute prin modelarea cu ajutorul programului SOILWATER față de datele de laborator sunt mari pentru coeficientul de ofilire și capacitatea de apă în câmp.

Capacitatea de apă utilă și densitatea aparentă pot fi determinate cu o precizie satisfăcătoare, pentru anumite tipuri de soluri, cu ajutorul programului menționat.

Diferența dintre coeficienții hidrofizici obținuți prin modelare între luvisolul albic și cernoziomul cambic este foarte mică.

Programul SOILWATER poate fi utilizat pentru determinarea expeditivă a capacității de apă utilă și a densității aparente a anumitor tipuri de soluri, plecând de la textura acestora.

S-ar putea întocmi un program similar, specific pentru solurile din țara noastră, prin stabilirea unor ecuații de regresie, bazate pe numeroase date experimentale.



**Fig. 2.** Interfața programului SOILWATER

The SOILWATER print screen program

**Tabelul 1.** Rezultatele obținute (%) prin compararea unor determinări de laborator cu simularea lor prin programul SOILWATER

Results (%)Obtained by comparing lab soil determinations with SOILWATER simulation

Tip sol	Nr prof/ nr oriz	CO		CC		CU		Da	
		Rom	Am	Rom	Am	Rom	Am	Rom	Am
Luvisol albic (Luvosol)	3/13	178	178	123	136	103	127	99	96
Cernoziom cambic (Faeziom)	3/18	178	178	124	138	93	118	102	99
Brun acid (Districambosol)	2/13	149	155	93	108	130	119	69	88



### 3. CONCLUZII GENERALE

Modelele de simulare a materiei organice din sol (SOM) au evoluat constant, din 1970 până în prezent, fiind din ce în ce mai complexe.

Deși prezintă unele curențe (nu iau în considerare rolul faunei din sol, nu urmăresc transformarea părții minerale a solului etc.), modelele SOM au o importanță majoră pentru simularea evoluției ecosistemelor forestiere, sechestrarea carbonului în sol, circuitul elementelor nutritive etc.

Modelele de simulare a indicilor hidrofizici ai solului, deși trebuie îmbunătățite (prin luarea în considerare și a altor factori, nu numai a texturii, prin adaptarea lor la anumite tipuri de sol sau la anumite zone), pot fi utilizate pentru calculul expeditiv și orientativ al acestor indici. Ele au avantajul că înlocuiesc metode de determinare costisitoare și foarte laborioase.

### BIBLIOGRAFIE

- CANARACHE, A., 1990: Fizica solurilor agricole, Editura Ceres, Bucuresti.
- CHERTOV, O.G., KOMAROV, A.S., KAREV G.P., 1999: Modern approaches in forest ecosystem modelling, European Forest Institute Research Report, 8.
- DINCA L., 2004: Programe de modelare pentru silvicultura. Editura Silvodel, Brasov, 172 pag.
- EITZINGER, J., TRNKA, M., HOSCH, J., ZALUD, Z., DUBROVSKY, M., 2004: Comparision of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating water content during growing season under different soil conditions, Ecological Modelling, 171 (3).
- HOULLIER, F., BOUCHON, J., BIROT, Y., 1991: Modelisation de la dynamique des peuplements forestiers: etat et perspectives, Revue forestieres francaise, nr. 2.
- KOLEV, B., ROUSSEVA, S., DIMITROV, D., 1996: Derivation of soil water capacity parameters from standard soil texture information for Bulgarian soils, Ecological Modelling, 84 (1-3).
- MONSERUD, R.A., 2001: The role of models in answering questions of forest sustainability, Forest Modelling for Ecosystem Management, Forest Certification and Sustainable Management Conference, Vancouver, Canada.
- MONTERO, E., 2005: Scaling, fractals and diversity in soils and ecohydrology, Ecological Modelling, 182 (3-4).
- SAXTON, K.E., et al., 1986: Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Amer. J., 50(4): 1031-1036.
- SKOVSGAARD, J.P., 2001: Discussion Presentation, Forest Modelling for Ecosystem Management, Forest Certification and Sustainable Management Conference, Vancouver, Canada.
- TÂRZIU, D., 1997: Pedologie si statii forestiere, Ed. Ceres Bucuresti.
- VANCLAY, J.K., SKOVSGAARD, J.P., 1997: Evaluating forest growth models, Ecological Modelling, 98 (1): 1-12.
- \*\*\* A X-a Conferința Națională pentru Știința Solului: Valorificarea superioară a terenurilor agricole și silvice din sud-estul Transilvaniei. Ghidul excursiilor. Publicațiile SNRSS, nr.18, 1979.
- \*\*\* A XVI-a Conferința Națională pentru Știința Solului. Ghidul excursiilor. Publicațiile SNRSS, nr.30, 2000.