

AZ ERDŐTELEPÍTÉSEK SZÉNKÖRFORGALMÁNAK MODELLEZÉSE

Somogyi Zoltán

ERTI, Budapest

Abstract

The paper describes a country specific carbon accounting model. It was designed to allow one to estimate the amount of carbon that can be fixed in a forestry system in Hungary, including afforestations established to sequester carbon. The model uses all possible information concerning the growth of trees, silvicultural characteristics of species, and other biomass and carbon related processes that constitute the carbon cycle of the Hungarian forests and that is currently available. The structure of the model is so that it can be used for other countries with similar data structure. The use of the model is user-friendly, which is also made possible by the ample help. The help system documents, both in Hungarian and English, all the information that was used to build the model, how accurate estimates are, how to use the model, and a lot of literature on carbon and forestry related issues.

Bevezetés. A klímaváltozás és létrejöttének fő oka

A Föld légköre melegszik, s ennek okozója mi magunk vagyunk! - még 1979-ben fogalmazták meg ezt a kérdéssel foglalkozó meteorológusok. Nemsokára már a politikusokat is aggasztani kezdte ez az új keletű probléma, akik a lehető legkorszerűbb tudományos állásfoglalást igényelték. Létrehoztak hát egy nemzetközi tudományos testületet, az IPCC-t. Ennek első jelentése (IPCC, 1990) megerősítette a korábbi félelmeket: egyre gyorsuló klímaváltozás fenyeget. Az IPCC második és harmadik jelentése (IPCC, 1995, 2001) további bizonyítékokkal szolgált, sőt a klímaváltozás sebességét a korábbiaknál nagyobbra becsülte, s kijelentette, hogy a klímaváltozás leküzdése csak az egész emberiség összefogásával lehetséges.

A XX. században 0.6 ± 0.2 fokot emelkedett a Föld átlaghőmérséklete, ami a legutóbbi becslések szerint a következő század végére további legalább 1.4, legrosszabb esetben pedig akár 5.8 fokkal is tovább nőhet. A fokozódó hőség sok más kellemetlen következménnyel is együtt járhat. Így pl. hazánkban egyes helyeken jelentősen csökkenhet a (már most is kevés) csapadék, míg a Föld bármely pontján megnőhet a károkat is okozó különféle szélsőséges meteorológiai jelenségek (aszályos időszakok, tornádók, jégesők, nagy

melegek stb.) gyakorisága, és a jégtakaró elolvadása miatt oly mértékben megemelkedhet a tengerek szintje, hogy több száz millió ember lakhelye kerülhet veszélybe.

A földi klímarendszer bonyolultsága miatt egyelőre nem tudjuk megjósolni, hogy hol milyen formában fognak a klíma különböző jellemzői megváltozni, és az is igaz, hogy a klímaváltozásnak egyes helyeken (elsősorban a mostani hideg égöv egyes részein) kedvező hatásai is lehetnek. Összességében azonban a klímaváltozás több kockázatot rejt magába, mint amennyi előnnyel járhat. Minél gyorsabb a klímaváltozás, annál több lehet a ma még fel sem tárt veszély.

A klímaváltozásért elsősorban okolt szén-dioxid légköri koncentrációja ma 30%-kal több, mint két évszázada, a metáné pedig százszorosa a korábbiak. A szén-dioxid kibocsátás forrása először az erdőirtás volt, majd a XX. sz. elejétől a fosszilis tüzelőanyagok: a szén, kőolaj és földgáz elégetése. A légkör összetételét ezek a kibocsátások már elég jelentősen megváltoztatták, és a tudósok túlnyomó többségének álláspontja szerint a klímaváltozásnak így az emberi tevékenység a fő előidézője.

A klímaváltozás mérséklése és hatásaihoz való alkalmazkodás

Ha viszont mi idéztük elő a klímaváltozást, akkor legalább elvben tehetünk is valamit a kedvezőtlen folyamatok megfékezésére. Tudósok sokaságának felhívására, és az IPCC említett első jelentésének hatására 1990-ben az ENSZ irányításával megkezdődtek azok a tárgyalások, amelyek végül az ENSZ Klímaváltozási Keretegyezménye (UNFCCC) elfogadásához vezettek. Ezt az igen magas szintű egyezményt, melynek mára a Föld csaknem valamennyi országa (továbbá az Európai Unió is) tagjává vált, 1992-ben fogadták el, és 1994-ben lépett életbe.

Az Egyezmény fő célja az, hogy csökkenjen az üvegházhatású gázok kibocsátása. Ezt azonban leginkább csak az 1997-ben elfogadott, immár jogilag kötelező érvényű kötelezettségeket tartalmazó Kiotói Jegyzőkönyvben (Kyoto Protocol) önként vállalt korlátozással lehet elérni. E jegyzőkönyvben 37 fejlettebb ország vállalta, hogy üvegházhatású gáz kibocsátása a 2008-tól 2012-ig terjedő időszak átlagában mintegy öt százalékkal kell alacsonyabb legyen az 1990-es szinthez képest. Magyarország az 1985-87-es időszak átlagához képest 6% csökkentést vállalt.

Ahhoz, hogy az emisszió tényleges visszafogását elérjük, mindenképpen csökkenteni kell az erőművek, az ipar, a közlekedés és a háztartások kibocsátását. Emellett az is fontos – és ezt a Jegyzőkönyv lehetővé is teszi -, hogy a levegő szén-dioxid tartalmát lekössük erdőtelepítésekkel. Hazánkban az erdők területének növelése az egyetlen hatékony módja annak, hogy a többlet szén-dioxidot tartósan kivonjuk a légkörből (Somogyi, 1997, 2001). Erdősítésekkel a kibocsátás-csökkentési vállalásokhoz képest ugyanis valóban elég nagy mennyiségű szén leköthető (Somogyi, 2000, 2001).

A Jegyzőkönyv számos további olyan intézményt és eljárást határoz meg, amelyek a kötelezettségek végrehajtását megkönnyíthetik. Ezek között itt megemlítendő két vagy több ország együttműködésének többféle lehetősége, melynek során a kötelezettségek teljesítése más országokban való beruházások segítségével valósítható meg. A Jegyzőkönyvben csak nagy vonalakban említett intézmények és eljárások részletes szabályozását az ún. Marrakeshi Megállapodás (Marrakesh Accords, 2001), továbbá az IPCC jelenleg kidolgozás alatt álló követelményrendszere (IPCC, 2003) rögzíti.

Erdősítések szénkörforgalmának modellezése

Erdősítéseket természetesen sokféle célból lehet végezni, de az egyik cél mindenképpen biomassza termelése, ill. szén lekötése lehet. Ahhoz, hogy megfelelő döntéseket hozzunk erdősítések létesítéséről, megfelelő pontosságú információkkal kell, hogy rendelkezünk. Az, hogy mennyi szén, milyen ütemben és milyen módon kötődik le egy erdősítésben, nem határozható meg könnyen és gyorsan, csak sok számolás eredményeképpen.

Jelenleg többféle modell áll rendelkezésre az egész világon, amelyek alkalmasak e sok számítás elvégzésére, s így erdősítések szénkörforgalmának modellezésére (pl. CO2FIX, GORCAM). Ezek megfelelő paraméterezése azonban nehéz lehet, mivel struktúrájuk nem feltétlenül fogad be olyan adatokat, amelyek rendelkezésre állnak az egyes országokban, így pl. hazánkban. Tekintettel arra, hogy mi nagy lehetőségekkel rendelkezünk akár szénlekötési, vagy biomassza termelési célú erdősítési programokat végrehajtására, célszerűnek látszott egy, a magyar viszonyokhoz illeszkedő modell kifejlesztése. Ez a modell, melynek neve CASMOFOR, mind struktúráját, mind paramétereit tekintve tehát mindenben a magyar viszonyokra lett kialakítva.

CASMOFOR: egy országspecifikus szénkörforgalmi modell

A CASMOFOR szó betűszó, s a modell angol elnevezésének rövidítése: "CARbon Sequestration MOdel for FORestations", vagyis erdősítések szénlekötésének modellje.

Annak érdekében, hogy megbecsüljük a szénlekötés mértékét, vagy terepi mérésekre, vagy modellekre, vagy mindkettőre szükségünk van. A CASMOFOR-t akkor lehet használni, ha terepi mérések nem állnak rendelkezésünkre, vagy ha azokat nem is lehet beszerezni, pl. amikor prognózisokat készítünk. Ilyen prognózisok szükségesek pl. erdősítések tervezésekor. Azáltal, hogy a CASMOFOR lehetővé teszi, hogy gyorsan összehasonlítsunk különböző erdősítési variációkat, ill. akár egy elképzelés esetén is szolgáltat megfelelő szén-adatokat, a modell ideális döntéstámogató eszköznnek tekinthető.

Ha a szénlekötést pontosan akarjuk megbecsülni, akkor arra van szükség, hogy a teljes szén ciklust modellezzük. Az erdőket és a faipart magukba foglaló rendszereken belül sok ún. szénraktár (más néven tároló) található (mint pl. a biomassza, a holt szerves anyag, a fatermékek, a talaj stb.), amiknek a széntartalmát sok folyamat növeli vagy csökkenti (mint pl. a növekedés, a mortalitás, a fakitermelés stb.). E folyamatok eredője változtatja az egész rendszer széntartalmát, mivel a rendszer ún. nyitott rendszer: képes a szén elnyelésére, de kibocsátására is.

A modell használatának legvégső célja annak megbecslése, hogy mennyi szenet von ki a levegőből, ill. mennyit bocsát ki oda a rendszer. Így a modell középpontjában nem az erdők szokásos jellemzői, pl. fatérfogata áll, hanem a különböző tárolók és folyamatok széntartalma van, vagyis az erdők és az (elsődleges) faipar szénkörforgalma. Ezért minden olyan anyagot (pl. szerves anyag), ami keresztülhalad a rendszeren, szénegyenértékre számolunk át és ebben az egyenértékben kezelünk.

Mindazonáltal az erdészeti rendszerre nagyon sokféle tároló és nagyon bonyolult folyamatok jellemzők. Ha ezekhez még hozzávesszük a tárolók térbeli dimenzióit és nagy térbeli diverzitását (a szén inhomogén térbeli elhelyezkedését), valamint a folyamatok időléptégeit (amelyek évtizedes, sőt évszázados egységekben mérhetők), akkor belátható, hogy nagyon nehéz megbecsülni a rendszer különböző részeiben található szénmennyiségek időbeli változását. Ezt a nehézséget nem kívánja elleplezni a CASMOFOR modell, amelynek célja elsősorban az erdők által megkötött szén mennyiségének prognózisa. Az erdősítések kivetelezése, és több évtizedes

fanövekedés után a ténylegesen megkötött szén mennyiségét pontosabban lehet megbecsülni pl. mintavételen alapuló mérések segítségével.

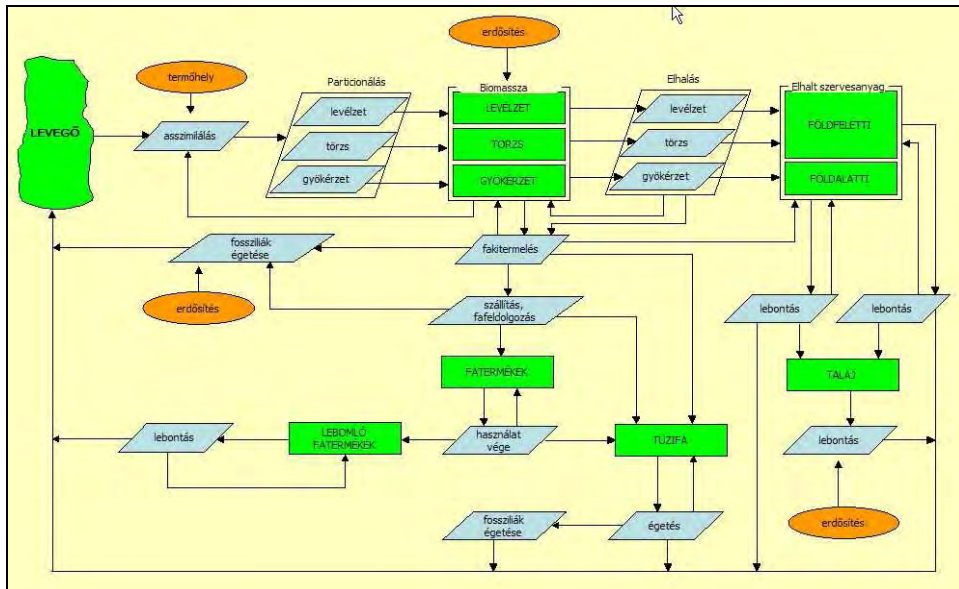
A CASMOFOR modell kifejlesztésének nem volt célja az, hogy a modell az elméletileg elképzelhető legtudományosabb modell legyen. Ellenkezőleg, a modell gyakorlatias megközelítésekkel dolgozik, amelyek révén gyakorlatias és kivitelezhető becsléseket lehet tenni, s amelyek a legfontosabb tárolókra és folyamatokra koncentrálnak, vagyis amelyekben a legtöbb szén található. Az erdősítések legfontosabb célja - szénlekötési szempontból - a szén megkötése és megőrzése középtávon, vagyis több évtizedes időtávlatban. Ezért azok a legfőbb tárolók és folyamatok a modellezés szempontjából, amelyek ebben az időtávlatban tartalmazzák a legtöbb szenet.

A fentiek miatt nem minden tárolót és folyamatot modelleztünk ugyanolyan pontossági szinttel. "Jól" modellezett folyamatok és tárolók azok, amelyeket a legrészletesebben elemeztünk és amelyekre a legtöbb adat (konstans, függvény, tapasztalati érték) áll rendelkezésre. Ugyanakkor erőfeszítéseket tettünk arra, hogy a lehetőség szerint minden olyan információt beépítsünk a biológiai folyamatok modellezésébe, amelyek rendelkezésre állnak a szakirodalomban, hogy a rendszer szempontjából legfontosabb folyamatokat olyan pontosan modellezzünk, amilyen pontosan az csak lehetséges.

Mivel a modellt úgy terveztük, hogy az felhasználható legyen a magyarországi erdősítési programok szénkörforgalmának a modellezésére, a modellben tárolt valamennyi információ magyarországi fafajokra és termőhelyi viszonyokra vonatkozik. Mindazonáltal, ha egy másik ország erdészeti rendszere (pl. gyérítési rendszer, növekedési adatok stb.) hasonló a magyaréhoz, és csak az adatok különböznek, akkor a CASMOFOR struktúráját fel lehet használni ebben az országban is, és csak az adatokat kell kicserélni, hogy a modell ott is alkalmazható legyen.

Azt is meg kell jegyezni, hogy a modell minden, az erdőben megfigyelhető folyamata a fák ültetésekor "kezdődik" és a véghasználattal fejeződik be. Semmilyen egyéb folyamatot (pl. az ültetés előtti talaj előkészítés, vagy az ültetés előtti vagy a véghasználat utáni erózió stb.), amelyek nem részei a normál, az ültetéstől a véghasználatig terjedő erdősítési rendszernek, nem vontunk a modellbe. Habár ezek között a folyamatok között lehetnek olyanok, amelyek fontos emissziós források (pl. sok szén kerülhet a levegőbe a szántás során), ezekkel a CASMOFOR nem foglalkozik.

A tipikus magyar erdészeti rendszerek szénáramlási viszonyainak (folyamatainak) és tárolóinak folyamatábráját az **1. ábra** szemlélteti.



1. ábra. A CASMOFOR folyamatábrája, ahogyan a modell futtatása során a képernyőn megjelenik, bemutatva az összes modellezett széntárolót és a szén mozgását leíró folyamatot.

A modell használatát segítő program- és információs környezet

A modell számos egyenletet (algoritmust) és számot (táblázatot, átszámító tényezőt, paramétert stb.) foglal magába. Ezek, továbbá a modell futtatásához szükséges input adatok és az eredmények kezelése csak úgy képzelhető el, hogy megfelelő programkörnyezetbe ágyazunk minden, a számításhoz szükséges információt. Ezt a feladatot MS Excel környezetben oldottuk meg. Ahhoz pedig, hogy a rendszer felhasználó barát legyen, MS Visual Basic környezetben írt programot írtunk.

Ez azonban nem elég azoknak a követelményeknek a teljesítéséhez, amelyeket a CASMOFOR-hoz hasonló modellekkel szemben, de általában is a szénlekötés (és kibocsátás) mérésével, becslésével szemben támasztanak. Alapvető elvárás az átláthatóság, az igazolhatóság, a minőségbiztosítás és minőség-ellenőrzés, valamint a bizonytalansági tényezők becslése. A modell fejlesztése során mindezekre a szempontokra nagy hangsúlyt fektettünk. Ezért is kapott hangsúlyt a modell megfelelő dokumentálása, valamint felhasználó barát környezet kialakítása.

A modell teljes dokumentálása, továbbá a program használatának segítése érdekében olyan átfogó help rendszer készült, amely tartalmazza: (1) az összes algoritmust, (2) az összes széntároló és az összes, a szénkörforgalomban lényeges folyamat leírását, (3) a felhasznált adatok jellemzését, forrását, (4) továbbá mindazt a kurrens (külföldi és hazai) szakirodalmat, amelyet a témakörben fontosnak és elérhetőnek találtunk. Emellett e help keretében megpróbáltuk jelezni a különböző almodellek pontosságát, ill. bizonytalanságát annak érdekében, hogy a felhasználó meg tudja ítélni, milyen mélységű és pontosságú az egész modell.

A teljes modell és a teljes help rendszer letölthető a www.scientia.hu/casmofofor weblapról, ill. kérésre CD-n beszerezhető a szerzőtől.

Köszönetnyilvánítás

A modell kialakítása az alábbi kutatási programok során történt:

„Szénlekötés becslésére használható modell és szoftver fejlesztése” FVM K+F kutatás (szerződés szám: 96-d/2002. – 609)

„Nemzetközi szerződéseknek eleget tevő, hazai, a klímaváltozás mérséklése céljából végrehajtott erdészeti projektek szénlekötésének becslésére szolgáló modellek kifejlesztése” KVM KAC kutatás (szerződés szám: K-36-02-00055H)

CarboInvent EU 5. keretprogrambeli kutatás (szerződés szám: EVK2-CT-2002-00157)

Hivatkozott irodalom

CO2FIX V2 2001. G.J. Nabuurs, J.F. Garza-Caligaris, M. Kanninen, T. Karjalainen, T. Lapvetelainen, J. Liski, O. Masera, G.M.J. Mohren, A. Pussinen, M.J. Schelhaas. 2001. CO2FIX V2.0 – manual of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. ALTErrA, Wageningen, The Netherlands

GORCAM: Graz / Oak Ridge Carbon Accounting Model.
<http://www.joanneum.ac.at/GORCAM.htm>

IPCC, 1990: Climate Change, The IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 365 pp.

IPCC, 1996: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.

IPCC, 2000 (Penman et al., eds).. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Institute for Global Environmental Strategies, Tokyo, Japan

IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnsons (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.

IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry. Submitted for approval by COP9. IPCC NGGIP-LULUCF Programme, 2002-2003.

Marrakesh Accords, 2001. www.unfccc.de

Somogyi, Z. 1997. Mitigation Analysis in the Forestry Sector. In: Hungarian Country Studies Team: Hungarian Climate Change Country Study. Systemexpert Consulting Ltd., Budapest, pp. 85-112.

Somogyi, 2000. Possibilities for carbon mitigation in the forestry sector in Hungary. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 4:4.296-299.

Somogyi, Z. 2001. Erdő nélkül? L'Harmattan Könyvkiadó, Budapest.