KARSZTFEJLŐDÉS XVI.
Szombathely, 2011. pp. 157-166.

KARSZTOS ERDŐK SZÉNMEGKÖTÉSÉVEL KAPCSOLATOS SZÁMÍTÁSOK EGY ERDŐREZERVÁTUM ADATAI ALAPJÁN

KISS MÁRTON - TANÁCS ESZTER - KEVEINÉ BÁRÁNY ILONA

SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék
6722 Szeged, Egyetem u. 2., Pf. 653., kiss.marton@geo.u-szeged.hu

Abstract: Valuing ecosystem services is a new, dynamically developing field of environmental sciences. Karst areas provide several types of ecosystem services, one of them is the sequestration of greenhouse gases. We examined that based on the detailed forest structure datasets of the Haragistya-Lófej Forest Reserve (Aggtelek National Park, Hungary), using the model CO2Fix 3.2. To calculate biomass growth, we also used yield tables generally used in the Hungarian forestry practice. We ran 70 year simulations for 3 forest types of the study area. We found that beech stands with better soil conditions have 20-30% more carbon content than mesophilous or dry oak stands. Despite the decline in the productivity, old-growth forests should be regarded as carbon sinks.

1. Bevezetés

A természeti vagy ökoszisztéma szolgáltatások értékelése egyre nagyobb figyelmet kap a kutatásokban és a környezetpolitikában. A módszertan lényege, hogy az emberiség által közvetlenül vagy közvetve felhasznált természeti javakat egységes rendszerben kezeli, és azokhoz valamilyen széles körben értelmezhető és a döntéshozásban alkalmazható, pl. gazdasági értéket rendel. A természeti szolgáltatások értékelése önálló szakterületté vált az ökológiai közgazdaságtan (*COSTANZA et al.* 1997, *FISHER et al.* 2008), a természetvédelmi biológia (*CHAN et al.* 2006, *CZÚCZ et al.* 2008) és a tájökológia (*TERMORSHUIZEN – OPDAM* 2009*, MÜLLER et al.* 2010) számára egyaránt. A nemzetközi tapasztalatok szerint a természeti szolgáltatásokra fókuszáló természetvédelmi projektek forrásteremtés szempontjából sikeresebbnek bizonyultak, mint a „hagyományos", biodiverzitás megőrzésére irányuló kezdeményezések (*GOLDMAN et al.* 2008). A módszertanban rejlő lehetőségeket hamar felismerték a környezetpolitikában is: a 2000-es évek elején Kofi Annan ENSZ-főtitkár kezdeményezésére, egy rendkívül széles nemzetközi együttműködés keretében elkészült a Millenniumi Ökoszisztéma Értékelés (Millennium Ecosystem Assessment), melyben több száz oldal terjedelemben elemezték a földi ökoszisztémák állapotát és a várható tendenciákat. 2010-ben pedig létrejött a Biodiverzitás és Ökoszisztéma Szolgáltatások Kormányközi Testület (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES). Ez a komoly nemzetközi elismertséget kivívott, Nobel-

díjjal jutalmazott klímapolitikai szervezethez, az IPCC-hez hasonló méretű és szerepű, és az alapítók szándéka szerint azt politikai súlyában is megközelítő politikai és tudományos szereplővé fog válni.

A természeti szolgáltatásokra több csoportosítás is született, alapvetően közös ezekben, hogy négy fő csoportot határoznak meg: ellátó, szabályozó, fenntartó és kulturális szolgáltatásokat. Az ellátó szolgáltatások közé azokat az értékeket soroljuk, amelyek közvetlen emberi felhasználásra kerülnek: élelmiszer-termelés, erdők esetében a faanyag, egyéb ipari nyersanyagok, gyógyszer-alapanyagok. Ezek a legnyilvánvalóbb természeti szolgáltatások, és a környezeti problémák forrása a legtöbb esetben az, hogy a területhasználat kizárólag ezeknek a szolgáltatásoknak a felhasználását próbálja maximalizálni a többi rovására.

A szabályozó szolgáltatások körébe tartozik például a klímaszabályozás (üvegházhatású gázok megkötése révén), a vizes élőhelyek víztisztító vagy az erdők eróziógátló funkciója. A szabályozó szolgáltatások jóval kevésbé elismertek mind a környezettervezés, mind a közvélemény által, részben azért is, mert általában az azt biztosító területtől távol vagy akár más földrajzi léptékben jelentkeznek. Kvantifikálásuk és a környezetértékelésbe való mielőbbi bevezetésük ezért sürgető feladat. Fenntartó szolgáltatásnak azon funkciókat nevezzük, melyek a többi szolgáltatás zavartalan működését biztosítják, pl. talajképzés, tápanyagforgalom. A módszertan elsősorban az ember életminőségében valamilyen módon érzékelhető szerepet játszó adottságokra koncentrál, ami a fenntartó szolgáltatások esetében gyakran nem teljesül (csak közvetett szereppel bírnak). Továbbá a fenntartó szolgáltatások számszerűsítése esetén előfordulhat bizonyos tényezők kétszeri számbavétele, ezért a szakemberek egy része ezt a csoportot nem különíti el. A kulturális szolgáltatások közé tartozik a tájak rekreációs potenciálja, tudományos vagy esztétikai értéke.

A karsztok számos természeti szolgáltatás biztosításában meghatározó szereppel bírnak. Fontos ivóvízbázist jelentenek, ezért a karsztvizek mennyiségi és minőségi védelme elsődleges feladat. Karsztterületeink túlnyomórészt természetvédelmi oltalom alatt állnak és kiemelt színhelyei az ökoturizmusnak, vagyis a különböző kulturális szolgáltatások számottevő részét biztosítják. Ezek a piac által jórészt elismert javak, mivel a turisztikai bevételek helyben realizálódnak. A karsztok által biztosított szabályozó szolgáltatások viszont általában nem, és ez is szerepet játszik abban, hogy e területek jelentős része társadalmi-gazdasági szempontból hátrányos helyzetű. Ezek közé tartozik a jelentős mértékben erdősült karsztterületeken a lefolyás-szabályozás, (melynek jelentőségét az utóbbi évek észak-

magyarországi árvizeiben láthatjuk), valamint a szintén elsősorban erdők által biztosított széndioxid-megkötés.

Az üvegházhatású gázok csökkentésére irányuló intézkedések már jelen vannak a politika különböző szintjein. Ezzel párhuzamosan megjelentek az erdők, mint legnagyobb vonatkozó potenciállal bíró ökoszisztéma-típusok széndioxid-megkötő képességének becslésével kapcsolatos vizsgálatok (pl. a Kyoto-i ún. Tiszta Fejlesztési Mechanizmus keretében végrehajtandó erdősítésekhez). A szén forgalma rendkívül bonyolult biogeokémai ciklust jelent a természetes ökoszisztémában, továbbá az elemforgalom végleges egyenlegéhez ismerni kell az egyes széntárolók további folyamatait is, részben már a természetes ökoszisztémán kívül. A szén-dioxid megkötése a fotoszintézis során a biomassza-növekményben jelenik meg. Ezzel ellentétesen hat azonban (vagyis széndioxid-felszabadulást eredményez) a különböző okok miatt bekövetkező gyérülés (mortalitás). Tovább csökkenti az egyenleget a kitermelt faanyag egy részének elégetése. Összevéve azonban a hazai erdők mindenképp jelentős széndioxid-megkötőnek számítanak (*SOMOGYI Z.* 2008). Ennek az összetett ciklusnak a jellemzésére több modell készült a világ különböző részein (pl. *HEATH et al.* 2010, *SOMOGYI* 2002-2010). Esettanulmányunkban egy karsztos erdőrezervátum szénforgalmát vizsgáltuk egy e célra készített modell, a hollandiai Alterra intézetben fejlesztett CO2Fix 3.2. program (*SCHELHAAS et al.* 2004, *MASERA et al.* 2003) alkalmazásával. Ezt már több hazai erdőrezervátum hasonló vizsgálatánál is sikerrel alkalmazták (*BALÁZS et al.* 2008, *JUHÁSZ et al.* 2008).

2. Módszertan

2.1. A vizsgálati terület

Korábbi vizsgálatok szerint az emberi beavatkozástól mentes vagy természetszerűen kezelt, heterogén faj- és korösszetételű erdők jelentősebb szerepűek a széndioxid-megkötésben, mint a kevés fajból álló, rövid vágásfordulóval kezelt gazdasági erdők (*LUYSSAERT et al.* 2008, *NUNERY – KEETON* 2010). Tanulmányunkban egy erdészeti kezeléstől néhány évtizede mentes karsztos erdőterület, a Haragistya-Lófej Erdőrezervátum szénmegkötését vizsgáltuk. A mintaterület egy 400-600 m-es tengerszint feletti magasságon található karsztfennsík része (az Aggteleki Nemzeti Park területén), ahol a rendkívül változatos mikrodomborzat az erdőtípusoknak is nagy változatosságát eredményezi. Ez utóbbi tény egyrészt megnehezítette a

számításokat, mivel az általunk alkalmazott modell is homogén erdőállományoknál használható leginkább, másrészt viszont így egy kis területről viszonylag sok, igen különböző jellegű erdőről nyerhettünk információkat. A területen végzett vegetációtérképezés (*TANÁCS et al.* 2010) alapján az alábbi erdőtípusok különíthetők el: melegkedvelő tölgyesek, cseres-kocsánytalan tölgyesek, üde gyertyános-tölgyesek (ezen belül gyertyánelegyes kocsánytalan tölgyesek, tölgyelegyes gyertyánosok, vegyes-elegyes kocsánytalan tölgyesek), üde bükkös erdők (ezen belül: gyertyánelegyes bükkösök, bükkelegyes gyertyánosok, vegyes-elegyes bükkösök, gyertyán nélküli bükkösök), bükkös-kocsánytalan tölgyesek, hársas sziklaerdők, kőrises sziklaerdők, rezgőnyarasok, nyíresek. A vizsgálati területen részletes faállomány-szerkezeti felmérés zajlott, melynek során 50*50 m-es rácshálóban minden pont körül 10 m sugarú körben mértük fel minden faegyed legjellemzőbb mutatóit, köztük a biomassza-számítást lehetővé tevő mellmagassági átmérőt.

2.2. A modell parametrizálása

A széntartalom három fő tárolóban van jelen a rendszerben: a biomasszában, a talajban és a fatermékekben. Munkánkban a legjelentősebb tároló, a biomassza széntartalmának alakulását vizsgáltuk (mivel erdészeti kezelés nincs a területen, fatermékek egyáltalán nem is képződnek). A program elsősorban gazdasági erdők vizsgálatához készült. Természetszerű erdőkre olyan módon alkalmazható, hogy a változatos korú és fajösszetételű állományokat nagyjából egykorú, továbbá hasonló termőhelyű és növekedésű állományrészekre („*cohort*”) osztjuk. A mintaterületünkön megtalálható, fentebb felsorolt erdőtípusokat három csoportra, bükkösökre, üde gyertyános-tölgyesekre és száraz tölgyesekre osztottuk, és ezek mindegyikéből három különböző korú (60-80 éves, 80-100 éves és 100-120 éves) sort vettünk, így összesen 9 állományrészt kaptunk. A modell egy adott állományrész biomasszájának széntartalmát az alábbi egyenlet szerint számítja:

$Cb_{it+1} = Cb_{it} + Kc\ [Gb_{it} – Ms_{it} – T_{it} - H_{it} - Ml_{it}\ ]$ (tonna Cha^{-1}), ahol:

- Cb_{it}, Cb_{it+1}: az „i” állományrész biomasszájának széntartalma „t” ill. eggyel későbbi időpontban
- Kc: biomassza széntartalma (arányszám)
- Gb_{it}: biomassza-növekmény
- Ms_{it}: természetes mortalitás
- T_{it}: kicserélődési arány

H_{it}: kitermelt fa mennyisége
Ml_{it}: fakitermelés hatására történő gyérülés

A biomassza széntartalma általában tekinthető 50%-nak, de mivel már zajlottak Magyarországon erre vonatkozó kutatások az általunk vizsgált erdőtípusokban (*FÜHRER – JAGODICS* 2009), azok eredményeivel pontosíthattuk ezt az értéket. A kicserélődési arányokat külföldi vizsgálatok tapasztalatai alapján adtuk meg (*LISKI et al.* 2006). A természetes mortalitás adatsorát (az egyes állományrészek különböző korára) a felmérések későbbi években végrehajtott terepi ellenőrzései során tapasztaltak, illetve szakértői döntés alapján állítottuk fel. Mivel erdőrezervátumról van szó, a fakitermeléssel kapcsolatos mutatókat figyelmen kívül hagytuk. A biomassza-növekmény az alábbi módon áll elő:

$Gb_{it} = (Kv_i\ Ys_{it}\ (1+\Sigma\ (F_{ijt}))) * Mg_{it}$ (tonna ha^{-1} $év^{-1}$), ahol:
Kv_i: az „i" állományrész faanyagának száraz sűrűsége (t m^{-3})
Ys_{it}: az „i" állományrész évi vastagfa-növekménye ($m^3ha^{-1}év^{-1}$)
F_{ijt}: a „j" biomassza-kompartment (levélzet, törzs, gyökerek) relatív növekedése
Mg_{it}: korrekciós szám az egyes állományrészek egymásra hatásának kifejezésére

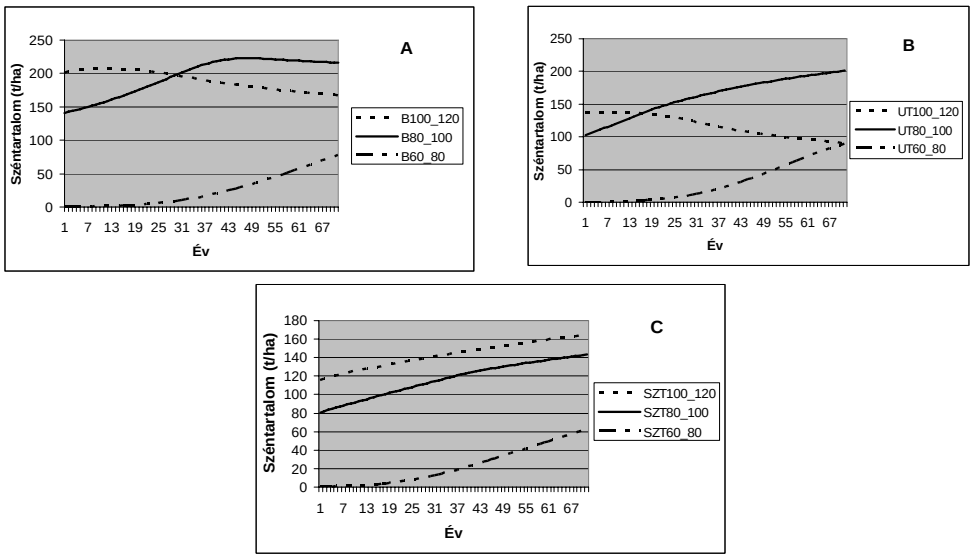
Az általunk kialakított állományrészeket több faj alkotja, melyek az egyes állományrészekben más-más fatermési osztály szerinti növekedéssel jellemezhetőek (ezt a termőhely határozza meg az erdőmérnöki gyakorlat szerint: az I-es fatermési osztály állományai növekednek a legjobban, a VI-os a leggyengébben). Így az egyes állományrészek biomassza-növekménnyel és fasűrűséggel kapcsolatos értékei úgy álltak elő, hogy a faállomány-szerkezeti felmérés alapján meghatároztuk minden fafaj hektáronkénti tőszámát minden állományrészben, és az így kialakult arányokkal súlyozva vettük számításba az adott fafaj adott állományrészben jellemző növekedési értékét. A hektáronkénti növekedési értékeket fatermési táblák tartalmazzák, fafajonként és fatermési osztályonként (*SOPP* 1974, *BONDOR* 1986a,b, *BONDOR* 1987). Az egyes biomassza-kompartmentek relatív növekedésének meghatározásához az eddigieken kívül fatömegszámítási táblázatokat (*SOPP – KOLOZS* 2000) is felhasználtunk: a fatermési táblákban található kor-méret adatsorokra függvényt illesztettünk, így az átmérő és famagasság alapján meghatározható vékonyfa-arányokból korhoz rendelt vékonyfa-arányokat állítottunk elő. Az állományrészek kölcsönhatásai miatti növekedés-

módosulásokkal nem számoltunk, a korrekciós számok értékeit 1-nek vettük.

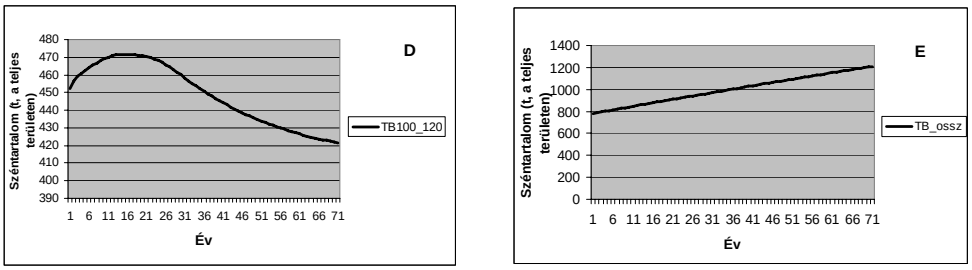
A modell évi ciklusú szimulációt hajt végre a felhasználó által megadott időtávra. Ennek kezdő időpontját és hosszát úgy kellett megválasztanunk, hogy minden erdőtípus képviselve legyen a teljes vizsgált időtartamban, és lehetőség szerint vizsgálható legyen az előttünk álló időszak egy része is (predikció). Ezek alapján egy 1950 körül indított 70 éves szimuláció mellett döntöttünk, melynek kezdő időpontjában létesültek a jelenlegi legfiatalabb erdők, és így a legidősebb erdők esetében sem haladtuk meg a faterméseli táblák által maximálisan átfogott 100-120 évet.

3. Eredmények, következtetések

A szimulációk eredményeit az *1.* és *2. ábrán* mutatjuk be állományrészenként, valamint a teljes vizsgálati területre.



1.ábra: A fásszárú biomassza széntartalma az egyes állományrészekben
(A: bükkösök, B: üde tölgyesek, C: száraz tölgyesek)
Fig. 1.: Carbon content of the woody biomass in the cohorts
(A: beech stands, B: mesophilous oak forests, C: dry oak forests)



2.ábra: A fásszárú biomassza széntartalma a teljes vizsgálati területen a 100-120 éves korosztály (D) és a teljes állomány (E) esetében
Fig. 2.: Carbon content of the woody biomass of the age class of 100-120 years (D) and of the whole stand (E) in the whole study area

A megfigyelhető tendenciák jól tükrözik a változatos domborzatú karsztos térszín miatti termőhelyi különbségeket. A legnagyobb biomassza- és ezzel együtt szénmennyiség a legjobb termőhelyekkel és fatermési osztályokkal jellemezhető bükkösökben található, 215 t C/ha maximális értékkel. Közepes mennyiség (idősebb erdőknél kb. 200 t C/ha) jellemzi az üde tölgyeseket, melyekre a kocsánytalan tölgy dominanciája mellett a gyertyán nagy száma jellemző. A legkisebb szénmegkötési potenciállal a száraz tölgyesek bírnak (165 t C/ha), melyek szélsőséges vízháztartású, sekély termőrétegű talajokon létrejött alacsony, nyílt erdőrészletek, jelentős mennyiségű molyhos tölggyel.

A teljes állomány széntartalmának növekedése igazolja, hogy az idős és egyben változatos korösszetételű erdők a produktivitás visszaesése ellenére is széndioxid-nyelőnek tekinthetők. A bükkösöknél és az üde tölgyeseknél is megfigyelhető egy visszaesés 70 éves kor körül, ami a teljes vizsgálati terület tendenciáját meghatározza (2/D ábra). Ez megfelel a nemzetközi eredményeknek (*LUYSSAERT et al.* 2008), és elsősorban az egyedek növekedése miatti gyérülés következményének tekinthető. A teljes állomány széntartalmában gyakorlatilag töretlen növekedést láthatunk, ez főleg annak köszönhető, hogy az erdőrészletek egy jelentős része még a legnagyobb produktivitás korában van, néhány évtizeddel tovább folytatva a szimulációt valószínűleg egy jobban ellaposodó (de még mindig növekedő) görbét kapnánk. Látható, hogy az ugyanolyan típusú állományrészek különböző korú képviselői között bizonyos különbségek, időbeni eltolódások tapasztalhatók a széntartalom alakulásában. Ezt főleg az okozza, hogy ezekben a különböző korú állományokban a fajösszetétel némileg eltérő. Az elegyetlen és egykorú állományokat előnyben részesítő, rövid vágásfordulót alkalmazó erdőgazdálkodás a biomassza gyakoribb eltávolítása és a termőhely ezzel együtt járó zavarása miatt nagyobb kibocsátási értékeket eredményez.

Munkánk további részében egy kezelt erdő szénforgalmának modellezésével (a fatermékek útjának követésével) szeretnénk a fenti összefüggéseket számszerűsíteni, valamint a mintaterületünkön zajló hosszú távú monitoring és más területekről származó adatok felhasználásával a klímaváltozás hatásait beépíteni a szimulációba. Tapasztalataink alapján a modell rendkívül érzékeny a mortalitás értékeire. A klímaváltozás az extrém időjárási események gyakoribbá válásával jelentősen befolyásolhatja a mortalitást. Ezért hatásainak pontosabb előrejelzéséhez szükségesnek látjuk a rendszer minél több tényezőjét figyelembe vevő erdődinamikai modellek használatát.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk Dr. Szmorad Ferencnek, az Aggteleki Nemzeti Park munkatársának a faállomány-szerkezeti vizsgálatok tervezésében és kivitelezésében nyújtott segítségéért. A kutatás a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 projekt keretében valósult meg.

IRODALOM

BALÁZS B.-HORVÁTH F.-MÁZSA K.-BÖLÖNI J. (2008): Forest reserve as a model area for future climate forest restoration – a case study. - Extended abstract, 6th European Conference on Ecological Restoration, Ghent, Belgium, 8-12/09/2008, p. 1-4. [CD-ROM]

BONDOR A. (szerk.) (1986a): A bükk. - Akadémiai Kiadó, Budapest, 180 p.

BONDOR A. (szerk.) (1986b): A gyertyán. - Akadémiai Kiadó, Budapest, 116 p.

BONDOR A. (szerk.) (1987): A kocsánytalan tölgy. - Akadémiai Kiadó, Budapest, 168 p.

CHAN K.M.A.-SHAW M.R.-CAMERON D.R.-UNDERWOOD E.C.-DAILY G.C. (2006): Conservation Planning for Ecosystem Services. - PLoS Biology 4(11), e379.

COSTANZA R.-D'ARGE R.-DE GROOT R.-FARBER S.-GRASSO M.-HANNON B.-LIMBURG K.-NAEEM S.-O'NEILL R.V.-PARUELO J.-RASKIN R.G.-SUTTON P.-VAN DEN BELT M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. - Nature 387, p. 253-260.

CZÚCZ B.-MOLNÁR ZS.-HORVÁTH F.-BOTTA-DUKÁT Z. (2008): The Natural Capital Index of Hungary. - Acta Botanica Hungarica 50 (Suppl.), p. 161-177.

FISHER B.-TURNER K.-BALMFORD A.-GREEN R.-HADLEY D.-FARBER S.-COSTANZA R.-NAEEM S.-DE GROOT R.S.-NAIDOO R.-FERRARO P.-BOYD J.-HARLOW J.-MOWATT S.-JEFFERISS P.-MORLING P.-BROUWER R.-PAAVOLA J.-KIRBY C.-YU D.-ZIJLSTRA M.-STRASSBURG B. (2008): Integrating ecosystem services and economic theory: what can we do, what should we do, and what has been done? - Ecological Applications 18, p. 2050-2067.

FÜHRER E.-JAGODICS A. (2009): A klímajelző fafajú állományok szénkészlete. - „Klíma-21" Füzetek 57, p. 43-55.

GOLDMAN R.L.-TALLIS H.-KAREIVA P.-DAILY G.C. (2008): Field evidence that ecosystem service projects support biodiversity and diversify options. - PNAS 27, p. 9445-9448.

HEATH L.S.-NICHOLS M.C.-SMITH J.E.-MILLS J.R. (2010): FORCARB2: An updated version of the U.S. Forest Carbon Budget Model. - Gen. Tech. Rep. NRS-67. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 52 p. [CD-ROM].

JUHÁSZ, P.– BIDLÓ, A.– HEIL, B.– KOVÁCS, G.– PATOCSKAI, Z. (2008): Bükkös állományok szénmegkötési potenciálja a Mátrában. - In: *SIMON, L. (szerk.)*: Talajvédelem Különszám. Talajtani Vándorgyűlés 2008. Talajvédelmi Alapítvány kiadványa, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza. p. 409-416.

LISKI J.-LEHTONEN A.-PALOSUO T.-PELTONIEMI M.-EGGERSA T.-MUUKKONEN P.-MÄKIPÄÄ R. (2006): Carbon accumulation in Finland's forests 1922-2004 - an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. - Annals of Forest Science 63, p. 687–697.

LUYSSAERT S.-SCHULZE E.-D.-BÖRNER A.-KNOHL A.-HESSENMÖLLER D.-LAW B.E.-CIAIS P.-GRACE J. (2008): Old-growth forests as global carbon sinks. - Nature 455, p. 213-215.

MASERA O.-GARZA-CALIGARIS J.F.-KANNINEN M.-KARJALAINEN T.-LISKI J.-NABUURS G.J.-PUSSINEN A.-DE JONG B.J. (2003): Modelling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach. - Ecological Modelling 164, p. 177-199.

MÜLLER F.-DE GROOT R.-WILLEMEN L. (2010).: Ecosystem Services at the Landscape Scale: the Need for Integrative Approaches. - Landscape Online 23, p. 1-11.

NUNERY J.S.-KEETON W.S. (2010): Forest carbon storage in the northeastern United States: Net effects of harvesting frequency, post-harvest retention, and wood products. - Forest Ecology and Management 259, p. 1363-1375.

SCHELHAAS M.J.-VAN ESCH P.W.-GROEN T.A.-DE JONG B.J.-KANNINEN M.-LISKI J.-MASERA O.-MOHREN G.M.J.-NABUURS G.J.-PALOSUO T.-

PEDRONI L.-VALLEJO A.-VILÉN T. (2004): CO2FIX V 3.1 - description of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. - ALTERRA Report 1068. Wageningen, The Netherlands.
SOMOGYI Z. (2002-2010): CASMOFOR (verziószám: 4.0). Erdészeti Tudományos Intézet, Budapest. Weblapcím:
http://www.scientia.hu/casmofor
SOMOGYI Z. (2008): A hazai erdők üvegház hatású gáz leltára az IPCC módszertana szerint. - Erdészeti Kutatások 92, p. 145-162.
SOPP L. (szerk.) 1974: Fatömegszámítási táblázatok. - Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 420 p.
SOPP L.-KOLOZS L. (szerk.) (2000): Fatömegszámítási táblázatok. - Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest, 280 p.
TANÁCS E.-SZMORAD F.-BÁRÁNY-KEVEI I. (2010): Patterns of tree species composition in Haragistya-Lofej forest reserve (Aggtelek karst, Hungary). - In: *BARANČOKOVA M., KRAJČI J., KOLLAR J., BELČAKOVA I. (szerk.):* Landscape ecology - methods, applications and interdisciplinary approach. - Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, p. 767-780.
TERMORSHIUZEN J.W.-OPDAM P.F.M. (2009): Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. - Landscape Ecology 8, p. 1037-1052.