

## **Szénlábnyom számítása életciklus elemzéssel a fahasználat, fafeldolgozás és a faanyag energetikai célú felhasználása esetén**

Polgár András<sup>1</sup> – Kovács Zoltán<sup>2</sup> – Bidló András<sup>3</sup> – Szakálosné Mátyás Katalin<sup>4</sup> – Horváth Attila László<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet. és Földtudományi Intézet

<sup>2</sup>Nemzeti Agrárkutatási Innovációs Központ, Erdészeti Tudományos Intézet

<sup>4,5</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet

E-mail: polgar.andras@uni-sopron.hu

**Kulcsszavak:** szénlábnyom, életciklus-elemzés, fahasználat, fafeldolgozás, energetikai célú felhasználás

### **Bevezetés**

Mátyás (2006) és Rumpf et al (2011) szerint a légköri szénmegkötés jelentőségének felismerése kedvező helyzetbe hozta az erdőgazdálkodást. Az erdőgazdálkodás az egyetlen olyan gazdasági tevékenység, amely azon túl, hogy szénszemleges, jelentős mennyiségű atmoszférikus szén tartós kivonását is lehetővé teszi.

A fa, mint nyersanyag szénszemlegessége napjainkban is igazolásra szorul, megannyi tényező figyelembe vételével (Klein et al 2015).

A környezeti elemek és –rendszerek jellemzőiben az emberi tevékenység következtében bekövetkező változás a környezeti hatás (Pájer 1998). Az életciklus-elemzés (LCA) kiváló eszköze a környezeti hatások megalapozott vizsgálatának (ISO 14040-44), azonban az erdészeti alkalmazása máig kihívást jelent az LCA közösség számára (Frühwald 1995). Az LCA erdészeti alkalmazásának elmúlt, több mint húsz éves időszakát Heinemann (2012) és Klein et al (2015) tekintik át munkájukban részletesen.

Magyarországon - csakúgy, mint Európában - látszólagos ellentét van a kitermelt fa alapanyag ipari célú (fatermékben történő) és az energetikai célú felhasználás között, amely a valóságban szimbiózist jelent. Az ellentétek természetesen tovább is gyűrűznek, hiszen a termék előállítás közben is keletkezik olyan hulladék/melléktermék, melynél felvetődhet, hogy abból újabb terméket készítsünk, vagy éppen energetikailag hasznosítsuk (Németh 2016).

A biomassza alapú energia hasznosítás esetén Dinya (2018) felhívja a figyelmet a szakmai szempontokat előtérbe helyező, tágabb rendszerbe illeszkedő, hosszú távú és termékpályákban

gondolkodó döntéshozatal fontosságára a helyi és országos szintű döntések során egyaránt. A biomassza energetikai hasznosítása a jövőben is fontos része lesz az energiamixnek, de a vezető szerep más megújuló forrásokra vár (Dinya 2018).

A biomassza energetikai hasznosításának ökológiai lábnyomával kapcsolatos érzékeny szempontokat Szlávik – Sebestyén (2018) tekintik át. Felhívják a figyelmet a szénlábnyom számítás során a széntárolók (carbon pool) figyelembevételére is.

### **Célkitűzések**

Kutatásunk célja a szén-dioxid mérleg (szénlábnyom számítás) elkészítése a „nyersfa folyamat lánc” (Klein et al 2015) rendszerhatárain belül az alábbi részletesen vizsgált, konzekutív szubmodulokra nézve:

- 1. szubmodul: a fahasználat (400 m<sup>3</sup> ipari fa előállítás) és
- 2. szubmodul: az arra épülő elsődleges faipari tevékenység, a hengeresfa feldolgozás (400 m<sup>3</sup> ipari fa, célzottan a raklapgyártás folyamatával jellemezve), valamint
- 3. szubmodul: a 2. szubmodulból származó faapríték és faipari melléktermékek (400 m<sup>3</sup>: faapríték, fűrészpor, kéreg, szíjács) energetikai célú felhasználása (városi biomassza fűtőműben való felhasználással jellemezve) technológiai vonatkozásainak számba vétele.

Rendszerhatárok:

1. szubmodul: A hazai erdőállományokra (esetünkben bükk, tölgy, luc, akác, nemesnyár) jellemző fakitermelési technológiák sajátos környezeti paramétereit is figyelembe kell venni, amely fontos kiegészítést jelent az eddigi szénmérleg-készítési kutatásokhoz. Az egyes elő- és véghasználati típusok (tisztító vágás, törzskiválasztó gyérítés, növedékfokozó gyérítés, véghasználat) mind jelentős faanyag kitermelésével és az intenzitásnak (gépesítettség fokának) megfelelő sajátos szénmérleggel jellemezhetők.

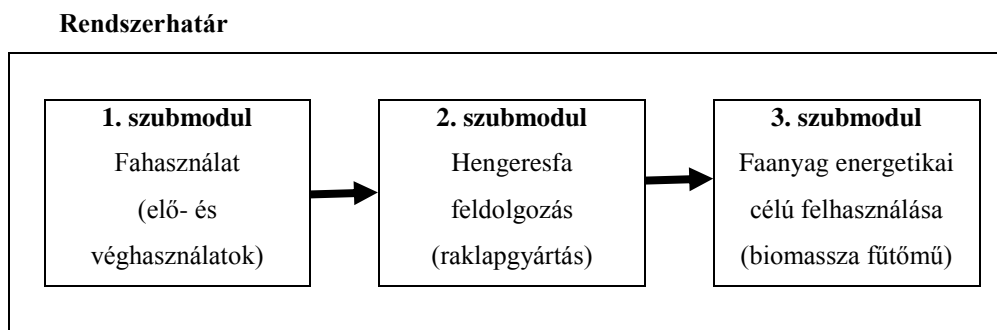
2. szubmodul: Az elsődleges faipar feladata az erdőből kikerülő ipari célú faválasztékokból történő alapanyaggyártás. Magyarországon számos fűrészüzem foglalkozik elsődleges faipari tevékenységgel, különböző feldolgozási kapacitással, gépesítettséggel. A megnövekedett áruszállításnak köszönhetően ma már szinte mindenütt találkozhatunk raklap forgalmazó, gyártó és javító vállalkozásokkal, melyek alapanyaggal történő ellátása tipikus elsődleges faipari tevékenység. A raklapok szabványosításának eredményeként a raklapelemek egyező méretben és hasonló eljárással kerülnek gyártásra szinte minden fűrészüzemben. A fentiek együttesen indokolják, hogy az elsődleges faipar területéről a raklapgyártást vegyük mintaként kutatásunk során. A nyersfa termékek (ipari fa, hengeresfa) további feldolgozási folyamatai,

esetünkben a raklapgyártás technológiája, nagyban befolyásolják a rendszerhatárokon belül számított szénlábnyomot és szénmérleget.

3. szubmodul: Kutatásunk során a faapríték és faipari melléktermékek: fűrészpor, kéreg, szíjács (dendromassza) energetikai célú felhasználásának (esetünkben városi biomassza fűtőműben) szénlábnyomával is kiegészítettük vizsgálatainkat.

Szállítás esetén egységesen 40 tkm-rel számoltunk (darus tehergépkocsi, EURO 4 besorolás). Figyelembe vettük az üzemanyag, kenőolaj, villamos energia előállítás folyamatait is, valamint a keletkező fahamu szénmegkötését.

Az elemzésbe nem vontuk be a technológiákhoz szükséges gépek és eszközök előállításának környezeti paramétereit, az erdei utak építésének hatásait, és a földhasználat változását.



1. ábra. Az elemzés rendszerhatára, a vizsgált konsekutív szubmodulok és kapcsolódásuk

### Anyag és módszer

A vizsgált szubmodulokban a technológiák folyamat- és életciklus szemléletben történő környezeti vizsgálata lehetővé teszi a részletes szénlábnyom számítást és elemzést.

Az IPCC és a nemzetközi szabványi követelményeknek (ISO 14040-44) megfelelő szénlábnyom számításokat (CML 2001 módszertan) környezeti életciklus-elemzéssel (LCA) végeztük, szoftveres támogatással (GaBi thinkstep Professional). Simon (2012) nyomán megállapítottuk, hogy a CML 2001 módszer „GWP 100 years” értéket meghatározó főbb emissziókhöz tartozó karakterizációs faktora jól illeszkedik az IPCC 2007 tanulmányhoz. A módszer tehát alkalmas a szénlábnyom (carbon footprint - CF) számítására fosszilis, biotikus és abszolút dimenziókban.

*Funkcióegység:* mennyiségi megközelítésben dolgoztunk, vagyis minden szubmodulban  $100 m^3$  faanyagot tekintettünk a gyűjtött környezeti leltáradatok vonatkoztatási egységének. Feltártuk a vizsgált technológiák ökomérlegét és szénlábnyomát. A szubmodulok közötti anyag- és energiaáramok nyomon követhetősége miatt egységesen  $400 m^3$  faanyagra vetítettük

végül az adatokat. Felépítettük a vizsgált szubmodulok szoftveres környezeti életciklus modelljét (GaBi thinkstep Professional).

A szénlábnyom értékeinek a faanyag szénmegkötéséhez normalizálása érdekében állományokra jellemző *viszonyszámokat* képeztünk: a teljes technológiai rotációra jellemző kidöntött állófa mennyiségét ( $400 \text{ m}^3$ ) alapul véve, ezen famennyiség fafajonként jellemző széntárolása esetén (Vadász 1924, Ákos 1964) a légkörből megkötött szén-dioxid szükséglethez [ $\text{kg CO}_2/\text{ha}$ ] (Buzás 2005 nyomán) viszonyítottuk a kiszámított szénlábnyom értékeket fosszilis, biotikus és abszolút dimenzióban [ $\text{kg CO}_2\text{-Equiv.}$ ]. Ezzel a viszonzszámmal a vizsgált rendszerünkben a szénmegkötési potenciál „pozitív” vagy „negatív” jellegét határoztuk meg.

## Eredmények

### *Ökomérlegek és a feltárt környezeti leltáradatbázisok a vizsgált szubmodulokban*

1. szubmodul: Az alábbi táblázatban kiemelten a tölgy állományra jellemző fáhasználati munkarendszer összesített leltáradatait mutatjuk be 1 ha erdőállományra és  $100 \text{ m}^3$  faanyagra vonatkoztatva.

**1. táblázat.** A fáhasználati munkarendszer összesített bemeneti és kimeneti környezeti leltáradatbázisa tölgy állományban (Magyarország, Zala megye)

Paraméter	Me	1 ha				100 $\text{m}^3$			
		EH	VH	TI	VH(TRV)	EH	VH	TI	VH(TRV)
Állomány kora	év	19	35	70	105	19	35	70	105
Kidöntendő állófa (bruttó)	$\text{m}^3$	15	63	135	450	100	100	100	100
<b>Input</b>									
Üzemanyag	kg	6,9	183,7	375,0	1576,3	46,0	291,6	277,8	350,3
Kenőolaj	kg	1,6	35,4	53,9	170,6	10,7	56,1	39,9	37,9
<b>Output</b>									
$\text{CO}_2$ kibocsátás üzemanyagból	kg	22,1	583,8	1188,9	4986,4	147,3	926,7	880,7	1108,1
Fáradt olaj (reciklált)	kg	0,2	15,8	27,5	106,4	1,3	25,1	20,4	23,6

Rövidítések: Me-mértékegység, EH-előhasználat, VH-véghasználat, TI-tisztító vágás; TKGY-törzskiválasztó gyérítés; NFGY-növedékfokozó gyérítés; VH (TRV)-véghasználat tarvágás

2. szubmodul: Az alábbi táblázatban a hengeresfa feldolgozás összesített környezeti leltáradatbázisát mutatjuk be raklapgyártás esetén  $100 \text{ m}^3$  faanyagra vonatkoztatva.

**2. táblázat.** A hengeresfa feldolgozás összesített bemeneti és kimeneti környezeti leltáradatbázisa raklapgyártás esetén (Magyarország, Komárom-Esztergom megye)

<b>Paraméter</b>	<b>Me</b>	
<b>Funkcióegység</b>	<b>100 m<sup>3</sup> hengeresfa</b>	
<b>Input</b>		
Hengeresfa	m <sup>3</sup>	100
Üzemanyag (dízel)	kg	33,6
Üzemanyag (benzin)	kg	9,78
Kenőolaj	kg	20,5
Elektromos áram	kWh	2674
<b>Output</b>		
CO <sub>2</sub> kibocsátás üzemanyagból	kg	137,6
Fáradt olaj (reciklált)	kg	20,5
Raklap	m <sup>3</sup>	50
Hulladék (kéreg, szíjács)	m <sup>3</sup>	25
Fűrészpor	m <sup>3</sup>	25

3. szubmodul: Az alábbi táblázatban a raklapból származó faapríték és faipari melléktermékek (fűrészpor, kéreg, szíjács) energetikai célú felhasználásának összesített környezeti leltáradatbázisát mutatjuk be városi biomassza fűtőmű esetén 100 m<sup>3</sup> faanyagra vonatkoztatva.

**3. táblázat.** A fás biomassza (raklapból származó faapríték) és faipari melléktermékek (fűrészpor, kéreg, szíjács) energetikai célú felhasználásának összesített bemeneti és kimeneti környezeti leltáradatbázisa városi biomassza fűtőmű esetén (Magyarország, Vas megye)

<b>Paraméter</b>	<b>Me</b>	
<b>Funkcióegység</b>	<b>100 m<sup>3</sup> faanyag</b>	
<b>Input</b>		
Faapríték	m <sup>3</sup>	50
Hulladék (kéreg, szíjács)	m <sup>3</sup>	25
Fűrészpor	m <sup>3</sup>	25
Üzemanyag (dízel)	kg	155,61
Kenőolaj	kg	10948,7
Elektromos áram	kWh	702,1
<b>Output</b>		
CO <sub>2</sub> kibocsátás üzemanyagból	kg	501,39
CO <sub>2</sub> kibocsátás faanyag tüzeléséből	kg	18246,7
CO	kg	5,22
NO <sub>x</sub>	kg	38,26
SO <sub>2</sub>	kg	0,48
Fáradt olaj (reciklált)	kg	10948,7
Hőenergia	MJ	228096,9
Hamu	kg	322,53

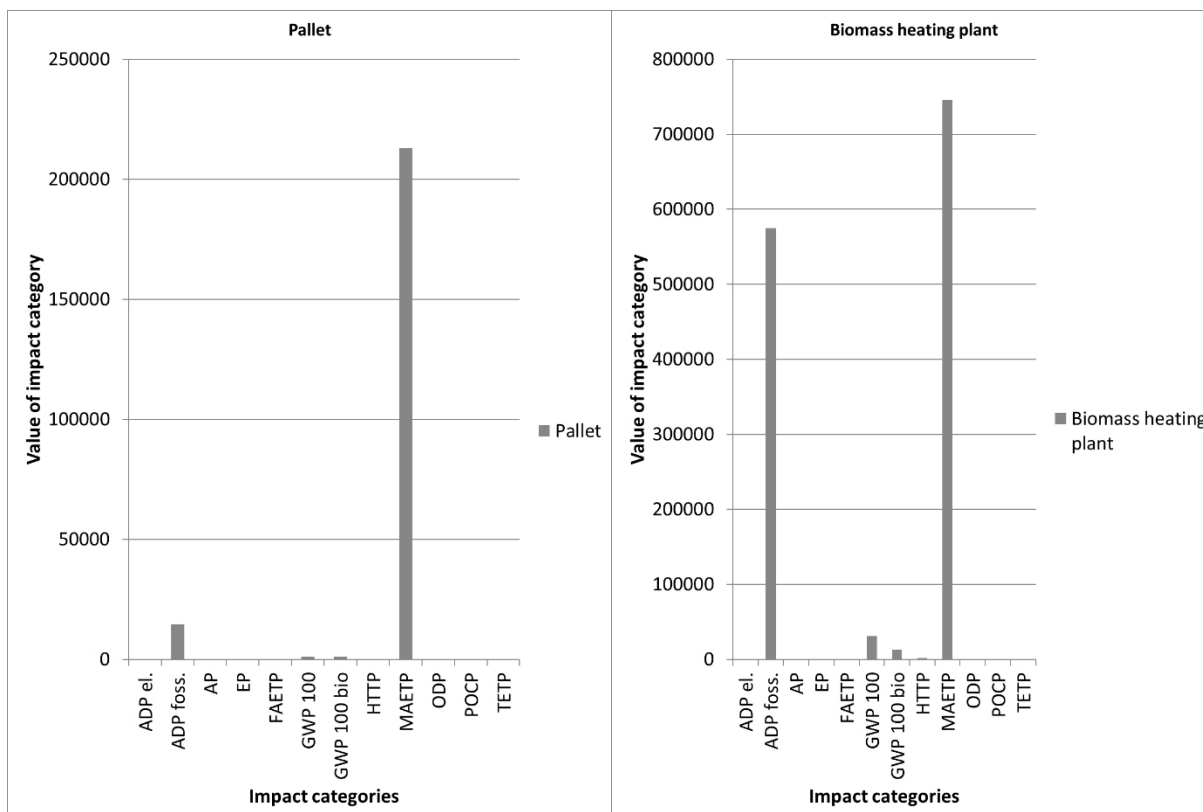
Az 1. és 2. szubmodulban a környezeti tényezők közül jelentős volt bementi oldalon a faanyag, az üzemanyag és kenőolaj felhasználás, kimeneti oldalon elsősorban a CO<sub>2</sub>, valamint a fáradt olaj (reciklált) kibocsátás. A 3. szubmodulban, a faanyag energetikai célú felhasználása során

az előbbiek mellett jelentős volt a biotikus eredetű CO<sub>2</sub> kibocsátása, melyet a szénlábnyom értékek számítása során a biotikus dimenzióban figyelembe vettünk.

### Életciklus hatásértékelés

Az 1. szubmodul részletes vizsgálatával Polgár et al (2018) munkája foglalkozik.

Az alábbi két ábra bemutatja a 2-3. szubmodul esetén tapasztalt életciklus-hatásértékelési profilt.



2. szubmodul, hengeresfa feldolgozás

3. szubmodul, faanyag energetikai célú felhasználása

Rövidítések: CML2001 (April 2015) hatáskategóriák: Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.], Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]; Acidification Potential (AP) [kg SO<sub>2</sub>-Equiv.]; Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]; Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.]; Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years) [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.]; Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]; Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]; Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]; Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]; Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]

**2-3. ábra.** A hengeresfa feldolgozás (raklapgyártás) és a faanyag energetikai célú felhasználása (városi biomassza fűtőmű) környezeti hatásai az egyes CML 2001 hatáskategóriákban

Jelentős hatáskategóriaként merült fel az abiotikus erőforrás kimerülés (ADP foss.), a tengervízi ökotoxicitás (MAETP) és a globális felmelegedés (GWP 100 years) is. E hatáskategóriák az üzemanyag és kenőolaj inputok hozzájárulásával magyarázhatók.

*Szénlábnyom számítás*

Az alábbiakban bemutatjuk 1-3. szubmodulban a szénlábnyom alakulását (fosszilis, biotikus és abszolút dimenzióban).

**4. táblázat.** Szénlábnyom értékek fosszilis, biotikus és abszolút dimenziókban

1-2-3. szubmodulok szénlábnyoma [kg CO <sub>2</sub> -ekvivalens]												
Állomány	Fosszilis dimenzió (Technológiai folyamatok)			Teljes fosszilis		Biotikus dimenzió (Faanyag égetése)		Abszolút dimenzió			Teljes abszolút	
	1	2	3	1+2+3	%	3	%	1	2	3	1+2+3	%
<b>nemesnyár</b>	7449,54	4720	50800	<b>62969,54</b>	46	<b>72800</b>	54	7449,54	4720	123600	<b>135769,54</b>	100
<b>luc</b>	4403,01	4720	50800	<b>59923,01</b>	45	<b>72800</b>	55	4403,01	4720	123600	<b>132723,01</b>	100
<b>tölgy</b>	2912,89	4720	50800	<b>58432,89</b>	45	<b>72800</b>	55	2912,89	4720	123600	<b>131232,89</b>	100
<b>bükk</b>	3763,53	4720	50800	<b>59283,53</b>	45	<b>72800</b>	55	3763,53	4720	123600	<b>132083,53</b>	100
<b>akác</b>	8041,48	4720	50800	<b>63561,48</b>	47	<b>72800</b>	53	8041,48	4720	123600	<b>136361,48</b>	100

Rövidítések: 1 – Fahasznalet; 2 – Hengeresfa feldolgozás; 3 – Faanyag energetikai célú felhasználása

A fahasználati szubmodulban mennyiségi megközelítésben, 400 m<sup>3</sup> kidöntött állófára nézve, a technológiai folyamatok fosszilis eredetű szénlábnyomát illetően a következő rangsor adódott az állományokat illetően: „tölgy (2912,89) – bükk (3763,53) – luc (4403,01) – nemesnyár (7449,54) – akác (8041,48)” (GWP 100 years: [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.] értékek szerint).

Területi megközelítésben megállapítottuk, hogy hektáronként a vágásterületi munkák a fosszilis eredetű CO<sub>2</sub> kibocsátás 30-40%-áért, míg a faanyag felterhelése, szállítása, leterhelése a 60-70%-áért felelős.

Ehhez adódnak 400 m<sup>3</sup> faanyagra vetítve a hengeresfa feldolgozás fosszilis (4720 kg CO<sub>2</sub>-Equiv.) és a faanyag energetikai célú felhasználásának fosszilis (50800 kg CO<sub>2</sub>-Equiv.) és biotikus (72800 kg CO<sub>2</sub>-Equiv.) szénlábnyomai.

A fosszilis dimenzió belül a szénlábnyom alakulásához a fahasználati és a hengeresfafeldolgozás szubmoduljai kb. 10-10 %-ban, míg az égetés technológiai folyamatai kb. 80%-ban járulnak hozzá. Az abszolút dimenzióban ugyanez kb. 5-5 % és 95% körüli életciklus részesedést mutat.

A fosszilis dimenzió hozzávetőlegesen 45-47%-ban, míg a biotikus dimenzió 53-54%-ban járul hozzá az abszolút szénlábnyomhoz.

## Következtetések

### *Szénlábnyom vs. szénmegkötés*

A dimenziókra és a teljes rendszerre vetített szénlábnyom értékeinek faanyag szénmegkötéséhez normalizálása érdekében állományokra jellemző viszonyszámokat képeztünk.

**5. táblázat.** Szénlábnyom vs. szénmegkötés viszonyszámai

Megközelítés	Állomány	Kidöntött állófa a teljes technológiai rotációban [bruttó m <sup>3</sup> ]	Viszonyszám		
			Fosszilis Állományra (kidöntött állófa) jellemző CO <sub>2</sub> szükséglet / Szénlábnyom (fosszilis) [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	Biotikus Állományra (kidöntött állófa) jellemző CO <sub>2</sub> szükséglet / Szénlábnyom (biotikus) [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	Abszolút Állományra (kidöntött állófa) jellemző CO <sub>2</sub> szükséglet / Szénlábnyom (abszolút) [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]
Mennyiségi (400 m <sup>3</sup> )	nemesnyár	400	5,32	4,60	2,47
	luc	400	5,15	4,24	2,33
	tölgy	400	8,85	7,10	3,94
	bükk	400	9,11	7,42	4,09
	akác	400	8,18	7,14	3,81

Állománytól és faanyagtól függően a technológiai folyamatok (fosszilis dimenzió) szénlábnyoma esetén a viszonyszám alakulása: 5,15-9,11 közötti; az égetés (biotikus dimenzió) esetén: 4,60-7,42; az abszolút dimenzióban pedig: 2,33-4,09.

A viszonyszám 1,0-nál nagyobb tapasztalt értékei jól mutatják a rendszerhatárokon belül dimenzióként a „pozitív jellegű” szénmegkötési potenciált és a többszörös nagyságrendet. Kiemeljük, hogy a fenti „pozitív jelleg” az égetés során a hamuban szilárd formában megkötött szén mennyiségének nagyban betudható (mint széntároló – carbon pool szerepel a rendszerben). A vizsgált 1-3. szubmodulok eredményeire alapozva megállapítottuk, hogy a „nyersfa folyamat lánc” esetén helytálló Klein et al (2015) és Németh (2016) megállapítása, miszerint a faanyag alacsony emissziójú nyersanyag.

Alapul véve a fáhasználati, a hengeresfa feldolgozási és faanyag energetikai célú felhasználási szubmodulok vizsgált környezeti hatásait, a jelenleg vizsgált rendszerhatároknál szélesebb „nyersfa folyamat lánc” további „pozitív jellegű” szénmegkötési potenciálja előre bocsátható a viszonyszámok tükrében, vélhetően a nagyságrend várható csökkenése mellett.



## Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat az „AGRARKLÍMA.2 VKSZ\_12-1-2013-0034” projekt, valamint a Soproni Egyetem Struktúraváltási Terve (FSA – 32388-2/2017 INTFIN) projekt támogatásával valósítottuk meg. A munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## Irodalom

- ÁKOS L. (1964): Erdészeti, vadászati, faipari lexikon. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, Hungary, pp. 731.
- BUZÁS Z. (2005): Buzás Zoltán számítása az Sz. közelében lévő Mátrakeresztes erdőtag CO<sub>2</sub> lekötésének évi értékére. Web site. [online 2017. december 27.] URL: [http://www.fagosz.hu/fataj/FATAJ\\_online/2006/08\\_02200226/Kyoto/Buzas\\_SZ-xx-erdotag-szamitasa.pdf](http://www.fagosz.hu/fataj/FATAJ_online/2006/08_02200226/Kyoto/Buzas_SZ-xx-erdotag-szamitasa.pdf)
- CML 2001: GUINÉE, J.B. - GORRÉE, M. - HEIJUNGS, R. - HUPPES, G. - KLEIJN, R. - KONING, A. - DE OERS ET AL (2002): Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp. on-line: <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/finished/new-dutch-lca-guide.html>
- DINYA L. (2018): Biomassza-alapú energiahasznosítás: a múlt és a jövő. Magyar Tudomány 179(2018)8, 1184–1196. DOI: 10.1556/2065.179.2018.8.8
- FRÜHWALD, A. (1995): LCA – a Challenge for Forestry and Forest Product Industry. In Frühwald, A. & Solberg, B. (eds): Life-Cycle Analysis – a Challenge for Forestry and Forest Industry, EFI Proceedings No. 8, European Forest Institute: 10-11
- HEINIMANN, H. R. (2012): Life Cycle Assessment (LCA) in Forestry - State and Perspectives. In Croatian Journal of Forest Engineering (CROJFE), 33(2012)2: 357-372. ISSN: 1845-5719
- KLEIN, D. - WOLF, C. - SCHULZ, C. - WEBER-BLASCHKE, G. (2015): 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. In The International Journal of Life Cycle Assessment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Volume 20, Issue 4, April 2015. ISSN: 0948-3349 (Print) 1614-7502 (Online)

- MÁTYÁS Cs. (2006): Erdők a globális és hazai szénforgalomban. In: Szulcsán G (szerk.): Alföldi Erdőkért Egyesület. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2006. 11. 14., pp. 5-13.
- NÉMETH G. (2016): A dendromassza, mint energetikai alapanyag jellemzése és felhasználása. Diplomamdolgozat. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- ISO (2006a). ISO 14040:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework (ISO 14040:2006), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, pp. 20.
- ISO (2006b). ISO 14044:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines (ISO 14044:2006), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, pp. 46.
- PÁJER J. (1998): Környezeti hatásvizsgálatok. Soproni Egyetem, Sopron
- POLGÁR A. - PÉCSINGER J. - HORVÁTH A. - SZAKÁLOS NÉ MÁTYÁS K. - HORVÁTH A. L. - RUMPF J. - KOVÁCS Z. (2018): Erdészeti technológiák szénlábnyoma és előrevetített klímakockázata. Erdészettudományi Közlemények, 2018(8)1: *megjelenés alatt!* Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. ISSN: 2062-6711
- RUMPF J. - HORVÁTH A. L. - MAJOR T. - SZAKÁLOS NÉ MÁTYÁS K. (2016): Erdőhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest, Hungary, pp. 390.
- SIMON B. (2012): A rendszerhatárok és a hatásvizsgálati módszer megválasztásának szerepe az LCA eredményében – az elektromos-energia előállítás példáján keresztül. In Eco-matrix. Az LCA (Life Cycle Assessment) Center - Magyar Életciklus Elemzők Szakmai Egyesület Online folyóirata. 2012/1-2: 11-24. ISSN: 2061-344X
- SZLÁVIK J. - SEBESTYÉNNÉ SZÉP T. (2018): A biomassa energetikai hasznosításának ökológiai lábnyoma. Magyar Tudomány 179(2018)8, 1220–1231. DOI: 10.1556/2065.179.2018.8.11
- VADÁSZ E. (1924): A szén és petróleum múltja és jövője. Budapest, Athenaeum Kiadó, Hungary, Web site. [online 2017. december 27.] URL: <http://mek.oszk.hu/02200/02232/html/#4>