

ECO-Matrix

2017/1-2



ECO-Matrix

5. évfolyam 1. szám 2017/1-2.

A szerkesztőbizottság:

Tóthné Szita Klára

Sára Balázs

Gröller György

Karcagi-Kováts Andrea

Szerkesztő: Szilágyi Artúr

Felelős Kiadó: LCA Center, a Magyar Életciklus Elemzők Szakmai Egyesület

3519 Miskolctapolca, Iglói u. 2.

e-mail: info@lcacenter.hu

Az elektronikus folyóirat megjelenik félévente. 50 oldal terjedelemben.

ISSN 2061-344X

Előszó

Tisztelt Olvasó!

Ön a 2017-ben megtartott XII. ÉLETCIKLUS-ELEMZÉSI (LCA) SZAKMAI KONFERENCIA előadásából kap ízelítőt folyóiratunk jelenlegi számában. A konferencia az *LCA CENTER Egyesület valamint az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kara által* közösen került meghirdetésre 2017. nov.21-22 között, az alábbi címen:

Az LCA szerepe az emberközpontú társadalomban

Az életciklus szemlélet és elemzés a nemzetközi gyakorlatban kulcsfontosságú eszköz a termékek, szolgáltatások, sőt projektek környezeti teljesítményének javításában. Az üzleti életben elterjedten használják a profitot elősegítő ökodesign területén, az innovációs fejlesztések döntés előkészítésében, a környezeti teljesítmények mérésénél, a menedzsment gyakorlatban, a CSR jelentések szakmai megalapozásánál, gazdaság zöldítését elősegítő folyamatok tervezésében, vagy a körkörös gazdaság elősegítésében. A gyakorlati alkalmazások terén óriási előrelépés történt az építőipar, vegyipar, acélgégyártás, autóipar, textilipar, élelmiszergazdaság területén. Elég arra gondolni, hogy a nagy nemzetközi konferenciákon milyen nagyszámú kutatásról és gyakorlati alkalmazásról számolnak be évről-évre (SETAC Annual Meeting, SETAC LCA Case Study Symposium, vagy LCM Konferenciákon, vagy a nemzeti LCA hálózat által szervezett konferenciák) amelyeken vezető világcégek is képviseltetik magukat. Ezek az alkalmazások nagymértékben hozzájárnak az élhetőbb, kevésbé környezetterhelő megoldások megvalósításában.

A politikai döntés előkészítésben, a kutatási projekt javaslatok elbírálásában is egyre inkább fellelhető az életciklus szemlélet megjelenése.

Konferenciánk célja változatlanul az volt, hogy fórumot teremtsünk a hazai üzleti élet, gazdasági szereplők, LCA alkalmazók és leendő felhasználók számára, hogy bemutathassák eredményeiket, és azt az érdeklődők szélesebb körben megismerhessék, és terjesszék az LCA-ban rejlő lehetőségeket.

Konferenciánkon az alábbi kérdésekről volt szó volt

- körforgásos gazdaság,
- életciklus szemlélet alkalmazása környezeti, gazdasági, társadalmi, szervezeti vizsgálatokhoz,
- megújuló erőforrások környezeti teljesítménye,
- élelmiszergazdasághoz kapcsolódó LCA vizsgálatok,
- környezeti lábnyomok,
- pályázati források,
- építésügyi műszaki irányelvek,
- termékfejlesztés.

Konferenciánkon 35 fő vett részt, összesen 17 előadás hangzott el, és jó hangulatú eszmecsere folyt.

Szerkesztőség nevében:

Tóthné Szita Klára

Tartalom

Gál Balázs Sándor, Bodnárné Sándor Renáta: Agráriumi megoldások körkörös gazdaság szemléletben	5
Kiss Ferenc: A szerbiai szénerőművekben előállított villamos energia élelciklus-elemzése	13
Tóthné Szita Klára: Amit a környezeti lábnyomok üzennek	24
Bezegh András, Martinás Katalin: Energia és körforgás.....	37

Agráriumi megoldások körkörös gazdaság szemléletben

Gál Balázs Sándor [1]- Bodnárné Sándor Renáta [2]

[1] tudományos munkatárs, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Miskolc Iglói út 2. balazs.gal@bayzoltan.hu

[2] [1] tudományos munkatárs, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Miskolc Iglói út 2. renata.sandor@bayzoltan.hu

Summary

The zoogenic biochar can be useful part of the circular economy and to the sustainability; the cause of this that the multiple usability can be contribute for sustainability of company what deal with. Although hasn't got wide literature sources of this theme, about the multifarious basic material, and various utilization, therefore the scientifically awarding is not clarified fully. The aim of the full research was a fluent switch to system of circular economy of one company what attend with ranching and agriculture, Small segment of this procedure, but important steps of it, the production and determining of environmental effect of utilization of biochar, from the separated cattle manure, together with the comparison with other products what has same functions. The analysed biochar can be utilized in numerous sector of the agriculture, in numerous forms.

Key words: biochar, circular economy, sustainability, recycling

Kivonat

Az állati eredetű biochar termék hasznos része lehet a körforgásos gazdaságnak, sokrétű felhasználhatóság miatt hozzájárulhat az állattenyésztéssel, mezőgazdasággal foglalkozó cég fenntarthatóságához. Bár teljes körű szakirodalmi háttér még nem áll rendelkezésre a témával kapcsolatban a termék sokrétű alapanyagai és felhasználása miatt, ezért megítélése tudományos körökben még nem teljesen tisztázott. A teljes kutatás célja, a mezőgazdasággal és állattenyésztéssel foglalkozó cég működésének folyamatos átállása a körforgásos gazdaságra, melynek kis szegmense - de fontos lépése - a szeparált szarvasmarhatrágyából biochar gyártás és annak felhasználásának, hasznosításának környezeti hatásainak meghatározása, valamint annak, más azonos funkciójú termékekkel való összehasonlítása.

Kulcsszavak: biochar, körforgásos gazdaság, fenntarthatóság, újrahasznosítás, szarvasmarhatrágya

1 Bevezetés

A Körforgásos gazdaság napjainkra ismerté és elterjedté kezd válni a köztudatban. A gazdaság minden területén megjelennek a hulladékkezelést és hasznosítást szorgalmazó törekvések, melynek oka a gazdasági megfontolások mellett, a környezeti károk mérséklésének igényében keresendő. A problémák súlyosbodásával párhuzamosan, elkezdődött a megoldások keresése is, annak érdekében, hogy környezeti, gazdasági és társadalmi szempontból fenntarthatóbbá váljanak a gazdasági rendszerek. Ez a szemlélet megjelenik a mezőgazdaságban is, ahol a keletkező hulladék átalakítása, hasznosítása, vagy a

folyamatok vegyszermentesítése, beszállítóktól való függetlenítése, saját anyagok maximális felhasználása ezeket az elveket követi.

2 Probléma felvetés

Régóta úgy tartják, hogy a biochar használatával csökkenteni lehet a mezőgazdaságban jelentkező változatos környezeti terheléseket - a talaj szerkezetkárosodásától egészen a vízháztartásig. Ez a lehetőség teszi fontossá a feltételezhető környezeti hatások elemzését, mellyel ez a tanulmány is foglalkozik.

3 Szakirodalmi háttér

A bioszén elhalt növényi és/vagy állati biomassza redukív pirolízise során létrejött magas szénttartalmú anyag. Szerkezeti tulajdonsága erősen függ a pirolízis során elszenesedett, kiindulási szerves anyagoktól és az előállítás körülményeitől egyaránt.¹

A pirolízis, egy olyan termokémiai bomlási folyamat, amely során oxigénmentes környezetben képzünk szerves anyagokból karbonban gazdag szilárd termékeket. A biomassza bekerülésével a pirolízisbe, bioszén és energia képződik. A pirolízisnek, két fajtáját kell megkülönböztetni, melyek a magas és az alacsony hőmérsékleten végbemenőek. Előbbi esetében magas hőfokon (500°C körül) rövid ideig tartó gőzkezeléssel történik az átalakítás. Ebben az esetben általában kis részecskékből előállított alapanyagra van szükség, és egy olyan rendszer kialakítására, ahol a szilárd termék képződése után a gőzt azonnal el lehet tüntetni. Az alacsony hőfokú pirolízis esetében pedig meg kell különböztetni egymástól hagyományos faszenet előállító és az ennél már modernebb eljárásokat. Ebben az esetben az előzőnél alacsonyabb (400°C) hőmérsékleten és hosszabb gázkezeléssel hozzák létre a végterméket. Ugyan a cél ilyenkor is a faszen előállítása, mégis a folyamat végén megfigyelhető folyékony és gázalapú termékek outputként való megjelenése is. Kutatási szempontokból célszerű – a 20. század végén kialakuló – modernebb eljárásokra koncentrálni, ugyanis bioszenet csak ezekkel lehet előállítani. A folyamathoz ilyenkor vízszintes, cső alakú kemencét használnak, melynek a biomassza alakításában besegítenek még további dob vagy forgókemencék.²

Alapanyag szerint két nagy csoportot lehet megkülönböztetni a bioszenek

¹ Kocsis Tamás, Biró Borbála (2015): Bioszén hatása a talaj-növény-mikróba rendszerre: előnyök és aggályok

² Szőke et al. (2016) A bioszén felhasználás környezetgazdaságtani megközelítése lehetséges technológiai és gazdasági scenáriók a magyarországi bioszén hasznosításban

között. Elsőként az állati eredetű (ABC), utána a növényi alapanyagból előállított bioszenet (PBC). Ez utóbbi jelen vizsgálat tárgya.

A csontszenet (ABC), biztonságosan csak magas hőmérsékleten (600-850 °C) lehet előállítani. Az ABC különlegesen, magas P/Ca tartalommal, és makroporozus szerkezettel, és a mikrobiológiai közeg befogadásának és tárolásának speciális körülményeinek megfelelően kerül előállításra.³ Alapanyagként felhasználható hozzá számos állati eredetű hulladék, például élelmiszer minőségű, 3-as kategóriába sorolt állati csontok (sertés, szarvasmarha).⁴

A növényi eredetű bioszenek (PBC), magas és stabil szénttartalmú, mikro és mezopórusos szerkezetű talajjavító anyagok. Magas nedvesség-, tápanyagmegtartó és szénmegkötő képességgel rendelkeznek, de trágyázó hatásuk gazdaságilag elhanyagolható.⁵ Az ilyen típusú biocharnak alapanyagául szolgálhat többek között, kukoricaszár, köles vagy bármilyen más szántóföldi hulladék.⁶

Biochar hatásai a talajra számos formában megmutatkozhatnak. A növényi eredetű bioszenek megközelítőleg, 60,5-80% közötti szénttartalommal rendelkeznek. Talajjavítási céllal történő alkalmazása esetén, 1t bioszén esetén 0,61-0,8t szén kerül a talajba, amely körülbelül 2,2-2,9t megkötött CO₂-nek feleltethető meg. Ezzel a szénttartalommal közvetlenül a stabil, szervesszén frakció növelhető a talajban. A stabil szénttartalom növekedésével együtt, további pozitív hatás lehet a szerveszénben gazdag talajszenek mélyülése, ami hozzájárul a nagyobb szerkezeti stabilitás kialakításához, valamint az erózió és ki-

³ Edward Someus, Terra Humana Ltd. (2016): Új zöld ipari technológia alkalmazása és piaci bevezetése melléktermékekből előállított magas foszfor tartalmú csontszén szilárd fermentációjával

⁴ Refertil.info (2015).

⁵ Kiss Daniella (2017) A bioszén környezetre gyakorolt hatása életciklus elemzéssel

⁶ Kelli G. Roberts, et al. (2009) Life cycle assessment of biochar systems; Northeast Biochar Symposium

lúgzás csökkentéséhez egyaránt. A stabil széntartalom-növekedéssel összefüggésben, számos közvetett hatás is megállapítható:

- nagyobb termésátlagok;
- megnövekedett felszín feletti -, és felszín alatti biomassza produkció;
- nagyobb vízvisszatartó képesség;
- stabilabb talajszerkezet;
- meszező-hatás (magasabb pH);
- nagyobb kationcsere-, és pufferkapacitás;
- magasabb NPK koncentráció.⁷

A biocharnak a fent említetteken kívül, számos más alkalmazási területe is lehetséges. Használható a fertőtlenítési folyamat részeként, szarvasmarhatrágya kezelésében. Kísérletek indultak a biochar takarmányba keverésének hatásainak vizsgálatára, az állati metánkibocsájtás csökkentésének érdekében. Komposztba keverve előnyösebb mikrobiológiai tulajdonságok, és a komposzt érési folyamatai során végbemenő emisszió csökkentés is elérhető.

4 Anyag és módszer

A környezeti hatások kiértékelése a CML 2001 hatáselemző módszertan segítségével történt. A módszer karakterizációs faktorait folyamatosan fejlesztik az új tudományos és ipari információk függvényében. A módszer kvantitatív modellezést határolja egy korai szakaszban, az okozati láncban, s ezzel limitálja a bizonytalansági tényezőket. Az eredmények a középérték kategóriákban kerülnek kiértékelésre, az átlagos szerkezetek szerint (pl.: éghajlatváltozás, eutrofizáció, savasodás, stb.), vagy általánosan elfogadott csoportok szerint (pl.: ökotoxicitás).

A biochar életciklus elemzésének funkcionális egysége: a naponta előállított biochar mennyisége volt.

Az összehasonlító elemzés során, pedig az egy hektárra ajánlott biochar

mennyiség, széntartalma volt az összehasonlítás alapja.

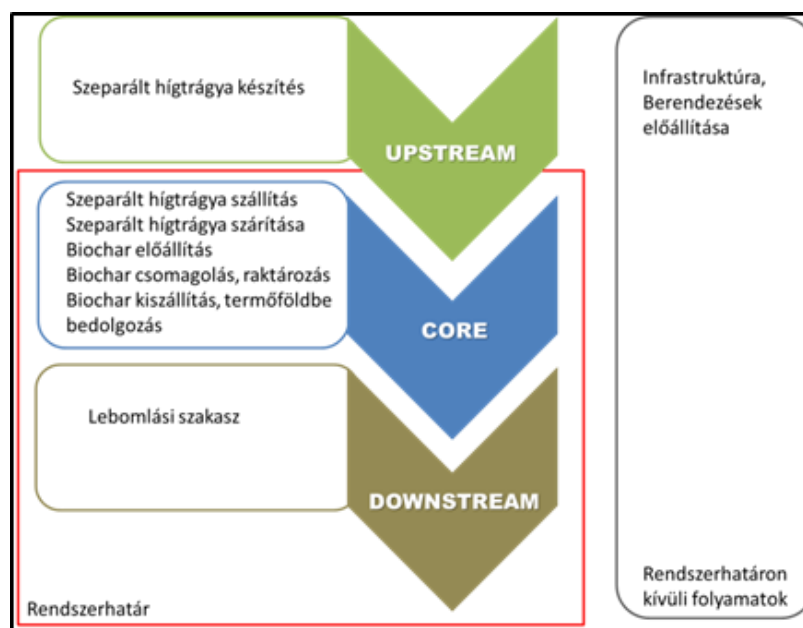
A modell elkészítése során cél volt, a leginkább illeszkedő – az életciklus elemző szoftver adatbázisából származó - folyamatok kiválasztása, akár több rendelkezésre álló adatbázisból egyaránt. Preferencia sorrend: a Thinkstep (ts-GaBi) és az Ecoinvent adatbázisok.

5 Eredmények

Az elemzés első lépése a rendszerhatárok kijelölése volt, melyet az 1. ábra: Biochar LCA elemzés rendszerhatára mutat be. A vizsgálat spektruma kiterjed az alapanyagra, felhasznált energiára, alkalmazott technológiai háttérre, mezőgazdasági hasznosításra egyaránt.

A projekt egyik legfontosabb célkitűzése volt a nagymennyiségben képződő szarvasmarhatrágya hulladék-mennyiségének csökkentése, illetve átalakítása hasznos alapanyaggá/termékké. Ezt különböző eljárásokkal lehet kivitelezni. A biochar előállításához tejelő tehenészetből származó hígtrágyából visszanyert, szeparált szarvasmarha trágya jelenti az alapanyagot. A telepen több formában is jelen van a szarvasmarhatartás, ahol más és más formában jelenik meg melléktermékként a trágya. Az előállítás során felhasznált energia környezeti hatása, magába foglalja a felhasznált villamos-energiát, az égetés során hasznosított földgáz mennyiségét, valamint kiterjed a különböző szállítási, hasznosítási és raktározási folyamatok során igénybevett gépjárművek üzemanyag fogyasztására egyaránt. Az elemzés során a technológiai területéről, a biochar gyártás gépének, a földműveléshez és a szállításhoz használt gépek környezetre gyakorolt hatásai egyaránt figyelembe-vételre kerültek. A biochar gyártás Globális felmelegedési Potenciál (GWP) vizsgálatának eredményeit az **1. táblázat**: GWP százalékos megoszlása biochar esetén mutatja be. A GWP vizsgálata során kiderült, hogy a hatáskategória értékéhez, legnagyobb mértékben, a biochar pirolízise járul hozzá. Legelhanyagolhatóbb hatást a

⁷ Dr. Füleky György, et. al. (2015) Zárójelentés; TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0015



1. ábra: Biochar LCA elemzés rendszerhatára

földgázfelhasználás és a műanyag hulladékok ártalmatlanítása teszi hozzá. Szükséges megemlíteni továbbá a felhasznált villamos-energia igényt, a talajművelő

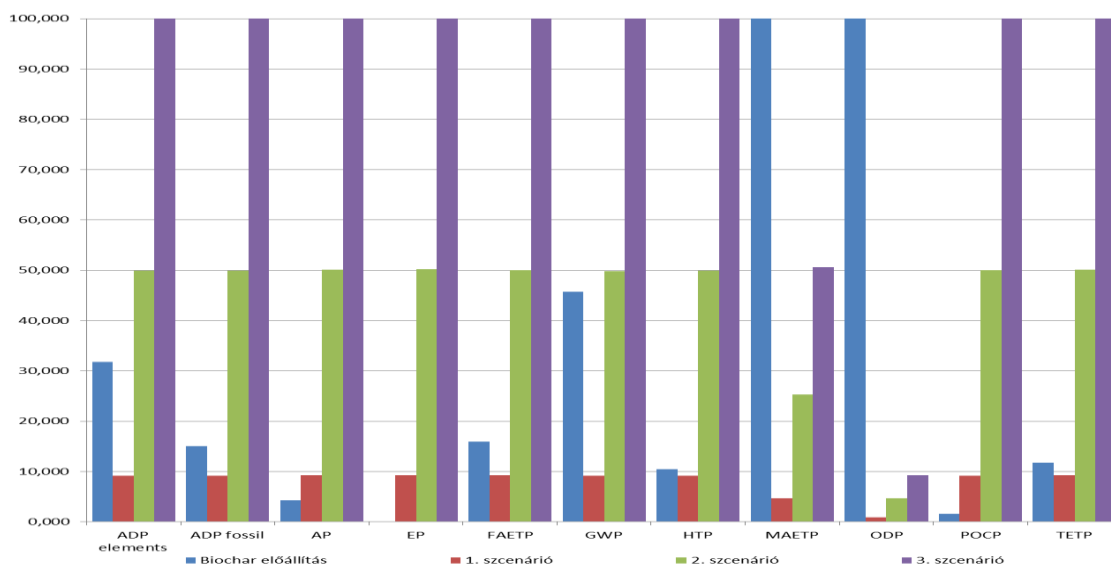
gépek és a szállítás környezeti terhelését, amelyek összességében ugyan elhanyagolhatóak a pirolízishez képest, de a többi folyamat közül kiemelkednek.

1. táblázat: GWP százalékos megoszlása biochar esetén

GWP 100 years	[kg CO ₂ -Equiv.] %
BC01_Szep.hígtrágya szállítás energiaszükséglet	0,126
BC02_Biochar előállítás	98,17
BC02_Földgáz felhasználás	0,001
BC02_Villamos-energia igény	0,89
BC02_Vízfelhasználás	0,005
BC03_BIG BAG	0,058
BC03_műanyag hulladék lerakása	0,001
BC04_Rakodógép	0,022
BC04_Rakodógép üzemanyag-felhasználás	0,002
BC05_kijuttatás	0,021
BC05_Kijuttatás üzemanyagigénye	0,002
BC05_kiszállítás	0,116
BC05_kiszállítás üzemanyagigénye	0,012
BC06_Talajművelés üzemanyagigénye	0,052
BC06_Talajművelő-gép	0,522
ÖSSZESÍTÉS	100

Az eredmények realisabb kiértékeléséhez egy összehasonlító elemzés készült (2. ábra), melynek tárgya a biochar és a szeperált hígtrágya volt. A vizsgálatban az alapfeltevés szerint, az ajánlott biochar dózis (15t/ha), egy adagban kerül a szántó-

földre. Az összehasonlítás alapját a talajba kijutatott tényleges széntartalom adta. Az alapeset mellett három szcenárió került meghatározásra melyeket össze lettek vetve egymással (2. táblázat).



2. ábra: Hatáskategóriák összehasonlítása

2. táblázat: Az összehasonlító elemzés kategóriái

Vizsgált kategória	Kijutatott szénforrás	Alkalmazás gyakorisága
Alapeset	Biochar	egyszeri
1. scenario	Szeperált hígtrágya	9,2 évig *
2. scenario	Szeperált hígtrágya	50 évig *
3. scenario	Szeperált hígtrágya	100 évig *

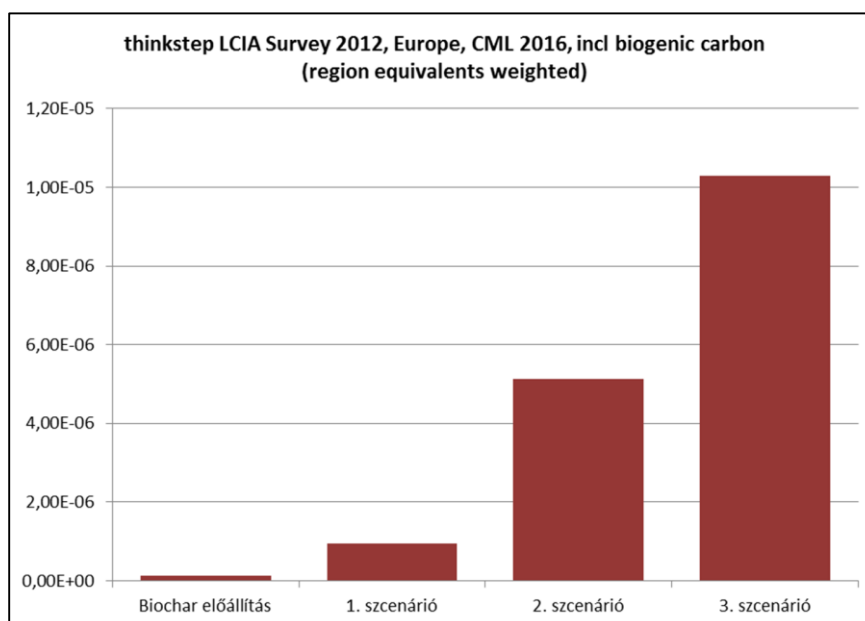
(* A nitrogén direktívában engedélyezett éves mennyiséget alkalmazva.)

Az első szcenárióban akkora szénmennyiség került kihordásra szeperált trágya formájában, ami megfelel a biochar egyszeri dózisának széntartalmával. A szeperált hígtrágya felhasználás csak korlátozások mellett lehetséges, mivel a nitrogén direktíva meg szabja az évente kijutatható szeperált trágya mennyiségét. Ezt a direktívát figyelembe véve, 9,2 év alatt lehet kihordani a szükséges mennyiségű szeperált trágyát. Ebben az esetben a biochar adná a rosszabb értékeket – 3 kategória kivételével - jól láthatóan minden vizsgált környezeti hatáskategória között. A karbon-lábnyom esetén (GWP) a biochar, ötször akkora környezet terhelést mutat, mint a szeperált trágya. Ennek oka a gyártás során légkörbe kerülő nagy mennyiségű széndioxid.

Második szcenárió annak a lehetőségét veti fel, hogy a biochar, akár 50 évig is ki

tudja fejteni hatását a talajban, további adagolás nélkül. Ebben a szcenárióban megváltozik a trend, mivel a folyamatos szénmennyiség fenntartásához, folyamatosan ki kell juttatni a szeperált trágyát, köszönhetően az abban található kevésbé stabil szénnek. Ebben az esetben a biochar adja az alacsonyabb környezeti terheléseket. A gyártási emisszióból származó szénmegtakarítás, megközelíti a 10%-ot. A harmadik szcenárióban a biochar jótékony hatásának időtartama kitolódik 100 évre, ez szakirodalmi adatok alapján reálisnak mondható. Ilyenkor a környezeti megtakarítás a szén-lábnyom esetén eléri a 120%-ot.

Az elvégzett életciklus elemzés nem vizsgál egyéb externáliákat, így nem került bemutatásra a biochar minden környezeti hatása, valamint nem veszi figyelembe a szeperált hígtrágya átalakítása során keletkező széndioxidot, amely már előzőleg megkötésre került a légkörből. A normalizálással (3. ábra) látványosabban össze lehet vetni az eredményeket, az egyes szcenáriók együttes környezeti hatásait. A vizsgálat során a biochar használat minden esetben jobb eredményt mutatott az előzőekben bemutatott szcenáriókhöz képest.



3. ábra: Az egyes szcenáriók normalizált súlyozott értékeinek összehasonlítása

A biochar gyártás összesített környezetterhelése csupán 13,5%-a volt az első szcenárióhoz képest, ahol szeparált trágyával, szeretnénk egyszeri alkalommal kijutni az ajánlott biochar dózisban található szénmennyiséget. 100 év viszonylatában a biochar kibocsátásának aránya csak 1,2% lesz. Ennek az magyarázata, hogy nem csak a karbon-lábnyom, hanem az eutrofizáció is kiemelt súllyal szerepel a vizsgálatban, ami miatt a szeparált hígtrágya összességében nagyobb környezeti terhelést jelent.

Ez a vizsgálat külső kommunikációra kevésbé alkalmas normalizált eredményei miatt, inkább javasolt a megbízható környezeti hatáskategóriák publikálása.

Biocharhoz kapcsolódó egyéb termékek:

A biochar sokoldalúságát az adja továbbá, hogy számos formában hasznosítható. A projekt során felmerült néhány további termék előállításának lehetősége, melyeknek gyártása során kulcs szerepet kap a biochar. Egyik ilyen, az aero-komposzt, aminek a biochar és egy speciális baktérium oldattal kezelt marhatrágya a fő komponense. Felhasználása azonos a hagyományos komposztokéval, melyeket szerves és tápanyag utánpótlásra használnak a növénytermesztésben. Az aero-komposzt azonban magasabb mikroba számmal rendelkezik és előállítása alacsonyabb emisszióval jár. Másik ilyen ter-

mék, az előbbieken ismertetett aero-komposztból kinyerhető komposzt tea, melynek lényege, hogy a komposztban található hasznos baktériumflórát vizes közegben, melasz hozzáadásával, levegőztetés és melegítés mellett felszaporítják. Az így keletkezett oldatot, baktériumtrágyaként juttatják ki mezőgazdasági területekre. **Összefoglalás**

A bioszén szerves eredetű biomasszából és/vagy szerves hulladékból reduktív körülmények között előállított stabil anyag. A környezetkímélő mezőgazdaságban számos alkalmazása ismert, de fontos, hogy jól körülhatárolt és szabályozott minőségű legyen, az esetleges kockázatok elkerülése érdekében. Beltartalmi értékei és fizikai tulajdonságai erősen függenek a felhasznált alapanyagoktól. Az életciklus elemzés elvégzése után elmondható, hogy a biochar gyártás légköri emissziója, a felhasznált villamos-energia, valamint a kihordás és bedolgozás munkagépeinek kibocsátása adta a terhelések nagyobb hányadát. A gyártás egyes szakaszainak összehasonlítása is valamiféle dimenzionálás, de teljesebb képet egy másik termékkel vagy hasonló folyamattal való összehasonlítás ad. Erre a célra kiválasztott termék a szeparált hígtrágya. Nehézséget jelentett a funkcionális egység kiválasztása, ugyanis hiába lehet egy év alatt 15 tonna biochar-t kihordani egy hektár földre, hogyha azonos széntartalom mel-

lett a szeparált hígtrágya, a nitrogén direktívának köszönhetően ilyen mennyiségben nem hordható ki. Ez figyelembe véve, 9,2 év alatt juttatható ki biochar-ral megegyező széntartalmú szeparált hígtrágya mennyiség. Az összehasonlítást bővítette az az elgondolás, hogy a biochar a talajban marad akár száz évig is. Ezért az elemzés száz, valamint az ötven éven keresztül kijuttatott szeparált hígtrágya mennyiségeket is tartalmazza. A biochar környezeti előnye 48-50 év után jelentkezik először, majd azután a vizsgált 100 éves ciklusig dominánsan nő. Ez a kezdeti hátrány a gyártás emissziója miatt jelentkezik. Azonban meg kell jegyezni, hogy az

Irodalom:

Dr. Füleky György, Dr. Fuchs Márta, Dr. Futó Zoltán, Holes Annamária, Gulyás Miklós (2015): A szilárd végtermék mezőgazdasági hasznosításának lehetőségei; TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0015; Forrás: http://termolizis.szie.hu/sites/default/files/5_alt%C3%A9ma_Z%C3%A1r%C3%B3jelent%C3%A9s.pdf (2017.11.12)

Edward Someus (2017): Új zöld ipari technológia alkalmazása és piaci bevezetése melléktermékekből előállított magas foszfor tartalmú csontszén szilárd fermentációjával (HU09-0114-A2-2016); Forrás: http://www.3ragrocarbon.com/sites/default/files/attachments/zarorendezveny_eloadas_bevezeto_es.pdf (2017.11.12)

Kelli G. Roberts, Brent A. Gloy, Stephen Joseph, Norman R. Scott, Johannes Lehmann (2009): Life cycle assessment of biochar systems; Northeast Biochar Symposium; UMass Amherst, 13 th of November, 2009 Forrás: <https://drive.google.com/drive/folders/0B4NgAcwRgcPbRWFmYjVuMTBmMEE> (2017.11.12)

Kiss Daniella (2017): A bioszén környezetre gyakorolt hatása életciklus elemzéssel; Környezeti Mikrobiológia és Remediáció – esettanulmány; Forrás: <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/defa>

elemzés nem számol a biochar egyéb előnyével és jelen tanulmány nem vizsgál egyéb externáliákat sem. Tovább módosítaná az eredményeket a rendszerhatár változtatása és a nyersanyag forrásának mélyebb vizsgálata is, mivel az emissziós értékeket függnek az alkalmazott növénytermesztési és az állattenyésztési módszerektől. A saját gazdaságban keletkező hulladék- ez esetben a szarvasmarhatrágya – több célú felhasználása, illetve a termeléshez szükséges külső források elkerülése (mint pl.: tápanyagpótlók, növényvédő szerek, stb.) nagy lépést jelenteknek a körkörös gazdaság elveinek megvalósítása felé.

[ult/files/A%20biosz%C3%A9n%20hat%C3%A1sa%20C3%A9letciklus%20elemz%C3%A9ssel_esettanulm%C3%A1ny%20BME.pdf](http://files/A%20biosz%C3%A9n%20hat%C3%A1sa%20C3%A9letciklus%20elemz%C3%A9ssel_esettanulm%C3%A1ny%20BME.pdf) (2017.11.12)

Kocsis Tamás, Biró Borbála (2015): Bioszén hatása a talaj-növény-mikróba rendszerre: előnyök és aggályok – Szemle; Agrokémia És Talajtan; 64 (2015) 1; 257–272.o

REFERTIL (2015): Mi a bioszén? Hogyan helyettesíthetjük a foszfor tartalmú műtrágyákat; www.refertil.info; Forrás: http://refertil.info/sites/default/files/attachment/refertil_bioszen_2015-09-25.pdf (2017.11.12); Európai Unió 7. Keretprogramjának társfinanszírozásával valósul meg, a 289785 számú támogatási szerződés keretében 2011-2015 között.

Szőke Linda, Battay Márton, Herczeg Boglárka, Fogarassy Csaba (2016): A bioszén felhasználás környezetgazdaságtani megközelítése lehetséges technológiai és gazdasági scenáriók a magyarországi bioszén hasznosításban; JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN GREEN INNOVATION; ISSN 2064-3004

Szerzőink

Gál Balázs Sándor



A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.-nél dolgozik, tudományos munkatársként. 2012-ben kezdte meg doktori tanulmányait a Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Karán. Kutatási témái közé tartozik a megújuló energiaforrások valamint a fenntarthatóság elemzése. Kutatásaiban teret kap, a fenntarthatóság mérési lehetőségeinek vizsgálata.

Bodnárné Sándor Renáta



Környezetmérnök végzettséggel, tudományos munkatársként dolgozik a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.-nél. Elsődleges szakterülete az környezeti életciklus elemzés (LCA), de emellett környezeti – ezen belül főként hulladékgazdálkodási - témájú hazai és nemzetközi projekteken is részt vesz.

A szerbiai szénerőművekben előállított villamos energia életciklus-elemzése

Dr. Kiss Ferenc
Újvidéki Egyetem Technológiai Kar

Bevezetés

A villamosenergia-termelés és felhasználás a fejlődés egyik legfontosabb előremozgatója, egyben a fejlettségi szint mutatója is. Ugyanakkor az energia szektor, azon belül is a villamosenergia-termelés, jelentős környezet- és egészségkárosító hatások okozója. A szerbiai energiaszektor éves szén-dioxid kibocsátását 46 millió tonnára becsülik, ami a hazai szén-dioxid kibocsátás csaknem 70%-át teszi ki [1]. Ennek fő okozója a villamosenergia-szektor, amely nagymértékben az alacsony fűtőértékű és magas kén tartalmú lignitre alapszik. A szerbiai erőművek 2011-ben 36.050 GWh villamos energiát állítottak elő [2, 3]. Ebben az évben a szénerőművek az éves villamosenergia-termelés 73%-át biztosították.

A széntüzelésű erőművek környezet-szennyező hatását elsősorban a szén elégetésekor keletkező levegőszennyezőknek tulajdonítják, amelyek szállópor, kén-dioxid, nitrogén-oxid, szén-monoxid, szén-dioxid, szénhidrogének, kellemetlen szagok és egyéb illékony gázok formájában jelentkeznek. Azonban, a villamos energia környezeti hatásának az értékelésekor nem szabad figyelmen kívül hagyni a szénbányászattal kapcsolatos nemkívánatos környezeti hatásokat sem. Ez különösen érvényes szerbiai viszonylatokban, ahol a szénerőművekben használt szén csaknem teljes mértékben külszíni bányákból ered. A külszíni fejtésnek a legszembetűnőbb környezeti hatása a tájképrombolás, de jelentős károk keletkezhetnek az ezzel kapcsolatos levegő-, víz- és talajszennyezésből is. A kitermelt ásványkincsek, kőzetek elszállítására használt szállítóeszközök is hozzájárulnak a környezetszennyezéshez.

Mindezekből egyértelművé válik, hogy a villamosenergia-termelés környezeti hatásának felmérésekor nem szabad a szén-

erőmű működése során felszabaduló szennyezőanyagokra korlátozódni. Figyelembe kell venni a villamos energia egész életciklusában keletkező környezeti hatásokat, kezdve az erőműben használt szén és egyéb anyagok előállításától, az energiatermelésen keresztül, egészen a szén elégetése után visszamaradó hamu kezeléséig.

A kutatásban a nemzetközi szabvánnyal (ISO 14040) meghatározott életciklus-elemzés módszert (ang. *Life Cycle Assessment, LCA*) alkalmazom, amely egyaránt alkalmas az életciklussal járó szennyezőanyagok leltározására és az általuk kiváltott környezeti hatások felmérésére is. Számos európai tanulmány foglalkozik a villamos energia környezeti hatásának életciklus-elemzésével [4]. A villamosenergia-termelés környezetre gyakorolt hatásának e fajta felmérése azonban úttörő jellegű Szerbiában, s lehetővé teszi a meglévő technológiák gyengepont analízisét, valamint a környezetvédelmi szempontból legelfogadhatóbb villamosenergia-fejlesztő technológia meghatározását. Nincs olyan termék, melynek az előállítása, használata, vagy hulladékká válása ne igényelne kisebb-nagyobb mértékben villamos energiát. Így ezek az adatok elengedhetetlenek ahhoz, hogy a termék életciklus-elemzés gyakorlata Szerbiában teret hódíthasson, mivel egy termékre, vagy akár az energiát igénylő termelési folyamatra vonatkozó LCA számítások az energiaszektor feltérképezése nélkül megfelelő módon nem végezhető el.

A kutatás célja a szerbiai szénerőművekben előállított villamos energia teljes életciklusa folyamán felszabaduló levegő-, víz- és talajszennyező anyagok számbavétele, és az általuk okozott környezeti hatások számszerűsítése. A kutatás további célja

meghatározni az életciklus azon folyamatait, amelyek a környezetre gyakorolt hatás szem-

pontjából gyenge pontnak számítanak.

A kutatás tárgya és módszere

A vizsgált szénerőművek

A kutatás tárgyát a Szerbiában működő hat szénerőmű képezi. A szénerőművek névleges kapacitásának összege 3.396 MW, ami a szerbiai villamosenergia-rendszer teljes

beépített kapacitásának 55%-át teszi ki. A vizsgált szénerőművek fontosabb adatait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. A vizsgált szerbiai szénerőművek fontosabb adatai

Szénerőmű	TE Nikola Tesla A	TE Nikola Tesla B	TE Kolubara	TE Morava	TE Kostolac A	TE Kos- tolac B
Rövidítés	TENT A	TENT B	TEK	TEM	TEK A	TEK B
Összteljesítmény	1.650 MW	1.240 MW	271 MW	125 MW	310 MWh	693 MWh
Blokkok száma és egységteljesítmény	2 X 210 MW, 4 X 305 MW	2 X 620 MW	3 X 32 MW, 1 X 64 MW, 1 X 110 MW	1 X 125 MW	1 X 100 MW, 1 X 210 MW CHP	2 X 349 MW
Létesítés időszaka	1970–1979	1983–1985	1956–1979	1969	1967–1980	1987– 1991
Gőzkazán	Tlmace	Sulzer, Rafako	Steinmuller, Tlmace	Rafako	Barnaul, Podolsk	Tlmace
Gőzturbina és gene- rátor	LMZ, Elektrot- jazmas, CEM, Alsthom	BBC, CEM	Siemens, Skoda	Zamech, Koncar	LMZ, Elect- rosila	Zamech, Dolmel
Fűtőanyag	lignit	lignit	lignit	barnaszén, lignit	lignit	lignit
Lokáció	Obrenovac	Obrenovac	Veliki Crljeni	Svilajnac	Kostolac	Kostolac

2011-ben a hat szerbiai szénerőmű együttesen 27.152 GWh villamos energiát termelt [2]. A villamos energia előállítására több mint 39 millió tonna, alacsony fűtőértékű szenet égettek el az erőművek kazánjaiban

[2]. Az egyes szénerőművekben megtermelt villamos energia és hőenergia mennyiségét, valamint az általuk felhasznált szén mennyiségét és kalóriatartalmát a 2. táblázat szemlélteti.

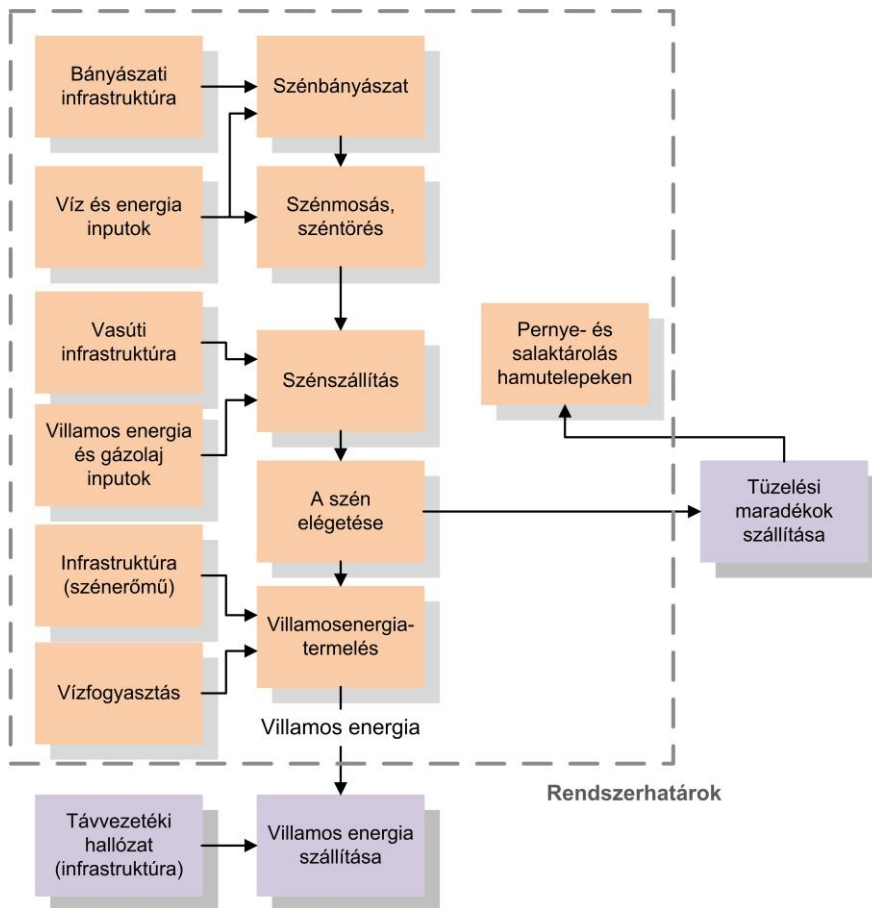
2. táblázat. A szerbiai szénerőművek villamos energia termelése és szénfogyasztása 2011-ben [2]

	TENT A	TENT B	TEK	TEM	TEK A	TEK B	Összesen
Villamos energia (MWh)	11.388.893	7.637.326	1.448.950	521.132	1.702.100	4.454.000	27.152.401
Hőenergia (MWh)	-	-	-	-	302.573	-	302.573
Felhasznált szénmennyiség (t)	16.515.699	10.832.201	2.197.248	662.202	2.800.559	6.048.221	39.056.130
Szén fűtőértéke (kJ/MJ)	7.448	7.448	6.805	8.757	8.079	8.079	-
Felhasznált szénmennyiség (GJ)	123.013.881	80.681.483	14.951.174	5.798.837	22.625.719	48.863.574	295.934.667

Az életciklus-elemzés célja és tárgyköre

A vizsgálat célja felmérni a szénből nyert egységnyi mennyiségű villamos energia környezeti hatását Szerbiában. A funkció egység 1 MWh szerbiai lignitből előállított villamos energia. A rendszerhatárok kiterjednek a szénből nyert villamos energia életciklusának legfontosabb folyamataira, ezek a szénbányászás, szénszállítás és a villamos

energia szénerőművekben való előállítása. Egyes folyamatok, mint amilyen például a villamos energia szállítása távvezetéken (1. ábra), a rendszerhatárokon kívül esnek. Az előző kutatások eredményei azt mutatják, hogy e folyamatok környezeti hatásai elenyészőek, így nem befolyásolják jelentősebben az LCA eredményeit.



1. ábra. A villamos energia életciklus-elemzés rendszerhatárai (Forrás: saját szerkesztés)

A „Kostolac A” erőmű esetében, amelyet a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés jellemez, a bemenő és kimenő áramokat arányosan el van osztva az értékesített hő és villamos energia között a következő egyenlet szerint:

$$f_{ve} = \frac{E_{ve}}{E_{ve} + E_{he}} \cdot 100 \quad (1)$$

ahol:

f_{ve} – a szénerőmű bemenő és kimenő áramai villamos energiára eső része (%)

E_{ve} – az értékesített villamos energia mennyisége (kWh/év)

E_{he} – az értékesített hőenergia mennyisége (kWh/év)

Fontos megjegyezni, hogy az allokációs eljárás során nem a megtermelt, hanem az értékesített hő és villamos energia mennyisége a mérvadó. Ez összhangban van az ISO 14040 és 14044 szabványokkal és a bevett gyakorlattal a kapcsolt hő- és villamosenergia-fejlesztő technológiák életciklus-elemzése során.

Felhasznált adatok és leltárkészítés

A leltárkészítés során adatokat gyűjtünk az életciklust képező folyamatok ener-

gia- és anyagáramairól. Egyes adatokat, elsősorban azokat, amelyek a korábbi tapasztalatok szerint döntően befolyásolják a villamos energia LCA eredményeit, közvetlenül az erőművektől lettek begyűjtve, illetve meghatározva az erőművektől kapott dokumentáció alapján (az egységnyi villamos energia előállítására jellemző szénfogyasztás mértéke, a szén elégetésével járó kibocsátások típusa és mennyisége, a keletkezett pernye és salak minősége és mennyisége, a szénzállítás módjai és a megtett távolságok a szénbányák és az erőművek között). Az egyes inputok (pl. a szénbányászás, pernye- és salaktárolás,

szénzállítás) életciklusában felmerülő elemi energia- és anyagáramok leltárát az Ecoinvent v. 2,0 adatbázis biztosította [5]. Az Ecoinvent v. 2,0 adatbázis több ezer folyamat leltár adatait tartalmazza és jelenleg Európa legmegbízhatóbb és legátfogóbb adatbázisa az életciklus-elemzés szolgálatában. A leltárkészítés során felhasznált adatok és módszerek részletes bemutatása megtalálható előző jelentésemben. A terjedelmi korlátokra való tekintettel itt mindössze a leltárkészítés végeredményét mutatom be (3. táblázat

3. táblázat. A szerbiai szénerőművekben megtermelt 1 MWh villamos energia leltár adatai

Mértékegység	TENT A	TENT B	TEK	TEM	TEK A	TEK B	Átlag ¹	Folyamat megjelölése az Ecoinvent adatbázisban	
I. Szénbányászat									
- szén	kg	1,45E+03	1,42E+03	1,52E+03	1,27E+03	1,40E+03	1,36E+03	1,44E+03	Lignite, at mine/RER
II. Szénzállítás									
- vasúti szállítás	tkm	9,28E+01	1,08E+02	1,52E+01	2,85E+02	0,00E+00	0,00E+00	7,55E+01	Operation, coal freight train, electricity/CN ²
- vasúti infrastruktúra	tkm	9,28E+01	1,08E+02	1,52E+01	2,85E+02	0,00E+00	0,00E+00	7,55E+01	Transport, freight, rail/RER
III. Szénerőmű									
- légszennyező									
CO ₂	kg	1,10E+03	1,07E+03	1,05E+03	1,14E+03	1,15E+03	1,11E+03	1,14E+03	
PM _{2,5}	kg	5,33E-01	2,11E-01	1,06E+00	5,03E+00	6,25E-01	1,30E+00	6,95E-01	
PM _{2,5-10}	kg	4,57E-02	1,81E-02	9,09E-02	4,31E-01	5,35E-02	1,11E-01	8,17E-02	
PM ₁₀	kg	6,27E-02	2,48E-02	1,25E-01	5,91E-01	7,35E-02	1,52E-01	5,95E-02	
SO ₂	kg	1,11E+01	8,72E+00	1,05E+01	2,08E+01	2,58E+01	2,20E+01	1,72E+01	
NO _x	kg	1,90E+00	1,84E+00	1,80E+00	1,77E+00	1,61E+00	1,95E+00	1,86E+00	
- infrastruktúra	db	1,18E-08	1,18E-08	1,18E-08	1,18E-08	1,18E-08	1,18E-08	1,18E-08	Lignite power plant/RER
- vízfogyasztás	m ³	4,24E+01	4,24E+01	4,24E+01	4,24E+01	4,24E+01	4,24E+01	4,24E+01	Water, cooling, unspecified natural origin/m ³
IV. Pernye- és salaktárolás									
- pernye és salak	kg	2,74E+02	2,68E+02	2,86E+02	2,40E+02	2,64E+02	2,57E+02	2,72E+02	Disposal, lignite ash, 0% water, to opencast re-fill/CS

Megjegyzések: 1 az átlagos szénből nyert villamos energia leltárának összeállításakor figyelembe vettem az egyes szénerőművek %-os arányát a szerbiai villamosenergia-termelésben (ld. 2. táblázat); 2 az Ecoinvent adatbázisban szereplő adatokat részben módosítottam, hogy jobban tükrözzék a szerbiai viszonyokat (további információ a részletes jelentésben).

Hatásértékelési módszer és az alkalmazott LCA szoftver

Az életciklus hatásértékelést a ReCiPe LCIA módszerrel végeztem [6]. A ReCiPe módszer a CML2000 és az Eco-indicator 99 hatásértékelési módszer kombinálásával és továbbfejlesztésével jött létre. Egyaránt alkalmas a környezeti mechanizmus köztes pontjain és végpontjain való értékelésre. A ReCiPe módszer a környezeti hatásokat a környezeti mechanizmus köztespontjain 18 hatáskategóriában (pl. globális felmelegedés, eutrofizáció, szmog képződés, humán toxicitás,

ökotoxicitás), míg a végpontjain 3 kárkategóriában (emberi egészségkárosítás, környezeti károsítás, az ásványi tartalékok kimerítése) vizsgálja.

Az életciklus-elemzést a holland PRÉ Consultant által kifejlesztett SimaPro 7.3 életciklus-elemző szoftver segítségével végeztem el. A leltárelemzéskor használt Eco-invent v. 2,0 LCI adatbázis a SimaPro 7 integrált része. A SimaPro 7 tartalmazza az életciklus hatásértékelésre használt ReCiPe módszert is.

Eredmények és diszkusszió

Részletesen mindössze az átlagos szerbiai szénérőmű környezeti áramairól (leltárelemzés eredményei) és hatásáról (hatásértékelés eredményei) számolok be. Az átlagos szénérő anyag- és energiaáramainak a meghatározásakor figyelembe vettem az egyes szénérőművek %-os arányát a szerbiai villamosenergia-termelésben (ld. 2. táblázat).⁸

A leltárelemzés eredményei

A villamos energia életciklus leltárelemzés végeredménye több száz különböző káros anyag,

valamint pár száz különböző ásvány, fosszilis energiahordozó, földterület típus és egyéb természeti erőforrás mennyiségéről számol be. A terjedelmi korlátokra való tekintettel csak azok a légszennyezők kerülnek bemutatásra, melyek meghatározóak az aktuális szerbiai környezetvédelmi szabályzatok és rendeletek értelmében. Ezenkívül más elemi áramok (fontosabb talaj- és vízszennyezők kibocsátása, nem megújuló energiaforrások fogyasztása, területigény) mennyiségéről is beszámolok, melyek segítségemre lesznek az életciklus hatásértékelés eredményeinek a tolmácsolásakor.

⁸ Az egyes szerbiai szénérőműre vonatkozó részletes eredmények kérésre elkaphatók a szerzőtől (Ferenc Kiss, fkiss@tf.uns.ac.rs).

4. táblázat. A villamos energia életciklus leltárelemzés részeredményei

Elemi áram	Egység	Szén- bányászat	Szén- szállítás	Erőmű	Hamu- tárolás	Életciklus összesen
<i>Üvegházhatású gázok</i>						
CO ₂	kg	1,70E+01	2,92E+00	1,11E+03	0,00E+00	1,13E+03
N ₂ O	kg	3,59E-01	2,46E-03	4,24E-03	0,00E+00	3,66E-01
CH ₄	kg	5,29E-04	4,13E-05	3,80E-05	0,00E+00	6,09E-04
<i>Levegőbe történő kibocsátás</i>						
NO _x	kg	5,13E-02	8,45E-03	1,89E+00	0,00E+00	1,95E+00
SO ₂	kg	5,43E-02	2,41E-02	1,36E+01	0,00E+00	1,36E+01
CO	kg	1,79E-02	6,42E-03	1,74E-02	0,00E+00	4,17E-02
PM, összesen ⁽¹⁾	kg	5,94E-01	7,09E-03	8,43E-01	0,00E+00	1,44E+00
PM, <2,5 µm	kg	6,31E-03	3,53E-03	6,96E-01	0,00E+00	7,06E-01
PM, 2,5–10 µm	kg	1,72E-03	1,21E-03	8,39E-02	0,00E+00	8,68E-02
PM, >10 µm	kg	5,86E-01	2,35E-03	6,29E-02	0,00E+00	6,51E-01
NH ₃	kg	3,04E-04	4,64E-05	1,15E-04	0,00E+00	4,66E-04
HF	kg	2,05E-04	5,74E-05	1,44E-05	0,00E+00	2,76E-04
HCl	kg	9,57E-04	1,95E-04	7,41E-05	0,00E+00	1,23E-03
NMVOC ⁽²⁾	kg	7,11E-03	9,15E-04	1,61E-03	0,00E+00	9,64E-03
benzén	kg	7,06E-05	1,23E-05	7,72E-06	0,00E+00	9,07E-05
benzopirén	kg	2,78E-07	1,70E-08	3,32E-08	0,00E+00	3,28E-07
PAH	kg	2,81E-06	4,31E-07	9,78E-07	0,00E+00	4,22E-06
aromatikus HC	kg	1,69E-05	6,68E-06	2,09E-05	0,00E+00	4,45E-05
<i>Vízbe történő kibocsátás</i>						
NH ₃	kg	5,70E-05	3,82E-06	1,05E-05	0,00E+00	7,13E-05
NO ₃ ⁻	kg	1,89E-04	1,90E-05	4,55E-05	0,00E+00	2,54E-04
PO ₄ ³⁻	kg	4,15E-04	1,88E-04	4,03E-04	4,63E-02	4,73E-02
P	kg	9,78E-07	2,27E-07	6,67E-07	0,00E+00	1,87E-06
COD	kg	2,15E-02	2,92E-03	5,97E-03	0,00E+00	3,04E-02
BOD	kg	1,68E-02	2,33E-03	4,37E-03	0,00E+00	2,35E-02
HC ⁽³⁾	kg	9,02E-05	1,26E-05	2,49E-05	0,00E+00	1,28E-04
Fémek ⁽⁴⁾	kg	8,06E-04	2,78E-04	2,03E-04	1,31E-01	1,32E-01
<i>Talajba történő kibocsátás</i>						
Fémek ⁽⁴⁾	kg	5,36E-05	3,57E-06	5,31E-06	0,00E+00	6,24E-05
<i>A nem megújuló energiaforrások alkal- mazása</i>						
Kőolaj, a földben ⁽⁵⁾	kg	1,09E+00	1,57E-01	2,84E-01	0,00E+00	1,53E+00
Földgáz, a földben ⁽⁶⁾	m ³	1,46E+00	7,59E-02	1,20E-01	0,00E+00	1,66E+00
Köszén, a földben ⁽⁷⁾	kg	1,44E+03	2,25E+00	1,80E-01	0,00E+00	1,45E+03
Barnaszén, a földben ⁽⁸⁾	kg	3,24E+00	1,87E-01	5,43E-01	0,00E+00	3,97E+00
Uránium ⁽⁹⁾	kg	2,20E-04	7,29E-06	7,79E-06	0,00E+00	2,35E-04
<i>A földterület használata</i>						
Mezőgazdasági terület	m ² ·év	9,34E-01	3,51E-02	3,52E-02	0,00E+00	1,00E+00
Lakott terület	m ² ·év	1,67E+00	9,05E-02	6,52E-02	0,00E+00	1,83E+00
<i>Vízfogyasztás</i>						
Víz	m ³	5,17E+00	2,42E-02	1,97E+00	0,00E+00	7,16E+00

Magyarítás: (1) Szuszpendált részecskék (PM, összesen) felölelik azokat a szuszpendált részecskéket, melyeknek átmérője: kisebb, mint 2,5 µm (PM_{2.5}), 2,5 és 10 µm (PM₁₀) között van, illetve 10 µm (PM_{co}) fölött van; (2) Az NMVOC csoport magába foglal mintegy 90 vegyületet vagy vegyületcsoportot, beleértve a benzént, benzopirént, PAH és az aromatikusszénhidrogéneket. (3) A szénhidrogének csoportja (HC), melyek a vízbe bocsájtódnak felölelnek mintegy 40 vegyületet, illetve vegyületcsoportot a villamos energia életciklusának leltárából; (4) A nehézfémek felölelik a cinket, nikkel, réz, báriumot, ólmot, arzént, mangánt, kobaltot, kadmiumot és a higanyt. (5) Kőolaj, melynek felső fűtőértéke 45,80 MJ/kg; (6) Földgáz, melynek felső fűtőértéke 38,3 MJ/m³; (7) Barnaszén, melynek felső fűtőértéke 9,9 MJ/kg; (8) Köszén, melynek felső fűtőértéke 19,1 MJ/kg; (9) Uránium, melynek egységnyi tömegéből (1 kg) 560.000 MJ villamos energia nyerhető.

A hatásértékelés eredményei

A hatásértékelés eredményeit a kör-

nyezeti mechanizmus köztes pontjain és végpontjain az 5. táblázat szemlélteti.

5. táblázat. A hatásértékelés eredményei a hatás- és kárkategória-mutatók szintjén

Hatáskategória	Hatáskategória-mutató eredménye		Kárkategória-mutató eredményei		
	Mértékegység	Érték	Emberi egészség-károsítás (DALY)	Környezeti károsítás (db faj·év)	Ásványi tartalékok kimerítése (US\$)
1. Globális felmelegedés	kg CO ₂ ekv.	1,14E+3	1,59E-3	9,02E-06	
2. Ózonréteg károsodása	kg CFC-11 ekv.	1,51E-6	4,01E-9		
3. Humán toxicitás	kg 1,4 DB ekv.	1,14E+2	7,95E-5		
4. Fotokémiai szmog	kg NMVOC ekv.	3,07E+0	1,20E-7		
5. Finomszemcsés porkibocsátás	kg PM10 ekv.	3,95E+0	1,03E-3		
6. Ionizáló sugárzás	kg U235 ekv.	1,30E+1	2,12E-7		
7. Savasodás, talaj	kg SO ₂ ekv.	1,47E+1		8,55E-8	
8. Eutrofizáció, édesvíz	kg P ekv.	1,56E-2		6,86E-10	
9. Eutrofizáció, tengervíz	kg N ekv.	7,59E-1			
10. Szárazföldi ökototoxicitás	kg 1,4 DB ekv.	2,87E-3		3,65E-10	
11. Édesvízi ökototoxicitás	kg 1,4 DB ekv.	3,51E+0		9,12E-10	
12. Tengeri ökototoxicitás	kg 1,4 DB ekv.	3,44E+0		2,75E-12	
13. Mezőgazdasági területek használata	m ² ·év	1,00E+0		1,13E-8	
14. Lakott területek használata	m ² ·év	1,83E+0		3,53E-8	
15. Természetes élőhelyek átalakítása	m ²	2,63E-2		4,49E-8	
16. Vízfogyasztás	m ³	7,16E+0			
17. Az érckészletek csökkenése	kg Fe ekv.	2,89E+0			2,06E-1
18. A fosszilis energia-tartalékok csökkenése	kg Kőolaj ekv.	3,46E+2			5,56E+3
Összesen			2,70E-3	9,20E-6	5,56E+3

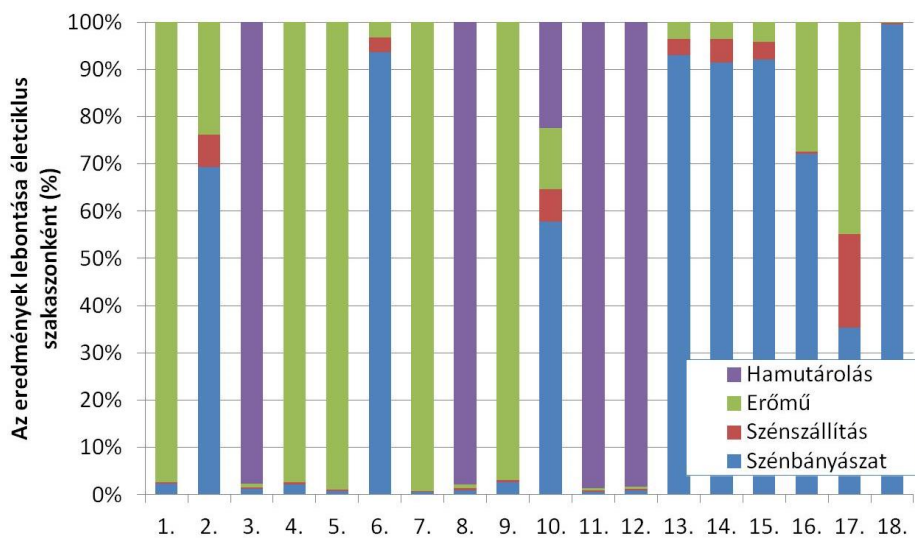
Az egyes életciklus szakaszok %-os részesedését a környezeti mechanizmus köztes pontjain elhelyezkedő hatáskategória-mutatók eredményeiben a 2. ábra szemlélteti. Érdekes megfigyelni, hogy a hatáskategóriákban kapott eredmények túlnyomórészt mindössze egy életciklus szakasz határoz meg. Kivételt képez az „Érckészletek csökkenése” hatáskategória, amely eredményéhez egyaránt hozzájárulnak, a szénbányászás, szénzállítás és erőmű életciklus szakaszok. Az érckészletek fogyasztása az infrastruktúrával kapcsolatos folyamatokra jellemző.

Ezzel magyarázható a hamutárolás szakasz kimaradása ebből a hatáskategóriából, hiszen a leltározás során egyedül ennél a szakasznál nem vettem figyelembe az infrastruktúrával kapcsolatos folyamatokat (ld. 3. táblázat).

Az erőművel kapcsolatos áramok felelősek a globális felmelegedés, fotokémiai szmog, finomszemcsés kibocsátások, savasodás és tengervízi eutrofizáció hatáskategóriákon belül mért hatások túlnyomórészéért. Ezért elsősorban a szén elégetése során keletkező légszennyezők a felelősek. A lignitbányászatra jellemző külszíni fejtés nagy

területigénye magyarázza a szénbányászás életciklus szakasz meghatározó szerepét a földterületek használatával és átalakításával kapcsolatos hatáskategóriákban. Emellett a szénbányászásnak döntő szerepe van a természeti erőforrások felölő hatáskategóriák (vízfogyasztás, fosszilis energiahordozók kimerítése) eredményeinek az alakításában.

A hamutárolással kapcsolatos áramok okozzák a toxicitással kapcsolatos hatások csaknem egészét. Ez az égési maradékokkal (salak és pernye) talajvízbe juttatott nehézfémekkel magyarázható. A hamuból jelentős mennyiségű foszfát kerül a talajvízbe, ami magyarázza e szakasz jelentős hozzájárulását az édesvizek eutrofizációjához.



Magyarázat: A horizontális tengelyen látható számok a hatáskategóriákat jelölik olyan sorrendben, mint ahogyan az 5. táblázatban látható

2. ábra. Az életciklus szakaszok %-os hozzájárulása a környezeti mechanizmus köztes pontjain levő hatáskategória-mutatók eredményéhez

A szénből nyert 1 MWh villamos energia emberi egészségkárosító hatását $2,7 \cdot 10^{-3}$ DALY egyenértékre becsültem. A környezeti károsítás nagysága $9,2 \cdot 10^{-6}$ db faj-év, még az ásványi tartalékok kimerítése okozta károk 5.560 US\$ (5. táblázat). A kapott eredményekből megállapítható, hogy mindössze néhány hatáskategória befolyásolja jelentősebben a kárkategória-mutatók eredményeit. Ezek a globális felmelegedés, finomszemcsés porkibocsátás és a fosszilis energiatartalékok csökkenése. Az emberi egészségkárosodás csaknem teljes mértékben a globális felmelegedés (59%) és a finomszemcsés porkibocsátás (38%) következménye. A többi hatáskategória (ózonréteg károsodás, humán toxicitás, fotokémiai szmog, ionizáló sugárzás) együttesen az egészségkárosodás mindössze 3%-áért felelős (5. táblázat).

A villamos energia életciklusában kibocsátott üvegházhatású gázok együttes hatása 1.140 kg CO₂ ekv. (5. táblázat). A villamos

energia globális felmelegedés kiváltó hatásáért elsősorban a CO₂ felelős (kb. 90%), de kisebb mértékben a N₂O kibocsátások is hozzájárulnak. A leltáreredményekből kiolvasható, hogy a villamos energia életciklusában a szén elégetése során szabadul fel a CO₂ 98%-a (4. táblázat).

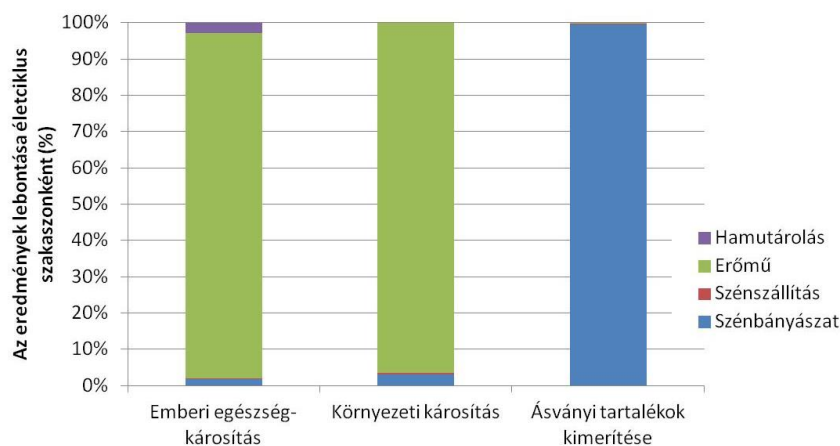
A ReCiPe módszer szerint a finomszemcsés por kialakításáért elsősorban az ammónia, a nitrogén- és kén-oxidok, valamint a szálló és ülepedő porok a felelősek. A villamos energia életciklusa során az egy funkció egységgel járó finomszemcsés porkibocsátások hatását 3,95 kg PM₁₀ egyenértékre becsültük (5. táblázat). Az eredmények részletesebb elemzése megmutatta, hogy e hatás 68%-át a villamos energia életciklusában felszabaduló kén-oxidok okozzák. A finomszemcsés por kialakulásában fontos szerepe van még a szálló pornak (18%) és a nitrogén-oxidoknak (11%) is. A finomszemcsés porkibocsátásért elsősorban a szénerőmű szakasz a felelős, ahonnan e három légszennyező 98%-a származik (4. táblázat).

A ReCiPe módszer a környezetben tett kár mértékét a bekövetkezett biodiverzitás-csökkenés függvényében vizsgálja. Az 5. táblázat adataiból kitűnik, hogy a globális felmelegedés felelős a környezeti károsítás 98%-áért. A környezeti károsítással kapcsolatos egyéb hatáskategóriák (talajsavasodás, édes- és tengervízi eutrofizáció, ökotoxicitás, természeti élőhelyek átalakítása, mezőgazdasági és beépített területek használata) együttesen a környezeti károk kevesebb, mint 2%-át teszik ki. Érdekes észrevenni, hogy a villamos energia életciklusát alkotó folyamatok területigénye elenyésző, mindössze 2,6 m²·év/1 MWh (5. táblázat).

Az ásványi tartalékok kimerítése okozta károk csaknem egészéért a fosszilis energiahordozók fogyasztása okozza (99,96%). A szénből nyert villamos energia életciklusában 346 kg Köölaj-egyenérték

fosszilis energia kimerítésére kerül sor (5. táblázat). A ReCiPe módszerben az 1 kg Köölaj_{ekv.} energiaértéke 42 MJ, ami azt jelenti, hogy 1 MWh villamos energia előállításához 14.532 MJ fosszilis energiára van szükség. Tehát, Szerbiában minden egyes MJ szénből nyert villamos energia előállításához 4 MJ fosszilis energiát használunk fel.

A 3. ábra szemlélteti az egyes életciklus szakaszok %-os hozzájárulását a környezeti mechanizmus végpontjain levő kárkategória-mutatók eredményéhez. Az „Emberi egészségkárosítás” és a „Környezeti károsítás” kárkategória-mutatók eredményét legnagyobb részben a szénénerőművel kapcsolatos áramok okozzák. A szénbányászat felelős az „Ásványi tartalékok kimerítése” kárkategóriával kapcsolatos negatív hatások több mint 99%-áért (3. ábra).



3. ábra. Az életciklus szakaszok %-os hozzájárulása a környezeti mechanizmus végpontjain levő kárkategória-mutatók eredményéhez

Záró következtetések

A kapott eredményekből megállapítható, hogy mindössze három hatáskategória (globális felmelegedés, finomszemcsés porkibocsátás és a fosszilis energiatartalékok csökkenése) befolyásolja jelentősebben a kárkategória-mutatók eredményeit. A globális felmelegedés okozza a környezeti károk 98%-át, valamint az emberi egészségkárosítás 59%-át. A finomszemcsés porkibocsátás felelős az emberek egészségében okozott károk további 38%-áért.

A villamos energia életciklus leltárában jelentkező több mint 650 bemenő és kimenő elemi áram közül, mindössze 8 okozza a villamos energia összhatásának csaknem egészét. Ide tartoznak az egyes üvegházhatású gázok (CO₂, CH₄), a szálló port előidéző vegyületek (PM_{2,5}, NO_x, SO₂), az egyes nehézfémek (arzén, bárium) és a barnaszén is.

A szerbiai villamosenergia-termelés nagymértékben az alacsony fűtőértékű lignitre támaszkodik, ami megmagyarázza a viszonylag nagy energiaigényét és a globális felmelegedésre mért nagy hatását. Minden egyes MJ villamos energia előállításával a

szerbiai szénerőművekben 0,31 kg CO₂ egyenértékű üvegházhatású gáz kerül az at-

moszférába, míg a fosszilis energia tartaléka-ink 4 MJ-lal csökkennek.

Felhasznált irodalom

1. Milisavljević , V., Čokorilo , V., Zlatanović , D., Milenković , J. (2009) Potrošnja uglja u Srbiji i emisija CO₂ nastala njegovim sagorevanjem , 14. Simpozijum termičara Srbije, 13–16. oktobar, Sokobanja, Srbija
2. Odeh, N., Cockerill, T. (2008) Life cycle analysis of UK coal fired power plants. Energy Conversion and Management 49(2):212–220.
3. EPS (2012) Tehnički godišnjak, Elektroprivreda Srbije. Available online at: http://www.eps.rs/TehnickyIzvestaji/TEH_Godisnjak2011_SR.pdf
4. Vlada Republike Srbije (2012) Odluka o utvrđivanju energetskeg bilansa Republike Srbije za 2013. godinu. ("Sl. glasnik RS", br. 122/2012)
5. Ecoinvent v. 2,0 database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. St-Gallen, Switzerland. 2007.
6. Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R. (2009) ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Netherlands

Amit a környezeti lábnyomok üzennek

Tóthné Szita Klára

CSc., ny. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem

Kivonat: A környezeti lábnyom (ecological footprint) a 90-es évek második felétől került be a köztudatba, mint az ember által okozott környezetterhelések mérőszáma. A Wackernagel és Riss (1996) által bevezetett fogalom azt a föld és vízterületet jelenti, amit az emberek az adott életszínvonaluk biztosítása érdekében igénybe vesznek. Mértékegysége gha/év. Ma a környezeti lábnyom a fenntarthatóság fontos indikátorként jelenik meg. Kiszámítható egyénre, társadalomra, sőt az világra. A környezeti lábnyom után további lábnyom fogalmak jelentek meg. A vízlábnyom, amely megmutatja, hogy mennyi vizet használunk el fogyasztóként közvetlenül és közvetetten a fogyasztási cikkeinken keresztül összesen. Beszélhetünk kék, zöld és szürke vízlábnyomról. A karbon lábnyom megmutatja, hogy mennyi egy személy, szervezet, rendezvény, vagy termék teljes - direkt és indirekt - üvegházhatású gáz (ÜHG) kibocsátása széndioxid egyenértékben kifejezve. kg CO₂ ekvivalens. Ebből kerül levezetésre a termék- és szervezeti lábnyom. Számítása tudományosan megalapozott módszertan alapján készül. A lábnyomok közül legfiatalabb a kémiai lábnyom, amely a termékek, technológiák ökotoxikus tulajdonságára utal. Kiszámítása ösztönözheti az üzleti életet a tisztább, biztonságosabb vegyi anyagok használatára. A kémialábnyom számításánál első lépés az életciklushoz rendelt kémiai anyagok meghatározása, majd ezt követően a humán és ökototoxicitású potenciál kiszámítása. Nemzeti szintre történő vetítésénél kiinduló pont az E-PRTR adatbázis, a pontforrásokból levegőbe és vízbe kijuttatott kémiai anyagok mennyisége éves szinten. Előadásomban elsősorban a kémiai lábnyom bevezetésére tett javaslatról, az eddig elért eredmények bemutatására fókuszálok.

Abstract: The “footprint” is a quantitative measure of the appropriation of natural resources by humans (Hoekstra 2008) and may be used to describe how human activities impose different types of burdens on the environment and thus impact the global sustainability (UNEP/SETAC 2009). After the environmental footprint, additional footprint concepts appeared. The water footprint that shows how much water we use as a consumer directly and indirectly through our consumer goods in total. We can talk about blue, green, and gray water footprint. The carbon footprint shows how much a person, organization, event or product is total - direct and indirect - greenhouse gas (GHG) emissions expressed as carbon dioxide equivalent (kg CO₂ eq.). The product and organizational footprint origins from it, and the calculation based on scientifically sound methodology. The footprint of the youngest is the chemical footprint, which refers to the ecotoxic properties of products and technologies. Calculating can stimulate business to use cleaner, safer chemicals. The first step in the calculation of the chemiluminescence is to determine the chemical substances assigned to the life cycle and then to calculate the potential for human and ecotoxic potential. In my lecture, I focus primarily on the proposal to introduce the chemical footprint, to focus on presenting the results achieved so far.

Bevezetés

A kilencvenes években a fenntartható fejlődés és környezetterhelési mérése kapcsán megjelent egy új fogalom, amit ökológiai lábnyomnak kereszteltek el megalkotói, Wackernagel & Riss 1996-ban. Ez a lábnyom az emberek mindennapjai során fellépő környezeti hatásokat aggregálta és globális hektárban fejezte ki az adott életszínvonalhoz igénybevett föld és víz terület nagyságát, amely a lakhatás, közlekedés, élelmiszer fogyasztás és hulladékképződés eredménye. A szerzők kidolgozták a számítás módszertanát

majd erre építve különböző szoftveres megoldások is elterjedtek. Segítségével nemzetek, földrészek lábnyoma is megadható. A népesség növekedésével és a gazdasági fejlődéssel párhuzamosan a lábnyomok egyre nőttek, miközben a biológiai eltartó képesség, az ökoszisztéma terhelhetősége egyre csökkent. Az ökológiai lábnyom népszerűsége további lábnyomok bevezetését inspirálta, amelyeknél az életciklus szemlélet is erőteljesebben megjelent, és a föld mellett más környezeti közegek terheléséről is információ-

ót adnak. A karbonlábnyom a légszennyezettséggel és klímaváltozással hozható összefüggésbe, míg a vízlábnyom a vízfogyasztás és vízterhelés mutatószámának tekinthető, és a fogyasztási szerkezet megváltoztatására kíván ösztönözni. A bennünket körülvevő vegyi anyagok toxikus hatása hívta életre a legújabb lábnyomot, ami a kémiai lábnyom.

A lábnyom koncepcióját tehát egyre szélesebb körben kezdték adaptálni és mára már egész lábnyom családról beszélhetünk. Így fejlődött ki a termék lábnyom (PEF) és a szervezetek környezet lábnyoma (OEF). Tulajdonképpen arról van szó, hogy az antropogén tevékenység különböző környezeti közegre gyakorolt hatását megpróbálják úgy kvantifikálni, hogy a nagyközönség, de főleg a politikai alakítók számára is értelmezhető és figyelemfelhívó legyen, és ráébredjen a cselekvés szükségességére. Jelen tanulmány áttekinti a lábnyomokat és azok számításának módszertani hátteret és időbeni alakulását, más és bemutatja a legújabb lábnyom bevezetésének kiváltó okát és a számítás módszertanát.

Kutatás módszertana

A tanulmány összeállításánál alkalmazott módszer elsősorban irodalom feldol-

gozás és szintetizálás, a szakirodalmi források kritikai értékelése, valamint a lábnyom család kapcsolódási pontjainak bemutatása.

Statistikai adatokkal illusztrálva a változások idősorosan is követésre kerülnek, illetve más gazdasági mutatószámokkal vagy a fejlődés mérésére használt indikátorokkal összefüggésben is vizsgálatra kerülnek.

A lábnyomok családja

A lábnyom egy kvantitatív mérőszám, az emberiség természetbe történő beavatkozásának mértékére szolgáló mutatószám (Hoekstra 2008). Az UNEP/SETAC, 2009 definíciója szerint megmutatja, hogy különböző környezeti elemeket milyen hatás éri a fenntarthatósági célok megvalósítása során. Mára már több kutatás irányul arra, hogy a különböző (ökológiai, energia, víz, karbon) lábnyomokat összehasonlítsák és együttes hatásukat, vagy a köztük levő kapcsolatot értékeljék (Galli et al., 2010; Fang et al. 2013).

A lábnyomokra vonatkozó összehasonlításban informatív forrást jelent az országokra vonatkozó adatsor. Ez Magyarországra nézve a következő táblázatban látható, a legnagyobb lábnyommal rendelkező Luxemburggal összehasonlítva.

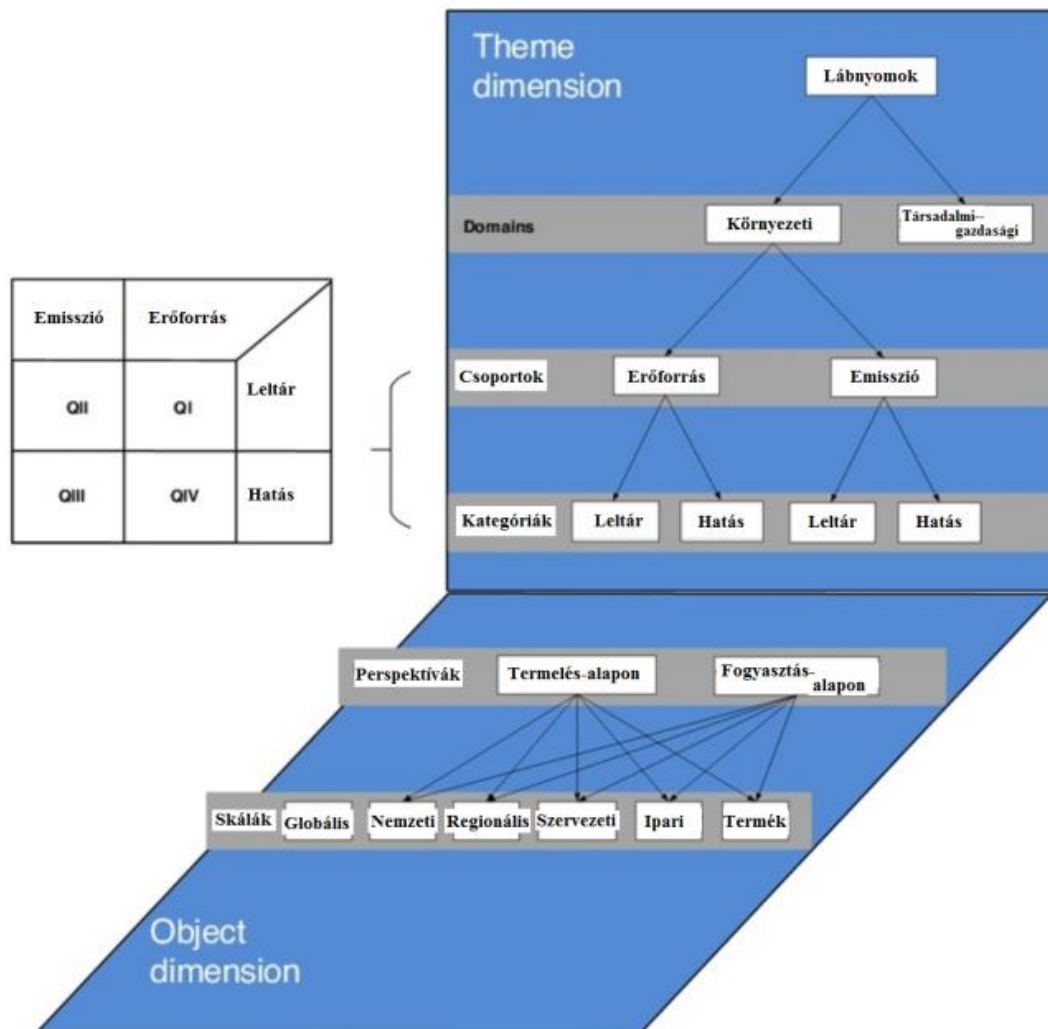
1. táblázat Magyarország és Luxemburg lábnyom adatainak összehasonlítása (2004)

Lábnyomok		Mértékegység	Magyarország	Luxemburg
Szénlábnyom	CF-nem CO2	tCO2 ekv/fő	2,746242274	8,136902525
Szénlábnyom	CF_CO2	tCO2 ekv/fő	6,611999202	33,419881064
Fosszilis energia lábnyom	EF-olaj	GJ/fő	30,687364643	279,627834366
Fosszilis energia lábnyom	EF-gáz	GJ/fő	40,136981880	79,651114307
Fosszilis energia lábnyom	EF-szén	GJ/fő	21,752979142	109,810493435
Földlábnyom	LF-tengeri	gha	0,026735138	0,292401358
Földlábnyom	LF-legelő	gha	0,054977744	0,451642628
Földlábnyom	LF-erdő	gha	0,356991215	1,579818673
Földlábnyom	LF-gabona	gha	1,422385786	1,860932576
Földlábnyom	LF-beépített	gha	0,199653152	0,681900911
Vízlábnyom	WF-szürke	m3/fő	1646,212230110	2065,919255978
Vízlábnyom	WF-zöld	m3/fő	2001,433264056	3789,153092491
Vízlábnyom	WF-kék	m3/fő	98,440741225	396,514684306

Forrás: Carbonfootprint of Nations – 4 Environmental footprint; public.tableau.com

A lábnyomok családja Fang et al. (2016) tanulmánya szerint horizontálisan és vertikálisan is értelmezhető. A lábnyomok környezeti és társadalmi szempontból is vizsgálhatók. Környezeti szempontból az erőforrásoknak és az emisszióknak a leltár adatait és a hatásait termelési és fogyasztási

szempontból lehet elemezni. Ezek globális, nemzeti, regionális, szervezeti ipari és termékszinten is skálázhatók. A következőkben röviden bemutatásra kerülnek az egyes lábnyomok lényegi elemei és jellemzői, bevezetésük sorrendjében.



1.ábra A lábnyomok családja
Forrás: Fang et al.,2016

Az ökológiai lábnyom

Az ökológiai lábnyom fogalmát Ress és Wackernagel 1996-ban vezette be, annak mérésére, hogy egy személy vagy közösség a természeti erőforrások használatával mekkora terhelést fejt ki a környezetére globális hektár bán kifejezve. Jelenleg az ökológiai *lábnyom kiszámítása* egy átlagpolgár feltételezhető fogyasztási szokásainak átszámolási metodikájával valósul meg (lakás, étkezés, közlekedés, beszerzés-vásárlás, hulladék).

Ma a környezeti lábnyomot a fenntarthatóság egyik mérőszámaként használják. Jelenleg a globális fenntarthatósághoz személyenként 1,7 h földterület jutna egy főre, de 2050-re ez csak 1;2 hektár lenne, figyelembe véve a népesség növekedést, és ha a Földön egyenlően használnák az erőforrásokat.

A 2. ábrán jól látszik, hogy a földet túlfogyasztjuk, és a BaU (business as usual) szcenárió szerint 2050-re két bolygóra lenne szükségünk, ami teljességgel fenntarthatat-

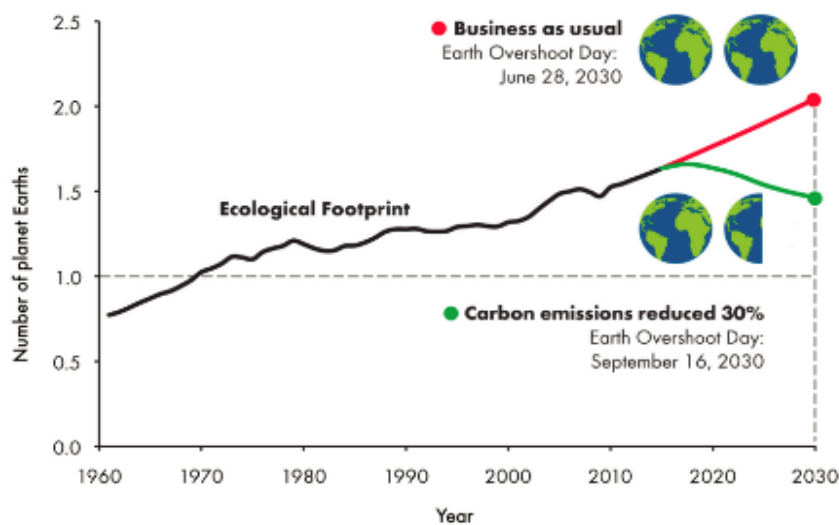
lan. Ahhoz, hogy a föld eltartó képességeinek határát figyelembe véve éljünk és tevékenykedjünk, paradigma váltásra lenne szükség a mindennapi döntéseinkben.

Az emberi fejlődés és ökológiai lábnyom összefüggéséből látható, hogy a magas HDI-val rendelkező országok ökológiai lábnyoma messze meghaladja az alul fejlett országokét.

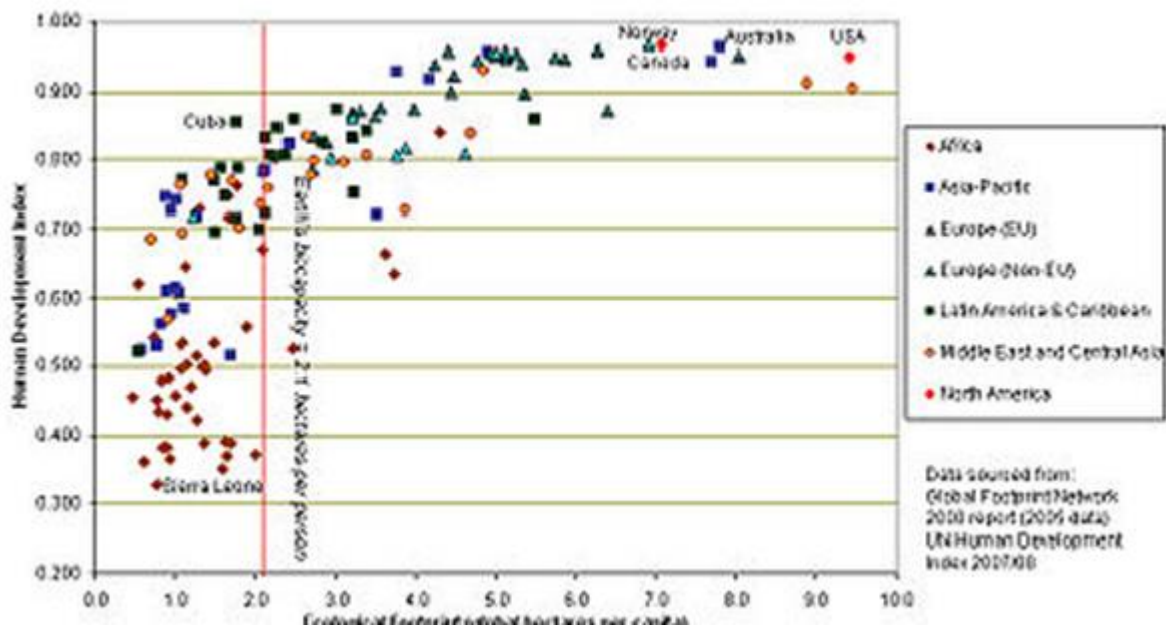
Az országok közötti összehasonlítás jól mutatja, hogy mekkora különbségek van-

nak az ökológiai lábnyomokban. Ezek az ábrák jól mutatják, hogy a magasabb élet-színvonal magasabb lábnyoma jár, míg fejlődő országok növekvő, de lényegesen kisebb egy főre eső lábnyommal rendelkeznek. A fejlett országok, mint a magas HDI-val rendelkező országok egy főre eső lábnyoma meghaladja a 10 gha-t, de az afrikai és ázsiai államok lábnyoma 1 alatt lehet, ahol az emberi fejlődés indexe sem haladja meg a 0,3-t,

How many Earths does it take to support humanity?



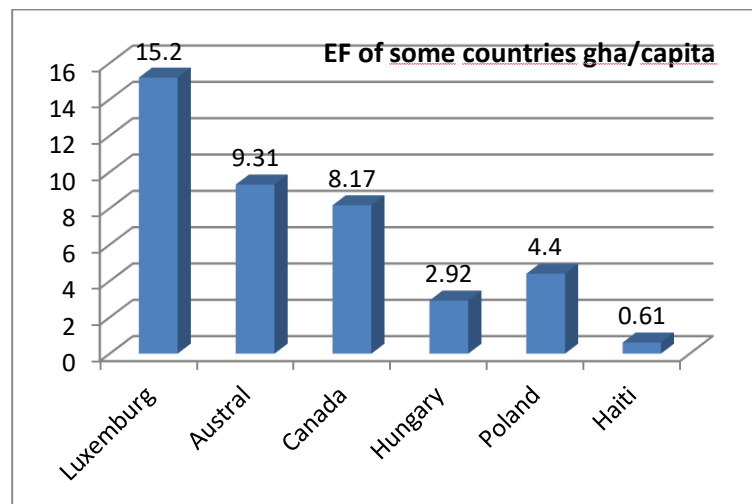
2. ábra Hány földre van szükség? Forrás: <http://www.21stcentech.com/human-population-update-carrying-capacity-planet-earth/>



3. ábra az emberi fejlődés indexe és a lábnyom közötti összefüggés 2008-ban

Forrás:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_welfare_and_ecological_footprint_sustainability.jpg



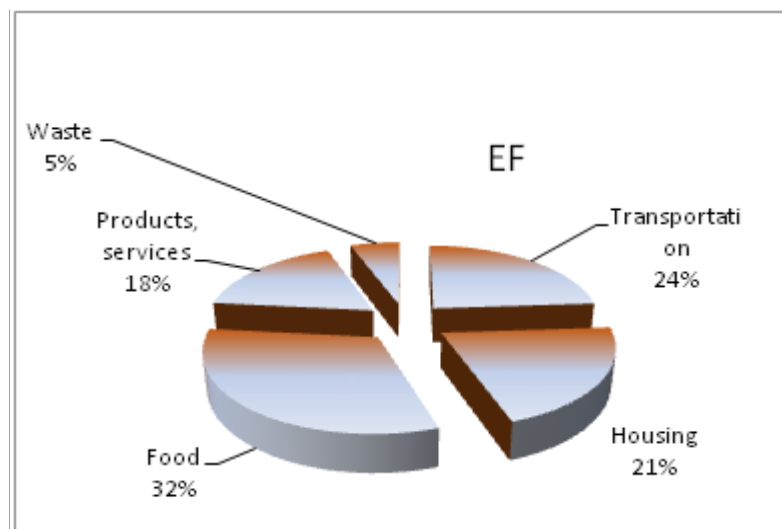
4. ábra. Néhány ország ökológiai lábnyoma
Forrás: National Footprint Account, 2013

Az 5. ábrán Kanada ökológiai lábnyomának alakulását meghatározó komponensek megoszlását láthatjuk. Az jól látszik az ábrán, hogy a lábnyom alkotó összetevők közül az élelmiszerfogyasztás teszi ki legnagyobb hányadot.

Ha a nemzeti lábnyomokat vizsgáljuk, USA, Európa vezet, de Kína és India

erősen a nyomdokaiban jár, annak ellenére, hogy ez utóbbiakban az egy főre eső lábnyom alacsony, de a népesség nagyon magas.

Ha a nemzetek GDP növekedését és a lábnyomokat változását vizsgáljuk, az összefüggés szignifikánsnak tekintendő.



5. ábra Kanada ökológiai lábnyomának (átlag 5,7 ha/fő) összetevői

Forrás:

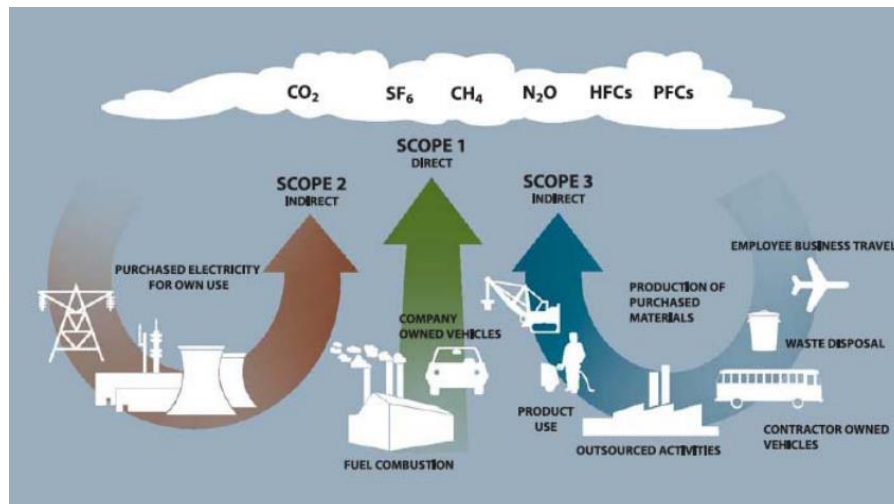
https://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/measure_of_sustainability/measu

A szénlábnyom

A szén-dioxid-, egyszerűbben karbon-, illetve szénlábnyom az emberi tevékenység környezeti hatásának egyik mércéje.

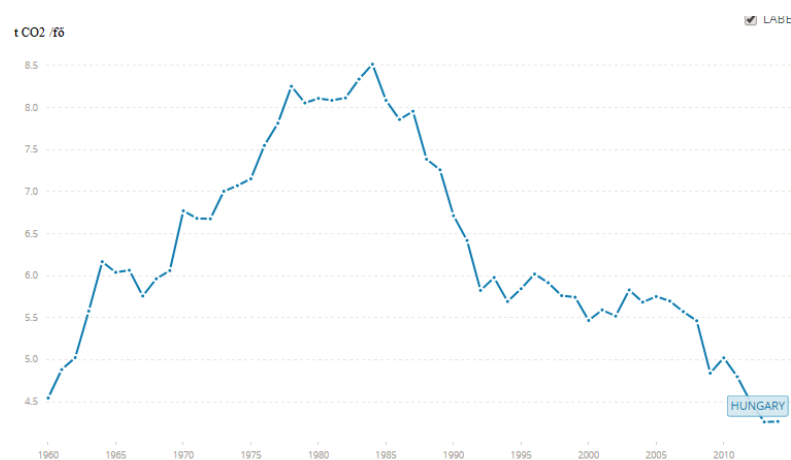
A karbonlábnyom azt mutatja, hogy például egy ember életmódja, egy termék életciklusa, egy vállalat tevékenysége mennyi közvetlen és közvetett üvegházgáz-kibocsátással jár. Mértékegysége kg szén-dioxid-egyenérték (CO₂e), ami az összes üvegházhatású gáz (metán, dinitrogén-oxid, F-gázok stb.) kibocsátását magában foglalja. Minél nagyobb valamilyen tevékenység vagy egyén, közösség, társadalom karbonlábnyoma, annál nagyobb a globális felmelegedést okozó hatása.

A szervezetek karbon lábnyom számításánál figyelembe kell venni valamennyi közvetlen hatást és közvetett komponens, a működés közben és a cég járművei által kibocsátott emissziókat, a vásárolt villamos áramhoz, gőzhöz és hőhöz kapcsolódó emissziókat, a beszerzett javakhoz és szolgáltatásokhoz köthető emissziókat, a közlekedésből adódó emissziókat, hulladékképződéssel és vízszolgáltatással összefüggő szén-dioxid kibocsátásokat, illetve üvegházhatású gázokat. Nemzeti szinten valamennyi közvetlen üvegházhatású emissziót és az ellátó láncához köthető indirekt emissziókat.



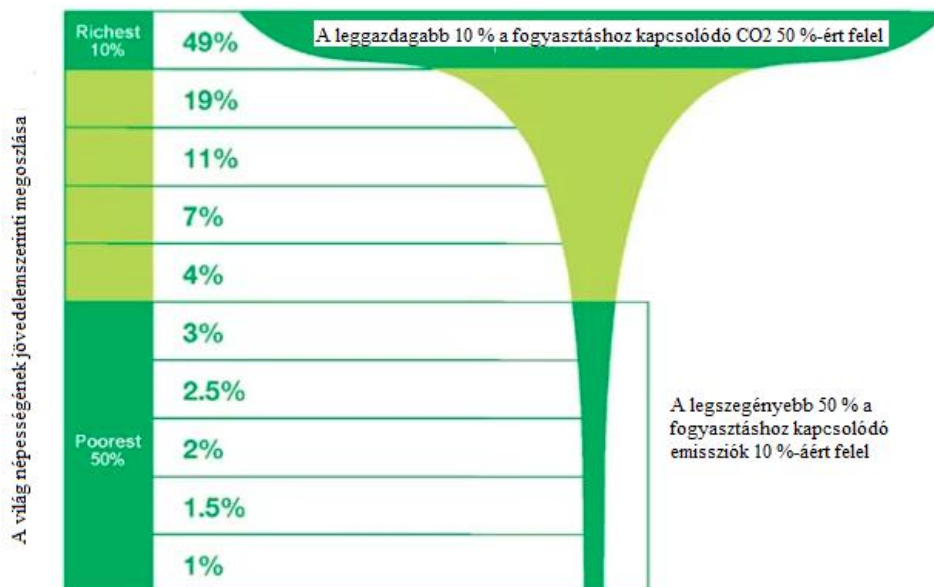
6. ábra A szénlábnyom számításának modellje

Forrás: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/06/0F/T060F0000090023PDFE.pdf



7. ábra Magyarország széndioxid emissziója/lábnyoma

Forrás: World Bank



8. ábra A világ népességmegoszlása és szénlábnyoma

Forrás: <https://www.theguardian.com/environment/2015/dec/02/worlds-richest-10-produce-half-of-global-carbon-emissions-says-oxfam>

A szénlábnyom csökkentése elengedhetetlen a globális felmelegedés visszaszorításához, és ebben a gazdag 10 %-ot kitevő országok felelőssége óriási.

Vízlábnyom

A *vízlábnyom* kék-, zöld- és szürke-vízből tevődik össze. A kékvíz a termékhez vagy szolgáltatáshoz felhasznált friss felszín alatti és fölötti víz, a zöldvíz a földben nedvességként tárolt csapadékvíz, a szürkevíz pedig az a szennyezett vízmennyiség, amely a termékkel vagy szolgáltatással kapcsolatban keletkezik. A vízlábnyom méri az általunk használt áruk és szolgáltatások előállításához használt vízmennyiséget. Megadható egy termékre, szolgáltatásra, tevékenységre, ágazatra, vízgyűjtő területre is.

Egy ember átlagosan 1,24 millió liter édesvizet fogyaszt évente, ám Magyarországon ez az érték évi 750 ezer liter. Jelenleg körülbelül 50 ország küzd vízhiánnyal, de az USA-ban átlag 2,48 millió liter vizet fogyasztanak fejenként évente. A Föld édesvíz készletének (200000 km³) 70 százalékát öntözésre, 22 százalékát ipari célokra, 8 százalékát háztartási célokra használjuk fel. A vízfelhasználás az elmúlt 100 évben kétszer gyorsabb ütemben nőtt, mint a Föld népesség-

ge. Ebből adódik, hogy a 21. század kritikus erőforrása a víz lett, és a vízhez való hozzájutás konfliktusok forrása lehet. Az ISO 14046:2014 vízlábnyom szabvány a vízlábnyomot olyan eszközként határozza meg, amely által mérhető a vízhasználat környezeti terhelése. A szabvány megkülönbözteti a vízhiány lábnyomát (pl. a vízhiány együttható használatával), a víz hozzáférhetőség lábnyomát és a vízlábnyomot, amely a vízfogyasztás és vízszennyezés (savasodás, eutrofizáció, öko-toxicitás) együttes mutatója. A vízlábnyom számításánál fontos vízgyűjtő területek vízmérlegének elkészítése.

A kék vízlábnyom kiszámítása:

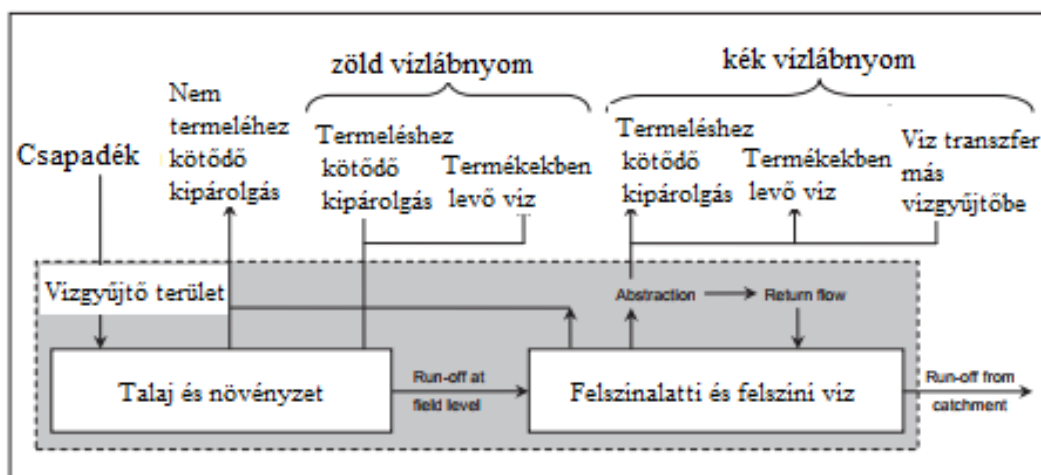
$WF_{kék} = \text{Kék víz kipárolgás} + \text{Termékben levő kék víz} + \text{Kék vízvesztés (térfogat/idő)}$

A szürke vízlábnyom számítása:

$$WF_{proc, grey} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} \quad [\text{térfogat/idő}]$$

Ahol L a szennyezőanyag terhelés tömeg/idő; c_{max} a maximálisan megengedett szennyezettség szintje, $c_{nat}=0$.

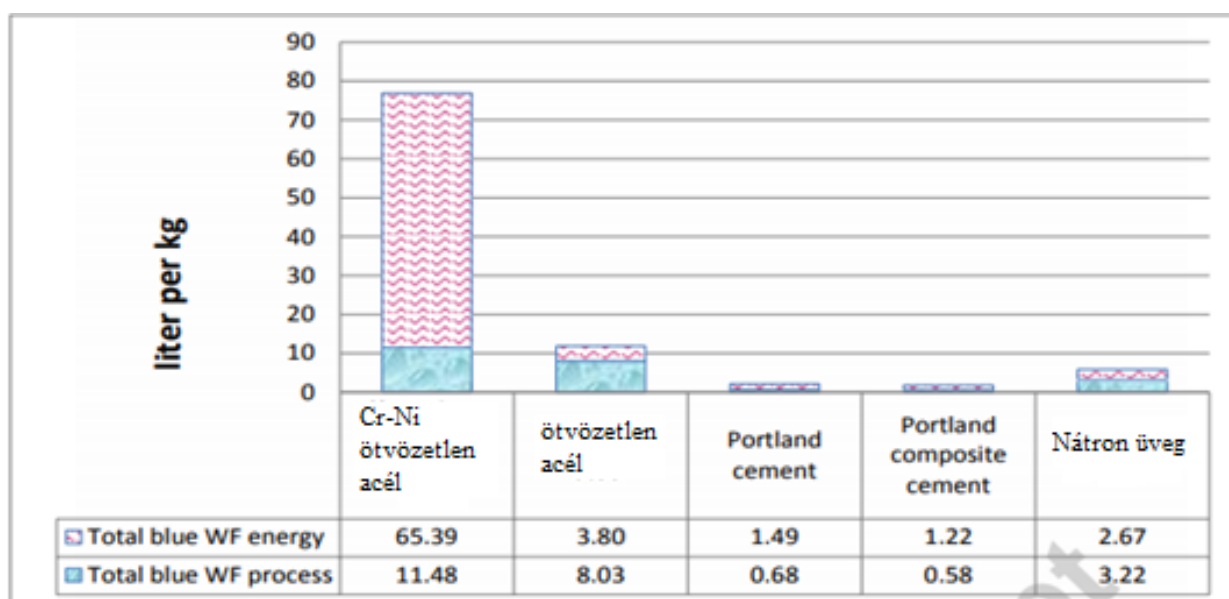
Vagyis a szürke vízlábnyom megadja, hogy mennyi víz szükséges a szennyezés határértéket eltérő szennyezettségi szintjének beállításához.



9. ábra A zöld és kék vízlábnyom kapcsolata a vízgyűjtők mérlegében
 Forrás: Water footprint report

A városok szürke vízlábnyomában közel 20 % a mezőgazdaság és élelmiszeriparhoz köthető, 12 % a szállításhoz, az egyéb szolgáltató szektor 23 %-ot tesz ki, az ingatlanok 20 %-ot, a kereskedelem és textil 7 %-ot képvisel (Hui Li et al. 2016).

Az építőiparban használt anyagok kék vízlábnyoma különböző, a legnagyobb lábnyoma a Cr-Ni ötvöztelen acélnak van. A termékek átlagos vízlábnyoma a zöld, kék és szürke vízlábnyom összegeként értelmezhető.



10. ábra Néhány építőanyag és gyártási energiájának kék vízlábnyoma
 Forrás: Gerbens-Leenes et al. 2017

2.táblázat Néhány termék vízlábnyoma

Termék	Vízlábnyom (liter)	Megoszlás
250 ml csésze tea	27	(82% zöld, 10% kék, 8% szürke)
1 kg paradicsom	214	50% zöld, 30% kék, 20% szürke)
Marhahús	15400	
Birkahús	10400	
Sertés hús	6000	
Kecskehús	5500	
Csirkehús	4325	
Tojás	3265	
Tej	1020	
Gabona	1644	
Gyümölcs	962	
Zöldség	322	
Cukor	197	

Forrás: Mekonnen and Hoekstra (2010)

Kémiai lábnyom

A kémiai lábnyom a lábnyomok között a legújabb. A kémiai lábnyom a termék kémiai összetételére, az összetevők emberi és ökológiailag veszélyes tulajdonságaira, valamint az összetevők expozíciós potenciáljának az életciklus során felmerülő potenciális veszélyére utal. Elemzésének magában kell foglalnia az érintett termék életciklusa során felhasznált, fogyasztott, előállított vagy módosított vegyi anyagok átfogó számszerűsítését, valamint a felmerülő kockázatokat. (Panko és Hithckock, 2011)

Még nincs általánosan elfogadott definíciója, de

- a vegyi anyagok egyre inkább jelen vannak életünkben és
- jelentős egészségügyi és környezeti kockázatok kialakulását idézik elő,
- ez egy "új szén lábnyom" a vállalatok számára

1990 óta használják az USA-ban, de Európában csak az elmúlt néhány évben kezdtek foglalkozni a SETAC/UNEP LCA szakértői, és egy egységes módszertant kidolgozni.

A kémiai lábnyom kiszámításánál 3 koncepciót kell kombinálni (Sala és M Goralczyk, 2013):

- életciklus-gondolkodás (LCT),
- humán és ökológiai kockázatértékelés (HERA),

- és az alapvető elővigyázatosság elve; mindezt a fenntarthatósági értékelés összefüggésében.

A kémiai lábnyom számításának metodikájára Sala & M. Goralczyk, 2013 tanulmánya világít rá.

1. lépés az emisszió értékelés, és multi-médiás sors modell készítés, kockázat elemzés
2. lépés az ökoszisztéma sebesíthatóságának és eltartó képességének vizsgálata; valamint szervezetek, közösségek és az ökoszisztéma fogékonyságának értékelése a kitettség, érzékenység és megújuló képesség vizsgálata
3. Ezt követi az kémiai lábnyom meghatározása
4. Figyelembe véve a kémiai szennyezés földi határait

A kémiai lábnyom mérésére nagy vegyipari vállalatok vállalkoznak (CFP, 2017). 2016-ban 22 vállalat vett részt –akik a felmérés hatására csökkentették a veszélyes vegyi anyagok mennyiségét.

A kérdőív 4 területet ölelt fel és összesen 20 kérdést tartalmazott. Az elérhető pontszám 100 pont volt, amelyből

- a Vezetési stratégia (20 pont), a
- Kémiai leltár (30 pont)
- Lábnyom mérés (30 pont)
- Közzététel és ellenőrzés (20 pont)

A kémiai lábnyom mérőszáma: a nagy aggodalomra okot adó vegyi anyagok teljes tömege: Chemicals of High Concerns=CoHCs

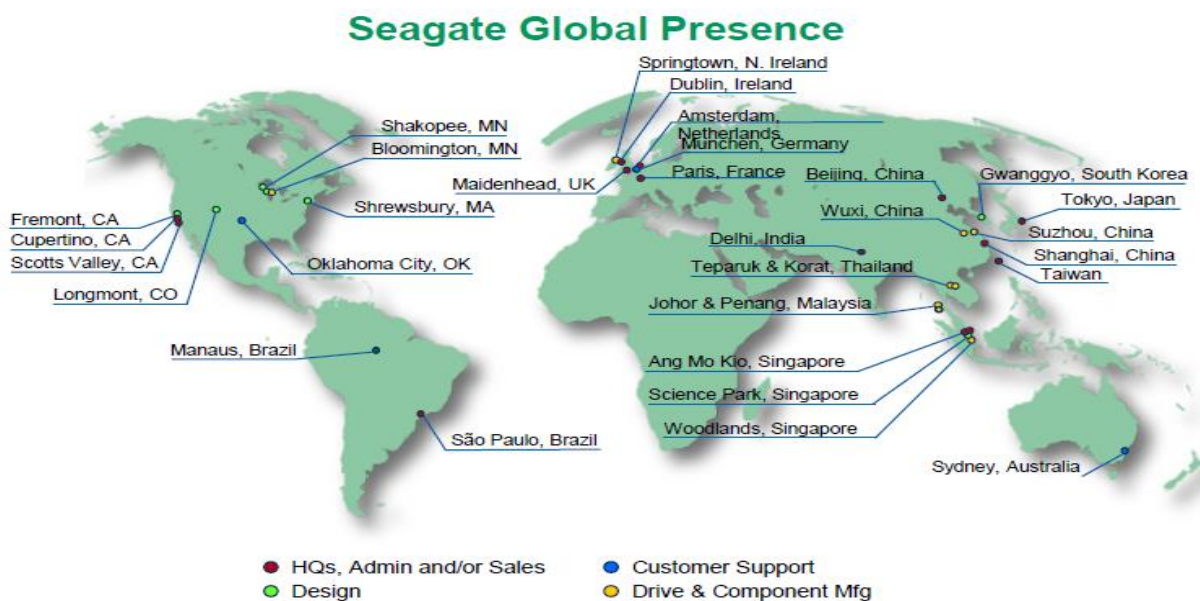
CoHCs: azok az anyagok, amelyek rákkeltő, mutagén, reprodukciót károsító, tartós, valószínűsíthetően súlyos hatásúak az emberi egészségre:

Ilyenek lehetnek a gyerekeknek szánt termékekben a:

- Kobalt a műanyag építőkövekben és bébi pulóverekben.
- Etilénglikol a játék babákban,

- Metil-etil-keton ruházatban,
- Antimon magas székekben és emlékeztető ülésekben,
- Parabének babaápolókban,
- D4 baba krémekben.

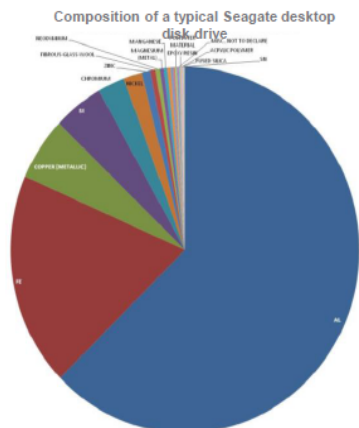
A felmérésben résztvevő SEAGETE a világvezető informatikai cég, amely a világ adatainak 40 %-át tárolja és több mint 9000 ügyfele és 40000 alkalmazottjuk van az egész világon. A CFP objektív benchmarking és nyomonkövetési eszköz a kémiai termékek számára, hasznos információt jelent mind a partnereknek, mind az NGO-k számára.



11.ábra A Seagate globális jelenléte

Forrás: Schmidt, 2016

Assembled Bill of Substance for a Desktop Disk Drive



Substance	CAS Number	Cumulative Concentration
AL	7429-90-5	61.9451
FE	7439-89-6	80.5984
COPPER (METALLIC)	7440-50-8	86.12
SI	7440-21-3	90.705
CHROMIUM	7440-47-3	93.1778
NICKEL	7440-02-0	94.862
ZINC	7440-66-6	95.8614
FIBROUS-GLASS-WOOL	65997-17-3	96.141
NEODYMIUM	7440-00-8	96.5053
MAGNESIUM	7439-95-4	96.8692
MANGANESE	7439-96-5	97.1983
LCP polymer	147310-94-9	97.5019
POM, Polyoxymethylene copolymer	24969-26-4	97.7305
"DOPO" halogen free flame retardant	35948-25-5	97.9132
POLYESTER MATERIAL	79-14-1	98.086
ACRYLATE URETHANE OLIGOMER	73324-00-2	98.2507
PROPRIETARY SYSTEM		98.3749
EPOXY RESIN	129915-35-1	98.4961
ACRYLIC POLYMER	37325-11-4	98.6128
FUSED SILICA	60676-86-0	98.7214
SN	7440-31-5	98.8116



EHS & Sustainability

The Seagate supplier specification restricts almost 2000 CAS numbers

12.ábra A számítógép lemezmeghajtó komponenseinek összegyűjtött listája
 Forrás: Seagate EHS & Sustainability

A Seagate által gyártott lemezmeghajtók fő fém komponensei mellett több kisebb mennyiségű szerves vegyi anyagot is alkalmaznak, de ezt CAS szám és mennyiség feltüntetésével nyilvánosságra is hozzák, és a veszélyes kemikáliák felhasználását kerülik..

Termékek és szervezetek környezeti lábnyoma (PEF és OEF)

A termékek környezeti lábnyomára vonatkozó kategóriaszabály (Product Environmental Footprint Category Rule) lényege, hogy olyan információk váljanak láthatóvá, mint a termékek "ökológiai lábnyomának" adatai, és az hogy tiszteletben tartják-e a munkások jogait a gyártási folyamat során, vagy igazságosan osztják-e fel a nyereséget a termelők és a munkások között.

A Nemzetközi EPD® Rendszer az áruk és szolgáltatások életciklusának környezetre gyakorolt hatásának önkéntes és átlátható kommunikációjára szolgáló program. Az első EPD® 1999-es kiadása óta már egy egész könyvtárral rendelkezik a www.environdec.com címen, amely több mint 750 tanúsított környezetvédelmi ter-

méknnyilatkozatot tartalmaz 37 országbeli szervezetek részéről.

A Nemzetközi EPD® Rendszer programfelelőse Svédországban bejegyzett EPD International AB. Az EPD International az IVL Svéd Környezetvédelmi Kutató Intézet leányvállalata.

A „szervezetek környezeti lábnyoma (OEF)”: az OEF-módszer szerint végrehajtott OEF-vizsgálat eredménye; amelyben „életciklus-alapú környezeti teljesítmény”: a potenciális környezeti teljesítmény számszerűsített értéke, amely olyan mérésen alapul, amely az ellátási lánc szempontjából veszi figyelembe egy adott termék vagy szolgáltatás teljes életciklusára vonatkozó környezeti hatásokat.

„A PEF-módszer és a használatával nyert PEF-eredmények lehetséges alkalmazási területei⁹:

⁹ A BIZOTTSÁG AJÁNLÁSA (2013. április 9.) a termékek és a szervezetek életciklus-alapú környezeti teljesítményének mérésére és ismertetésére szolgáló egységes módszerek alkalmazásáról (EGT-vonatkozású szöveg) (2013/179/EU)<http://eur-lex.europa.eu/legal-con->

— folyamatoptimalizálás egy termék életciklusának összes szakaszában;

— a teljes életciklusra vetített környezeti hatásokat minimalizáló termékdesign támogatása; — az önkéntes programok révén vagy az egyes vállalkozások által a termékeken elhelyezett tájékoztatás az életciklusalapú környezeti teljesítményről (például a termék kísérődokumentációjában, weboldalakon és appokban);

— a környezeti teljesítményre utaló kijelentésekre épülő, különösen e kijelentések kellő megalapozottságának és teljességének biztosítására létrehozott rendszerek;

— az életciklus-alapú környezeti teljesítménnyel jellemzett termékeknek nagyobb láthatóságot biztosító hírnévrendszerek;

— a jelentős környezeti hatások megállapítása ökcímke-használatra vonatkozó követelmények felállításához;

— ösztönzők nyújtása életciklus-alapú környezeti teljesítmény alapján. Az OEF-módszer és a használatával nyert OEF-eredmények lehetséges alkalmazási területei:

— folyamatoptimalizálás egy szervezet termékportfóliója kapcsán az ellátási lánc teljes hosszán;

— az érdekeltek tájékoztatása az életciklus-alapú környezeti teljesítményről (például éves jelentésekben, fenntarthatósági jelentéstétel részeként, befektetők vagy érdekeltek kérdőíveire válaszul);

— az életciklus-alapú környezeti teljesítménnyel jellemzett, illetve ezt a teljesítményt az idő múlásával (pl. évről évre) javító szervezeteknek nagyobb láthatóságot biztosító hírnévrendszerek;

— az életciklus-alapú környezeti teljesítménnyel kapcsolatos jelentéstételt előíró programok;

— az életciklus-alapú környezeti teljesítményre vonatkozó adatok közzétételének eszközeként, valamint egy adott környezetközpontú irányítási rendszeren belül meghatározott célkitűzések elérésének megállapításához;

— az OEF-módszer alkalmazásával kiszámított életciklus-alapú környezeti teljesítmény javulása alapján ösztönzők nyújtása”.

Rövid összegzés

A környezeti lábnyomok a környezeti teljesítmény mérésére és összehasonlítására szolgáló mérőszámok. Az egyes környezeti közeget ért terhelések (föld, víz, levegő, vagy éppen élővilág-beleértve magát az embert is) számszerű kimutatásával kitűnő információt szolgáltat részvényesek, politikusok, üzleti partnerek, konkurensok vagy civil szervezetek számára, és orientálja a piaci szereplőket. A lábnyomok külön-külön, de együttesen is a fenntarthatóság felé tett lépések jellemzésére is szolgálnak, és jó eszközei a környezeti teljesítmények benchmarkjának. Ez az áttekintés a teljesség igénye nélkül a lábnyomokban rejlő lehetőségekre kívánja felhívni a figyelmet. Többségüknél az életciklus elemzés nélkülözhetetlen. A lábnyomok számítása objektív mérésnek tekinthető, és a szabványos módszerek alkalmazásával megbízhatósága elismert. Ugyanakkor a lábnyomok közötti szinergikus hatások, a lábnyomszámítások különböző szektorokra, termékekre, szolgáltatásokra és szervezetekre való kiterjesztése olyan kutatási lehetőséget rejt, amit a hazai LCA alkalmazóknak is érdemes megragadni.

Felhasznált források:

CFP Annual Report 2017, Chemical Footprint Project,

www.chemicalfootprint.org

Fang Kai, Reinout Heijungs and Geert de Snoo (2013): The footprint family: comparison and interaction of the ecological, energy, carbon and water footprints Rev. Metallurgical Research & Technology 110 1 (2013) 77-86

[Fang Kai, SiyangSong, ReinoutHeijungs, Sannede Groot, LiangDong, Junnian-Song, \(2016\): The footprint's fingerprint: on the classification of the](#)

- footprint family [Current Opinion in Environmental Sustainability Volume 23](#), December 2016, Pages 54-62
- Galli A., Weinzzettel Granston G., Ercin E. (2010): A footprint Family extended MRIO model to support Europe's transition to a One Planet Economy, *Sci Total Environ* 2013 Sep 1; 461-462: 813-8. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.11.071 .Epub 2012 Dec 26
- Gerbens-Leenes, A.Y.Hoekstraet, R.Bosman (2017): The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass [Water Resources and Industry Volume 19](#), June 2018, Pages 1-12
- Hoekstra Arjen Y.(2008): [The water footprint of food - Water Footprint Network](#), Twente Water Centre, University of Twente
- Hui Lu [GengyuanLiu](#), [ZhifengYang](#), [YanHao](#) (2016): Urban Gray Water Footprint Analysis Based on Input-Output Approach [Energy Procedia, Volume 104](#), December 2016, Pages 118-122
- Mekonnen and Hoekstra (2010): The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products Vol.1. <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>
- Pankaj Bhatia (2008): Methodologies for Measuring the Carbon Footprint World Resource Institute https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/06/0F/T060F0000090023PDFE.pdf
- Panko és Hithckock, (2011): Chemical Footprint Ensuring Product Sustainability http://chemrisknano.com/~chemrisk/images/stories/Chemical_Footprint_Ensuring_Product_Sustainability.pdf
- Sala Serenella, M. Goralczyk (2013): Chemical footprint: A methodological framework for bridging life cycle assessment and planetary boundaries for chemical pollution *Integrated Environmental Assessment and Management*, Volume 9, Number 4 pp. 623-632.
- Schmidt A., (2015): Measuring Seagate's Chemical Footprint http://goodelectronics.org/*news-en/no-more-deaths-in-electronics-sweatshops, accessed 11/18/15.
- UNEP/SETAC, (2009): United Nations Environment Programme, Life Cycle Management. How business uses it to decrease footprint, create opportunities and make value chains more sustainable, UNEP/SETAC,
- Wackernagel, Mathis, William E. Rees(1996): [The State of the Art in Ecological Footprint Theory and Applications](#) New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Canada.

Energia és körforgás

Bezegh András * -Martinás Katalin **

* Bezekon Kft., 1221 Budapest, Honfoglalás út 24.

** ELTE, Atomfizikai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

Az ipari ökológiától a körforgásos gazdaságig

Az emberiség jólétét, harmonikus jövőjét féltők számára az utóbbi évszázad egyik legfontosabb felismerése az *exponenciális növekedés tarthatatlansága*. Az Alfred J. Lotka amerikai matematikus nevével fémjelzett, a *ragadozó és a zsákmány kapcsolatát* kvantitatíve leíró egyenlet mintegy száz évvel ezelőtt vált ismertté. 1900-ban mintegy 1,5 milliárd ember élt a Földön, a század végén több mint 6 milliárd. A gazdaság a 19. században évi 0,5-1,3% mértékben növekedett, ami 3-szoros változást eredményezett, a 20. században évi 3%-t, vagyis 100 év alatt 20-szoros volt a változás mértéke¹⁰. Az emberiség 20. századi teljesítményét éppen a Lotka-Volterra egyenletek kezdeti, exponenciális szakasza jellemzi akár a népességet, akár a mezőgazdasági vagy ipari termelést, akár a szennyezőanyag-kibocsátást tekintjük. Ebből fakadóan az „*ember-ragadozó*” és a „*természet-zsákmány*” rendszer egyes elemeit sokan vizsgálták az élelmiszer, a víz, a különböző ipari nyersanyagok, a biológiai sokféleség, vagy éppen a természet szennyezés feldolgozó képességének *növekvő ütemű elapadása* okán.

Az ipar számára a „*sokan vagyunk, sokat fogyasztunk, sokat hajigálunk el*” együttes problémakörére vonzó analógiát kínált a természet, az évmilliók óta bevált, anyagkörforgásra és energia lelépcsőzésre épülő modellje révén^{11,12}. Az *ipari ökológiának* nevezett megközelítés lényege a

természet ökoszisztémáinak utánzása, ugyanis a természetben az egyik élőlény, vagy anyagcseréjének eredménye egy másik élőlény számára táplálék, utóbbi anyagaiból pedig további élőlények nyernek energiát vagy épülnek szervezetük alkotórészei. A véglegesen lebomlott alkotórészek a napsugárzás hatására épülhetnek be újból élőlényekbe, hogy folytassák az anyagáram körfolyamatát.

Az *ipari ökológiát*, mint gazdaságszervezési modellt kiegészítették a *0-kibocsátástól és kék gazdaságtól*¹³ kezdve, a *bölcsőtől-a-bölcsőig*¹⁴ szemléleten és *teljesítmény-gazdaságon*¹⁵ keresztül a *megosztásos gazdaságig* terjedő valamennyi újabb keletű modellel, explicitté tették a fogyasztók szerepét a gazdaság anyagáramának körfolyamatain belül, így jött létre a széles körben népszerűsített¹⁶ *körforgásos gazdaság*¹⁷ irányzata. A „sokat fogyasztunk, sokat hajigálunk el” helyzet a *lineáris gazdaság*, másként: a „vedd meg, használd és dobd el” gyakorlata. Erre kínál orvoslást a *körforgásos gazdaság* alapvetően a már kitermelt nyersanyagoknak a lehető leghosszabb ideig a gazdaságban tartásával.

A körforgásos gazdaság – az ígéretek szerint – olyan, amelyben a termékek,

¹³ G. Pauli: A Kék Gazdaság - 10 év - 100 innováció - 100 millió munkahely, *PTE KTK Kiadó*, Pécs, 2010

¹⁴ M. Braungart, W. Donough: *Cradle to Cradle - Remaking the Way We Make Things*, *Farrar, Straus and Giroux*, 2002

¹⁵ W. R. Stahel: A termék-élettartam tényező, *Ipari Ökológia* 3. évfolyam, 1. szám, pp. 55–77., 2015

¹⁶ Ellen MacArthur Foundation website-ja: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/>

¹⁷ Brüsszel, 2015.12.2. COM(2015) 614 final

¹⁰ N. Crafts., *Globalization and Economic Growth: A Historical Perspective*, *The World Economy*, Vol. 27, No. 1, pp. 45-58., 2004

¹¹ B. Commoner: *The Closing Circle: Nature, Man, and Technology*, Bantam Books, 1971.

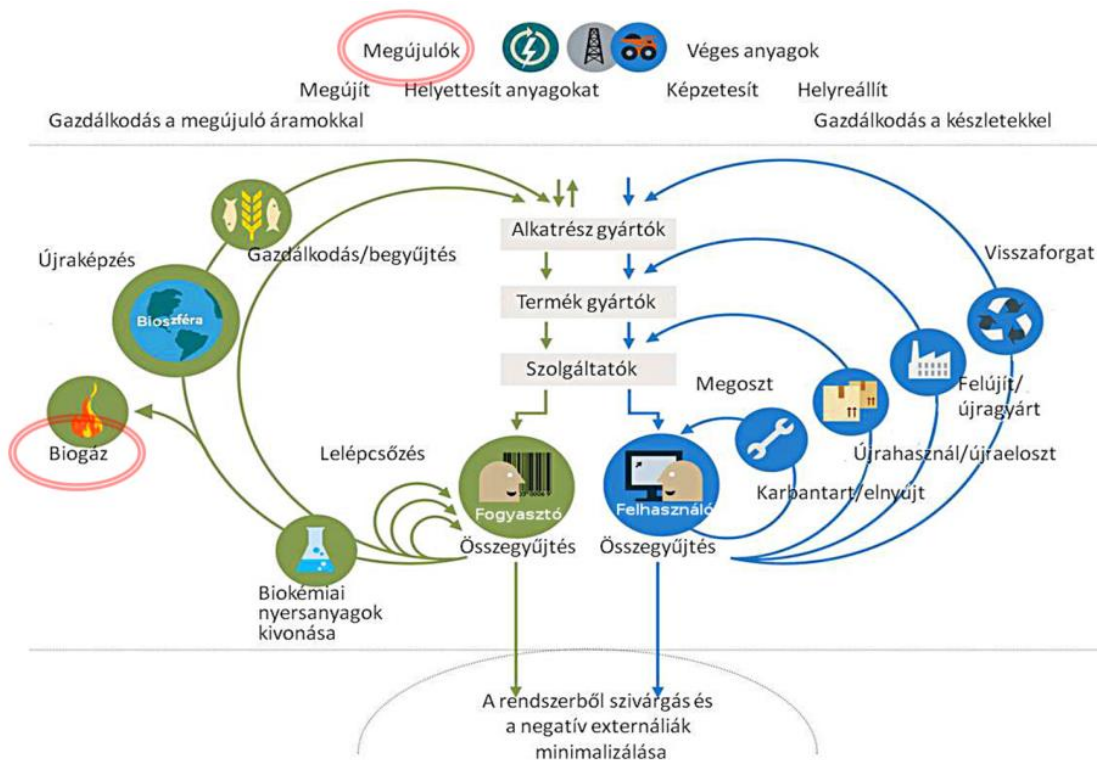
¹² T. E. Graedel, Braden R. Allen: *Industrial Ecology*, American Telephone and Telegraph Company, 1995

alapanyagok és erőforrások értékét a lehető legtovább megőrzik a gazdaságban, a hulladék keletkezése minimálisra csökken, a gazdaság így fenntartható, karbonszegény, erőforrás-hatékony és versenyképes.

A körforgásos gazdaság eszköztárában két alapvető megközelítési mód van, amelyek jellemzően az életciklus szemléletre épülnek. Egyik az újrafeldolgozás, vagyis a *reciklálás*, az anyagáramlás körfolyamattá alakítása, a másik a *használat idejének meghosszabbítása*, az anyagáramlás lassítása. Létezik még további két megközelítési mód is, amelyek 1) a kevesebb anyag, illetve 2) kevésbé toxikus anyag alkalmazásával javítanak a környezeti teljesítményen.

A körforgásos gazdaság lehetséges továbbfejlesztése az energetika területén

Viszonylag kevés teret szenteltek (legalábbis eddig) az energiával kapcsolatos kérdéseknek a körforgásos gazdaságban, annak ellenére, hogy a villamosenergia termelésből és a közlekedésből származó CO₂ kibocsátás a legjelentősebbek közé tartozik. A koncepciót népszerűsítő legismertebb ábrán (1. ábra) két helyet lehet felfedezni, amely energetikai vonatkozású. Egyik a biogáz hasznosítását jelzi, a másik általánosságban a megújuló energiákra hívja fel a figyelmet.



1. ábra A körforgásos gazdaság (forrás: EMF)

Még az EU ambiciózus *Úton a körkörös gazdaság felé: „zéró hulladék” program Európa számára*¹⁸ című Bizottsági Közleménye is csak annyit említ, hogy „kizárólag nem újrafeldolgozható anyagokból nyer ki energiát”, egyébként az EU

hulladékhierarchiájának¹⁹ megfelelően. Ez a hulladékhierarchia a körülmények mérlegelése nélkül állít fel prioritási sorrendet. Mérlegelendő az égetés viszonya e sorren-

¹⁸ COM/2014/0398 final/2 *

¹⁹ Az Európai Parlament és a Tanács 2008/98/EK irányelve (2008. november 19.) a hulladékokról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről

den belül. A „hulladékból-energiát” létesítményeknek nevezett hulladékégetők úgy állítják be, mintha a hulladék megújuló erőforrás lenne, miközben nem az.

A hulladékégetők hatalmas tőkeigényű beruházások. Működtetésükhöz hosszú távon kell biztosítani a megfelelő hulladékmennyiséget ahhoz, hogy megtérüljenek. Ez a kényszer hátráltathatja vagy megakadályozhatja a körforgásos gazdaság magasabb szintű megoldásainak megvalósítását²⁰.

Több lehetőség kínálkozik tudományos megalapozottsággal mérlegelni a különböző megújuló energiahordozókat, nagy különbségek lehetnek, pl. a biomassza-alapúaknál, közegtől, technológiától, régiótól stb. függően. Lehetséges az értékelés LCA, RoI²¹, emergia²² vagy exergia²³-elemzés segítségével. Bioetanol előállítását vizsgáltuk Magyarországon termelt kukoricából²⁴. Az exergia-elemzésből kiderült, hogy bioetanol használni hazánkban nem célszerű, bármilyen is a pénzügyi támogatottsága.

Energetikában a határfok kérdése is kritikus. A sokféle, bizonytalan, kereskedelmi indíttatású mérőszám közül nehéz kiválasztani a megfelelőt. A termodinamikai háttérű exergia-határfok egyre inkább

teret nyer a szakemberek körében²⁵. Az exergia-elemzés alkalmas egy LCA során az anyagokat és az energiát egyidejűleg jellemezni²⁶.

A modern módszerek már nem az energiát használják, hanem a *exergiát, azaz a rendszert jellemző munkavégző képességét*, mert racionálisan értelmezhető. Az exergia azonban disszipálódik, azaz nem lehet körforgást megvalósítani. Egy valódi körforgást a fizika *perpetuum mobile*nek nevezne, és a természet alaptörvénye ennek lehetetlensége. A folyamat exergia felhasználása azonban már a tudástól, technológiától függ. Az exergia az a mennyiségi jellemző, amelyet *minimalizálni kell*. Ezért az LCA akkor lesz hatékony, ha ezt is figyelembe veszi.

„Sokan vagyunk”

1798-ban írta *An Essay on the Principle of Population* című művét Thomas Malthus angol pap, a politikai gazdaságtan professzora. Ebben fogalmazta meg következtetését a nyomor elterjedéséről az élelmiszertermelés lineáris és a népesség exponenciális növekedése következtében. A probléma élő, de a politikusok a népesezés kérdésével diszkréten nem foglalkoznak. Ez a tartózkodás a népességgazdaságban tapasztalt történelmi túlkapaszkodásból és a visszaélések miatti általános előítéletekből fakad, valamint abból a közös meggyőződésből, hogy az emberiség létszámát nem lehet befolyásolni kényszerű "népesség szabályozás" révén²⁷. Ha a politikusok mégis foglalkoznak vele, akkor alapvetően a nyugdíjrendszer ellehetetlenülése miatt,

²⁰ Disregard for Human Life in Tuscany (<http://italychronicles.com/disregard-for-human-life-in-tuscany/>)

²¹ RoI vagy EROI (energy return on investment) egy beruházás energia megtérülése az adott energiaforrásból származó hasznos energia (exergia) mennyisége és az energiaforrás megszerzéséhez használt exergia mennyiség hányadosa.

²² Az *emergia* ([megtettesült] embodied energy ~ emergy) az az energia (exergia), amelyet közvetlen vagy közvetett átalakítások során fogyasztanak egy termék vagy szolgáltatás előállításához, emJ a mértékegysége.

²³ Az *exergia* (régiben: *rendelkezésre álló munka* vagy *rendelkezésre állás*) a kinyerhető maximális hasznos munka olyan folyamat során, amely a rendszert egyensúlyba hozza környezetével.

²⁴ Herman, Edit; Kádár, József; Martinás, Katalin; Bezegh, András: A kukorica alapú bioetanol magyarországi előállításának exergiaelemzése, *Fizikai szemle*, 2013/4

²⁵ Bezegh A., Bezeghné Jelinek K., Bezegh B.: Exergia- és energiahatékonyság, *Ipari Ökológia* 2015; Vol .3. No. 1. pp. 36–54.

²⁶ R.U. Ayres; L.W. Ayres; K. Martinás: Eco-Thermodynamics Exergy and Life Cycle Analysis, *INSEAD's Centre for the Management of Environmental*, 1996.

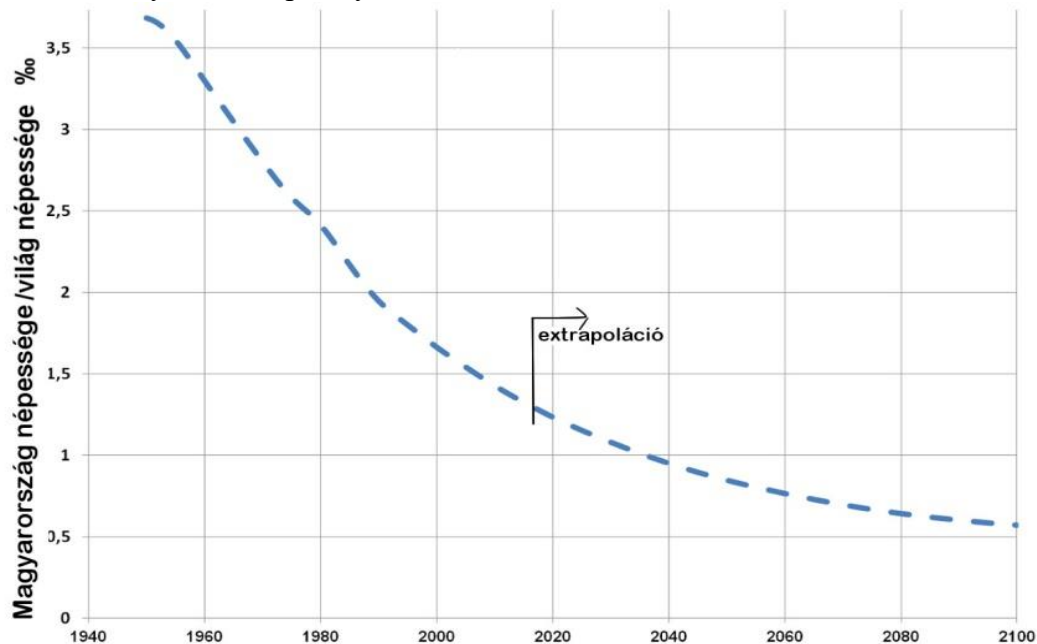
²⁷ S. Halfon: The Cairo Consensus: Demographic Surveys, Women's Empowerment, and Regime Change in Population Policy, Lexington Books, 2007.

vagy azért, mert a gazdasági növekedés hajtóerői egyikének tekintik.

Adatszerűen a Föld népessége 2017 novemberében 7,58 milliárd fő, idén a növekmény 80 millió. 2050-re az ENSZ becslése szerint 9,7 milliárd ember lakja majd a Földet. Ma *havonta* több mint három Budapestnyivel növekszik az emberiség. Kínában *havonta* nyolc Budapestnyi, koráb-

ban szegénynek minősített ember válik középosztálybelivé, tehetős fogyasztóvá, és egyúttal ennyivel növekszik a környezetterhelés, az erőforrások elhasználása, a hulladékmennyiség.

Magyarország és a világ népességének arányát, az arány változását mutatja a 2. ábra, ezrelékben (%) kifejezve, 1950 és 2100 között.



2. ábra Magyarország és a világ népességének aránya (forrás: saját szerkesztés, a World Population Prospects 2017 [<https://esa.un.org/unpd/wpp/>] adatai alapján)

Látható, hogy az arány a múlt század közepén kb. 3,5‰ volt, jelenleg 1,3‰, a bemutatott intervallumban a változás közel egy nagyságrendnyi csökkenés. Ez azt jelenti, hogy a szűkülő erőforrás kínálatból a csökkenő arányú népesség jóléte – vagyis nagyobb konkurencia mellett – csakis okos gazdálkodás révén biztosítható, a tudás, a korszerű tudományok széleskörű és szakszerű alkalmazása, pl. az ipari ökológiában, a körforgásos gazdaságban, az okos gazdaságban rejlő megoldások által.

Erről a helyzetről írta Garrett Hardin ökológus és filozófia professzor, a *Közlegetők tragédiájának* világhírű szerzője: „Egy tökéletlen világban a jogok terület-alapú elosztását meg kell védeni, ha el akarjuk kerülni a végzetes szaporodási versenyt. Valószínűtlen, hogy a civilizáció és a méltányosság mindenhol túlélő lesz,

de jobb, ha lesz néhány helyen, mint sehol. A szerencsés keveseknek a civilizáció bizományosaiként kell eljárni, ahol a civilizációt az ostoba jó szándék veszélyezteti.”²⁸

²⁸ G. Hardin: The Survival of Nations and Civilization, *Science*, 25 Jun 1971 (ford.: B.A.)