

## MEGJEGYZÉS AZ ÖKOLÓGIAI LÁBNYOM INPUT-OUTPUT MODELLEL VALÓ SZÁMÍTÁSÁHOZ

DOBOS IMRE<sup>1</sup>

Az ökológiai, valamint a kapcsolódó lábnyomok számítása egyre népszerűbb a környezet- és/vagy ökológiai közgazdaságtan művelői számára. A dolgozat a számítások egy új módszerét vizsgálja; nevezetesen azt a módszertant, amely a Leontief által kifejlesztett input-output modellt használja a lábnyomok számításához. A dolgozat a statikus ökológiai lábnyom input-output modellel történő meghatározásának irodalmát bemutatva egy új módszert javasolt annak kiszámításához. A továbbfejlesztett módszertan lehetőséget nyújt további lábnyomok számításához is, mint a karbon-, vagy vízlábnyom meghatározása.

*Keywords:* input-output modell, ökológiai lábnyom, környezet-gazdaságtan

### 1. Bevezetés

A lábnyomok, mindenekelőtt az ökológiai lábnyom meghatározása a 90-es évek elejére nyúlik vissza (Rees [5], Wackernagel és Rees [6]). Ezen vizsgálatok célja annak meghatározása, hogy az egyes nemzetgazdaságok mekkora földterületet használnak fel az ország területén élő népesség szükségleteinek kielégítéséhez. Az ágazati kapcsolatok mérlege (ÁKM), vagyis a Leontief-féle input-output modell jó lehetőséget nyújt az ilyen számítások elvégzéséhez (Leontief [3], Miller és Blair [4], Zalai [7]). A lineáris modellek, mint az input-output modell, nagyfokú rugalmassága és könnyen alkalmazhatósága miatt a környezeti, ökológiai és regionális közgazdaságtanokban széles alkalmazásra talál.

Jelen dolgozatban két, az irodalomban és alkalmazásban népszerű modellt mutatunk be. Mindkettő az ökológiai lábnyom számítását szemlélteti input-output modellel. Bicknell et al. vizsgálták először az ökológiai lábnyomot input-output modellel. A modell alkalmazásához a földterületeket fel kell bontani arra, hogy az külföldről származik-e az importon keresztül, vagy a belső termeléshez szükséges-e. Ez az oldal tekinthető a „kínálati” oldalnak. A másik oldal, nevezhetjük „keresleti” oldalnak, a földterületek fogyasztáshoz rendelhető részét reprezentálja. Mivel a

---

<sup>1</sup>A szerző köszöni az OTKA K 116472 támogatását.

világ nemzetgazdaságainak többsége nyitott gazdaság, ezért ezen összefüggéseket árnyalja az, hogy mindez exportra kerül-e, vagy importból származik. Bicknell et al. [1] dolgozatukban egy zárt gazdaság keretei között kezdik az elemzésüket, és a végső fogyasztás földterület igényét határozzák meg először. Ezt követően teszik nyílttá az input-output modelljüket az export és import számbavételével. Az import számbavételénél három területtípust különítenek el: (1) az a földterület, amely az importon keresztül *közvetlenül* a végső fogyasztásba kerül, (2) az a földterület, amely a termelésbe kerül, és csak *közvetetten* kerül a fogyasztóhoz, és (3) az importból *közvetetten* az exportba kerülő földterület. Számítási módszerüket egy  $3 \times 3$ -as gazdaság mintaszámain demonstrálják, amit mi is használni fogunk. A konkrét számításokat mátrixformában a következő részekben mutatjuk be.

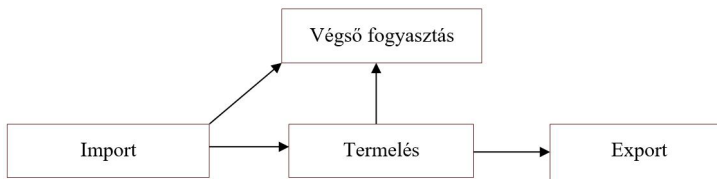
Ferng [2] dolgozatában nagyban építkezik Bicknell et al. [1] munkájára, de a számítások elvégzéséhez „földszorzó” (land multiplier) bevezetését javasolja. A számításai eredménye lényegében megegyezik az előbb idézett munkával. Ami sokkal lényegesebb különbség, az a földterület importban megtestesülő része. Ezen a ponton Ferng [2] dolgozata lényegesebb eltérést mutat.

Dolgozatunkban ismertetjük az előbbi két hozzájárulást matematikai szempontból, és néhány ponton korrigáljuk a dolgozatokban meglévő hibákat. A cikk további része a következőképpen alakul. A második fejezetben ismertetjük Bicknell et al. számpéldáját, amin Ferng is bemutatta kutatásai eredményeit. A harmadik részben rámutatunk a korábbi elemzések hiányosságaira és egy új számítási módszert javasolunk. Végül összegezzük vizsgálataink eredményeit.

## 2. Bicknell et al. számpéldája: elsődleges erőforrás szemlélet

Az alapadatokat, amelyekből az ismertetett dolgozatok kiindultak, az 1. táblázat mutatja. A táblázat elemei pénzegységben értendők.

Az input-output modell a következő ábrán szereplő módon értelmezhető:



1. ábra. Az input-output modell anyagáramlási ábrája

Az 1. ábrán látható, hogy az import termékeket közvetlenül fel lehet használni a termelésben és a fogyasztásban is. A bemutatandó két dolgozat is ezeket az anyagáramlási folyamatokat állítja a vizsgálatai középpontjába.

Tekintsük először Bicknell et al. [1] munkáját. Elemzésüket azzal kezdik, hogy

	Mezőgazdaság	Ipar	Kereskedelem	Végző fogyasztás	Export	Teljes kibocsátás
Mezőgazdaság	45	15	8	55	25	148
Ipar	23	30	42	25	20	140
Kereskedelem	15	25	10	40	5	95
Hozzáadott érték	45	55	30	20		
Mezőgazdasági import	5	5	0	7		
Ipari import	15	8	5	3		
Kereskedelmi import	0	2	0	0		
Teljes kibocsátás	148	140	95			
Földterület (ha)	14 000	2000	100			

1. táblázat. A  $3 \times 3$ -as mintagazdaság input-output táblája.

meghatározzák az input-output modell technológiai együtthatóit. Az együtthatókat a következőképpen számolhatjuk ki:

$$A = \begin{bmatrix} 45 & 15 & 8 \\ 23 & 30 & 42 \\ 15 & 25 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 148 & 0 & 0 \\ 0 & 140 & 0 \\ 0 & 0 & 95 \end{bmatrix}^{-1} \approx \begin{bmatrix} 0,304 & 0,107 & 0,084 \\ 0,155 & 0,214 & 0,422 \\ 0,101 & 0,179 & 0,105 \end{bmatrix},$$

vagyis a bruttó kibocsátás vektorával elosztjuk a közvetlen felhasználás mátrixának oszlopait. Az  $A$  mátrix Leontief-inverzét könnyen kiszámíthatjuk:

$$(I - A)^{-1} \approx \begin{bmatrix} 1,539 & 0,273 & 0,280 \\ 0,453 & 1,514 & 0,791 \\ 0,264 & 0,333 & 1,307 \end{bmatrix}.$$

Határozzuk most meg a modell import technológiai együtthatóit:

$$A_{imp} = X_{imp}(x)^{-1} = \begin{bmatrix} 5 & 5 & 0 \\ 15 & 8 & 5 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 148 & 0 & 0 \\ 0 & 140 & 0 \\ 0 & 0 & 95 \end{bmatrix}^{-1} \approx \begin{bmatrix} 0,034 & 0,036 & 0 \\ 0,101 & 0,057 & 0,053 \\ 0 & 0,014 & 0 \end{bmatrix}.$$

Ugyanezzel a módszerrel kiszámítható a földegyütthető is:

$$l = L\langle x \rangle^{-1} \begin{bmatrix} 14 & 000 & 2000 & 100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 148 & 0 & 0 \\ 0 & 140 & 0 \\ 0 & 0 & 95 \end{bmatrix}^{-1} \approx \begin{bmatrix} 94,59 & 14,29 & 1,05 \end{bmatrix}$$

ami azt mutatja, hogy egységnyi kibocsátásnak mekkora a földterület igénye az adott nemzetgazdaságban. Ennek figyelembevételével a *végső fogyasztás terület-igénye* nem más, mint

$$l(l - A)^{-1} \langle c \rangle \approx \begin{bmatrix} 94,59 & 14,29 & 1,05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1,539 & 0,273 & 0,280 \\ 0,453 & 1,514 & 0,791 \\ 0,264 & 0,333 & 1,307 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 55 & 0 & 0 \\ 0 & 25 & 0 \\ 0 & 0 & 40 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8377,02 & 1196,25 & 1566,2 \end{bmatrix},$$

ahol a  $c$  vektor a végső fogyasztást tartalmazza. Tehát ez az a földterületnagyság, ami a közvetlen fogyasztáshoz szükséges a gazdaságban. Ezt interpretálhatjuk úgy is, mint a zárt gazdaság földterület igényét, amint azt Bicknell et al. [1] is értelmezte. Ha az 1. ábrát tekintjük, akkor ez mutatja a termelésből a fogyasztás felé mutató nyilat.

Vizsgáljuk most az importtartalmakat a nyílt gazdaságban. Ezt a szerzők három lépésben teszik meg. Először a *végső fogyasztáshoz közvetlenül felhasznált importot* számították ki:

$$l(l - A)^{-1} \langle c_{imp} \rangle \approx \begin{bmatrix} 94,59 & 14,29 & 1,05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1,539 & 0,273 & 0,280 \\ 0,453 & 1,514 & 0,791 \\ 0,264 & 0,333 & 1,307 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1066,27 & 143,55 & 0 \end{bmatrix},$$

ahol a  $c_{imp}$  vektor a végső fogyasztáshoz közvetlenül beszerzett importot tartalmazza. Az 1. ábrában ezt az importból közvetlenül a fogyasztáshoz mutató nyíllal demonstrálhatjuk.

A következő kategória azon földterületet mutatja, amely az *importból közvetlenül a termelésbe* irányul, vagyis az 1. ábra nyilai közül az importból a termelésbe

mutatót kívánjuk kiszámítani:

$$l(l - A)^{-1} A_{imp} \langle x \rangle \approx \begin{bmatrix} 94,59 & 14,29 & 1,05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1,539 & 0,273 & 0,280 \\ 0,453 & 1,514 & 0,791 \\ 0,264 & 0,333 & 1,307 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5 & 5 & 0 \\ 15 & 8 & 5 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1479,3 & 1222,66 & 239,25 \end{bmatrix},$$

ahol a szektorok importtartalma az 1. táblázatból is leolvasható. Végül az *export földtartalmát* kell kiszámítani, mivel az exportot nem az adott nemzetgazdaságban használják fel. Ezt a szerzők egy szorzóval oldották meg. Ez a szorzó azt mutatja az értelmezésükben, hogy a végső felhasználásból egy adott szektorban mennyi kerül a végső fogyasztásra, kisebbitve azt az exporttal. Formalizáltan:

$$l(l - A)^{-1} A_{imp} \langle x \rangle \langle c \rangle \langle c + exp^{-1} \rangle = \begin{bmatrix} 1479,3 & 1222,66 & 239,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{55}{80} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{25}{20} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{40}{45} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1017,02 & 679,26 & 212,67 \end{bmatrix},$$

ahol *exp* vektorral jelöljük a végső felhasználásban szereplő exportot ágazonként.

A három tényezőtől (a végső fogyasztás, a fogyasztáshoz közvetlenül importált termékek és az ágazatok termeléséhez felhasznált import földigénye) megállapítható a gazdaság ökológiai lábnyoma, amit a következő táblázatban mutathatunk be:

	Hazai föld	Importált föld	Ökológiai lábnyom
Mezőgazdaság	8377,02	2083,19	10 460,21
Ipar	1196,25	822,81	2019,06
Kereskedelem	1566,2	212,67	1778,87
Összesen:	11 139,47 (78,13%)	3118,67 (21,87%)	14 258,14

2. táblázat. Bicknell et al. számításainak összefoglaló táblázata.

A táblázatban az importált földet a közvetlenül a végső fogyasztásként importált áruk és a termelésből a végső fogyasztáshoz került áruk felhasználásaként definiálták a szerzők.

A dolgozattal kapcsolatban három fontos ponton lehet kritikával élni. Az első kritikai pontot már a szerzők is jelezték a dolgozatukban. Az import föld megállapításánál a szerzők nem vették figyelembe, hogy az importált áruk és szolgáltatások különböző országokból származhatnak, ahol a technológiai együtthatók mások és mások. Ezen megkülönböztetés helyett az adott gazdaság együtthatóival számolnak a szerzők, elismerve azt, hogy ez csak egy közelítés.

A másik kritikai pontot Ferng fogalmazta meg azzal, hogy a földszorzókat más-hogyan kellene számolni, a földterület használatát már a Leontief-inverzbe be kellene építeni, hogy azzal az aggregálási problémát kiküszöböljük, amint arra a szerző rámutat. Dolgozatában új megragadási módszert javasolt, amit a következő fejezetben mutatunk be.

A harmadik kritikai pont az export kiküszöbölését illeti. Ilyen módszerrel az export importanyag tartalma nem mutatható ki, amire megoldást később mutatunk be a modell általánosításával.

### 3. Ferng módszere az ökológiai lábnyom kiszámítására: felhasználási szemlélet

A Ferng által javasolt módszer bemutatásánál támaszkodunk az 1. táblázat adataira, azonban szerepeltessük a földterület igényt a felső szárnyon, és nem az alsón. Ezzel a módszerrel a következő, 3. táblázatot kaphatjuk.

	Mezőgazdaság	Ipar	Kereskedelem	Végző fogyasztás	Export	Teljes kibocsátás	Földterület (ha)
Mezőgazdaság	45	15	8	55	25	148	14 000
Ipar	23	30	42	25	20	140	2000
Kereskedelem	15	25	10	40	5	95	100
Hozzáadott érték	45	55	30	20			
Mezőgazdasági import	5	5	0	7			
Ipari import	15	8	5	3			
Kereskedelmi import	0	2	0	0			
Teljes kibocsátás	148	140	95				

3. táblázat. A  $3 \times 3$ -as gazdaság input-output táblája.

Az ilyen felfogásban a földterületet nem elsődleges erőforrásnak tekintjük modellezési szempontból, hanem felhasználásnak, amit naturáliában, esetünkben hektárban mérünk. Ezzel a szemlélettel minden adott szektor kibocsátási és felhasználási értékét megállapíthatjuk a földterület nagyságával is. Ez az az ötlet, amellyel

Ferng megalkotta az ismertetésre kerülő földszorzóját.

A földszorzó mátrix itt azt mutatja, hogy egységnyi kibocsátáshoz mekkora közvetlen és közvetett földterület szükséges. A mátrixot az előbbi adatokra alapozva:

$$\langle l \rangle (I - A)^{-1} \approx \begin{bmatrix} 145,55 & 25,87 & 26,48 \\ 6,48 & 21,63 & 11,30 \\ 0,28 & 0,35 & 1,38 \end{bmatrix}.$$

A következőkben nagyjából hasonlóan veszi végig a szerző a földterület igényeket, azonban más értékekre.

Az első, és talán legfontosabb földigénye a *végző fogyasztásnak* van. Ezt ebben a szemléletben az alábbi módon számolhatjuk:

$$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c \approx \begin{bmatrix} 145,55 & 25,87 & 26,48 \\ 6,48 & 21,63 & 11,30 \\ 0,28 & 0,35 & 1,38 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 55 \\ 25 \\ 40 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9711,40 \\ 1348,95 \\ 79,14 \end{bmatrix}.$$

Amint látjuk, ez csak abban tér el a Bicknell et al. [1] dolgozatában adottaktól, hogy a földterület igény és végző fogyasztás vektorait szerepükben felcseréltük mátrixaritmetikai szempontból: itt a földigény vektor veszi át a fogyasztástól a diagonális mátrix szerepét, és fordítva.

A második elem a hazai termelésen belül az *exportra előállított termékek és szolgáltatások földigénye*. Ezt az előbbiekhöz hasonlóan határozhatjuk meg:

$$\langle l \rangle (I - A)^{-1} exp \approx \begin{bmatrix} 145,55 & 25,87 & 26,48 \\ 6,48 & 21,63 & 11,30 \\ 0,28 & 0,35 & 1,38 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 55 \\ 25 \\ 40 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4288,6 \\ 651,05 \\ 20,86 \end{bmatrix}.$$

Ezzel a két elemmel a haza termelő szektor kibocsátása végző felhasználásának területigényét kiszámítottuk. Térjünk most rá az importált termékek földigényének megragadásához. Amint a másik módszert, úgy ezt is kritizálhatjuk azzal, hogy az adott nemzetgazdaság földszorzóját használjuk az importra is. Később megmutatjuk, hogy mátrixaritmetikai szempontból a probléma kezelhető lehet, de az annyi információ tárolását és feldolgozását jelentené, amivel a nyert tudástöbblet nem tart lépést.

Az importot Ferng két elemből vezeti le: egyrészt fogyasztáshoz közvetlenül felhasznált importból, valamint a termeléshez szükséges importból. A *végző fogyasztáshoz felhasznált közvetlen import* kiszámítása a következő módon áll elő:

$$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c_{imp} \approx \begin{bmatrix} 145,55 & 25,87 & 26,48 \\ 6,48 & 21,63 & 11,30 \\ 0,28 & 0,35 & 1,38 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 55 \\ 25 \\ 40 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1096,48 \\ 110,23 \\ 3,0 \end{bmatrix}.$$

A termelés importigényének, és ezen keresztül a földigény megállapításához a szerző hasonló utat választott, mint Bicknell et al. [1] dolgozatukban, vagyis egy szorzót vezet be. Ezzel a módszerrel a következő eredményre jutunk:

$$\langle l \rangle (I - A)^{-1} A_{imp} (x - exp) \approx \begin{bmatrix} 145,55 & 25,87 & 26,48 \\ 6,48 & 21,63 & 11,30 \\ 0,28 & 0,35 & 1,38 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,034 & 0,036 & 0 \\ 0,101 & 0,057 & 0,053 \\ 0 & 0,014 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 123 \\ 120 \\ 90 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1896,4 \\ 594,52 \\ 13,15 \end{bmatrix}.$$

Ezzel a földigényeket kiszámítottuk.

Amint a 2. táblázatban, most is összefoglaljuk a számítások eredményeit a 4. táblázatban.

	Hazai föld	Importált föld	Ökológiai lábnyom
Mezőgazdaság	9711,4	2992,88	12 704,28
Ipar	1348,95	704,75	2053,7
Kereskedelem	79,14	16,15	95,29
Összesen:	11 139,50 (75,00%)	3713,79 (25,00%)	14 853,27

4. táblázat. Ferng [2] számításainak összefoglaló táblázata.

Mielőtt a két lábnyom számítási módszert összevetnénk, fogalmazzunk meg kritikát Ferng módszerével szemben is. Itt is elmondható, hogy az importált termékek és szolgáltatások földigényének meghatározásánál nem az importáló ország földigényét veszi a módszer figyelembe. A másik, de súlyosabb kritikai pont az lehet, hogy ezzel a módszerrel sem lehet szétválasztani egyértelműen, hogy a termelés közvetett importigényéből, és ezen keresztül a földigényéből mennyi tudható be a végső fogyasztásnak és az exportnak. Ezt a hiányosságot orvosoljuk majd a következő fejezetekben.

#### 4. Bicknell et al. [1] és Ferng [2] módszerének összehasonlítása

Mindkét ökológiai lábnyom számítási módszer az input-output modellel jól megragadható jelenségcsoportokat kíván bemutatni, azonban más-más irányból, amire a korábbiakban utaltunk.



A módszerek a következő ökológiai lábnyom tényezőket ragadják meg:

- a végső fogyasztás hazai földigénye,
- az export hazai földigénye,
- a végső fogyasztáshoz közvetlenül felhasznált import külföldi földigénye,
- a termeléshez felhasznált import külföldi földigénye *export nélkül*.

Ebben a felsorolásban mindazon tényezőket felsoroltuk, amelyeket a két vizsgált dolgozat tartalmaz, de van olyan tényező, amely nem szerepel mindkét munkában. Az alábbi táblázatban szerepeltetjük a két dolgozatban megragadott lábnyom kategóriákat, és azok kiszámítási módját mátrixaritmetikai jelöléssel.

	Bicknell et al. [1]	Ferng [2]
A végső fogyasztás hazai földigénye	$l(I - A)^{-1} \langle c \rangle$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c$
A végső fogyasztás külföldi földigénye	$l(I - A)^{-1} \langle c_{imp} \rangle$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c_{imp}$
A termelés külföldi földigénye	$l(I - A)^{-1} A_{imp} \langle x \rangle$	-
A végső fogyasztás külföldi földigénye	$l(I - A)^{-1} A_{imp} \langle x \rangle \langle c \rangle \langle c + exp \rangle^{-1}$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} A_{imp} (x - exp)$
Az export hazai földigénye	-	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} exp$

5. táblázat. A két dolgozat által megragadni kívánt kategóriák.

A két módszer tehát a fogyasztáshoz és az exporthoz a termelésen keresztül közvetetten felhasznált import földigényében különbözik élesen. Amíg Bicknell et al. [1] dolgozatukban a termeléshez felhasznált importot ágazonként a végső felhasználásban szereplő végső fogyasztás és export arányában osztják fel, addig Ferng [2] dolgozatában a teljes kibocsátást csökkenti az exporttal, és nem különbözteti meg, hogy a termeléshez felhasznált import a gazdaságban marad-e, vagy közvetetten fogyasztásra kerül.

Dolgozatunk elsődleges célja, hogy ez utóbbi következtelenséget vizsgálja, és arra megnyugtató megoldást nyújtson. Ehhez újra csak a lineáris algebra és a mátrixaritmetika eredményeit fogjuk felhasználni.

**5. Egy új módszer az ökológiai lábnyom számításához input-output modellel**

A lábnyomszámításhoz a következő, 6. táblázatból indulunk ki. A táblázat annyiban különbözik az 3. táblázattól, hogy az importot megosztottuk azon gazdaságok (országok) között, akikkel a vizsgált nemzetgazdaság kereskedelmi kapcsolatban van. Ilyen típusú modellezéseket a regionális közgazdaságtanban lehet találni. Tételezzük fel, hogy az így modellezett nemzetgazdaságban  $n$  darab ágazat, szektor van, valamint  $m$  másik nemzetgazdasággal van a vizsgált gazdaság kapcsolatban. Amint korábban is,  $x$ -szel jelöljük a gazdaság bruttó kibocsátását,  $c$  vektor a végső fogyasztás,  $exp$  vektor az exportot jelöli, míg  $X$  az ágazatközi felhasználás. Az  $l$  vektor a gazdaság földterületi igényét mutatja. Az  $X_{imp_i}$  mátrix az  $i$ -ik gazdaságból importált, és az ágazatokban felhasznált termékeket mutatja, míg a  $c_{imp_i}$  vektor az  $i$ -ik gazdaságból a nemzetgazdaságunk végső fogyasztásához importált termékeket jelöli. A  $v$  és  $v_c$  vektorok a hozzáadott értékeket mutatják. Az  $imp_i$  vektorok a vizsgált nemzetgazdaságból összesen importált termékeket jelölik, azaz  $imp_i = X_{imp_i}1 + c_{imp_i}$ , ahol az  $1$  vektor az összegző vektort jelöli, amelynek minden eleme egy.

	Ágazatok	Végső fogyasztás	Export	Teljes kibocsátás, import	Földterület
Ágazatok	$X$	$c$	$exp$	$x$	$L$
1. ország	$X_{imp_1}$	$c_{imp_1}$		$imp_1$	
2. ország	$X_{imp_2}$	$c_{imp_2}$		$imp_2$	
...	...	...		...	
m. ország	$X_{imp_m}$	$c_{imp_m}$		$imp_m$	
Hozzáadott érték	$v$	$v_c$			
Teljes kibocsátás	$x$				

6. táblázat. Egy nemzetgazdaság input-output táblája külkereskedelemmel

Ezek után konstruáljuk meg a modellt input együtthatóit a gazdaságba és az importokra is:

$$A = X\langle x \rangle^{-1}, \quad A_{imp_i} = X_{imp_i}\langle x \rangle^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, m).$$

Ezekkel az együtthatómátrixokkal a következő egyenleteket nyerhetjük, amelyek leírják a gazdaságot:

$$x = Ax + c + exp,$$

$$imp_i = A_{imp_i}x + c_{imp_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

Ezzel az összefüggéssel lényegében megegyezik a 3. táblázat modellje, amennyiben

$$X_{imp} = \sum_{i=1}^m X_{imp_i}, \quad c_{imp} = \sum_{i=1}^m c_{imp_i},$$

vagyis nem csináltunk mást, mint az importot forrásuk szerint válogattuk szét.

Térjünk most rá az ökológiai lábnym megragadásához. Mint látható, a fergni értelemben vett földszorzót csak a vizsgált nemzetgazdaságra ismerjük a többi gazdaságra nem, mert akkor minden nemzetgazdaság input-output modelljével tisztában kellene lennünk. Ha mégis ismernénk az ottani földszorzókat, akkor azok a következő formát vennék fel:

$$\langle l_i \rangle (I - A_i)^{-1},$$

ahol az  $A_i$  mátrix az  $i$ -ik nemzetgazdaság ágazati kapcsolati mérlege, és az  $l_i$  vektor a gazdaság földigénye. Ennek ismeretében az importokat, amit az általunk vizsgált gazdaság felhasznál, összegezhethjük az 1. ábrán bemutatott rendező modellnek megfelelően:

$$\sum_{i=1}^m \langle l_i \rangle (I - A_i)^{-1} imp_i = \sum_{i=1}^m \langle l_i \rangle (I - A_i)^{-1} A_{imp_i} x + \sum_{i=1}^m \langle l_i \rangle (I - A_i)^{-1} c_{imp_i}.$$

Ez a kifejezés akkor egyezik meg a korábbi modellekkel, ha  $A = A_i$ , valamint  $l = l_i$ , vagyis minden gazdaság homogén abban az értelemben, hogy azonos a technológiai mátrixa, és azonos területűek. Ekkor teljesül az alábbi összefüggés:

$$imp = \sum_{i=1}^m A_{imp_i} x + \sum_{i=1}^m c_{imp_i},$$

ami azt jelenti, hogy összegezzük az importokat, annak származási helyétől függetlenül. A további vizsgálatainkat ezen az aggregált modellen folytatjuk tovább, ahol

$$A_{imp} = \sum_{i=1}^m A_{imp_i}, \quad c_{imp} = \sum_{i=1}^m c_{imp_i}.$$

A vizsgált modell tehát most a következő lesz:

$$x = Ax + c + exp,$$

$$imp = A_{imp} x + c_{imp}.$$

Oldjuk meg ezt a modellt a teljes kibocsátásra:

$$x = (I - A)^{-1}c + (I - A)^{-1}exp,$$

$$imp = A_{imp}(I - A)^{-1}c + A_{imp}(I - A)^{-1}exp + c_{imp}.$$

Itt az első egyenletrendszer a hazai termelést írja le, míg a második rendszer az importot mutatja a végső hazai felhasználás, az export és a végső felhasználáshoz közvetlenül importált termékek függvényében. A földigényeket úgy tudjuk meghatározni, hogy a hazai egyenleteket a hazai terület diagonalizált mátrixával szorozzuk, míg az importált termékekre a földszorzót alkalmazzuk. Ezzel a

$$\langle l \rangle x = \langle l \rangle (I - A)^{-1}c + \langle l \rangle (I - A)^{-1}exp,$$

$$\langle l \rangle (I - A)^{-1}imp = \langle l \rangle (I - A)^{-1}A_{imp}(I - A)^{-1}c +$$

$$\langle l \rangle (I - A)^{-1}A_{imp}(I - A)^{-1}exp + \langle l \rangle (I - A)^{-1}c_{imp}$$

kifejezést kapjuk. Így a földigényekre öt összefüggésünk van, amelyek

- $\langle l \rangle (I - A)^{-1}c$ : a végső fogyasztás hazai földigénye,
- $\langle l \rangle (I - A)^{-1}exp$ : az export hazai földigénye,
- $\langle l \rangle (I - A)^{-1}c_{imp}$ : a végső fogyasztáshoz importált termékek földigénye,
- $\langle l \rangle (I - A)^{-1}A_{imp}(I - A)^{-1}c$ : a végső fogyasztás előállításához importált termékek földigénye,
- $\langle l \rangle (I - A)^{-1}A_{imp}(I - A)^{-1}exp$ : az exportált termékek előállításához importált termékek földigénye.

Ezeknek a kategóriáknak az ismeretében két csoportba sorolhatjuk a földigényeket: (1) hazai felhasználású földigények, amelyek a végső fogyasztáshoz kapcsolódnak, és (2) a külföldi felhasználású földigények, amelyek az exporthoz tapadnak, és így nem jelennek meg a hazai felhasználásban. Ez utóbbi földigényt mint átmenő tételt számíthatjuk, ugyanis importálás után exportban el is hagyja az adott országot, és annak gazdaságát, így az ország földigényébe nem kerül be.

Vessük most össze Bicknell et al. [1] és Ferng [2] eredményeit a most ismertetttel, amit a 7. táblázatban szemléltetünk:

	Bicknell et al. [1]	Ferng [2]	Saját modell
A végső fogyasztás hazai földigénye	$l(l - A)^{-1} \langle c \rangle$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c$
A végső fogyasztás közvetlen külföldi földigénye	$l(l - A)^{-1} \langle c_{imp} \rangle$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c_{imp}$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} c_{imp}$
A termelés külföldi földigénye	$l(l - A)^{-1} A_{imp} \langle x \rangle$	-	-
A végső fogyasztás külföldi földigénye	$l(I - A)^{-1} A_{imp} \langle x \rangle$ $\langle c \rangle \langle c + exp \rangle^{-1}$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} A_{imp}$ $(x - exp)$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} A_{imp}$ $(I - A)^{-1} c$
Az export hazai földigénye	-	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} exp$	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} exp$
Az export külföldi földigénye (nem kerül elszámlásra)	-	-	$\langle l \rangle (I - A)^{-1} A_{imp}$ $(I - A)^{-1} exp$

7. táblázat. A két dolgozat által megragadni kívánt kategóriák.

Azonnal látható, hogy Ferng [2] dolgozatában nem határozta meg az export importigényéhez tapadó földszükségletet, földigényt, ami nagyban megnehezítette a termeléshez felhasznált importtermékek földigényének meghatározását. Mivel

$$x - exp - c = Ax \geq 0,$$

ezért az általunk adott földigény alacsonyabb lesz, mint a Ferng által adott. Ezzel elemzésünket befejeztük, a következő fejezetben a számpéldát követve hasonlítjuk össze az eredményeket.

### 6. A korábbi és a saját eredmények összevetése a számpéldán keresztül

Az összehasonlításban csak a lábnyomot érintő kategóriákat vonjuk be. Eltekintünk az exporthoz tapadó tényezőktől, mert az nem jelenik meg közvetlenül a lábnyom kiszámításánál.

	A végső fogyasztás hazai földigénye	A végső fogyasztáshoz közvetlenül felhasznált import külföldi földigénye	A termeléshez felhasznált import külföldi földigénye
Bicknell et al. [1]	8777,02 119,63 156,62	1066,17 143,55 0	1479,3 1222,66 239,25
Ferng [2]	9711,4 1348,95 79,14	1096,48 110,23 3	1896,4 594,52 13,15
Javasolt modell	9711,4 1348,95 79,14	1096,48 110,23 3	1542,49 486,96 10,69

Az összes földigény a Bicknell et al. modelljében 15 290,4, Ferngnél 14 853,3 ha, míg a mi modellünkben 14 389,3 ha, ami azt jelenti, hogy még Ferng modelljéhez képest is a különbség 463,9 ha, ami 3,1 százalékkal alacsonyabb a Ferng által adottnál. Ez a különbség most nem tűnik soknak, de más adathalmazhoz sokkal nagyobb különbség is tartozhat.

## 7. Összefoglalás

A dolgozatban az ökológiai lábnyom meghatározását vizsgáltuk a Leontief-féle input-output modellel. Megmutattuk, hogy az általunk javasolt módszerrel jól leírhatóak a végső fogyasztás és az export ökológiai lábnyomra gyakorolt hatásai.

Eredményünk az, hogy sikerült korrigálnunk a korábbi modellezésben elkövetett apróbb pontatlanságot. Az általunk javasolt módszerrel alacsonyabb lábnyomot számoltunk, ami az eddigi felülbecslést elég jelentősen módosítja.

Megmutattuk azt is, hogy általánosan is lehetne kezelni az importot a lábnyom számításához, azonban ez óriási számítási igénnyel járna, mert minden érintett nemzetgazdaság technikai együttműködését ismerni kellene. A más szerzők által is tett feltételezés azon alapszik, hogy minden gazdaság területe azonos, és a technológiai feltételei is megegyeznek.

Egy következő elemzésben a bemutatott modellt pl. a magyar gazdaság adataival szembesíthetnénk. Ebben az esetben nem kell feltétlenül az ökológiai lábnyommal számolnunk, hanem az lehet karbonlábnyom is. A modell másik irányú kiterjesztése a lábnyomok dinamizálása, vagyis a felhalmozási-beruházási folyamatok lábnyomra gyakorolt hatásának vizsgálata. Ehhez a Leontief-modell dinamikus változata szolgálhat megfelelő módszernek.

## Hivatkozások

- [1] BICKNELL, K. B., BALL, R. J., CULLEN, R., BIGSBY, H. R.: *New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy*, Ecological Economics Vol. **27**, pp. 149-160 (1998).
- [2] FERNG, J.-J.: *Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity*, Ecological Economics Vol. **37**, pp. 159-172 (2001).
- [3] LEONTIEF, W.: *Terv és gazdaság*, (Fordította: Bródy András), Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó. (1977)
- [4] MILLER, R. E., BLAIR, P. D.: *Input-output analysis: Foundations and extensions*, 2nd ed., Cambridge et al., Cambridge University Press (2009).
- [5] REES, W. E.: *Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leave out*, Environment and Urbanization, Vol. **4**, pp. 120-130 (1992).

- [6] WACKERNAGEL, M., REES, W. E.: *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth*, Gabriola Island, BC, New Society Publishers (1996).
- [7] ZALAI ERNŐ: *Bevezetés a matematikai közgazdaságtanba*, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó (1989).



Dobos Imre 1986-ban Budapesten a Vízgazdálkodási Intézetben kezdte pályafutását. Itt kezdett el környezeti problémákkal foglalkozni. 1987-től a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem munkatársa lett. A kutatási és oktatási területe a menedzsment és készletezési problémák kvantitatív modellezése lett. 1991-ben publikálta első impaktfaktoros dolgozatát ezen a területen. 1993-tól a Magyar Távközlési Vállalatnál projektmenedzser volt. 1994 és 2000 között német egyetemeken oktatott és kutatott. Frankfurt (Oder) és Bielefeld városok

egyetemein folytatta termelési rendszerek környezeti hatásainak vizsgálatát. Német kollégáival egy sor dolgozatot publikált. 2001-ben hazatért Magyarországra, és a Budapesti Corvinus Egyetemen folytatta pályafutását. Kutatásainak súlypontja továbbra is az ellátási láncok környezeti hatásainak vizsgálata maradt. 2018-ban váltott a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemre. Dobos Imre mint egyetemi tanár 20-nál több impaktfaktoros publikációval rendelkezik, amelyekre több, mint 430 hivatkozása érkezett a Web of Science adatbázisban.

DOBOS IMRE

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, Közgazdaságtudományok Intézet  
1111 Budapest, Magyar tudósok körútja 2., Q épület  
dobos@kgt.bme.hu

#### A NOTE ON THE CALCULATION OF ECOLOGICAL FOOTPRINT WITH INPUT-OUTPUT MODEL

IMRE DOBOS

Calculation of ecological and other type of footprints is a very popular topic in ecological economics. This paper investigates the mathematical background of footprint calculation on the basis of the input-output model developed by Wassily W. Leontief. The goal of the paper is to present former footprint calculations, and to improve these methodologies.