

Az MFA mutatók alkalmazásának lehetőségei a települési fenntarthatóság jellemzésében

Karcagi-Kováts Andrea

Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma,
Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar,
Gazdaságtudományi Intézet, Debrecen
andrea@gizi.dote.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntarthatóság egyik legfontosabb kihívása az elkövetkezendő évtizedekben a természeti erőforrásokkal való gazdálkodás javítása lesz, mindenek előtt abból a célból, hogy csökkentsük a környezetre gyakorolt antropogén nyomás jelenlegi szintjét, és tiszteletben tartjuk a bolygó eltartó-képességét, biológiai és fizikai korlátait. E feladat első lépése abban áll, hogy megpróbáljuk jobban megérteni társadalmunk anyagi alapjait. Az elmúlt 15 évben számos kutatóintézet tudósai kifejlesztettek egy gyorsan terjedő új kutatási irányzatot, egy új módszertani családot, nevezetesen az anyag-áram elemzést (MFA). Az eszközcsoport egyre nagyobb politikai jelentőségre tesz szert: nemzetközi szervezetek (ENSZ, EU, OECD) arra ösztönözték az államokat, hogy építsék be az MFA eszközeit statisztikai rendszerükbe, és sürgették a kormányokat és a gazdaság szereplőit, hogy alkalmazzák ezeket a módszereket. Dolgozatomban példák segítségével mutatom be, hogyan alkalmazható az MFA közelítés és az abból képzett anyag-áram indikátorok a fenntarthatósági politika elemzésére az önkormányzatok szintjén.

Kulcsszavak: anyagáram-elemzés (MFA), fenntarthatósági indikátor, városi metabolizmus

SUMMARY

One of the key sustainability challenges for the coming decades will be to improve the management of natural resources in order to reduce current levels of anthropogenic environmental pressure and respect the biological and physical limits and the carrying capacity of the planet. The first step towards meeting this challenge is an enhancement of the understanding of the material basis of our society. In the past 15 years, scientists in several research institutes have created a fast growing field of research, a new family of different methods, named material flow analysis (MFA). These instruments have an increasing policy relevance: international organizations (UN, EU, OECD) have encouraged member states to establish MFA accounting in their statistical programmes and urged governments and economic actors to use these tools. In this paper I present selected examples to reveal how the MFA approach and derived material flow indicators can be used for the evaluation of sustainability policies at municipality level.

Keywords: material flow accounting and analysis (MFA), sustainability indicator, urban metabolism

BEVEZETÉS

Az utóbbi 10-15 évben fokozatosan elterjedt az emberi tevékenység fenntarthatóságát (vagy legtöbbször sajnos épp fenntarthatatlanságát) jelző indikátorok egy új csoportja, az anyagáram-elemzés (material flow analysis – MFA) módszertanából származtatott jelzőszámok együttese.

Az új kutatási irányzatot, az ipari ökológiát és az elméletileg hozzá kapcsolódó anyagáram-elemzést (MFA) egy sor kutatóintézet (pl. Wuppertal Institute, World Resource Institute – Washington, Sustainable Europe Research Institute – Bécs, Charles University Environment Centre – Prága, Stockholm Environmental Institute) számos neves tudósa dolgozta ki. A gyökeresen új, interdiszciplináris, a természet- és társadalomtudományok (ökológia, termodinamika és közgazdaságtan) együttműködését igénylő látásmód olyan új fogalmak meggyökerezését segítette elő a társadalomról való gondolkodásban, mint *eltartó képesség*, *társadalmi metabolizmus*, *ipari szimbiózis*, *öko-hatékonyság*, és olyan új politikai célkitűzéseket támogat hatékonyan, mint az *anyagtalánítás*, a *szétválasztás* (decoupling) és a „*Faktor 4 és 10*” koncepció. Az MFA és mutatói nagyszerűen illeszkednek ehhez a forradalmian új gondolati kerethez, egyszerre jelentenek új gondolkodási sémákat, új számbavételi rendszert és új menedzsment eszközt, ez magyarázza a módszer növekvő sikerét a tudományos világban.

Az eszközcsoport ugyanakkor egyre nagyobb politikai jelentőségre is szert tett. Nemzetközi szervezetek (ENSZ, EU, OECD) arra ösztönözték az államokat, hogy építsék be az MFA eszközeit statisztikai rendszerükbe, és sürgették a kormányokat és a gazdaság szereplőit, hogy alkalmazzák ezeket a módszereket. 2000-ben az *Eurostat* közzétette a „Nemzetgazdasági szintű anyagáramlási számlák és indikátorok – Módszertani útmutató” című tanulmányát (EC, 2001). 2004-ben az *OECD* „Tanácsi ajánlások” formájában sürgette tagországait, hogy „tegyenek lépéseket az anyagáram elemzés számlák kidolgozására és támogassák egymást az országokon belül és azok között folyó anyagáramokra vonatkozó ismeretek gyarapításában, valamint javítsák és szilárdítsák meg az ezekre vonatkozó adatgyűjtést” (OECD, 2004).

Deklaráltan ezen ajánlások megvalósítását támogatandó adott közre 2008-ban az OECD egy ötkötetes, összesen 567 oldalas jelentést (OECD, 2008a, b, c, d, e), melyben az anyagáram-elemzés módszertanára építve nagy hangsúly helyeződik az erőforrások hatékony felhasználásának problémakörére. A módszertani útmutatón túl, a jelentés számot vet az elért eredményekkel, és válogatott példák segítségével bemutatja az élenjáró gyakorlatot is.

Mindezek ismeretében nem meglepő, hogy az utóbbi mintegy 15 évben jócskán megszorodott a nemzetgazdasági szintű anyagáram-elemzések (EW-MFA) száma. A regionális vagy lokális szintű elemzések – legalábbis publikált formában – azonban kezdettől fogva mind a mai napig jóval kisebb számban készültek, amint ezt többen is megjegyzik (pl. Pomázi és Szabó, 2006a; Filchakova et al., 2007; Zhou és Sun, 2008), és nem létezik egységesített (standardizált) módszertan sem. Abban (természetesen) a vonatkozó tanulmányok mindegyike egyetért, s többségük (pl. Barrett et al., 2002; Amano és Ebihara, 2004; Pomázi és Szabó, 2006a) hangsúlyozza is, hogy a regionális és lokális szintre vonatkozó anyagáram-elemzések és a hozzájuk köthető jelzőszámok fontos eszközei a tudományos kutatásnak.

E tanulmányban be kívánom mutatni, milyen munkák születtek eddig a városok anyagáram-elemzésének területén, ezek mivel foglalkoztak, és milyen eredményekre jutottak.

AZ ANYAGÁRAM-ELEMZÉS (MFA)

A társadalmi-gazdasági makrorendszerekre (országokra, régiókra, településekre) vonatkozó anyagáram-számlák a rendszerbe beáramló és onnan távozó anyagáram mennyiségét veszik számba tömegegységekben (tonnában vagy kilogrammban). Az elszámolásban többek között szerepelnek a felhasznált természeti erőforrások, a társadalomban és a gazdaságban felhasznált termékek, a kimenő oldalon pedig a természetbe visszajuttatott, tág értelemben vett hulladékok, azaz a rendszer összes környezeti emissziója. A számbavétel legfontosabb előnye, hogy együtt képes leírni a természeti és az ember által generált anyagáramokat (amire a pénzbeli mérés nem alkalmas), így az MFA mérőszámai sokkal jobban használhatók a fenntartható fejlődés indikátoraiként, mint az SNA széles körben elfogadott statisztikai mutatói.

E mögött a folyamatosan formálódó, egyre koherensebbé váló indikátorrendszer mögött néhány közös gyökerű elméleti közelítés, főként az *ökológiai gazdaságtan* és az *ipari ökológia* irányzata áll. Az utóbbi szemléletmódjának lényegét világosan fogalmazza meg Bezegh András: „a gazdálkodók az élővilágban előforduló szimbiózishoz hasonlóan kölcsönösen előnyös módon együttműködhetnek az anyag-, hulladék- és energiagazdálkodás területén, vagyis az ipari rendszereket a természetes ökoszisztémákhoz hasonlóan érdemes kialakítani,

mert ekkor a körfolyamatokban nem keletkezik hulladék, ami terhelné a környezetet” (Bezegh, 2006). Ez a normatív közelítés pozitívista nézőpontból is vizsgálható és kvantifikálható, s számba vehetjük a vizsgált rendszer bemenő, átfolyó és kimenő áramait, összevethetjük ezen értékeket más rendszerek megfelelő mutatóival, vagy elemezhetjük időbeni alakulásukat. Természetesen ebben a szemléletben is létezhetnek célok: ekkor azt vizsgáljuk, hogy milyen távol van a rendszer a zárt anyagáramokkal rendelkező, ideálisnak tekintett, hosszú távon stabil (fenntartható) állapottól. Az anyagáramok mérése az MFA módszertanával a rendszer anyagcseréjének (metabolizmusának) jobb megértését, a kritikus folyamatok feltárását, a célkitűzésekre vonatkozó politikai döntések megalapozását szolgálja, egyebek mellett.

Az anyagáram elemzés (MFA) jelentőségét az emberiség által létrehozott anyagáramok mértéke adja. Pomázi István és Szabó Elemér két munkájukban is hivatkoznak olyan becslésekre, melyek szerint „az ember által „keltett” anyagáramlások nagysága a kontinenseken meghaladja a földtani folyamatokéit” (Pomázi és Szabó, 2006a, b). Behrens és munkatársai a Millennium Ecosystem Assessment Reportra hivatkozva állítják, hogy „az elmúlt 50 évben az emberiség gyorsabban változtatta meg a természetes ökoszisztémákat, mint az emberi történelem bármely más hasonló időszakában” (Behrens et al., 2007).

Az MFA fő céljai, alkalmazási területei között megemlíthető (Gazley és Bhuvanendran, 2005), hogy *i*) információt nyújt a vizsgált térrész (makrogazdaság, régió, település) fizikai metabolizmusának szerkezetéről és időbeli változásairól; *ii*) nemzetközileg összehasonlítható erőforrás-indikátor készletet ad; *iii*) indikátorokat nyújt az erőforrások termelékenységének és ökohatékonyosságának mérésére az erőforrásadatok GDP-hez vagy más gazdasági és társadalmi indikátorhoz való viszonyítása révén.

Az MFA javíthatja a politikusok közötti kommunikációt, a nyilvánosság számára használható részletes információkat nyújt, közös adatforrásokat kínál, melyeket műszaki szakértők, kormányzati tisztviselők és polgárok egyaránt használhatnak a környezetpolitika céljainak kitűzésére és hatékonyságának javítására. Az MFA indikátorok segíthetik az érdekelt feleket a politikában való hatékony részvételben. Könnyen érthető indikátorok révén az MFA egyszerűbbé teszi a jól informált politikai vitákat, legyen szó az életmódról vagy üzleti vállalkozások indításáról, a telephely megválasztásáról vagy a vállalati anyagfelhasználás hatékonyságáról (Wernick és Irwin, 2005).

Az MFA részletes bemutatása helyett az öröndetesen gyarapodó magyar nyelvű irodalomra utalok (KSH, 2002; Kohlhéb et al., 2006; Pomázi és Szabó, 2006a, b, 2008b; Szabó és Pomázi, 2006; Drahos et al., 2007; Herczeg, 2008). Az MFA leggyakrabban használt mutatóiról az alábbi összefoglaló táblázatot közlöm (*1. táblázat*).

Társadalmi-gazdasági makrorendszerek anyagmérlege és mutatói

Inputok(1)	Outputok(2)
Hazai kitermelés(3)	Kibocsátások és hulladékok(4)
Fosszilis fűtőanyagok (szén, olaj ...)(5) Ásványok (érc, homok ...)(6) Biomassza (fa, gabonák ...)(7)	Kibocsátások a levegőbe(9) Lerakott hulladékok(10) Kibocsátások a természetes vizekbe(11) Szétszóródó áramlások és veszteségek(12) (Trágyák, magvak, rozsdák, ...)(13)
Behozatal(8)	
DMI – direct material inputs Közvetlen anyagbevitel(14)	DPO – domestic processed output to nature: Hazai feldolgozásból származó kibocsátás(19)
Nem hasznított kitermelés(15) Bányából/kőfejtőkből(16) Biomassza betakarításából(17) Talajművelés(18)	Nem hasznított kitermelés eltávolítása(20) Bányából/kőfejtőkből(16) Biomassza betakarításából(17) Talajművelés(18)
TMI – total material input: Összes hazai bevitel(21)	TDO – total domestic output to nature: Összes hazai kibocsátás a természetbe(22) Kivitel(23)
Importhoz kapcsolódó közvetett anyagáramok(24)	TMO – total material output: Összes hazai kibocsátás(25)
TMR – total material requirements: Teljes anyagszükséglet(26)	NAS – net additions to stock: A készletek nettó állományváltozása(27) Infrastruktúrák, épületek(28) Egyéb (gépek, tartós javak stb.)(29)
	Az exporthoz társuló közvetett áramok(30)

Forrás: EC, 2001(31)

Table 1: Material balance of social-economic macrosystems and derived indicators

Inputs(1), Outputs(2), Domestic extraction(3), Emissions and wastes(4), Fossil fuels (coal, oil ...)(5), Minerals (ores, sand ...)(6), Biomass (timber, cereals ...)(7), Imports(8), Emissions to air(9), Waste landfilled(10), Emissions to water(11), Dissipative use of products and losses(12), Fertiliser, manure, seeds, corrosion...(13), Direct material inputs(14), Unused domestic extraction(15), From mining/quarrying(16), From biomass harvest(17), Soil excavation(18), Domestic processed output to nature(19), Disposal of unused domestic extraction(20), Total material input(21), Total domestic output to nature(22), Exports(23), Indirect flows associated to import(24), Total material output(25), Total material requirements(26), Net additions to stock(27), Infrastructures and buildings(28), Others (machinery, durable goods, etc.)(29), Indirect flows associated to exports(30), Source(31)

Az MFA-k csoportosításai

Az MFA alkalmazási lehetőségei között célszerű megkülönböztetni *térbeli (földrajzi) szinteket, aggregátsági szinteket, illetve tevékenységi területek szerinti elemzéseket* (Karcagi-Kováts és Kuti, 2008).

i) *Térbeli (földrajzi) szintek.* Az anyagáram-elemzéssel a tér bármely összefüggő halmazának (bemenő és kimenő) árama vizsgálható. A térnek ez az összefüggő halmaza lehet egy vállalati telephely, ipari park, egy település, egy régió, egy ország és valamely országcsoport (pl. az EU). Mi több, lehet az ember által nem érintett (vagy nem uralt) természeti tér egy darabja is (pl. egy erdő), amelynek anyagáramai így összehasonlíthatóvá válnak a technoszféra folyamataival (szemben a monetáris mérésrel).

ii) *Az aggregátság szintjei.* A kémiai elemek illetve bizonyos anyagrendszerek anyagáram-elemzését az SFA (substance flow analysis) mozaikszóval jelöli az irodalom, s ez az aggregálás legalacsonyabb szintje. Az MFA betűjellel olykor a magasabb aggregátsági szinteket alkalmazó módszereket jelölik, noha az SFA is MFA.

iii) *Tevékenységi (funkcionális) területek.*

Az ágazati elemzés valójában nem szintet, hanem horizontálisan egymás mellett létező területeket jelöl (pl. közlekedés/szállítás, ipar, mezőgazdaság, vidékfejlesztés), amelyek nem rendezhetők hierarchikus viszonyba.

Természetesen, az ezen szempontok szerinti csoportosítások „áthatják” egymást, azaz az egyik ismérv szerinti csoportképzés a másik szempont szerinti valamennyi szinten megtehető. Például a szállítási tevékenységre vonatkozó anyagáram-elemzés valamennyi térbeli szinten és ezen belül valamennyi aggregálási fokozatban megvalósítható (Karcagi-Kováts és Kuti, 2008).

Az alábbi néhány konkrét példa besorolása a megfelelő csoportokba nem okozhat nehézséget, s segíthet a fentiek jobb megértésében.

A World Resource Institute a múlt század utolsó éveiben arra törekedett, hogy támogassa az Egyesült Államok mezőgazdasági és erdészeti szektorának részletesebb anyagáram-elemzését (WRI, 2000).

Davis és munkatársai (2007) az Egyesült Királyság vas és acél felhasználását, Federici és munkatársai (2008) az olasz autópályák és vasúti szállítási rendszer jellemzőit vizsgálták az anyagáram-elemzés módszertanával

AZ EDDIG MEGVALÓSÍTOTT VÁROSI MFA-K

A témával foglalkozó tanulmányok egy jelentős része (pl. OECD, 2003; Huang és Hsu, 2003; Binder, 2007) Wolman úttörő munkáját (1965) említi, mint amely elsőként a maihoz hasonló közelítésben tárgyalta a városok anyagcsere-folyamatait, a várost egy sajátos ökoszisztémának tekintette.

Igyekeztem megkeresni valamennyi megvalósított, regionális és települési szintű MFA-t. Alapos gyűjtőmunkám eredményét a 2. táblázatban

foglalom össze, mely tartalmazza az általam fellelt, adott régióra vagy településre vonatkozó, konkrét adatokat eredményező MFA-t, bármilyen aggregátsági fokon (kivéve az SFA-kat), illetve tevékenységi körre készültek is.

A regionális és települési szinten megvalósított MFA-k természetesen szintén különböznek az aggregátság szintjei szerint, és egy-egy kiválasztott tevékenységi körre is készültek települési MFA-k. Az alábbiakban bemutatok néhány konkrét települési anyagáram-elemzést e rendezőelv szerint.

2. táblázat

Regionális és települési anyagcserevel foglalkozó tanulmányok

Év(1)	Szerző(2)	Város/régió(3)	A tanulmány címe(4)	Kutatóhely(5)
1965	Wolman			
1977	Duvigneaud, Denaeyer-De Smet	Brussels (Belgium)	<i>L'Ecosystème urbain</i>	The Metabolism of Cities
1978	Newcomb <i>et al.</i>	Hong Kong	<i>The metabolism of a city: the case of Hong Kong</i>	
1998	Obernosterer <i>et al.</i>	Vienna (Austria)	<i>Urban metabolism – The City of Vienna</i>	Resource Management Agency, Vienna
1999	Newman	Sidney (Ausztrália)	<i>Sustainability and cities: extending the metabolism model</i>	
2000	Decker <i>et al.</i>	A világ 25 legnagyobb városa	<i>Energy and material flow through the urban ecosystem</i>	Univ. of New Mexico, Univ. of California
2001	Gorree <i>et al.</i>	Amsterdam (Hollandia)		
2002	Barrett <i>et al.</i>	York (Egyesült Királyság)	<i>A Material Flow Analysis and ecological Footprint of York</i>	Stockholm Environmental Institute
2002	Tanikawa <i>et al.</i>	Kitakyushu City (Japán)	<i>Estimation of Future Material Balance in Urban Civil Infrastructures and Buildings</i>	Wakayama University
2003	Sahely <i>et al.</i>	Toronto (Kanada)	<i>Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study</i>	
2003	Hammer <i>et al.</i>	Hambourg (Németország)	<i>Material Flow Analysis of the City of Hamburg</i>	Sustainable Europe Research Inst.
2004	Amano és Ebihara	47 prefektúra (Japán)	<i>Eco-intensity Analysis as Sustainability Indicators related to Energy and Material Flow</i>	Ritsumeikan University, IBM Japan, Ltd.
2005	Schulz, N.	Singapore	<i>Contributions of Material and Energy Flow Accounting to Urban Ecosystems Analysis: Case Study Singapore,</i>	United Nations University
2006	Johanson, E.	Göteborg region (Svédország)	<i>Material Flow Analysis of Aggregates Case Studies of Two Municipalities in the Göteborg Region</i>	Chalmers University of Technology
2007	Barles, S.	Párizs (Franciaország)	<i>A material flow analysis of Paris and its region</i>	Univ. Paris8, CNRS
2007	Meinzinger	Hambourg (Németország)	<i>Resource-oriented wastewater management scenarios for urban areas: Material Flow Analysis for the city of Hamburg</i>	Hambourg University of Technology
2008	Zhou és Sun	Chengyang District in Qingdao (Kína)	<i>Analysis on Characteristics of Regional Material Metabolism Based on MFA: A Case Study of Chengyang District in Qingdao</i>	
2008	Ngo és Pataki	Los Angeles County (USA)	<i>The energy and mass balance of Los Angeles County</i>	Department of Earth System Science, University of California
2008	Pomázi és Szabó	Budapest	<i>Urban Resource Efficiency: The Case of Budapest</i>	KvVM (Magyarország)

Forrás: saját gyűjtés az Interneten elérhető források alapján. A táblázatban szereplő munkák közelítésben és a kidolgozottság fokában olykor jelentős mértékben eltérnek egymástól(6)

Table 2: Studies dealing with regional and settlement metabolism

Year(1), Author(2), City/region(3), Title of the study(4), Research institute(5), Source: collected by the author from the Internet. The works presented in the table follows different approach and show significant variance in elaboration(6)

Városi MFA-k – különböző aggregáltsági fokon

Az aggregáltsági fok szempontjából a skála alsó végén helyezkedik el az *elemáram-elemzés* (substance flow analysis – SFA), amely egy adott településen csak egyetlen elem anyagforgalmát vizsgálja. Ezzel a típusú MFA-val ebben a munkámban nem foglalkozom, mégis érdemes megemlíteni legalább néhány eredményt ebből a körből. Példaként kínálkozik Pataki és munkatársai (2006) tanulmánya, mely az amerikai városok szén-mérlegét, illetve a globális szén-körforgáshoz való hozzájárulását vizsgálja föl. Egyebek mellett a vizsgált időszak hossza miatt említésre méltó Schmid (2003) munkája, mely egy svéd kisváros, Linköping foszformérlegét mutatja be 1870 és 2000 között. Hedbrant (2004) hét nehézfém (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) áramait elemzi Stockholm városi metabolizmusában. (Megemlítem, bár országos SFA-ról van szó, hogy Herczeg Márton elkészítette Magyarország hazai higany-áramlás mérlegének első változatát (Herczeg, 2008), amely a későbbiekben segítheti a települési SFA-k kidolgozását.)

Igen népes (talán a legnépesebb) a munkáknak az a csoportja, amelyhez tartozó kutatások a legfontosabb anyagáramok közül számosat, esetleg ezen áramok mindegyikét igyekszik számba venni, de külön-külön vizsgálja őket, összegzett mutatókat nem képez belőlük.

Ezek között elsőként kell megemlíteni egy gyakran hivatkozott tanulmányt, mely még 10 éves sincs. Decker és munkatársai (2000) a világ 25 legnagyobb városára mutatnak be adatokat az anyag- és energiaáramlásra vonatkozóan. A városi metabolizmus koncepciójára azonban csak kevés utalást tesznek, a víz, levegő, fűtőanyag és élelmiszer áramait vizsgálják, valamint egyes aggregátumokat is.

Kennedy és munkatársai (2007) például négy alapvető áram szempontjából elemzik a városok anyagcseréjét. Ezek: víz, anyagok, energia és tápanyagok. Úgy vélik, hogy a városok közötti különbségek a városok korából, fejlettségi szintjéből (pl. elérhető technológia) és kulturális tényezőkből származhatnak. További különbségek, különösen az energiaáramok tekintetében, feltehetően az éghajlatbeli és a városi népsűrűségben tapasztalható különbségek következményei. Sahely és munkatársai (2003) kanadai városokra, elsősorban a torontói agglomerációra vizsgálták az élelmiszerek, az energia, a víz és az ásványi anyagok áramait, és a lakosság száma és az erőforrások felhasználása közötti összefüggéseket.

A legfrissebb írások közül ebbe a csoportba tartozik például Ngyo és Pataki (2008) cikke, melyben Los Angeles County input és output anyagáramai közül az élelmiszerek, a víz, az energia és egyes szennyezőanyagok áramlását vizsgálták. Az találták, hogy 1990 és 2000 között az egy főre jutó erőforrás-inputok és szennyező outputok általában csökkentek (az élelmiszer input és a szennyvíz-kibocsátás kivételével). Úgy vélik, hogy a javulás egyszerre volt az önkormányzati politika, a jobb technológiai megoldások, a javuló közösségi infrastruktúra

eredménye. Megjegyzik, hogy az egy főre jutó erőforrás-felhasználás egyes kategóriákban (különösen a víz input és a szállítási energia esetén) viszonylag magas más önkormányzatok és városok mutatóihoz képest. Az egy főre jutó üvegház-gáz kibocsátás viszont alacsonyabb Los Angeles County-ban, mint az USA átlaga, de magasabb a korábbi nemzetközi elemzésekben szereplő adatoknál, ami főként a magas közlekedési kibocsátásoknak tudható be.

Ide sorolható Pomázi István és Szabó Elemér úttörőnek számító munkája (Pomázi és Szabó, 2008a, b) is, melyben Budapest erőforráshatékonyására vonatkozó adatokat mutattak be az OECD 2008. április 23-25-én tartott konferenciáján.

A városok alapvető anyagáramai közül – amint azt a tanulmányok egy jó része aláhúzza (pl. Kennedy et al., 2007) – pusztán mennyiségét tekintve, tömegegységekben mérve, a víz messze a legjelentősebb. Már Wolman úgy becsülte 1965-ös tanulmányában, hogy egy egymilliós amerikai város vízigénye 625 ezer tonna lenne naponta, ami a fűtőolaj 9500 tonnányi és az élelmiszer 2 ezer tonnányi tömegével összevetve, jelzi a víz domináns szerepét (Kennedy et al., 2007). Bár az MFA elméleti modellje szerint a víz- és levegőáramokat is figyelembe kellene venni az elemzés során, mivel azonban „ez a két anyagáram egy nemzetgazdaság esetében az összes anyagáramlásnak körülbelül 95 százalékát teszik ki, ezért minden más áramlás ’eltörpülne’ mellettük” (Drahos et al., 2007), így a gyakorlati számbavételi nehézségek miatt a levegő és a víz gyakran kimarad a mérlegből.

Végül, az aggregáltság legmagasabb fokán, a városokon átáramló anyagok minőségi különbségei teljesen eltűnnek, és a tömegegységekben kifejezett aggregált mutatókhoz jutunk. Ez felel meg a teljes, országokra vonatkozó, teljes aggregálást végző anyagáram-elemzéseknek (EW-MFA), ahol az anyagcsere-folyamatok az 1. táblázatban bemutatott aggregált makromutatókkal jellemezhetők.

Az egyik legátfogóbb települési MFA York városára készült (Barrett et al., 2002). Ennek alapvető célja a város lakói által fogyasztott élelmiszerek és fogyasztási cikkek mennyiségének mérése volt. A háztartási szektor által fogyasztott élelmiszer/ital 48 csoportját vették figyelembe a számítások során. Magukon a termékeken túl, számoltak azok termesztéséhez, betakarításához, feldolgozásához és a szállításhoz szükséges energia, valamint a csomagolóanyagok mennyiségével is. Figyelembe vették a kapcsolódó hulladékokat és az ezek szállításához és kezeléséhez felhasznált energiát, valamint a hulladéklerakók metánkibocsátását. Éves szinten (2000) York ellátása 92.500 tonna élelmiszere/italal összesen 515.000 tonna anyagot igényelt, amelynek többsége (több mint 300.000 tonna) fosszilis energiahordozó, a társuló rejtett áramok pedig 100.000 tonnára rúgtak. Az élelmiszer/ital minden egyes tonnája 0,25 tonna hulladékot eredményezett. 2000-ben York lakosai 5.965 új gépkocsit vásároltak, ami több mint 6.000 tonna inputot jelent (ez azonban nem a teljes

anyagáram, mivel a társuló rejtett áramok tömege mintegy tízszer nagyobb, csaknem 65.000 tonna). Ugyanebben az évben 700 gépkocsit raktak le (770 tonna). Az utasszállítás által igényelt 11.800 tonna üzemanyag összesen 36.000 tonna CO₂-emissziót eredményezett. York lakói csaknem 100.000 új elektromos berendezést és elektronikai eszközt vásároltak 2000-ben, ami 1.370 tonnát nyomott. A kapcsolódó energiahordozókkal és rejtett áramokkal együtt ez összesen 74.000 tonna anyagáramot jelentett. Az output oldalon ez a tétel csaknem 1.500 tonna háztartási hulladékot eredményezett, melynek többsége lerakásra került. A nem fogyasztási célú egyéb javakból (pl. papír, újságok, ruhaneműk, pelenka, szárazelemek) 2000-ben 32.000 tonnát vásároltak a város lakói, az energiahordozók és a rejtett áramok beszámításával együttesen 154.000 tonnát. Új utak építése, utak és járdák felújítása (2000-ben rendre 7, 32,2 és 65 km) több mint 1.000.000 tonna, energiahordozókkal és rejtett áramokkal együtt 1.330.000 tonna anyagot igényelt. A 2000-ben épült 750 új ház mintegy 350.000 tonna anyagbevittelt igényelt (rejtett áramokkal együtt 650.000). Ezzel párhuzamosan, ugyancsak 2000-ben, 160.000 tonna építési hulladék keletkezett, amelyből 40.300 tonnát forgattak vissza, a többit hulladékként lerakták. Becsléseket készítettek továbbá – itt nem részletezett módon – a kereskedelmi és közületi szektor fogyasztással összefüggő anyagáramaira (79.200 tonna). A Yorkra készített anyagáram-elemzés egyik kiemelendő sajátossága, hogy kiszámolták a város *teljes anyagszükségleti* mutatóját (TMR) a 2000-es évre. Ennek értékére 3.387.000 tonna adódott, ami 18,8 tonnát jelent lakosonként. Mindezt csupán illusztrációnak szántam. Az eredményekből levont számos következtetés közül csak a leglényegesebb kiemelésére van módom: *az anyagáram-elemzésből képzett mutatók alkalmas indikátoroknak bizonyulnak a városi fenntarthatóság jellemzésére.*

Egy-egy tevékenységi körre készült városi MFA-k

A tanulmányok egy másik csoportja az anyagok vagy tevékenységek egy-egy osztályára, típusára (pl. építési anyagok, élelmiszerek, hulladékok, víz) végez elemzést, és pusztán erre az anyagra vagy tevékenységre vonatkoztatott vizsgálatok alapján von le következtetéseket a város anyagforgalmára vonatkozóan.

Kennedy és munkatársai (2003) egyik tanulmányukban Toronto és agglomerációja *közlekedéshez köthető* anyagáramait vizsgálták, és arra jutottak, hogy mindenféle szállítási tevékenységhez kapcsolható inputok és outputok általában emelkedtek a vizsgált időszakban (1987-1999). Összehasonlításként az egy főre jutó élelmiszer és víz inputra utalnak, amely viszonylagos stabilitást mutatott a vizsgált időszakban, miközben az egy főre jutó szennyvíz output és a szilárd hulladék teljes outputja csökkent. Következtetésük, hogy a növekvő kereskedelemnek és az elővárosok terjeszkedésének következtében fokozódó szállítási

tevékenység jelenti a várost fenyegető legdinamikusabb környezeti stresszhatást.

Az érdekesség kedvéért megemlítem Barles (2007) munkáját, amelyben a szerző Párizs metabolizmusát vizsgálja egy sajátos szempontból (a folyó és a város közötti anyagcsere oldaláról), az 1790 és 1970 közötti időszakban.

VÁROSOK ANYAGCSERÉJE ÉS AZ ANYAGFELHALMOZÓDÁSOK

A városok anyagcserejének elemzését végző munkák egy része nem csupán (ritkábban nem is elsősorban) az anyagáramokat vizsgálja, hanem az anyag-felhalmozódások, a tág értelemben vett anyagkészletek (stockok) közvetlen mérését, becslését tűzi ki célul. Az MFA-k is érintik a készletek változását, hisz az output és az input különbsége a rendszer tömegét növeli amennyiben pozitív, illetve csökkenti, ha negatív érték. Az MFA-ban tehát a „készletek nettó állományváltozása” (NAS) mutató ad számot a problémáról.

A készletek közvetlen mérése azonban több szempontból is hasznos lenne a városok anyagi folyamatainak vizsgálatakor (és más térbeli szinteken, például az országos elemzések esetén is). Azon túl, hogy ellenőrizhetnénk a készletek nettó állományváltozására kapott becsléseket, sokkal pontosabb képiünk lenne a készletek anyagszerkezeti összetételéről, korszerkezetéről, egyes részeknek potenciális hulladékforráskénti megjelenéséről stb.

Tanikawa és munkatársai (2002) Kitakyushu City készleteinek (azaz az épületeknek, az infrastruktúrának) az időbeli változásait elemezve arra a következtetésre jutottak, hogy a közeli jövőben a gyors növekedés időszakában felhalmozott városi anyagkészletek (épületek) hulladékká válva jelentős anyagáramot generálnak majd.

Kytzia és Dürrenberger (1999) egyenesen azt állítják, hogy a készletváltozási ráták kulcsindikátorokká válnak, amelyek befolyásolhatják a fejlődést a városok esetében. Obermosterer és Brunner (2001) hasonlóan fontosnak tartják a stock-okat: szerintük a városok készletei a diffúz emisszió potenciális forrásai. Arra a következtetésre jutnak, hogy az ólom esetében ezen emisszió nagyságrendje megegyezhet a többi emisszióéval.

Az erőforrások áramainak erőteljessége fölötti aggodalmon túl, kritikus fontosságú a városi anyagcsere folyamatban végbemenő *felhalmozódási és raktározódási* folyamatok megértése. A *növekedés*, amely természeténél fogva része az anyagcsereinek, változásokat idéz elő a városi víztározókban tárolt víz mennyiségében, az épületekben felhalmozott anyagok, a városi épületrétegben tárolt hőmennyiség és a városi szemételepeken felhalmozódó potenciálisan felhasználható tápanyagok mennyiségében (Kennedy et al., 2007).

Brunner és Rechberger (2002) ugyancsak nagy jelentőséget tulajdonít a kérdésnek, és kiemeli, hogy „napjaink városlakóira 300-400 tonna készlet jut fejenként”. Hozzáteszik, hogy „... a jövő építészeire

és mérnökeire új városi rendszerek tervezésének kalandja vár. A jövőben a városokba beépített anyagkészletek mennyiségét és helyét ismerni kell. Az anyagoknak úgy kell megtestesülniük a készletekben, hogy könnyen újrahasznosíthatók és környezeti szempontból ellenőrizhetők legyenek”.

Noha ez a néhány példa még illusztrációnak sem elegendő, a további irodalom ismeretében megfogalmazok néhány feltevést a városok anyagfelhalmozódásainak számbavételével kapcsolatban, amit további kutatásokkal kell alátámasztani.

- A települések anyag-felhalmozódásainak (anyagkészleteinek, stock-jainak) számbavétele alapvető fontosságú a települések anyagcsere-folyamatai megértése szempontjából.
- Az anyagáram-elemzés fejlődését is elősegíthetné a települési stock-folyamatok kutatása.
- A fentiek ellenére a kérdéssel foglalkozó kis számú szakirodalom kialakult elméleti keretek, mi több, világos hipotézisek nélkül vizsgálta a kérdést.
- A települések anyag-felhalmozódásainak (anyagkészleteinek, stock-jainak) számbavételéhez egységesített mutatószám-rendszer szükséges. Ennek kialakulását kiindulópontként szinte bármilyen indikátorkészlet előrevinné.

A VÁROSI ANYAGÁRAM-ELEMZÉS JELENTŐSÉGE

A városi MFA tárgykörében írt tanulmányok számos érvt sorakoztatnak fel a városi anyagáram-elemzés fontosságának, jelentőségének bizonyítására. Ezek között elméleti szempontok éppúgy megtalálhatók, mint gyakorlati megfontolások.

A kérdéskör jelentőségét talán Filchakova és munkatársai (2007) ragadják meg a legjobban. Azzal érvelnek, hogy világ népességének több mint a fele urbanizált környezetben él, így a városok anyagcsereje – amin a városlakók életéhez szükséges anyag- és energiaáramokat értik – felelős a globális erőforrások elfogyasztásának a többségéért és azokért a hatásokért, ami mindebből a környezetet terheli.

Ettől függetlenül, pusztán *elméleti oldalról* is rendkívül komoly szerepet játszhat az MFA, mert segíthet megérteni jóval általánosabb kérdésköröket, egyebek mellett világosabbá teheti magának a fenntarthatóságnak a koncepcióját, így hozzájárulhat a szemlélet kedvező változásához.

A fenntartható fejlődést a legtöbb politikai dokumentum máig helytelen, elmaradott közelítésben tárgyalja. Ennek egyik leggyakoribb formája a fenntarthatóság „három pillérének” elszakított tárgyalása, mely során „... a gazdasági vagy társadalmi fenntarthatóságot az ökológiától elvonatkoztatva 'önmagában' értelmezik ...” (Kiss, 2005), s ezzel a fenntarthatóság fogalmát teljesen fellazítják, olykor megfosztják lényegi tartalmától, zsákutcába viszik. Helyesen hangsúlyozzák Gáthy és munkatársai (2006), hogy a „fenntartható fejlődés koncepciója ... eredendően globális ökológiai indíttatású. A probléma ebben a szemléletben – igen

leegyszerűsítve, de a lényegét nem torzítva – úgy fogalmazható meg, hogy az emberiség oly mértékben avatkozott be a globális bio-geokémiai körfolyamatokba, hogy az veszélyezteti az évmilliárdok alatt kialakult természeti egyensúlyt, végső soron a minden földi élet fennmaradását. Amennyiben nem változtatunk az emberi társadalom életmódján (a fogyasztási mintákon) és a termelés módján, az élet feltételei kerülnek veszélybe a Földön. Ebben a közelítésben a környezeti célok abszolút elsőbbséget élveznek, s a gazdasági, illetve a társadalmi megfontolásokat a Föld eltartó képességének, a természeti tőke kritikus szintjének, s az ökológiai gazdaságtan többi hasonló fogalmával leírt ökológiai korlátoknak, az ún. erős fenntarthatósági követelményeknek kell alárendelni.”

A városra anyagi rendszerként, sajátos ökoszisztémaként tekintő szemlélet ebben a felfogásban közelíti meg a paradigmát. A városi MFA-val foglalkozó cikkek nem véletlenül hivatkoznak Goodland és Daly (1996) fenntarthatóság definíciójára (pl. Kennedy et al., 2007), mely szerint a fenntartható fejlődés alatt a fejlődés olyan módját értjük, amely esetén a rendszeren átáramló anyag és energia növekedése nem haladja meg a bioszféra regenerációs és hulladék-asszimilációs kapacitását. E meghatározást figyelembe véve, fenntartható az a város, amelynek bemenő anyag- és energiaáramai, valamint hulladék-elhelyezése nem lépi túl a hátszország kapacitását.

A számos, ennél konkrétabb elméleti érv közül a következőket említem meg. Az anyagáramok mértéke az emberi tevékenység által okozott, közelebről nem specifikált környezeti kockázatok összességének proxy-jaként szolgálhat (Spangenberg et al., 1999). Az anyag- és energiaáramok számszerűsítésével, a városi anyagcserevel foglalkozó tanulmányok értékes adaléknak tekinthetők a városfejlődés irányainak elemzésében (Kennedy et al., 2007).

A városi metabolizmus megértése természetesen *gyakorlati okokból* is fontos. A városok életképessége a környező hátszoraggal és a globális erőforrás-hálózattal való területi kapcsolatoktól függ. A növekvő anyagcsere a mezőgazdasági területek, az erdők és a fajok változatosságának növekvő csökkenését eredményezi; valamint több közlekedést és több szennyezést. A városi politika gyakorlóinak figyelembe kell venniük, milyen mértékben haladnak legközelebbi erőforrásaik a kimerülés felé, és amennyiben szükséges, megfelelő stratégiákat kell kidolgozniuk a kitermelés lassítása érdekében (Kennedy et al., 2007).

A tanulmányok egy része kifejezetten utal arra, hogy egyik céljuk az önkormányzatok fejlesztéspolitikai tevékenységének támogatása (Barett et al., 2002).

ESÉLYEK DEBRECEN SZÁMÁRA – EGY KUTATÁSI PROGRAM KERETEI

Az áttekintett települési anyagcsere-elemzések és a kapcsolódó elméleti irodalom elegendően

meggyőző érveket szolgáltat amellet, hogy érdemes hasonló vizsgálatokat végezni Debrecen városra. Úgy tűnik, egy ilyen elemzés úttörő lenne abban a tekintetben, hogy túlnyomó részt nagyvárosokra készültek anyagáram-elemzések. A 200 ezer lélekszám körüli városok összehasonlító vizsgálata jelentős pozitív hozadékkal járna (feltételezhető, hogy nagyjából azonos méretű városokat érdemes összehasonlítani), ehhez hozzájárulást jelentene Debrecen metabolizmusának elemzése. Ezen túl, a városok mérete (lélekszáma) és anyagáramainak mértéke közötti (feltételezhető) összefüggés szempontjából is fontos a különböző méretű városok anyagáramainak vizsgálata.

A tanulmányozott irodalomból az is kitűnik, hogy mindeddig csupán kevés kiterjedt adatgyűjtésre alapozott városi anyagáram-elemzés készült szerte a világon, továbbá interpretációs problémák adódnak abból, hogy nincs megegyezés a legfontosabb fogalmak és módszerek tekintetében a városok anyagcseréjének leírására. Sem ennek, sem az indikátorkészletnek még csupán körvonalai sem kezdenek kirajzolódni. Az eddig elvégzett elemzések közül egyik sem emelkedik ki, így egyik adaptálása, követése mellett sem sorakoztathatók fel meggyőző érvek.

Tanulságosak az empirikus vizsgálatok abból a szempontból is, hogy szinte valamennyiből kiderül, kénytelenek voltak kompromisszumot kötni, s elvi megfontolások helyett olykor a rendelkezésekre álló adatokhoz kellett igazodniuk. Ezért a Debrecen anyagforgalmát felvázoló elemzésben az adatok beszerzése alapvető fontosságú.

Debrecenben eddig nem készült helyi fenntarthatósági stratégia (Local Agenda 21). Tekintve, hogy az Európai Unió legtöbb tagállamában a települések 60-95%-a rendelkezik ilyen dokumentummal, feltehető, hogy ez a követelmény hamarosan a magyar településekre is vonatkozik majd. Debrecen úttörő szerepet játszhatna ebben a folyamatban.

A települési szintű anyagáram-elemzés jó alapot, támogatást nyújthatna egy LA21 dokumentum kidolgozásához, elsősorban a következők révén.

- Idősoros adatokból Debrecen anyagáramainak alakulásáról kaphatunk képet.
- A városi folyamatok anyagintenzitása összehasonlíthatóvá válik más városokéval.
- Jobban megérthetjük a város anyagcsere folyamatait; s ezáltal csökkenthető az anyagcsere-folyamatokból származó veszélyek kockázata.
- A helyi politika képviselői megalapozottabban hozhatják meg döntéseiket.

ÖSSZEGZŐ MEGÁLLAPÍTÁSOK

Az elmúlt 15 évben regionális és települési metabolizmus tárgykörében megjelent elméleti irodalom és közzétett empirikus kutatások alapján a következőkben összegzem tapasztalataimat.

- A városok sajátos ökológiai/technológiai rendszerként való felfogása, a természetes (biológiai) ökoszisztémákkal mutatott

hasonlóságaik vizsgálata ígéretes interdiszciplináris kutatási irányzat. Az ilyen szemléletben készült viszonylag kis számú empirikus vizsgálat hozzájárult az olyan (több szempontból is különböző szinten használatos) új elnevezések, fogalmak megerősödéséhez és fogalmi finomodásához, mint például az *ipari ökológia*, *társadalmi metabolizmus*, *ipari szimbiózis*, *anyagtalánítás*, *öko-hatékonyság*.

- A városok anyag- és energiaáramaik és -készleteik számbavétele valamennyi aggregátsági szinten elősegítheti a városok anyagi folyamatainak, anyagcseréjének a megértését és világosabb bemutatását. Az anyagáram-elemzésnek (MFA) települési szinten is van létjogosultsága, elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt fontos eszköze a fenntartható fejlődés kutatásának és az irányába történő elmozdulásnak.
- A városok metabolizmusát vizsgáló kutatások igen sokrétűek, szerteágazóak, különböző felfogásban készültek, nem létezik egységesített módszertan, sőt egyelőre ennek körvonalai sem látszanak.
- A települések anyag-felhalmozódásainak (anyagkészleteinek, stock-jainak) számbavétele alapvető fontosságú a települések anyagcsere-folyamatai megértése szempontjából. Az anyagáram-elemzés fejlődését is elősegíthetné a települési stock-folyamatok kutatása. A települések anyag-felhalmozódásainak számbavételéhez egységesített mutatószám-rendszer szükséges. Ennek kialakulását kiindulópontként szinte bármilyen indikátorkészlet előrevinné.
- Nem készült még elegendő számú empirikus felmérés a városok anyagforgalmáról ahhoz, hogy általános érvényű tételek születhessenek. A városok metabolizmusát leíró empirikus kutatásokat meg kellene sokszorozni. (Mindemellett megjelölhető néhány városi anyagcsere-folyamat, amely különösen veszélyesnek tűnik a városok fenntarthatóságára nézve. Ezek között szerepel a megváltozott talajvíz szint, a helyi nyersanyag-források kimerülése, a toxikus anyagok felgyülemelése, a nyári hőszigetek kialakulása és a tápanyagok rendszertelen felgyülemelése.)
- A nagyvárosok mellett a közepes és kisebb méretű városok anyagi folyamatait és jellemzőit is vizsgálni szükséges, egyrészt mert ezek ökológiai hatása is jelentős, másrészt az ökológiai hatás mértékének városmérettől való függését csak ezen információk birtokában verifikálhatjuk.

Írásomat azzal a több tanulmányban (pl. Kennedy et al., 2007) visszatérő megállapítással zárom, hogy a legtöbb vizsgált városban az egy főre jutó anyagcsere növekedését tapasztalhatjuk a kilencvenes évektől napjainkig (főként a víz, az energia és az anyagforgalom tekintetében). Úgy tűnik, az anyagtalánítás és a szétválasztás elméleti irodalmakban és úttörő politikai dokumentumokban

sokat hangoztatott követelménye a városok anyagáramai tekintetében ma még csak álom. Ez a riasztó tény is arra utal, hogy további igény van a

városok anyagcseréjét vizsgáló tanulmányokra: meg kell értenünk a folyamatokat, hogy eredményesen meg tudjuk változtatni őket.

IRODALOM

- Amano, K.-Ebihara, M. (2004): Eco-intensity Analysis as Sustainability Indicators related to Energy and Material Flow, 7. www.ritsumei.ac.jp/se/rv/amano/pdf/2004MEQ-amano.pdf
- Barles, S. (2007): Urban metabolism and river systems: an historical perspective – Paris and the Seine, 1790-1970, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 4. 1845-1878.
- Barrett, J.-Vallack, H.-Jones, A.-Haq, G. (2002): A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York (Technical report), Stockholm Environment Institute, Stockholm, 109.
- Behrens, A.-Giljum, S.-Kovanda, J.-Niza, S. (2007): The material basis of the global economy, *Ecological Economics* Vol. 64, Issue 2, December 2007, 444-453.
- Bezogh A. (2006): Az öt éves tervek és az ipari ökológia, In: *Környezeti nézőpontok, Aula Kiadó, Budapest, 163-170.*
- Binder, C. R. (2007): From material flow analysis to material flow management, Part I: social sciences modeling approaches coupled to MFA, *Journal of Cleaner Production* 15. 1596-1604.
- Brunner, P. H.-Rechberger, H. (2002): Anthropogenic Metabolism and Environmental Legacies, In: Douglas, Ian (Ed. by): *Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 3, Causes and consequences of global environmental change, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 54-72.*
- Davis, J.-Geyer, R.-Ley, J.-He, J.-Clift, R.-Kwan, A.-Sansom, M.-Jackson, T. (2007): Time-dependent material flow analysis of iron and steel in the UK, *Resources, Conservation and Recycling* 51. 118-140.
- Decker, E. H.-Elliott, S.-Smith, F. A.-Blake, D. R.-Rowland, F. S. (2000): Energy and material flow through the urban ecosystem, *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol. 25, November 2000, 685-740.
- Drahos E.-Herczeg M.-Szilágyi G. (2007): Nemzetgazdasági szintű anyagáramlás-számlák Magyarországon, *Statisztikai Szemle*, 85. 9. 821-843.
- Federici, M.-Ulgiatei, S.-Basosi, R. (2008): A thermodynamic, environmental and material flow analysis of the Italian highway and railway transport systems, *Energy* 33. 760-775.
- Filchakova, N.-Bader, H. P.-Scheidegger, R.-Robinson, D.-Scartezzini, J. L. (2007): Urban District Energy Futures: A Dynamic Material Flow Analysis (MFA) Model, *CISBAT 2007, EPFL, Lausanne, 4-5 September 2007, 585-590.*
- Gazley, I.-Bhuvanendran, D. (2005): Trends in UK material flows between 1970 and 2003. *Economic Trends* 619. June 2005, 39-47.
- Gáthy A.-Kuti I.-Szabó G. (2006): Fenntartható fejlődési politikák és stratégiák az Európai Unióban. In: *Fenntartható fejlődés Magyarországon – jövőképek és forgatókönyvek (szerk.: Bulla M.-Tamás P.) Stratégiai kutatások – Magyarország 2015. Új Mandátum Könyvkiadó, Budapest, 165-194.*
- Goodland, R.-Daly, H. (1996): Environmental sustainability: Universal and non-negotiable, *Ecological Applications* 6. 1002-1017.
- Hedbrant, J. (2004): Stockholm: A Spreadsheet Model of Urban Heavy Metal Metabolism, Water, Air, & Soil Pollution: Focus, Volume 1, Numbers 3-4 / May, 2001, 55-66.
- Herczeg M. (2008): Anyagáramok elemzése a társadalmi és ipari metabolizmus különböző szintjein, Doktori (PhD) értekezés (Kézirat), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 135.
- Huang, S. L.-Hsu, W. L. (2003): Materials flow analysis and energy evaluation of Taipei's urban construction, *Landscape and Urban Planning* 63. 61-74.
- Karcagi-Kováts A.-Kuti I. (2008): Az anyagáram elemzés indikátorai és alkalmazásuk lehetőségei az agrár- és fenntarthatósági stratégiákban, 50. Georgikon Napok Tudományos Konferencia, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2008. szeptember 25-26., 7. CD-kiadvány (megjelenés alatt)
- Kennedy, C.-Sahely, H. R.-Fung, M. (2003): Impacts of Transportation on the Urban Metabolism, In: *Industrial Ecology for a Sustainable Future (Abstracts from the second ISIE conference), 29 June-2 July 2003 - University of Michigan, International Society for Industrial Ecology, 30-31. <http://www.is4ie.org/events/michigan/pdf/Book%20of%20Abstracts.pdf>*
- Kennedy, C.-Cuddihy, J.-Engel-Yan, J. (2007): The Changing Metabolism of Cities, *Journal of Industrial Ecology, Volume 11, Number 2, 43-59.*
- Kiss K. (2005): Nemzetgazdaság és fenntartható fejlődés: a magyar gazdaság fenntartható fejlődésének koncepciója, Corvinus Egyetem, Budapest (Kézirat)
- Kohlhéb N.-Krausmann F.-Weisz H. (2006): Magyarország társadalmi metabolizmusa, *Kovács, X. évf. 1-4. szám, 2006. Tavasz-Tél, 21-41.*
- Kytzia, S.-Dürrenberger, G. (1999): Can sustainability be achieved by conserving the Urban Structure? 'Nature, Society, History: Long term Dynamics of Social Metabolism' International Conference, September, 30th-October 2nd, 1999, Vienna, Austria, CD-ROM-proceedings, 11. www.oekostrom.eawag.ch/veroeffentlichungen/wien_paper_kytzia.pdf
- Ngo, N. S.-Pataki, D. E. (2008): The energy and mass balance of Los Angeles County, *Urban Ecosystems*, Vol. 11, No. 2 (June 2008) 121-139.
- Obernosterer, R.-Brunner, P. H. (2001): Urban Metal Management: The Example of Lead, Water, Air and Soil Pollution: Focus, Volume 1, Numbers 3-4, 241-253.
- Pataki, D. E.-Alig, R. J.-Fung, A. S.-Golubiewski, N. E.-Kennedy, C. A.-McPherson, E. G.-Nowak, D. J.-Pouyat, R. V.-Romero Lankao, P. (2006): Urban ecosystems and the North American carbon cycle, *Global Change Biology, Volume 12 Issue 11, 2092-2102.*
- Pomázi I.-Szabó E. (2006a): A társadalmi metabolizmus (A fejlett gazdaságok anyagáramlása), L'Harmattan, Budapest, 194.
- Pomázi I.-Szabó E. (2006b): Anyagáramlások a világ legfejlettebb országaiban az Egyesült Államok és Japán példáján, *Magyar Tudomány*, 2006. október, 1225-1235.
- Pomázi, I.-Szabó, E. (2008a): Urban Resource Efficiency: The Case of Budapest, *OECD-UNEP Conference on Resource Efficiency, Paris, 23-25 April 2008, ppt, 15 p. <http://www.oecd.org/dataoecd/12/57/40798361.pdf>*

- Pomázi, I.-Szabó, E. (2008b): Urban Resource Efficiency: The Case of Budapest, Hungarian Statistical Review, Vol. 86, Special Number 12. 155-173.
- Sahely, H. R.-Dudding, S.-Kennedy, C. A. (2003): Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study, Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 30, Number 2, 1 April 2003, 468-483.
- Schmid, T. (2003): The Dynamic Changes of Phosphorous Flow in a Swedish City, 1870-2000, In: Industrial Ecology for a Sustainable Future (Abstracts from the second ISIE conference), 29 June-2 July 2003 - University of Michigan, International Society for Industrial Ecology, 69-70. <http://www.is4ie.org/events/michigan/pdf/Book%20of%20Abstracts.pdf>
- Spangenberg, J. H.-Hinterberger, F.-Moll, S.-Schutz, H. (1999): Material flow analysis, TMR and the MIPS concept: a contribution to the development of indicators for measuring changes in consumption and production patterns, International Journal of Sustainable Development, Volume 2, Number 4. 491-505.
- Szabó E.-Pomázi I. (2006): Az anyagáram-elemzés (statisztikai) módszertani kérdései I-II., Statisztikai Szemle, 84. évf. 3-4. szám, 2006. március és április, 271-283. és 401-416.
- Tanikawa, H.-Hasimoto, S.-Moriguchi, Y. (2002): Estimation of Material Stock in Urban Civil Infrastructures and Buildings for the Prediction of Waste Generation, In: The Fifth International Conference on Ecobalance, November 2002, Tsukuba, Japan, 803-806. http://www.wakayama-u.ac.jp/~tanikawa/pdf_files/200211Ecobalance_tanikawa.pdf
- Wernick, I. K.-Irwin, F. H. (2005): Material Flows Accounts - A Tool for Making Environmental Policy, World Resources Institute, Washington, DC, 43.
- Zhou, Z.-Sun, L. (2008): Analysis on Characteristics of Regional Material Metabolism Based on MFA: A Case Study of Chengyang District in Qingdao, Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2008. ICBBE 2008. The 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2008. ICBBE 2008., 16-18 May 2008. 1438-1441.
- EC (2001): Economy-wide material flow accounts and derived indicators – A methodological guide, European Communities, Luxembourg, 92 p. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-34-00-536/EN/KS-34-00-536-EN.PDF
- KSH (2002): Gazdasági és környezeti számlák integrált rendszere (SEEA), Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, 349.
- OECD (2003): Special Session on Material Flow Analysis, Paris, 24 October 2000, OECD Working Group on Environmental Information and Outlooks (WGEIO), Paris, 115.
- OECD (2004): Council Recommendation on Material Flows and Resource Productivity, OECD. Paris, 20 April 2004.
- OECD (2008a): Measuring Material Flows and Resource Productivity, (Synthesis report), OECD, Paris, 57. http://www.materialflows.net/images/stories/oecd_2008_material_flows_and_resource_productivity.pdf
- OECD (2008b): Measuring Material Flows and Resource Productivity, (Vol. I. The OECD Guide), OECD, Paris, 162.
- OECD (2008c): Measuring Material Flows and Resource Productivity (Vol. II. The Accounting Framework), OECD, Paris, 106.
- OECD (2008d): Measuring Material Flows and Resource Productivity, (Vol. III. Implementing national MF Accounts), OECD, Paris, 105. <http://www.oecd.org/dataoecd/47/28/40486068.pdf>
- OECD (2008e): Measuring Material Flows and Resource Productivity (Vol. IV. Inventory of Country Activities), OECD, Paris, 137.
- WRI (2000): The Weight of Nations (Material outflows from industrial economies), World Resource Institute, Washington D.C., 125.