

Kohlhéb Norbert – Fridolin Krausmann – Helga Weisz: Magyarország társadalmi metabolizmusa *

Témák: biomassza, energia, energiapolitika, entrópia, fejlődés, fenntarthatóság, fogyasztás, kereskedelem, környezet, kutatás, mezőgazdaság, mérés, metabolizmus, módszertan, mutatószám, ökológiai lábnyom, rendszer, statisztika, termelékenység, termodinamika

A metabolizmus a természettudományban elfogadott fogalom, amely valamely szerv vagy szervezet anyagcsere-folyamatainak összességét jelenti. Ennek értelmében a biológiai szervezet energiában gazdag alacsony entrópiájú anyagokat vesz fel és energiában szegény magas entrópiájú anyagokat bocsát ki. A biológiai metabolizmushoz hasonlóan tekinthetjük az egyes ipari, gazdasági folyamatokat is úgy, mint anyag- és energia-átalakító rendszereket, amelyek energiában gazdag anyagokat vesznek fel és energiában szegényebb anyagokat bocsátanak ki termékként, illetve hulladékként. Valójában az egyetlen különbség a biológiai és az ipari-gazdasági-társadalmi folyamatok között az, hogy az utóbbiak közül időben valamennyi folyamatosan változik, vagyis mind technológiájukban, mind struktúrájukban átalakul. A változás az egyes biológiai egységek (szervek, szervezetek, egyedek) egyéni életében nem jellemző, csak egyes genetikai mutációk során jöhet létre (Janssen et al. [2001], 140. o.). Tulajdonképpen az ember által létrehozott struktúrára kifejezetten azok a változások jellemzőek, amelyek a metabolizmusban is megnyilvánulva végigkísérték az emberiség fejlődését a kőkorszaktól az információs társadalom kialakulásáig. Az egyes stádiumok sajátos metabolikus jellemzőkkel bírnak, amelyek sokat elmondanak az adott korszak életkörülményeiről.

Ezen természettudományi módszertan társadalomtudományos alkalmazásának a fenntarthatóság szempontjából rendkívül fontos hozadéka van. Jelesül, hogy a társadalmi egységek ugyanazon mértékegységgel méretnek meg, mint az ökoszisztémák, vagyis az egyes természettudományi (ökológiai) és társadalmi folyamatok az anyagcsere módszertanának alkalmazása során fizikai szinten válnak összehasonlíthatóvá. Továbbá, mivel az emberi társadalom sok esetben tulajdonképpen verseng a természetes ökoszisztémákkal a rendelkezésre álló energiáért és anyagáramokért, viszonylag könnyen kiszámolható, hogy mennyire van szüksége a természetes ökoszisztémáknak és mennyire az emberi struktúráknak, valamint mennyit használt fel az egyik, illetve a másik.

Tehát a fenntarthatósággal foglalkozó társadalomtudomány is hasznosnak tartja a metabolizmus természettudományos módszertanát, és alkalmazza azt az egyes ipari termelési folyamatokra és gazdasági-társadalmi rendszerekre. Ha a vizsgált gazdasági-társadalmi egység valamilyen ipari folyamat, akkor ennek anyag- és energiafelhasználási, valamint -átalakítási folyamatainak összességét ipari metabolizmusnak (industrial metabolism) nevezzük (Ayres–Simmonis [1994], idézi Janssen et al. [2001], 139. o.). Amennyiben a vizsgálati egység valamely társadalmi egység, illetve emberi közösség (nemzetgazdaság, faluközösség stb.), akkor társadalmi metabolizmusról (social metabolism) beszélünk (*metabolism of human society* – Giampietro et al. [2000], 99. o.).

A metabolizmus társadalomtudományi alkalmazásában az anyag-, illetve az energiaáramlás tanulmányozása szétválk. Az anyagáram-elszámolás (material flow accounting – MFA) módszertana kizárólag az anyagi folyamatok elemzésével foglalkozik, míg az energiaáram-elszámolás (energy flow accounting – EFA) módszertana a vizsgált társadalmi-gazdasági egység által felvett energiát, és annak átalakulási folyamatait elemzi. A két módszertant gyakran együtt is említik (material and energy flow accounting – MEFA). Már itt meg kell jegyezni azonban, hogy az anyag- és energiaáramlások között jelentős az átfedés, ezért ezek egymáshoz szorosan kapcsolódó témakörök.

Az anyagáram-elszámolás napjainkban igen felkapott és elfogadott módszertanná vált. Ezt bizonyítja a témában megjelent cikkek sokasága (lásd például az *Ecological Economics* és a *Land Use Policy* című folyóiratokat) és az Európai Unió által kiadott egységesített módszertan és összeurópai értékelés (EUROSTAT [2001]; European Communities [2001]; European Communities [2002]). Ennek keretében vált ismertté az anyagfelhasználás és a gazdasági fejlődés szétválásáról szóló koncepció (decoupling), illetve a hozzá kapcsolódó európai uniós

* A szerzők ezúton fejezik ki köszönetüket Marina Fischer-Kowalskinak, hogy támogatta a tanulmányút előkészítését és a közös tervek megvalósítását. A szöveget szakmai szempontból Herczeg Márton lektorálta.

célkitűzés, a gazdaság „dematerializációja”, amelynek értelmében törekedni kell a gazdasági-társadalmi folyamatok anyagintenzitásának csökkentésére (European Communities [2002], 37. o.).

Az anyagáramok terén hazánk fontos lépéseket tett a Központi Statisztikai Hivatal révén: a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Környezetgazdaságtan Tanszékével együttműködésben Magyarország input és output anyagáram mutatóit számítják ki a 2000 és 2003 közötti időszakra (Drahos–Szilágyi [2005], Herczeg–Szilágyi [2005]).

Az energiaáramokról azonban sem hazánkban, sem az Európai Unióban (eltekintve például Ausztriától) nem készítettek számításokat, bár egy társadalmi-gazdasági egység energiaáramai nagyságának és összetételének alakulása létfontosságú a fennmaradás szempontjából, és ugyanolyan fontos jellemzést ad az adott társadalmi egység metabolikus jellemzőiről, mint az anyagáram-elszámolások. Ennek okán e tanulmány témája elsősorban az energiaáram mérlegek számításának módszertana és a számítási eredmények bemutatása. A tanulmány először a történeti gyökereket vázolja föl, majd a módszertant ismerteti röviden, de kellő alaposítással. A dolgozat második felében az általunk kiszámított magyarországi energiaáram-mutatókat ismertetjük és értelmezzük.

Történeti előzmények

Az emberi közösségek energiafelhasználása, az energiával való gazdálkodása és az ember rendelkezésére álló energia mennyiségi alakulása régóta központi témája a társadalmi metabolizmus módszertanával foglalkozó tudósoknak (Giampietro et al. [2000], 99. o.). Az első kiemelkedő munka *Marx* kortársától, *Podolinsky*tól származik. Podolinsky munkájának középpontjában a világ energetikai kérdései mellett a mezőgazdaság energetikai elemzése állt, és elért eredményei és kijelentései alapján a megújuló energiaforrásokat tanulmányozók előfutárának is tekinthető (Martinez-Alier [1987] és [2003], 7–8. o.). Az emberi munka funkcionális céljának tekintette, hogy növelje a napenergia földi fölhalmozódását, s ne pusztán a már fölhalmozódott (akkumulálódott) energia (például a szén) egyszerű átalakítására törekedjen. Energetikai alapokra helyezte Malthus prognózisát is, és energetikai szempontból kritizálta a kapitalista rendszert (Martinez-Alier [2003], 9–10. o.). Sajnálatos, hogy eredményei hosszú időre feledésbe merültek.

A szociológiai metabolizmus elméletalkotói közül említésre méltó még Herbert *Spencer* (1862), aki szerint a társadalmi fejlődés szoros kapcsolatban áll a rendelkezésre álló energia mennyiségével. Minél több tartalékenergiával rendelkezik egy társadalom, annál inkább képes a fejlődésre és annál kifinomultabb társadalmi szerkezetet alakít ki (Weisz [2001], 23. o.).

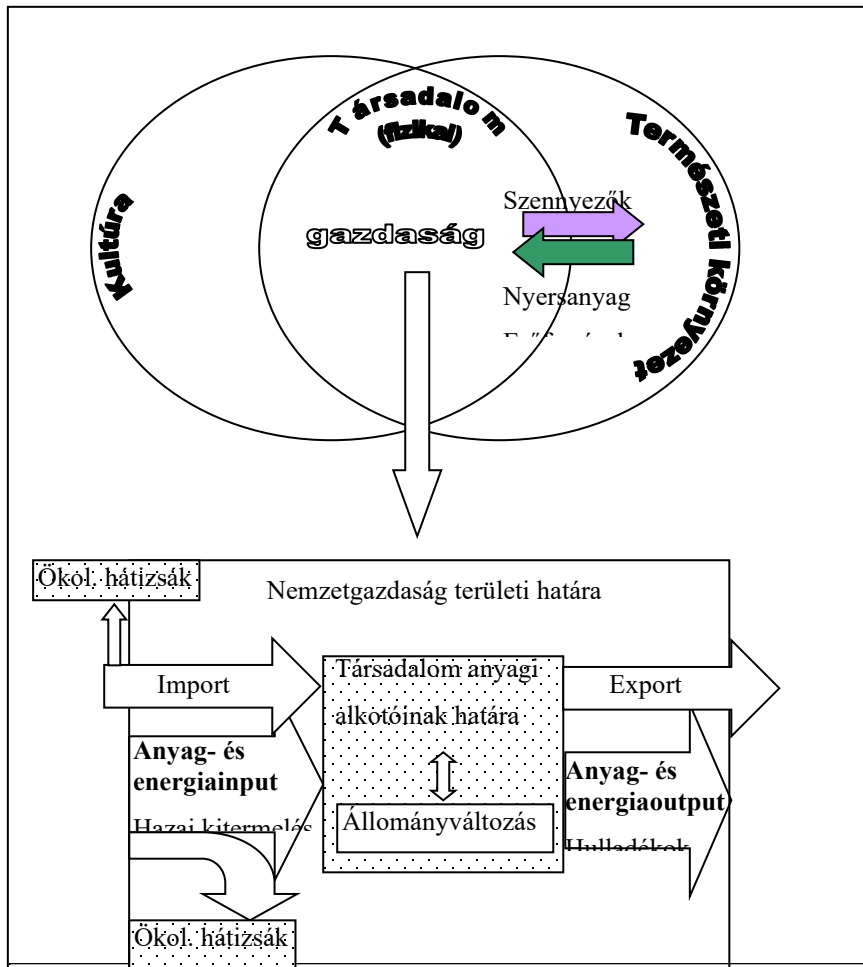
Wilhelm *Ostwald* az entrópia fogalmát társadalmi közegben értelmezte, így jutott Spencerhez hasonló következtetésekre, párhuzamba állítva a társadalmi fejlődést az energiahatékonysággal. Mellesleg Ostwald a napenergia-hasznosítás korai szószólójának is tekinthető, aki már akkor látta a fosszilis energiahordozókra alapozott társadalom veszélyeit, és a gazdaság fenntarthatósága érdekében a napenergiára alapozott társadalom gondolatát szorgalmazta (Weisz [2001], 23–24. o.; Martinez-Alier [2003], 13. o.). Javaslati és tanácsai egyre aktuálisabbakká válnak jelenkori energiapolitikai helyzetünkben.

Napjainkban a Marina *Fischer-Kowalski* által vezetett Társadalomökológia Intézet (Institut für Soziale Ökologie, Fakultät für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung /IFF/, Klagenfurt Universität) kutatja és elemzi az energiaáramokat. E tanulmány egy itt töltött kutatási ösztöndíj révén elsajátított módszertanon, és az ott végzett számításokon alapul.

A társadalmi metabolizmus (anyagcsere) koncepciója

A társadalmi anyagcsere – a biológiai metabolizmus analógiáján alapulva – az emberi társadalom anyag- és energiafogyasztását, illetve átalakítását vizsgálja. Az emberi társadalom anyagi alkotóinak – mint például maga az ember és háziállatai, illetve az ember által létrehozott infrastruktúra – fenntartásához energiában gazdag anyag- és energiaáramok szükségesek. Ezen anyag- és energiaáramok felvételével és felhasználásával (metabolizmusával) tartja fenn az ember társadalma működését. Tehát a társadalmi anyagcserehez tartoznak azok az anyag- és energia jellegű input/output áramok, amelyek egyrészt a társadalmon belül, másrészt a társadalom és a természeti környezet között zajlanak. Az 1. ábra a társadalmi anyag- és energiaáramok sémáját mutatja be.

1. ábra: A társadalom és a gazdaság „anyag- és energiacsereje” (metabolizmusa) környezetével



Haberl et al. [2003], 7. o. nyomán

Az anyag- és energiaáramok tekintetében különbséget lehet tenni attól függően, hogy azok a társadalmi-gazdasági egységbe befelé (input) vagy onnan kifelé (output) áramlanak. A bemeneti oldalon jelentkező anyag- és energiaáramok között megkülönböztethetjük a társadalom saját maga által kitermelt anyag- és energiaáramait – ezt saját kitermelésnek nevezzük – és a „megvásárolt” áramokat, vagyis az importot. Mindkét anyag- és energiaáramhoz hozzászámítandó azok rejtett anyag- illetve energiaáramai, más néven ökológiai hátizsákja, amely ezen áramok létrehozásához szükséges, de a hasznos mennyiségben nem jelentkező úgynevezett meddő anyag- és energiamennyiségeket jelöli (ilyen például az ércek/fosszilis energiahordozók bányászatakor megmozgatott, de a hasznos anyag tömegében már nem jelentkező meddő kőzet vagy egyéb anyag súlya, illetve energiatartalma).

A kimeneti oldalon a szennyezőanyagok, a hulladékok és az export jelennek meg. A vizsgálati egységen (a társadalmon) belül pedig vizsgálható az állományváltozás, amely anyagi, illetve energia jellegű egyaránt lehet (például valamely háziállat állományának vagy egy infrastrukturális létesítménynek a mennyiségi növekedése/csökkenése).

A társadalmi anyagcsere jelentőségét talán úgy érthetjük meg a leginkább, ha egy másik neves mutatóval, az ökológiai lábnyommal hasonlítjuk össze. Az ökológiai lábnyom kutatási kérdése az, hogy adott technológiai színvonalon mekkora terület szükséges egy társadalmi-gazdasági rendszer fenntartásához (Wackernagel–Rees [2001]; Haberl et al. [2004]). Ezzel szemben az anyag és az energia áramlásának elszámolása a társadalmi-gazdasági rendszer és a környezete közötti anyagcserét követi nyomon.

Az ökológiai lábnyom feltételezi, hogy a társadalmi-gazdasági rendszer fenntarthatósága a rendelkezésre álló biológiailag produktív területtől függ. Ha az ember többet használ, mint amennyit – a termelés és a hulladékfeldolgozás során – az adott terület biztosítani tud, akkor a területet túlhasználja (overshoot), ami idővel a természetes ökoszisztéma pusztulásával járhat (Haberl et al. [2004]).

Ellentétben az ökológiai lábnyommal az anyag- és energiaáramlás elszámolásnak nincs területi vonatkozása, s csak relatív értékeket mutat a fenntarthatóság szempontjából (azaz például egy nemzetgazdaságról nem mondja meg, hogy energiafogyasztása összességében fenntartható-e vagy sem).

Az energiaáramlás-elszámolás – akárcsak az anyagáram-elszámolás – fő feladata, hogy a nemzeti számlák rendszerét (System of National Accounts – SNA) a gazdasági adatok mellett a gazdaság/társadalom biofizikai vetületének bemutatásához is megfelelő járulékos információval lássa el. A folyamatok ilyen megjelenítése pedig – a hatékonysági elemzések mellett – utat nyit a fenntarthatósági elemzések, értékelések előtt is. Feltételezi ugyanis, hogy az emberi társadalom által elvont anyag- és energiamennyiségek hiányoznak a természetben, ezért ott károkat okozhatnak. E hatás abszolút mértéke az ökológiai rendszer összetettsége miatt nem meghatározható. Az egyes társadalmak, országok felhasznált anyag- és energiaáramai azonban egymással összehasonlíthatóvá tehetők (például egy főre vagy a bruttó hazai termékre vonatkoztatva), s így értékelhetjük egy közösség öko-hatékonyságát. Ennek alapján összehasonlíthatóak egymással az egyes vizsgálati egységek, illetve azok időbeli fejlődése. Bizonyos szempontok segítségével az összehasonlításból megítélhető, hogy melyik a kevésbé vagy az inkább fenntartható társadalom, illetve eldönthető, hogy a vizsgálati egység fenntarthatóbbá vált-e (EUROSTAT [2002]; Weisz et al. [2005]). Tehát a módszertannal abszolút értelemben nem tudjuk megmondani, mely emberi közösségek fenntarthatók, következtethetünk azonban a közösségek öko-hatékonyságára, s elvégezhető a közösségek fenntarthatósági rangsorolása is. A mutatók időbeli elemzésével pedig megítélhetjük, hogy a „fejlődés” mennyire fenntartható.

A társadalmi anyagcsere módszertanában vizsgálati egységnek a nemzetgazdaságon kívül más egységeket is választhatunk. Vizsgálhatunk egy faluközösséget, egy várost vagy akár egy egész kontinenst. Fontos azonban, hogy a társadalmi-gazdasági határvonal és az azt átszelő anyag- és energiaáramok meghatározhatók legyenek.

Az energiaáram-elszámolások módszertana¹

Mivel az anyagáram-elszámolások (MFA) és az energiaáram-elszámolások (EFA) között kapcsolat áll fenn, biztosítani kell, hogy az anyagszámítások és az energiaszámítások alapját képező gazdasági rendszer határai egybe essenek. Hiszen a módszertan szerint egy gazdaságba beérkező anyagáramlások részben a gazdaság energiainputjának is tekintendők. Fontos továbbá a mérlegszemlélet biztosítása. Ennek értelmében a beérkező mennyiségeknek meg kell egyezniük a kilépő, valamint az állományváltozás során felhalmozódott vagy felszabadult mennyiségek összegével. Tehát az egyenlegnek nullának kell lennie.

Az energiaáram-elszámolás készítésének egyik fő célja pontos képet alkotni a gazdaságon átáramló energiamennyiségekről. Ezért a módszertan nem csupán az úgynevezett technikai energiaszükségletet² tartalmazza, hanem az ember és állatai számára szükséges – szűk értelemben vett – biológiai metabolikus energiaigényt is. Vagyis az ipari-gazdasági folyamatok az infrastruktúra energiaigényén túl az elfogyasztott élelmiszerek és takarmányok bruttó energiatartalmával is számol, tehát az egész társadalmi-gazdasági rendszer energetikai metabolizmusát figyelembe veszi. Ennek következtében a társadalom energiaigénye magasabb lesz, mint a hagyományos energiastatisztikában számított érték. Például Magyarország esetében az energiafogyasztás csupán kb. 1100 PJ³ évente (Tihanyi et al. [2006], 50. o.), míg a társadalmi metabolizmus módszertana alapján számított érték 1600 PJ/év körül alakult az ezredfordulón.⁴

Az anyagáramlásokkal való kapcsolatot az egyes energiahordozók⁵ energiatartalma adja. De ez az energiatartalom bruttó (gross calorific value), ellentétben a konvencionális energiamérlegekben használatos nettó energiatartalommal (net calorific value). Az előbbi ugyanis tartalmazza a felhasználható hasznos hőmennyiségen kívül az energiahordozó víztartalmának elpárologtatásához szükséges energiát is. A 2. ábra az energiaáramok kalkulációs sémáját szemlélteti.

2. ábra: Az energiaáramok kalkulációs sémája (a rövidítéseket lásd a következő alfejezetben)

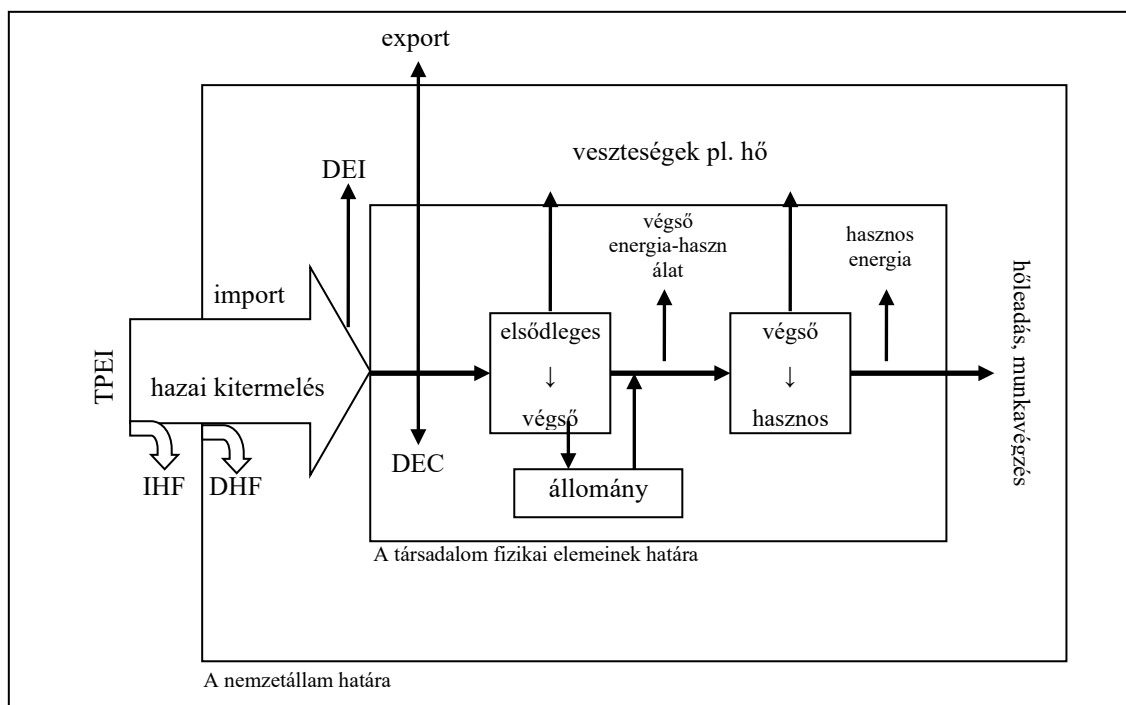
¹ Az alábbi módszertani leírás Haberl (2002) nyomán, illetve az IFF Social Ecology munkatársaival (Helga Weisz és Fridolin Krausmann) folytatott szakmai megbeszélések alapján készült.

² A technikai energiaszükséglet magában foglalja az emberi infrastruktúra működtetéséhez szükséges bruttó energiamennyiséget.

³ PJ = petajoule, azaz 10^{15} joule.

⁴ A számítások fő adatbázisát a különféle energia, illetve termelési és külkereskedelmi statisztikák alkotják. Jelen számítás esetében a FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations – 2003), illetve az IEA (International Energy Agency – 2003) statisztikáiból származtak az adatok.

⁵ Energiahordozókon jelen esetben a technikai energiaszükségletet kielégítő anyagáramok mellett a biológiai metabolizmus anyagáramai is értendőek.



Forrás: Haberl [2002], 28. o.

Az energiaáramok három csoportba oszthatók az áramlás jellegét illetően. Eszerint beszélhetünk a (1) társadalmi-gazdasági egységbe belépő (input), (2) a társadalmi-gazdasági egységen belüli és (3) a társadalmi-gazdasági egységből kilépő (output) energiaáramokról. A belépő energiaáramok adják a társadalmi-gazdasági egység által felhasznált energiát. A kilépő és belépő áramok különbségéből pedig az anyag formájában tárolt energia állományváltozására és a társadalmi-gazdasági rendszer energiaátalakítási és hasznosítási hatékonyságára következtethetünk. A kilépő energiaáramok nagysága a társadalmi-gazdasági egységek entrópia- (némi leegyszerűsítve hulladék-) termelését jelzi. A következőkben részletesen az első két csoportról lesz szó.

A társadalmi-gazdasági egységbe belépő energiaáramok

A közvetlen anyaginputtal (direct material input: DMI) azonos szintű mutató a közvetlen energiainput (direct energy input: DEI). Ez megfelel a gazdaságba belépő teljes energiamennyiségnek, amely tartalmazza a hazai kitermelést (domestic extraction: DE) és az importot (I_m):

$$DEI = DE + I_m$$

A hazai kitermelés (DE) számításakor összegezni kell a nemzetgazdaság területén betakarított biomassza energiatartalmát és az országon belül megtermelt vagy bányászott energiahordozók energiatartalmát. A biomassza energia a mezőgazdasági és erdészeti statisztikából számítható, ezek azonban nem tartalmazzák a legeltetés energiagényét. Ez a takarmánymérlegből becsülhető.⁶

Az import számításakor minden energiatartalommal bíró anyagimportot figyelembe kell venni, mely így az élelmiszerimporttól az energiaimportig minden behozott terméket magában foglal.

A nemzetgazdaság (a társadalom) energiafogyasztását (domestic energy consumption: DEC) úgy kapjuk meg, hogy a közvetlen inputból levonjuk az exportált anyagok energiatartalmát:

$$DEC = DEI - E_x$$

Az energiaáram-mérlegekben a teljes anyagszükségletnek megfelelő energiaáram-mérleg mutató a teljes primer energia input (total primer energy input: TPEI), amely a gazdaságba belépő teljes energiamennyiség mellett

⁶ A fosszilis energiahordozók hazai kitermeléséről a bányászati és a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) statisztikából nyerhetünk adatot.

tartalmazza a rejtett energiaáramokat (hidden flow: HF) is.⁷ A rejtett energiaáramok a hazai kitermeléshez (domestic hidden flow: DHF) és az importhoz kapcsolódnak (imported hidden flows: IHF):

$$\text{TPEI} = \text{DEI} + \text{DHF} + \text{IHF}$$

Azon energiamennyiségek esetében, amelyek mögött nem állnak anyagáramok, az előállításukhoz szükséges bruttó energiamennyiséggel kell számolnunk. Ezt a statisztikában szereplő nettó energiaáramot kell az előállítási hatékonyság reciprokával szorozni.⁸

Fontos figyelembe venni, hogy bizonyos anyagáramok nem vesznek részt az energiaáramlásban, hanem – energiatartalmukat megtartva – anyagukban épülnek be a gazdaság „energia-állományába”. Ilyen anyagáramlások például a különböző kőolajszármazékok, amelyekből műanyag készül, vagy a fa fűrészáru, amelyből bútort készítenek. A kettős elszámolás elkerülése érdekében és a kitermelés ökológiai hatásait érzékeltetendő ezeket az anyagokat energiatartalmuk alapján is input energiaként vesszük figyelembe, függetlenül attól, hogy milyen célra használják fel őket. Később, ha energetikai felhasználásra kerülnek, energiatartalmuk már nemzetgazdaságon belüli energiaáram. E szemlélet szintén különbözik a hagyományos energiamérleg szemlélettől, amely csupán az energiahordozók készleteit és a készlet változását tartja nyilván.

A társadalmi-gazdasági egységen belüli energiaáramok

A társadalmi-gazdasági egységen belüli energiaáramok általában két átalakítási (konverziós) lépcsőn mennek keresztül. Az első lépcsőben a gazdaságba érkezett primer energiaáram (primary energy) végső energiává (final energy) alakul, ezt követően a végső energia hasznos energiává (useful energy) formálódik, amely a munkát elvégezve hulladékhővé (kötött energiává – Georgescu-Roegen [2002]) válik. Ez az emberi rendszeren átáramló hasznosítható energia végső fázisa. Nézzük most közelebbről az egyes átalakítási folyamatok jellemzőit.

Az első konverzió (primer→végső) során származtatott energiahordozók állnak elő, a folyamat során az elsődleges/primer energiaáramok végső energiaáramokká alakulnak.

A végső energiazelfelhasználás (final energy use) tartalmazza mindazon energiaáramokat, amelyekkel valamilyen energetikai szolgáltatást nyújtanak, de nem alakítják tovább más, kereskedelmi forgalomba kerülő energiahordozóvá (például gázmotorban termelt elektromos árammá, amelyet eladnak). Végső energiaáram lehet azonban a közvetlenül energiszolgáltatásra felhasznált energiahordozó is, mint amilyen a fűtőolaj és a földgáz.

A második konverzió során a végső energiából hasznos energia lesz. Hasznos energiának (useful energy) tekinthető minden végleges energiazelfelhasználást követő energiaáram, amely tényleges munkát végez, feladatokat hajt végre (például mechanikai munkát végez; hőt, fényt szolgáltat; adatokat dolgoz fel elektronikusan).

A gazdaságon belüli energiaáram-elszámolások azonban többnyire esettanulmányyszerűek és – a sok becslés miatt – pontatlanok. Mindazonáltal a hagyományos energiamérlegeknél több tényezőt vesznek figyelembe. Így például az ember és háziállatainak tápanyagigényét, illetve az általuk kifejtett munkát is a társadalmi metabolizmus részévé teszik. A 3. ábra az ember és a háziállatok metabolizmusának folyamatát mutatja.

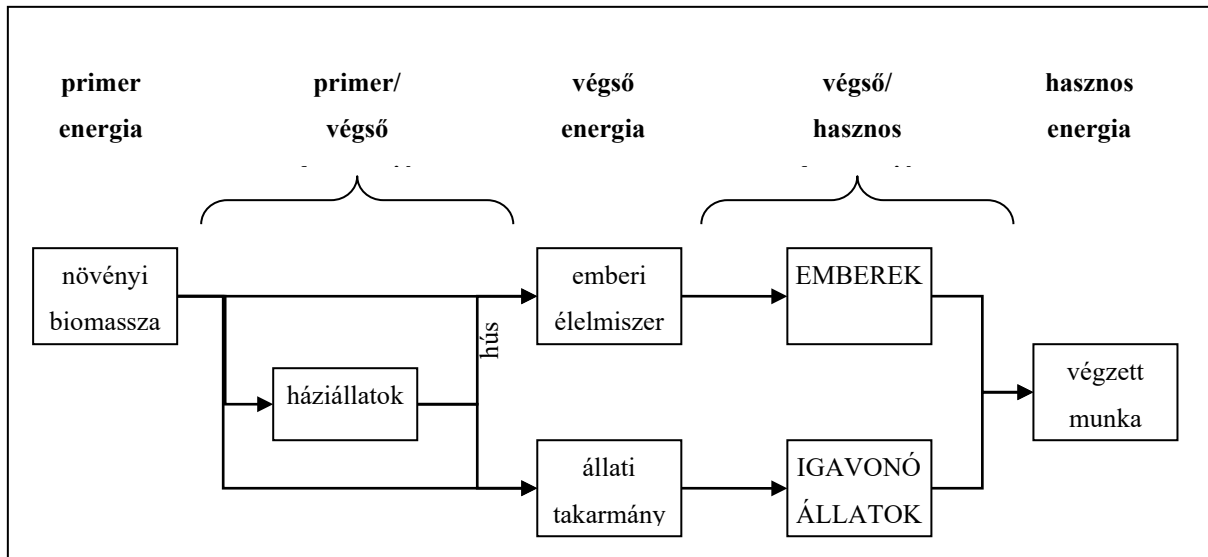
3. ábra: A növényi biomassza átalakításának fázisai

⁷ Ezekre a magyar szakirodalom *ökológiai hátizsákként* is hivatkozik.

⁸ Például vízenergia esetében az erőművek által megtermelt energiát a vízerőművek hatásfokának reciprokával kell szorozni. Az erőművek hatásfoka 95–99%, így:

$$\text{vízenergia input} = \text{a vízi erőmű által termelt elektromos áram} * (1/0,95).$$

Hasonlóan kell eljárni az atomenergia (33%-os hatékonyság) és a geotermikus energia (10%-os hatékonyság) esetében is.



Forrás: Haberl [2002], 36. o.

A 3. ábra szerint minden biomassza-átalakítási folyamat (például növényiből állati biomassza) a primer/végő energiaátalakítás része. A táplálék hasznos munkává alakítása pedig az energia végső/hasznos átalakításához tartozik. A hasznos munkán kívül azonban mind az állati, mind az emberi szervezet energiát veszít a test hőkisugárzása és az emésztés miatt. A pontos mérleg ezeket is figyelembe veszi.

Bár a gazdaságon belüli energiaáramok számbavételének módszertana kevésbé kidolgozott, ezen energiaáramok is részét képezik a teljes energiamérlegnek, amelyből egyes gazdaságok, gazdasági-társadalmi egységek energiaátalakítási és energiahasznosítási hatékonyságára, illetve – hosszabb időtávot figyelembe véve – annak időbeli alakulására következtethetünk.

Mivel egy-egy nemzetgazdaság teljes belső energiaáram-elemzéséhez hiányzik a szükséges adatbázis, a hiányzó adatokat pedig csak durva becsléssel lehetne pótolni, ezért számításaink elsősorban a magyar gazdaság primer energia inputjára koncentrálnak.

A számítás alapjául szolgáló adatbázisok és a számítás menete

A mezőgazdaságból és erdőgazdálkodásból származó anyagáramok a FAO statisztikákból származnak. Ezen adatbázis metrikus tonnában adja meg az ágazatokban megtermelt éves hozamokat növényenként. A fosszilis energiahordozók kitermelését a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) adatbázisából kaphatjuk meg.⁹ Ezt követően az egyes termények víztartalmának és bruttó energiatartalmának segítségével, illetve a kitermelt energiahordozók bruttó energiatartalmának figyelembevételével számítható ki a hazai kitermelés (DE).

A következő lépésben az export, illetve az import anyagáramait állítjuk össze szintén a FAO és az IEA adatbázisaiból. Itt adatátfedés már nem lehet, hiszen annak ellenére, hogy az importált, illetve az exportált anyagáramok sokféle formában hagyhatják el a nemzetgazdaság határait, illetve érkehetnek az országba, mind már megtermelt nyersanyagból származnak. Tehát nincs szó termelésről, csupán termék-átalakításról a meglévő nyersanyagokból. Az import- és exporttermékek esetében is a víztartalom, illetve a bruttó energiatartalom adja az energiaáramok mértékét.

Mivel a legeltetés által felvett energiamennyiségről nincsen statisztika, azt a takarmánymérleg segítségével kell kiszámolni. Ehhez meg kell becsülni a mezőgazdasági melléktermékek és a takarmánynövények¹⁰ együttes takarmánykínálatát. A takarmánymérleg másik oldalát, a takarmányigényt az állatállomány és az általa előállított állati termékek energiaigényének figyelembevételével számítjuk. Feltételezzük, hogy a mérleg szaldójaként jelentkező többletenergia-igényt a legeltethető állatok legeltetésével fedezzük. A számítások ellenőrzéséhez a legeltethető terület és annak átlaghozama szorzatát, vagyis az összes legeltethető biomassza nagyságát használjuk fel. Amennyiben a legeltetés energiaigénye nagyobb az összes legeltethető biomassza energiatartalmánál,

⁹ Az adatbázis adatátfedéseket tartalmazhat, ezeket ki kell szűrni.

¹⁰ A termékmérlegben (commodity balance) takarmányként felhasznált mennyiségek.

számításunkban hiba van. A takarmánymérlegből számított legeltetési energiamennyiséget hozzáadjuk a hazai kitermelés (DE) értékéhez.

A hazai kitermelés értékéhez hozzáadjuk az import és az export egyenlegét, ebből megkapjuk a hazai energiafogyasztás, illetve metabolizáció nagyságát (DEC). Ezen értéket a mindenkori lakosság számával elosztva az egy főre jutó energiafogyasztást számíthatjuk ki, illetve a bruttó hazai termékhez (GDP-hez) viszonyítva az ország energetikai ökohatékonyságára következtethetünk.

Az eredmények bemutatása

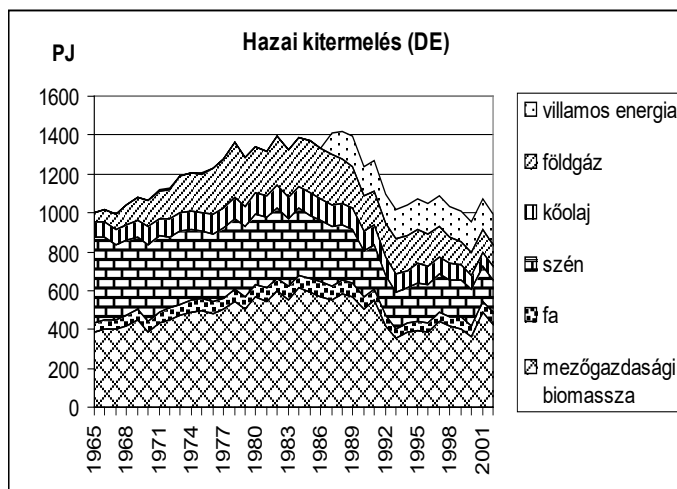
Előrebocsátandó, hogy bár a FAO statisztika 1961-től hiánytalan, az IEA adatai csak 1965-től teljesek. Ezért a mutatók (DE, Ex, Im, DEC, DEC/fő) csak 1965-től tartalmazzák a fosszilis energiahordozók adatait, így számításunk is csak az 1965–2002 időtartamot öleli föl.

Az első mutató, amelyet a Magyarországra vonatkozó adatokból kiszámoltunk, a hazai kitermelés (DE) a fenti időintervallumban. Ezt szemlélteti a 4. ábra.

A hazai kitermelés a nyolcvanas évek végén éri el csúcspontját (1421 PJ 1988-ban), majd a rendszerváltozás miatt 1993-ig gyorsan csökken (1020 PJ). Ezt követően valamelyest növekszik, majd némi csökkenés után 1000 PJ körül állapodik meg. A biomassza és a szén, kőolaj kitermelése szinte azonos ütemben nő, amelyet azonban a földgáz kitermelése jelentősen meghalad. Ennek következtében a földgáz súlya nő az energiaellátáson belül.

Krausmann és Haberl (2002) szerint a fosszilis energiafogyasztás és a biomassza termelésének párhuzamos emelkedéséből levonható az a következtetés, hogy a fosszilis energia nem helyettesíti a biomasszát az ipari társadalmakban, hanem a fokozott fosszilis energiafelhasználás növeli a biomasszából származó energiaáramok nagyságát. Ezen összefüggés hátterében az intenzív mezőgazdasági művelés hozamfokozó hatása áll, hiszen a fosszilis energiahordozók segítségével egyre nagyobb hozamok produkálhatók egy-egy területen.

4. ábra Magyarország hazai kitermelése (1965–2002)



Forrás: saját számítás

Az 5. ábra a hazai kitermelés százalékos megoszlását szemlélteti 2002-ben.

5. ábra: Hazai kitermelés (DE) források szerinti megoszlása 2002-ben Magyarországon

Forrás	Részesedés
mezőgazdasági biomassza	43%
fa	6%
szén	17%

kőolaj	7%
földgáz	11%
villamos (atom-) energia	16%
összes DE	100%

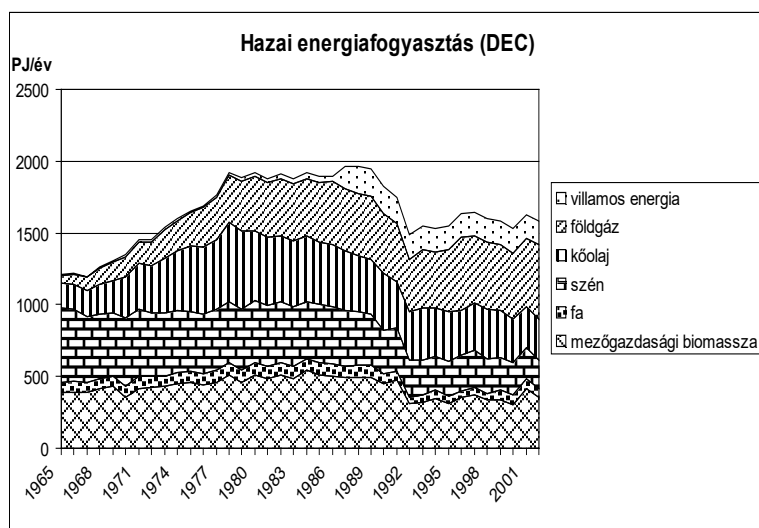
(saját számítás)

Eszerint a magyar kitermelés (DE) 49%-át a biomassza adja, vagyis az ország területén előállított és kitermelt energia fele biomasszából származik. A fosszilis energiahordozókon belül a szén és a villamos áram részesedése a legnagyobb (17%, illetve 16%). Fontos megjegyezni, hogy a módszertanból adódóan az elektromos áramtermelés szinte 100%-ban atomenergiából származik, hiszen a kőszénből, illetve a földgázból előállított villamos energia már nem primer, hanem végső vagy hasznos energia.

A következő mutató a hazai energiafogyasztás (DEC – 6. ábra). Jól szemlélteti a diagramm az 1965 és 1989 közötti energiafogyasztás gyors növekedését, amely 1988-ban érte el csúcspontját, az 1961 PJ-t, amelyre az 1965-ben fogyasztott 1207 PJ-ról emelkedett. A politikai és gazdasági rezsim összeomlása után energiafogyasztásunk 1992-ben érte el mélypontját, 1484 PJ-t. Ezután lassú fogyasztásnövekedés volt megfigyelhető 2001-ig (1630 PJ).

A hazai kitermelés (DE) és a hazai fogyasztás (DEC) közötti jelentős deficit (540 PJ 1988-ban) már itt megmutatkozik. Vagyis Magyarország több energiát használt és használ, mint amennyit saját területén előállít.

6. ábra Magyarország hazai energiafogyasztása (1965–2002)



Forrás: saját számítás

A hazai fogyasztáshoz hasonló tendencia figyelhető meg az egy főre jutó energiafogyasztás esetében is. Itt a – szintén 1988-as – csúcson az egy főre eső fogyasztás 188 GJ/fő. Az egy főre eső fogyasztás a mélypontját 1992-ben érte el (144 GJ/fő), ez azonban még mindig magasabb, mint az 1965-ös induló érték (119 GJ/fő). 2002-ben az egy főre eső energiafogyasztás (DEC/fő) 160 GJ/fő.

A fogyasztásban (DEC) az energiaforrások összetételét a 7. ábra mutatja, amely a 2002-es viszonyokat tükrözi.

7. ábra: A hazai energiafogyasztás (DEC) megoszlása 2002-ben Magyarországon

Forrás	Részesedés
mezőgazdasági biomassza	22%
fa	4%

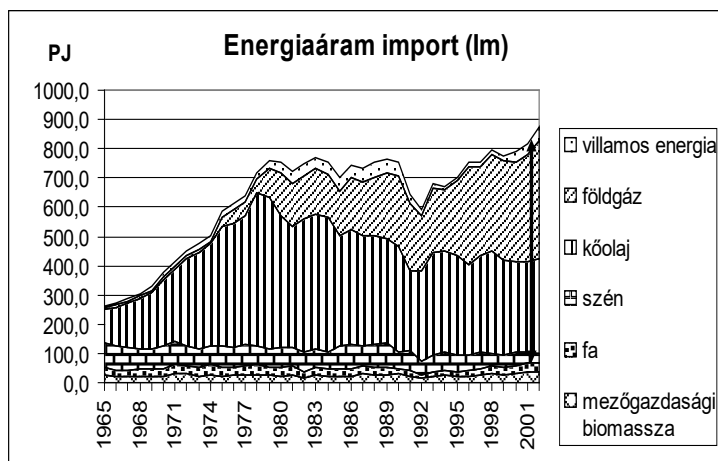
szén	13%
kőolaj	18%
földgáz	32%
villamos (atom-) energia	11%
összes DEC	100%

(saját számítás)

Fontos megjegyezni, hogy társadalmunk metabolizmusának energiaigényét 2002-ben is 26%-ban a biomassa adta, amivel szemben a fosszilis energia aránya 74%. Jelentős hányadot képvisel a fosszilis energiaforráson belül a földgáz (32%). Ha a hazai fogyasztás (DEC) százalékos megoszlását összevetjük a hazai kitermelés (DE) százalékos megoszlásával, látható, hogy a fogyasztásnál a jelentős fosszilis energiaimport miatt a biomassa aránya 49%-ról 26%-ra zsugorodik (DEC).

Magyarország tekintélyes energia-behozatalát támasztja alá a 8. ábra is, amely a vizsgált időszakban a magyar társadalom metabolikus energiaimportját szemlélteti.

8. ábra Magyarország energiaáram importja (1965–2002)

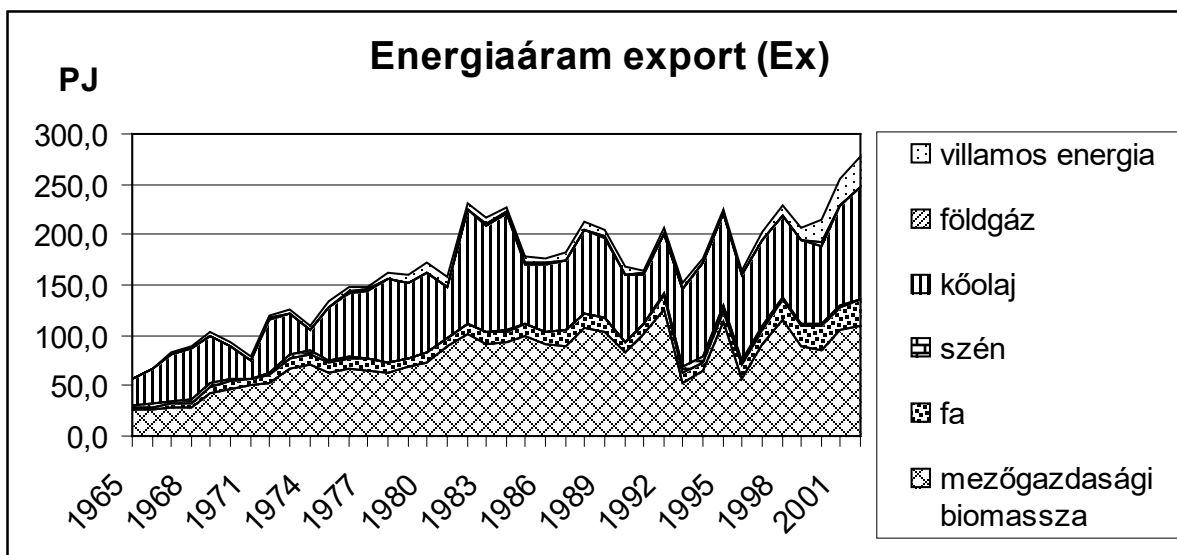


Forrás: saját számítás

A számítás alapján elmondható, hogy 2002-ben Magyarország import energiaárama 873 PJ volt, amelyből 806,2 PJ-t fosszilis energiahordozó tett ki. Emellett a fa és a mezőgazdasági biomassa importja elhanyagolható. Tehát országunk élelmiszeripari energia ellátásban önellátó, azonban igen jelentős a társadalom függése az import fosszilis energiahordozóktól. Ez a teljes hazai fogyasztás (DEC – 1484 PJ) több mint fele.

A 9. ábra a nemzeti energiaáram export alakulását mutatja, amely két fő energiaforrást érint: a kőolajat és a mezőgazdasági biomasszát. Mindkettő exportja növekszik (mezőgazdasági biomassa: 1965 – 27,3 PJ; 2002 – 109,6 PJ; kőolaj: 1965 – 26,2 PJ; 2002 – 112,5 PJ), de míg a kőolaj esetében a feldolgozott import nyersolaj exportjáról, illetve egyéb kőolajipari termékek kereskedelméről van szó csupán, addig a mezőgazdasági biomassa exportja túlnyomórészt a hazai kitermelésből (DE) származik, vagyis a magyar mezőgazdaság állította elő. A mezőgazdasági export a mezőgazdaságból származó hazai kitermelés (DE) több mint negyede.

9. ábra Magyarország energiaáram exportja (1965–2002)



Forrás: saját számítás

Tehát a mezőgazdaságból származó energiaáram több mint negyede „fölösleges” a magyar lakosság és a háziállatok metabolikus energiaigényének kielégítéséhez. Ez az energiamennyiség (~110 PJ) akár fosszilis energiahordozók kiváltására is használható lenne (például a biogáz hasznosításával).

Többnyire azonos súlyú az exportban a villamos energia és a fa kivitele (30,1 és 25,3 PJ), a tendencia itt is növekvő.

Az export energiaáramok (Ex) 2002. évi százalékos megoszlását szemlélteti a 10. ábra. Az export 48%-át a hazai biomassza teszi ki (mezőgazdasági és erdészeti együtt). Az export többi része (52%) a kőolaj és az elektromos áram kereskedelméből származik.

10. ábra Az energiaáram export (Ex) megoszlása 2002-ben, Magyarországon

Forrás	Részesedés
mezőgazdasági biomassza	39%
fa	9%
szén	0%
kőolaj	41%
földgáz	0%
villamos (atom-) energia	11%
összes Ex	100%

(saját számítás)

A hazai kitermelés, valamint az export és import energiaáramok időbeli alakulásának vizsgálatokor szembevetendő, hogy míg 1988-tól a hazai kitermelés (DE) jelentősen visszaesik és 2002-ig folyamatosan tovább csökken, addig az import energiaáramok (Im) 1965 óta folyamatosan emelkednek, amelyet csak részben kompenzál az export (Ex) lassú növekedése. Ebből az következik, hogy a hazai kitermelést (DE) egyre inkább megközelíti az import (Im), és a külkereskedelmi energiamérleg tovább romlik. Vagyis a magyar társadalomnak lassan a hazai kitermelésnek (DE) megfelelő mértékű importra lesz szüksége, amelyet egyre kevésbé ellensúlyoz az export.

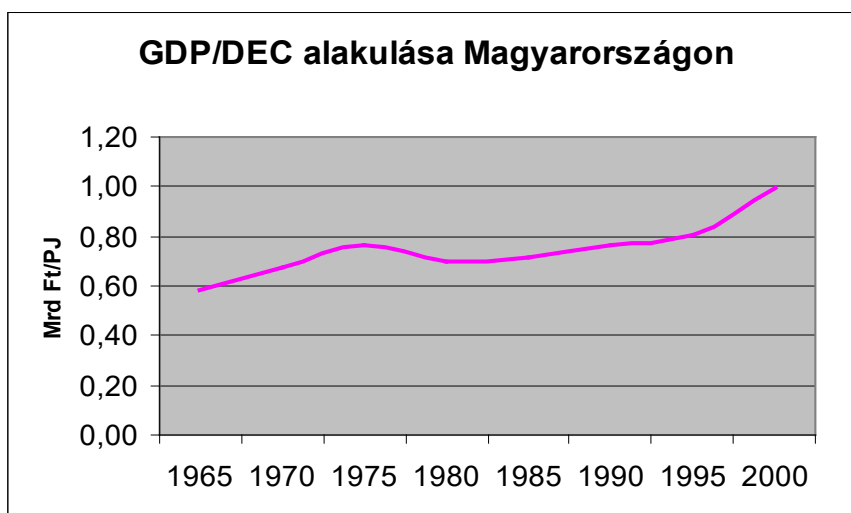
Sajnos más országokra vonatkozóan nem állnak rendelkezésre energiaáram-adatok, szemben az anyagáram mutatókkal (DMI, TMR, DE, DMC), amelyeket szinte az összes európai uniós tagállamra kiszámoltak már (Pomázi–Szabó [2006]). Egyedül Ausztriára vonatkozóan ismert néhány energiaáram-adat (Krausmann et al. [2004]).

A szerzők által közöltek szerint Ausztriában (ahol nem volt rendszerváltozás és ennek esetleges hatása is értelemszerűen elmaradt) az energiafogyasztás (DEC/fő) 200 GJ/fő/év körül maradt (Krausmann et al. [2004], 220. o.). Hazánkban azonban a rendszerváltozás következtében az energiafogyasztás az 1988-as, 188 GJ/fő-s csúcsponttól 144 GJ/fő-re zuhant vissza. A fosszilis tüzelőanyagok részesedése a hazai energiafogyasztásból (DEC) Ausztriában 55%, a biomassza részesedése pedig 35% 2000-ben (Krausmann et al. [2004], 220. o.). Ugyanez Magyarországon az azonos évben 76%, illetve 25% volt. Tehát hazánk jelentősebb arányban szorult 2000-ben fosszilis energiahordozókra, mint Ausztria, és energiaigényének csekélyebb hányadát fedezte megújuló biomasszából. Továbbá, mint ahogy azt fent láttuk, fosszilis energiaigénye egyre növekvő részét szerzi be hazánk külföldről.

A GDP-hez viszonyítás is fontos, hiszen így megkapjuk, hogy mennyi energiára volt szüksége az adott társadalmi-gazdasági rendszernek egységnyi GDP előállításához. Ezzel az egyes nemzetgazdaságok ökológiai hatékonysága határozható meg.

Hazánkban és Ausztriában is (Krausmann et al. [2004]) nőtt az egységnyi energiából előállított GDP (GDP/DEC 1965-től, lásd 11. ábra). Eszerint a vizsgált időszakban Magyarország ökohatékonysága 1,7-szeresére nőtt (az 1988-as változatlan áru GDP szerint). Ez éves átlagban majdnem 2%-os növekedés. Ezzel ellentétben Ausztriában évente 1,6%-os hatékonyságjavulás tapasztalható 1950–2000 között. Hazánk ökohatékonyságának növekedése tehát gyorsabb, mint Ausztriáé, azonban jelentős az a lemaradás, amit be kell hoznunk. Hiszen míg Ausztria 120 amerikai dollárt állított elő 2000-ben 1 GJ társadalmi metabolikus energiából (Krausmann et al. [2004]), addig Magyarország csak 30,4-et.

11. ábra



Forrás: saját számítás; GDP adatok: Schweitzer [2002], 65. o.

Összefoglalás

Az energiaáram-elszámolás jelentősége és újdonságtartalma több jellemzőjéből adódik. Egyrészt – a hagyományos energiastatisztikán túl – az egész társadalmi egység energiacserejét (metabolizmusát) élénk tárja, s ennek köszönhetően a biomasszát érintő energiaáramok is napvilágra kerülnek. Továbbá az idősoros elemzés képes rámutatni, hogy a fenntarthatóság felé haladunk-e, s az energiafogyasztás összetételéről is fontos következtetéseket vonhatunk le. Hiszen az, hogy egy társadalom mekkora energiamennyiséget igényel fennmaradásához, ezen belül milyen mértékben támaszkodik megújuló/megújítható és nem megújuló energiaforrásokra, valamint hogy mekkora az import és az export aránya hasznos információk az adott társadalom működésének biztonságáról és fenntarthatóságáról. A társadalmi metabolikus energiafogyasztás (DEC) GDP-hez viszonyított aránya (GDP/DEC) pedig alkalmas az ökohatékonyság mérésére.

Általánosságban elmondható, hogy minél alacsonyabb egy társadalom energiafogyasztása, annál fenntarthatóbb. Ha energiaforrásai nagyrészt megújulók, illetve az országhatáron belülről származnak, szintén fenntarthatóbbnak, illetve biztonságosabbnak mondható az energiaellátás.

Magyarország egy főre jutó energiafogyasztása (160 GJ/fő) az osztrák energiafogyasztáshoz (200 GJ/fő) hasonlítva kedvezőbb, azonban az energiaforrások összetételét és eredetét tekintve kedvezőtlen tendenciák mutatkoznak. Egyrészt folyamatosan nő a fosszilis energiaimport és csökken a hazai kitermelés, amelynek következtében a hazai fogyasztás (DEC) több mint felét már import fosszilis energiahordozókkal fedezzük. Másrészt a hazai kitermelés (DE) felét a mezőgazdaságból és erdőszetből származó biomassa adja, amely a magas magyar mezőgazdasági potenciálra és kapacitásokra vezethető vissza. Ez azonban a természetes ökoszisztémák jelentős átalakításával (kolonizálásával) járhat (Haberl et al. [2004]), és arányaiban kevés életteret és energiaáramot hagy a természetes ökoszisztémáknak. Továbbá az energetikai ökohatékonyság nagy lemaradásáról tanúskodik az ország GDP/DEC mutatója, ennek javításában még jelentősek a tartalékok.

Az adatok alapján kijelenthető, hogy a magyar társadalmi anyagcsere a biológiai metabolizmus mellett (csupán 26% a hazai fogyasztás mezőgazdaság által fedezett része) jelentős mértékű technikai metabolizmust foglal magában. Ezen energiaáramok nem közvetlenül biológiai igényeink kielégítésére fordítódnak, hanem infrastruktúránk, fizikai jólétünk fenntartására (Krausmann et al. [2004], 220. o.). Ökológiai szempontból ezt az energiafogyasztást nyugodtan tekinthetjük „luxus” energiafogyasztásnak. Társadalmunk ilyen jellegű – csupán jólétünket, kényelmünket szolgáló – energiafogyasztásának növekedése rontja az ökológiai fenntarthatóságot. Ezen energiafogyasztás növekedése a fentiekén túl a társadalmi-gazdasági rendszer energia-intenzívvé válására is utal. Ha ezen energiaáramokat országunk természeti adottságai folytán, illetve alacsony népsűrűsége következtében biztosítani tudná, metabolizmusunknak a fenntarthatósági problémán kívül nem lennének komoly külpolitikai és társadalmi vonatkozásai. Hazánk azonban energiaigénye túlnyomó részét csak import fosszilis energiahordozókkal tudja fedezni, ami rendkívül kiszolgáltatottá, sérülékennyé és instabillá teheti a magyar gazdaságot és társadalmat.

Sajnálatos, hogy az új hazai energiapolitikai tézisek „kedvező tendenciának” tartják importfüggőségünk növekedését (Tihany et al. [2006], 48. o.), és nem látják árnyoldalait. Ennek következtében Magyarország importfüggősége nő és egyre inkább 1-2 fosszilis energiaforrásra (földgáz, kőolaj) és 1-2 beszállítóra (például Gazprom) hagyatkozunk.

Ezzel ellentétben az Európai Unió Biomassa Cselekvési Terve (COM 2005/628) mindenképpen kezelni kívánja azt a kihívást, hogy az Unió „*növekvő mértékben függ a behozott energiától*” (COM [2005], 2. o.). A megoldások között az energiatakarékosságot, a megújuló energiák részarányának növelését és az energiaforrások diverzifikációját kiemelten említi, egybekötve a nemzetközi együttműködés erősítésével.

A magyar energiapolitika további hiányossága a hálózati veszteségek és lopások (az úgynevezett negawattok) elhanyagolása. Az energiatakarékosság ugyanis mind a költségtakarékosság, mind az ökohatékonyság szempontjából a legkedvezőbb. Annál is inkább, mivel hazánkban sok a bepótolnivalója az energiahatékonyság terén.

A fentiek arra ösztönöznek, hogy újragondoljuk hazánk energiaellátását. Magyarország metabolizmusának fenntarthatóbbá tétele érdekében elsősorban az energiafogyasztást kell csökkenteni az energiahatékonyság és az energiatakarékosság eszközeivel. Célszerű lenne az energiaellátást biztonságosabbá tevő energiaforrás-portfólió kialakítása is.

HIVATKOZÁSOK

Ayres, R. – Simmonis, U. (szerk.) [1995]: *Industrial Metabolism – Restructuring for SD*; UN University Press, Tokió–New York

COM [2005]: *A biomasszával kapcsolatos cselekvési terv*; 2005. december 7. 2005/628; (http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_action_plan_hu.pdf – 2007. január 2-i állapot szerint)

Drahs E. – Szilágyi G. [2005]: *Material Flow Accounts in Hungary*; belső jelentés, Központi Statisztikai Hivatal, Budapest

European Communities [2001]: *Economy-wide material flow accounts and derived indicators – A methodological guide*; Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg (http://epp.eurostat.cec.eu.int/cache/ITY_OFFPUB/KS-34-00-536/EN/KS-34-00-536-EN.PDF – 2007. január 2-i állapot szerint)

European Communities [2002]: *Material Use in the European Union 1980–2000 – Indicators and Analysis*; Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg

(http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-AO-02-005/EN/KS-AO-02-005-EN.PDF – 2007. január 2-i állapot szerint)

EUROSTAT [2001]: *Material Use Indicators for the European Union – Economy-wide Material Flow Accounts and Balances and Derived Indicators of Resource use*; Working Paper No. 2/2001/B/2. Az EUROSTAT részére készítette Bringezu, S. – Schütz, H., Wuppertal Intézet

FAO [2003]: *Agricultural Statistics*

Giampietro, M. et al. [2000]: *Introduction to the Special Issues on Societal Metabolism – Blending New Insights from Complex System Thinking with Old Insights from Biophysical Analyses of the Economic Process*; Population and Environment 22 (2), november, 97–108. o.

Georgescu-Roegen, N. [2002]: *Az entrópia törvénye és a gazdasági probléma*; Kovász, tavasz–tél, 19–31. o.

Haberl, H. et al. [2004]: *Human appropriation of net primary production and species diversity in agricultural landscapes*; Agriculture, Ecosystems and Environment 102, 213–218. o.

(http://www.iff.ac.at/socec/pubs/pubs_downloads/socec10042.pdf – 2007. január 2-i állapot szerint)

Haberl, H. et al. [2004]: *Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer*; Land Use Policy 21 (3), 199–213. o.

(http://www.iff.ac.at/socec/backdoor/sose05-ring-sozoek/Literatur_05_HH.pdf – 2007. január 2-i állapot szerint)

Haberl, H. [2002]: *Economy-wide energy flow accounting*; in: Schandl, H. et al. [2002]: *Handbook of Physical Accounting – Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities. MFA – EFA – HANPP*; Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, Austria, Wien, 30–48. o.

(http://www.iff.ac.at/socec/pubs/pubs_downloads/socec10627.pdf – 2007. január 2-i állapot szerint)

Herczeg M. – Szilágyi G. [2005]: *Towards Material Flow Accounts – Progress in Hungary*; Environmental Accounting and Sustainable Development Indicators – Proceedings, Prága, 147–157. o.

International Energy Agency [2003]: *Energy Statistics*

Janssen, M. et al. [2001]: *Changing Industrial Metabolism – Methods for Analysis*; Population and Environment 23 (2), november, 139–156. o.

Krausmann, F. – Haberl, H. [2002]: *The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism – Socioeconomic energy flows in Austria 1830–1995*; Ecological Economics 41 (2), 177–201. o.

Krausmann, F. et al. [2004]: *Resource flows and land use in Austria 1950–2000 – using the MEFA framework to monitor society–nature interaction for sustainability*; Land Use Policy 21, 215–230. o.

Martinez-Alier, J. [1987]: *Ecological Economics – Energy, Environment and Society*; Basil Blackwell, Cambridge

Martinez-Alier, J. [2003]: *Marxism, Social metabolism, and Ecologically Unequal Exchange*; draft 30/8/03, 2003. szeptember 19–22., Lund University, World Systems Theory and the Environment

(<http://www.humecol.lu.se/woshglec/papers/martinez-alier.pdf> – 2007. január 2-i állapot szerint)

Pomázi I. – Szabó E. [2006]: *A társadalmi metabolizmus. A fejlett gazdaságok anyagáramlása*; L'Harmattan, Budapest

Schweitzer I. [2002]: *A hazai beruházások alakulása, aránya a GDP-ben és szerkezete*; Kopin-Datorg Műhelytanulmányok, 35. szám, Budapest

Tihany L. – Imre T. – Solti K. – Szergényi I. [2006]: *A rendelkezésre álló fosszilis energiaforrások*; in: *Az új magyar energiapolitika tézisei a 2006–2030 közötti időszakra*; 5. fejezet, Miskolc (GKM felkérése) – <http://www.gkm.hu>; 2006. szeptember 26.

Wackernagel, M. – Rees, W. E. [2001]: *Ökológiai lábnyomunk – Hogyan mérsékeljük az ember hatását a Földön?*; Föld Napja Alapítvány, Budapest

Weisz, H. et al. [2006]: *The physical economy of the European Union – Cross-country comparison and determinants of material consumption*; Ecological Economics 58 (4), 676–698. o.

Weisz, H. [2001]: *Gesellschaft–Natur Koevolution – Bedingungen der Möglichkeit nachhaltiger Entwicklung*; Dissertation

(http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=96461071x&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=96461071x.pdf – 2007. január 2-i állapot szerint)