

# A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS MÉRHETŐSÉGÉNEK EGYIK LEHETŐSÉGE A KARBON-LÁBNYOM

PATOCSKAI MÁRIA

## Carbon Footprint – Measuring Sustainable Development

*Today's economic development has led to a series of global crises of which one of the most alarming is the extensive deterioration of our environment. Our excessive energy- and material-based lifestyle adversely affects our climate. In order to create the conditions of a more sustainable environment it is vital to be able to measure sustainability, i.e. turning the hard to measure into measurable parameters. Carbon footprint calculation is one such widely accepted and used measuring system. The carbon footprint is a measure of the impact of our anthropogenic activities on the environment, and in particular of climate change. It is a measurement of greenhouse gases and is expressed in units of tonnes (or kg) of carbon dioxide equivalent.*

*The primary aim of this study is to measure the impact which the population has on the environment so that it can serve as the basis for future comparisons. This study will show the relationship between our energy-based lifestyle and our climate. In addition, it will discuss the external and internal mechanisms of climate change. It will talk about the indicators measuring sustainability and the process of carbon footprint calculation. Based on a Hungarian example, I will measure the impact that a single person's consumption of different types of energy has on the environment. The study will compare the resulting figures with data concerning Hungary's biologically active woodlands: can our woodlands neutralise the CO<sub>2</sub> emissions from the day-to-day activities of Hungary's entire population?*

## 1. BEVEZETÉS

A jelen kor gazdasági haladásának árnyoldalaként számos egész bolygóra kiterjedő válság jelentkezett. Ezek közül az egyik legsúlyosabb a környezet állapotának erőteljes romlása. A gazdasági növekedést fenntartó túlzott anyag- és energiahasználatra épülő életvitel nagy valószínűséggel kihat a levegő paramétereinek változásán keresztül az éghajlat kedvezőtlen alakulására. Ahhoz, hogy fenntarthatóbb környezeti feltételeket teremthessünk szükségessé vált a fenntarthatóság mérésének kidolgozása: nehezen mérhető dolgok átváltása mérhető paraméte-

rekre. Ezek vizsgálatára egy elfogadott és kidolgozott módszer a CO<sub>2</sub>(karbon)-lábnyom számítása: az antropogén tevékenységek során a levegőbe kibocsátott gázokat CO<sub>2</sub>-ra egyenértékűsíti.

A tanulmány elsődleges célja, hogy a szerző számításaira alapozva meghatározza a lakosság környezetterhelésének mértékét, amely a későbbiekben összehasonlítások alapja lehet.

Az alábbi írás bemutatja az energiaalapú életvitel és az éghajlat kapcsolatát, valamint az éghajlat változásában szerepet játszó külső és belső hatásokat. Felvázolja a fenntarthatóság mérésére kidolgozott indikátorokat. Leírja a karbon-lábnyom kiszámításának eljárását, és hazai példán keresztül 1 lakosra, a főbb energiafogyasztó tevékenységekre kivetítve saját számításokkal alátámasztva számszerűsíti a környezetterhelés mértékét. Az eredményeket összeveti a hazai biológiaiailag aktív erdőállomány nagyságával: képes-e a hazai lakosság életviteléből származó CO<sub>2</sub> kibocsátást az ország erdőállománya semlegesíteni.

## **2. A FENNTARTHATÓSÁG ÉS AZ ÉGHAJLATVÉDELEM KAPCSOLATA**

A fenntarthatóság egyik alapgondolata, mely szerint az ember és környezete közötti viszonyt meg kell változtatni létkérdés és ugyanilyen szükségszerű az ember energiához való viszonyát megváltoztatni. A modern világban az emberi létezés elképzelhetetlen energia felhasználás nélkül. Az ember különböző tevékenységeit, igényeit energiafelhasználással elégíti ki, amelyekhez ún. energialáncot kell működtetni. Világviszonylatban az energiatermelés több, mint a felét fosszilis energialánc biztosítja. Az energiaigény nemcsak közvetlen módon, hanem anyagi javak formájában is jelentkezik. Minden tárgy, készülék, berendezés előállításához és a szolgáltatások nagy része energiát igényel. A materializálódott energiafogyasztás egyáltalán nem elhanyagolható nagyságrendű az energetikai fogyasztáshoz képest.

A fenntartható életvitel fontos feltétele az átstrukturált energiaforrások használata és az energiafelhasználás csökkentését célzó intézkedések bevezetése. Ez utóbbiak alkalmazása az energialánc végén, a végső fogyasztónál a legeredményesebbek: ha a fogyasztónál igényelt energiamennyiség kisebb, ezt kisebb kapacitású ellátó rendszer is kielégíti (KVM 2006). A jelenlegi energiaforrásokkal (fosszilis és nukleáris) való takarékoság újszerű gondolat, annak ellenére, hogy kutatók ezrei a hamarosan elfogyó véges mennyiségről beszélnek. A 40-50 évvel ezelőtt kialakított végtelen természeti erőforrások világképre épülő energiapazarló fogyasztási életvitel mára kiderült, hogy végveszélybe sodorja az emberiséget. A 20. században elterjedt

értékrend szerint az energia felhasználás és az emberi élet minősége között szoros az összefüggés. Ezért az energia-takarékosságot szolgáló intézkedéseket nehéz elfogadtatni az emberekkel, hiszen életviteli szokásaikon kellene változtatni. Áldozatként élik meg bizonyos energiaigénylő szolgáltatásról vagy javakról való lemondást, pedig egyszerű módon valósulhatnának meg: minél rövidebb idő alatt kevesebb fosszilis energiahordozó használata, jobb hatásfokú berendezések, technológiák alkalmazása és törekvés a mostani energiahordozók helyettesítésére kimeríthetetlen, megújuló forrásokkal. Ez egyben az energiaszolgáltatóktól való kisebb mértékű függőséget is jelentené, amely más érdekeket súlyosan érintene (KVM 2006).

Idealizált esetben az emberek „helyes”, vagyis energiatudatos viselkedéssel, csökkent energiaigényű, klímaváltozást mérséklő döntéseket hoznak. A valóság mást mutat: „Az éghajlatváltozás elleni küzdelem eddigi eredményei a társadalmi rugalmasság olyan alacsony szintjére utalnak, amely e társadalmak működőképességét veszélyeztetik.” (ANTAL Z. L. 2008). Pedig az emberi tőke a végéhez közeledő természeti tőke mellett mindig kiaknázzható, csak fel kell ismerni.

### 3. A FENNTARTHATÓSÁG INDIKÁTORAI

Társadalmi és gazdasági életünket, környezetünk állapotát súlyos válságba juttatta az emberiség. Kezdeti harmonikus együttélése a természeti környezettel mára megszűnt. Korábban kíméletesen használta a természeti erőforrásokat, meghagyva a természeti környezetet egyensúlyi állapotában. „A mezőgazdasági forradalomtól a kopernikuszi, majd az ipari forradalomig terjedő korszakot nagy általánosságban az jellemezte, hogy az ember, illetve a társadalom a természet részeként határozta meg önmagát, és olyan termelési rendszereket alkalmazott, amelyek illeszkedtek a természeti rendszerekhez, vagyis általában és elméletileg nem jelentettek irreverzibilis változásokat.” (HAJNAL K. 2008).

A fejlődés későbbi szakaszában az egyre intenzívebb technológiák alkalmazása által fokozatosan megbomlott az egyensúly, melynek első jelei: az egyre gyakrabban és tartósabban jelentkező környezeti pusztítások. Mára a természet, mint minden más létét fenntartó főrendszer globális léptékű válságba jutott. Egyértelművé vált, az emberiség fenntarthatatlanná tette azt a rendszert, amiben él.

Egyre szükségesebbé vált, hogy az egész rendszert fenntartó három pillér: társadalmi, gazdasági és környezeti rendszerek állapotának számszerű vizsgálatára mérőszámmal kifejezett

mutatókat dolgozzanak ki, melyek lehetővé teszik az országok, embercsoportok ilyen irányú összehasonlítását.

A *gazdaság növekedésére*, a haladás mérésére alkotta meg Simon Kuznets 1941-ben a GDP (Gross Domestic Product = Bruttó hazai össztermék)-t. Egy ország anyagi jólétének (éltszínvonalának) általános ismertetése céljából használják, sokszor téves következtetéseket vonnak le az ott élők más jóléti mutatójára vonatkozólag (GYULAI I. 2008). Az országok közötti összehasonlítások a gazdaság teljesítménye dominál, ezért a minél nagyobb GDP elérése ösztönzően hat a gazdaságra. A GDP használata növekedésre serkent, ami aláássa a másik két pillért: a társadalmi és környezetit, vagyis fenntarthatatlanná válik az egész rendszer.

A *társadalom jólétének* a mutatóját, az emberi fejlődés indexét (HDI – Human Development Index), 1990-ben Mahbub ul Haq pakisztáni közgazdász dolgozta ki. Az emberek valódi jólétére kidolgozott megközelítőleg a legjobb módszer. Három alapterületet vizsgál: születéskor várható életkor (a lehető legegészségesebb életet feltételezve), az emberek által megszerzett tudás (írás, olvasás), megfelelő életszínvonal (vásárlóerőben számított bruttó hazai termék). Számos más mutatót is kidolgoztak, ezek továbbfejlesztésén óriási munkák folynak.

A *környezet állapotának* mutatói a környezeti potenciált és az emberi tevékenység környezeti terhelését jelzik. Ezek között vannak átfogóbb jellegűek és valamilyen egyenértékre számszerűsítettek. Mindegyik alapja, hogy az ember a természet adta lehetőségeket használja élete fenntartásához.

A környezetre gyakorolt hatás attól függ, hogy mit, mennyit és hogyan vesz el, és ebből mit, mennyit és hogyan ad vissza a természetnek. Ezek egymáshoz viszonyított aránya határozza meg a *fenntarthatóságot*. Bármilyen jelenlegi nem fenntartható állapot jobbra tételére irányul (önmérséklet, takarékoság, pazarlás elutasítása, tudatos életvitel, szeretet), segíti a környezetterhelést, a magunk után hagyott nyomot csökkenteni.

Környezetünk egyre aggasztóbb állapota miatt célszerűvé vált a környezet használatát számszerűsíteni. Így jobban világossá válik, hogy a Föld természeti tőkéjéből mennyi áll rendelkezésünkre, ezt milyen mértékben fogyasztjuk és nagyobb az esély egy fenntarthatóbb jövő felé vezető stratégiák tervezésére (PROBÁLD F. 2000). Egyik mérőszám az *ökológiai lábnyom*, 1993-ban Wackernagel, M. munkájában jelent meg először. Azt fejezi ki, hogy mekkora az ökológiailag produktív föld-és vízterület, amely egy ember által fogyasztott összes termék előállításához, és az összes keletkező hulladékok elnyeléséhez szükséges (WACKERNAGEL, M. – REES, W.E. 2001). A számítás nem tudja figyelembe venni az emberi fogyasztás és hulladéktermelés összes elemét, ezért nem pontos, csak becslés adat. Viszont összehasonlításra alkalmas és azt is megtudhatjuk, mennyire környezetkímélő vagy pusztító életmódon él valaki. Ökolábnyomát ki lehet számolni egy országnak, egy településnek, egy embernek is (TROMBITÁS G.

2001). A lábnyom kiszámításának lényege, hogy az emberi fogyasztás sokféle összetevőjét átváltjuk az előállításukhoz szükséges ökológiailag termékeny föld- és vízterület nagyságra.

Az ökolábnyom logikáját követi a *CO<sub>2</sub>-lábnyom* vagy karbon lábnyom (carbon footprint). Ez az összes ÜHG (üvegházgázok) értékét grammban kifejezett egyenértékre hozva fejezi ki, hogy az adott tevékenység mennyivel járul hozzá az éghajlatváltozáshoz.

Az összes emberi tevékenységet itt sem lehet számbavenni. A CO<sub>2</sub> lábnyom számításának a célja nem egy komplex, mindenre kiterjedő számítási módszer, hanem a határok kijelölésével, a legfontosabb ÜHG kibocsátásának kiszámítása.

A számítást nehezíti, az emberi tevékenységeknek vannak közvetlen és közvetett hatásai. Pl. a közlekedés által közvetlen kibocsátott ÜHG meghatározás viszonylag könnyen megoldható. Nehezebb és ezáltal sok bizonytalanságot hordoz egy termék, egy szolgáltatás életciklusa során képződő ÜHG-k teljes mennyiségét meghatározni. Figyelembe kell venni a nyersanyag, a gyártási és forgalmazási folyamat, a felhasználás és a hulladékkezelés során keletkezett éghajlatra gyakorolt CO<sub>2</sub> egyenértéket. Mindez néha követhetetlen

## **4. A CO<sub>2</sub>-KIBOCSÁTÁS ÉS A GLOBÁLIS ÉGHAJLATVÁLTOZÁS KAPCSOLATA**

A légkör állapotát vizsgálva az egyik legfontosabb probléma a Föld átlaghőmérsékletének emelkedése. Számos ember életét alapvetően és kedvezőtlenül befolyásolja, ezért fontos tudnunk, milyen befolyásoló tényezők vannak, és az ember mit tehet, hogy minél kisebb károkat szenvedjen el önmaga és az egész bioszféra.

A klíma változását három alapvető hatás befolyásolja: az éghajlati rendszer belső ingadozásai (külső hatások nélkül), természetes külső tényezők (naptevékenység, vulkánok működése), antropogén hatások (üvegházhatások, aeroszolak, felszínborítottság minősége).

Nézzük meg ezek kifejtését röviden:

Az éghajlatot hasonló törvényszerűségek mozgatják, mint az időjárást. Változásában szerepet játszanak az óceánok, a szárazföldek, a krioszféra (szilárd halmazállapotú víz) fizikája, a bioszféra fényvisszaverő-képessége, a párolgás. Az előbb felsoroltaknál fontosabb éghajlat-alakító a teljes földi légkörzés és ennek északi félgömbi rendszere. Az éghajlati rendszer nem lineáris rendszer mivolta és a befolyásoló tényezők bonyolult kapcsolatrendszere miatt sok a bizonytalanság az előrejelzésekben. Mégis napjainkra bizonyított, hogy a földi légkörzés folyamatait egyre erősebben veszélyezteti a globális felmelegedés. Az ÜHG-kra és aeroszol kon-

centrációkra épülő modellkísérletek egyértelműen igazolják, hogy a hőmérséklet már eddig is kimutathatóan emelkedett (MIKA J. 2002).

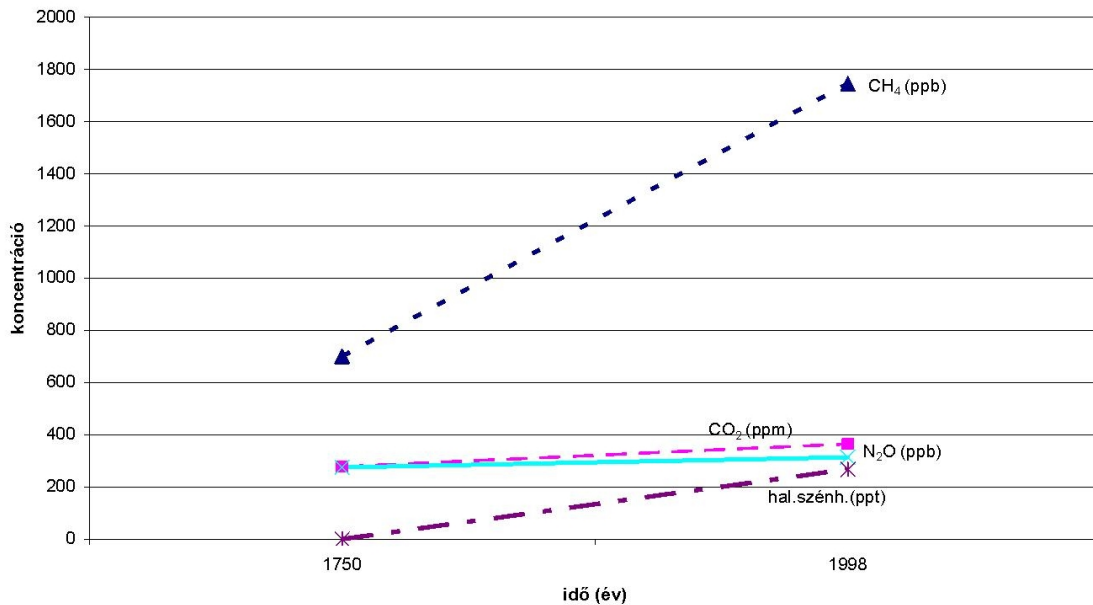
A légkör hőmérsékletét az üvegházhatású gázok (ÜHG) mennyisége nagyban befolyásolja. E gázok zavartalanul átengedik a Nap sugarait a légkörön keresztül a Föld felszínére. Onnan a visszaverődő nagyobb hullámhosszúságú sugárzás egy részét e gázok elnyelik és visszasugározzák a felszín felé. A ÜHG-k többsége természetes módon már ősidők óta kis koncentrációban jelen vannak a légkörben. Jelenlétük nélkülözhetetlen, nélkülük  $-18\text{ °C}$  lenne az átlaghőmérséklet.

A felmelegedésért részben azok az ÜHG-k felelősek, amelyek bizonyítottan emelkedő koncentrációja emberi tevékenység következtében kerülnek az atmoszférába, ezek: szén-dioxid ( $\text{CO}_2$ ), metán ( $\text{CH}_4$ ), dinitrogén-oxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ), halogénezett szénhidrogének. A  $\text{CO}_2$  növekedő szintjével az atmoszféra öntisztulási folyamatai (növények asszimilációja, óceánok elnyelő felszíne) próbál egyensúlyt tartani, de ekkora  $\text{CO}_2$  emissziót már nem képes semlegesíteni.

Az ÜHG-k hatása három probléma köré csoportosítható: 1. *növekedő légköri koncentráció* 2. *légköri élettartam* 3. *üvegházhatás mértéke (globális melegítő potenciál)*. Nézzük meg ezeket részletesebben!

1. Az ipari forradalom óta *növekszik* folyamatosan az említett *gázok koncentrációja* (1.ábra). Az emberiség felfedezte, a fosszilis energiahordozókban raktározott energiához azok elégetésével könnyen hozzájuthat, ezáltal a technikai találmányok egyre növekvő energiaigényét az akkor végtelennek hitt természeti erőforrás készlettel biztosíthatja. Jelenleg is az emberek életvitele az egyre magasabb energiafogyasztásra épül, amelynek világviszonylatban még mindig több, mint a felét hőerőművek állítják elő tetemes  $\text{CO}_2$  kibocsátással együtt. A személygépkocsi, a háztartási eszközök használatának széles körű elterjedése és valójában minden emberi tevékenység, amely technikai eszközt igényel nagy mennyiségű erőforrás felhasználáson alapul.

E gázok közül egyedül a halogénezett szénhidrogének nem alkotják az atmoszféra természetes összetevőit, megjelenésük a technikai forradalom, a modern kor eredménye. A metán, mint az elpusztult élőlények, más szerves anyagok bomlásakor keletkező és a vulkáni kitörések egyik terméke, mindig jelen volt a légkörben. Viszont az iparosodás óta több, mint kétszeresére nőtt a koncentrációja. Ugyanennyi idő alatt a  $\text{CO}_2$  31 %, a  $\text{N}_2\text{O}$  pedig 14 %-kal emelkedett, ez évente a  $\text{CO}_2$  és  $\text{CH}_4$ -nál 0,4 %,  $\text{N}_2\text{O}$ -nál 0,03 %, a halogénezett szénhidrogénekénél 4% növekedést jelent. Hatásukat tovább bonyolítja a légköri tartózkodási idő és az üvegházhatás mértéke.



1.ábra

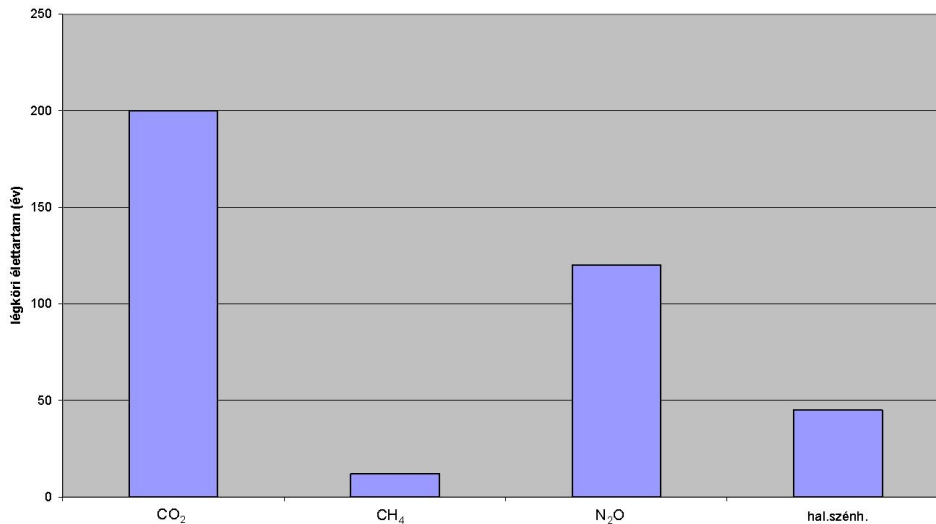
**A fontosabb üvegházhatású gázok növekedése**

**Forrás: RAKONCZAI J. 2003 alapján a szerző munkája**

Megjegyzés: 1 ppm= $10^{-6}$  1 ppb= $10^{-9}$  1ppt= $10^{-12}$  térfogatarány

2. Az ÜHG-k éghajlatmódosító hatását az is emeli, hogy az említett gázok légköri *élettartama különböző és hosszú*, átlagosan 62 év. A leghosszabb ideig, 200 évig a CO<sub>2</sub> tartózkodik, a legkevesebbet, 12 évet a metán és a halogénezett szénhidrogének egyik csoportja (2.ábra). Az üvegházhatás mértékét tekintve e két utóbbi gáz többszörösen hatékonyabb, ezért rövid idő alatt többszörös melegítő hatást fejtenek ki

Az emisszió idejétől számított hosszú élettartam egyik következménye, hogy a légáramlatoknak van idejük egyenletesen szétoszlatni a légkörben e gázokat és olyan területekre is eljutnak, ahol semmilyen antropogén hatás nincs, pl. Antarktisz. A másik következmény, a jelenleg kibocsátott ÜHG-k hatása nemcsak az emisszió idejében érvényesül. Az utókor még hosszú ideig tapasztalni fogja a korábban élők hatásait.



**2.ábra**

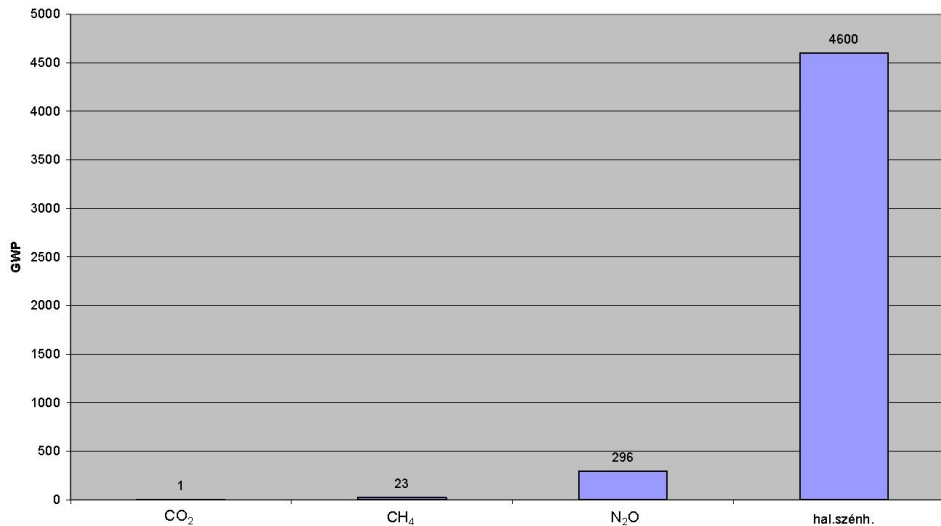
**A fontosabb üvegházhatású gázok légköri élettartama**

**Forrás: RAKONCZAI J. 2003. alapján a szerző munkája**

3. A *globális melegedési potenciál* (global warming potencial – GWP) azt jelenti, hogy 1 kg CO<sub>2</sub> sugárzási hatásához képest más gáz 1 kg-ja adott időtartam (100 év) alatt hányszor erősebb sugárzást fejt ki, vagyis az ÜHG-k melegítő hatásait hasonlítja össze 1 kg CO<sub>2</sub>-ra vonatkoztatva. Látható, hogy minden ÜHG melegítő képessége nagyobb, mint a CO<sub>2</sub>-é (3. ábra). A sugárzási hatás erősen megfordíthatja a kis koncentrációban jelen levő gázok hatását: halogénezett szénhidrátok 10<sup>-12</sup> koncentrációjából adódó kis sugárhatást a 4600-szoros sugárzási hatás felerősíti.

Az előzőekben felsoroltakon kívül az emberi tevékenységeknek más éghajlat-módosító következményei is vannak. Ilyenek az *aeroszollok* (légköri cseppfolyós és szilárd alkotórészek): por, korom, szulfátok, korom, tengeri sók. Ezek a napsugárzás egy részét visszaverik, magasabb légrétegekben pedig elnyelik, összességében hűtő hatásúak.

Módosítja az éghajlatot a *felszín fényvisszaverő-képessége* (albedó): a dús vegetáció és a nedves talaj kevesebbet ver vissza és többet nyel el, fontos szerepet játszanak a hűtő hatásban. Ez felveti az esőerdők kivágásának – 17 millió hektár évente (BROWN, L. 1992) – és a mezőgazdaság, állattartás vagy szavannanövényzet meghagyásának problémáját.



**3. ábra**

**A fontosabb üvegházhatású gázok globális melegítő potenciálja (GWP)**

**Forrás: RAKONCZAI J. 2003. alapján a szerző munkája**

A számítógépes modellek szerint az éghajlat dinamikájából következő változékonyság minden külső hatás nélkül is bármikor ki tud alakulni (MIKA J. 2002). A jelenleg tapasztalható éghajlatváltozás az antropogén és nem antropogén hatások közös eredője.

## **5. AZ ANTROPOGÉN ÜHG-K KISZÁMÍTÁSÁNAK MÓDSZERE**

A számítás módszerét az 1988-ban alakult IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) 2006-ban dolgozta ki *Irányelvek az országos üvegházhatású gázok leltárához (2006 Guidelines)* címmel. Ez egy korábbi koncepció átdolgozásaként született. Az IPCC alapvető feladata, hogy a világ tudományos csoportjainak kutatási eredményeit felhasználva értékelje az emberi tevékenységek hatását az éghajlatra, tudományosan megalapozott becsléseket adjon a jövőbeli éghajlatváltozásra, és felmérje a társadalmi-gazdasági és környezeti következményeket.

A számítás koncepciója kulcsfontosságú, közös megegyezésen alapuló irányelveken alapszik. Ez teszi lehetővé az országok közötti összehasonlítást, a dupla és kihagyásos számítások elkerülését, valamint hogy a mérési időszakok valóságos emisszióváltozásokat tükrözzenek

A számításnál egy ország statisztikai adataiból kell kiindulni, pl. a közúti közlekedés általi kibocsátást az országban eladott üzemanyag adatokból kell számítani, mert ott vannak üzemanyagra vonatkozó statisztikák, nem pedig, ahol üzemeltetik a járművet. Ahol hiányoznak a megfelelő adatok, ott az előző évek átlagolásával, interpolálásával, extrapolálásával lehet számolni. A számítások egy évre vonatkozó emisszió alapulnak.

Az IPCC a következő gázokat határozza meg ÜHG-knak:

- széndioxid ( $\text{CO}_2$ ),
- metán ( $\text{CH}_4$ ),
- dinitrogénoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ),
- hidrofluorkarbonok (HFCs),
- perfluorkarbonok (PFCs),
- szulfurhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ),
- nitrogéntrifluorid ( $\text{NF}_3$ ),
- trifluorometil-szulfur-pentafluorid ( $\text{SF}_5\text{CF}_3$ ) más halogénezett vegyületek (pl.  $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$ ) és más a Montreáli Jegyzőkönyvben nem szereplő halogénezett karbonok (pl.  $\text{CF}_3\text{I}$ ).

Minden gázhoz egy globális melegedési potenciált (global warming potencial – GWP) véglegesítettek. A GWP az ÜHG-k melegítő hatásait hasonlítja össze 1 tonna  $\text{CO}_2$ -ra, 100 évre vonatkoztatva.

Az emisszió megközelítésének legfontosabb alapelve, minden emberi tevékenység határát megszabni és ezeket összevetni. Így lehet számszerűsíteni a kibocsátást egység-tevékenységekre.

Az emberi tevékenységeken alapuló ÜHG-k kibocsátásának számításait a következő főszektorokra osztották:

- energia,
- ipari folyamatok és termékek,
- mezőgazdaság, erdőgazdaság és más földhasználat (IPPU),
- hulladék,
- egyéb (pl. közvetett mezőgazdasági forrásból származó N depozíció).

Minden főszektor tartalmaz egyéni kategóriákat (pl. energián belül a közlekedés) és alkategóriákat (pl. autók). Az alkategóriák összeadva adják a kategóriákat. Az országok közötti folyamatok pl. nemzetközi közlekedés nincs egyetlen ország leltárában sem.

Az alapegyenlet bizonyos körülmények között módosul, ekkor az emissziós faktoron kívül más becslési paramétereket is tartalmaz. Pl. időeltolódású folyamatoknál (egy kihelyezett anyag lebomlása vagy hűtőfolyadék folyása) más metodikát alkalmaznak.

Minden főszektor a módszer nehézségi szintjét tükrözve szintekre tagolódik:

- alapszint (Tier 1),
- középszint (Tier 2),
- felsőszint (Tier 3) (a legkomplexebb, az adatkövetelmények szempontjából a legnehezebb).

A közúti közlekedés példáján a következőképpen alakulnak ezek a szintek.

Az *alapszinten* a CO<sub>2</sub> emissziót a megbecsült eladott üzemanyag és az adott CO<sub>2</sub> emissziós faktor szorzataként kapjuk.

$$Emisszió = \sum (\dot{U}zemanyag_a \times EF_a)$$

$$Emisszió = \text{CO}_2 \text{ kibocsátás (kg)}$$

$$\dot{U}zemanyag = \text{eladott üzemanyag (TJ)}$$

$$EF_a = \text{adott üzemanyag emissziós faktora (kg/TJ)}$$

$$a = \text{üzemanyag típusa}$$

Az emissziós faktor az elégetett üzemanyag egységre kibocsátott CO<sub>2</sub> tömege, amely egyenlő az üzemanyag széntartalma szorozva 44/12-vel.

A *középszint* megközelítése ugyanaz, mint az alapszintté azzal a különbséggel, hogy figyelembe veszik az eladott üzemanyag országspecifikus széntartalmát. Minthogy az emissziós faktor az üzemanyagban levő összes C-tartalmon alapul, a második szinten a CO<sub>2</sub> emissziós faktorok megváltoztathatók aszerint, hogy a nem oxidálódott vagy nem CO<sub>2</sub>-ként kibocsátott szén veszik figyelembe.

A *felsőszintet* nem használják, mert nem ad szignifikáns különbséget a másodikhoz képest.

A CH<sub>4</sub> és N<sub>2</sub>O kibocsátások számolása az *első szinten* ugyanaz, mint a CO<sub>2</sub> esetében. A *középszinten* sokkal nehezebb, mert az emissziós faktorok függnak a jármű technológiájától, az üzemanyag és a működtetési jellemzőktől. Ezen kívül befolyásoló tényező a meglévő járműpark emissziós paraméterei. A szintek figyelembe veszik a különböző autótípusokat és a szennyezést csökkentő technológiákat.

$$Emisszió = \sum [ \dot{U}zemanyag_{a,b,c} \times EF_{a,b,c} ]$$

*Emisszió* = CH<sub>4</sub> vagy N<sub>2</sub>O kibocsátás kg-ban

*EF<sub>a,b,c</sub>* = emissziós faktor (kg/TJ)

*Üzemanyag<sub>a,b,c</sub>* = elhasznált üzemanyag (TJ) adott jármű használati módjára

*a* = üzemanyag típusa

*b* = járműtípus

*c* = a szennyezést csökkentő technológia (pl. katalizátor)

A felsőszint képlete:

$$Emisszió = \sum [ Távolság_{a,b,c,d} \times EF_{a,b,c,d} ] + \sum C_{a,b,c,d}$$

*Emisszió* = CH<sub>4</sub> vagy N<sub>2</sub>O kibocsátás kg-ban

*EF<sub>a,b,c,d</sub>* = emissziós faktor (kg/km)

*Távolság<sub>a,b,c,d</sub>* = megtett út, a termikusan stabilizált motor működési fázisa alatti használati módra

*C<sub>a,b,c,d</sub>* = kibocsátás felmelegedő fázisban (hideg indítás)

*a* = üzemanyag típusa

*b* = járműtípus

*c* = szennyezést csökkentő technológia

*d* = működési feltételek (városi, országúti üzemmód, egyéb környezeti faktorok)

## 6. A HÁZTARTÁSOK KÖZELÍTŐ CO<sub>2</sub> LÁBNYOMA

A magyarországi energiafogyasztás elsődleges (szén, kőolaj, földgáz, tűzifa)-és átalakított (PB-gáz, benzin, petróleum, gázolaj, tüzelőolaj, fűtőolaj, hőenergia, villamos energia) energia-hordozókból nyeri az energiát. Mindegyik közül a földgáz felhasználás a legnagyobb, 10<sup>5</sup> a többi 10<sup>4</sup> és 10<sup>3</sup> nagyságrendű az alap-energia-hordozók közül.

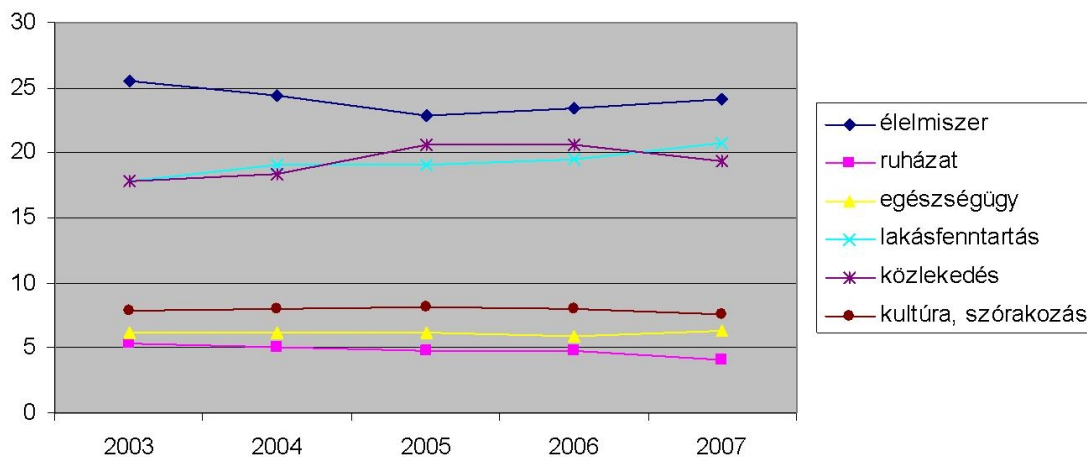
A hazai energiafelhasználást ágazati szintekre lebontva 37,9 %-kal az ipar vezeti, a háztartások közvetlen mögötte 35,7 %-kal követik. Egy háztartás legfőbb energiahasználó kompo-

nensei, ezáltal fontos üvegházhatást okozó gáz kibocsátók a fűtés, elektromos energiafogyasztás és a közlekedés. A legfontosabb energiahordozók a lakossági felhasználásban: a földgáz (40,5%) vezet csökkenő tendenciával, gáz-és tüzelőolaj (17,3%), benzin (14,9%), villamosenergia (11,9%), szén és tűzifa (7,8%) (EnergiaKözpont Nonprofit kft. 2010).

A kiadások szerinti bontás (4. ábra) közel lefedi a nagyobb mennyiségű és drágább energiafajtákat használó tevékenységeket.

A listavezető élelmiszerfogyasztás a húsalapú táplálkozás miatt egyre nagyobb szerepet játszik, főleg a CH<sub>4</sub> kibocsátásban. Ezen belül a szarvasmarha tenyésztés, ami a többi állattartás között is a legnagyobb környezeti teherrel jár. Viszont a magyar lakosság húsfogyasztási szokásai inkább a sertés és baromfihúst részesíti előnyben.

Egységnyi burgonyára számítva a baromfi és sertés tenyésztés 10–20-szor, a szarvasmarha-tenyésztés legalább 50-szer több ÜHG (<http://www.co2ntra.hu/index.php>) keletkezéséhez járul hozzá.



4.ábra

A hazai háztartások kiadások szerinti bontása rendeltetés szerint  
Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2007. alapján a szerző munkája

### 6/a Fűtés

A tüzelőanyag elégetésekor az emisszió mennyisége a széntartalomtól függ, ennek legnagyobb része CO<sub>2</sub> formájában távozik, kisebbik részéből CO és CH<sub>4</sub>, illetve nem metános illó szerves vegyületek keletkeznek. A nem oxidálódott, szemcsés korom vagy hamuformájú szén

nem került bele a kibocsátások számításába. A tüzelőanyagokhoz tartozó CO<sub>2</sub> faktorok (EF) az elégetett anyag széntartalmától függenek, nem pedig az égési folyamattól és annak körülményeitől. Az égési folyamat másik fontos faktora a tüzelőanyag fűtőértéke, azaz energiatartalma. Ez az anyag belső kémiai jellemzője, a tüzelőanyagban levő kémiai kötések összetételétől függ. Az IPCC nettó fűtőértékekkel számol, mely egységnyi tüzelőanyag tökéletes elégetésekor felszabaduló hőmennyiség. A hozzátartozó körülményeket a következően határozták meg: a tüzelőanyag és a levegő hőmérséklete az elégetés előtt és az égéstermékek hőmérséklete az elégetés után egyaránt 20 °C, a H-tartalom elégeséből keletkezett víz és a levegő eredeti nedvesgéttartalma az égés után gázhalmazállapotban van jelen, s ennek hője nem nyerődik vissza a folyamat során. Az emisszió és a fűtőérték közötti kapcsolat: minél nagyobb a tüzelőanyag fűtőértéke, annál kisebb emisszióval jár az égési folyamat (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>).

A hazai lakossági fűtés a következő főbb energiaforrásokkal biztosított: vezetékes földgáz, Pb-gáz, tüzelőolaj, szén fajtái és tűzifa, a listát a földgáz vezeti.

A számításokhoz szükséges adatforrások a KSH, Energia Központ Kht. által kiadott évkönyvek, kiadványok adatainak átszámításával, többszöri átváltásával váltak használhatóvá. Adott energiahordozóhoz tartozó ÜHG-kra vonatkozó emissziós faktorok megtalálhatók a <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> megfelelő főszektoraiban.

A vezetékes földgázzal történő fűtés ÜHG kibocsátása (1. és 2. táblázat) és a szénfélékkel és tűzifával történő fűtés ÜHG kibocsátásából (3. és 4. táblázat) megállapítható, hogy a földgáz emissziója a legnagyobb: 776,5 kg/év/fő az összfelhasználás legnagyobb mennyisége miatt.

### 1. táblázat

#### A vezetékes földgázzal történő fűtés ÜHG kibocsátása

Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. alapján a szerző munkája

	1 lakosra jutó vezetékes gázfogyasztás (kg/év)	Fűtőérték (MJ/kg)	EF <sub>CO2</sub> (kg/TJ)	CO <sub>2</sub> emisszió (kg/év/fő)
földgáz	337,9	40,96	56100	776,5
tüzelőolaj	132	42	74100	407,5

## 2. táblázat

### A vezetékes földgázzal történő fűtés ÜHG kibocsátása

Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. alapján a szerző munkája

	vezetékes gázfogyasztás 1 lakosra (kg/év)	Fűtőérték (MJ/kg)	EF <sub>CH<sub>4</sub></sub> (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> emisszió (kg/év/fő)	EF <sub>N<sub>2</sub>O</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O emisszió (kg/év/fő)
földgáz	337,9	40,96	1	0,013	0,1	0,001
tüzelőolaj	132	42	3	0,016	0,6	0,0033

## 3. táblázat

### A szénfélékkel és tűzifával történő fűtés ÜHG kibocsátása

Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. alapján a szerző munkája

	Fogyasztás (kg/év/fő)	Fűtőérték (MJ/kg)	EF <sub>CO<sub>2</sub></sub> (kg/TJ)	CO <sub>2</sub> emisszió (kg/év/fő)
szén	39,3	25	94600	92,8
lignit	6,4	8	101000	5,17
barnaszén	28,8	19	97500	53,3
feketeszén	4,03	25	98300	9,83
tűzifa	85,5	14,4	112000	137,8

Egy lakosra jutó fogyasztás alapján kiszámított összefűtőérték 62%-t a földgáz biztosítja. Ennek CO<sub>2</sub> emissziója a teljes ÜHG kibocsátásnak 52%-a. A CH<sub>4</sub> és N<sub>2</sub>O-k emissziók kisebbek, a tűzifa égetése viszont tetemesebb CH<sub>4</sub> és N<sub>2</sub>O kibocsátással jár a megfelelő EF nagysága miatt (5. táblázat).

#### 4. táblázat

##### A szénfélékkel és tűzifával történő fűtés ÜHG kibocsátása

Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. alapján a szerző munkája

	Fogyasztás (kg/év/fő)	Fűtőérték (MJ/kg)	EF <sub>CH<sub>4</sub></sub> (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> emisszió (kg/év/fő)	EF <sub>N<sub>2</sub>O</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O emisszió (kg/év/fő)
szén	39,3	25	1	0,0009	1,5	0,001
lignit	6,4	8	1	0,00005	1,5	0,0007
barnaszén	28,8	19	1	0,0005	1,5	0,0008
feketeszén	4,03	25	1	0,0001	1,5	0,0001
tűzifa	85,5	14,4	30	0,036	4	0,0048

#### 5. táblázat

##### A hazai lakossági fűtés ÜHG kibocsátása 1 lakosra összesítve

Forrás: a szerző munkája

	CO <sub>2</sub> emisszió (kg/év/fő)	CH <sub>4</sub> emisszió (kg/év/fő)	N <sub>2</sub> O emisszió (kg/év/fő)
fűtés összesítve	1482,9	0,066	0,0117

#### 6/b Villamosenergia fogyasztás

A villamosenergia termelés országspecifikus, ami figyelembe veszi az előállításához milyen elsődleges- és átalakított energiahordozókat használ fel egy ország, milyen arányban és milyen hatásokkal. A hazai villamosenergia-termelés fajlagos CO<sub>2</sub> kibocsátása 365 g/kWh, ami 101442 kg/TJ-nak felel meg. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>)

### 6. táblázat

#### Egy főre jutó villamosenergia fogyasztás CO<sub>2</sub> kibocsátása

Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. alapján a szerző munkája

Egy lakosra jutó villamosenergia-fogyasztás (kWh/év)	Egy lakosra jutó villamosenergia-fogyasztás (MJ/év)	EF <sub>CO2</sub> (kg/TJ)	CO <sub>2</sub> emisszió (kg/év)
1104,9	3977,6	101442	403,4

### 6/c Közlekedés

A közlekedés intenzitásának növekedését jelzi a személyautók számának növekedése: 1960 óta közel 100-szorosra nőtt a hazai darabszám (1960-ban 31 268, 2008-ban 3 055 427) (Magyar Statisztikai Évkönyv 2008). A széntartalmú üzemanyagra épülő közlekedés egyre nagyobb részben járul hozzá főleg a CO<sub>2</sub> kibocsátáshoz, bármennyire is szennyezést csökkentő technológiákkal látják el az újonnan gyártott autókat (7. és 8. táblázat).

### 7. táblázat

#### Személyautók közlekedéséből származó ÜHG kibocsátás 1 lakosra számítva

Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. alapján a szerző munkája

	1 lakosra jutó fogyasztás (l/év)	Fűtőérték (MJ/l)	EF <sub>CO2</sub> (kg/TJ)	CO <sub>2</sub> emisszió (kg/év/fő)
benzin	163	34,66	69300	388,08
gázolaj	27	38,69	74100	77,3
összesen				465,38

### 8. táblázat

#### Személyautók közlekedéséből származó ÜHG kibocsátás 1 lakosra számítva

Forrás: Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. alapján a szerző munkája

	1 lakosra jutó fogyasztás (l/év)	Fűtőérték (MJ/l)	EF <sub>CH<sub>4</sub></sub> (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> emisszió (kg/év/fő)	EF <sub>N<sub>2</sub>O</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O emisszió (kg/év/fő)
benzin	163	34,66	33	0,18	3,2	0,017
Gázolaj	27	38,69	4,15	0	28,6	0,029
összesen				0,184		0,046

Az egy főre jutó főbb energiafogyasztó tevékenységek *összesítéséből* kiderül (9. táblázat), hogy az összes kibocsátás jelentős részét a ClO<sub>2</sub> adja, és a több energiát igénylő tevékenységek közül a fűtés során keletkezik a legtöbb CO<sub>2</sub>. Háromszor több, mint a közlekedés és a villamosenergia fogyasztás során. A CO<sub>2</sub>-n kívüli gázokat össze-hasonlítva a közlekedés bocsátja ki a több CH<sub>4</sub>-t és N<sub>2</sub>O-t, 2,7-szer illetve 4,6-szor többet.

Az összes CO<sub>2</sub> emisszió (2351,6 kg/fő/év) jó közelítéssel megegyezik a KVM által kiadott, „Az üvegházhatású gázok kibocsátás-csökkentésének energetikai vonatkozásai” című kiadványban feltüntetett adatokból saját számításokkal kapott értékekkel, ami 2509,4 kg/fő/év).

### 9. táblázat

#### Egy háztartás főbb energiafogyasztó tevékenységeinek ÜHG kibocsátásának összesítése

Forrás: a szerző munkája

	CO <sub>2</sub> emisszió (kg/fő/év)	CH <sub>4</sub> emisszió (kg/fő/év)	N <sub>2</sub> O emisszió (kg/fő/év)
villamosenergia- fogyasztás	403,4		
közlekedés	465,38	0,184	0,046
fűtés	1482,9	0,066	0,0117
összesen	2351,6	0,25	0,05

### 6/d A keletkezett ÜHG-k átváltása CO<sub>2</sub>-ra és erdőterületre

Ha a CH<sub>4</sub> és N<sub>2</sub>O gázokat CO<sub>2</sub> egyenértékre hozzuk a megfelelő GWP-t figyelembe véve, akkor a kibocsátott CH<sub>4</sub> által plusz 5,75 kg/fő/év CO<sub>2</sub>-t, a kibocsátott N<sub>2</sub>O által pedig plusz 14,8 kg/fő/év CO<sub>2</sub>-t kapunk. Mindezeket *összesítve 2372,15 kg CO<sub>2</sub> kibocsátáshoz járul hozzá* a lakosság évente átlagos életvitele általi tevékenységekkel (10. táblázat).

**10. táblázat**  
**A keletkezett ÜHG-k átváltása CO<sub>2</sub>-ra**  
**Forrás: a szerző munkája**

	Főbb energiafogyasztó tevékenységek		
	CO <sub>2</sub> kibocsátás (kg/fő/év)	CH <sub>4</sub> kibocsátás (kg/fő/év)	N <sub>2</sub> O kibocsátás (kg/fő/év)
	2351,6	0,25	0,05
<b>Adott GWP-t figyelembevéve CO<sub>2</sub>-ra átváltva</b>	2351,6	5,75	14,8
<b>Összes CO<sub>2</sub> kibocsátás (kg/fő/év)</b>	2372,15		

Ha mindezt a hazai erdőállomány CO<sub>2</sub> elnyelő képességére átváltjuk, akkor kiderül, hogy képes-e ezt a CO<sub>2</sub> mennyiséget semlegesíteni. A hazai erdőállomány 1 890 866 ha (Magyar Statisztikai Évkönyv 2008) összterülettel rendelkezik. Átlagosan 4–6 t CO<sub>2</sub>-t képes 1 ha hazai erdő elnyelni (<http://www.co2ntra.hu/>), így összesen 9 454 330 t CO<sub>2</sub> semlegesítését tudná megoldani. Az egy főre jutó CO<sub>2</sub> emisszió összlakosságra számítva: 23 496 145 t. További számításból kiderül, hogy 4 699 229 ha erdőre lenne szükség, vagyis 2,5-ször nagyobb területre a jelenleginél ugyanilyen elnyelő kapacitást figyelembe véve (11. táblázat). Ha egy főre vetítjük a hazai erdőterület nagyságát és elnyelő kapacitását, akkor a kiszámított *2372 kg CO<sub>2</sub> kibocsátás helyett, 38 kg lenne megengedett*. Ez azt jelenti, hogy 62-szer több CO<sub>2</sub> termeléséhez járul hozzá átlagosan egy hazai lakos, mint amennyit semlegesíteni tudna a hazai erdő, figyelembe véve csak azokat a háztartásban levő tevékenységeket, amelyek nagyobb energiaigényűek.

**11. táblázat**  
**A keletkezett összes CO<sub>2</sub> átváltása erdőterületre**  
**Forrás: a szerző munkája**

	<b>Jelenleg <i>adott</i> hazai adatok</b>	<b>CO<sub>2</sub> kibocsátás semlegesítése miatt <i>szükséges lenne</i></b>	<b>Hiány</b>
1 ha erdő CO <sub>2</sub> elnyelő képessége (t)	4–6		
Összerdő terület (ha)	1 890 866	4 699 229	2,5-szörös
Összerdő terület CO <sub>2</sub> elnyelő képessége (t)	9 454 330	23 496 145	2,5-szörös

A Földön nem minden embernek ugyanakkora a környezetterhelése és az erdők semlegesítő képessége is más. A légköri áramlások kiegyenlítik a különbségeket, ezért bizonyos, hogy a hazai többlet CO<sub>2</sub> termeléssemlegesítésében a hazai erdőkön kívül a Föld más semlegesítő potenciáljai is szerepet játszanak. Ettől függetlenül a kiszámított adatok jól érzékeltetik a lakosság környezetterhelésének mértékét.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A karbon-lábnyom számítás – hasonlóan más mutatókhoz – sem tökéletes indikátora a lakosság környezetre gyakorolt terhelésének, de egyenlő megítélést tesz lehetővé embercsoportok, emberi tevékenységek között. A fentiek alapján elmondható, hogy a számítás az ember környezethasználatának megfelelő vizsgálati módja. A fenti számítások az emberi életvitel azon komponenseit vette figyelembe, amelyek leginkább felelősek a karbon-lábnyomért. A számításokból egyértelműen kiderül, hogy a hazai lakosság átlagos életvitele általi, túlzott, közvetlen energiafogyasztás CO<sub>2</sub> egyenértékre átváltva nagymértékben terheli a légkört és az élő rendszereket. Valószínű, a háztartáson kívüli ágazatok (ipar, szállítás, mezőgazdaság) kibocsátása materializálódott javak formájában a háztartásokra vonatkozóan legalább ekkora közvetett energiaigényűek.

A fenti eredmények önmagukban értékelve is figyelmeztető értékűek, hogy változtassunk életvitelünkön. Ezt követeli meg az előrelátás és a következő generáció iránti felelősség.

## 8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- ANTAL Z. L. 2006 (szerk.): *Klímaparát települések*. Pallas Kiadó, Budapest, p. 467.  
<http://www.co2ntra.hu/>
- BROWN, L. 1992: *A világ helyzete*. Föld Napja alapítvány, Budapest, pp. 1–6.
- Energia Központ Nonprofit Kft. 2010: *A hasznos hőigényen alapuló kapcsolt energiatermelés belső energiapiacra való támogatásáról (adatszolgáltatás)*. pp.2–8.
- GYULAI I. 2008: *Kérdések és válaszok a fenntartható fejlődésről*. Magyar Természetvédők Szövetsége, Budapest, p. 22.
- HAJNAL K. 2008: *A fenntartható településfejlesztés humánökológiai elvei*. In: Nagy I.: *Városökológia*. Dialógus Campus, Pécs, p. 294.
- KVM 2006: *Az üvegházhatású gázok kibocsátás-csökkenésének energetikai Vonatkozásai*. pp.4–26. Magyar Statisztikai Évkönyv 2008. KSH, 2009.
- MIKA J. 2002: *A globális klímaváltozásról*. In: *Fizikai Szemle*, 9. sz. pp. 258–272.
- PROBÁLD F. 2000: *Hány embert képes eltartani a Föld?* In: Dövényi Z. (szerk.): *Alföld és nagyvilág*. MTA FKI, Budapest, pp. 33–44.
- RAKONCZAI J. 2003: *Globális környezeti problémák*. Lazi Könyvkiadó, Szeged, pp. 75–83.
- TROMBITÁS G. 2001: *Mennyi földet fogyasztunk?* In: *Élet és Tudomány*, 14. sz. pp. 16–20.
- WACKERNAGEL, M. – REES, W.E. 2001: *Ökológiai lábnyomunk*. Föld Napja Alapítvány, WWF: Living Planet Report, 2008.
- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>