

ÉGHAJLATVÁLTOZÁS - MELLÉKVÁGÁNY

Bevezetés

Félreértések elkerülése miatt szeretném a tanulmány elején tisztázni, hogy nem az éghajlatváltozás tényét akarom kétségbe vonni. Közismert tény, hogy a 19. század, vagyis a műszeres mérések kezdete óta a globális átlaghőmérséklet napjainkig mintegy 0,7–0,8 °C fokkal emelkedett. Ezt a melegedést ugyan egy átmeneti visszahűlés szakította meg. A tudományos érdeklődés homlokterében azonban nem a sokat emlegetett fölmelegedés veszélye állt, hanem a technika fejlődésével együtt járó környezeti károsodások, amelyeknek jelei „kézzel foghatóak”. A műemlékek rongálódásáról már az 1970-es években sok hírt lehetett hallani, először „csapóesőkre” gyanakodtak, majd kiderült, hogy savas esők okozzák a károkat. A hangsúly azonban idővel eltolódott az elméletekkel alátámasztott éghajlatváltozások felé. A félelem igazi oka a megnövekedett gazdasági értékek sebezhetősége. Gazdasági károkat okozhat éghajlatváltozás is, de ennek mértéke és konkrét formája bizonytalan. Az egyéb károk formája, amint ezt jelen tanulmány is igyekszik alátámasztani, kézzel fogható.

Az ipari forradalom

A gőzgép és a benzinmotor elterjedése óriási mértékben megnövelte a gazdasági értékek termelését. A 20. század végén a fejlett ipari országok energiafelhasználása olyan méreteket öltött, hogy az egy főre jutó energiafogyasztás ezekben az országokban egyenértékű 4–500 rabszolga megfeszített munkájával, vagyis lakosonként 35–40 kW teljesítménnyel. Hazánkban 1959 óta a személygépkocsik száma mintegy 120-szorosára növekedett (KSH zsebkönyvek), az autók átlagos teljesítményének és minőségének javulását már nem is tudjuk számokban kifejezni. A hivatali épületek és

magán lakások infrastruktúrájának értéknövekedése is nyilvánvaló. Mindez azt jelenti, hogy a fejlett országokban felhalmozott értékek a társadalmat sebezhetőbbé tették. Ezt jól mutatják – igaz, közvetve – azok a számok, amelyeket az IPCC 3. helyzetértékelő jelentése is tartalmaz: az 1950-es évektől az 1990-es évek végéig a világon előforduló szélsőséges időjárási jelenségek okozta károk évtizedes összege megújírszereződött (*Climate Change 2001.WG II.. p. 422.*). Ennek egyik oka az egyre nagyobb értékek felhalmozása a fejlettebb országokban. Ha egy jurtát elsodor a vihar, akkor egy 8–10 tagú kaláka brigád egy napon belül újra felépít egy másik jurtát, ám ha egy modern infrastruktúrával ellátott családi házat pusztít el ugyanaz a vihar, annak újjáépítése hónapokig tarthat, és igen sokba fog kerülni.

A hihetetlenül nagy energia felhasználás és gazdasági fejlődés együtt járt a környezet kisebb-nagyobb károsításával. *Számítások szerint egy átlagos amerikai polgár jólétének a környezetre gyakorolt hatása annyi, mint két svéd, három olasz, 13 brazil, 35 hindu vagy 280 csádi polgáré (Catherine-Zoi Varfis and Lorna M Wilson, 2004).*

A jólét növelésére tett erőfeszítés folytatódik a 21. században, de kérdés, hogy ennek mi lesz az ára, milyen környezeti károsodás lesz a következménye? Így merült fel a gyakran emlegetett „Fenntartható Fejlődés” problémája.

UNEP, az ENSZ Környezeti Programja

A 20. század második felében a gyors technikai fejlődés és a világ népességének robbanás-szerű növekedése két sürgősen megoldásra váró kérdést vetett fel: a környezet károsodása elleni küzdelem, illetve az élelmiszer termelés fejlesztésének felgyorsítása. 1972-ben Stock-

holmban megtartották 114 ország képviselőinek részvételével a Környezeti Világkonferenciát, amelynek eredményeként megalakult az UNEP (United Nations Environment Program), ennek 58 tagú irányító testülete Nairobiban, Kenya fővárosában működik. Azóta több száz nemzetközi egyezmény, megállapodás, jegyzőkönyv született a környezet regionális vagy globális védelme érdekében (*Catherine-Zoi and Lorna M Wilson, 2004*). (A teljesség kedvéért megjegyzem, hogy a világ élelmiszer hiányának enyhítése érdekében 1963-ban Washingtonban, majd 1974-ben Rómában összehívták a Világélelmiszeri Konferenciát, de ennek részletei nem tartoznak jelen témánkhoz.)

A Környezeti Világkonferencia érdeklődésének középpontjában a kézzel fogható, érzékelhető környezet károsodás állott. Ilyen volt többek között a savas esők által okozott műemlék rongálódás, az erdők fáinak megbetegedése, a folyókba engedett szennyvizek miatti halpusztulás, az öntözés céljából elterelt folyók miatt tönkretett tavak, a tenger mélyébe süllyesztett radioaktív hulladék, az olajszállító hajókból az óceánok felszínét elborító olajfoltok, a trópusi esőerdők szakadatlan irtása, aminek következtében az erózió évtizedeken belül elmossa a termőtalajt. Később megfigyelhetővé vált a sztratoszférikus ózon délsarki ritkulása, aminek fő gyanúsítottjai a halogénezett szénhidrogének, azaz a freon gázok voltak. A globális melegedésről azért sem lehetett szó a Konferencián, mert az 1940-es évektől – az azt megelőző melegedést megszakítva – egy lehűlés kezdődött, amely az 1970-es évek végéig tartott. Tény, hogy az 1960-as évek végén, 1970-es évek elején Afrikában, a Szahel övezetben aszályos évek sora okozott nagy károkat, a lábas jóságából százezrek pusztultak el, az emberek

milliói menekültek délre, hogy vizet és élelmet találjanak. Ez világszerte nagy riadalmat okozott, hiszen éppen ekkor kezdett vésszesen fogyni világ átlagban az egy főre jutó élelem. Ezt egy kedvezőtlen éghajlatváltozás csak súlyosbíthatta volna. A WMO ezért kapta azt a feladatot, hogy az éghajlatot alakító fizikai tényezők kutatásával minél behatóbban foglalkozzék, ennek a munkának része volt a GARP (Götz, 1974, 2004). A FAO-nak és más szervezeteknek pedig az élelmiszerhiány és vízhiány elleni küzdelem jelent elsődleges munkát.

A múlt és a jelen éghajlatváltozásai

1988-ban az UNEP és a WMO közös szervezésében megalakult az IPCC, azaz a Kormányközi Testület az Éghajlatváltozásról (Az IPCC 2008. augusztusában ünnepelte megalakulásának 20. évfordulóját.). Abban az időben még mindig nem beszélhettünk tartós globális melegedésről, hiszen 1988-ban alig egy évtizede szűnt meg a globális átlaghőmérséklet csökkenése, illetve stagnálása. A feladat elsősorban az éghajlat minél pontosabb megfigyelése volt és maradt. Ennek jele, hogy az IPCC 5-6 évenként készít friss, átfogó jelentéseket az éghajlat állapotáról. *A tűzörség felállítására nem azt jelenti, hogy ég az utca, vagy lángokban van a fél város, hanem azt jelenti, hogy felkészülünk egy esetleges veszély elhárítására.* (Szakemberek feladata ennek tudatosítása, hiszen a pontos tájékoztatás nélkül az emberi fantázia szárnyakat kap.)

A fő veszélyt sokan abban látják, hogy a 19. század közepe óta folyamatosan nő a légköri üvegház gázok mennyisége, ami a globális átlaghőmérséklet növekedését okozhatja. Itt azonban még az IPCC is óvatos, hiszen számos bizonytalanság nehezíti a számszerű előrejelzést: *1. nem tudjuk hogyan alakul az üvegház gázok emissziója a jövőben (a fosszilis tüzelőanyag készletek fogyóban*

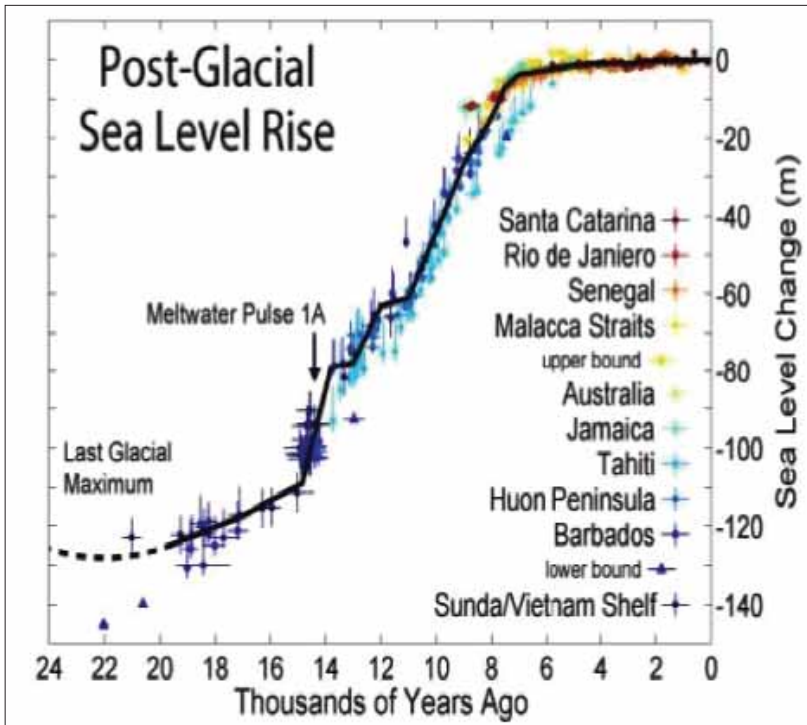
vannak, megújuló erőforrások kerülnek előtérbe!), 2. nem tudjuk hogyan reagál a bioszféra és az óceán a légköri szén-dioxid gyarapodására, 3. nem tudjuk miként reagál az éghajlat az üvegház gázok tényleges változására, 4. még kevésbé ismerjük az egyes régiók éghajlatának várható változását, 5. legkevésbé ismerjük a helyi éghajlat bizonytalan változásának hatását a környezetre. Ezek a kérdések egy szélesedő bizonytalansági piramissal ábrázolhatók (Climate Change 2001, WG II. p. 130.).

A „jövőbe látást” nehezítik a visszacsatolási mechanizmusok. Egyik ilyen (negatív) visszacsatolási mechanizmus, hogy ha pl. az Antarktisz fölé gyakran néhány fokkal melegebb levegő érkezik, a melegebb levegő több vízgőzt tud befogadni, emiatt évtizedről évtizedre több hó esik, tehát növekszik a hótakaró a sarkvidéken. Ennek növekvő súlya egyre nagyobb erővel préseli a jégtakarót a tengerpart felé, és egyre növekszik a „jéghegyborjzás”. A leszakadó jéghegyek hűtik a tenger vizét és a vele érintkező légrétegeket. Ennek jelei mutatkoznak az IPCC legújabb jelentésében, amely szerint a szubantarktikus óceán fölött az utóbbi 20–30 évben 1–2 tized fokot csökkent évtizedenként a hőmérséklet (Technical Summary, IPCC WG I, p.37., 2007). Természetesen vannak más, pl. pozitív visszacsatolási mechanizmusok is, de ezek többnyire elméletben létezhetnek, mérési adatokkal csak ritkán sikerül kimutatni.

A sarki jégtakaró „gyors” olvadásától és ennek következtében a tenger szintjének jelentős emelkedésétől való félelem mind többször hangot kap. Éghajlatunkat talán túlságosan sztatikusnak tartjuk, ezért félünk minden változástól. A valószínűségben éghajlatunkat főleg dinamikus, gyors vagy lassú változások jellemzik, a stabilitás inkább átmenetileg jelenik meg. Az utolsó eljegesedés, a Würm III. óta eltelt

mintegy 18 ezer éve a tengerszint 120 m-t emelkedett, ez az emelkedés azonban nem volt egyenletes, 15 ezer évvel ezelőtt mintegy 7,5 ezer évig a gyors olvadás következtében felgyorsult a tengerszint növekedése, ez alatt évszázadonként átlagosan 140–150 cm-t emelkedett a tenger szintje (1. ábra). A 20. században a többszörösen ellenőrzött mérések szerint a tengerszint átlagosan 15 cm-t emelkedett (Technical Summary, IPCC WG I., 2007. p.49.). Jól látható az 1. ábrán, hogy az 1A-val jelölt időben hirtelen felgyorsult a tengerszint emelkedés az Észak-Amerikai kontinens jégtakarójának olvadása következtében, majd mintegy 7–8 ezer évvel ezelőtt stabilizálódott a tengerszint, megszűnt a jég és hó olvadása (Oches, E.A., 2007). A hőmérséklet stabilizálódott, és nagyjából ebben az időben kezdett az ember növénytermesztéssel foglalkozni az addigi gyűjtögető, vándorló életmód helyett (Czelnai, 1999, 173.o.). *Kétségtelen, hogy nem az ember változtatta meg az éghajlatot, hanem az éghajlat stabilizálódása változtatta meg az ember életmódját, mégpedig azáltal, hogy a korábbi korszakhoz képest melegebb és stabilabb éghajlat lehetővé tette a növénytermesztést és a letelepedett életmódot.* A növénytermesztés legkorábbi nyomait délkelet Anatóliában találták meg a régészek, eszerint tízezer évvel ezelőtt kezdett az ember gabonát, gyümölcsöt, majd egyre több kultúrnövényt termeszteni.

Ide kívánczok egy szélesebb időskálára vonatkozó megjegyzés: A földtörténet legutóbbi, 570 millió éves időszakában, a Fanerozoikumban, a szabad szemmel is látható élet megjelenése és elterjedése óta a légköri szén-dioxid mennyisége általában 5–6-szorosa, egyes időszakokban átmenetileg mintegy 15-szöröse volt a jelenlegi értéknek, és csupán az utolsó 40–60 millió évben kezdett tartósan csökkenni, és közeledni a jelen szinthez (Budyko et al., 1987; Climate Change 2001.



1. ábra. Az utolsó jégkorszak utáni tengerszint emelkedés. A vízszintes skála az időt jelöli évezredekben az utolsó 24 ezer évben. Az ábra jobb oldalán felsorolt jelek a világ különböző részein és különböző időre vonatkozó tengerszint állapotokat jelzik. Feltűnő az 1A-val jelölt időszak, amikor az Észak-Amerikai kontinensen hirtelen olvadásnak indult a hótakaró. Ennek megfelelően leggyorsabb volt a hóolvadás 15 000 és 7 500 évvel ezelőtti időpontok között. Ezt egy gyenge tengerszint emelkedés követte az utolsó néhány ezer évben.

(Forrás: Oches, E.A., 2007)

WG I. p. 201.; Koppány, 1998). A légkörből a szén részben a karbonátos kőzetekbe és a mészvázú állatkák mészvázába került, részben a fosszilis tüzelőanyagba. Ez utóbbinak köszönhető, hogy a technika korában példátlanul sok energiát tudunk nyerni a fosszilis tüzelőanyagokból. A légkör egykori gazdag szén-dioxid tartalmának a szerves anyagokban való elraktározása teszi lehetővé azt az energia pazarlást, ami a fejlett országok jólétét biztosítja, ehhez hozzá kell tennünk, hogy a fosszilis tüzelőanyagokban lévő szén 10 ezerszer kevesebb, mint a karbonátos és üledékes kőzetekben lévő szén. A légkör történetében az utolsó, mintegy 2 millió éves időszakot kivételesen alacsony szén-dioxid tartalom jellemezte, ezért nem egészen helyes a minimumhoz viszonyított változás jelentőségét, vagy éppen kizárólagosságát hangsúlyozni.

A sarki jégapka fenyegetően

gyors elolvadása inkább az emberi fantázia világába tartozik. A jelenlegi sarki jégapka néhány millió év alatt halmozódott fel, hiszen a Fanerozoikumnak mintegy 90 százalékában nem volt állandó sarki hó- vagy jégapka, sőt voltak időszakok, amikor csaknem az egész Földön szubtrópusi éghajlat uralkodott, és a globális átlaghőmérséklet a 20 fokot is meghaladta szemben a jelenlegi 14 fokkal, a jelenkort földtörténeti szempontból inkább hideg, vagy más néven hűtőház éghajlat jellemzi (Mészáros, 2001).

Az utolsó jégkorszakot követő kb. 6 fokos melegedés azonban csak egy példa. Az éghajlat dinamikus jellegét igazoló gyors és lassú változások akár csak részbeni felsorolása túl messzire vezetne. Az emberi tevékenységnek a légkörre gyakorolt hatása abban kétségtelenül bizonyított (a savas esőkön kívül), hogy a halogénezett szénhidrogének forgalmazása előre nem várt hatás-

sal volt a sztratoszféra ózon tartalmára. A freon gázok gyártását az 1930-as években kezdték, miután bebizonyosodott, hogy teljesen semleges kémiai vegyületek. Arra azonban nem számítottak, hogy éppen ezért a tartózkodási idejük a légkörben nagyon hosszú, tehát csak gyűlnek évtizedről évtizedre, eközben a levegő vertikális mozgásai lassanként feljuttatják a sztratoszférába, ahol az UV sugárzás hatására szabadabbá válik a freonból egy klór atom, amely megtámadja az ózon molekulákat. E bonyolult kémiai folyamatok felfedezéséért 1995-ben három tudós, Paul Crutzen, Mario Molino és Sherwood Rowland kémiai Nobel-díjat kaptak (Mészáros, 1996).

A 20. század második felétől egyre nyilvánvalóbb, hogy sok országban nincs ivóvíz, kevés az élelmiszer, emiatt évente emberek milliói halnak éhen vagy szenvednek a szomjúságtól. A Föld vízkészletének kb. fél százaléka édesvíz, de ez is veszélyben van az emberi tevékenység miatt. Ne a jegesmedvék miatt aggódjunk, hiszen nemzetközi glaciológiai kutatások szerint a sarki jégapka jelentős megváltozásához ezer évekre van szükség – kivéve tán az Északi-sark tengerjégét (Glaciers, Ice Sheet and Sea Level: Effect of CO₂ Induced Climatic Change, 1985). Újabb kutatások alapján a tenger szintjének változását oksági összetevőkre bontották, ezek közül 1910–1990 között a hőtágulás okozott legnagyobb szint emelkedést (kb. 6 cm), a jégolvadás kb. 2 cm-t, míg az Antarktisz víznyelőnek minősült, vagyis több hó esik a felszínére, mint amennyit a jéghegy borjázás eltávolít, tehát kissé csökkentette a tenger szintjét, Grönland vízház-tartása kiegyensúlyozottnak minősült (IPCC, Climate Change, WG I. 2001. 666. o.). Nem teljesen a sajtó hibája, hogy a tájékoztatás hiányos, és az emberek egy része az elvi lehetőségeket azonnal valóságnak hiszi. Gyakran az éghajlatban

illetéktelen, más szakmákban járatos szakemberek tesznek vakmerő kijelentéseket az éghajlat fenyegetően szélsőséges változásáról.

A „Fenntartható Fejlődés” energiagondjai

Számtalan kutatás eredményeként megállapítást nyert, hogy a hozzáférhető fosszilis tüzelőanyag készletek, de főleg a kőolaj kitermelése a 2020-as évek után rohamosan csökkenni fog (2. ábra). Ezért a világ gazdaságilag erős vagy erősödő államai, az Európai Unió, az USA, India, Kína egymással versengve keresik a megoldást a megújuló energiaforrások kihasználására. Különösen a szélenergia hasznosításában robbanásszerű a fejlődés, de a bioenergia hasznosításában is élen jár, pl. Németország, a geotermikus energia felhasználásában az USA, a Fülöp-szigetek, Olaszország, a balneológiai célra és fűtésre való hasznosításban Magyarország az 5. helyen áll (Herzog V. Antonia et al., 2004.).

Az Európai Unió 2020 és 2050 között tervezi a "20-20-20" kötelezettségvállalás végrehajtását. Eszerint el kell érni az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának 20 %-os csökkentését, a megújuló energiaforrásokból származó energia 20 %-os részesedését a végfelhasználásban és a jövőbeli energiaszükséglet 20 %-os csökkentését, azaz a jelenleginél hatékonyabb

energiahasznosítást. Erről fogalmazott meg határozatot az Európai Bizottság 2008. november 13-án Brüsszelben (EWEA* Release, European Commission, 2008). A korlátolt természeti források korlátlanul növekvő fogyasztása jelenti korunk fő gondját.

A jelenlegi tendenciákat figyelve arra a következtetésre juthatunk, hogy a jövő fő közlekedési eszköze egyre inkább a vasút lesz villanymozdonyokkal, a gépjárművek pedig benzin helyett más üzemanyagot fognak használni.

A megújuló erőforrások hasznosítása sürgető feladat a Fenntartható Fejlődés szempontjából, hiszen a potenciális mennyisége ezeknek az erőforrásoknak bőven fedezni tudná az emberiség energiaszükségletét a környezet jelentős károsítása nélkül, csak a kihasználásuk technikai megoldása jelent komoly, de nem leküzdhetetlen feladatot. Erről a kérdéstről egy következő tanulmányban kívánok bővebb tájékoztatást adni.

Koppány György Szeged

(*EWEA ~ European Wind Energy Association, Európai Szélenergia Társaság)

Irodalom

Budyko, M.I.; Ronov, A.B.; Yanshin, A.L., 1987: History of the Earth's atmosphere. Springer Verlag, Berlin.

Catherine-Zoi Vafiris and Lorna M Wilson, 2004: International Agreements. In Conventions, Treaties and other Responses to Global Issues, (Ed. Gabriela Maria Kutting), in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK

Climate Change, 2001. The Scientific Basis. IPCC WG I

Climate Change, 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC WG II.

Czelnai R., 1999: A Világóceán. Tudomány-Egyetem. Vince Kiadó

EWEA Release, European Commission, Brussels, 13. November 2008.

Glaciers, Ice Sheet and Sea Level: Effect of CO₂ Induced Climatic Change. Washington, D.C.

Götz G., 1974: A globális légkörkutató program (GARP). Légkör, 19. 4.sz. 82-89.o.

Götz G., 2004: 25 évvel ezelőtt történt: A GARP, Globális Időjárás Kísérlet (FGGE). Légkör, 49. 4.sz. 2-5.o.

Herzog V. Antonia; Lipman E. Timothy; Kammen M. Daniel, 2004: Renewable energy sources, in Theories and Practices for Energy Education, Training, Regulation and Standards, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK

Koppány Gy., 1998: A szén körforgása a Föld-légkör rendszerben és az éghajlat változása. Az éghajlatváltozás és következményei. OMSZ, Budapest. 209-210.o.

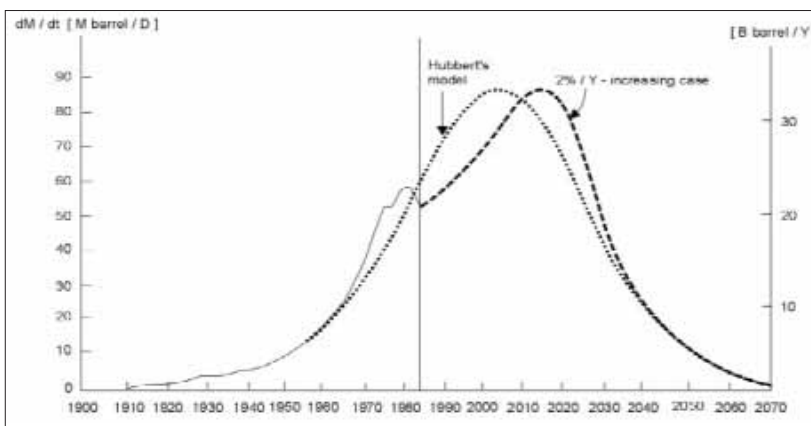
Mészáros E., 1996: Kémiai Nobel-díj légköri kutatásokért. Természet Világa, 127. 2.sz. 58-59.o.

Mészáros E., 2001: A Föld rövid története. Tudomány-Egyetem. Vince Kiadó

Oches, E.A., 2007: Quaternary History, in Earth System History and Natural Variability, (Ed. Vaclav Cilek), in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK

Technical Summary, IPCC WG I p.27., 2007.

Tokio Ohta, T. Nejat Veziroglu, 2006: Energy Carriers and Conversion Systems with Emphasis on Hydrogen, in Energy Sciences, Engineering and Technology Resources (Ed. Willie O.K. Babrew) in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) Developed under Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK



2. ábra. Az olajfogyasztás alakulása 1910-2070 között a Hubbert-féle modell szerint. Baloldalon: millió hordó/nap, jobboldalon: milliárd hordó/év. (Forrás:Tokio Ohta, 2006)