



BME OMIKK
ENERGIAELLÁTÁS, ENERGIATAKARÉKOSSÁG
VILÁGSZERTE

44. k. 4. sz. 2005. p. 5–13.

Az energiagazdálkodás alapjai



A fosszilis energiaforrások kimerülnek – nem ez a kérdés!

A fosszilis energiahordozók kimerülése az energetika legfontosabb veszélye az általános közvélekedés szerint. Az összeállítás szerint ezzel szemben az igazi veszély kettős: mielőtt az összes fosszilis üzemanyagot felhasználná az emberiség, a környezeti károk miatti pusztulás szétrombolná a gazdaságot, illetve a fosszilis üzemanyagok, különösen az olaj kedvezőtlen eloszlása a földgolyón számos geopolitikai konfliktust táplál, és ezek szintén előbb kiéleződnének, minthogy kimerülnének a források. Az igazi megoldást a gazdaságosan hozzáférhető alternatív energiaforrások, különösen a hidrogén jelenthetik.

Tárgyszavak: készlet; erőforrás; teljes erőforrásbázis; fosszilis.

„A fosszilis energiahordozók kimerülnek – ennek az állításnak nagy előnye, hogy könnyen érthető, viszont hátránya az, hogy nem igaz.” Ezt C. Marchetti mondta 1979-ben, hat évvel az OPEC olajembargója után a hidrogénnek a légi közlekedésben való felhasználásáról szóló nemzetközi szimpóziumon, kivívva a hallgatóság nemtetszését. A szimpózium célja új üzemanyag megtalálása volt, még mielőtt a régi elfogyta.

Általánosságban nem sok értelme van a fosszilis fűtőanyagok kimerüléséről beszélni. Ennek két alapvető oka van: az első az, hogy mielőtt az összes fosszilis tüzelőanyagot felhasználná az emberiség, a környezet pusztulása szétrombolná a gazdaságot, így nem is lenne szükség üzemanyagra. A második, a fosszilis tüzelőanyagok, különösen az olaj kedvezőtlen eloszlása a földgolyón, az ehhez járuló vallási és politikai fundamentalizmus, számos geopoliti-

kai konfliktust táplál. Vagyis e két konfliktusforrás nagyobb jelentőségű, és kieleződésük meg fogja előzni és meg fogja akadályozni az ásványi tartalékok kimerülésének tényleges folyamatát.

Kezdetben vala...

Az emberi civilizáció a szenet több mint 2000 éve használja, szerepe azonban a tűzifához képest a középkorban és egészen a korai ipari forradalomig elhanyagolható volt. Az európai városok növekedése miatt a környezetükben lévő tűzifa elfogyott, egyre inkább áttértek a szén használatára. 1840 és 1920 között a legtöbb európai ország a megújuló tűzifáról áttért a tipikusan nem megújuló forrásra, a szénre. Ez rendkívüli, párhuzamos és szinergetikus átmeneti folyamat volt: egyidejűleg nemcsak a fáról a szénre, de a földművelésen alapuló gazdaságról az iparra, a falusi létről a városira, az izomerővel működő gépekről a gőzgépekre is áttértek. A gőzmozdonyokkal szállították a szenet és a vasércet a kohókba. A kohókban acélt gyártottak, amiből még több vasutat építettek és mozdonyt gyártottak, hogy még több szenet és vasércet szállítsanak – amiből nemcsak mozdonyokat, hanem hajókat is építettek, amelyek szenet szállítottak szerte a világon, hogy avval még több hajót működtessenek. Ez öngerjesztő folyamat volt.

Az átmenetek sohasem feszültségmentesek. A kontinentális Európa egyes részein a szénégetés eleinte főbenjáró vétségnek számított. Az ok – a boszorkányüldözés. A szén égetése kén-szagot áraszt – ez a pokol szaga. A szenet égetőket az ördög cimboráinak tekintették, és egyeseket közülük máglyán megégettek – feltehetően ehhez fát használtak. Egy időben Angliában is főbenjáró bűn volt a szénégetés, a régi angolok azonban pragmatikusak voltak: a bűn nem a sátánizmus volt, hanem a levegő mérgezése.

Erőforrások és készletek

Egy régi kínai mondás szerint a bölcsességhez vezető első lépés a dolgok megfelelő néven nevezése. Előljáróban ezért érdemes néhány központi fogalmat meghatározni. A „teljes erőforrásbázison” (total resource base) valamely nyersanyag, például a szén vagy a kőolaj teljes, földben levő mennyiségét értjük. A „készletek” (reserves) fogalmán a teljes erőforrásbázis azon része értendő, amely a mai eladási árak mellett, a mai technológia alkalmazásával és a mai törvények betartása mellett gazdaságosan kitermelhető. Az „erőforrások” (resources) a teljes erőforrás-bázis és a készletek különbsége, a mai körülmények közt nem termelhető ki gazdaságosan. Ez a szóhasználat egyébként egyezik az ENSZ energetikai fej-

lesztési programjaiban olvashatókkal is [2]. A továbbiakban mind az erőforrások, mind a készletek becslésekor a 2000. év tekinthető viszonyítási évnék.

Ha az árak, a technológia vagy a törvények változnak, az erőforrások és a készletek közötti határ is megváltozik. Például ha az olajárak nőnek és a többi tényező változatlan, a készletek nőnek az erőforrások rovására. Árcsökkenés esetén fordított folyamat játszódik le. Az árváltozásokat előidéző tényezők lehetnek pillanatnyi és tartósak. Rövid távon a geopolitika vagy a hideg tél kiválthat áremelkedést az azonnali kötések piacán. Mivel azonban az újabb olajkutak termelésbe állítása időigényes folyamat, a gyorsan lecsengő „tüskék” az árak jelleggörbéin gyakran semmilyen kapacitásváltozást nem okoznak. Közép- és hosszú távon a technológiai fejlődés (pl. az olajkutatás, kitermelés és feldolgozás tökéletesítése) gyakran csökkenti az árakat. A technológiai fejlődés okozta árcsökkenés miatt az erőforrások egy része készletté válik.

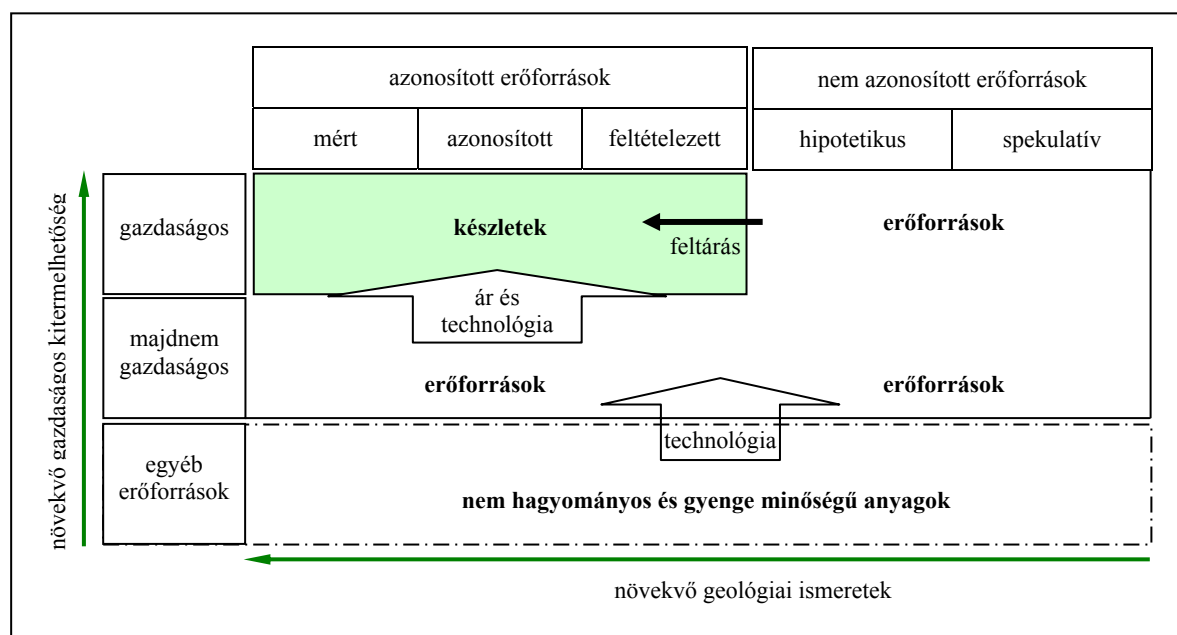
A 1. ábra szemlélteti a teljes erőforrásbázis felosztását, valamint azt, hogy a változó árak és a technológiai haladás hogyan módosítja a belső határt a készletek és az erőforrások között. Az ábra azt is bemutatja, hogy az erőforrások további alosztályokra bonthatók. Mivel az 1. ábra kétdimenziós, nem tükrözi a törvényi sza-

bályozás hatását, ez azonban könnyen elképzelhető. A törvényhozás a politika gyermeke, a politika pedig a kultúráé. Az USA-ban például a törvényhozás nagy hatással lehet a kitermelés engedélyezésére. Hatásköre kiterjedhet a köztulajdonban levő földeken és a tengerfenéken végzett kitermelés engedélyezésére is. Egyes országokban a jogi szabályozás a királyok vagy a vallási vezetők szeszélyeit követheti.

Az erőforrás és a készlet közötti különbség megértése után felvethető a kérdés: mennyi maradt még a földben? Az 1. táblázat áttekinti a globális készleteket és erőforrásokat – bizonyítva, hogy még sok van a földben. Mégis a kimerülés aggasztja az embereket egyre inkább. Aggodalomra van is ok, mert a *regionális kimerülés* súlyosbítja a nemzetközi konfliktusokat, amelyek a globális eloszlás egyenetlenségeiben gyökereznek. Észak-Amerikát és talán az Egyesült Királyságot leginkább az olaj, kevésbé a földgáz és még kisebb mértékben a szén kimerülése érinti.

A közlekedés ki van szolgáltatva az olajnak

A kőolaj a közúti, nem kötöttpályás közlekedés egyetlen energiaforrása. Olajon a „hagyományos” kőolajat kell érteni, ami viszonylag egyszerűen kiszivattyúzható a földből¹.



1. ábra A készletek és források felosztása és változása

1. táblázat

A világ fosszilis energiahordozó-készletei és -erőforrásai

| Típus | Fogyasztás (exajoule) | | Készletek | Erőforrások | Erőforrás-bázis | További előfordulások |
|-----------------|-----------------------|-------|-----------|-------------|-----------------|-----------------------|
| | 1860–1998 | 1998 | | | | |
| Olaj | | | | | | |
| Hagyományos | 4 854 | 132,7 | 6 004 | 6 071 | 12 074 | |
| Nem hagyományos | 285 | 9,2 | 5 108 | 15 240 | 20 348 | 45 000 |
| Földgáz | | | | | | |
| Hagyományos | 2 346 | 80,2 | 5 454 | 11 113 | 16 567 | |
| Nem hagyományos | 33 | 4,2 | 9 424 | 23 814 | 33 238 | 930 000 |
| Szén | 5 990 | 92,2 | 20 666 | 179 000 | 199 666 | n. a. |
| Összesen | 13 508 | 319,3 | 46 655 | 235 238 | 281 893 | 975 000 |

Milyen gyorsan használjuk fel olajkészleteinket, ha a felhasználás a 2000. évi szinten marad? A 1. táblázat adatai szerint, ha feltesszük, hogy a fogyasztás nem változik, új készleteket nem fedeznek fel, az árak nem nőnek, a technológia nem tökéletesedik, a törvények nem

válnak kedvezőbbé az olaj kitermeléséhez, akkor:

- ha csak a hagyományos készleteket vesszük tekintetbe, a készletek 42 évre elegendők;
- ha a nem hagyományos erőforrásokat is tekintetbe vesszük, akkor 78 év adódik;

- ha a teljes erőforrásbázist tekintjük, akkor *230 évünk* van;
- ha tekintetbe vesszük a geológusok által feltételezett „további előfordulásokat” is, akkor csaknem *550 évünk* van².

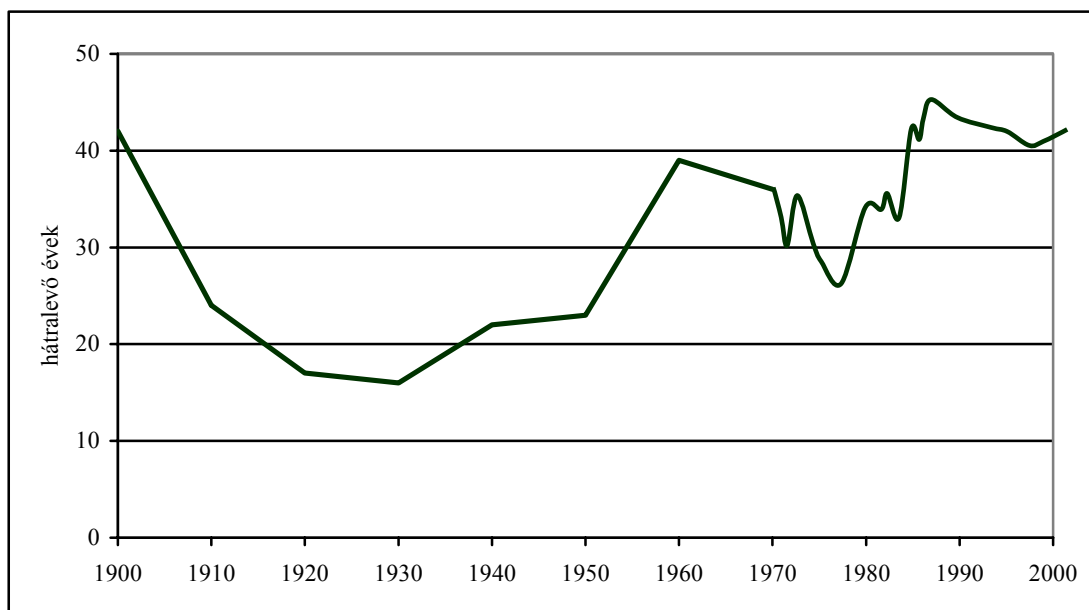
E következtetések nem veszik tekintetbe, hogy eddig minden évtizedben több kőolajat fogyasztottunk, mint az azt megelőzőben; ez – ha egyéb változás nem történik – lerövidíti a fenti határidőket. Nem veszik azonban tekintetbe az új felfedezéseket és a technológiai fejlődést sem, ami viszont a határidőket meghosszabbítja.

A 2. ábra bemutatja az ismert készletek és az évi fogyasztás arányát évről-évre a 20. század folyamán, vagyis azt, hogy az adott évben hány évre elegendő készlet volt ismert. 1900-ban az akkori fogyasztást feltételezve, az ismert készlet 40 évre volt elegendő. Ez az arány egy évszázaddal később, 2000-ben még a hagyományos készletre vonatkozóan is valamivel meghaladta a 40 évet. 1900-ban a nem hagyományos készletről még nem is tudtak, ma már viszont ismeretes, hogy az emberiség jelentős nem hagyományos készletekkel is rendelkezik, sőt ki is aknázza azokat. Az adatok tehát azt mutatják, hogy a földben levő készlet és az évi fogyasztás aránya soha nem volt olyan nagy, mint most, tehát a kimerülésig rendelkezésre álló becsült idő soha nem volt ilyen hosszú, mint éppen most.

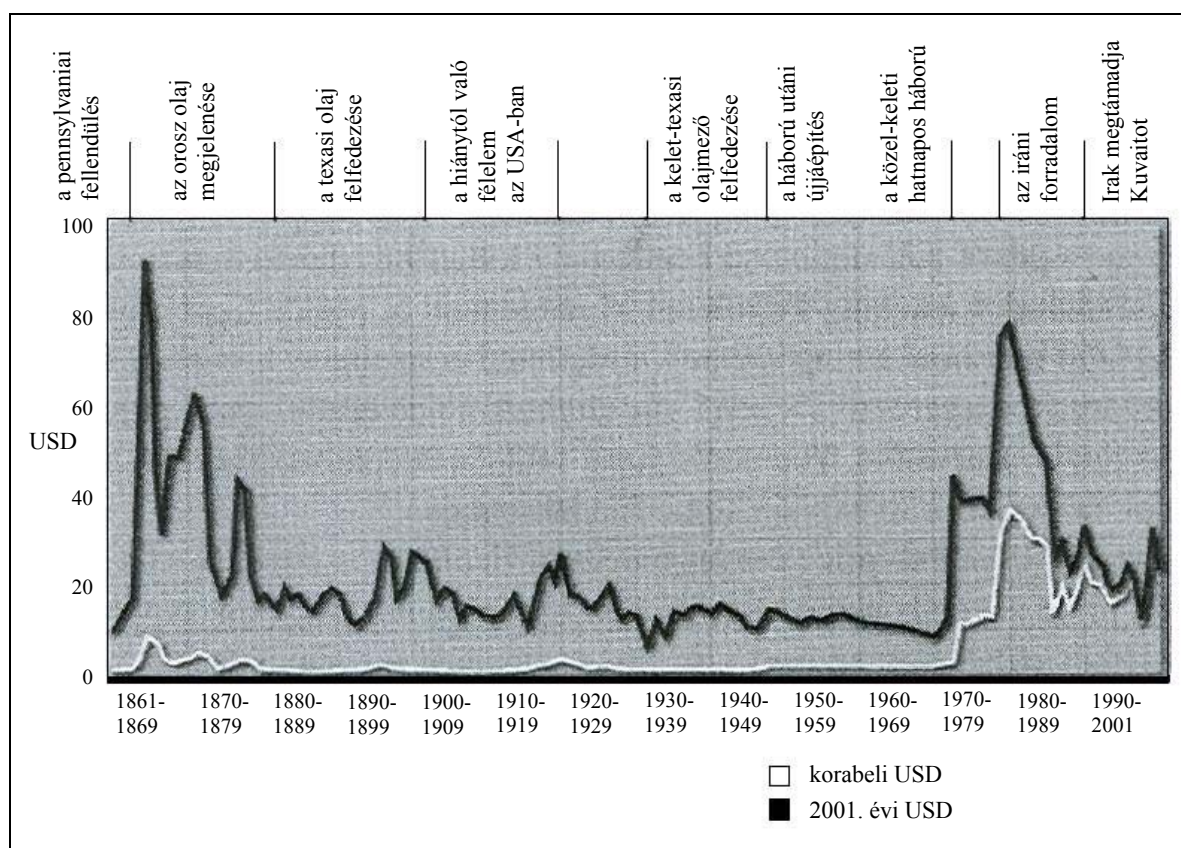
Mivel az olaj árának változása az említett módon eltolja a határvonalat a készlet és az erőforrás között – a magasabb árak az erőforrás egy részét készletté változtatják – azt gondolhatnánk, hogy a készlet/fogyasztás arány egyezése a száz évvel ezelőtti értékkel az ár-emelkedés következménye. Ez azonban helytelen feltevés! Változatlan vásárlóerejű dollárban számítva, rövid távú ingadozásoktól eltekintve, az olaj ára az elmúlt évszázadban lényegében változatlan maradt (lásd a 3. ábrát). Ha a fentiek ellenére az Olvasóban még mindig felmerül az olajkészletek kimerülése, emlékezzünk, szénből is előállítható olaj, ezt tette Németország a II. Világháború alatt. A szén tulajdonképpen hidrogénhiányos olaj.

Néhány rövid állítás segíthet megérteni a mai olajpiacon kialakult helyzetet:

- a legtöbb olajfelhasználó ország nem rendelkezik elegendő saját olajjal;
- a legtöbb olajjal rendelkező ország nem igényel annyi olajat, mint amennyivel rendelkezik;
- ez azt jelenti, hogy mind az importőrök, mind az exportőrök, tehát a világ országainak többsége függ más országoktól;
- meglepő lehet, de 2004-ben a világ legnagyobb olajtermelője még mindig az USA volt;
- 1950-ig az USA volt a világ legnagyobb olajexportőre.



2. ábra A készlet-termelés arány változása 1900-tól 2000-ig



3. ábra A nyersolaj hordónkénti ára 2001. évi USD-ben és korabeli USD-ben 1860-tól 2001-ig

Mi történik akkor, ha elégetjük a „mai” teljes fosszilis készletünket?

Bár az imént vázoltak szerint nem fenyeget bennünket a fosszilis tüzelőanyagok globális készleteinek rövid távú kimerülése, ha a fosszilis tüzelőanyagok iránti igényünk fennmarad, irreverzibilis klímaváltozásnak tesszük ki magunkat. Feltehető a kérdés: milyen hatással lesz az atmoszféra CO₂-tartalmára, ha a jelenleg ismert teljes fosszilis tüzelőanyag-készletet felhasználjuk?

E kérdés vizsgálatakor a kutatók [3] a következőket feltételezték:

- nem fedeznek fel újabb készleteket,
- nem lesznek technológiai tökéletesítések,
- az olaj ára nem lesz több, mint 20 USD/hordó (1997. évi árakon).

A készletek elfogyasztása után a levegőben levő CO₂ mennyisége 250%-kal fogja meghaladni az iparosítás előtti szintet – azaz meghaladja a 700 ppmv-t (parts per million by volume – milliomodrész a térfogatra vonatkozóan). Az elmúlt 310 000 évben a CO₂ maximális koncentrációja kb. 310 ppmv volt – legalábbis a 20. század végéig, amikor is az emberi tevékenység következtében meghaladta a 370 ppmv-t. Ebben a mintegy háromszáz évezredből álló korszakban a földön egyes periódusokban sokkal melegebb volt mint most, de

több jégkorszak is volt. A globális hőmérséklet-változás és az atmoszféra CO₂-tartalma párhuzamosan változott.

A civilizáció képes túlélni több mint 400 ppmv CO₂-t, ez jelenleg elkerülhetetlennek tűnik, de még nem okoz jelentős klímaváltozást. Ha azonban a CO₂-koncentráció meghaladja a 700 ppmv-t, a történelemben páratlan globális katasztrófának leszünk kitéve, amely méreteiben meghaladja a történelemben és mítoszokban szereplő vízözönt³. Nincs remény arra sem, hogy mielőtt az emberiség magára zúdítaná a klímaváltozás katasztrófáját, az áremelkedések korlátozzák a fosszilis tüzelőanyagok felhasználását. Ez nem várható!

Az olajárak hatása

Az olaj ára az elmúlt időszakban jelentősen nőtt, újabb és újabb történelmi csúcspontokat döntögetve. Ugyanakkor becslések szerint az arab olaj kitermelési ára hordónként kisebb, mint 2 USD. A hagyományos gazdaságtan szerint a drágán termelők akkor kezdik a termelést, amikor az árak egy bizonyos küszöbértéket meghaladnak, és akkor hagyják abba a termelést, amikor az árak a küszöbérték alá kerülnek. Az olajiparban – legalábbis rövid és közepes távon – ez éppen fordítva van. A költségesen termelők állandóan teljes erővel termel-

nek. Arról nem hallani, hogy a (a viszonylag költségesen dolgozó) texasi termelők növelik, vagy csökkentik a termelésüket. A hordónként 1–2 dollárért termelők nyitják, illetve zárják a csapokat.

Az árrobbanásoknak nem sok közük van a hagyományos gazdaságtanhoz, szeszélyesen következnek be. A jövő évi olajárakat nem lehet hitelt érdemlően megjósolni. Hosszabb távon, 8–10 éves távlatban egyes esetekben lehet ármérséklődésről beszélni, mert ennyi időt vesz igénybe egy új olajmező felfejlesztése. Ha pl. az olaj hordónkénti ára 25 és 35 dollár között van, a termelők még 10 000 láb⁴ mély víz alatt levő olaj iránt is érdeklődnek. Fontos megérteni, hogy a termelési ár zömmel a kutatási és a fejlesztési költségeket tükrözi.

Ameddig az arab olaj hordónkénti kitermelési ára néhány dollár, az árak nem érthetők meg a gazdaságtan tiszta logikai érvei alapján. Figyelembe véve, hogy az olaj ára nagyrészt a kutatás ára, fontos megjegyezni, hogy például a szaúdiaknak nem nagyon kell kutatniuk, az ő országuk egy olajtengeren úszó homoksziget.

Végül egy konkrét időpontot tekintve, 2004. augusztus 2-án a New York-i NYMEX nyersanyagtőzsdén az olaj hordónkénti ára majdnem 44 dollár volt. Ugyanakkor a 2009 decemberi határidős ár (több mint öt évre előre vonatkozóan!) csak 33,70 dollár volt, vagyis több mint

10 dollárral kevesebb, mint a napi ár. A piac tehát nem hisz a készletek kimerülésében.

Záró gondolatok a fosszilis készletek rohamos csökkenéséről

Az olajtól való kölcsönös függés a világban évről-évre nő. 2000-ben az USA a felhasznált olaj 56%-át importálta, e mennyiség negyedét a Közel-Keletről; Nyugat-Európa szükségletének 60%-át importálta, ennek felét a Közel-Keletről; Japán olajszükségletének 82%-a a Hormuzi-szoroson keresztül érkezik.

Így vagy úgy, de valamilyen módon a geopolitikai és környezeti feszültségek externális költségei belső költségekké válnak – ez történhet tervszerűen, de valószínűbb, hogy katasztrófák révén fog végbemenni. Ez növelni fogja a fosszilis tüzelőanyagok használatának árát, növelni fogja a készleteket és így csökkenteni az erőforrásokat. Amint a hidrogén-technológia előnyei egyre inkább nyilvánvalóvá válnak, a fosszilis tüzelőanyagokra támaszkodó technológiák szerepe csökkenni fog (ezt egyelőre nehéz elképzelni).

Hosszú távon a készletek növekedésének jelenleg tapasztalt növekedési üteme lassulni fog, sőt a trend meg fog fordulni, és a tartalékok csökkenni fognak. A fosszilis készletek azonban a

földben fognak maradni! Nem a készletek ki-
merülése, hanem a nemzetközi béke és a globális környezet védelme fogja kikényszeríteni a fosszilis tüzelőanyagok használatának korlátozását. Az igazi megoldást a gazdaságosan hozzáférhető alternatív energiaforrások, különösen a hidrogén jelenthetik.

Összeállította: Schultz György

Irodalom

- [1] Scott, D. S.: Fossil sources: "running out" is not the problem. = International Journal of Hydrogen Energy, 30. k. 1. sz. 2005. p. 1–7.
- [2] United Nations Report 2001: World energy assesment: energy and the challenge of sustainability. = <http://www.undp.org/energy/>
- [3] Rogner, H. H.: An assessment of world hydrocarbon resources. = Annual Review of Energy Environment, 22. k. 1997. p. 217–262.

¹ A „nem hagyományos” olaj pl. a Kanadában és Venezuelában található olajhomok, ez bitumen, homok és víz keveréke. Kitermeléséhez a bitument el kell különíteni és fel kell dolgozni. A „nem hagyományos” azt jelenti, hogy a kőolaj forradalmát kiváltó, kezdetben kizárólagosan bányászott könnyű olajtól eltérő jellegű.

² A számolás az 1. táblázat alapján elvégezhető. A 1998. évi fogyasztás 132,7 EJ/év (hagyományos) + 9,2 EJ/év (nem hagyományos) = 141,9 EJ (összesen) (1 exajoule = 10^{18} Joule). A hagyományos készletet osztva az évi teljes fogyasztással: $6004 \text{ EJ} / 141,9 \text{ EJ/év} = 42,3$ év adódik. A hagyományos és nem hagyományos készletek összegét osztva a teljes évi fogyasztással: $(6004 + 5108) / 141,9 = 78,3$ év adódik. Az erőforrásbázist osztva a teljes évi fogyasztással: $(12074 + 20348) / 141,9 = 228$ év adódik. Végül, pedig ha az erőforrásbázist és a "további előfordulások" összegét osztjuk a teljes évi fogyasztással: $(12074 + 20348 + 45\,000) / 141,9 = 546$ évet kapunk. (Itt a szén nincs sehol tekintetbe véve, bár a szénből is előállítható olaj).

³ Újabb kutatások és felfedezések valószínűsítik, hogy az az árvíz, amelyre számos vallásban és kultúrában található utalás, egy a mai Kanada észak-keleti részén elhelyezkedő nagyméretű édesvízű tó hirtelen kiáradása miatt következett be.

⁴ 1 láb = 0,3048 m



BME-OMIKK MUNKAVÉDELEM –ERGNÓMIA

**munkavédelem
munkabiztonság
foglalkozás-egészségügy
munkabalesetek–megbetegedések
ergonómia**

BIZTOS, AMI BIZTOS...

**mgksz@info.omikk.bme.hu
061/4575322**