

Az ember munkájának gazdasági hatásfoka és élettani értéke.

Irta: Kövesi Antal egyet. tanár.

A legrégebbi motor az ember volt, s az ő fizikai munkája, gépeink nagy fejlettségének ellenére még ma is fontos tényezője a mező- és erdőgazdaságnak, iparnak, továbbá a közlekedésnek (különösen az út- és vasútépítéssel kapcsolatos teendők végzésénél).

Az izmok munkája bármely pillanatban rendelkezésre áll külön előkészület nélkül, ami nagy előnyt jelent, a munkakifejtést pedig — eltérően a holt gép teljesítményétől — a lélek, az érzelem és az értelem irányítja és azt a megfelelő testi állapot (*konstytucio*) hatásosabbá teheti. A testi állapot az egyén vegyi, fizikai és biológiai tulajdonságának az az összessége, mely az élet bármely időpontjában a reakció képességét megszabja.

Az ember létfenntartási küzdelmében már ősidőktől kezdve különféle szerszámokat és segédeszközöket — később a természet erőit — használta fel a céljainak megfelelő munka végzésére.

Régi feljegyzések szerint az *egyiptomi piramisokat, a kínai falakat, a babyloni függőkerteket, Diana templomát, a rhodosi kolosszust s a többi világcsoda-számba menő alkotásokat az emberek százazrei építették* és csupán munkájuk megkönnyítésére használták fel az egyszerű gépeket (esiga, lejtő, ék, daruszerű alkotmányok, vitla stb.). Így a kínai falakat Kr. e. két évszázaddal építették és a 3000 km hosszúságú 6—7 m magas és 5 m vastag falakon 300.000 rabszolga hosszú éveikig dolgozott.

A hajtó motor egészen a X. századig kizárólag az ember és az állat közvetlen energiája volt és csak azután kezdték alkalmazni a járgányt és tiprókereket. A mindinkább fokozódó és kulturális igényekből eredő szükségletekkel azonban nem tudott megküzdeni az emberi és az állati erő sokasága sem és a XVI. század végén és a XVII. elején már a természet erőit iparkodott az ember segítségül venni. Az első elemi erő, amit az ember — felvértezve a tudás fegyverével — szolgálatába akart állítani, a víz ereje, majd később a szél volt. Minthogy azonban a víz helyhez és időjáráshoz kötött, a szél pedig az időhöz, újabb erőforrások után kutattak. A világ tengeri áruforgalmának $\frac{1}{2}$ részét azonban még ma is vitorlás hajók bonyolítják le. A vízi energiák is igen tekintélyes mennyiségben kerülnek felhasználásra.

Később megpróbálták a puskapor robbanó erejének értékesítését is, ami a nemzeti lét biztosítására a haditechnikában vált nélkülözhetetlenné.

A megfeszített izomnak, a mozgásban levő víznek, vagy levögőnek az a készsége, hogy hasznos munkát tudnak végezni, illetve energiát kifejteni, nem bizonyult elegendőnek az idők fo-

lyamán. Bőséges energiaforrásról a mindent éltető nap évezredek óta gondoskodott (fa, tőzeg, szén, olaj, gáz stb. alakjában), *csupán az anyagokat kellett felkeresni és pótolni. Amikor az ember művelődési szempontból azok hiányát érezte, megkezdte kutatását a föld méhében és így fejlődött ki a szakszerű érc- és szénbányászat, majd a petróleum-, nyersolaj- és földgázkutatás, amely az okszerű fakitermeléssel együtt a mai kultúra alapját vetette meg.*

A bányák vízmentesítése, szellőztetése, aknák mélyítése, a termékek felszállítása a XVIII. század közepén súlyos problémák elé állították a gépészetet is. Mind nagyobb erőforrásokra lett szükség. Ezeket az emberi leleményesség előbb a gőzerőben, majd a gáz- és egyéb robbanómotorokban találta meg és ezek tünetnyes fejlődéssel a mai modern korszerű hőerőgép-óriásokhoz vezettek. Míg a XIX. században ritka volt az 1000 lóerős gépegység, addig ma már az 50.000—60.000 KW teljesítményű gőzturbina-egységek sem ritkák.

Watt Jakob világhírű találmánya, a gőzgép felfedezése, ébresztette fel a már pangó ipart és megvetette a haladás korszakának az alapját.

A szénben és más tüzelőanyagokban rejlő vegyi energia átalakul hővé, a hőből helyzeti energia lesz, ebből mozgási energia és a gőzgép lendítő kereke, a gőz mozgási energiáját mechanikai munkává alakítja, ennek árán elektromos generátorokkal villamos áramot állítanak elő, amely azután fénné és újra hővé alakul. *Az energia megmaradásának törvénye szerint energia el nem veszhet, azaz az energia különböző átalakulásai során összes mennyiségében nem változik meg, de minden energia-átalakulásnál a munka egy részét a hasznosítható munka céljaira nem tudjuk felhasználni, mert az hő alakjában kerül a környező levegő-tengerbe.* Ilyen módon a gőzmotoroknál a szén energiájának legkedvezőbb esetben is csak 12—18%, azaz átlag 15% kapható vissza hasznos munka alakjában, általában azonban jóval alatta marad ennek az értéknek, vagyis a kémiai energia hasznosítása kb. csak 10—11%. *Ez az ú. n. gazdasági hatásfok η_g , ami pedig az óránkénti fékezéssel mért hasznos munkának viszonya annak az abszolút munkának az értékéhez, amelyet a gép üzeméhez ugyanazon idő alatt hőben a tüzelésnél felhasználtunk.*

A kedvezőtlen kihasználás miatt próbálták a gőzgép fáradt gőzét Rateau-féle gőzturbinákban felhasználni, hogy így a hatásfok nagyobb legyen és azért terjedtek el a belső égésű robbanó- és égőmotorok is, amelyeknél a tüzelőanyag közvetlen a munkahengerben ég el.

A régi gőzgépekből ugyanis az *expanszió* és *kondenzáció* alkalmazásával későbbben a gőzburkolattal ellátott nagyfeszültségű telített és túlhevített gőzzel dolgozó, precíziós vezérművel felsze-

rejt, dugattyús compound és triplex expanziós gépek fejlődtek ki, majd a dugattyú ide-oda menő mozgásának elhagyásával a forgo mozgást végző gőzturbina-rendszerek létesültek és ez a fejlődés vezetett a gazdasági hatások javítására. Nagy egységeknél pl. ha a felhasznált szén fűtőértéke 7000 kalória, kedvező viszonyok mellett már 0.6 kg szén termel 1 óra alatt $75 \times 3600 = 270.000$ mkg munkát és így: $\eta_g = \frac{270.000}{427 \times 7000 \times 0,6} = 0,15$ azaz 15%.

A gazdasági hatások nagyobb mértékben a gőzgépeknél nem igen emelhető, mert *thermodinamikai szempontból sem fokozható az η_t hatások, amely alatt ugyanis a mechanikai munkává vált melegen a gépbe vezetett összes meleghez való viszonyát értjük.* A műhelytechnika is a részletekig menő leggondosabb szerkezeti kivitelre és így a mechanikai hatások: η_m javítására törekedni ugyan, de ezt sem lehet lényeges mértékben meg-növelni és így a gazdasági, illetőleg összes hatásokat sem.

Mielőtt az élőgép gazdasági hatásfokát megállapítanók, nem lesz érdektelen a kalorikus gőzgépeknél is megállapítani — kedvező esetre — a hatásfokot.

Nyersvas-gyártásnál keletkező torokgázokkal hajtott nagyteljesítményű négyütemű, kettős működésű, tandem elrendezésű, továbbá a kétütemű, kettős működésű gőzgépek, hasznos lóerőnként 3.3–4 m³ gázt fogyasztanak, amelynek fűtőértéke m³-ként 900 kalória. Így $\eta_g = 18.5–20\%$.

A világítógázzal dolgozó robbanógép hasznos lóerőnként átlag 500 liter tüzelőt fogyaszt, amelynek fűtőértéke m³-ként 5190 kalória. Tehát: $\eta_g = 25\%$.

A petróleummotor hasznos óralóerőnként 0.4 liter a 8000 kalóriás folyékony tüzelőt fogyaszt, amelynél: $\eta_g = 19.6\%$.

Közepes teljesítményű benzinmotor kedvező esetben óralóerőnként 0.25 liter benzint fogyaszt és ennek fűtőértéke literenként 10.000 kalória. A gazdasági hatások kb. 24–26%.

Nagyteljesítményű Diesel-motor pedig 0.18–0.22 kg tisztított petróleumot igényel a 10.000 kalória fűtőértékekkel, amikor is $\eta_g = 28–30\%$. Ez a legnagyobb érték.

Ha pedig a *kalorikus gőzmotorokkal* elektromos áramot termelünk és ezt viszont világításra, fűtésre, vasalásra vagy főzésre stb. használjuk, akkor ilyen módon a hasznosított hő a tüzelőanyag elégségi melegének kedvező esetben is csak kb. 5–7%-át adja vissza hasznos hő alakjában.

Minden országban a szénkészlet nagy közgazdasági kincs és nemzeti vagyon. A hőgépek nagy tüzelőanyag szükséglete mellett nagy kalóriamennyiség megy veszendőbe a levegőtengerbe haszon nélkül. Ezért az újabb törekvések szerint a szénből előbb az értékes anyagokat generátorokban történő elgázosítás folytán kivon-

ják és azután a szénben szegényebb erögázt, nagyobb gazdasági hatásfokkal bíró gázgépekben használják ki.

A gáztalanító eljárásoknál pl. a kokszolásnál kapott gázokat a kohászatban kazántüzelési és motorikus célokra nagy mértékben használják fel. A szén jobb kihasználását célozza a berginizálási eljárás is. Ez a szén, illetőleg nehezebb kátrány- és ásványolajok hidrogénezése magas nyomás és hőmérséklet mellett. A reakció a széndús szénhidrogének bomlásából és azután a szén és hidrogén könnyebb szénhidrogénekké való egyesítéséből áll.

Vizsgáljuk meg a tüzelőanyag elégésével származó veszteségeket. Pl.: *Autómotoroknál az energiamérleg a következőképen alakul.* 100 energiarészből veszendőbe megy a hasznos munka szempontjából 30% a hűtővízben, 39% a kipuffogó gázok melegében és sugárzás által, 6% a surlódási veszteség (5% a motorra és 1% a hajtóműre jut), marad tehát hasznos munkára: a gördülő ellenállás legyőzésére: 7%, a lég- és emelkedési ellenállások legyőzésére: 18%, azaz összesen $18 + 7 = 25\%$. Ez a tényleges hasznosított energiamennyiség a vizsgált 100 energiarészből.

A vizierő-gépek jobb hatásfokkal dolgoznak és ugyancsak azok az elektromos telepek is, amelyekben a munkát nem közvetlenül a hő végzi, hanem más energia. Ezért történnek az újabb időkben kísérletek abban az irányban is, *nem lehetne-e a szén vagy egyéb anyagok vegyi energiáját, vagy a nap sugárzó energiáját közvetlen hasznos mechanikai munkavégzésre felhasználni?*

Dr. Vitális István széntelepüléseink egyik alapos ismerője, a rendelkezésre álló adatokból a hazai feltárt, megfűrt és várható szénvagyont 1410 millió tonnára becsülte:

I. Táblázat.

Energiakészlet:

- A világ szénkészlete: 7.5 billió tonna (5350 év).
- Európa szénkészlete: 784 milliárd tonna.
- Magyarország szénkészlete: 1380 millió tonna (170 év).
- A világ vízienergiája: 600 millió HP.
- Kiépítve és építés alatt: 35 millió HP.
- A világ évi szénfogyasztása: 1400 millió tonna.
- A világ évi olajfogyasztása: 170 millió tonna.
- Magyarország évi szénfogyasztása: 8 millió tonna.

Ez a fennebb említett tüzelőanyagmennyiség is csupán 2-3 emberöltőre elég. Nagyon indokolt, hogy ne pazaroljuk el az energiát.

II. Táblázat. Energiatermelés:

A világ elektromos energiatermelése kilowattórákban:

A nap sugárzó energiája: 530 trillió kg-kalória.

Ásszes energiatermelés: 4150 milliárd KW-óra.

Ebből 1100 milliárd KW-óra szén- és tőzegből.

300 milliárd KW-óra nyersolajból.

2750 milliárd KW-óra vizierőből.

*Az ember által kifejthető teljesítmény — kalorikus móto-
rainkhoz hasonlóan — a sebesség függvénye.* Az izomzatnak az a sajátsága, hogy rövid ideig tartó túlterheléshez nagymértékben képes alkalmazkodni és ebben felette áll a belsőégésű motoroknak, a gőzmotorokhoz inkább hasonlít. *Amíg azonban a helyesen beállított gép teljesítménye az időtartam változásától lényegében független, addig az emberi tényleges és közepes teljesítmény az idővel csökkenő törvényszerűséget mutat, vagyis minél hosszabb ideig vesszük egyfolytában igénybe az emberi izomzatot, annál kisebb a teljesítménye.*

Lilienthal mérnök és gépgyáros, a repülés egyszerű kutatója azt találta, hogy az ember által kifejthető teljesítmény órákon át legfeljebb $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ lóerő lehet és átmenetileg $\frac{1}{3}$ lóerő, 1— $1\frac{1}{4}$ lóerőt csak kis időre fedezhet a szervezet, viszont ennél többet a közepes ember a legrövidebb ideig se tud kifejteni.

A végtagok mozgásánál a befektetett mozgási energia csak kedvezőtlenül nyerhető vissza, mert ennek nagyrészét a csuklók és főleg az izomzatok surlódása emészti fel, vagy lábletevésnél az ütközés folytán meg is veszendőbe.

*Az emberi test izomanyagában tehát szintén energia-
kincs van, amely elsősleges meleg nélkül alakítható át munkává, amiért is az izomzat a kalorikus gépeknél is nagyobb hatásfokkal dolgozhatna. Noha életünk és szervezetünk fenntartásának lehetősége is a hőtől függ, az emberi szervezet nem alakítja át a tápláló anyagokban felvett vegyi energiát teljesen elsősleges meleggé, hanem az izomzatban a kémiai energia egy része másfajtajú energiává alakul át előbb és csak azután mechanikai munkává.*

*Igy tehát megállapítható, hogy az ember nem kalorikus gép,
hanem chemo-dinamikai gép.* De mert az életfolyamatunkban megtalálható a vegyi energia, a hőenergia és a mechanikai munka, az embert sokáig *kalorikus gépnek* tekintették, melyben t. i. a vegyi energia egészen hővé változik és csak azután alakul át — *hőmérsékleteséssel* — mechanikai munkává.

Ha az emberi szervezet kalóriaszükségletét, azaz a fogyasztott táplálék vegyi változásainál fellépő hőenergiát vesszük alapul és vizsgáljuk, hogy milyen részt használ fel a külső és mek-
korát a belső munka (szív, tüdő, máj, vese működése stb.) elvég-

zésére, továbbá a test hőmérsékletének a fenntartására, akkor azt tapasztaljuk, hogy a külső munkára — a legkedvezőbb esetben is — legfeljebb 15—20%-ot, míg a belső munkákra és a test hőmérsékletének a fenntartására 80—85% ot fordít.

Feltéve tehát, hogy az előgépnel csupán a külső munkát neveznök hasznos munkának — beleértve a járás-kelés és a mellékmozgások munkáját is — és az embert kalorikus gépnek tekintenők, gazdasági hatásfoka 15—20%-nál nem lehetne nagyobb a legkedvezőbb esetben sem, noha az ember a legtökéletesebb gépnek tekinthető. Minthogy azonban a tápértékben bevett kalóriamennyiség nagy része a belső munkák elvégzésére és a hővesztések pótlására, tehát általában az élet fenntartására szolgál, a hatásfok helyes megítélése szempontjából a táplálék összes kalóriamennyiségéből levonásba kellene hozni azt a mennyiséget, amely naponta akkor is szükséges lenne, ha az ember kijelé semmi munkát nem végezne s a belső munkája is a legkisebbre csökkenne. Másszóval az alapanyagcserére szükséges energiamennyiséggel kell kibebíteni a táplálékban felvett hasznos kalóriamennyiséget. (U. i. ha az ember 24 órát feküdt és ebből 12 órát éhezett és a kritikus hő veszi őt körül, amely ruházat mellett 18° C, amikor se hűtésre, se fűtésre szervezete nem sok hőt fogyaszt, akkor ez a nyugvó érték vagy szükséglet (1680—1700) kalória, vagy óránként és testsúlykg-onként átlag 1 kalória).

A fentebb említett módon nyerhető eredményt szokták fiziológiai értékek, vagy élettani hatásfoknak nevezni s η_f -vel jelölni. A rendes mechanikai munkát végző ember napi kalóriaszükséglete 3500-nak vehető és így ha átlagosan: $\eta_f = 17.5\%$, akkor

$$\eta_f \frac{3500 \times 0.175}{3500 - 1680} = 0,336 \dots \text{ azaz } 33,6\%.$$

Meg kell említenem, hogy ha az alapanyagcserében fogyasztott oxigénmennyiséget levonjuk a rendes munka alatt fogyasztott oxigénből, akkor a hasznos munka értékének megfelelő oxigénfogyasztást kapjuk. Pl. a kovács és kőfejtő külső munkájának megfelelő kalóriafogyasztás kb. 2.5-szer, sőt 3-szor annyi, mint pl. a női szabóé. *Legnagyobb a kalóriaszükséglete az aratómunkásnak és az erdei munkásnak fadöntéseknél. Átlag $\frac{1}{2}$ liter oxigén felel meg 1 kalóriának.*

A 70 kg súlyú ember 1 óra alatt alapanyag-cserében kb. 14 liter O_2 -t fogyaszt és így naponta 340—350 liter a szükséglete, ami viszont kb. 1700 kalóriának felel meg.

A belélegzett levegő oxigénjét a tüdőben felveszi a vér, ez elszállítja az izomzathoz. Az izmokban elégéskor keletkező CO_2 -t a vér újra a tüdőbe szállítja, ahonnan kilégzéskor az elhasznált levegővel együtt kiüríti.

Az izmok munkájuk végzésekor tehát energiát használnak

fel, amelyekhez a sejtjeikben levő fehérjék, szénhidrátok és zsírok elégeése útján jutnak. Az átlagos gyárimunkás anyagszükséglete naponta: 130 gr fehérje, 100 gr zsír és 500 gr szénhidrát, 20 gr só, csekély vitamin, 1½–2 liter víz és kb. 1000 gr oxigén.

Az ember, amint említettük, chemo-dinamikus gép, mert az összes vegyi energia egy bizonyos része előbb elektromossággá, vagy a hőtől különböző más energiává változik és csak azután mechanikai munkává. *Minthogy pedig szervezetünk az anyag vegyi energiájából egyszerre tud hőt és munkát termelni, azért az élőgép olyan feladatot oldott meg, amit a többi ismert motornál elérni nem sikerült.*

Régebben azt hitték, hogy az élelmiszerek bizonyos csoportja (fehérjefélék) főleg izommunkára használhatók fel, míg a zsírok és szénhidrátok inkább hőt termelnek s mechanikai munkára kevésbé alkalmasak. Ma azonban már pontos kísérletekből tudjuk, hogy minden anyag, melyet a szervezet oxidáció útján értékesíteni tud, nemcsak meleget szolgáltat, hanem az izmok részére más energiát is ad és a fehérjék az energiatermelésen kívül az életfolyamatok alatt elhasznált anyagok pótlására is szolgálnak. *A különféle cukrok és szénhidrátok pedig a munkaképességet fokozzák és erőteljesebbé teszik.*

Az alapanyag-cserére felhasznált 1700 kalória független minden külső munkavégzéstől. Ezt a nyugvó értéket az élőgép napi befektetési költségével egyenlő értékű energiának lehetne tekinteni és így csupán 3500–1700 = 1800 kalória mennyiségű táplálék szolgál kedvező esetben kb. $3500 \times 0.175 = 612.5$ kalóriával egyenértékű *külső hasznos és egyéb munka* kifejtésére. Ha ebből a 612.5 kalóriából, külső hasznos munkakifejtésre csupán 540 kalória esik, akkor a gyári erősebb munkás gazdasági hatásfoka: $\eta_g = \frac{540}{3500} = 0.154 = 15.4\%$ volna, fiziológiai értéke pedig

$$\eta_f = \frac{540}{3500 - 1700} = 0.3 = 30\%.$$

Ezt a két hatásfokot az átlagmunkások rendszeren nem érik el, hanem legfeljebb csak 10–14%-ot, napi 8 órai munkaidőt feltételezve, illetve 25–26%-ot a fiziológiai értéknél.

Ha valamely jó földmunkás 7 mkg effektussal dolgozik 8 órán át, akkor a kifejtett hasznos munka: $3600 \times 8 \times 7 = 201600$ mkg. A 3500 kalóriás élelmiszer mellett: $\eta_g = \frac{201600^*}{3500 \times 427} = 13.3\%$.
és $\eta_f = \frac{201600}{1800 \times 427} = 26.2\%$.

* Ez a munka valamivel nagyobb, ha a munkahelyre való eljutás, felkelés, leülés stb. egyéb munkát is figyelembe vesszük, bár ezt is nyugodtan beleírhatjuk a 8 órán át tartó 7 kgm teljesítménybe.

Az ember fiziológiai hatásfoka olyan fizikai munkánál, amelyre az egyén különösen rátermelt, kb. 28—32%, míg fárasztó és kevésbé alkalmas mechanikai munka esetében η lecsökkenhet 22—24%-ra, viszont erős sportolásnál, síelésnél, hegymászásnál, fadöntés- és kötörésnél 32—35%-ra is növekedhet.

Ilyen módon kapcsolódik be az ipari *pszichotechnika* is tárgyalásunkba. Ennek az a célja, hogy az embernek mint elsődleges gazdasági tényezőknél a munkáját okszerűsítse, kiindulva abból az elgondolásból, *hogy a munka kivitele és zavartalan folytonossága, továbbá minősége a termelő alany lelki, élettani és elsősorban testi adottságától függ.*

Célszerűbb volna az élettani hatásfokot vagy fiziológiai értéket az energiahasznosítás tényezőjének nevezni.

A kalorikus gép thermodinamikai hatásfokát vizsgálva, azt tapasztaljuk, hogy ez a hatásfok mindig nagyobb, mint a gazdasági hatásfok. Az élőgépnél ez már *nem lehetséges*, mert olyan nagymértékű hővesztésről az ember életfolyamata nem gondoskodhatik, mint a kalorikus gép. Az ember belső szervezetének a hőmérséklete ugyanis a táplálék oxidációja folytán bekövetkezett folyamat mellett legfeljebb 39° C, a külső levezető felülete a ruházat folytán átlag (25—30°). Ilyen hőmérséklet-esési viszonyok mellett az *élőgép thermodinamikai hatásfoka legfeljebb 3—4% lehet.* Ez is igazolja, hogy az élőgép nem lehet kalorikus gép, csak hasonlít hozzá. A dolgozó és hőt kisugárzó ember — úgy, mint a gőz- és gázmotor — anyagot vesz fel, amely oxigén hozzávezetéssel elég, az anyag a rendszeren belül el is tűnik és az utolsó oxidációs termék szén-sav és víz, az átalakulás eredménye pedig hő és mechanikai munka.

A kalorikus gép bármikor üzemen kívül helyezhető, de az ember csak halála esetén, mert hiszen az egész életfolyamat energiaáramlás éppen úgy, mint a növényeknél, amelyek a nap sugárzó energiáját az asszimiláció folyamata alatt kémiai energiává változtatják, majd hővé és belső munkává s ez a folyamat addig tart, míg a növény él. A táplálás is az embernél időszakos, míg a kalorikus gépnél folytonos.

(Folyt. köv.)

*

Wirkungsgrad und physiologischer Wert der menschlichen Arbeit. Von Prof. A. Kövesi.

Auszug erfolgt mit dem Schlussteil der Abhandlung.

*

Rendement et valeur physiologique du travail humain, par le Prof. A. Kövesi.

Le résumé sera donné à la fin du mémoire.

*

Degrees of effect and physiological value of human work. By Prof. A. Kövesi.

Summary will be published with the last instalment.