

# AZ EMBERI KÖZÖSSÉGEK FOLYAMATOS ÉS MEGBÍZHATÓ ENERGIAELLÁTÁSÁNAK SZÜKSÉGESSÉGE

Kiss Ádám

ELTE TTK, Fizikai és Csillagászati Intézet, Atomfizikai Tanszék, Budapest

E-mail: kiss.adam@ttk.elte.hu

Átalakuló világban élünk. Korunkat a drámai változások jellemzik. A Földön élő emberek száma óriási mértékben és történelmi távlatokat tekintve rendkívül gyorsan növekedett: míg a XX. század közepén kevesebb mint 3 milliárd ember élt a Földön, számuk 2022 novemberében már átlépte a 8 milliárdot. Eközben a más területeken bekövetkezett hatalmas átalakulások mellett átéljük az informatikai-távközlési forradalmat is, aminek eredményeképpen nagy embercsoportok megismerték egymás életmódját, életszínvonalát. Kialakult az általános vágy a magas életszínvonalra. Emellett a nagyszámú embert ellátó gazdaságok egyre nagyobbá és bonyolultabbá is váltak. Világossá lett, hogy az emberi társadalmak fenntartása drámai változásokat okoz környezetünkben, a környezetszennyezés pedig elképesztő szintet ért el. Annak a belátása, hogy a gazdasági folyamatok nem lehetnek úgy tovább, ahogyan azok az elmúlt évtizedekben kialakultak, általánossá vált. A gazdasági folyamatok átgondolása vezetett ahhoz, hogy napjainkban erős parancsként jelentkezik a gazdasági és társadalmi jelenségeknek az anyagforgalmak megváltoztatásával, azok ésszerű átszervezésével, környezetkíméléssel és takarékoskodással kialakított irányba, az úgynevezett körkörös gazdaságba történő átalakítása.

Energiaellátás nélkül nem működhet emberi társadalom. Ahhoz pedig, hogy a Föld mára összesen 8 milliárdot meghaladó közösségeit el lehessen tartani folyamatosan és megbízhatóan érkező hatalmas mennyiségű energiára van szükség. Annak áttekintése, hogy mindez az energiaforrások, a szállítás, az elosztás oldaláról milyen óriási kihívást jelent már ma is, és hogyan alakulhat ez a jövőben, világossá teszi, hogy az energiaellátás az emberiség egyik legnagyobb sorskérdése. A körkörös gazdaságra, a fenntartható új társadalmi rendre és folyamatokra való áttérés egyik igen fontos eleme lesz, hogy hogyan leszünk képesek olyan irányban átalakítani az energiaellátást, hogy az ésszerűen megfeleljen a kialakítandó új gazdaság igényeinek.

A jelen áttekintésben az energiára és az energetikára, valamint a használatos fogalmakra, mérőegységekre tett megjegyzések után áttekintjük az energiaellátásra és az energiafelhasználásra vonatkozó legfontosabb jelenlegi tényeket. Ezt követően napjaink és a jövő energiatermelésének három fontos tényére, az ásványi energiahordozók jelenlegi és közeljövőben meglévő dominanciájára, a különböző célú és formájú energiaellátás szükségességére és az elektromos energia folyamatosan növekvő jelentőségére hívjuk fel a figyelmet. Végül a megújuló energiaforrásokat és a hasadásos atomenergiát is figye-

lembe véve megjegyzéseket teszünk a jövő gazdaságának várható energiaellátására és az új rendszer kialakításakor felmerülő dilemmákra.

## Az energia és energetika, eligazodás az energetikában használt mennyiségek között

Az energia fogalmát a fizika vezeti be mint munkavégző képességet. A fizikában e fogalom központi jelentőségűnek bizonyult. Kiderült, hogy segítségével fizikai törvényszerűségek sora fogalmazható meg. A modern tudomány rámutatott az energia és a tömeg általános egyenértékűségére és megfogalmazta azt a szigorú törvényt, amely alól kivételt sehol sem ismerünk: általános energia-tömeg megmaradás érvényes minden zárt rendszerben.

Az ebben a tematikus lapszámban tárgyalt energetika a társadalmak energiatermelését, a társadalmi-gazdasági élet önálló területét jelenti. Ez az energetika nyilvánvalóan nem (csak) fizika, de a természettudományok közül ehhez áll a legközelebb.

Az energetikában gyakran használunk két fogalmat, az energiát és a teljesítményt, amelyek azonban soha nem keverendők össze. Az energia egysége közismerten a joule (J). Az egységnyi idő alatt elvégzett munka számértékileg megadja a teljesítményt. Ennek egysége a watt (W), 1 J munka másodpercenként. Az energetikában gyakran használunk sokkal nagyobb egységeket. Ilyen gyakran használatos egységek a petajoule (PJ =  $10^{15}$  J) és az exajoule (1 EJ =  $10^{18}$  J), vagy a terawattóra (TWh =  $10^{12}$  Wh =  $3,6 \cdot 10^{15}$  J), amelyekkel egy-egy ország, nagyobb közösségek, iparágak hosszabb idejű (pl. éves) energiafogyasztását, igényelt teljesítményét kényelmesebben, kisebb számokkal adhatjuk meg. Például Magyarország éves energiafelhasználása az utóbbi évtizedben 10%-on belül 1 EJ.

Az ismeretterjesztői-újságírói gyakorlatban az energiamennyiségeket többször valamely energiahordozó tömegével vagy térfogatával adják meg. Itt tudnunk kell, hogy az ismert tömegű ásványi energiahordozóknak, a szénnek, a kőolajnak és a földgáznak energiataralmát általában nem pontos értékkel, hanem csak egy tartománnyal lehet leírni. A tartományok megadása arra a tényre utal, hogy a különböző forrásokból, lelőhelyekről származó energiahordozók mind különbözőnek, és tulajdonságaik sokszor lényegesen is eltérhetnek egymástól. Például a különböző lelőhelyekről származó szén ener-

giatartalma kilogrammonként ~15-től akár ~30 MJ-ig is terjedhet. Az egységes kezelés kedvéért a szénre bevezették az „egyezményes tüzelőanyag” (ETA) fogalmát: 1 ETA kg szén energiatartalma a meghatározás szerint 29,3 MJ. Hasonlóan igaz, hogy a kőolaj és a földgáz fajlagos energiatartalma szintén egy-egy energiatartománnyal adható csak meg. Az olaj energiatartalma átlagosan ~44 MJ/kg, a normál állapotú (1 atmoszféra nyomás, 0 °C hőmérséklet) földgázé ~40 MJ/m<sup>3</sup>. Az olaj mennyiségét gyakran a hordó (angolul: barrel – jele b) űrmértékkel adják meg: 1 b ~ 159 l. Az olaj sűrűsége is széles határok között (0,62–0,9 kg/dm<sup>3</sup>) változik, mégis a  $\rho = 0,85 \text{ kg/dm}^3$  értéket tekintjük átlagosnak, ami a szaúdi olaj sűrűsége. Így 1 t olaj ~7,9 hordó.

Az energetikában a könnyebb tájékozódás kedvéért célszerű és erősen ajánlott minden energiamennyiséget J-ra, a teljesítményértékeket pedig W-ra átszámítani. Enélkül hamar elveszítjük a tájékozódóképességünket az energiát vagy a teljesítményt különböző egységekben, formákban tartalmazó mennyiségek között.

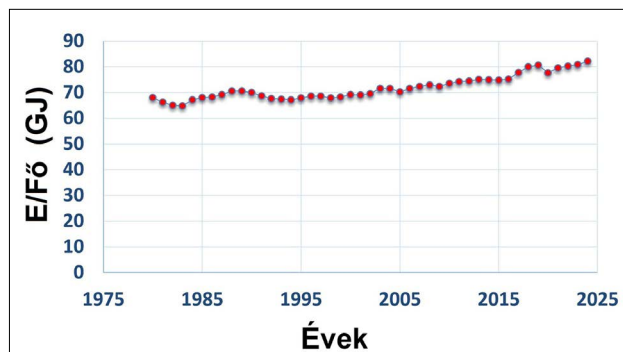
## A mai társadalmak energiafogyasztása

Az emberiség civilizációs átalakulását, fejlődését az utolsó néhány ezer év történelme írja le. Ezekben az időkben az emberi társadalmak egyre bonyolultabbak lettek, és a közösségek közötti munkamegosztás is jelentősen átalakult. Az emberek száma fokozatosan növekedett, és ezzel párhuzamosan az összes felhasznált energia egyre nagyobb lett. Ennek oka a közösségek tagjai számának növekedése mellett az, hogy a civilizációs fejlődéssel az egy főre eső energiaigény is megnövekedett.

E történelmet alakító folyamatok során a XX. és XXI. század fordulójára az emberiség energiaigénye óriási mértékben nőtt. A Föld országainak összes energiafogyasztása az 1980 körüli mintegy 300 EJ-ról 2024-re körülbelül ~592 EJ-ra<sup>1</sup> nőtt (Energy Institute, Statistical Review of World Energy, 2025). Bár az 1970-es évek elején lezajlott, az akkori világ egészét megrázó első energiaválság óta minden döntéshozó és politikus tudta és tudja, hogy az energiafelhasználást vissza kellene szorítani, az energiafogyasztás ennek ellenére dinamikusan, mára az 1980. évinek közel kétszeresére növekedett.

De vajon miért növekszik minden szándék ellenére az energiafogyasztás? Az elemzők keresték azokat a paramétereket, amelyek a jelenséggel korrelálnak. A kiterjedt vizsgálatok csupán egy ilyen paramétert találtak, és ez a paraméter a Földön élő emberek száma volt! Az 1. ábra bemutatja, hogy a Föld lakóira átlagosan számított fejenkénti éves energiafogyasztás 1980 és 2024 között – lassú

növekedés mellett – kevésbé változott. Így a fő ok az összes energiafogyasztás megduplázódása mögött az, hogy az emberek száma szintén jelentősen nőtt. Ameddig a Föld népessége gyorsan növekszik, addig az energiafogyasztás is erőteljesen nőni fog!



1. ábra. A Föld lakosainak egy főre számított átlagos energiafogyasztása 1980 és 2024 között. Az ábrát a szerző készítette. (A felhasznált adatok forrása a US Energy Information Agency (EIA) adatbázisa, illetve a világ népességére vonatkozó statisztikai adatok. A megújulókat figyelembevételek módszere mindvégig hasonló volt.)

A jelenlegi energiaellátási rendszer elsődleges forrásainak áttekintése azt mutatja, hogy ebben erős túlsúlyban vannak az ásványi eredetű energiahordozók. A 2024-re vonatkozó adatok szerint az felhasznált energia 76,4%-át ásványi (gyakran használt idegen szóval fosszilis) energiahordozókból (szén 24%, olaj 30% és földgáz 22%) állították elő.<sup>2</sup>

A fosszilis energiahordozókra épülő mai energiaellátás egy sor nehézséget jelent. Ezek között a legfontosabbak: a) Az energiaellátás gazdasági és politikai függések sorát hozza létre, hiszen a készletek nem egyenletesen oszlanak el a Földön. b) Az energiatermelésnél az ásványi források alkalmazásakor mindenképpen fellépő szén-dioxid-kibocsátás problematikája már csak a klímaváltozásban játszott szerepe miatt is ma az egyik legismertebb vádpont. c) A szennyező anyagok számos más fajtája a légkörbe kijutva környezetkárosító (ilyenek a nitrogén-dioxid vagy a mindig jelen lévő kén és nehézfémek, As, Pb, Cd, Hg, U). d) A legnagyobb készletekkel bíró szenet egyaránt nehéz kibányászni, elszállítani és elégetni. e) Végül világos, hogy a készletek végesek, és az olaj- és földgázellátás már a közeljövőben akadozhat.

Az előbbi tényeket mérlegelve nyilvánvaló, hogy a jelenlegi, a fosszilis energiakészletek felhasználására épülő energetikai rendszer több ok miatt sem tartható fenn sokáig, hosszabb távon alapvető átalakításra szorul. A mai generáció feladata, hogy ki kell alakítanunk a jövő energiapolitikáját! Ez a munka megköveteli annak elemzését, hogy mire használjuk ma az energiát, mennyire lehet takarékoskodni, és melyek azok a jövőbeni tendenciák, amelyek már ma is láthatóak.

<sup>2</sup> Figyelemre méltó, hogy az a tény, hogy az ásványi energiahordozók részaránya a teljes energiaellátásban a négyötödhöz közeli, 120 éve igaz a minden más szempontból drámaian átalakult energiafelhasználásban.

## Milyen célokra és hogyan használják az emberi közösségek az energiát?

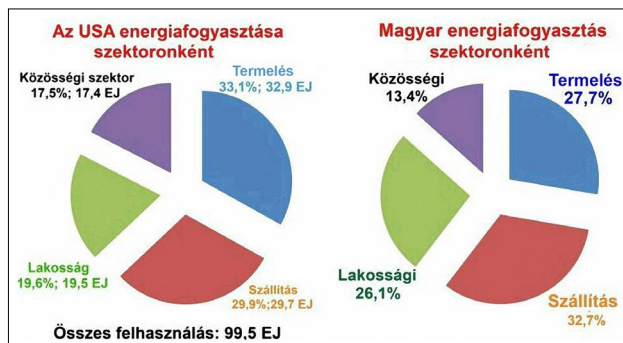
Az emberi közösségek működőképességüket energia nélkül nem tudják fenntartani. Ez abból következik, hogy mindenhez, amit csinálunk, vagy ami a környezetünkben körülvesz minket, amire szükségünk van, és élehetővé teszi a környezetünket – röviden minden tárgy megalkotásához, minden alkotómunkához, minden cselekvéshez energiabefektetésre van szükség. Ennek elemzéséhez át kell gondoljuk, melyek az egyes emberek és közösségek megkövetelt és elvárt fő kívánságai.

A teljesség igénye nélkül felsorolunk néhány olyan igényt, amelyeket minden embercsoportnál kötelezően ki kell elégíteni: elegendő élelem a közösség minden tagjának, megfelelő lakások, otthonok és közösségi épületek és azok működtetése, energia fűtésre és világításra, energia a gazdasági folyamatok működtetésére, energia oktatásra és szociális célokra, energia és nyersanyag a gazdaság szereplőinek, víz a lakosságnak és a gazdaság szereplőinek, a hulladék megfelelő elhelyezése, közlekedés, az anyagi javak szállítása és híradás, a társadalom védelmének biztosítása és a közösségi rend fenntartása. A felsorolást még hosszan folytathatnánk – számos további más, kötelezően el látandó feladat van az együtt élő emberek körül. Így egyáltalán nem esett szó eddig a társadalom, a közigazgatás, az egészségügy, a közbiztonság, a természet és környezetvédelem megszervezéséről, amelyek szintén energiaigényesek. Ezek közül bármelyiknek az elhagyása a társadalmi élet zavarásával, esetleg a közösség teljes szétesésével fenyeget.

Mindenekelőtt látnunk kell, hogy mire használjuk az energiát, milyen formában van arra szükségünk. Azt is vizsgálunk kell, hogy a folyamatos, megbízható energiaellátást milyen eszközökkel biztosíthatjuk. Az energiaellátás sokrétűsége miatt már az elemzésekhez, tájékozódáshoz is hatékony módszerekre van szükség. Az áttekintéshez számos modellt dolgoztak ki, melyek általában egy-egy szempontból adnak választ az energiafelhasználással kapcsolatos kérdésekre.

Az egyik gyakran alkalmazott megközelítésben a közösségek energiaszükségletét fő felhasználási területekhez sorolva vizsgálják. A négy fő szektor: a) a termelési, b) a szállítási, c) a lakossági és d) a közösségi területek. A termelési terület minden olyan tevékenység, termék energiaigényét tartalmazza, amelyik termeléshez szükséges, vagy annak eredménye. A fejlettebb iparral rendelkező országokban e szektor súlya magasabb, mint a kevésbé fejletteknél. A szállításba minden személy- vagy anyagmozgatás beletartozik, amelyeket bármilyen okból végrehajtanak. A lakossági fogyasztás a közösség tagjainak lakhatásával, ételmezésével, egyéni életével kapcsolatos bármilyen tevékenységet vagy energiaigényt magába foglal. Végül a közösségi terület az emberi kapcsolatokkal összefüggő tevékenységet, szerveződé-

aktivitást, így az oktatást, egészségügyet, vallási jellegű ténykedést, de a töltőállomásokat és még számos más hasonlót tartalmaz. Ennek a megközelítésnek előnye az, hogy alkalmas ad a különböző társadalmi feladatok összehasonlító elemzésére.



2. ábra. A négy szektor szerinti energiafelhasználás az Egyesült Államokban (2024-ben) és az arányok Magyarországon (2023-ban). Az ábrákat a szerző készítette. (Az adatok az USA esetében a US Energy Information Agency (EIA) adatbázisából, Magyarország esetében az Odyssee-Mure EU-kiadványából származnak.)

Napjainkban e szektorok szerinti áttekintések az országokénti statisztikai adatokban általában megtalálhatók. Az elemzések azt mutatják, hogy a legtöbb országra vonatkozólag e négy szektor mindegyike első közelítésben hasonló súlyú az energiafogyasztásban, a részletekben viszont komoly különbségek is lehetnek.

A különböző közösségekben, társadalmakban, országokban az energiaigény más és más szerkezetű. Ennek oka az, hogy az energiaszükséglet függ a társadalom felépítésétől, rétegezetttségétől és különleges, hagyományokból vagy egyéb belső értékrendből következő igényeitől. Ez utóbbi tényező hosszú távon változhat jelentősebben, ezt a közösségben folyó politikai és szociokulturális folyamatok befolyásolják. Az energiaigény mértékének kialakulásában döntő szerepe van az ország, a közösség gazdasági szerkezetének, teljesítőképességének. Ez évtizedes nagyságú időben változhat csak lényegesen. A szükséges energia nyilvánvalóan függ a természeti körülményektől, így a klimatikus viszonyoktól (pl. bizonyos évszakokban a térfűtés vagy térhűtés szükségességétől), a felszíni formáktól, a hagyományoktól és a geopolitikai helyzettől. Ezek a tényezők általában kevésbé, vagy csak lassan változhatnak meg. Az energiafogyasztásra vonatkozó jogszabályok hatása az egyes szektorokra különbözőek lehetnek. Ezt a törvényhozóknak mérlegelniük kell.

A 2. ábra a szektoronkénti fogyasztást mutatja az Egyesült Államok és Magyarország esetében. A termelési szektor mindkét esetben tartalmazza a mezőgazdaság energiafogyasztását. Ez a magyar esetben a szektor 12%-át teszi ki. A termelési szektor nagyobb és a lakossági szektor lényegesen kisebb részaránya az Egyesült Államok esetében a két ország ipari szerkezete és fejlettsége közötti jelentős különbségre utal.

## Az elektromos energia kiemelt szerepe a jövő energiafelhasználásában

Az energiafelhasználásra vonatkozó adatok az elektromos energia iránt növekvő igényt mutatják. Az elektromos energia ugyanis olyan energiatípus, hogy belőle más energiatípusok előállítását általában egyszerűen megoldható, a felhasználás helyén pedig nem okoz szennyezést vagy más nehézséget. Az elektromos energia például alkalmas motorok, gépek, járművek hajtására, világításra, számítógépek működtetésére vagy folyamathő előállítására, és akár fűteni is lehet vele. Ráadásul a fejlett országokban az általában jól kiépített vezetékhálózaton keresztül az elektromos energia egyszerűen szállítható a felhasználóhoz. Az adatok azt mutatják, hogy az elektromos energia felhasználása a fejlett országokban sokkal gyorsabban nőtt, mint általában az energiafelhasználás: míg az elmúlt közel fél évszázad alatt az energiafelhasználás megkétszereződött, az elektromos energia felhasználása több mint három és félszeresére nőtt.

Az elektromos energia felhasználásának ez a térnyerése hosszú fejlődés eredménye volt. Ki kellett ugyanis építeni olyan erőművek csoportjait és egy olyan elektromos hálózati rendszert, amely képes volt a felmerülő egyre bővülő igények kielégítésére. Az elektromos erőművek felhasználhatnak ásványi energiaforrásokat, működhetnek hasadási atomenergiával vagy valamely megújuló energiaforrással, legtöbbször napsugárzással, vízzel, széllel is. A 2024-re vonatkozó adatok szerint az ebben az évben világszerte összesen megtermelt 30 938 TWh elektromos energia előállításában 59,6%-kal domináltak az ásványi források (szén: 34%, földgáz: 22,3%), de jelentős részüket a megújuló energiaforrásoknak is: 29,1% (víz: 14,1%, nap: 6,9%, szél: 8,1%).

A következő évtizedek energiajövője egészen biztosan több lényeges változtatást fog hozni az elektromos energiafelhasználásban. A modern körkörös gazdaságra való áttérés tartalmazhat lényeges egyszerűsítéseket és ésszerűsítéseket, de néhány olyan irányzattal és ténnyel is számolnunk kell, amelyek a kialakítandó jövőt érdemben befolyásolhatják.

Már ma is látható, hogy az elektromos energia szerepe a jövőben két új ok miatt is lényegesen bővülni fog. A technológiai fejlődés követelménye, hogy elektromos áram az új, korszerű berendezések működtetéséhez mindenütt rendelkezésre álljon. A fejlett technika általában megköveteli az egyre nagyobb és nagyobb teljesítményű számítógépek alkalmazását. Ehhez jön a mesterséges intelligencia (MI) egyre nagyobb szerepe. Az MI-hez szükséges óriási adatbázisok meglepően nagy elektromos teljesítményt igényelnek. Ma nehéz megbecsülni, hogy az egyre szaporodó, az MI érdekében működtetett adatbázisok összességében pontosan mennyi elektromos energiát fognak 10–15 év múlva igényelni, de bizonyosan nagyon sokat. Hasonlóan, az elektromobilitás fokozott, az elmúlt évek változásaiból következtethető társadalmi

méretű térhódításával kapcsolatban is jelentős új elektromos energiaigény lép fel. Valószínű, hogy az említett időintervallumban legalább jelentősen megnövelt elektromos termelési összteljesítményre-kapacitásokra lesz szükség a maihoz képest.

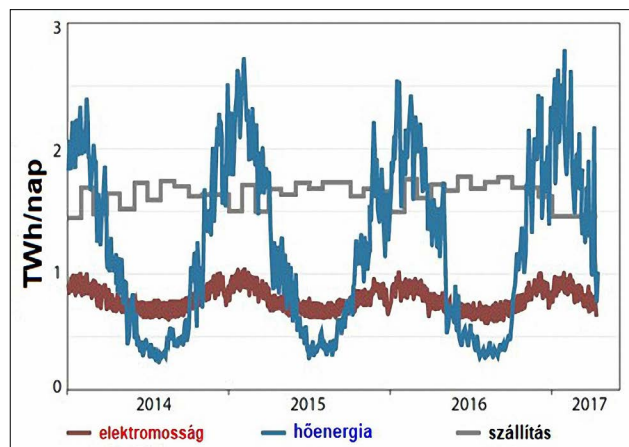
Az elektromos energiának azonban az eddig sorolt sok előnyös tulajdonsága mellett van egy olyan tulajdonsága, ami a felhasználását rendszerszintű alkalmazás mellett nehezzé és összességében bonyolulttá teszi. Az elektromos energiát a jelenlegi technológiai fejlettség mellett ugyanis nem lehet ipari méretekben tárolni. Kis mennyiségek tárolása persze lehetséges pl. zseblámpaelemek vagy akkumulátorok segítségével. A gazdasági folyamatok sokszor óriási teljesítményigénye azonban az ezekben tárolható mennyiségeknél sokkal, nagyságrendekkel több. Az elektromos energiát tehát éppen akkor kell megtermelni, amikor arra ténylegesen igény van. Ez az igény azonban állandóan változik. Azt még az elektromos áram termelésének tervezésekor figyelembe lehet venni, hogy eltérő teljesítményre van szükség évszakok és napszakok szerint. Azonban a pillanatnyi feladatoktól, berendezések bekapcsolásától vagy kikapcsolásától percről percre változhat a megtermelő elektromos teljesítmény nagysága. Az igények kielégítéséhez szükséges modern elektromos hálózatok kiépítése és optimalizálása ma az energetika egyik legnagyobb kihívása.

## Az energiaellátás rendszerének szerkezete

A nagyobb közösségek energiafelhasználását az alkalmazás jellege miatt technikailag több csoportra oszthatjuk. A felosztások egyike az, hogy a hőtípusú, az elektromos igényű és a szállítással kapcsolatos feladatok szerint készítsünk mérleget. A hőtípusú felhasználáshoz tartozik a magasabb szélességi körökön elengedhetetlen térfűtés, amely a víz forrásánál alacsonyabb hőfokon történik, valamint a lényegesen magasabb, több száz fokot megkövetelő ipari hő előállítás. Az elektromos energia széles körben alkalmazható, azonban nem minden energiaforma-igénynél használható fel. Végül a szállításnál olyan rendszereket kell alkalmazni, amelyek képesek hajtómotorjaikat átmenetileg autonóm módon, önmaguk energiával ellátni.

A 3. ábra egy kiragadott, de tipikus példaként az Egyesült Királyság néhány évének energiafelhasználását mutatja az előbbi szempontok szerint. Az ábrán látszik, hogy míg a szállítással kapcsolatos energiaigény folyamatosan évszakokon és néhány éven át napi 1,5–1,8 TWh körül mozgott, az elektromos energiaigény télen magasabb, de éves periodicitással napi 0,7 és 1 TWh között ingadozik (átlagosan 0,8 TWh/nap). A hőtípusú alkalmazás határozott téli évszakai maximumokat és nyári minimumokat mutat. A téli időszakban a hőjellegű felhasználás eléri a másik két típus igényének

összegét. Ennek nagy része a magasabb szélességi fokon elkerülhetetlen térfűtéssel kapcsolatos. A közösségekre vonatkozó arányok más éghajlati viszonyok miatt egészen mások is lehetnek.



3. ábra. Az Egyesült Királyság elektromos, hő- és szállítási energiaigénye 2014 és 2017 között TWh/nap egységekben. (Forrás: John Loughhead, BEIS)

A hőtípusú energiaigénynek jelentős része az ipari hő, amely termelési folyamatokhoz (pl. kohászat, vegyipari folyamatok) elkerülhetetlenül szükséges. Az ezzel kapcsolatos hőmérsékletek kb. a 400 °C-nál magasabb tartományba esnek. Az, hogy a hőtípusú energiaigény milyen aránya esik a magas hőmérsékletű tartományba, elsősorban az ipari szerkezettől és fejlettségtől függ. Magyarországon például a térfűtés alacsony hőmérsékleteket igénylő része a domináns, becslésünk szerint a hőigénynek akár háromnegyed része ide tartozik. A más gazdasági szerkezetű, fejlett Egyesült Államokban a hőigény mintegy fele az ipari hő.

Az előbbieket miatt hangsúlyoznunk kell, hogy a társadalmi-gazdasági életnek számos olyan szektora van, ahol olyan feladatok fogalmazódnak meg, amelyek kielégítése a helyzetre választott megoldást követel. Ez igaz például a közlekedés számos vonatkozásában, a légi közlekedésben, a mezőgazdaság, az ipari összetett termelő tevékenység több különleges igénye ellátásában. Ehhez jön még, hogy napjainkban a bizonytalanná vált világpolitikai helyzet miatt ismét fontossá váltak az energetikai mérlegnél egyáltalán nem elhanyagolható részarányú hadi felszerelések, csapást mérő harci eszközök. Ezek hadrendbe állításához különleges, független energiaellátásra van és lesz szükség a jövőben is. Itt az elektromos energia szerepe nem lesz meghatározó.

## Az észszerű megoldások a jövő, a körös gazdaság energiaellátásában

Az energiatakarékosság lehetőségének megbecsüléséhez vegyük sorra, hogy melyek a társadalmak energiaigényét

befolyásoló legfontosabb elemek! Három ilyen elemet azonosíthatunk: a fejenkénti átlagos szolgáltatásigényt, a megkövetelt szolgáltatásokhoz tartozó fajlagos energiafelhasználást és a vizsgált közösséghez tartozó emberek számát. Az energiaigény nyilván akkor lesz kisebb, ha a szereplő mennyiségeket csökkentjük.

A vizsgált közösségben lévő emberek száma sok társadalmi-gazdasági tényezőtől és folyamattól, és kevéssé a közösség vezetőinek szándékától függ. Így ezzel nem foglalkozunk. Az első tárgyalandó elem az átlagos fejenkénti energiaigény. Ez lényegében az egyes emberek és a kollektíva vágyait fejezi ki. Ez az ember alapvető (főleg biológiai) igényein túl a társadalom szociális, mentális állapotától függ. Ezt számos tényező befolyásolja. Ilyenek a manapság megkövetelt fogyasztási szokások, az általánosan megnyilvánuló vágy a magasabb életszínvonalra, az anyagi javak fogyasztására, a jobb, szebb, újabb használati tárgyakra. A mértéket növelik a reklámok, társadalmi divatok, baráti körök egymást erősítő mozgalmi, és lényegesen befolyásolja az erkölcsi értékrend. Megítélésünk szerint ez a legfontosabb, még befolyásolható elem a társadalmi energiaigény kialakításában. Tényleges megtakarítás csak akkor érhető el, ha a társadalom képes megérteni az energiatakarékosság közösséget segítő szerepét. Az, hogy ebben mekkora lehetőség van, elsősorban a társadalom morális állapotától függ. A történelmi tapasztalat az, hogy az egyén kevés energia felhasználásával is jól, boldogan meg tud élni. Az egyénnek kell eldöntenie azt, hogy melyek azok a szolgáltatások, amelyeket ő, személy szerint vagy környezetével együtt megkövetel. Ennek társadalmi szintű alakításához politikai, kulturális változásokra van szükség, amelyeket csak nevelés és felvilágosítás útján lehet elérni.

A másik fontos elem a megkövetelt szolgáltatásokhoz szükséges energia. Persze az lenne jó, ha ez is minden egyes esetben alacsony lenne. A technikai innováció szinte minden területen eredményes megtakarításhoz vezet, az olvasó is számos esetet ismerhet. Ugyanakkor a takarékoság szinte mindig beruházási igénnyel jár. Ráadásul a gazdasági haszon időnként időeltolódással jelentkezik, ami profitcsökkenést okozhat, míg a beruházás tökeigényes lehet. Mindez pedig arra vezet, és erre több példa is felhozható, hogy a piac gyakran nem támogatja az energiatakarékossági lépéseket. Bizonyos fejlesztések megvalósításához a piaccal szembenelő politikai akaratra is szükség lehet. A jövőben valószínűleg erősödni fog az energiatakarékosságra vonatkozó elvárás, és ezt jogi és egyéb szabályozók is támogatni fogják. A tapasztalatokat és a tényeket mérlegelve ma úgy tűnik, hogy a takarékoság következtében az egy főre eső energiafelhasználás csak kismértékben csökkenhet. Jelentős, több tíz százalékos csökkentést nehéz elképzelni. Az energiatakarékossághoz szükséges érdemi átalakulások időtényezője bizonyosan legalább évtizedes nagyságrendű.

Az energiatermelői oldalon a bőséges forrás és a karbonmentes energiaelőállítás kettős követelménye nagy

lehetőségként kínálja a hasadási atomenergia alkalmazását. Itt természetesen az atomerőművek fejlesztett változatairól lehet szó, amelyek minden felmerült nukleáris balesettel kapcsolatos aggályt megnyugtatóan kiküszöbölnék. Ezen a ponton annak is világosnak kell lennie, hogy a következő néhány évtizedre az atomerőművek csak akkor biztosítanak elegendő energiát, ha a ma alkalmazott ún. termikus atomerőművek mellett a másik, ún. tenyésztőreaktorok fejlesztése és üzembeállítása terén is érdemi előrelépés történik. Rendkívüli fejlesztés lehet annak a megvalósítása, amit legutóbbi klímacsúcson (Dubai, 2023) 25 ország, köztük hazánk szorgalmazott, hogy a következő három évtizedben a nukleáris kapacitások megháromszorozódjanak.

A megújuló energiaforrások területén a fotovoltaikus (nap-) erőművek és a szélenergiák gyorsuló mértékben növelhetik összteljesítményüket. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy ezek az egységek más (pl. atom-) erőművek érdemi együttműködése nélkül soha nem fogják tudni lefedni a modern társadalmak elektromos energiaigényét.

A következő évtizedek fontos fejlesztési irányának az elektromos energia ipari méretekben való tárolása látszik. A szivattyús vízerőművek jó rész megoldást jelenthetnek, de sem kapacitásban, sem a megépíthető erőművek száma terén nem jelenthetnek általános megoldást. E helyett egészséges gondolatnak tűnik, hogy elegendő mennyiségű hidrogént termeljünk energiátárolás céljából. A hidrogénnek óriási, 150 MJ/kg az égéshője, ami nagy tárolási potenciált csillanthat fel, ha az éghajlati viszonyok miatt a nap- és szélenergiákkal ingadozóan és kiszámíthatatlanul megtermelt elektro-

mos energiával vízbontás útján hidrogént állítunk elő. Ez az út elvileg járható. Sajnos azonban alaposan megvizsgálva a lehetőségeket és a már most meglévő és előreláthatólag telepíthető kapacitásokat, az látszik, hogy az igények nagyságrendjébe eső mennyiségű hidrogénnek legfeljebb 20%-át lehet ezen az úton előállítani a következő 3-4 évtizedben. Itt feltétlenül érdemes megjegyezni, hogy az atomerőművek olyan irányú fejlesztése, amely 800–1000 °C körüli folyamathót képes adni, ebből a szempontból is hasznos lehet. Ez a hőmérséklet már elegendően magas a szilárd oxidos elektrolizáló cella segítségével történő vízbontásra. Más, most még keresett módja is lehet az elektromos energia ipari méretű tárolásának.

Az ásványi energiaforrások mai nagyon magas részarányát biztosan csökkenteni kell. Ugyanakkor feltétlenül igaz, hogy a fosszilis energiaforrások belátható időn belüli teljes kivezetésének megvalósítását kizárólag a mai társadalmak súlyos megzavarásával, sőt szélső esetben a szétesését is kockáztató energiaellátási megvonással lehetne csak elérni.

Az emberiség energiaellátásának jelene és jövője nagy kihívásokkal teli. Biztos vagyok abban, hogy a tudomány, elsősorban a fizika a problémák megoldásának hatékony segítője lesz.

#### Ajánlott irodalom

1. MacKay David J. C. (2011): Fenntartható energia mellébeszélés nélkül. Typotex Elektronikus Kiadó Kft.
2. Meadows D. H., Randers D. L. J., Meadows D. (2005): A növekedés határai – Harminc év múltán. Kossuth Kiadó, Budapest.
3. Vajda György (2009): Energia és társadalom. In: „Magyarország az ezredfordulón” sorozat. MTA Társadalomtudományi Központ, ISBN 9789635085705