

Klíímaváltozás és energiaegyensúly a Földön

Ez nem egy tanulmány, inkább csak egy gondolatébresztő.
Megpróbáltam a hozzáférhető információkat új szemszögből
vizsgálni.

Biró László Miklós
laszlo.biro@samunet.hu

Tartalom

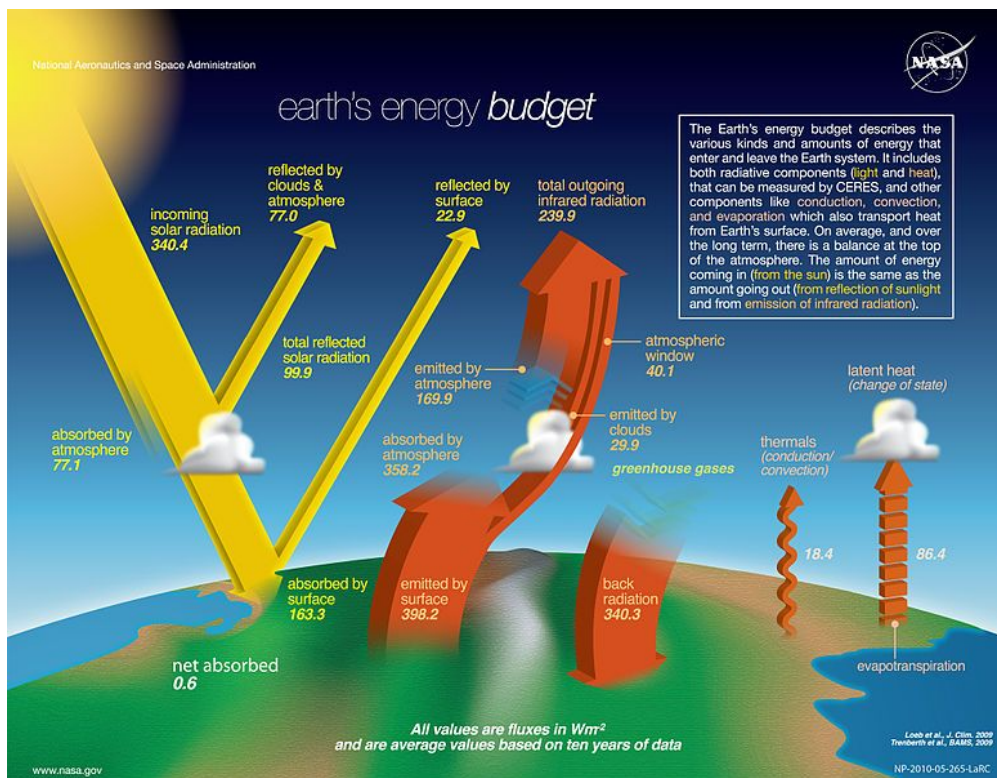
Klímváltozás és energiaegyensúly	1
a Földön	1
Klímváltozás, mint a Föld felborult energiaegyensúlyának következménye	3
A jelenlegi helyzet	3
Energiaegyensúly	4
Az ipari forradalom	5
Hatásfok	6
Nukleáris energia	7
Üzemeltetési tulajdonságok	7
Az energiaszükséglet fedezése	8
Megújuló energiaforrások	9
Árapály és hullámerőművek	9
Geotermikus erőművek	9
Vízenergiaerőművek	9
Biomassza erőművek	10
Szélenergiaerőművek	10
Napenergiaerőművek (fotovoltaikus rendszerek)	10
A villamos energia tárolása	10
Energiatakarékosság	11
Ipari felhasználás, gyártás	12
Szállítás	12
Lakossági felhasználás	12
Összefoglalás	16

Klímváltozás, mint a Föld felborult energiaegyensúlyának következménye

A jelenlegi helyzet

Manapság az egyik legnagyobb problémánk a klímaváltozás. Befolyásolja mindennapjainkat és okainak feltárása elengedhetetlen a jövőnk szempontjából. Számos matematikai modell született a helyzet leírására, de ezek a klímaváltozást csupán az atmoszférát érintő meteorológiai jelenségként kezelik.

Úgy tűnik, a változás sokkal gyorsabb, mint a modellek által jósolt érték. A jelenlegi modellek szerint a globális felmelegedés fő oka az üvegház hatású gáz fokozott kibocsátása. Az ipari forradalom kezdete óta drasztikusan megemelkedett a széndioxid kibocsátása és a nagyüzemi állattenyésztés szintén egyre növekvő mennyiségű metánt termel. Ezek a gázok csapdába ejtik azt a hőmennyiséget, amit korábban a Föld ki tudott sugározni a világűrbe.



Forrás: The-NASA-Earth's-Energy-Budget-Poster-Radiant-Energy-System-satellite-infrared-radiation-fluxes

Energiaegyensúly

A fenti ábra jó áttekintést ad az energiamérlegről, azonban nem tartalmaz egy kicsiny, jelentéktelennek tűnő komponenst. Ez nem más, mint a beérkező napenergiának az a piciny töredéke, ami kémiai energiává konvertálódik. Ennek a folyamatnak az eredménye a szén, a kőolaj és a földgáz keletkezése. Az így konvertálódott energiamennyiség nem tűnik számottevőnek, de ez a folyamat évmilliárdok óta tart. Az emberi tevékenység ezt a felhalmozott energiát mindössze néhány száz év alatt felszabadítja, hat nagyságrenddel gyorsabban, mint az elnyelődés volt. Ez azt is jelenti, hogy a felszabaduló energia hatása is hat nagyságrenddel nagyobb, mint az elnyelődés hatása volt!

Egy NASA tanulmány ezt írja:

Earth's Energy Budget

Note: Determining exact values for energy flows in the Earth system is an area of ongoing climate research. Different estimates exist, and all estimates have some uncertainty. Estimates come from satellite observations, ground-based observations, and numerical weather models. The numbers in this article rely most heavily on direct satellite observations of reflected sunlight and thermal infrared energy radiated by the atmosphere and the surface.

Earth's heat engine does more than simply move heat from one part of the surface to another; it also moves heat from the Earth's surface and lower atmosphere back to space. This flow of incoming and outgoing energy is Earth's energy budget. For Earth's temperature to be stable over long periods of time, incoming energy and outgoing energy have to be equal. In other words, the energy budget at the top of the atmosphere must balance. This state of balance is called radiative equilibrium.

About 29 percent of the solar energy that arrives at the top of the atmosphere is reflected back to space by clouds, atmospheric particles, or bright ground surfaces like sea ice and snow. This energy plays no role in Earth's climate system. About 23 percent of incoming solar energy is absorbed in the atmosphere by water vapor, dust, and ozone, and 48 percent passes through the atmosphere and is absorbed by the surface. Thus, about 71 percent of the total incoming solar energy is absorbed by the Earth system.

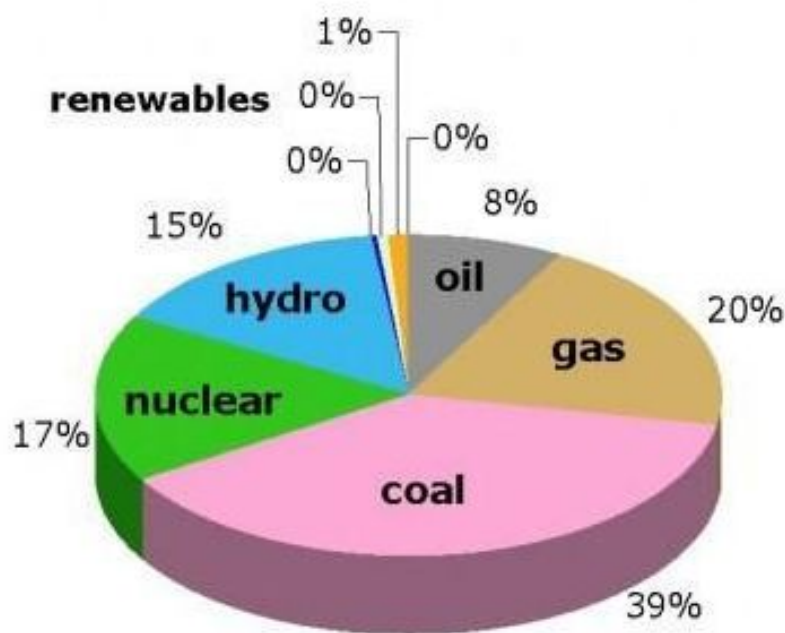
Forrás: earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance

Túllépve a meteorológiai megfontolásokon vizsgálnunk kell a Föld termikus egyensúlyának kérdését is. A beérkező napenergia energiamennyiségéhez hozzá kell adnunk az emberi tevékenységek által generált többletenergiát is. 1,2 – 2 %-os hőmérsékletemelkedés a Kelvin skálán nem tűnik soknak, de ha az azonos hőmérsékletváltozás-értéket az „élhető” hőmérséklettartományra vetítjük, akkor az érték akár 5 % fölé is mehet!

Az ipari forradalom

Az ipari forradalom előtt a beérkező nap/hőenergia és a kimenő, kisugárzott energia egy bizonyos földfelszíni hőmérsékletnél termikus egyensúlyt eredményezett. A növekvő ipari termelés és más emberi tevékenységek nem csak több üvegház-hatású gáz kibocsájtását eredményezték, hanem extra hőt is termelnek. A fosszilis energiahordozók használatával az évmilliárdok alatt kémiai energiaként konzerválódott napenergiát szabadítjuk fel milliószorta gyorsabban, mindössze néhány száz év alatt. Azt mondhatjuk, hogy az összes üzemanyag-célra kibányászott fosszilis anyag energiátartalmát hozzá kell adnunk a beérkező napenergiához. A Forbes szerint a jelenlegi energia-megosztás így néz ki:

World (2011) 15 tkWhrs/yr Present Energy Distribution (Power)

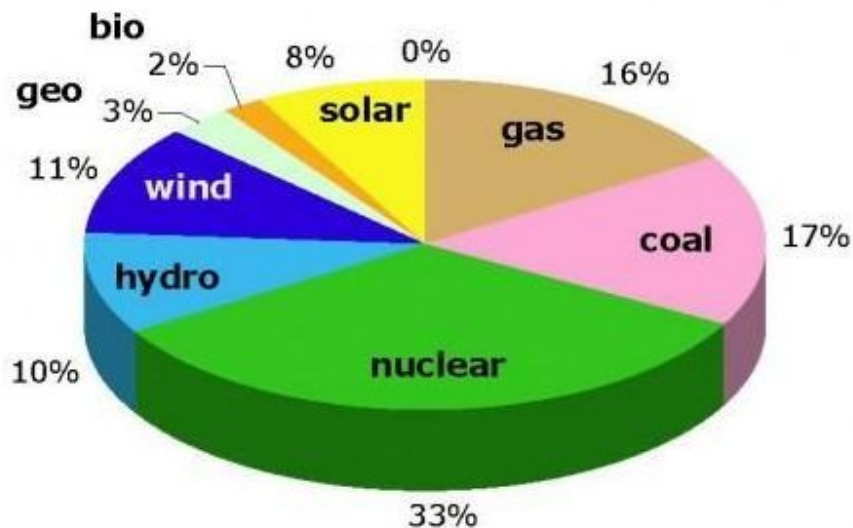


Forrás: Earth_energy_mix_Forbes

A jelenlegi matematikai modellek csak az üvegház-hatású gázok kibocsájtásával számolnak, de nem veszik figyelembe a földfelszínen termelt többlet-hő mennyiségét. Ebben a tekintetben a középtávú előrejelzések sem bíztatnak sok jóval:

World (2040) 30 tkWhrs/yr

A Target Sustainable Energy Distribution by 2040 (Power)



Forrás: Earth_energy_mix_Forbes

Az új egyensúly, amely tartalmazza a beérkező napenergiához hozzáadódó „helyben” termelt energiát, magasabb földfelszíni átlaghőmérséklet mellett áll be. Ez a fő oka a globális felmelegedésnek.

Nem elégséges a karbon-semlegesség; el kell érünk az energia-semlegességet is!

Ha valóban meg akarjuk állítani a globális felmelegedést, akkor le kell mondanunk a fosszilis és nukleáris energiahordozók használatáról, a napenergiát kell konvertálni, tárolni és újra elosztani.

Hatásfok

Általánosan ismert, hogy földgáz, olaj vagy szén égetése vagy üzemanyagként való felhasználása üvegházhatású gázok kibocsátásával jár, de szintén számolnunk kell a keletkező, felszabaduló energiával is. A termodinamika törvényeivel összhangban ugyanis minden felszabadított energia előbb-utóbb hővé alakul. Súlyosbítja a helyzetet, hogy a hőerőgépek hatásfoka 40 % vagy még kevesebb. Ez azt jelenti, hogy 1 kWh „hasznos” energia megtermelése további 1,5 kWh-nyi hő felszabadításával jár; a környezet teljes hőterhelése tehát 2,5 kWh lesz! Ha meg akarjuk

határozni a pontos értéket, akkor az energiatermelési célra bányászott összes fosszilis energiahordozó teljes energiataralmával kell számolnunk!

Nukleáris energia

A nukleáris energiaforrások ugyan nem termelnek üvegházhatású gázokat, de néhány kedvezőtlen hatásuk szinte rejtve marad. Jól ismerjük a sugárzás káros hatásait és a visszamaradó nukleáris hulladék problémáját, de ennél nagyobb baj, hogy a nukleáris erőmű is csupán egy hőerőgép, amit atomenergiával fűtünk. A rendszer hátulütője, hogy az atomerőművek – és a majdani fúziós erőművek is – korlátlan mennyiségű energia felszabadítását teszik lehetővé, ez viszont korlátlan mértékű hőkibocsátással jár. A 2040-es energiamix-előrejelzés mindössze 32 % megújuló energiával számol, ugyanakkor megduplázní tervezi az atomenergiával termelt energiamennyiséget.

Nézzünk egy példát: ha van egy 2000 MW teljesítményű atomerőművünk, aminek a hatásfoka 40 % (ez egy nagyon optimista becslés, a valós érték ennél alacsonyabb lehet), akkor ez a 2000 MW a végfelhasználóknál fog hővé alakulni; további 3000 MW az erőmű hűtőrendszere által közvetlenül a környezetbe jut és ez érzékelhető emelkedést fog okozni a közvetlen környezet hőmérsékletében.

Az erőmű által generált hőterhelés összességében 5000 MW!

Ha ezt az erőművet helyettesítjük egy 2400 MW-os rendszerrel, akkor a helyi hőkibocsátás 3600 MW lesz, a teljes generált hőterhelés pedig 6000 MW, az előbbinél 20%-kal nagyobb!

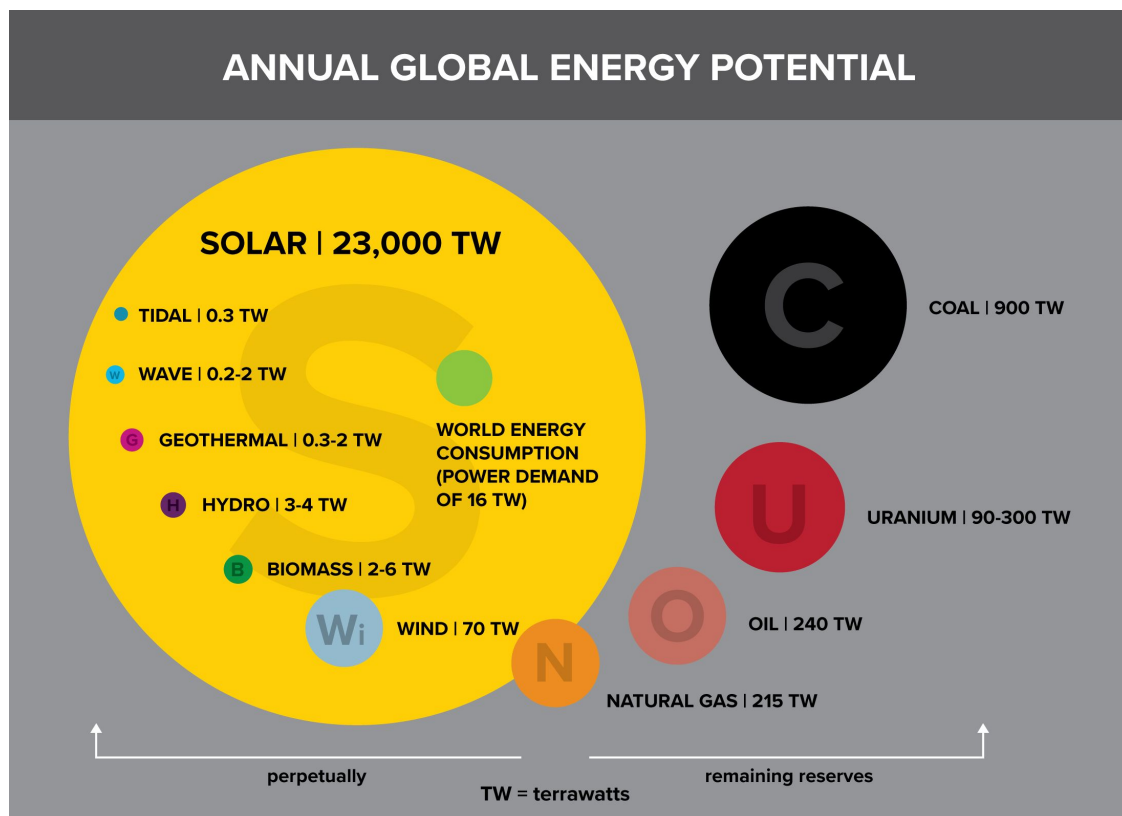
Üzemeltetési tulajdonságok

Tételezzük fel, hogy a 2000 MW-os erőművünk a kért teljesítményt 4 darab 500 MW-os blokk állítja elő. A blokkokat időnként le kell állítani karbantartásra. Ekkor kiesik a leállított blokk teljesítménye, 500 MW. Ez az erőmű teljesítményének 25 %-a. Ha a karbantartás alatt üzemzavar miatt le kell állítani még egy blokkot, akkor a kieső teljesítmény 1000 MW lesz, az erőmű teljesítményének 50 %-a. Ez a kieső teljesítmény jó eséllyel pótolható.

Nézzük meg ugyanezt egy feltételezett 2400 MW-os erőmű esetében, ahol a kért teljesítményt 2 darab 1200 MW-os blokk adja. Ha egy blokkot leállítanak karbantartásra, akkor a kieső teljesítmény 1200 MW, az erőmű teljesítményének 50 %-a. Ha a karbantartás ideje alatt üzemzavar lép fel a másik blokkban is és azt is le kell állítani, akkor kiesik a teljes 2400 MW-os teljesítmény, 100 %!!! Ez a villamosenergiarendszer üzemirányítása szempontjából kritikus helyzetet teremt!

Az energiaszükséglet fedezése

A Földre beérkező napenergia bőségesen fedezni tudja az emberiség energiaszükségletét.



Forrás: solar-prevalence_UCDavis_edu

A táblázattal összhangban a globális energiaigény 16 TW. Ez azonban csak a hasznos, hatásos energia. Ha a veszteségeket is figyelembe vesszük, akkor egy 2,5-ös szorzót kell használnunk. Így a jelenlegi tényleges igény 40 TW. A beérkező napenergia ennél 575-ször több! Ha a napenergia-villamos energia konverzió hatásfokát 20 %-nak feltételezzük, a rendelkezésre álló napenergia még mindig 120-szorosa a globális energiaszükségletnek.

Konvertálni kell, nem pedig termelni!

A világ teljes energiaigényének napenergiából történő fedezése kizárólag nagyon szoros nemzetközi együttműködéssel oldható meg.

Megújuló energiaforrások

Jelenleg az alábbi megújuló forrásokkal szoktunk számolni:

- Árapály erőművek
- Hullámerőművek
- Geotermikus erőművek
- Vízerőművek
- Biomasszát használó erőművek
- Szélerőművek
- Fotoelektromos rendszerek

Óvatosnak kell lennünk ezeknek a számításba vételével, mert néhány közülük nem valódi megújuló forrás vagy rejtett, csak a tömeges alkalmazásnál érzékelhetővé váló hátrányai vannak.

Árapály és hullámerőművek

Mechanikus energiát alakítanak át villamos energiává. Felépítésük összetett, üzemeltetésük és karbantartásuk munkaigényes. Kérdéses, hogy hosszú távú fenntartásuk gazdaságos lehet-e.

Geotermikus erőművek

A geotermikus erőművek csak látszólagosan használnak megújuló energiát. Ha egy adott területen egyre több geotermikus erőmű kezd működni, akkor az egyes rendszerek teljesítménye csökkenni fog. Mivel ezek is – ha villamos energia termelésére használjuk őket – hőerőművek, a hatásfokuk szintén 40 % környékén van, ugyanakkor működésük során hőt vezetnek fel a Föld mélyebb rétegeiből a felszínre és ezzel szintén növelik a globális felmelegedést.

Vízerőművek

Jól bejáratott technológiát képviselnek sok évtizedes tapasztalattal. Az összes erőműtípus közül a vízerőmű képes leggyorsabban reagálni a terhelés változásaira. A közvetlen környezetére és a közösségre gyakorolt hatását alaposan elemezni kell. Magyarországon a beépített vízerőmű-teljesítmény 60MW. Ennek mintegy 60-70 %-át lehet kihasználni, ami alig éri el az országos energiaigény 1 %-át. A tervezett, de meg nem valósult nagymarosi erőmű további 140 MW-ot, további 2,1 %-ot jelentett volna.

Külön kategóriák képeznek a szivattyús tározós erőművek, amelyek nagyon jól tárolni tudják a völgyidőszak energiafeleslegét és el tudják simítani a terhelési csúcsokat. Magyarországon két ilyen rendszer előtervezése történt meg: Prédikálószték és Sima-2. Mindkettő 600 MW körüli beépített teljesítménnyel rendelkezett volna és a terhelés kiegyenlítés mellett üzemzavari helyzetben az üzemirányítás részére jelentős időt biztosított volna a kieső energia pótlásának megszervezésére. Az előtervezési szakaszon egyik sem jutott túl.

Biomassza erőművek

Bár ez valóban egy megújuló forrás, a hatásfok itt is 40 % körüli és a széndioxid kibocsátás mellett egyéb kellemetlen mellékhatásai is lehetnek a közvetlen környezetre. Arra mindenképp alkalmasak, hogy a biomasszából keletkező metán energiatartalmát kinyerjék.

Szélerőművek

Nagyléptékű alkalmazásuk kritikus hatással lehet a meteorológiai rendszerre. A szél hőt szállít és mozgatja a felhőket. Ha a szél kinetikus energiáját kivesszük és villamos energiává alakítjuk, akkor ez lassú, de hosszú távú változásokat fog előidézni az időjárási rendszerben. Nem biztos, hogy célszerű nagyléptékű alkalmazásuk.

Naperőművek (fotoelektromos rendszerek)

Pillanatnyilag ez tűnik a legkörnyezetbarátabb megoldásnak. Ha valahol nincs napelem, akkor a beérkező és elnyelődő napenergia közvetlenül melegíti a földfelszínt. Ha ide napelemeket telepítünk, akkor azok lefedik a felszín egy részét és a beérkező energia egy részét villamos energiává konvertálják. A lokális felmelegedés némileg csökkenni fog, mert energiát vonunk el a rendszerből és ezt átirányítjuk a végfelhasználókhoz. A megtermelt energia felhasználható azonnal vagy tárolható.

A villamos energia tárolása

Jelenleg a legnagyobb problémát az jelenti, hogy míg az energiafelhasználás közel folyamatos, a megújuló források energiatermelése néhány kivételtől eltekintve szakaszos és nem, vagy csak nehezen szabályozható. A termelő, de fel nem használt villamos energiát tárolni kell. A ma használatos akkumulátorok nagyok, nehezek és tárolási kapacitásuk sem elégséges. Kisebb közösségek számára tudnak csak off-grid szolgáltatást nyújtani.

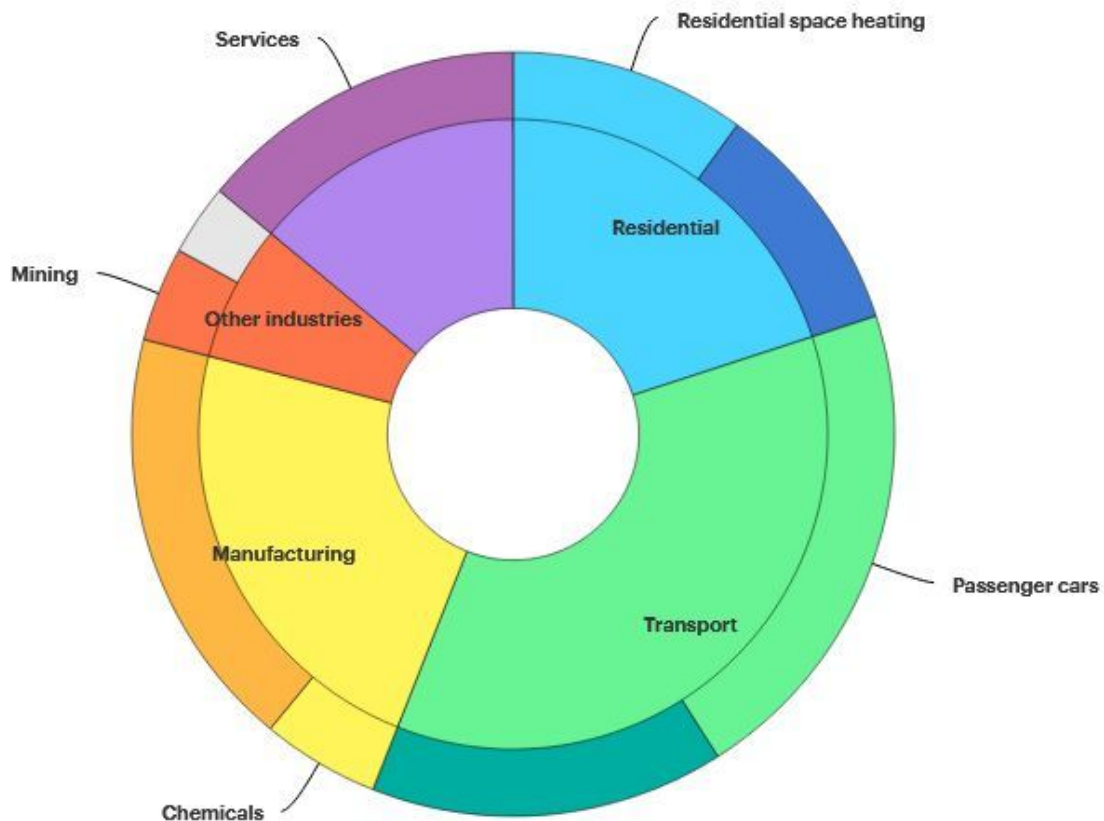
Megoldást jelenthetnek a szivattyús tározós vízerőművek; ezek ismert, bevált technológiát használnak és jól illeszkednek az üzemirányítási (SCADA, Supervisory control and data acquisition) rendszerekhez. Használatba vételük nem igényel új betanulást. Hátrányként jelenik meg a jelentős beruházási igény és az elhelyezéssel szemben támasztott speciális igények.

A megtermelt felesleges villamos energia vízbontásra is felhasználható. A termelő oxigén akár ki is bocsátható, de sűrítve szállítható és egyéb célra felhasználható. A hidrogén szintén sűríthető, cseppfolyósítható, szállítható és tárolható. Ez később felhasználható például tüzelőanyag-cellákban, gázturbinákban, kemencékben. Könnyen felhasználható mind háztartási, mind ipari szinten. Szállítása szintén nem jelent nagy kihívást. A jelenlegi, földgáz szállítására kidolgozott rendszerek mintájára ki lehet építeni a hidrogén-szállítási rendszert is.

A beérkező napenergia már a jelenleg elérhető technikai megoldásokkal is képes fedezni a Föld teljes energiaszükségletét. Úgy tűnik, a napenergiával táplált víz – hidrogén – víz ciklus alkalmas lehet a teljes energiaigény lefedésére. **Az az állam vagy szervezet, amelyik először investál a hidrogén ipari szintű elosztásába és használatába, hosszú időre vezetője lesz a világgazdaságnak.**

Energiatakarékosság

Az energiahatékonyság a kulcskérdés:



Forrás: IEA, Largest end uses of energy by sector in selected IEA countries, 2018, IEA, Paris
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/largest-end-uses-of-energy-by-sector-in-selected-iea-countries-2018-2>

A legfontosabb energiafelhasználási területek az alábbiak:

- szállítás
- gyártás, ipari felhasználás
- lakossági felhasználás
- szolgáltatások

Ipari felhasználás, gyártás

Az ipari szektorban az energiaigény csökkentése jól ismert és jól kezelt cél. Az alacsonyabb energiaigény alacsonyabb költségeket és így magasabb nyereséget biztosít, így az energiatakarékosságra törekvés egy önfenntartó folyamat. A forgácsolási technológiák helyét például átveszik a precíziós öntési és 3D nyomtatási eljárások, melyek egyúttal anyagmegtakarítást is eredményeznek.

Szállítás

Itt is hasonló a helyzet, mint az ipari felhasználásnál; az üzemanyagköltségek csökkentése alapvető cél. Davis Chhoa tanulmánya a Stanford University kiadványa:

Increasing Efficiency

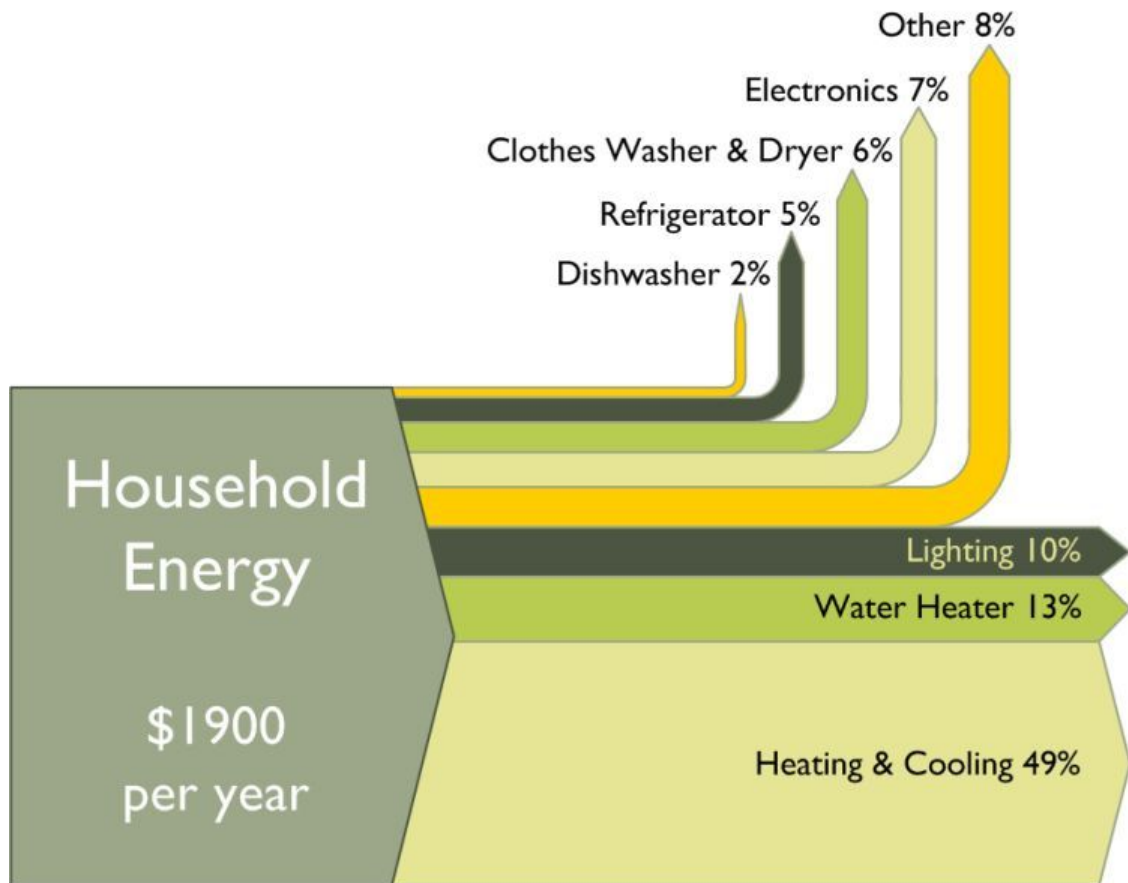
According to historic trends in measurements of aircraft fuel usage per seat, modern aircraft are approximately 80% more fuel efficient than aircraft of the 1960s through a combination of increased passenger capacity and technological improvements to improve fuel usage. [4] The rate of fuel efficiency improvement was quite variable throughout the past half century due to different developments in turbo engines, fuel consumption, and aircraft design. Between the 1960s and 1980s, the rate of fuel efficiency increased by an average of 3% annually, as determined by the International Civil Aviation Organization's calculated metrics, while there was essentially no increased fuel efficiency between the 1970s and 2000s. [3] However, as a result of recent fluctuations in fuel prices and the fact that fuel expenses comprise a significant amount of an aircraft's operating expenses, engineers have been working on improving aircraft fuel efficiency. [5] Furthermore, aircraft are incredibly energy efficient vehicles once they are up in the air. In fact, the faster the aircraft are able to travel, the more efficient they become. Since aircraft travel long distances and carry a limited quantity of fuel before needing to be replenished, engineers are working on improving the fuel efficiency of aircraft in order to fly longer distances with reduced amounts of fuel. The Airbus 320neo, shown in Fig. 1, is one of the most recent aircraft developed. It claims a reduction in fuel usage of approximately 15 percent compared to previous the previous Airbus 320 model. [6] The "neo" in the new aircraft's name refers to the use of a new, more fuel-efficient engine, demonstrating an example of the relationship between technology and efficiency improvements.

Forrás: <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/chhoa1/>

A közösségi közlekedés aránylag egyszerűen terelhető elektromos járművekre és hasonló a helyzet az egyéni közlekedésben. Az elektromos autók egyre megfizethetőbbek és egyre jobban használhatók. Jó átmenet lehetőségét nyújtják a hibrid járművek (de NEM a mild hibrid verziók!).

Lakossági felhasználás

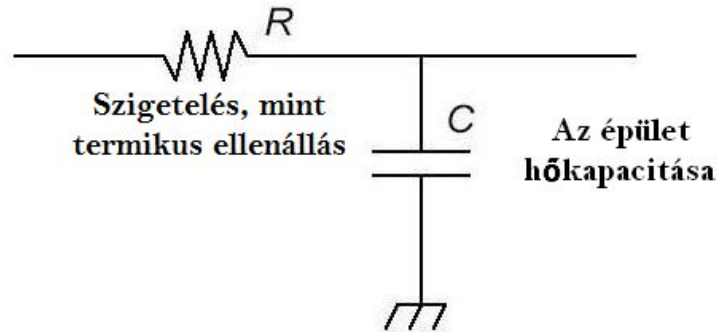
Úgy tűnik, ez az egyik legkritikusabb terület.



Forrás: https://www.sankey-diagrams.com/wp-content/gallery/x_sankey_004/cache/home-energy-use-sankey-diagram.png-nggid03368-ngg0dyn-500x0x100-00f0w010c010r110f110r010t010.png

A fűtés és a hűtés a rendelkezésre álló energiának csaknem felét emészti el. Mindamelllett a hűtés a helyi külső környezetben azonnali hőmérsékletemelkedést eredményez. Az épületek külső falainak hőszigetelése mind a fűtési, mind a hűtési energiaigényt csökkenti, de a háztartások energiafelhasználások egyéb tényezőit is figyelemmel kell kísérni. Növelni lehet például az épületek hőkapacitását, létrehozva ezzel egyfajta „termikus pufferelest”:

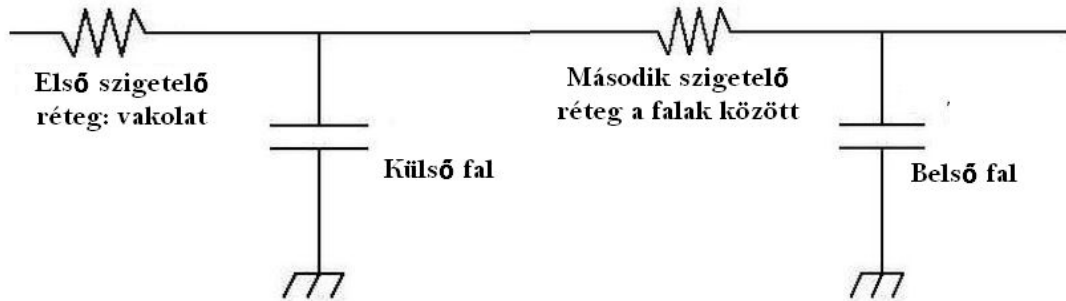
Termikus puffereelés



Ez a megoldás csökkenti, ellaposítja a hőmérsékletcsúcsokat, mind melegben, mind hidegben. A régi téglavagy kőépületek nyáron sokkalta hűvösebbek maradnak, mert az épület hőkapacitása meglehetősen nagy. A nappali meleg nem elégséges ahhoz, hogy átmelegítse a falakat, viszont éjszaka a külső falfelületek az lenyelt hő jelentős részét újra kisugározzák és így lehűlnek. A modern könnyűszerkezetes épületek nem rendelkeznek elegendő hőkapacitással ehhez a működésmódhoz. Vissza kellene térnünk a régi nehéz falazóanyagok használatához, legalább az épületek külső falainál. Egy érdekes módszer a Belgiumban alkalmazott: dupla falazat készül, közte hőszigetelő réteg, majd a külső falra hőszigetelő vakolat kerül.



Ez egyfajta „dupla termikus pufferelést” eredményez.



Összefoglalás

A karbonsemlegesség nem elég; energiasemlegessé kell válnunk.

Nem szabad többlet-energiát termelnünk a Földön; a rendelkezésre álló napenergiát kell konvertálnunk és felhasználnunk.

Az építészetben visszatérve a hagyományos nehéz építőanyagok használatához csökkenteni tudjuk az épületek fűtési és hűtési energiafelhasználását.