Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Környezettudományi Centrum

A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS ENERGETIKÁJA

SZAKDOLGOZAT

Készítette:

PUSKÁS-FARKAS BOGLÁRKA

KÖRNYEZETTAN ALAPSZAKOS HALLGATÓ

Témavezető:

DR. CSANÁD MÁTÉ

egyetemi adjunktus

Budapest

2013.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék ... 2

1. Az emberiség környezete ... 3

2. A Föld erőforrásai és az általuk okozott környezeti problémák ... 5

2.1. Fosszilis energiahordozók ... 5

2.1.1. A fosszilis energiahordozók keletkezése ... 5

2.1.2. Káros anyagok kibocsátása, egyéb környezeti hatások ... 5

2.2. Megújuló energiaforrások ... 8

2.2.1. Napenergia ... 8

2.2.2. Geotermikus energia ... 10

2.2.3. Szélenergia ... 13

2.2.4. Biomassza energia ... 15

2.2.5. Vízenergia ... 17

2.2.6. Óceánok energiája ... 18

3. Az elektromos és a benzines autók CO_2-kibocsátása ... 20

4. Az atomenergia ... 21

4.1. A maghasadás és a magfúzió jelensége ... 22

4.2. Az atomreaktorok felépítése és működése ... 23

4.3. Az atomerőművek és az atombombák által okozott környezeti problémák ... 25

4.3.1. Atomerőművek és a környezet ... 25

4.3.2. Kísérleti atombomba robbantások (KAR) környezeti hatásai ... 28

4.4. Atomerőmű baleset: Csernobil ... 28

4.5. A Paksi Atomerőmű ... 30

5. Az atomenergia megítélése ... 31

6. A jövő energiaellátása ... 36

Köszönetnyilvánítás ... 38

Irodalomjegyzék ... 39

Melléklet ... 42

1. Az emberiség környezete

Földünk 4,6 milliárd éves fejlődés során vált az élet színterévé. Tekinthető az állandóság jelképének, azonban minden egyes pillanatban folyamatos mozgásban, változásban van. Az ember megjelenésével ezek a változások egyre inkább felgyorsultak, megváltoztak, kezdetben lokális, majd globális szinten. Nem túlzás kijelenteni, hogy a legtöbb probléma hátterében a népességszám növekedése áll. Hosszú időn át a világ népessége csupán nagyon lassú ütemben változott, azonban a XIX. században rohamos növekedésnek indult, a természetes 0,2%-os évi szaporodást 1%-os emelkedés váltotta fel. (ANGYAL ZS. et al. 2012) Ezt a hirtelen népességszám-emelkedést nevezzük népességrobbanásnak, vagy demográfiai forradalomnak, melyet többek között a járványok megszűnése, az egészségügy javulása, a tudomány fejlődése tett lehetővé. 2011-re az emberiség lélekszáma elérte a 7 milliárdot. Ekkora népességszám mellett nem meglepő, hogy az egész Földre kiterjedő káros hatások jelentkeztek.

Globalizációról beszélhetünk például az információáramlásban, az egészségügyben, a közlekedésben, a gazdaságban, a tudomány fejlődésében, valamint a környezeti problémák esetében is. Mindezek felismerése a XIX. század második felében kezdődött. Nap mint nap szembe kell néznünk víz- és légszennyezéssel, az ózonlyuk kialakulásával, az üvegházhatású gázok jelenlétével, a globális klímaváltozás folyamatával, mely a XX. századra vált egyértelművé. Felmerül a kérdés, hogy vajon meddig tartható fenn a változás jelenlegi üteme? Tudnunk kell, hogy a Föld eltartóképessége véges.

A fenntarthatóság fogalma 1992-ben fogalmazódott meg a Riói Világkonferencián. A fenntartható fejlődés lényege, hogy a folyamatos gazdasági fejlődést úgy kell biztosítani, hogy eközben környezetünk megóvására törekedjünk. A jövő generációinak számára biztosítanunk kell a számunkra is elérhető javakat eredeti formájukban, minden emberi tevékenység során a környezetszennyezés minimalizálásának szem előtt tartásával. Minden jel arra mutat, hogy a fenntartható fejlődés fogalma már nem fenntartható, ugyanis a folyamatosan növekvő igények kielégítéséhez szükséges források egyre inkább kimerülni látszanak, a természet több millió év alatt felhalmozott tartalékait előre láthatólag pár száz év alatt elfogyasztjuk. Amennyiben Földünket kibillentjük az életet biztosító egyensúlyából, nehéz lenne az optimális állapotába visszabillenteni. A legnagyobb problémák közé tartozik a

túlnépesedés, az élelmiszer- és vízhiány, a városiasodás, a klímaváltozás és az energiahiány is. Fontos belátnunk, hogy a források eloszlása közel sem egyenletes, a Föld egyes régiói között óriási különbségek adódnak. Ez a különbség észrevehető az energiaforrások egyenlőtlen eloszlásában is.

A népességszám növekedése együtt jár az energiafelhasználás növekedésével. Fokozódnak az igények, felgyorsul a termelés, mindehhez újabb és újabb nyersanyagkészletek feltárására volna szükség. Ezzel szemben a földi készletek csak korlátozottan állnak rendelkezésünkre, kimerülni látszanak, új lelőhelyek feltárásában pedig egyre kevésbé reménykedhetünk. Azonban energiaellátás nélkül ma már nem lenne képes fennmaradni a társadalom. A mindennapi élet összes mozzanatához energiára van szükség, gondoljunk akár a főzésre, a fűtésre, a közlekedésre, a termelésre, illetve bármilyen egyéb tevékenységre. A természetben megtalálható energiaforrások akkor válnak energetikai szempontból hasznosíthatóvá, ha azokat energiaszolgáltatásokká alakítják, azonban szem előtt kell tartanunk az alkalmazásukban rejlő káros következményeket is. A fenntartható fejlődés elveivel összehangolt energiastratégiát kell alkalmaznunk: mérsékelni kell az energiaforrások pazarló felhasználását, be kell tartani az egészségügyi, biztonsági előírásokat ügyelve a bioszféra védelmére és a lokális szennyeződések elkerülésére is.

Az egyes energiaforrásoktól többlépcsős folyamatokon át jutunk a végső energiaszolgáltatásokig, melyet az energialánc folyamatával írhatunk le a legegyszerűbben. [1. melléklet] Az energialánc az elsődleges energiaforrások kitermelésével induló, és az energiaszolgáltatások igénybevételével záródó szakasz. A természetben előforduló azon energiaforrásokat, melyek energiaszolgáltatásokká alakíthatók, elsődleges energiahordozóknak nevezzük (például szén, kőolaj, biomassza, napsugárzás, uránérc). Ezek képezik az energialánc alapját. Feldolgozásukkal másodlagos energiahordozókat kapunk (például benzin, elektromos áram). A következő lépésben ezek átalakításával energiaszolgáltatásokhoz jutunk, az így kapott energiát közlekedésre, világításra, fűtésre használjuk fel. A különböző technológiák alkalmazásakor minden esetben keletkezik hulladék, ezek elhelyezése, tárolása, kezelése szintén megannyi területet és energiát igényel. Az erőforrások felélése tehát összefügg az életszínvonallal: minél inkább a jólét maximalizálására törekszünk, annál több természeti anyagot használunk fel.

2. A Föld erőforrásai és az általuk okozott környezeti problémák

2.1. Fosszilis energiahordozók

2.1.1. A fosszilis energiahordozók keletkezése

Az általunk használt erőforrásokat három csoportba tudjuk felosztani. Megkülönböztetünk megújuló, nem megújuló, és nukleáris erőforrásokat. Egyes természeti források mennyisége az ember szemszögéből végesnek mondható, keletkezésükhöz évmilliókra van szükség, újratermelődésüknél gyorsabb ütemben aknázzuk ki őket. Ezek a nem megújuló erőforrások, más néven a fosszilis energiahordozók: a kőszén, a földgáz és a kőolaj. Keletkezésüket tekintve a kőszén olyan mocsaras területeken keletkezett, ahol korábban fák és egyéb növények bomlottak le, halmozódtak fel évmilliók alatt, míg a földgáz és a kőolaj tengerek és öblök mélyére leülepedett állati és növényi maradványokból alakult ki. Kitermelésükkor, feldolgozásukkor elégetjük őket, ezzel nagy mennyiségű energiához jutunk, és olyan anyagokat hozunk létre belőlük, melyeket többnyire nem lehet még megfelelően újrahasznosítani, illetve amelyekkel szennyezzük a bioszférát.

2.1.2. Káros anyagok kibocsátása, egyéb környezeti hatások

A kőolaj és a földgáz is széntartalmú energiahordozó, így elégetésükkel nagy mennyiségű CO_2 szabadul fel és kerül a légkörbe. Összehasonlítva a fosszilis energiahordozókat elmondható, hogy minél magasabb a hidrogén aránya a karbonhoz viszonyítva, annál kisebb lesz az adott tüzelőanyag CO_2-kibocsátása, így 1:2:4 arányban található meg a szén:kőolaj:földgáz esetében. Az erőművek energiaátalakító-berendezések, melyek a rendelkezésünkre álló energiaforrásokat egy vagy több lépcsős folyamatban alakítják át villamos energiává és/vagy hővé. Mivel az erőművek létesítésénél lényeges szempont a minél kevesebb CO_2-kibocsátás biztosítása, ebből az következik, hogy egyes esetekben átalakításokra van szükség a már meglévő erőművek esetében. A széntüzelésűeket olajra, vagy földgázra szükséges változtatni, az olajtüzelésűt pedig földgázra, hiszen ennek az energiahordozónak az alkalmazása jár a nem megújuló energiahordozók közül a legkevesebb környezeti kockázattal.

Célunk Földünk lakhatóbbá tétele, azonban a környezeti szempontok évszázadokon át háttérben maradtak, nem foglalkozott az emberiség a fosszilis energiahordozók elégetése során keletkező többlet CO_2-dal, de mára már fordulóponthoz értünk. A keletkezett CO_2 globális problémának minősül, hiszen

üvegházhatású gáz, mely 7,2 ºC-kal járul hozzá a földi üvegházhatáshoz. Az üvegházhatású gázok nélkül a Föld átlagos hőmérséklete nem +15 °C lenne, hanem körülbelül -15 °C, ebből a 30 °C-os különbségből 7,2 °C-ot ad a CO_2, melynek légköri koncentrációja napjainkra 280 ppm-ről 389 ppm-re növekedett. (ANGYAL ZS. et al. 2012) [2. melléklet] Az antropogén eredetű CO_2 kibocsátásért döntően a fosszilis tüzelőanyagok égetése a felelős.

Tökéletlen égés során egy másik veszélyes szennyezőanyag, a CO képződik, mely a vér hemoglobinjához kötődve akadályozza a vér oxigénszállítását, az erőművek azonban odafigyelnek rá, hogy minél kevesebb szén-monoxidot juttassanak a légkörbe. A tökéletlen égés során korom is képződik, mely kondenzációs mag, és a redukáló hatású szmog egyik alkotója a SO_2 mellett, tehát káros egészségügyi hatása van.

A szén-dioxid és szén-monoxid kibocsátáson kívül azonban meg kell említeni egyéb környezeti károkat is, melyeket a fosszilis energiaforrások kitermelése és hasznosítása okoz. Kezdetben lokális szennyeződésről beszélhetünk (füst, por, zaj) a szennyező anyagok kibocsátása miatt, azonban a környezet terhelése már meghaladja azt a szintet, amikor a természet regenerálódása önmagától bekövetkezik. Már a bányászatnál találhatunk aggasztó szempontokat. Külfejtéses bányák esetében ügyelni kell a bányászat befejezése után a tájrehabilitációra, melyet erdőtelepítéssel oldanak meg, ehhez azonban időre van szükség. A telepített erdők némileg csökkentik a keletkezett CO_2 koncentrációját, azonban az erőművek, bányák, tározók még így is tájsebet ejtenek.

A szénerőművek esetében a keletkezett salak megfelelő elhelyezése a gond, mely nemcsak jelentősen rontja a táj képét, hanem vízbefektetést is igényel, illetve a salaktér felületéről kilépő szálló por is egészségügyi gondokat okoz a légzőszervrendszerbe kerülve. A bányák meddőhányóiból valamint az erőművek zagytározóiból a csapadék például foszfátot, nitrátot, szulfátot és egyéb szennyezőanyagokat mos ki a vizekbe.

A széntartalmú energiahordozók égetésekor a CO_2 mellet pernye, kén-dioxid és nitrogén-oxidok (NO_x) is felszabadulnak. A nitrogén-oxidok nitrogénből és oxigénből álló vegyületek (NO, N_2O, NO_2, N_2O_3, N_2O_5), melyek az atmoszférában számos reakciót indítanak el. A kén-oxidok (SO_x: SO_2, SO_3) reakciótermékei igen agresszív hatásúak, a keletkezett kénessav és kénsav a természeti és az épített környezetben egyaránt jelentős károkat okoz. A földgáz kéntartalma elhanyagolható, azonban a kőolaj esetében azok összes kéntartalma kén-oxidokká ég el, az így kibocsátott füstgáz

agresszívabb a széntüzelésű erőművekénél. A kéntartalom előzetes kivonása a tüzelőanyagból gazdaságosan csak a kőolaj feldolgozása esetében oldható meg. A széntüzelésű erőművek azonban legalább négyszer több kén-dioxidot bocsátanak ki az olajtüzelésű erőműveknél. A kén-oxidok bizonyos hányadát a salak is megkötheti, de a többi része azonban a kibocsátott füstgázba kerül. A füstgáz ezen kívül egyéb illó szerves vegyületeket is tartalmaz, például alkánokat, aromás vegyületeket, poliaromás szénhidrogéneket (PAH), poliklórozott bifenileket (PCB), dioxinokat, melyek nagy része mérgező. (VAJDA GY. 2001) A kibocsátások megelőzésére porleválasztó berendezéseket, valamint NO_x -katalizátorokat építenek az erőművekbe nemcsak az új erőművek, hanem a régi, már meglévő erőművek esetén is, illetve a széntüzelésről való folyamatos átállás biztosítja ezen anyagok csökkenését. Másik ígéretes lehetőségnek minősül a keletkezett salak és pernye felhasználása útépítésre, valamint adalékanyagként beton, tégla, cement gyártásához, azonban ha veszélyes alkotók maradnak az anyagban, akkor korlátozódnak a lehetőségek. Előfordulhatnak a szénben radioaktív elemek is, például urán, tórium, kálium izotópok, illetve ezek leányelemei. A pernyében apró szemcsékhez kapcsolódhatnak a ^{238}U, ^{40}K, ^{232}Th, ^{210}Pb, ^{226}Ra izotópjai, melyek az erőművek füstgázával kikerülhetnek a környezetbe. (VAJDA GY. 2001) Tudnunk kell, hogy a kijutó radioaktivitás nincs veszéllyel az egészségünkre, mivel az ez által okozott sugárterhelés nagyságrendekkel kisebb a természetes háttérsugárzásnál.

Különösen nagy veszélyt jelentenek a kőolaj szállítása során történő balesetek. Számtalanszor hallhatunk a tankerkatasztrófákról, amikor a tengerek felszínén szétterülő olaj összefüggő hártyaként elzárja az oxigénfelvétel útját a vizekben, így megakadályozza az ott élő élőlények anyagcseréjét. Ha ezek az élőlények érintkeznek az olajjal, az bőrükre, tollukra tapadva akár katasztrófához is vezethet: a mozgásban akadályozza, majd elpusztítja őket.

Elsősorban az olajtüzelésű erőműveknél jelent problémát a talajszennyezés, melynek elhárítására vagy a teljes talajcsere, vagy pedig olyan enzimes eljárás alkalmazása jelent megoldást, melyek meggyorsítják a szénhidrogénekben található kémiai kötések felbomlását.

Eddigi felmérések alapján a világ fosszilis energiahordozóinak műrevaló vagyona – azaz a jelenleg gazdaságosan kitermelhető, bizonyított mennyiségű készlet – nem fedezi a XXI. század energiaigényeit, azonban a feltételezett feltáratlan tartalékok elvileg biztosítani tudnák a század energiaellátását. (BÜKI G. 2004)

2.2. Megújuló energiaforrások

Az alternatív energia a Föld bármely részén a rendelkezésünkre áll, csupán az egyes területek adottságainak megfelelő módszert kell alkalmaznunk. Ilyen megújuló energiaforrásnak nevezzük a napenergiát, a szélenergiát, a vízenergiát, a biomasszából nyert energiát és a geotermikus energiát is, illetve ide soroljuk még az óceánokban rejlő lehetőségeket is (ár-apály, hullám). Az alternatív erőművek felhasznált energiahordozói jelen esetben ezek a megújuló energiák. A következőkben ezeket tárgyaljuk részletesen.

2.2.1. Napenergia

Az atomenergia kivételével a legtöbb energiahordozó közvetlen vagy közvetett forrása a Nap. Elsősorban melegíti a Földet, ezáltal biztosítja a globális körforgásokat, a fotoszintézist, így az élet jelenlétét. Földünk a Naptól kapja a legtöbb energiát. Az érkező elektromágneses sugárzás 342 W/m^2 energiájából azonban 107 W/m^2 energiát nem tudunk hasznosítani, mert 77 W/m^2 visszaverődik a légkörben található részecskékről, és 30 W/m^2 pedig a Föld felszínéről. (BARKÁCS K. et al. 2012) Nemcsak a megújuló erőforrások hajtóereje a Nap, hanem a fosszilis energiahordozóké is, ugyanis ezek a régmúlt energiáját rejtik magukban, mely égetésükkel szabadul fel. Egy évben körülbelül tízezerszer több energia érkezik a Napból a Földre, mint amennyit a Föld teljes népessége igényelne. A Föld sztratoszférájára érkező napsugárzás energiája 5,6 YJ/év. Ebből az energiából tehát nem éri el mind a Föld felszínét, csupán 43%-a jut átlagosan a felszínre, mely mintegy 2,4 YJ energiát jelent. (BÜKI G. 2004) Hasznosítása naphőerőművekben, napkéményekben és napelemek segítségével történik.

A naphőerőművek működése függ a beérkező sugárzás mértékétől, tartósságától, valamint az így elérhető teljesítménytől. Amennyiben alacsony teljesítmény érhető el a napsugárzás irányába 100 m^2 felületű tükröt helyeznek, fókuszpontjába állítják a hőcserélő berendezést, ez a hőforrása a Stirling-motornak, mellyel néhány száz kW teljesítmény érhető el. [3. melléklet]

Nagyobb teljesítmény eléréséhez több tükröt alkalmaznak. Egyik lehetséges megoldás a torony típusú naphőerőművek alkalmazása. Működése során számítógépekkel vezérelt heliosztátokat (síktükröket) helyeznek elforgatható vízszintes és függőleges tengelyek mentén, ezek követik a napsugárzást és a napsugarakat a központi parabolatükörre fókuszálják. Ez hevíti körülbelül 1000 ºC-ra az itt található hőcserélőben áramló hőhordozó közeget, mely általában folyékony nátrium, sólé vagy termoolaj. A közeg a talajszinten található gőzfejlesztőben a vízgőznek adja le a felvett

hőt. A naphőerőmű hátránya, hogy nagy területet foglal el, a heliosztátok megfelelő elhelyezése befolyásolja a helyigényt. Egyéb fontos észrevétel, hogy mivel a beépített tükrök a szórt sugárzást is felhasználják, közelükben csak árnyéktűrő növényzet képes megmaradni. [4. melléklet]

Másik lehetőség a nagyobb teljesítmény eléréséhez a parabola-vályús kollektoros naphőerőművek alkalmazása. Ezek csak a közvetlen napsugárzást hasznosítják. A beérkező napsugarakat parabola keresztmetszetű vályúk a talajszinten gyűjtik össze, a keletkezett hőt kollektoroknak adják, melyek összefüggő csővezetékrendszert alkotva nagyobb területről tudják a napenergiát begyűjteni és az erőműbe szállítani. Tehát a naphőerőművek alkalmazása olyan területeken valósulhat meg, ahol elegendő mennyiségű sugárzás jut a felszínre. Óriási, 30-90 m^2/kW fajlagos területigénye miatt nehezen illeszthető a tájba. (BÜKI G. 2004) A napsugárzás elől eltakart területeken a talaj lehűlésével és átalakulásával kell számolni. Egy naperőmű létrehozása nagy mennyiségű alapanyagot igényel, egy hőerőműhöz hasonlítva hatszor több betont és 30-150-szer annyi fémet. (VAJDA GY. 2001) [5. melléklet]

A napkémények működése eltér a naphőerőművekétől. Itt a talajt üveggel és műanyaggal borítják be, ebben a lefedett térben átlagosan 15-30 ºC hőmérsékletkülönbség alakul ki a sugárzás hatására. (BÜKI G. 2004) A levegő felmelegedése után a berendezés közepén található adott magasságú kémény hatására 12-15 m/s sebességű levegő áramlik felfelé, miközben szélkerekeket hajtva áramot termel. (BÜKI G. 2004) Hátránya, hogy a napsugárzás intenzitásának változásával ingadozik az elérhető teljesítmény. [6. melléklet]

A napelemek esetében a beérkező napsugárzás közvetlenül villamos energiává alakul át, felügyeletet nem igényel. A napelemek termovillamos átalakítói a hosszú hullámú infravörös (IR) napsugárzást hasznosítják, míg a fotovillamos napelemek az elektromágneses spektrum látható fény tartományába eső sugarakat alakítják át villamos energiává. Természetesen minél erősebb a napfény intenzitása, annál több áramot képes előállítani. Számos előnyük van, mint például, hogy nem igényelnek fűtőanyagot, nem keltenek zajt, nem bocsátanak ki káros légszennyező anyagokat. Ugyanakkor ki vannak téve az időjárási viszonyoknak: a csapadék és a légkörben található szennyeződések kiülepedhetnek felszínükre, ezáltal csökkentik hatékonyságukat. Ezért bizonyos időközönként a felületek tisztítása elengedhetetlen. Hátrányuk, hogy gyártásukhoz elsősorban szilícium szükséges, illetve a szilíciumon kívül még például $SiHCl_3$, $POCl_3$,

SiH_4, PH_3, B_2H_6, SeH_2 is. (VAJDA GY. 2001) Az elhasznált napelemekből nehézfémek jutnak a környezetbe (As, Cd, Zn, Se) (VAJDA GY. 2001), ezek akkumulációra képesek, fel tudnak halmozódni az élőlényekben, helytelen kezelésükkor akár a táplálékláncba is bekerülhetnek, mely súlyos egészségügyi gondokat jelent.

Fizikai jellemzőik miatt a napelemtáblák és a napkollektorok a nemrég felfedezett poláros fényszennyezésre képesek. Ez azt jelenti, hogy a mesterséges sima, fényes és sötét felületekre érkező fény hatással van a polarizáció-érzékeny állatokra, ha erősen és vízszintesen poláros fényként verődik vissza. Ezek az állatok (főleg rovarok) a szaporodásukhoz nélkülözhetetlen vízfelületeket a vízről visszatükröződő fény vízszintes polarizációjával találják meg. A napelemekhez hasonló sima és sötét felületek még például a hatalmas üvegfelületek, a mezőgazdaságban használt fóliák, a kőolaj, a fekete színű gépjárművek és a temetők sírkövei is, melyek a polarotaktikus rovarok számára ökológiai csapdát jelentenek, vízként azonosítják őket. Ez a fényszennyezés nem csupán napközben fenyegeti az élőlényeket, hanem éjszaka is, amikor a mesterséges fények és a Hold fénye visszaverődik az antropogén eredetű építményekről. Egyes rovarok gyakran tömegesen röpülnek a napelemek és a napkollektorok körül, ide rakják petéiket is, melyek sajnos nagy valószínűséggel el is pusztulnak. A vízirovarokra kifejtett hatás megszüntethető, ha a napelemek felületén vízszintes csíkozást alkalmazunk. Minél sűrűbb a rácsozás, annál kevesebb rovar vonzódik a fényes fekete felülethez. Ha a felületeket érdessé és durvává tesszük a róluk visszaverődő fény a vízirovarok ingerküszöbe alá esik, így nem jelent számukra veszélyt. A naperőművek egyre növekvő elterjedése akár evolúciós veszélyt is jelenthet az említett élőlényekre nézve. Maradandó természetkárosodást okozhat főleg a vízi élőhelyeken, ezért fontos minél előbb meghatározni, hogy a jelenség a vízirovarok mekkora hányadát érinti. (HORVÁTH G. – KRISKA GY. 2010) [7. melléklet]

2.2.2. Geotermikus energia

A geotermikus energia az egyik olyan energiaforrásunk, melynek nem a Nap a hajtóereje, hanem a Föld magjának hője, valamint a Föld kérgében feldúsuló hosszú felezési idejű radioaktív elemek bomlása. Előnye, hogy az időjárástól független, a többi megújuló energiaforrással ellentétben mindig rendelkezésünkre áll. Szigorúan véve sokan nem sorolják a megújuló energiaforrások közé, de a legtöbben ennél a fejezetnél tárgyalják. Ha egy adott területen geotermikus aktivitás észlelhető, akkor a területet geotermikus mezőnek nevezzük. Köztudott, hogy a Föld mélye felé haladva a

hőmérséklet fokozatosan növekszik. Mérőszámaként a geotermikus gradienst használjuk, melynek értéke 10-60 ºC/km között változik, átlagosan 25-30 ºC/km a területi adottságoknak megfelelően. (MÁDLNÉ 2006) Azokban az országokban, ahol a felszínt megközelíti, vagy eléri az asztenoszféra anyaga (a földköpeny kőzetegysége), magas geotermikus gradienst mérhetünk, ebből adódóan lehetőség van a geotermikus energia nagymértékű kiaknázására. Ilyen területeket főleg középóceáni hátságokon és szubdukciós zónákban találhatunk, de például a Kárpát-medence is igen kedvező adottságokkal rendelkezik. Hazánkban a litoszféra elvékonyodása miatt a geotermikus gradiens átlagosan 50 ºC/km, területének 70%-án 30 ºC-nál magasabb hőmérsékletű vizek feltárására van lehetőség. A földkéreg teljes hőenergia tartalmát $5{,}4 \cdot 10^{21}$ MJ-nak becsülik, a felszínen 15 ºC-os átlaghőmérséklettel számolva. (MÁDLNÉ 2006)

Az emberiség már a kezdetektől fogva hasznosítja a termálvizek hőjét (elsősorban balneológiai célokra), és körülbelül 100 éve megkezdődött az áramfejlesztési célú hasznosítás is. A geotermikus rendszerek hőforrásból, tározóból (rezervoárból) és szállító közegből (geotermikus fluidum) állnak. A rezervoár az a vízáteresztő kőzettérfogat, amelyből kivonható hőt a benne áramló fluidum fel tudja venni és a felszínre szállítani. A szállító közeg többnyire termálvíz, mely folyékony és gőz halmazállapotú lehet az uralkodó nyomástól és a hőmérséklettől függően. Termálvíznek, vagy hévíznek hazánkban azt a rétegvizet nevezzük, melynek hőmérséklete meghaladja a 30 ºC-ot. Megkülönböztetünk mesterségesen befolyásolt rendszereket, ahol a tározó és a szállító folyadék nem természetes módon, hanem emberi beavatkozással jön létre. A mesterséges visszatáplálással működő rendszerek a tározóból kinyert fluidumot az erőművek turbináinak meghajtása után visszasajtoló-kutak segítségével visszajuttatják a rezervoárba. Ezeket kétkutas rendszereknek nevezik, és több éve sikeresen alkalmazzák. [8. melléklet] A hidraulikus rétegrepesztés technológiáját azokban az esetekben alkalmazzák, amikor a mélyben található repedések túl szűkek a hőt szállító közeg feltöréséhez. Ebben az esetben vízbesajtolásra van szükség, ezáltal megnövekszik a hidraulikus nyomás és a repedések megnyílnak. Az így bejuttatott víz egyfajta hőcserélőként működik, tározónak tekintjük a továbbiakban. A folyamat után még egy fúrást létesítenek a területen, így hozzák a felszínre a felhevült vizet. Tehát a hidraulikus rétegrepesztést alkalmazó rendszerek elemei a hidegvíz besajtolókút, a mesterséges rezervoár és a termelőkút. Az ilyen rendszereknél legalább 50 MW hő és 5 MW villamos teljesítmény nyerése a cél

200 m^3/óra vízhozam útján. (MÁDLNÉ 2006) Az áramfejlesztés gőzturbinákkal vagy segédközeges eljárással történik. Legalább 150 ºC-os víz szükséges a turbinák meghajtásához, míg a segédközeges eljáráshoz alacsonyabb hőmérsékletű folyadék is elegendő. A turbinák meghajtását követően a gőz vagy a légkörbe távozik, vagy lecsapatják. Gondot jelent, ha a feltörő gőznek magas a gáz (főleg metán)- vagy sótartalma. Az előbbi korróziót, az utóbbi lerakódásokat okoz.

Földhőszivattyúk segítségével a környezetből (talajból, vízből, levegőből) elvont, ott nem hasznosított hőenergia magasabb hőmérsékletű hővé alakul. Legelterjedtebbek a talajalapú hőszivattyúk, melyek a hőenergiát közvetlenül a felszín alól nyerik. Ezek használatával csökkenthető a felszíni vizek hőszennyezése. 20-30 W/m^2 hőigényű létesítmények esetében alkalmazzák. (MÁDLNÉ 2006) A geotermikus energia felhasználása sokrétű, történhet geotermikus közműrendszer formájában, termálfürdők, kórházak, halgazdaságok ellátására, valamint ipari és mezőgazdasági célokra. A hőszivattyús hasznosítás többek között uszodák, raktárak, üvegházak fűtésére alkalmas.

Mint tudjuk, minden energia előállítása okoz valamilyen változást a környezetben. A geotermikus energia alkalmazása jóval kevésbé szennyezi a környezetet, mint a többi lehetséges energiaforrás, szén-dioxid kibocsátása nem túl magas, de természetesen ennek is vannak káros hatásai. A csővezetékek, hűtőtornyok kiépítése nagy területet igényel, a fúrások lebonyolításához alkalmazott gépezetek útját ki kell építeni, így az ott élő állat-és növényállomány jelentős veszélynek van kitéve. Helyigényük azonban még így is kisebb, mint a többi erőműé, az atomerőművekhez képest ötször kisebb területet foglalnak el. Működése zajhatással jár – főleg a fúrási fázis –, a gőzturbinák működése néhány 10 dB-lel nagyobb zajhatást okoz, mint a városok zaja, távolodva azonban a zajhatás mértéke 6 dB/km-rel csökken. (MÁDLNÉ 2006) [9. melléklet]

A geotermikus gőz szén-dioxidot, kénhidrogént, ammóniát, higanyt, bórt, metánt, esetleg radont is tartalmazhat, káros hatása azonban még így kisebb mértékű a többi erőforrásnál. A tározók fluidumának kémhatása széles skálán mozog, bennük kovasav, bór, lítium, arzén és higany is lehet. Kisebb földrengéseket idézhet elő a visszasajtolás, ezért a terület szeizmikus monitorozása elengedhetetlen. Centiméteres, ritkán méteres talajroskadás, felszínsüllyedés léphet fel, ha egy rezervoárból túl sok vizet vesznek ki. Megfelelő ütemű visszasajtolással a folyamatot hatásosan lehet kezelni. Váratlan gőzkitörések is jelentkezhetnek, az így kilépő nagy mennyiségű vízben található gázok a levegőt szennyezhetik, továbbá ha a víz felszíni vizekbe kerül hőszennyezést okozhat.

Az anyagkibocsátás mellett működtetése hulladékhő kibocsátásával jár. Az elhasznált víz természetes vizekbe történő elvezetése tiltott művelet, a tavak, folyók hőmérséklete akár 2-3 ºC-kal is megemelkedhet ezek hatására, így az ökoszisztéma károsodását eredményezheti. Az így elpusztuló halak a halászat jelentős visszaesését is eredményezhetik, melynek már társadalmi hatása is lehet. A hulladékhő hasznosítására azonban számtalan lehetőség adódik. Felhasználható például halastavak, állattartó telepek, medencék fűtésére. Legbiztonságosabbnak a földhőszivattyúkat ítélték, ezeknél a legminimálisabb a környezetterhelés. Nem szennyezik a felszín alatti vizeket, valamint emissziójuk is elhanyagolható mértékű, nem bocsátanak ki üvegházhatású gázokat. A kondenzációs erőművek esetén a keletkezett gőzt lecsapatják, majd a kihűlt vizet visszasajtolják, ekkor arzén-, kénhidrogén- és higany emisszió léphet fel. A geotermikus energiahasznosításkor a létesítés és az üzemeltetés során is keletkeznek hulladékok: furadék-, cement-, hulladékiszap-, szénhidrogén-maradványok, valamint toxikus anyagokkal (Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) szennyezett hulladékok. A geotermikus erőművek létesítése ezen felül a teljesítményhez képest lényegesen nagyobb befektetést igényel, mint bármely más energiaforrást alkalmazó létesítményé.

2.2.3. Szélenergia

A szélben rejlő energia a többi energiahordozóhoz hasonlóan a Naptól függ, hiszen a szél keletkezése a napsugárzás melegítő hatásának következménye. Energetikai célú hasznosítása az utóbbi időben vált elterjedtté, jelenleg még csupán néhány országban számottevő. Ez az energiaforrás is függ az időjárástól, amennyiben nem megfelelő a szél sebessége, akkor nem hajtja meg eléggé a lapátokat. A szélsebesség értéke, a szél gyakorisága változó, egyes területek kedvezőbb adottságokkal rendelkeznek, megbízhatóbb energiaellátást biztosítanak. A magasság növekedésével csökken a nyomás és nő a szélsebesség, értéke a tengerparti vidékeken a legkiemelkedőbb, így főleg az alacsonyan fekvő tengerparti szélerőmű-farmok létesítése várható a közeljövőben, hiszen amennyiben egy terület alkalmas a szélenergia kihasználására, akkor ott célszerű egyszerre több szélkereket is létesíteni.

A szélerőművek teljesítménye országonként eltérő, átlagosan pár száz MW. A szélerőművek építéséhez rozsdamentes acélt használnak, így a körülbelül 25 évre tervezett üzemidő alatt minimális karbantartást igényelnek. A szélturbinákat 3 darab széllapáttal építik, toronymagasságuk 30-124 méter körüli. (BÜKI G. 2004) Széllapátjai speciális műgyantából és üvegszálból állnak, külső borításként pedig védőréteget

alkalmaznak a napsugárzástól való védelem miatt. A szélkerekek 2-4 m/s szélsebességnél kezdenek el forogni, működésükhöz 12-16 m/s az ideális, és körülbelül 25 m/s-nál biztonsági okokból leállítják őket. (BÜKI G. 2004)

Megfelelő villamos generátort kapcsolnak hozzájuk, az inverterek (feszültség-átalakító berendezések) pedig a keletkezett áramot előbb egyenárammá, majd váltakozó árammá alakítják. Legnagyobb előnyűk más erőművekkel szemben, hogy nem bocsátanak ki semmilyen káros anyagot. A szélerőmű-farmok ugyan nagy helyet igényelnek, befolyásolják a helyi ökoszisztémát, azonban egyesek számára turisztikai látványosságként szolgálnak. Mechanikai és – a levegő sebességváltozása által keltett – aerodinamikai zajokat okoznak, emiatt üzemeltetésük jelentős zaj- és ingerhatással jár, ezért megfelelő távolságra építik őket a lakott területektől. 400 méteren túl átlagosan 40-50 dB-lel kisebb zajemisszió mérhető. (TÓTH P. – KACZ K. 2005)

Egyes kutatások szerint a szélkerekek veszélyt jelentenek a madárvilág számára, azonban a szélkerekek lassú fordulatszáma miatt korántsem veszélyeztetik őket jelentős mértékben. Továbbá egy idő után a madarak hozzá tudnak szokni a szélkerekek látványához, a lapátok mozgásához. Hogy elkerüljék például a polarotaktikus élőlényekre kifejtet káros hatást (mely élőlények a polarizációs fény visszaverődése által keresik a szabad vízfelületeket), a lapátok felső részén a legkisebb visszaverődést (reflexiót), csillogást okozó festékeket alkalmazzák.

A turbinák visszaverik az elektromágneses hullámokat, így interferenciát okozva olykor zavarhatják a televíziók és a mobiltelefonok működését. (TÓTH P. – KACZ K. 2005) Létrehozásukhoz számos engedély, nyilatkozat szükséges, hazánkban például a Katasztrófavédelmi Igazgatóságtól, a Légügyi Igazgatóságtól, valamint feltétele, hogy megfelelő villamos hálózattal rendelkezzen az adott terület, mely a nyert energia fogadására, szállítására képes. Emellett meg kell felelnie a környezeti hatásvizsgálatnak, valamint a megújuló energiákról szóló törvényi támogatás is szükséges.

Jelenleg Dániában és Németországban alkalmazzák legnagyobb számban a szélerőműveket, Németország 2030-ra, Belgium pedig mihamarabb el akarja érni, hogy csak megújuló energiaforrásból fedezze energiaszükségleteit, atomerőműveik minél gyorsabbi bezárására törekednek.

2.2.4. Biomassza energia

A biomassza főleg mezőgazdaságból és erdőgazdaságból származó növényi és állati eredetű anyag, biológiai, települési és ipari hulladékok, maradékanyagok, melléktermékek szerves, lebontható része. A Nap lehetővé teszi a fotoszintézist, és ezzel az élet jelenlétét a Földön, a fotoszintézisen keresztül hozzájárul a biotömeg előállításához is. Megújulónak tekinthető, hiszen a fotoszintézis folyamatosan zajló folyamat, a felhasznált energiatartalommal bíró tömegek állandóan újratermelődnek. Fenntarthatónak tekinthető abban az esetben, amennyiben az energiatermelés céljából alkalmazott területeken a begyűjtést követően új élet fejlődik. Legismertebb biomassza a fa, még napjainkban is alkalmazzák többek között fűtésre, a XX. századtól azonban a fosszilis energiahordozók megjelenésével alkalmazása visszaszorult. Energianövénynek számítanak például a lágyszárú gabonanövények (búza, árpa, zab, rozs), a cukorrépa, de egyes lóherefajták is. Fontos szempont a megfelelő fajok kiválasztása. Termésük, gumóik, száraik energiává alakíthatók. A hulladékok alkalmazása lehetővé teszi a termelési ciklusának végét elérő anyagok mennyiségének csökkentését, ezzel a környezet szennyezésének mérséklését, így csökkenthető a szeméttelepek növekedése.

Az energetikai célokra felhasználható növények, esetleg állati eredetű anyagok főleg a termőföldeken keletkeznek. A föld művelése, termesztésük, majd aratásuk után összegyűjtik őket, különböző technológiákkal másodlagos energiahordozókká alakítják, így az emberiség számára felhasználható energiaformát hoznak létre belőlük. Fontos megemlíteni, hogy a nyersanyagok nem származhatnak természetvédelmi területekről, védett vízi élőhelyekről, tőzeglápokból, nagy biodiverzitású területekről.

A biomassza átalakításával bioüzemanyag, biohő, biovillanyáram nyerhető. Energetikai célú felhasználásukkor különböző halmazállapotú anyagokat kapunk: bioetanolt és biodízelt, melyet hajtóanyagként alkalmaznak; biogázt, mely szintén lehet egyrészt hajtóanyag, másrészt hő termelésére és áram előállítására használható; valamint közvetlen eltüzeléssel a hőtermelés mellett elektromos áramot nyerhetünk.

A biomassza hasznosításának legismertebb módja az eltüzelés. Fűtőértékük 10-20 MJ/kg körüli. (BÜKI G. 2004) Együttes égetéskor a szén mellett a biomassza kiegészítő energiaforrásként van jelen.

A biobrikett előállítása során a biotüzelőanyagokat tömörítik, majd szárítják, ez a brikettálás folyamata, mely során préseléssel, azaz mechanikus nyomással eltávolítják a nedvességtartalmuk nagy részét. A biobrikett fűtőértéke 15-17 MJ/kg. (BÜKI G. 2004)

A feldolgozás másik módja az elgázosítás (pirolízis), ekkor magas hőmérsékleten, anaerob környezetben a biomasszát olyan éghető gázzá alakítják át, amely szén-monoxidot és hidrogént tartalmaz. Az így keletkező gáz generátort meghajtó gázturbinában elégetve villamos áramot termel, illetve belsőégésű motorban hajtóanyagként alkalmazható. [10. melléklet]

Biogázt kapunk szerves anyagok anaerob fermentációjával. Ekkor mikroorganizmusok a számukra szubsztrátként jelenlévő szénhidrátokat szén-dioxiddá, metánná és egyéb gázokká bontják. A biomassza feldolgozásakor erjesztéssel motorhajtóanyagokat is előállíthatunk, mint például metanolt, etanolt, biodízel, melyekhez évelő növények szükségesek (gabona, cukornád). A közlekedésben alkalmazott kőolaj árának emelkedése élénkíti a bioüzemanyagok iránti érdeklődést, hiszen kisebb környezeti hatásuk van, illetve nagyobb energiabiztonságot jelentenek.

Környezeti szempontokat figyelembe véve a biomassza CO_2-semlegesnek mondható, ugyanis a feldolgozásánál keletkező CO_2 mennyisége megegyezik az élőlény életciklusa alatt a légkörből fotoszintézissel kivont CO_2 értékével, így a CO_2-mérleg két oldala egyenlőnek tekinthető. A közvetlen égetéskor azonban CO_2 mellett füstgáz, nitrogén-oxidok, klórvegyületek, poliaromás-szénhidrogének (PAH) is távoznak a légkörbe. (VAJDA GY. 2001) A CO_2-semlegesség mellett a biotömegből történő energiatermelésnek még számos előnye van. Felhasználja a keletkező hulladékok egy részét, melyből hasznosítható energiát termel. Nincs lelőhelyhez kötve, szinte mindenütt előfordul, általa folyamatos energiatermelés biztosítható és csökkenthető a más országoktól függő energiaimport. Új lehetőséget rejt magában a tengerek algatermesztése, melyek szintén alkalmasak bioenergia termelésére.

Hátránya, hogy nagy területet igényel mind a termesztéshez, mind pedig a tároláshoz, ezáltal komoly beruházást jelent, mert például a nagy területről összegyűjtött biomassza elszállítása is költségekkel jár. Etikai problémát jelent a biotömeg energetikai célú termelése, az élelmiszerhiánnyal küzdő területek élelmiszerellátása helyett többek között bioüzemanyagként felhasznált gabona komoly ellentéteket eredményez. Ehhez képest az Európai Unió minden tagállamában energianövényeket termesztenek, Magyarországon is kiemelkedő a többi megújuló energiaforráshoz képest, hiszen ez az energiaforrás nagymértékben hozzájárulhat hazánk, és a világ energiaellátásához.

2.2.5. Vízenergia

A Nap biztosítja a víz körforgását, a folyók létrejöttét, így a vizekben rejlő energia áramfejlesztési célú felhasználását is. Az ókorban már vízikerekeket építettek, melyeket a vízeséseken lezúduló víz hajtott meg. Villamos áram előállítására a XIX. századtól alkalmazták, számos országban – például Svédországban, Brazíliában, Norvégiában – mára már ez az energiaforrás jelenti a legnagyobb energetikai lehetőségeket, akár 50-100%-ban is képes fedezni egy-egy ország energiaigényét. (OLÁH GY. et al. 2007) Magyarországon a domborzati sajátságok miatt az energiaellátás kis hányadát jelentik a vízerőművek, létesítésükre azonban még akadna lehetőség.

Megkülönböztetünk folyami és szivattyús erőműveket. A folyami vízerőműnek két típusa van: az átfolyós és a tározós rendszerű [11. melléklet]. Átfolyós vízerőmű esetén az érkező víz vízhozamától függően ingadozva ugyan, de folyamatosan felhasználásra kerül. A hulladékvédelem miatt mechanikai úton rácsokkal távolítják el a vizekben található hordalékokat, szemetet. A turbinákat a duzzasztásnál kialakuló vízszintkülönbségek között lezúduló víz hajtja meg. A vízenergia így forgási energiává alakul, majd a turbinákhoz kapcsolt generátorok állítják elő a szükséges elektromos áramot. A vízhozamtól és az esésmagasságtól függően különböző típusú turbinákat szerelnek az erőművekbe, például Pelton, Francis és Kaplan turbinákat. (KISS Á. – TASNÁDI P. 2012) Tározós rendszer esetében is duzzasztást alkalmaznak, ezáltal állandó értéken tudják tartani a vízesés teljesítményét. Az utóbbi technológia magas gátakat igényel, minél magasabbak a gátak, annál több villamos energia termelhető.

A szivattyús vízerőműnél tározónak minősülő tavak vizének leengedésével működtetik az erőművet [12. melléklet]. Két víztározót (egy felsőt és egy alsót) létesítenek, és a köztük kialakuló vízmozgással működtethető az elektromos hálózat. Az alsó víztározó lehet földalatti üreg is – ez az eset költségesebb –, a csővezetékeket alagutakba építik, de nem rontják a tájképet. A kedvező adottságú területeken nagy vízerőműveket létesítenek, azonban ha elegendő a helyi igények ellátása, akkor kis vízerőműveket alakítanak ki. Ezekhez nem szükséges a folyók felduzzasztása. Eltérő az általuk elérhető teljesítmény, mely a nagy vízerőmű esetében akár a 25 MW-ot is meghaladhatja, kis vízerőműveknél 100 kW-15 MW közötti lehet a teljesítmény értéke. (BÜKI G. 2004) Méretüktől függően eltérő környezeti kockázatot jelentenek: minél nagyobb az erőmű kapacitása (teljesítőképessége), annál nagyobb az általuk okozott természeti kár.

A nagy kapacitású erőművek építése igen költséges, rengeteg idő szükséges hozzá, továbbá elengedhetetlen a környező területek vízzel történő elárasztása, mely a lakosság tömeges kitelepítésével jár, így társadalmi és gazdasági feszültségekhez vezet. A jelenlegi legnagyobb méretű vízerőmű, a Kínában található Három-szurdok gát építésekor 1,2 millió embert telepítettek ki lakhelyéről, 1300 falut árasztottak el vízzel. (KISS Á. – TASNÁDI P. 2012) Az elárasztott több ezer négyzetkilométernyi területeken megváltoznak az ökológiai viszonyok, csökken a biodiverzitás, hiszen az óriási gátak építése a vándorló halak és más élőlények pusztulását eredményezi. A gátak mögötti tárolókban összegyűlt víz szeizmikus mozgást okozhat, a gátak átszakadása pedig beláthatatlan katasztrófák színtere is lehet. A tárolók vízi-eredetű betegségek terjedését okozhatják, élőhelyet nyújthatnak olyan trópusi fajoknak, mint a mláriát terjesztő moszkító faj. A lerakódott iszap folyamatos kotrása, öblítése elengedhetetlen, hiányában eliszapolódás és kolmatáció lép fel, azaz csökken a talaj vízáteresztő képessége. (VAJDA GY. 2004) Mellesleg ez az iszap magas tápanyagtartalma miatt szárazföldeket tehet termékennyé.

A negatív hatásokat ellensúlyozzák az erőművek pozitív tulajdonságai. Fontos belátnunk, hogy évszázadok óta felhasználják a vizekben rejlő energiát, a nagy erőművek napjainkban is jelentős mennyiségben hozzájárulnak az energiaellátás biztosításához. Fűtőanyagot nem igényelnek, károsanyag-kibocsátásuk – a többi erőművel szemben – nincs, ezáltal csökkentik a légszennyező anyagok kibocsátását (főleg a CO_2, NO_x és SO_2 esetében). Hosszú távra tervezett (legalább 50 év) üzemeltetése csupán néhány főt igényel, a duzzasztott gátak fellendíthetik az adott terület turisztikai viszonyait. A folyógátak segítséget nyújtanak az árvízvédelemben, ivóvízellátásban, öntözésben, javítják a hajózási körülményeket. Összességében tehát elmondható, hogy a vízerőművek a jövőben is egyre nagyobb mértékben fedezhetik az emberiség energiaigényét.

2.2.6. Óceánok energiája

Földünk felszínének körülbelül 71%-át borítják óceánok, a napenergia közvetett alkalmazását eredményezik több-kevesebb sikerrel. Az óceánok energiáját kiaknázó erőműveknek három formája ismert: az apály-dagály jelenséget felhasználó erőművek, a hullámerőművek és a napsugárzás hőenergiájának kihasználására létesített erőművek.

Az árapály-erőmű a Nap és a Hold tömegvonzása által okozott jelenség, a két égitest közötti kölcsönhatás eredményeképpen fellépő apály-dagály energetikai

hasznosítását biztosítja. Dagálykor a vízszint megemelkedik, majd apálykor fokozatosan lecsökken, ezt a szintkülönbséget hasznosítják ezek az erőművek. A jelenség előre jelezhető, naponta két alkalommal (~12 óránként) fellépő periodicitást mutat. (OLÁH GY. et al. 2007) Zsilipekkel gyűjtik az öblökbe áramló vizet, amit turbinákon át apály idején visszaengedve villamos energia termelésére hasznosítanak. Nagyon kevés hely alkalmas árapály-erőmű létesítésére, mert a kialakuló szintkülönbségnek igen jelentősnek kell lennie.

A tengeri áramlatokat is apály-dagály jelenségek irányítják, koncentráltan partközeli részeken jelentősek. A tengeráramlatokból nyerhető energiához a szélkerekekhez hasonló hullámkerekeket építenek, azonban mivel a víz sűrűbb a levegőnél, teljesítménysűrűségük nagyobb, így elegendő kisebb méretű hullámkereket gyártani. Előnyük még továbbá, hogy a széllel ellentétben az áramlatok megjelenése előre jelezhető. Hullámokat kelt a víz felszínén fújó szél, így a hullámok energiája a szélsebességtől és a szél energiájától függ, azonban a mélytengeri, nagy amplitúdójú hullámok rendelkeznek a legnagyobb energiával. Parti, vagy part mentén kialakított rendszerekkel lehet energiájukat villamos energiává alakítani. A szárazföldi parti rendszerek karbantartása lényegesen könnyebb, azonban a vízi, part menti rendszerekben nagyobb energiatermelési lehetőségek rejlenek, bár még csak kutatási-fejlesztési fázisban vannak.

Az óceánok óriási kiterjedésük miatt a legnagyobb napkollektoroknak tekinthetők, képesek elnyelni a Nap energiájának jelentős hányadát hőenergia formájában, az így tárolt energiát használhatjuk fel villamos energia nyerésére. Kihasználhatjuk a tenger alsó, hideg rétege és a napsugárzás által felmelegített felső réteg közötti hőmérsékletkülönbséget energetikai hasznosításra, de legalább 20 ºC-os különbség szükséges a folyamathoz. (OLÁH GY. et al. 2007) Turbinát, generátort működtethetünk az elpárologtatott, vagy gőzzé alakított tengervízzel, ezáltal az energianyerés egy újabb módját érhetjük el.

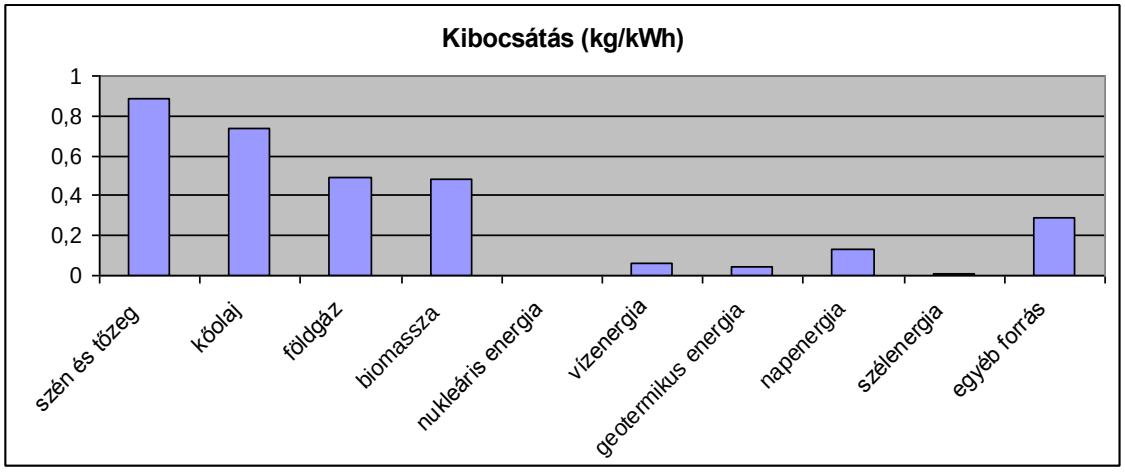
Az óceánok energiájának kiaknázása jelenleg még kutatások tárgyát képezi, néhány kísérleti erőmű már üzemel ugyan, de a magas beruházási költségek és az alkalmas területek alacsony száma miatt elterjedése korlátozott, és a jövőben sem lesz igazán számottevő forrás.

3. Az elektromos és a benzines autók CO_2-kibocsátása

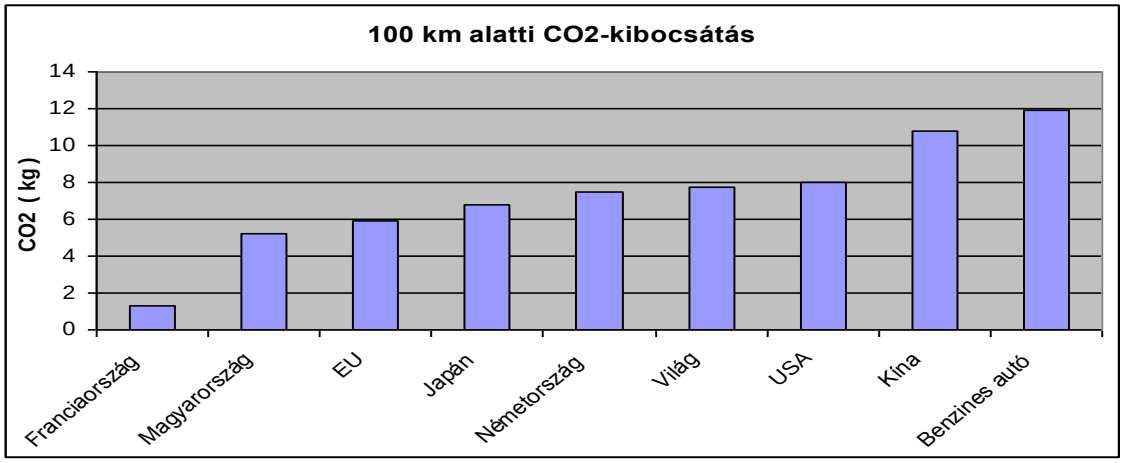
A köztudatban elterjedt, hogy az elektromos autók jóval kevesebb CO_2-ot bocsátanak ki, mint a benzinnel működő autók. A feltételezés részben igaz, azonban – mint ahogy azt látni fogjuk – nem minden esetben helytálló ez a kijelentés. Az elektromos autókban az elektromos energia akkumulátorokban tárolódik, a lemerült akkumulátorok újratöltése az elektromos hálózatra csatlakoztatva történik. Ez a típus valóban nem bocsát ki káros anyagokat, azonban az üzemanyagukként szolgáló elektromos áram előállítása során keletkező CO_2 mennyisége attól függ, hogy az adott országban milyen erőműveket alkalmaznak villamos energia termelésére. Néhány példával mutatnám be, hogy a 2009-es adatok alapján az egyes erőműtípusok alkalmazása mennyi CO_2 emisszióval jár. Vettem az energiaforrások százalékos arányát (http://iea.org/), az egyes források esetén keletkező CO_2 mennyiségét (www.seai.ie), és ebből kiszámoltam az elektromos autó CO_2-kibocsátását. A részletes adatok megtekinthetők a http://pubsaat.web.elte.hu/CO2-kibocsatas/ oldalon. Az elektromos Chevrolet Spark 20 kWh-s akkumulátorával teljes feltöltéssel 132 km-t képes megtenni, 100 km megtételére tehát 15 kWh energiára van szüksége. (www.autosforum.hu)

Kína esetében 3695928 GWh energia termelődik. A villamos energia 80%-a fosszilis erőművekből származik, mindössze 1,9%-ban nukleáris erőművekből. A fosszilis energia felhasználása jár a legmagasabb CO_2-kibocsátással, ezért ebben az esetben a 100 km alatt 10,81 kg CO_2 keletkezik, mely az összes általam vizsgált ország közül a legmagasabb értéket jelenti. Az atomerőművek és a megújuló energiaforrások magas részesedése miatt a 100 km alatt kibocsátott CO_2 mennyisége Franciaországban a legkevesebb, mindössze 1,34 kg. 542184 GWh villamos energia 75,6%-ban nukleáris erőművekből származik, a fosszilis erőművek részesedése csupán ~10%. Hazánkban a 100 km alatt emittált CO_2 mennyisége közepes értékű: 5,24 kg. A termelt 35908 GWh energia 43%-át a Paksi Atomerőmű szolgáltatja, közel 50% pedig fosszilis erőművekből származik. Magyarországnak kiváló geotermikus adottságai vannak, azonban geotermikus erőművel még nem rendelkezik az ország. (13. melléklet)

Összehasonlítva a benzines típusú Chevrolet Sparkkal, mely 100 km-en 11,9 kg CO_2-ot bocsát ki elmondható, hogy az elektromos autók sem mondhatók CO_2-semlegesnek, hiszen a működésükhöz szükséges villamos energia előállítása is jelentős CO_2-kibocsátással jár. Az *1. ábrán* az egyes energiaforrásokkal előállított 1 kWh elektromos energia melléktermékeként keletkező CO_2 mennyisége (kg) látható.



1. ábra. Az egyes energiaforrások által kibocsátott CO_2 mennyisége (kg/kWh)



2. ábra. 100 km alatt kibocsátott CO_2 mennyisége az egyes országok esetén

Láthattuk, hogy Kína esetében a fosszilis tüzelésű erőművek dominálnak, így ott a legmagasabb a CO_2 emisszió (*2. ábra*). Az atomerőművek és a magújuló energiák alkalmazása jár a legkevesebb CO_2-kibocsátással, így azokban az országokban (például Franciaország, Magyarország), ahol az atomerőművek döntő hányadát képezik az energiaellátásnak kevesebb CO_2 keletkezik, így ezeken a területeken az elektromos autók üzemeltetése és elterjedése valóban környezetkímélőbbnek ígérkezik.

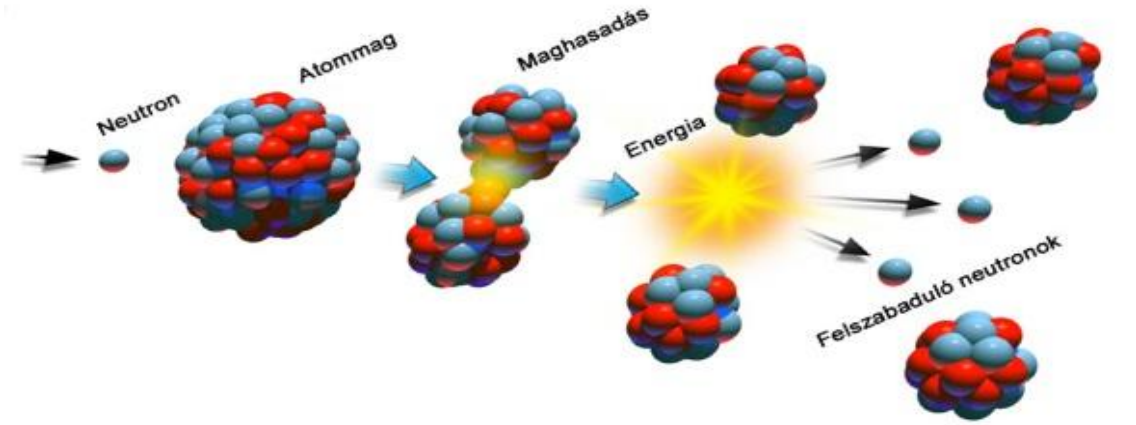
4. Az atomenergia

A fosszilis és a megújuló energiaforrások mellett energiát tudunk felszabadítani az atommagok átalakításával is. Az atomenergia alkalmazása a II. világháború alatt indult meg az atombomba kifejlesztésével, azóta az atomerőművek létesítése jelentősen hozzájárul a világ energiaellátásához. Az atomenergia használatát sokan ellenzik, hiszen szem előtt kell tartani az alkalmazásával járó számos veszélyes környezeti hatását is, az atomerőművek létesítésétől egészen a hulladékok elhelyezéséig, melyeket a későbbiekben tárgyalni fogunk.

4.1. A maghasadás és a magfúzió jelensége

Megkülönböztetünk könnyű és nehéz atommagokat, a könnyű atommagokból fúzióval, a nehezekből maghasadással nyerhetünk energiát. A folyamatot jól szemlélteti az egy nukleonra jutó kötési energia ábrázolása a tömegszám függvényében (14. melléklet): a kötési energia a könnyű atommagoktól indulva meredeken emelkedik az ^{56}Fe atomig, a legtöbb atommag esetében 7,5 – 8,5 MeV/nukleon között van, a nehezebb atommagok felé pedig folyamatosan csökken. Mindkét folyamatnál a felszabaduló energia körülbelül hat nagyságrenddel haladja meg a hasonló tömegű energiaforrások átalakításával kapott energiát. (KISS Á. – TASNÁDI P. 2012)

Maghasadásnak (fissziónak) nevezzük azt a jelenséget, amikor a nehéz atommagok kisebb tömegszámú atommagokra esnek szét. A nehéz urán atommagok 99,5%-ban két, egy ~140-es tömegszámú és egy ~90-es tömegszámú hasadványra esnek szét, 0,5%-ban emellett egy α-részecske is keletkezik. Az urán atommagok esetében körülbelül 200 MeV energiát lehet felszabadítani. (KISS Á. – TASNÁDI P. 2012) A hasadás kiváltása általában valamilyen részecskével (proton, neutron, γ-részecske, α-részecske) történik, mellyel a nehéz atommagot bombázzuk. Leggyakoribb a neutronnal indukált hasadás, ezt a cseppmodell segítségével szemléltethetjük (*3. ábra*). A neutron az atommagba ütközik, a mag instabillá válik, majd a hasadást követően energiát és további neutronokat bocsát ki. A keletkező hasadványok neutronfölösleggel rendelkeznek, ezért általában 2-4 neutron kibocsátásával csökkentik energiájukat. A neutronok körülbelül 0,65%-a néhány másodperccel a hasadás után jelenik meg, ezeket késő neutronoknak nevezzük (SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005) és fontos szerepük van az atomerőművekben végbemenő láncreakció önfenntartó folyamatának kialakításában.



3. ábra. Neutronnal kiváltott maghasadás
Forrás: www.index.hu

Láncreakciónak nevezzük azt a folyamatot, amikor a további hasadást kiváltó neutronok száma nagyobb egynél, a keletkező neutronokból átlagosan egy darab hasít. A természetben előforduló elemek közül csak az urán (^{235}U izotóp) képes a láncreakció fenntartására, ezért ez a hasadóanyag az atomerőművek nukleáris fűtőanyaga.

Azok az atomok, melyek a vasnál nehezebbek, maghasadásra képesek, a vasnál könnyebbek pedig egyesülni tudnak, azaz esetükben fúzióról beszélhetünk. A Napban végbemenő fúziós folyamat létrehozása során olyan mennyiségű energia felszabadítására lenne lehetőség, mely korlátlan mértékben fedezné az energiaellátást.

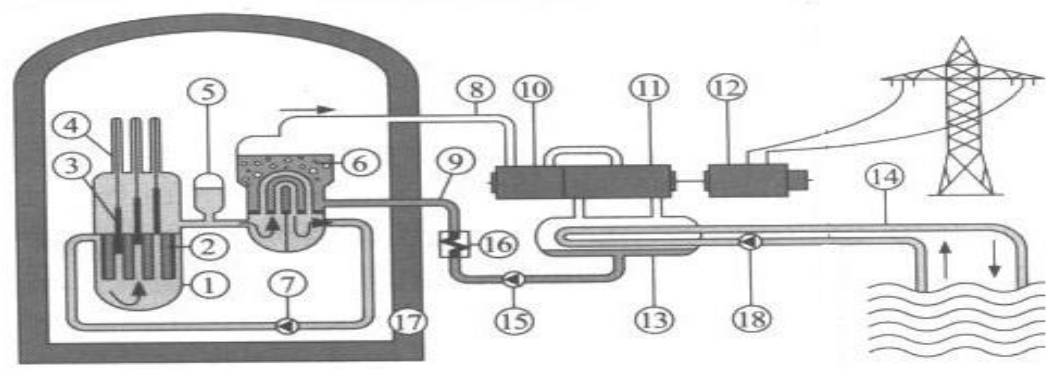
A figyelem középpontjában a tríciumot és a deutériumot (hidrogén izotópjai) egyesítő reakció áll, melyből hélium keletkezne. 1 kg He 620 TJ energia felszabadulását eredményezné. (VAJDA GY. 2004) A deutérium a tengerekben megtalálható, azonban a trícium csupán nyomokban fordul elő a természetben (felezési ideje 12 év, ennyi idő alatt csökken a radioaktív atommagok száma éppen a felére), de lítiumból előállítható. Egy másik lehetőség két deutérium egyesítése lenne. (JC MACKAY, D. 2011) A fúziós reaktorok napjainkban kutatások tárgyát képezik. Habár környezeti szempontból előnyösebbek lennének a maghasadáson alapuló reaktoroknál, kivitelezésük még számos korlátba ütközik.

4.2. Az atomreaktorok felépítése és működése

Az első atomerőművek létesítése az 1950-es évek második felére tehető. Gyors ütemű elterjedésük a ’90-es évektől mérséklődött, mely az 1986-os csernobili balesetnek köszönhető. (LÁNG I. 2003) Kezdetben a fosszilis energiahordozók kiváltását tervezték az atomerőművek által előállított energiával, azonban hamarosan rá kellett ébredni, hogy az atomerőművek fűtőelemeként szolgáló urán sem megújuló energiaforrás. A reaktorok fűtőanyagaként alkalmazott urán izotópjai közül csak a ^{235}U képes maghasadásra, a természetes uránércben lévő uránnak 0,7%-át teszi ki, a maradék a ^{238}U izotóp erre a célra nem alkalmas. (JC MACKAY, D. 2011) Korábban hasonló arányban voltak jelen, azonban a ^{235}U felezési ideje ($7{,}13 \cdot 10^8$ év) rövidebb, mint a ^{238}U felezési ideje ($4{,}57 \cdot 10^9$ év), így hamarabb lebomlik. (VAJDA GY. 2004) A ^{235}U koncentrációjának növelése miatt a fűtőelemekben először kismértékű dúsításra van szükség, ez biztosítja az ütközések bekövetkezésének valószínűségét. Az urán maghasadása során keletkező két hasadvány a kripton és a bárium, az atomreaktorok az ekkor felszabaduló energiát alkalmazzák áramfejlesztési célokra. A ^{235}U esetében a lassú neutronok nagyobb valószínűséggel váltják ki a bomlást, mint a gyors neutronok.

A neutronok lassításához az erőművekben alkalmazott moderátor anyagot alkalmazzák. A ^{238}U viszont lassú és gyors neutronokkal is csak elhanyagolható mértékben képes maghasadásra. A neutronok láncreakció beindítására képesek, fenntartják az egymás utáni hasadások sorozatát. A keletkező neutronok közül azonban nem az összes képes maghasadást kiváltani. Az atommag képes befogni a semleges neutronokat, valamint az urántömb felületéről is kiszökhetnek neutronok. Az atommagba ütköző neutronok a hasadványok mellett újabb neutronokat, hőenergiát és γ-sugárzást bocsátanak ki. Fontos, hogy minden generációban csupán egy további hasadás jöjjön létre, különben az exponenciálisan növekvő folyamat a reaktor megszaladásához vezethet.

A nyomottvizes reaktor felépítése látható az ábrán (*4. ábra*). A ^{235}U fűtőelemek (a 4. ábra jelölésében: 2-es szám) az üzemanyagtartályban helyezkednek el (4. ábra/1).



4. ábra. A nyomottvizes atomreaktor felépítése
Forrás: SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005: Csernobil, tények, okok, hiedelmek

Különböző moderátorokat (grafit, víz) alkalmaznak neutronok lelassítására. Mivel a ^{235}U lassú neutronokkal hasad, növelve a hasadás valószínűségét, a moderátorok lelassítják a keletkező neutronokat, csökkentik az effektív neutronsokszorosítási tényezőt: $k_{eff} = \frac{N_{i+1}}{N_i}$, ahol N_{i+1} és N_i két egymást követő ciklusban a reaktorban lévő neutronok számát jelenti. A neutronsokszorosítási tényező egy maghasadástól a következő hasadásig tartó ciklusra vonatkoztatva megadja a neutronok számának relatív változását. A felszabaduló energia elszállítását a hűtőközeg (14) végzi, mely a nyomottvizes reaktorok esetében víz. A víz egyben a moderátora is az ilyen típusú reaktoroknak, ez egyfajta beépített biztonság is, hiszen ha a hűtővíz elforrna, nem lenne moderátor anyag, mely a neutronokat kellő mértékben lelassítja, így a láncreakció megszakadna. Ezért ez a reaktortípus az egyik legbiztonságosabb.

A fölösleges neutronok befogására szabályozó- (3) és biztonságvédelmi rudakat alkalmaznak, melyek a reaktor aktív zónájában, az üzemanyag mellett vannak elhelyezve. A szabályozórudak – melyek kadmiumból vagy bórból készülnek, és a szabályozórúd-hajtás (4) által indulnak el – biztosítják az egyenletes neutronfluxust –, a biztonsági rudak pedig vészleállás esetén leeresztve rohamosan csökkentik a neutronok áramát. 300 ºC-os és 12-15 MPa nyomású hűtővizet a fő keringető szivattyú (7) áramoltatja a reaktor primer körében. (SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005) A térfogat-kompenzátor (5) biztosítja a magas nyomást, ezáltal a magas hőmérsékletű víz nem gőzölög el. Egy reaktorba általában 4-6 primer hűtőkört építenek be. Az keletkezett hő által gőzt állítanak elő a gőzfejlesztőben (6), ez a reaktor szekunder köre. A hőtermelés a rektor esetleges leállítása után is folytatódik, mert a keletkező radioaktív hasadási termékek további bomlása továbbra is hőt termel. A turbinát (10-11) a keletkezett frissgőz (8) hajtja meg, majd a generátor (12) villamos energiát állít elő. A hűtővízszivattyú (18) áramoltatja a hűtővizet (14), melynek segítségével a turbinából visszamaradó gőzt a kondenzátorban (13) lecsapatják, majd a visszanyert folyékony vizet tápvízszivattyú (15) segítségével a tápvíz-előmelegítőn (16) át tápvízként (9) a gőzfejlesztőbe áramoltatják vissza. A berendezés köré, megakadályozva a radioaktivitás kijutását, beton védőburkolatot (17) építenek. A napjainkban tervezett atomerőműveket 40-60 éves élettartamra tervezik, a már meglévő 25-30 évre tervezett reaktorok élettartamát pedig, amennyiben lehetséges, igyekeznek megnövelni. (BÜKI G. 2004)

Az összes uránt felhasználó tenyésztőreaktorokban a ^{238}U-t plutóniummá (^{239}Pu) alakítják, mely már képes maghasadásra. Ezzel az eljárással a nyomottvizes reaktorokkal szemben kb. hatvanszor több energia állítható elő az uránból, létesítésük azonban költségesebb, jelenleg kísérleti fázisban vannak. (JC MACKAY, D. 2011)

4.3. Az atomerőművek és az atombombák által okozott környezeti problémák

4.3.1. Atomerőművek és a környezet

Egy lokális hatókörű létesítményben bekövetkező balesettel szemben a nukleáris balesetek minőségileg eltérő kockázattal járnak, több országra kiterjedő katasztrófát eredményezhetnek. A társadalom abban az esetben egyezik bele új reaktor építésébe, amennyiben a szakértők veszélytelenségüket, biztonságukat megfelelően igazolni tudják. Ha az erőmű megfelelő biztonsági rendszerrel működik, akkor már kicsi a valószínűség a súlyos balesetek bekövetkezésére – főleg a nyomottvizes reaktorok esetében –, közel sem kerülnek a légkörbe olyan mennyiségben NO_x, SO_x vegyületek,

CO_2, por, korom szennyező anyagok, mint a fosszilis energiaforrásokkal működő erőműveknél. A légköri emisszió legnagyobb mennyiségben nemesgázokból áll: ^{85}Kr, ^{133}Xe, ^{129}I, ^{131}I, ^{3}H, ^{14}C, nyomottvizes reaktorok esetében ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{88}Rb, ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{60}Co izotópok, melyek közül a trícium (^{3}H) rendelkezik a legnagyobb aktivitással. (VAJDA GY. 2001) A reaktorokból a természetbe vezetett víz nem tartalmaz radioaktív izotópokat, azonban jelentős hőszennyezést okoz. Az élőlények életfunkciói megfelelő hőmérsékleti tartományban működnek optimálisan, a magas hőmérséklet hatására túlmelegedés lép fel, oxigénhiányos (anaerob) viszonyok jelentkeznek, azaz csökken a vizekben oldott oxigén mennyisége. Ez az élőlények pusztulását vonja maga után, ezért határértékekkel szabják meg a kibocsátott víz hőmérsékletét.

A nem stabil atommagok bomlásának folyamatát radioaktivitásnak nevezzük, mely ionizáló sugárzással jár. Az ionizáló sugárzások különböző anyagokon áthaladva semleges atomokból ionokat hoznak létre. Ide tartozik az α-sugárzás, a β-sugárzás, a γ-sugárzás, a neutron- és a röntgensugárzás. [15. melléklet] A sugárzásokat érzékszerveinkkel nem érzékeljük. Természetes háttérsugárzásban élünk, mely egyrészt a földkéregben található sugárzó anyagokból (például urán, tórium), másrészt a kozmikus eredetű sugárzásból származik, melyek a szervezetünkben is megtalálhatók, így mi magunk is sugárzunk. A ^{238}U bomlási sorában keletkező ^{222}Rn nemesgáz (felezési idő 3,82 perc) (KISS Á. – TASNÁDI P. 2012), belélegezve bomlásnak indul, leányelemei porszemcsékre rakódva kiülepedhetnek a tüdő falára, ahol α-bomlás következtében daganatképződést is okozhatnak. A következmények súlyossága a kapott sugárdózistól függ. Ha nagy dózisban kapunk radioaktív sugárzást, rendellenes életjelenségek lépnek fel, mutációhoz, szaporodási nehézségekhez, halálhoz vezethet, mely nagymértékben hozzájárul az atomenergiával szembeni tiltakozásokhoz.

A nukleáris erőművek esetében nem az általuk kibocsátott szennyező anyagok jelentik a legnagyobb problémát, hanem a kiégett fűtőelemek biztonságos elhelyezése. A fűtőelemek radioaktív hulladékok, sugárzó anyagok, melyek funkciójuk betöltése után még legalább 100 ezer évig sugároznak. (RAKONCZAI J. 2003) Egy reaktorból évente körülbelül 30 tonna kiégett fűtőelemet kell elhelyezni, tonnánként 180 millió Ci, azaz $\sim 6 \cdot 10^{18}$ Bq ($1Ci = 3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq) aktivitással, tehát $\sim 6 \cdot 10^{18}$ bomlás történik másodpercenként. (RAKONCZAI J. 2003) A radioaktív hulladékok átmeneti elhelyezése történhet tárolókban, ebben az esetben lehetőség van a folyamatos monitorozásra, az esetleges szivárgások megállítására. Másik megoldás az

újrahasznosítás (reprocesszálás), ekkor a fűtőelemben maradt ^{235}U, és a képződött ^{239}Pu, ^{241}Pu hasadóanyagokat vonják ki salétromsav és tributil-foszfát segítségével. A tributil-foszfát megköti az urán-és plutónium atomokat, mivel sűrűsége kisebb a salétromsav sűrűségénél, a két fázis szétválaszthatóvá válik. Következő lépésben urán-oxidot és plutónium-oxidot állítanak elő belőlük, melyekből új fűtőanyag gyártható. A művelet nem kockázatmentes, további radioaktív izotópok keletkeznek a folyamat során, így ezt a technológiát kevés helyen alkalmazzák.

Legjobb megoldás a hulladékok geológiai szerkezetekben való elhelyezése volna. Erre olyan tömör, szivárgástól, tektonikai mozgásoktól, földrengéstől mentes kőzetek lennének alkalmasak, melyekben hosszú időn keresztül nyugodt körülmények között tudnánk tárolni az elhasznált fűtőelemeket. Lényeges, hogy a radioaktív anyag vízzel nem érintkezhet, különben bekerülve a talajvízbe, elpárologva a légkörbe a víz körforgásával távoli területekre is eljuthatna. Napjainkban föld alá temetett betonkoporsókba helyezik a kiégett fűtőelemeket. Elvetett ötletek a Föld mélyére való juttatás, az Antarktisz jegében történő elhelyezés és a világűrbe űrszemétként való kilövés. A társadalom tiltakozik a lakhelyükhöz közeli lerakók létesítése ellen, melyek terrortámadások célpontjaivá válhatnak, hiszen a plutónium felhasználható az atombombák készítéséhez. Fontos látnunk, hogy veszélytelen megoldás nem létezik.

Legsúlyosabb következménye az atomerőmű baleseteknek lehet, azonban katasztrófák ritkán következnek be. Sugárbalesetnek minősül az olyan váratlan, nem szándékos esemény, mely jelentős sugárterheléssel, illetve anyagi kárral jár, nyilvántartásba 250 mSv (sievert) sugárterhelés felett kerül. (EMBER I. 2006) Akkor biztonságos egy reaktor, ha belőle semmilyen sugárzás vagy sugárzó anyag nem kerül ki, amely veszélyeztetné az alkalmazottak és a lakosság egészségét.

Reaktorbaleset akkor következik be, amikor a reaktor megszalad, azaz a láncreakció kontrollálhatatlanná válik. A teljesítmény ekkor rohamosan emelkedni kezd, ellenőrizhetetlenné válik a hasadási folyamat. Másik lehetséges probléma a hűtőközeg elvesztése. A fűtőelemek folyamatos hűtést igényelnek, ha a hűtőközeg elforr, a keletkezett hőt nem vezeti el, mely a reaktor károsodásához, helytelen működéshez, végül gőzrobbanáshoz vezethet. A fűtőelemek leállás után is hűtést igényelnek, mert a további bomlások hőkibocsátása az üzemanyag megolvadását eredményezheti.

4.3.2. Kísérleti atombomba robbantások (KAR) környezeti hatásai

A kísérleti atombomba robbantások 4 típusát különítjük el: légköri KAR a felszíntől körülbelül 200 m magasságban, földalatti KAR, magas légköri KAR („kozmikus tesztek”) körülbelül 400 km magasan, tengerszint alatti KAR ~600 m mélységben. A kísérletek zömét az északi féltekén végezték, fertőzöttsége így magasabb a délinél. Az első robbantásra 1945. július 16-án került sor az Amerikai Egyesült Államok által (Trinity bomba), innentől tekintjük az atomkorszak kezdetét. Ezután háborús robbantások történtek: augusztus 6. Hirosima, augusztus 9. Nagasaki. 1945-1980 között 423 légköri robbantás volt, ezek 79%-áért az USA és a volt Szovjetúnió a felelős. Összesen több mint 2000 robbantás történt, mely a környezetre és az egészségére is veszélyt jelentett. A légköri robbantások teljes energiája 545,5 Mt volt, mely ~36000 hirosimai atombomba energiájának felel meg. Az atomfegyverek terjesztését és használatát az 1968-ban megfogalmazott Atomsorompó Egyezmény tiltotta meg, melyet Nagy-Britannia, USA, Kína, Franciaország és a volt Szovjetúnió írt alá, 1970-ig pedig összesen 187 ország. (MUZSNAY CS. 2011) [16. melléklet]

Korábban úgy vélték, hogy a robbantások nem gyakorolnak hatást a légköri áramlatokra és a klímára, napjainkban azonban eltérő vélemények adódnak. A felmérések szerint 1905 és 1945 között a légkör átlaghőmérséklete 10 évenként körülbelül 0,15 ºC-kal emelkedett, azonban 1945 és 1980 között nem várt lehűlést tapasztaltak. Ez részben a széntüzelésből származó szulfát aeroszolok hűtő hatására vezethető vissza, de bebizonyosodott, hogy a KAR-ra is visszavezethető. A robbantások által a légkör magasabb rétegeibe radioaktív anyagok és bomlástermékeik (például ^{131}I, ^{137}Cs, ^{3}H, ^{90}Sr) kerültek, szétterülve visszaverték a rájuk érkező napsugárzást, ezáltal a hőmérséklet csökkenését eredményezték (nukleáris tél). A robbantások befejezésével a hőmérséklet fokozatosan emelkedni kezdett. A csapadékkal kimosódó radioaktív izotópok a táplálékláncba kerülve egészségügyi következményekkel is jártak.

4.4. Atomerőmű baleset: Csernobil

A csernobili atomerőmű 1986. április 26-án éjjel 1 óra 23 perckor bekövetkező felrobbanása nagymértékben hozzájárult az atomenergiával szembeni elutasító nézethez. Azonban tudnunk kell, hogy Csernobilban RBKM (nagy teljesítményű, csatorna típusú) atomreaktor üzemelt, mely felépítésében különbözik a már megismert nyomottvizes reaktoroktól. Itt üzemanyagkötegekben helyezkednek el az urán fűtőelemek (3322 köteg, 190 tonna), melyekben hűtővíz áramlik. A víz nyomása 70 bar, mely

kisebb a nyomottvizes reaktorok nyomásánál (SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005), ezáltal a hűtőközeg könnyebben forr fel, majd gőzként kerül a reaktor felső részébe. A csepleválasztó gőzdob különíti el a gőz-víz keveréket, melyből a víz a hűtőcsövekbe kerül vissza, míg a gőz turbinát hajt meg. A víz tehát mindössze egyetlen körben kering, míg a nyomottvizes reaktor esetében a primer és a szekunder kör biztosítja, hogy a hűtőközeg (víz) ne juthasson el a turbinára. Az RBKM-típusú reaktorokban a hűtővíz mellett grafit moderátort (1700 tonna) alkalmaznak a neutronok lelassítására, melyet sugárvédelmi okokból acélköpeny vesz körül. (SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005) A grafit moderátor több neutront képes hasznosítani, így több – az atomfegyverekben felhasználható – plutóniumot termel. A moderátor tehát nem egyenlő a hőszállító közeggel, nem úgy, mint a nyomottvizes reaktorok esetében (víz), így többek között ez lehetett a baleset egyik oka. Tervezésekor nem vették figyelembe a mélységi védelem elvét, mely biztosítja, hogy a megfelelő tervezés, üzemeltetés és monitorozás által ne következhessen be baleset. Továbbá a volatil (illékony) radioaktív anyagok kijutását megakadályozó mérnöki gátakat sem építették meg. [17. melléklet] Méretét tekintve 791 m^3 területet foglal el, míg a nyomottvizes reaktor csupán 75 m^3-es. (SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005) A legalább 200 szabályozórúd együttes műszaki kezelése, mozgatása nehézkes. A reaktor köré nem terveztek konténmentet, mely a radioaktív anyagok környezetbe kerülését meggátolhatta volna. Az RBKM reaktorban található grafit, víz, és a hűtőcsöveket alkotó cirkónium együttes jelenléte intenzív égésre képes, mely a baleset során be is következett. Továbbá kikapcsolható a teljes irányítórendszer, így a biztonsági lépések kiiktathatók.

A baleset bekövetkezését konstrukciós, vezetési-irányítási és társadalmi okok eredményezték. Egy kísérletet terveztek végrehajtani, azonban a biztonsági okokat figyelmen kívül hagyó felépítés, a téves vezérlés, és a hozzá nem értő személyzet hibájából adódó katasztrófa a reaktor 4. blokkjának felrobbanásához vezetett, veszélybe sodorva ezzel az emberiséget. Ma legszennyezettebb a reaktor környéke, 30 km-es körzetét szigorúan elzárt területté nyilvánították, az ellenőrzött teljes terület 4300 km^2, melyet még több száz évig monitorozni kell, mert a radioaktív ^{241}Pu, ^{241}Am, ^{137}Cs izotópok hosszú felezési idejük miatt még mindig sugároznak (SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005). A kikerülő radioaktív anyagok a szél segítségével távoli területekre is eljutottak, bejutva az élőlényekbe, táplálékunkban is akkumulálódott. A baleset rengeteg életet, és mutációs betegségekkel küszködő áldozatot követelt.

4.5. A Paksi Atomerőmű

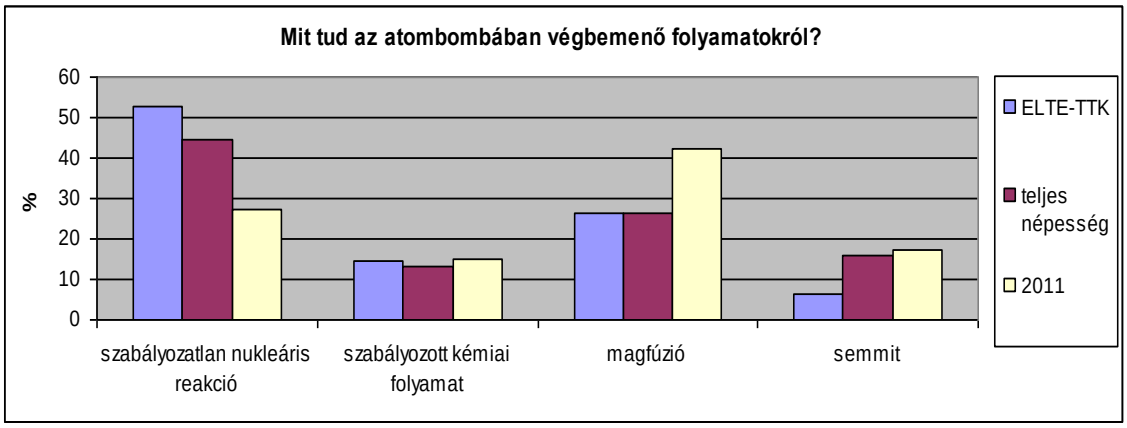
A Paksi Atomerőmű 1976 óta járul hozzá Magyarország energiaellátásához, 38-45%-ban fedezi hazánk villamos energia igényeit. (KOVÁCS A. – LUNG A. 2004) Az erőmű 5 km-re található Paks városától. Felépítését tekintve a nyomottvizes reaktorok (PWR) közé sorolható, 4 darab VVER-440/213 típusú reaktorból áll. A kódban szereplő 440-es szám arra utal, hogy korábban egy-egy blokk teljesítménye 440 MW volt (KOVÁCS A. – LUNG A. 2004), azonban a fejlesztéseknek köszönhetően mára már 500 MW-ra nőtt a teljesítmény, így összesen ~2000 MW-ra becsülhető az erőmű összes teljesítménye. Üzemanyagként urán-oxidot használnak (312 üzemanyagkazetta), melyet 7,6 mm-es pasztillákba préselnek. Egy kazetta 3 évig működik, azonban a reaktor élettartamának meghosszabbítása miatt negyedéves kazettákat is felhasználnak, mert ezekből kisebb energiájú neutronsugárzás éri a tartályt. A reaktortartály élettartama jelentősen csökken a neutronsugárzások miatt, ridegedés lép fel, azaz anyagszerkezeti változások jelentkeznek, rongálódik az acélból készült tartály. 37 db bóracélból készült kazettát alkalmaznak a láncreakció szabályozásához, működés közben 30 ezekből kihúzott állapotban, az aktív zóna fölött található. A keletkezett hőt 6 hűtőkör szállítja el, a VVER típusnál is nagy nyomással biztosítják, hogy a hűtővíz ne forrjon el. Üzemzavar esetén 12-13 másodperc alatt leállítják a láncreakciót, kiegészítő hűtőrendszerről gondoskodnak, a hermetikus tér és a lokalizációs rendszer egyenértékű a reaktorok köré épített konténmenttel. 3 dízelgenerátor biztosítja áramszünet esetén az energiaellátást.

A 2011-es környezetvédelmi jelentés adatai alapján 829 kis és közepes aktivitású szilárd hulladékkal teli hordó keletkezett, melyet részben az 1997-ben Bátaapátiban létrehozott Nemzeti Radioaktív Hulladéktárolóban helyeztek el. Ebben az évben összesen 322,709 tonna veszélyes hulladék keletkezett az erőműben. Hűtő-és technológiai vízként 2,892 milliárd m^3 vizet használtak fel 2011-ben. A Dunába engedett hűtővíz az ökológiai egyensúlyt hőszennyezéssel veszélyezteti. Márciusban és áprilisban a fukusimai atomerőmű balesetéből származó ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs izotópokat mutatták ki a mintavevő állomások, melyek a Paksi Atomerőmű 30 km-es körzetében helyezkednek el. Az Üzemi Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer ellenőrzi, hogy a reaktor a megengedettnél nagyobb mértékben nem szennyezi a környezetet.

5. Az atomenergia megítélése

Hazánk energiaellátása nagymértékben függ a Paksi Atomerőmű által termelt energiától, bár a nukleáris erőműről alkotott vélemények megoszlanak a lakosság között. Készítettem egy kérdőívet, melyben a magyar népesség és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán tanuló hallgatók tudását, tájékozottságát, mértem fel az atomenergiával kapcsolatban. Korábbi publikációkkal hasonlítottam össze az eredményeket, ezek kifejtése következik a továbbiakban.

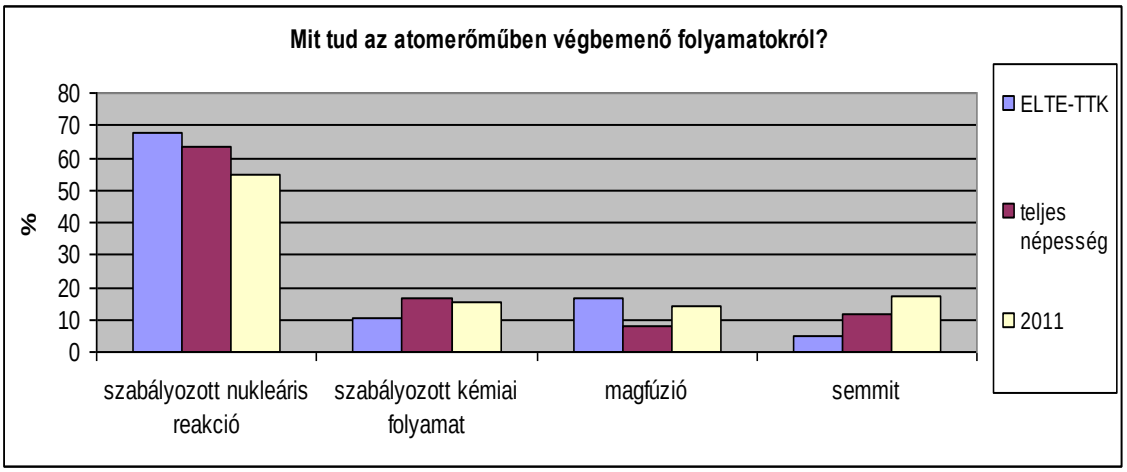
A kérdőív 18 kérdésből állt, ebből 2 demográfiai és 16 atomenergiával kapcsolatos kérdés volt. A kérdések egy része Radnóti Katalin által 1987-ben, 1993-ban és 2007-ben publikált kérdőívhez, és 2011-ben Horváth András által végzett kutatáshoz hasonlóan azonos módon lettek feltéve, így a kapott eredmények összevethetők a korábbi adatokkal. Összesen 400 fő adott választ a kérdéseimre, közülük 200 fő az ELTE-TTK hallgatója. 2 kérdés esetében több válaszlehetőség megjelölésére is volt lehetőség. Százalékosan összesítettem az adott válaszokat, majd a legfrissebb publikációk adatait és a kapott eredményeimet felhasználva diagramokon külön-külön és összesítve is ábrázoltam a magyar nép és az ELTE-TTK hallgatóinak válaszait. Szakdolgozatomban nincs lehetőség az összes kérdés kiértékelésére, azonban a teljes kérdőív megtekinthető a következő oldalon: http://pubsaat.web.elte.hu/Felmeres%20(kerdoiv)/



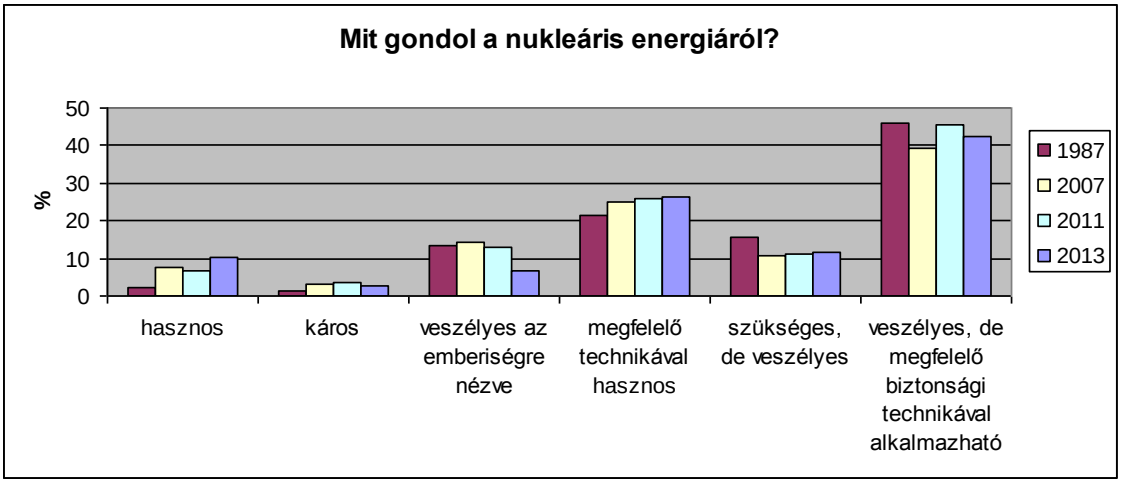
5. ábra

Az *5. és a 6. ábrán* látható két kérdés az emberek tudását mérte fel az atombombában és az atomerőműben bekövetkező folyamatokról. Látható, hogy a TTK-s hallgatók közül 6,5%, a magyar nép közül 16%, illetve a 2011-ben megkérdezettek közül 17,2% nem rendelkezik semmilyen ismerettel a témáról. 2011-ben 27,37% adott helyes választ a kérdésre, a 2013-ban megkérdezettek közül viszont

összesen 48,5% tudta, hogy az atombombában szabályozatlan nukleáris reakció megy végbe, szignifikáns eltérést láthatunk (nagyobb, mint a hibahatár: 50% = 100 fő, $\sqrt{100}$ =10, tehát ~5 %-nak felel meg). Sokan tévesen a magfúziót jelölték be. Az atomreaktorok esetében az emberek 55%-a – tehát több mint a fele – adott helyes választ 2011-ben, 65,75% pedig 2013-ban.



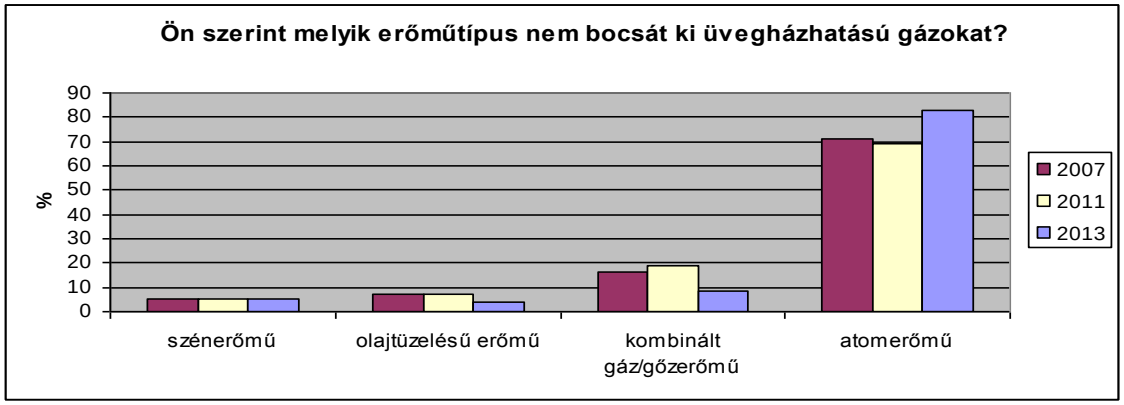
6. ábra



7. ábra

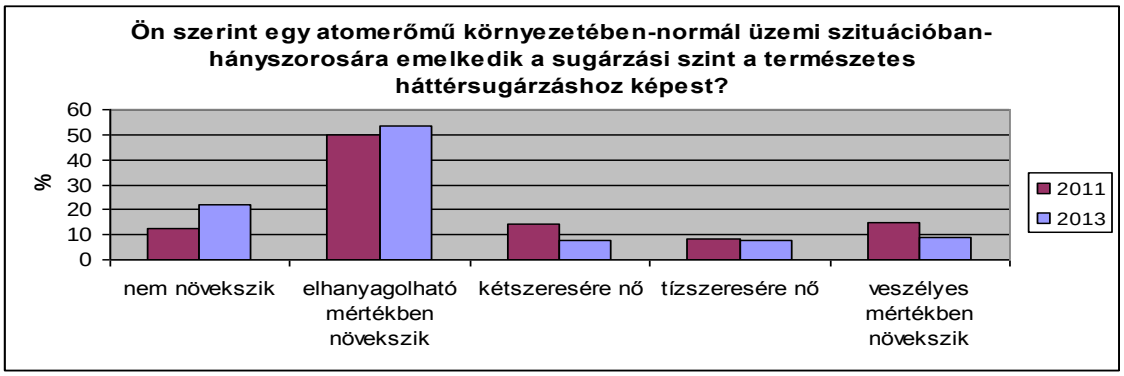
A *7. ábrán* 4 év adatait láthatjuk. Összegezve elmondható, hogy az emberek ugyan veszélyesnek ítélik meg az atomenergia használatát, azonban belátják, hogy a jövő energiaigények kielégítéséhez szükség van az alkalmazására. Még az 1986-os csernobili baleset után 1 évvel is úgy vélték, hogy megfelelő biztonsági technikával lehetséges a reaktorok működtetése. 25 év alatt nem változott jelentősen a vélemény, a legtöbben összességében hasznosnak ítélik meg az atomenergia alkalmazását.

A környezetre gyakorolt hatásokkal kapcsolatos kérdések következnek:



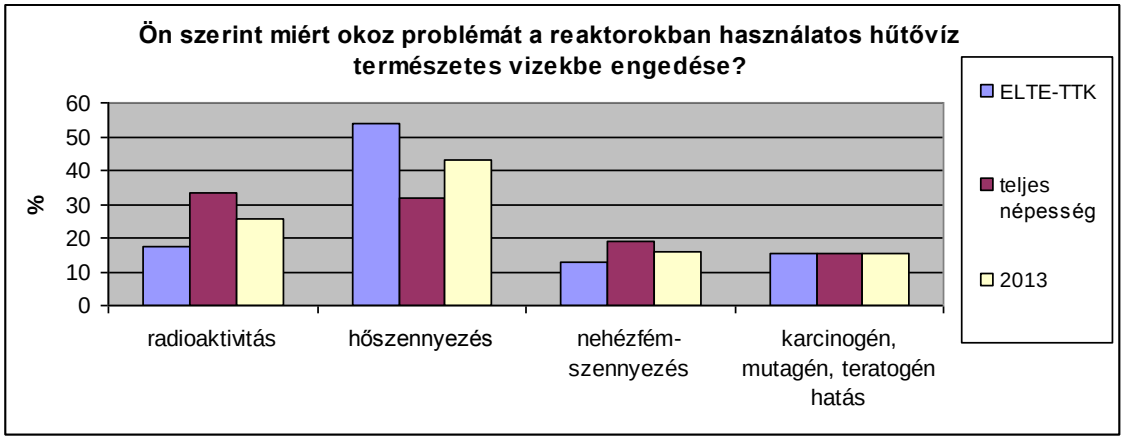
8. ábra

Az emberiség egy része elutasító az atomenergiával kapcsolatban, azonban a *8. ábrán* 3 év adataiból látható, hogy ennek ellenére a korábbi években és napjainkban is az emberek tisztában vannak vele, hogy az atomreaktorok által kibocsátott szennyező anyagok mennyisége jóval alacsonyabb más energiahordozókat alkalmazó erőművek (főleg a fosszilis tüzelésűek) által légkörbe juttatott anyagok mennyiségénél. 2013-ban 82,5% adott helyes választ a kérdésre, szignifikáns eltérés látható a TTK-s hallgatók esetében. A Föld hőmérsékletének emelkedése, az üvegházhatás, ezáltal a CO_2-kibocsátás lényeges szempont a különböző erőművek létesítésekor, így az atomerőművek további alkalmazására előre láthatólag továbbra is lesz igény.



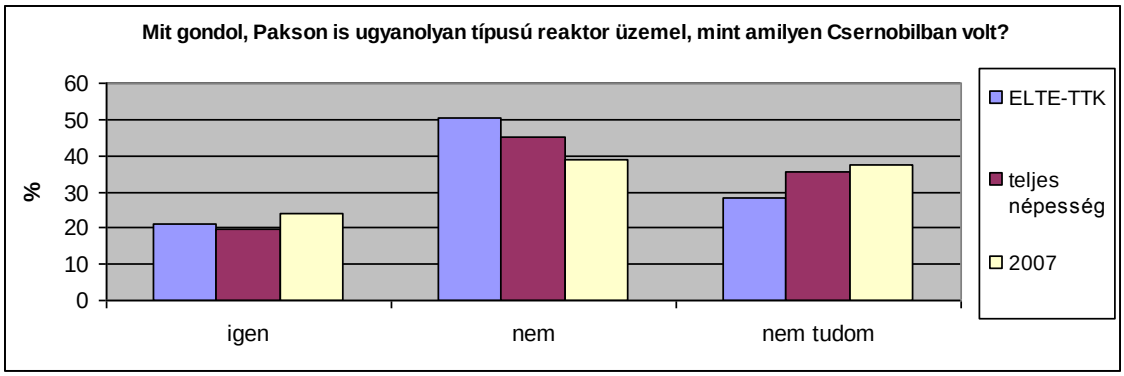
9. ábra

Az atomreaktorok létesítésekor legnagyobb félelmet az általuk kibocsátott radioaktivitás jelenti. Természetes háttérsugárzás mellett alakult ki az élet, ehhez képest elhanyagolható mértékben növekszik a reaktorok környezetében mérhető sugárzási szint. A kérdőívet kitöltők közül körülbelül 50% adott helyes választ mindkét évben (*9. ábra*). A kellő szakmai háttérrel nem rendelkező személyek sokszor téves információkkal rendelkeznek, ebből adódhat az atomenergiával szemben tanúsított elutasító hozzáállás.



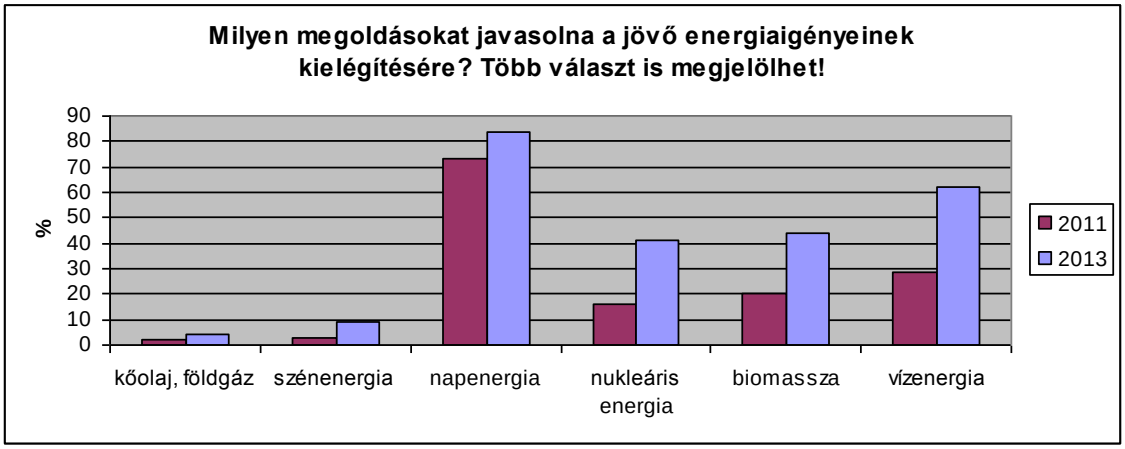
10. ábra

A következő kérdés nem szerepelt az eddigi felmérésekben, a *10. ábrán* látható a természettudományban jártas hallgatók és a magyar nép egyéni és összesített véleménye is. A reaktorok által kibocsátott hűtővíz nem tartalmaz radioaktív izotópokat, nehézfémeket, sem egyéb egészségkárosító vegyületeket. A természetes vizek hőszennyezése ismert probléma, a helyes választ a népesség közül 32%, ELTE-TTK hallgatói közül pedig 54% tudta, mely szignifikáns eltérést jelent. A kérdés jól rámutat a helytelen ismeretekre, a többség egyáltalán nem látja tisztán az üzemeltetés során bekövetkező hatásokat, több ismeretterjesztéssel orvosolható lehetne ez a probléma.



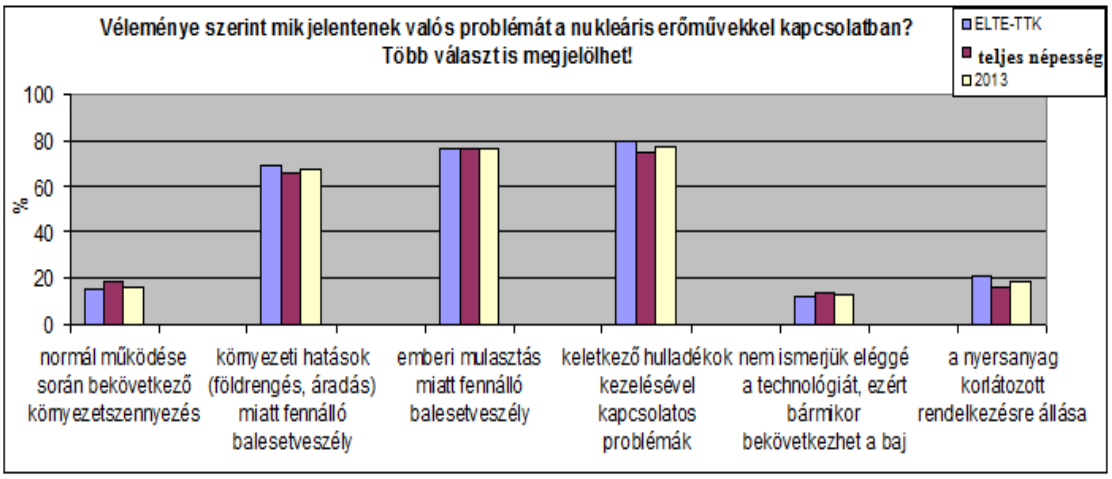
11. ábra

Magyarország atomerőművéről általában negatív vélemények hangoznak el, veszélyesnek tartják és az emberek érthetően félnek egy atomerőmű baleset bekövetkezésétől. A felmérésből kiderült, hogy 38,8% 2007-ben és 47,75% 2013-ban tudta csak, hogy Pakson nyomottvizes reaktor üzemel, mely sokkal biztonságosabb a Csernobilban lévő grafit moderátorú reaktornál, így kicsi a valószínűség egy Csernobilhoz hasonló baleset bekövetkezésének (*11. ábra*). A TTK-s hallgatók 28,5%-nak egyáltalán nem volt semmilyen ismerete a reaktor felépítéséről. 2013-ban nagyobb arányban kaptunk helyes választ a kérdésre, mint a 2007-es felmérés alkalmával.



12. ábra

A következő kérdésnél (*12. ábra*) több válaszlehetőséget is meg lehetett jelölni. Látható, hogy 2011-ben az emberek közel 73%-a a napenergia alkalmazását helyezné előtérbe, a 2013-as adatok esetében pedig 84% támogatná ezt a megújuló energiaforrást. A fosszilis energiahordozók alkalmazását egyre inkább háttérbe szorítanák az emberek, az atomenergiában és főleg a megújuló energiaforrásokban látná a döntő többség a jövő energiaellátásának lehetőségét.



13. ábra

Ebben az esetben is több választ lehetett megjelölni. A *13. ábrán* látható, hogy a többség szerint a környezeti hatások és emberi mulasztások miatt fennálló balesetveszély, valamint a hulladékok kezelésével kapcsolatos problémák jelentik a legnagyobb aggodalmakat az atomerőművekkel kapcsolatban. Sokan elfelejtik, hogy a hasadóanyagként alkalmazott urán korlátozott mértékben áll a rendelkezésünkre, nem megújuló energiaforrás. A technológiát jól ismerjük, valamint a normál működés során bekövetkező szennyezéstől sem kell tartanunk.

A kérdőív adatai összességében közel hasonló eredményeket adtak, mint a korábbi évek felmérések. A korábbi felmérések alanyai középiskolások voltak, a 2013-ban kitöltők egy része így ugyanaz a korosztály lehet most, mint 2011-ben. Lényeges szempont, hogy nagyobb hangsúlyt kellene fektetni az emberek tájékoztatására, például a Paksi Atomerőmű megalapította a Tájékoztató és Látogató Központot, mely bármikor megtekinthető, előzetes egyeztetés után pedig 16 év felett az erőmű területére is engednek látogatókat. (RADNÓTI K. 2008) (HORVÁTH A. 2011)

6. A jövő energiaellátása

Láthattuk, hogy az egyre növekvő energiaigények fedezése többféle forrásból is biztosítható. A rendelkezésünkre álló energiahordozók folyamatos kiaknázása rövid időn belül egyre több társadalmi, gazdasági, és egyéb problémákhoz vezet, a kimerülő készletek pótlására nincs lehetőségünk. A jövő energiaellátásának egyik nagy kérdése, hogy az alternatív erőművek a hagyományos, nem megújuló erőművek mellett mikor és milyen arányban jutnak szerephez, a már meglévő erőművek felváltása, illetve kiegészítése milyen mértékben valósul meg. A megújuló energiák alkalmazását ugyan nehezítik a környezeti tényezők folyamatos változásai, azonban az energiaellátást kiegészítő technológiaként történő felhasználásuk egyre inkább bekerültek a fennálló lehetőségeink közé.

A megoldáshoz napról napra kevesebb idő áll a rendelkezésünkre, a környezetet veszélyeztető hatások gyorsulnak. A klímaváltozás, a savas eső, az ózonpajzs vékonyodása, a városokban kialakuló szmog, az antropogén hatás miatt egyre fogyó területek, a biodiverzitás csökkenése, fajok eltűnése és számos egyéb jelenség felhívja a figyelmet a probléma komolyságára. Vajon meddig bírja a jelenlegi állapotot a természet? Az erőművek létesítésénél törekedni kell arra, hogy a környezetre minél kisebb negatív hatást gyakoroljanak. Az erőművek működéséhez szükséges erőforrásokat a természetből vesszük, energiát nyerünk, természetes környezetünket az üzemeltetés során keletkező szennyező anyagokkal károsítjuk. A fenntarthatóság érdekében a környezetet károsító folyamatok mérséklése, a fosszilis erőművek számának csökkentése, valamint új fejlődés ösztönzése lenne a cél. Az IAEA (International Atomic Energy Agency) feladata az atomenergia békés használatának, a műszaki információk terjedésének, a biztonsági tervek, intézkedések rendszerének elősegítése, továbbá segítséget nyújt a kevésbé fejlett országok részére, így az atomenergia biztonságos használatát igyekszik biztosítani. Az egyes országokban a

helyi adottságoknak megfelelő lehetőségek kiaknázása kulcsfontosságú előrelépést jelentene, ezáltal csökkenthető lenne az importált energiától való függőség.

2010-ben 500 EJ volt a világ összes energiafogyasztása. (KISS Á. – TASNÁDI P. 2012) Minden ember számára természetes, hogy mindennapi életünkhöz energiára van szükség, minden, ami körülvesz bennünket energia befektetést igényel. Amikor ez a folyamatosan rendelkezésünkre álló energiaellátás megszakad, ráébredünk, hogy milyen következményei is vannak az energiaellátás akadozásának. Néhány percig tartó áramszünet is sokkoló hatású lehet, például amikor sötétbe borul a lakásunk, nem tudjuk ellátni aktuális teendőinket, a közlekedésben torlódások, elakadások jelentkeznek. Mindenkivel megtörténtek ezek az események, tudjuk, hogy a rövid ideig tartó zavarok is mekkora feszültséggel járnak. Hosszabb ideig fennálló akadozások már egyre nagyobb társadalmi és gazdasági problémákat okoznak, befolyásolják az egészségügyi ellátást, a közbiztonságot, a közlekedést, a termelést, továbbá a személyes, egyéni szükségleteinket.

Lényeges szempont, hogy az energetika jelentőségét minél többen felismerjék, a társadalom támogassa az energetikai fejlesztéseket és nyitott legyen az újabb technológiák felé. Az atomenergiával kapcsolatos felmérésből láthattuk, hogy sokan nem rendelkeznek elegendő ismerettel, sőt tévesen ítélik meg a fennálló problémákat. Az egyes országok energiaellátását biztosító különböző erőművek CO_2-kibocsátása pedig rámutatott az erőműtípusok közötti lényeges különbségekre, számokkal is bebizonyosodtak az elméleti szinten megfogalmazott tények. Fontos volna a környezettudatos magatartás megteremtése, az emberiség figyelmének felkeltése, hogy tudomást vegyenek a környezetünket érintő problémákról, és hogy a jövőben a fenntartható fejlődés fogalma valóban fenntartható legyen.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani témavezetőmnek, Csanád Máténak, a folyamatos segítségért, hasznos tanácsokért és biztatásért. Köszönet illeti szüleimet türelmükért, támogatásukért és a szakdolgozat alapos átolvasásáért. Továbbá szeretném megköszönni barátaimnak, hogy a nehéz pillanatokban is bátorítottak és mellettem álltak, valamint minden ismerősömnek, akik a kérdőív kitöltésével segítették a munkám.

Irodalomjegyzék

ANGYAL ZS. – BALLABÁS G. – CSÜLLÖG G. – KARDOS L. – MUNKÁCSY B. – PONGRÁCZ R. – SZABÓ M. 2012: A környezetvédelem alapjai. – *Typotex Kiadó*, Budapest. pp. 10-21., 53-87. 241-242.

B. SORENSEN 2004: Renewable Energy. – Elsevier Inc., Oxford. pp. 311-316.

BARKÁCS K. – BARTHOLY J. – KISS KEVE T. – PONGRÁCZ R. – RESKÓNÉ NAGY M. – SALMA I. – SOHÁR P. – TÓTH B. 2012: Környezetkémia. – *Typotex Kiadó*, Budapest. pp. 20-105., 117-118.

BÜKI G. 2004: Erőművek. – *Műegyetemi Kiadó*, Budapest

D. HEDLEY 1986: World Energy: The facts and the future. – Euromonitor Publications Ltd, New York. pp. 66-77., 160-162.

EMBER I. 2006: Környezet-egészségtan. – *Dialóg Campus Kiadó*, Budapest. pp. 295-321.

FODOR B. 2012: Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj 2. In: Megújuló energiatermelés a fenntarthatóság szolgálatában, ISBN 978-963-503-505-2 Budapest. pp. 135-147.

HASZPRA L. 2008: Egy adatsor, amely megváltoztatta a világot. – Magyar Tudomány 2008/11. szám 1359. p.

HORVÁTH A. 2011: Az atomenergia megítélése Magyarországon a fiatalok körében. – *Nukleon* IV. évfolyam 90. szám

HORVÁTH G. – KRISKA GY. 2010: A napelem evolúciós csapdája. – *Interpress Magazin* 30. szám pp. 107-110.

JC MACKAY, D. 2011: Fenntartható energia – mellébeszélés nélkül. – *Vertis Zrt. és Typotex Kiadó*, Budapest

KERÉNYI A. 2006: Általános környezetvédelem. – *Mozaik Kiadó*, Szeged. pp. 116-148.

KISS Á. – TASNÁDI P. 2012: Környezetfizika. – *Typotex kiadó*, Budapest. pp. 20-96, 188-272.

KOVÁCS A. – LUNG A. 2004: A Paksi Atomerőmű szerepe Magyarország villamos energia ellátásában. – *Elektrotechnika* 97. évfolyam 7-8. szám pp. 204-206.

LACZÓ D. (szerk.) 2012: A megújuló energiaforrások kézikönyve. – *Budapesti Corvinus Egyetem* ISBN 978-963-08-3749-1 Budapest

LÁNG I. 2003: Agrártermelés és globális környezetvédelem. – *Mezőgazda Kiadó,* Budapest. pp. 26-27., 79-91.

MÁDLNÉ SZŐNYI J. 2006: A geotermikus energia, készletek, kutatás, hasznosítás. – *Grafon Kiadó*, Nagykovácsi

MUNKÁCSY B. (szerk.) 2011: Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon. – Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Budapest. pp. 37-42., 131-136., 142-153.

MUZSNAY CS. 2011: Az atombomba robbantások által kiváltott globális éghajlatváltozásról. – *Műszaki Szemle* 56. szám pp. 21-28.

OLÁH GY. – A. GUEPPERT – G.K.SURYA PRAKASH 2007: Kőolaj és földgáz után: a metanolgazdaság. – *Better Kiadó,* Budapest. pp. 99-158.

P.E.HODGSON 1997: Energy and environment. – *Bowerdean Briefings,* London

RADNÓTI K. 2008: A nukleáris technikával kapcsolatos gondolkodás múltja, jelene, jövője. – *Nukleon* 1. évfolyam 1. szám 02.

RAKONCZAI J. 2003: Globális környezeti problémák. – *Lazi Könyvkiadó Kft.*, Budapest. pp. 9-26., 152-159.

SIBALSZKY Z. 2003: Megújuló energiák felhasználása a mezőgazdaságban integrált napelem-szélgenerátor rendszer segítségével. – *Elektrotechnika* 96. évfolyam 3. szám p. 93.

SZATMÁRY Z. – ASZÓDI A. 2005: Csernobil, tények, okok, hiedelmek. – *Typotex Kiadó,* Budapest

SZERGENYI I. 2011: Energia, civilizáció, kultúra, túlélés-1. – *Fizikai Szemle* 61. évfolyam 5. szám pp.158-164.

TÓTH P. – KACZ K. 2005: Szélerőművek telepítése, az első hazai szélerőmű park létesítése Mosonszolnokon– Elektrotechnika 98. évfolyam 1. szám. pp. 12-14.

V. SMIL 2009: Energia-válaszút előtt. – *Kovász* 13. évfolyam 1-4. szám pp. 13-32.

V.M. CHERNOUSENKO 1991: Chernobyl. – Springer-Verlag, Berlin. pp. 53-115.

VAJDA GY. 1975: Energia és társadalom. – *Akadémiai Kiadó*, Budapest. pp. 106-118.

VAJDA GY. 2001: Energiapolitika. – *Magyar Tudományos Akadémia*, Budapest

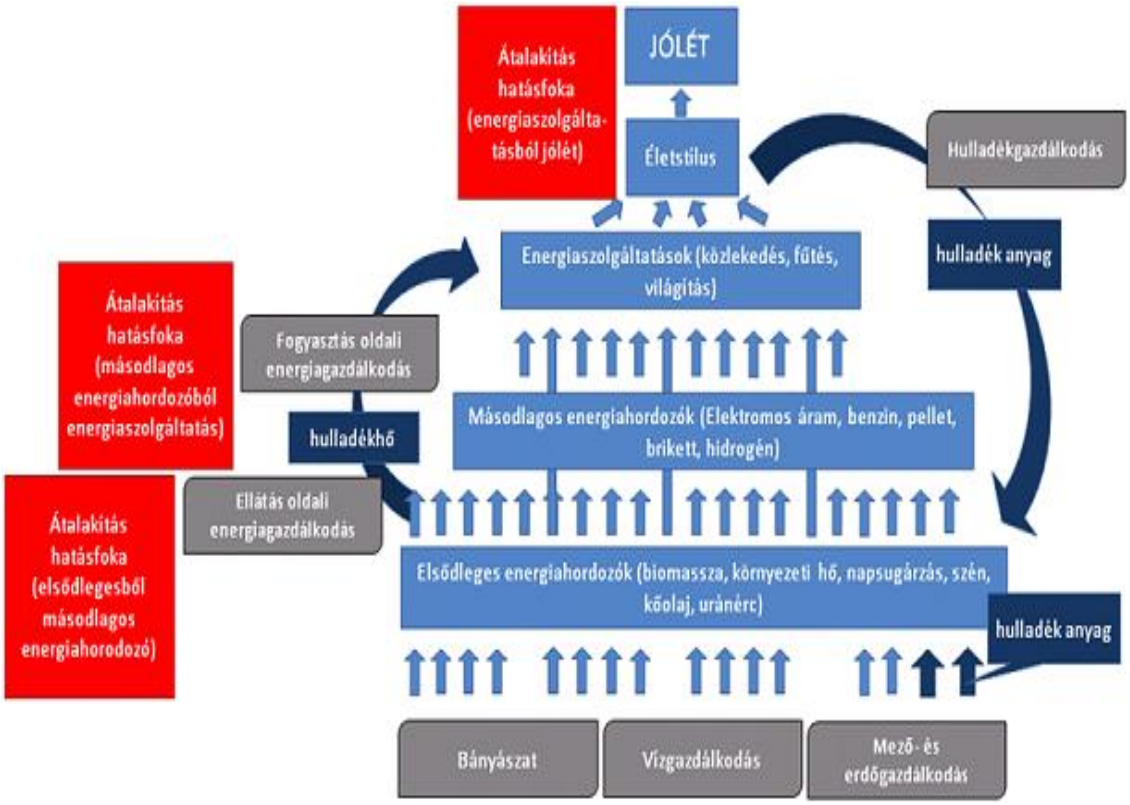
VAJDA GY. 2004: Energiaellátás ma és holnap. – *MTA Társadalomkutató Központ*, Budapest

Internetes források:

http://atomeromu.hu/a-paksi-atomeromu-felepitese

http://atomeromu.hu/eves-jelentesek

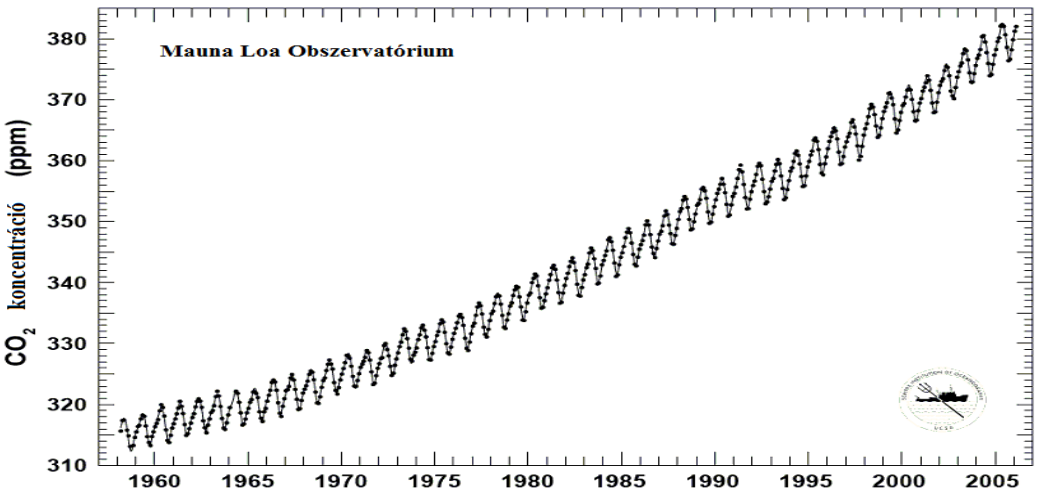
Melléklet



1. melléklet: Az energiaálnc

Az energiaforrások többlépcsős átalakításával nyert energiaszolgáltatások hozzájárulnak az emberiség életszínvonalának növeléséhez, azonban a különböző technológiai lépések során keletkezett hulladékanyagok megfelelő hulladékgazdálkodással recirkuláltathatók.

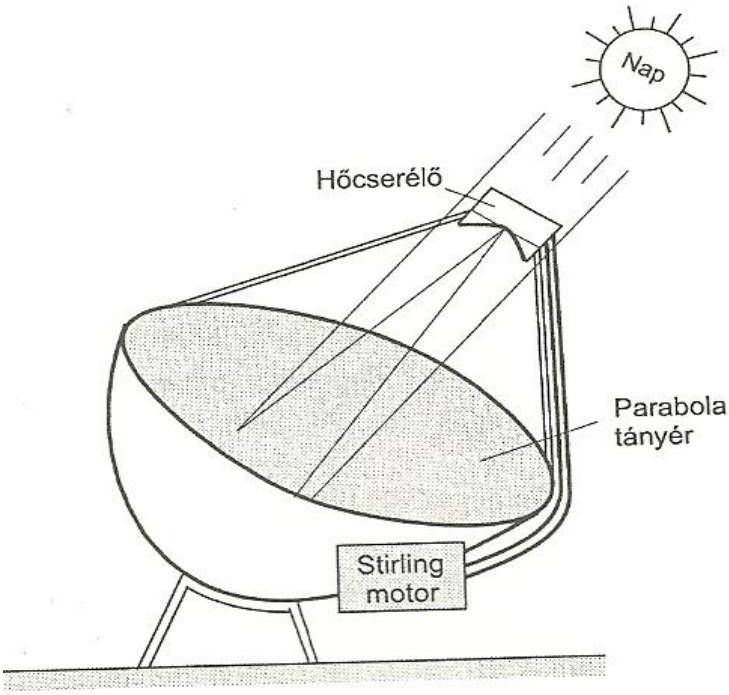
ANGYAL ZS. et al. 2012: A környezetvédelem alapjai



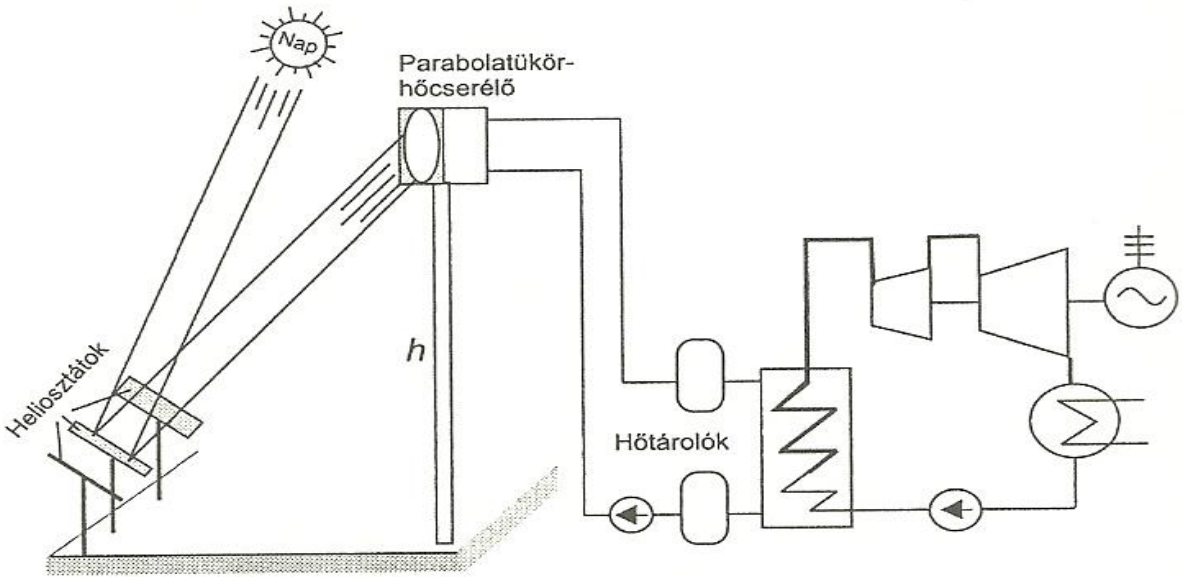
2. melléklet: Szén-dioxid koncentráció változása 1958-2006

A CO_2 koncentrációja ingadozást mutat, értéke nyártól csökken, majd újra emelkedni kezd. Az 1958-ban mért 310 ppm körüli érték 2013-ra már a ~390 ppm értéket is elérte.

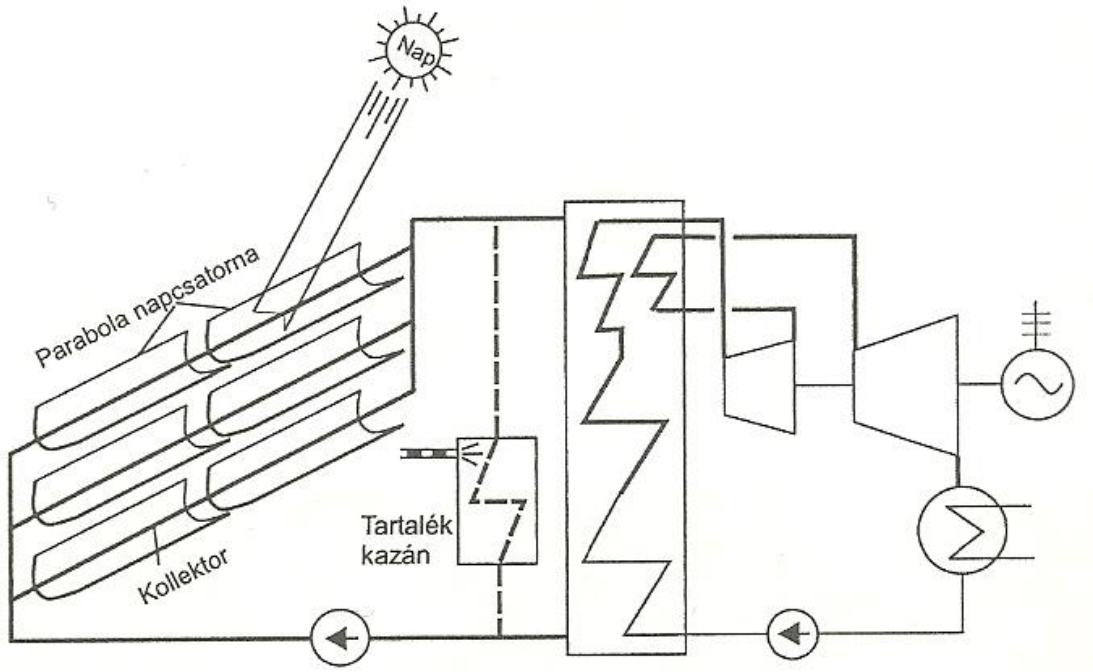
HASZPRA L. 2008: Egy adatsor, amely megváltoztatta a világot



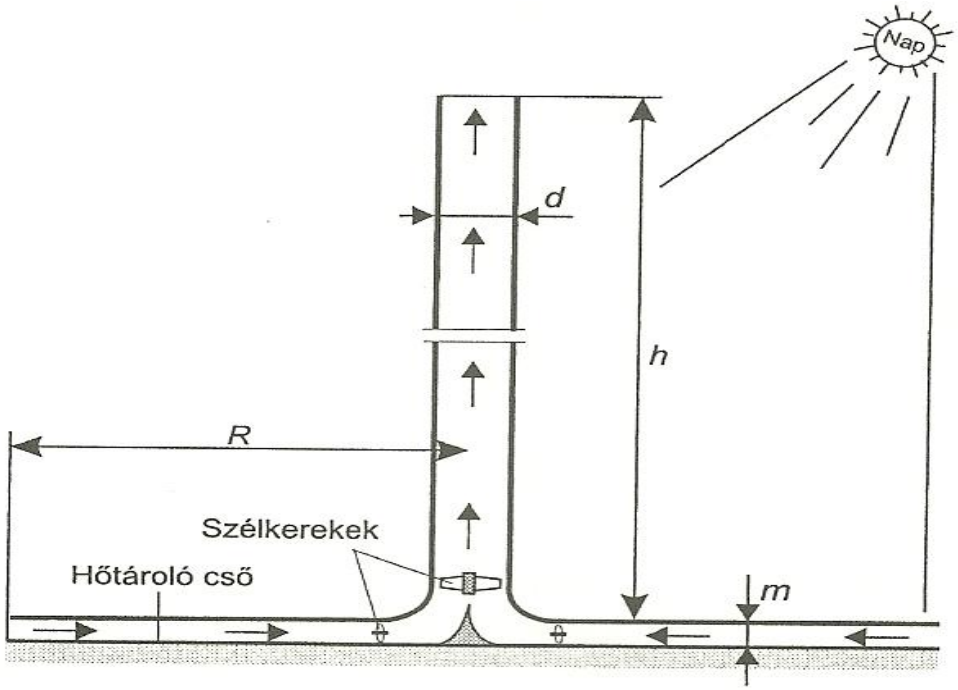
3. melléklet: Naphőerőmű parabola-tányérral
Alacsony teljesítmény érhető el a napsugárzás irányába helyezett tükörrel. A hőcserélő berendezés által nyert hő a hőforrása a Stirling-motornak, mellyel néhány 1000 kW teljesítményt nyerhetünk.
BÜKI G. 2004: Erőművek



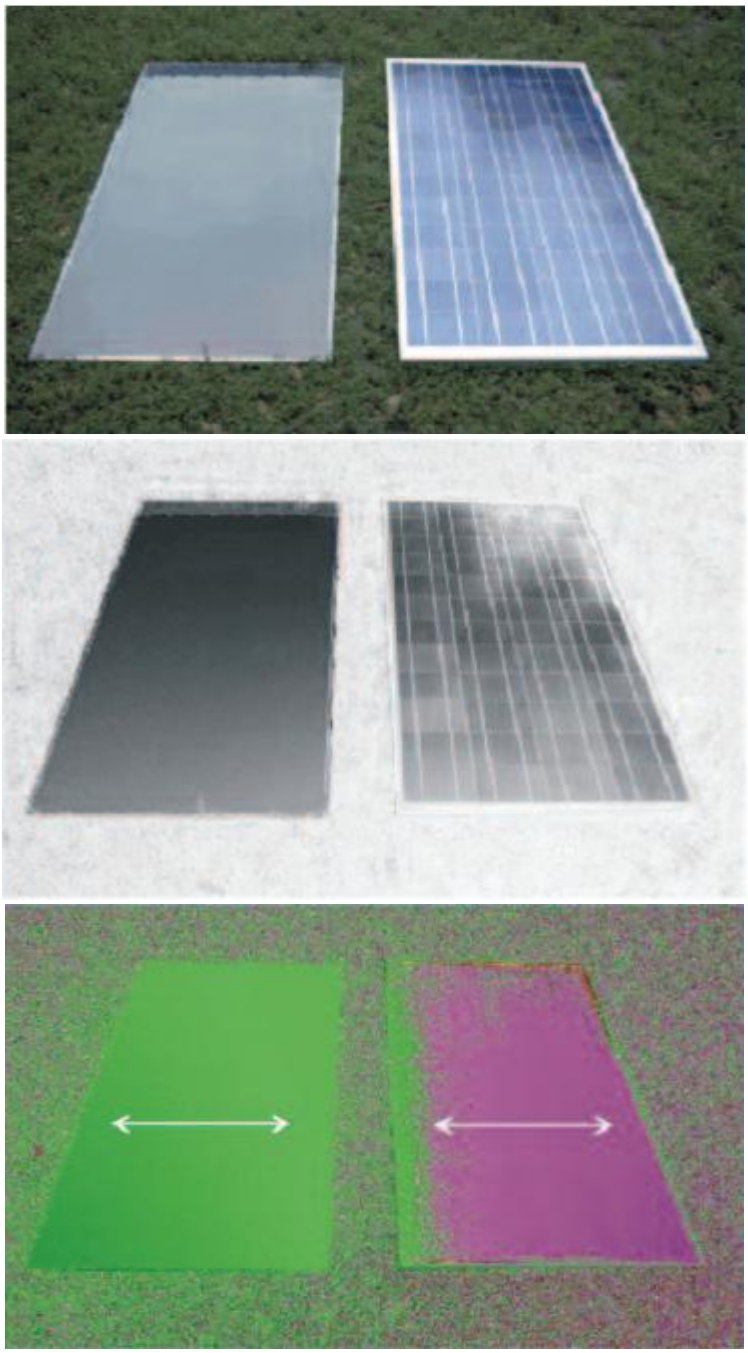
4. melléklet: Torony típusú naphőerőmű
Ezzel az erőműtípussal nagyobb teljesítmény érhető el. A kihelyezett heliosztátok követve a napsugárzást, a napsugarakat egy „h" magasságban lévő központi parabolatükörre fókuszálják, mely által a hőcserélőben áramló közeg ~1000 ºC-ra hevül. A hő a gőzfejlesztőben adódik át a vízgőznek.
BÜKI G. 2004: Erőművek



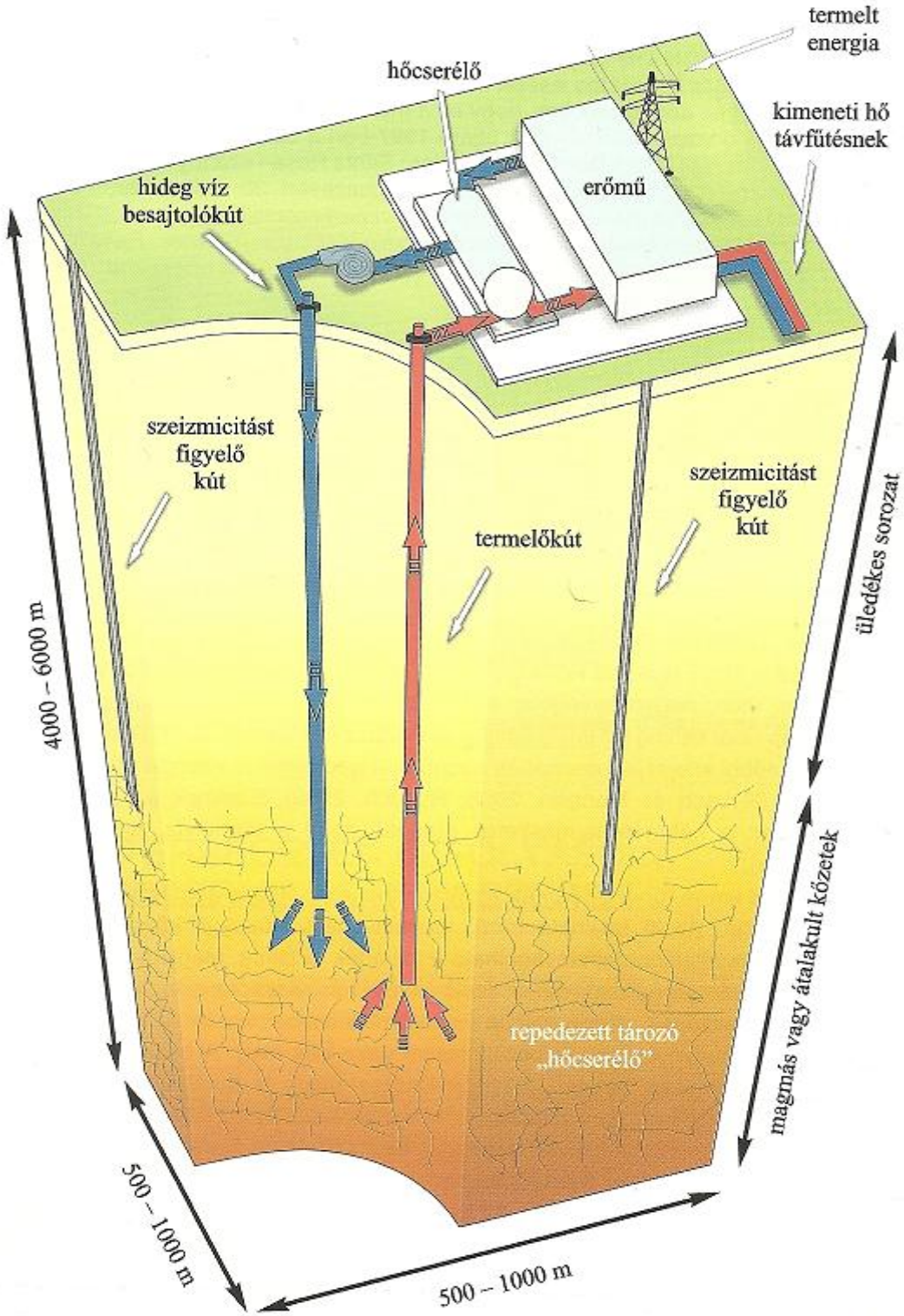
5. melléklet: Parabola vályús naphőerőmű kollektor-rendszerrel
A napsugarakat a talajszinten kihelyezett parabola keresztmetszetű vályúk gyűjtik össze, a hőt kollektorok gyűjtik össze és csővezetékek szállítják, ezáltal nagy területről lehetséges a napsugarak begyűjtése.
BÜKI G. 2004: Erőművek



6. melléklet: Napkémény
A talaj felszínét üveggel és műanyaggal vonják be, 15-30 ºC-os hőmérsékletkülönbség keletkezik. 12-15 m/s sebességű levegő áramlik felfelé „h” magasságban a berendezés közepén, ahol szélkerekeket meghajtva áramot termel.
BÜKI G. 2004: Erőművek



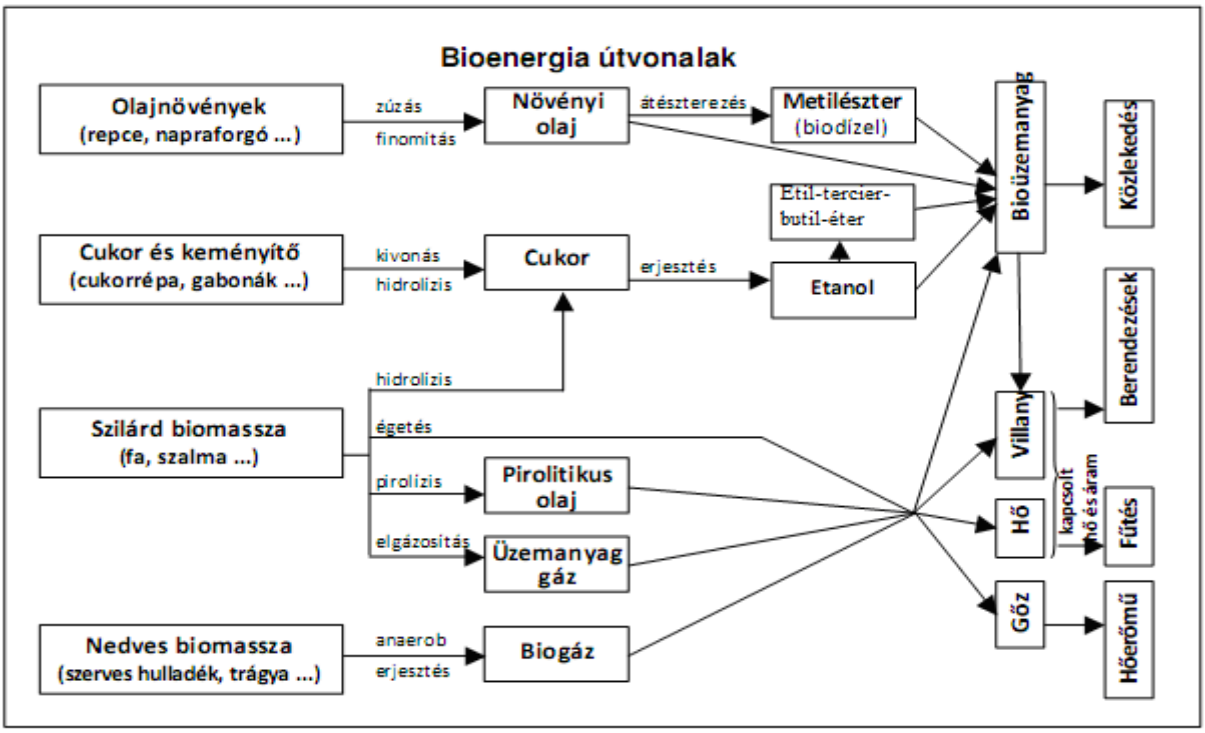
7. melléklet: Napelemtáblák képalkotó polarimetriával készített polarizációs mintázatai
Az 1. képen egy fekete napelemtábla és egy fehér rácsozású napelemtábla látható emberi szemmel. A 2. és a 3. képen látható a visszatükröződő fény p polarizációfoka és α polarizációszöge, mely szerint a polarizációfok a sötétebb színnel egyre nagyobb, valamint minél világosabb színű egy rész, annál jobban vonzódnak hozzá a polarotaktikus élőlények, mert közelebb van a vízszinteshez. Látható, hogy a napelemtábláknál alkalmazott fehér rácsozás kevésbé okoz polarizációs fényszennyezést.
HORVÁTH G.-KRISKA GY. 2010: A napelem evolúciós csapdája



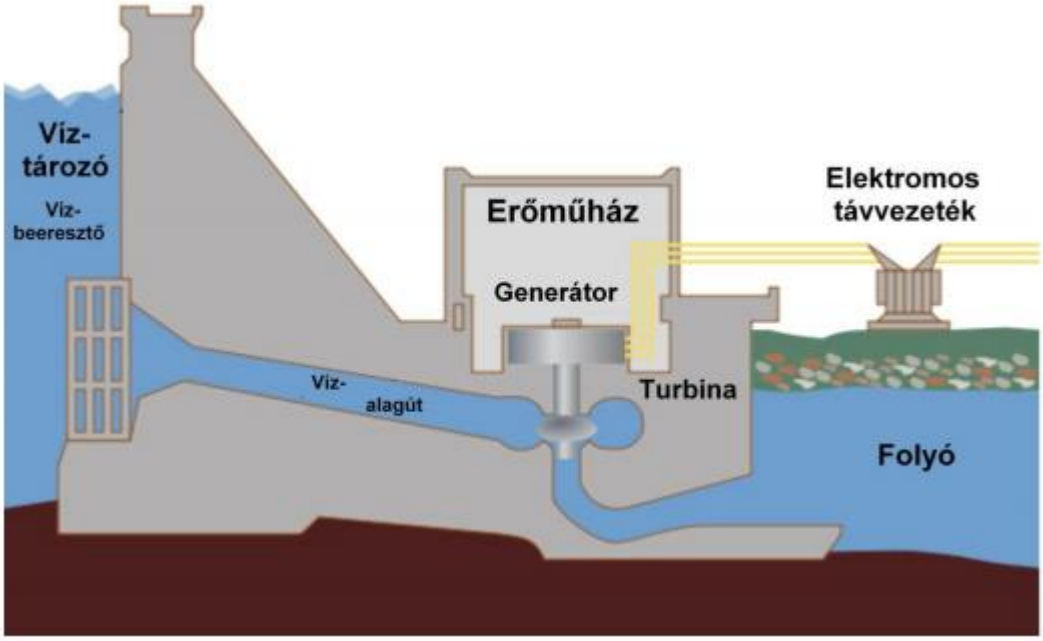
8. melléklet: Mesterségesen kifejlesztett földhőrendszer
Emberi beavatkozással is kinyerhető a Föld mélyében rejlő hő. Hidegvíz besajtolásával hidraulikus rétegrepesztést alkalmaznak, ezáltal a repedések szétnyalnak. A hőt szállító geotermikus fluidumot a termelőkúton keresztül a felszínre szállítják, majd a felhasználás után visszasajtolják. A kitermelt gőz turbinákat meghajtva áramot termel.
MÁDLNÉ SZŐNYI J. 2006: A geotermikus energia, készletek, kutatás, hasznosítás

dB	
0	Emberi hallásküszöb
10	Emberi lélegzet 3 méterről
40	Lakóterület éjjel
45	Szélturbina
80	Porszívó 1 méterről
85	Személygépkocsi
100	Légkalapács 2 méterről
120	Fájdalomküszöb
150	Repülőgép sugárhajtóműve

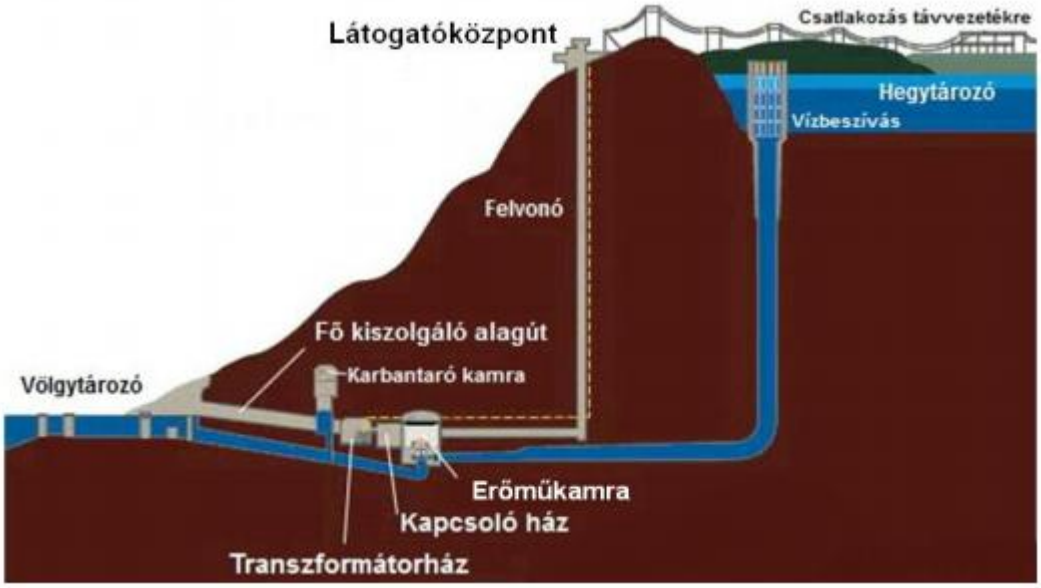
9. melléklet: Hangforrások hangnyomásszintjei
A szélturbinák mechanikai és aerodinamikai zajokat keltenek, melynek értéke ~45 dB.
(forrás: wikipédia)



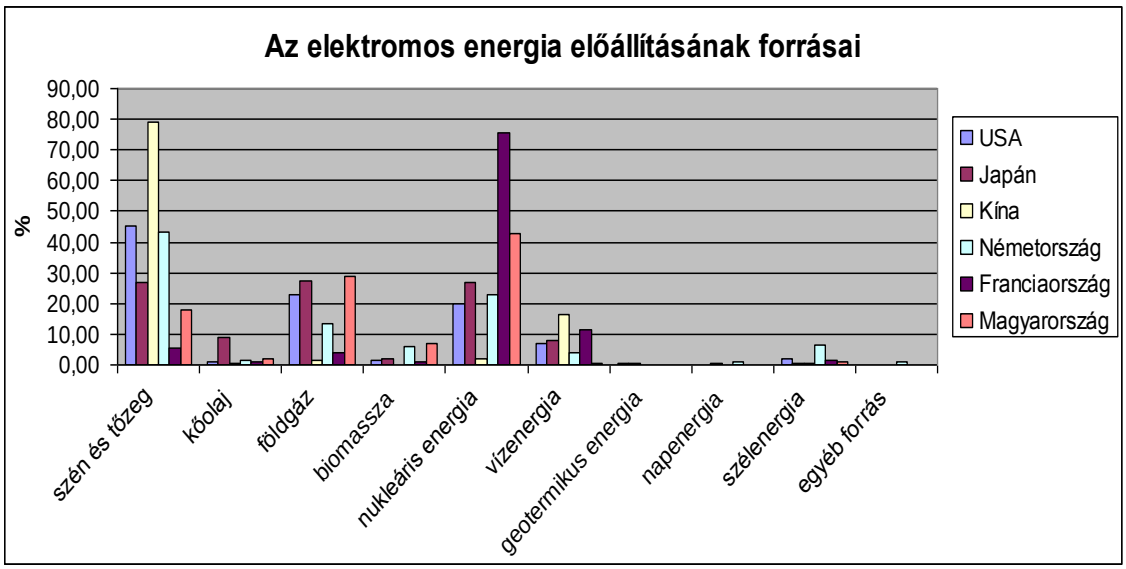
10. melléklet: Biomassza technológiai rendszerek
A különböző biomassza anyagok átalakítása látható az ábrán. A technológiai lépések után a biomasszából nyert energia hőerőművekben, villamos berendezésekben, közlekedési eszközökben és fűtésre használható fel.
LACZÓ D. (szerk.) 2012: A megújuló energiaforrások kézikönyve



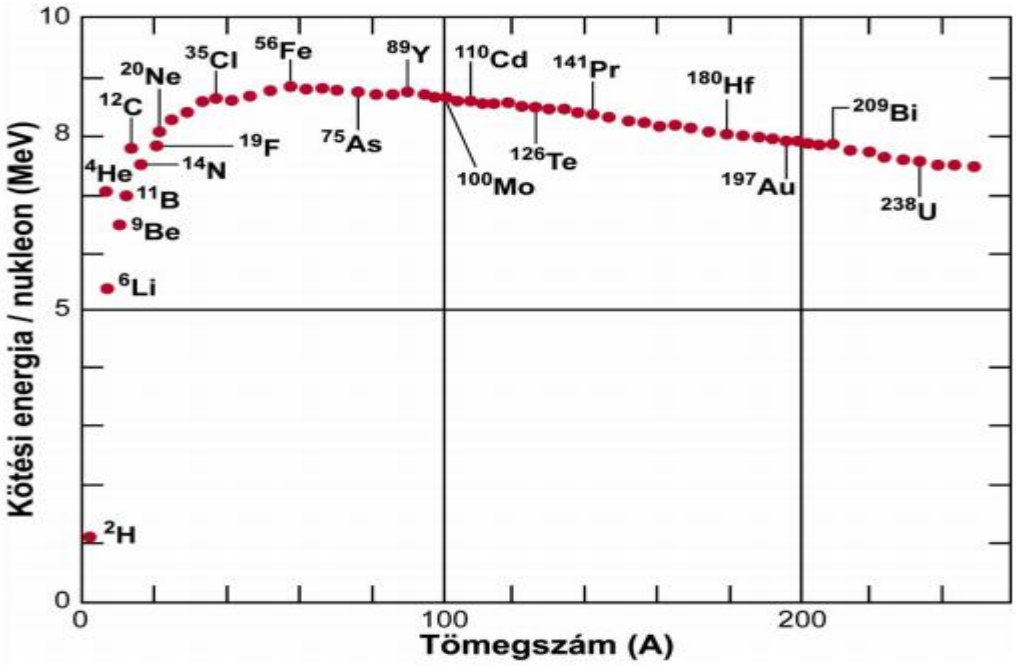
11. melléklet: A folyami (átfolyós) vízerőmű
Az átfolyós vízerőmű esetén duzzasztással kialakított vízszintkülönbségek között lezúduló víz turbinákat meghajtva a generátorok által áramot termel.
KISS Á.- TASNÁDI P. 2012: Környezetfizika



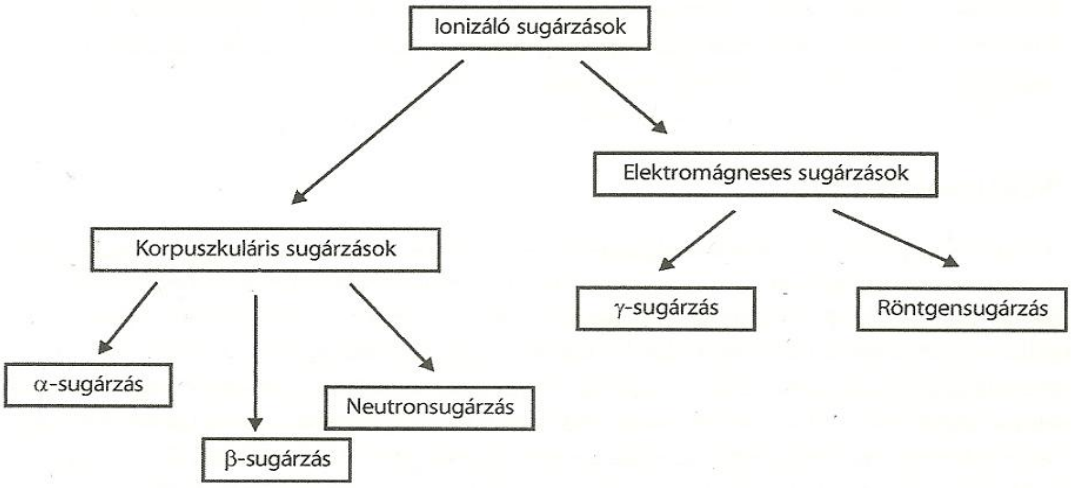
12. melléklet: A szivattyús vízerőmű
Két víztározó (egy felső és egy alsó) közötti vízmozgással működtethető az elektromos hálózat. A nyert energia távvezetékekre csatlakoztatva elektromos áramként jut el a fogyasztókhoz.
KISS Á.- TASNÁDI P. 2012: Környezetfizika



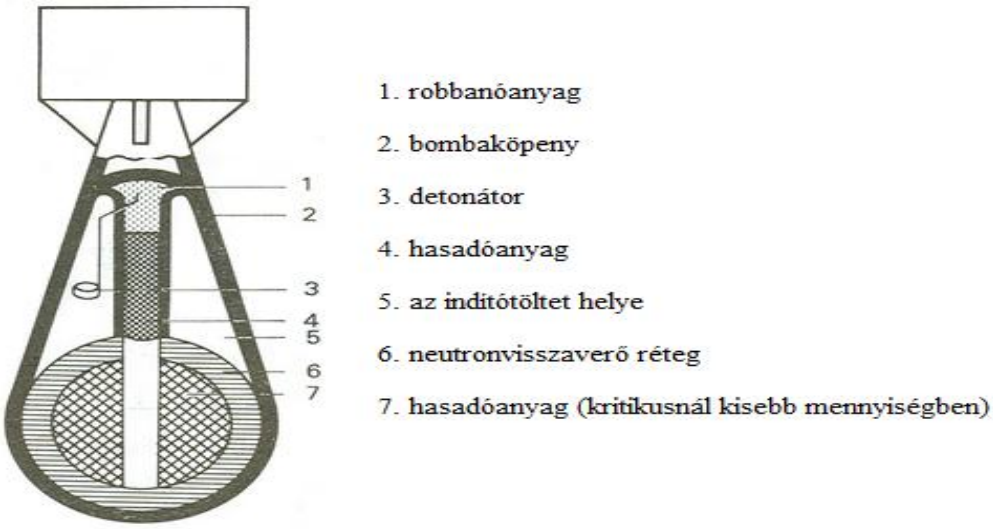
13. melléklet: Az elektromos energia előállításának forrásai az egyes országokban
Láthatjuk, hogy az egyes energiaforrások hány százalékban fedezik a vizsgált országok energiaigényeit. Az ábrán jól kivehető, hogy a megújuló energiaforrások használata messze elmarad a fosszilis és a nukleáris energia részesedésétől.
(forrás: http://iea.org/)



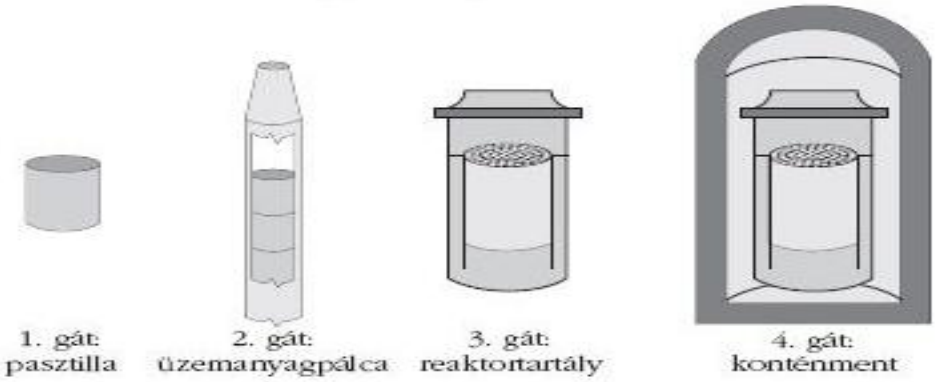
14. melléklet: Tömegszám függvényében ábrázolt egy nukleonra jutó kötési energia
A folyamatot jól szemlélteti az egy nukleonra jutó kötési energia ábrázolása a tömegszám függvényében: a kötési energia a könnyű atommagoktól indulva meredeken emelkedik az ^{56}Fe atomig, a legtöbb atommag esetében 7,5 – 8,5 MeV/nukleon között van, a nehezebb atommagok felé pedig folyamatosan csökken.
KISS Á. – TASNÁDI P. 2012: Környezetfizika



15. melléklet: Ionizáló sugárzások
Az ionizáló sugárzások az anyagokon áthaladva ionokat hoznak létre. A korpuszkuláris sugárzást más néven részecskesugárzásnak nevezzük, az elektromágneses sugárzás hullámként fénysebességgel terjed, miközben energiát szállít.
EMBER I. 2006: Környezet-egészségtan



16. melléklet: Az atombomba felépítése
Az atombombában szabályozatlan nukleáris reakció zajlik le, a láncreakciót az atombomba esetében semmilyen anyag sem fékezi meg. Hasadóanyaga legalább 85%-ban jelenlévő a ^{235}U. A robbanást kiváltó kritikus tömeg eléréséhez a bomba két különálló részét egybelőve indul be a reakció, mely óriási energia felszabadulásával jár. Az energia 35%-a hősugárzás, 50%-a nyomáshullám, 15%-a pedig atomsugárzásként terjed tovább, ezáltal 1000 m sugarú körben mindent elolvaszt. A nyomáshullám 3 km-es övezetben óriási pusztítást okoz.
(forrás: www.vilaglex.hu)



17. melléklet: A nyomottvizes atomerőmű mérnöki gátjai

A mérnöki gátak megakadályozzák a radioaktív anyagok környezetbe jutását.

1. gát – pasztilla (üzemanyagmátrix): Az alkalmazott urán-dioxid pasztillákba préselése

2. gát – fűtőelem-burkolat (üzemanyagpálca): Az urán-dioxid pasztillákat belehelyezik a fűtőelem-burkolatba, ezáltal a volatil (illékony) hasadáskor keletkező termékek nem juthatnak bele a reaktor primer körének hűtővizébe.

3. gát – reaktortartály: A fűtőelem-burkolatok kötegekbe rendezve a reaktortartályba kerülnek, így a burkolatok sérülése esetén a tartály megakadályozza, hogy kikerülő anyagok a primer körön kívülre juthassanak.

4. gát – biztonsági védőburkolat (konténment): Az egész épületet biztonsági védőburkolat veszi körül, mely a primer kör csővezetékének sérülése esetén kijutó primer köri hűtővizet és a radioaktív anyagokat az épület belsejében tartja. A mérnöki gátak első három tagjának meghibásodása nem jelent gondod, amennyiben a 4. gát épségben marad.

SZATMÁRY Z.-ASZÓDI A. 2005: Csernobil, tények, okok, hiedelmek