

SZAKDOLGOZAT

Tamás Attila

2009.

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar

Általános és Környezetfizikai Tanszék

Fizika kiegészítő szak

SZAKDOLGOZAT

Megújuló energiák hasznosítása

Tamás Attila

Témavezető: Dr. Sós Katalin

Konzulens: Dr. Sós Katalin

2009.

1. Bevezetés

Napjainkban igyekszünk a környezetünket, és rajta keresztül bennünket, embereket érintő globális problémákra egyre nagyobb hangsúlyt fektetni. Ennek szükségszerűsége nem vitatott; a környezetszennyezés, következményeként az üvegházhatás, a fosszilis energiaforrások kimerülése, az ózonpajzs ritkulása, a globális felmelegedés témája (hogy csak a leggyakoribbakat említsem) régóta ad munkát a tudósoknak, kutatóknak.

Életünket jelentősen befolyásolja, meghatározza a fennmaradásunkhoz szükséges, környezetünkben kinyerhető energia milyensége, mennyisége. Az energiaellátás a 21. század ipari társadalmainak kulcskérdésévé vált. A környezeti problémák legnagyobb része a fosszilis energiahordozók elégetésére vezethető vissza. Az általunk az évtizedek során egyre fokozottabban kiaknázott fosszilis energiahordozók sajnos nem állnak korlátlan mennyiségben a rendelkezésünkre, ezért időszerű más alternatívák felé tekinteni. Ezt az energetikai korszakváltást az energiatakarékosság, az energia racionális, környezetbarát hasznosítása, a megújuló energiahordozók fokozott mértékű felhasználása kell, hogy jelentse. Ilyen alternatívát jelent a megújuló energiaforrások és a nukleáris energia használata. A megújuló energiaforrások közé tartozik a napenergia, a szélenergia, a különböző formában megjelenő biomassza, a geotermikus energia és a vízenergia. A vízenergia felhasználása egyre inkább társadalmi és ökológiai ellenállásba ütközik, ezért a biomassza, a szélenergia illetve a napenergia által nyújtott lehetőségek fokozott kiaknázása a cél.

Szakedolgozatomban először a megújuló energiát felhasználó technológiák fizikai hátterével foglalkozom, beleértve a megújuló energia történetét, hasznosítását és környezeti hatásait. Ezután a különböző megújuló energiát hasznosító erőműveket veszem górcső alá, különös tekintettel a működési elvükre és hazai és globális használhatóságukra.

Szakedolgozatom szakmódszertani részében a 9-11. évfolyamos gyerekek környezettudatos nevelésével foglalkozom; hogyan lehet a tanításban a fizikai, kémiai, biológiai és földrajzi alapokat az eleven környezettel úgy társítani, hogy a gyerekek

érezzék a kapcsolatot és aktívan vagy passzívan tenni akarjanak környezetük, jövőjük védelmében.

Már gyermekkorban fontos elkezdni a gyerekek környezeti nevelését; a természettel való kapcsolat élménye, a megfigyelések, kísérletek, tapasztalások mind-mind maradandó nyomot hagynak és segítik a későbbi helyes értékrend kialakulását. A cél a „környezeti polgárrá” nevelés, mely sokrétű, felelősségteljes feladat; olyan tanítási folyamatot jelent, melynek szerves része a fenntartható fejlődés tudásanyagának átadása, ehhez kapcsolódóan pedig fontos az együttműködés, a közös cselekvés mikéntjének megtanítása, a konfliktus helyzetek kezelésének elsajátítása.

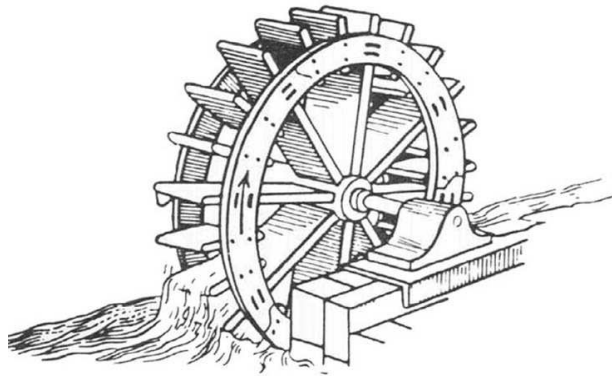
„A környezeti nevelés célja a környezettudatos magatartás, a környezetért felelős életvitel elősegítése. Távlabbról nézve a környezeti nevelés a természet – s benne az emberi társadalom – harmóniájának megőrzését, fenntartását célozza. Célja az épített társadalmi környezet, az embert tisztelő szokásrendszer érzelmi, esztétikai és erkölcsi megalapozása.” (Nemzeti Környezeti Nevelési Stratégia, OM segédlet)

2. Megújuló energiaforrások

2.1. Vízenergia

2.1.1. Vízenergia története

A vízenergia hasznosítása több ezer évre tekint vissza. Valószínűleg az áramlással működtetett vízemelő szerkezetnek (noria) az ókori folyami kultúrákban voltak az első példái. Az első gabonaörlő vízimalmok időszámításunk előtt néhány száz évvel jelentek meg a Közel-Keleten, Európába Nagy Sándor közvetítésével jutottak el. Az ókori görögök által használt függőleges tengely körül forgó vízkerék csak egészen kis teljesítményt szolgáltatott. Időszámításunk előtt 200 körül jelentek meg a vízszintes tengely körül forgó alulcsapott vízikerekek a Római Birodalomban. Ezek teljesítménye már 1-2 kW-ot is elért.

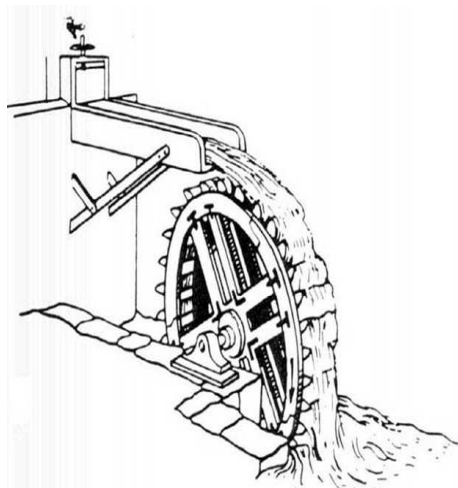


1. ábra: Alulcsapott vízkerék

(forrás: <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/vizenergia/alulcsapott.jpg>)

A feudalizmus kialakulásának zűrzavaros viszonyai, a középkor állandó háborúskodásai nagymértékben tizedelték a munkaképes lakosságot. A hiányzó munkaerő pótlására nagyszerű lehetőség a víz ereje. Az állati energia mellett a vízenergia válik a középkor legjelentősebb additív energiaforrásává. Ennek óriási jelentősége van, hiszen először fordul elő a történelemben olyan mechanikai hajtógép tömeges alkalmazása, mely tartósan nagy teljesítményt tud kifejteni.

A vízimalmok a frankoknál már az V-VI. században megjelentek, más népeknél is gyorsan terjednek, gazdasági jelentőségük állandóan nőtt. A XIII-XIV. században az alulcsapott vízikereket a felülcsapott vízikerekek kezdték felváltani, mely sokkal nagyobb teljesítményre képes.



2. ábra: Felülcsapott vízikerek (forrás:

<http://www.nyf.hu/others/html/kornyeztud/megujulo/vizenergia/felulcsapott.jpg>)

Az első ilyen szerkezet ugyan már a IV. században megjelent, azonban e bonyolultabb szerkezetre még nem volt társadalmi igény. További előnye a felülcsapott vízikereknek, hogy nem kell közvetlenül a folyók mellé telepíteni, a víz hozzávezetés csatornával is megoldható. Malmok hajtásán túl megjelennek a vízikerekek a bányákban a kitermelt érc és a behatóló víz kiemelésére. Használják még ércőrléshez, posztóképzítésnél különféle keverési műveletekhez.

Idővel fűrésztelepeket, később papír- és lőporgyártó üzemeket is hajtanak vízikerekkel. Nagy jelentőségű volt a vízikerek felhasználása a fűjtatók működtetéséhez. Az így elért nagyobb égési hőmérséklet magasabb kemencék építésére vezetett, létrejöttek az első kohók. Megjelenik az ágyúk fűréséhez a vízikerekkel hajtott fűrőgép is. Ily módon a vízenergia a műszaki fejlődést előmozdító tényezővé válik.

A gyorsan iparosodó országokban a XVIII. század a vízikerek nagy korszaka volt. A vízikerek azonban korlátot is jelentett. Az ipari fejlődést zavarta, hogy a telepítési lehetőségek a folyók közelére korlátozódtak. Ez akadályozta a természeti erőforrások racionális kihasználását, egyes városok egészségtelenül túlnépesedtek, a gazdaság regionális szerkezete deformálódott. Nagymértékben hozzájárult ez is ahhoz,

hogy a gőzgép „jött, látott és győzött”. Néhány évtized alatt kisöpörte a vízikereket az iparból, 1850 táján a vízenergia már csak 0,5%-ot képviselt a világ energiamérlegében.

A vízenergia pályafutás azonban nem ér véget ilyen egyszerűen. A múlt század második felében kitűnő hatásfokú vízturbinákat fejlesztettek ki, amelyek a víz potenciális energiájának 70-80%-át mechanikai munkává tudják átalakítani, szemben a vízikerek néhány százalékos hatásfokával. Ezekkel jó hatásfokú hidrogenerátorokat meghajtva, kiváló lehetőség adódik a villamosenergia termelésre.

Az első vízerőmű a Niagaránál épült 1893-ban, ezt számos erőmű követte a XX. században. Az erősen iparosodott területeken a gazdaságosan és könnyen kiépíthető hidrológiai lehetőségek gyorsan elfogytak. A természet jelentős lehetőségeket kínál viszont a vízerőművek számára a gazdaságilag még kevésbé kiaknázott területeken, elsősorban Ázsiában, Dél-Amerikában és Afrikában, ahol a gazdasági fejlődés során ezek hasznosítására bizonyosan sor fog kerülni. A világ állandóan növekvő villamosenergia-igényével a vízierőmű-építés sem gazdaságosság, sem energetikapotenciál terén nem tud lépést tartani, aminek következtében a vízierőművek részaránya az 1960-as évektől fogva fokozatosan csökken. Bár még nagyon sok vízerőmű fog épülni, részesedésük a villamosenergia-termelésben állandóan csökkenni fog.¹

A tengerszint emelkedése és csökkenése hatalmas erejű természeti jelenség. Az árapály jelenség energiatermelésre való hasznosításának hosszú története van a kis vízi malmoktól kezdve -amelyeket a gabona őrlésére használtak Nagy-Britanniában, és Franciaországban még a középkorban-. A középkorban kis ár-apály malmokat építettek az alkalmas folyó torkolatokba gabonaőrlésre és fa fűrészelésre. Az utóbbi időben azonban az ár-apály jelenség elektromos áram termelésére való hasznosítása került előtérbe. Ezt hatalmas duzzasztógátákban lévő turbinák segítségével lehet megoldani, illetve a folyótorkolatokba épített gátakkal. A 8.6 GW-osra tervezett severni erőmű 16 km hosszan nyúlna el az itt található tölcseértorkolatban. Ha megépül 17 TWh elektromos energiát termel majd évente, ez az Egyesült Királyságban az 1992-es év folyamán termelt elektromos áram 6%-val egyenértékű. 1960-as évek elején épült meg a franciaországi St. Malo közelében a Rance torkolatánál a bretagnei ár-apály erőmű. 1966-ban a turbina teljesítménye 240 MW volt. A sikeren felbuzdulva Cap de

¹ Vajda György, MTA Társadalomkutató Központ: *Energiaellátás ma és holnap*

Carterelnél, egy újabb, 15 GW-os erőművet építettek. A kanadai Annapolis Royalban egy 18 MW-os egységet helyeztek üzembe 1984-ben, Murmanskától 130 km-re, Kislaya partjainál egy 400 kW-os egységet és egy 500 kW-osat Jangxia Creeknél, a Kelet-Kínai-tengeren.³

³ *Open University - Renewable Energy*

2.1.2. Vízenergia hasznosítása

A Föld felszínére érkező napsugárzásnak 23%-a (~ 40 PW), fordítódik a víz körforgásának fenntartására. Ennek nagy részét (20,7%) a víz elpárologtatása teszi ki, a többi az elpárologtatott víz szállítását, a csapadék és a felszíni vízfolyások fenntartását szolgálja. Mintegy 2-3 MJ munka szükséges ahhoz, hogy 1 kg víz szabad vízfelszínekről elpárologjon és vízgőz a felhő a felhőképződés szintjéig felemelkedjen. Ennek az energiának a legnagyobb része azonban a mi számunkra elvész, a csapadékképződés során a kondenzáláskor felszabaduló hő a felhőket melegíti; a csapadék mozgása közben fellépő súrlódási és ütközési veszteség is a légkör hőtartalmát növeli. A lehulló csapadék jelentős hányada azonban elszivárog, újra elpárolog, vagy a növények tápanyagellátását szolgálja, így csupán egy része (~20-30%) gyűlik össze a felszíni vízfolyásokban. A vízfolyásokban a vízrészecskéknek a tengerig vezető útjuk során jelentős ellenállást kell leküzdeniük, energiájukat az áramlási veszteség (súrlódás, örvénylés) emészti fel.

A víz természetes körforgásának főbb lépései a következők: a tengerből, a szárazföldről elpárolog a víz, amely csapadék formájában visszahull a tengerekbe, illetve a szárazföldre. A szárazföldre hullott csapadék a felszínen lefolyik, vagy a felszín alá beszivárog, ahol lassabban, de szintén lefolyik. A vízkészletek alakulásában egy egyensúlyi állapot alakul ki. Ennek értelmében egy adott területen, adott időszakra vonatkozóan a csapadék és a tárolt víz mennyisége egyenlő a párolgás, a lefolyás, a felhasználás mennyiségével. A víz körforgását sok természetes, vagy antropogén folyamattal kapcsolatos körülmény befolyásolja. Így az erdőirtások, az üvegházhatást fokozó gázok, a levegőszennyeződés és az ebből adódó savas esők, a tavak eutrofizációja.*

Emberi hasznosításra az egész potenciálnak csupán az a kis hányada jöhet számításba, amivel csökkenteni tudjuk a tengerig vezető út során felemésztett energiát. A vízfolyás hasznosítható potenciális energiájának növeléséhez csökkenteni kell az áramlási veszteséget, ami a sebesség, valamint a súrlódási ellenállás mérséklésével érhető el. Ebben nagy szerepe van a folyószabályozásnak (medervonal kiegyenesítése,

* A magas tápanyag koncentráció nagymértékű fitoplankton virágzáshoz vezethet. Ez az egész vízfelszínt elborítja, és meggátolja, hogy a fény az alsóbb vizeket is elérje. Ez megállítja a mélyebb rétegekben a növények növekedését, és csökkenti a biológiai diverzitást.

töltésépítés, medencecsatornázás) és a vízepítési műtárgyaknak, különösen a duzzasztásnak, ami lelassítja a vízfolyást. A súrlódás csökkenését eredményezi, ha a vizet a természetes medertől eltérő, kisebb áramlási veszteséget okozó pályán vezetik, ami lehet a felszínen kialakított üzem-vízcsatorna, a föld belsejében kialakított alagút, vagy külön vezetett nyomócső. Az így kialakított pálya a természetes medernél rendszerint rövidebb és fala is simább.

Technikailag a legjobb (90-95%-os) hatásfokkal a víz potenciális energiáját tudjuk mozgási energia formájában hasznosítani. A potenciális energiakészlet egyrészt az adott szakaszon az időegység alatt átfolyó víz mennyiségével jellemzett vízhozammal, másrészt a szintkülönbségtől függő esésmagassággal arányos. Az áramló víz potenciálját elsősorban a domborzati viszonyoktól függő szintkülönbség szabja meg, emellett a mozgási energia szerepe többnyire elhanyagolható. Az áramlás sebessége ugyanis a leggyorsabb szakaszon sem haladja meg az 5-6 m/s-t, amihez tartozó kinetikus energia 1-2 m-es szintkülönbség potenciális energiájának felel meg. Az esésmagasság a szintkülönbség energetikailag kiaknázható hányada, ami a vízjárást befolyásoló műtárgyaktól (duzzasztómű, nyomócső) függ. A vízhozam időben változó mennyiség, ami nagyon erősen függ a vízgyűjtő terület csapadékviszonyaitól, hegyvidéken a hóolvadás lefolyásától, a nem energetika célú vízkivételezés (ipari felhasználás, öntözés, ivóvízkivétel) mértékétől, a tározókban, valamint a vízfolyásra telepített vízierőművek üzemkivitelétől.⁵

A szelek által keltett tengeri hullámzást is használhatjuk energiafejlesztésre, ami szintén a napenergia közvetett kiaknázása. Hullámok kialakulásának részletei meg több tekintetben tisztázatlanok, a szél hatásán kívül a vízmélységnek is jelentős a szerepe. A vízrészecskék körmozgásuknak és haladásuknak megfelelő kinetikus energiával, valamint a hullámhegy és hullámvölgy szintkülönbségének megfelelő energiával rendelkeznek. A számítások szerint: 1 m hosszú hullámfront teljesítménye 1 m-es hullámmagasságnál 1 kW, 2 m-es hullámoknál 10 kW, 5 m-es hullámoknál 100 kW és 13 m-es hullámoknál 1MW nagyságrendben mozog. Elvileg a hullám potenciális energiáját a nyomáskülönbség kiaknázásával lehet hasznosítani, a vízfelszín alatt lebegő berendezésekkel, vagy a mély vízben haladó hullámoknál a hullámprofil változását követő szerkezetekkel. A körpályán mozgó vízrészecskék kinetikus

⁵ Bihari Péter: *Energetika II.*

energiáját olyan aszimmetrikus profilú úszókkal próbálják kiaknázni, amelyeknek felső része követi a vízfelszín mozgását, alsó része pedig rögzített körpályán elfordul.

Az árapály esetében a tengervíz szintjének változása az óceánokban átlagosan kb. egy méter, ez egy erőmű számára kicsi, azonban vannak olyan helyek, ahol a szárazföldek elhelyezkedése miatt ez jóval nagyobb. Kanada északi részein néhol 15 m, Anglia és Franciaország partjainál egyes helyeken 13-14 m a szintkülönbség. Ehhez már csak egy kevés földmunkával kialakítható öböl, vagy könnyen elzárható nagyobb folyótorkolat szükséges, ahová a víz beáramolhat, illetve ahonnan kiáramolhat, miközben a turbinákat hajtja. A világon ilyen hely sajnos mindössze egy tucat van, így a kiaknázható energia csak kb. 100 GW. Összehasonlításképpen ez majdnem megegyezik 230 db paksi típusú atomreaktor-blokk teljesítményével.²

² *Vajda György: Energia és társadalom*

2.1.3. Vízerőmű

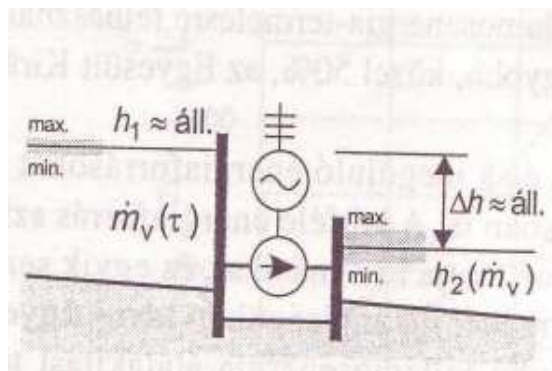
A vízerőműveket hagyományosnak tekinthetjük, ezek a kezdetektől elemei a villamosenergia-ellátásnak. Kedvező hidrológiai adottságokkal rendelkező országokban a vízerőművek régóta és számottevő mértékben vesznek részt a villamosenergia-termelésben. Az utóbbi években a vízerőművek adják a világ villamosenergia-termelésének 18-20 %-át. (2004-es adat)

2.1.3.1 Vízerőmű típusok

Felépítésük szerint lehetnek:

- **Folyami vízerőművek:**

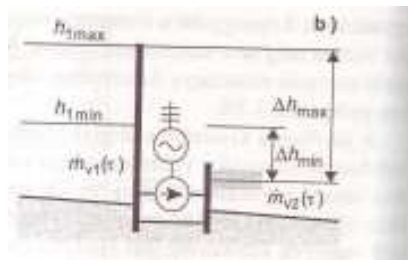
- átfolyós vízerőművek: az érkező vizet folyamatosan hasznosítják. A nagy vízhozamú és kis esésű folyami vízerőművek általában ilyenek. Az érkező víz szintje közel állandó ($h_1 \approx \text{áll.}$), és a vízesés magassága sem változik lényegesen ($\Delta h \approx \text{áll.}$). Bizonyos mértékű duzzasztás itt is van, amit a kiépített gát magassága határoz meg. A duzzasztás egyrészt a vízesés állandó értéken tartása indokolja, másrészt ily módon a folyami vízerőmű is részt vehet a villamosenergia-rendszer primer szabályozásában. Az elfolyó oldali vízszint (h_2) a vízerőművet elhagyó víz tömegáramától függ (\dot{m}_v).



3. ábra: Átfolyós folyami vízerőmű

Villamos teljesítményük: $P = \dot{m}_v g \Delta h \eta$, ahol η : a vízerőmű hatásfoka, g : nehézségi gyorsulás és a Δh : esésmagasság. Az elektromos teljesítmény elsősorban a mindenkori víz tömegáramától (\dot{m}_v) függ, ami az év során jelentősen változik, és évenként különböző.

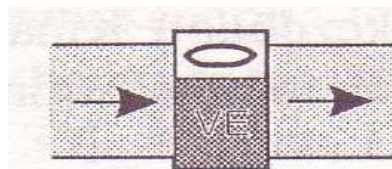
- tározós vízerőművek: naponta vagy szezonálisan gyűjtik a vizet a különböző módon kialakított tárolóba. A tárolás természetesen magasabb gátat igényel. A tározós vízerőművek pillanatnyi vízfelhasználása $[\dot{m}_{v,2}(\tau)]$ és villamos teljesítménye a mindenkori vízhozamtól $[\dot{m}_{v,1}(\tau)]$ függetleníthető, tárolt vizet nagyobb villamos terhelések időszakában, elsősorban a villamos csúcsidőben célszerű hasznosítani. Bármilyen tározás h_{\min} és h_{\max} között kisebb-nagyobb mértékű vízszint-ingadozással jár, ami a vízesés Δh_{\min} és Δh_{\max} közötti változását vonja maga után.



4. ábra: Tározós folyami vízerőmű

A tározós vízerőmű szélső esetben szakaszosan is üzemeltethető, pl. a villamos csúcsidőben. A „csúcsüzemű vízerőműnek” ehhez megfelelő magasságú gáttal és tározó térfogattal kell rendelkeznie. A gát növelése növeli a vízesést, és növelheti az évente termelhető villamos energiát.

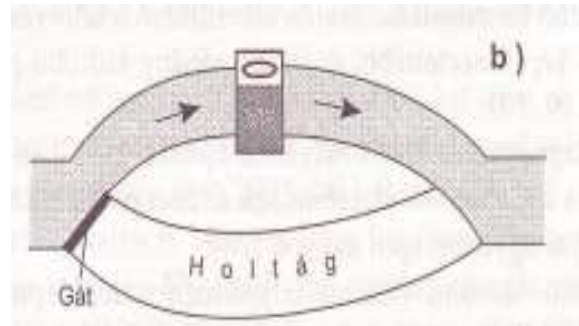
A csúcsüzemű vízerőmű haszna kettős, segíti a villamosenergia-rendszer menetrendtartását, és a csúcsidőben termelt villamos energia értékesebb.



5. ábra: Folyómederre telepített folyami erőmű

A folyami vízerőműveket általában a folyómederre telepítik. Megfelelő folyómeder esetén ez a megoldás a kézenfekvő, ez jelenti a legkevesebb környezeti beavatkozást, és létesítési költségei is mérsékeltek.

A folyó kedvezőtlen mederviszonyai esetén viszont egyszerűbb és olcsóbb lehet, ha a főmeder rendezése helyett, azzal párhuzamosan, külön üzemvíz-csatornát építenek, és arra telepítik a vízerőművet, és a hajóutat.

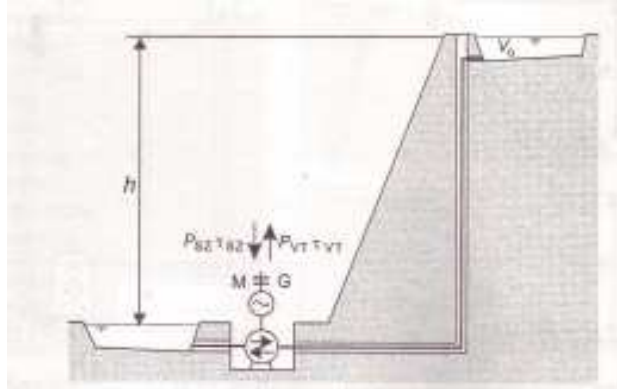


6. ábra: Üzemvíz-csatornára telepített folyami erőmű

Az üzemvíz-csatornás vízerőmű létesítése nagyobb beavatkozás jelent a természeti környezetbe. Mindenképpen beavatkozás az új üzemvíz-csatorna megépítése, de jóval nagyobb lehet a környezeti hatása annak, hogy a folyómeder eredeti viszonyai lényegesen megváltoznak, a vízelvezetés következtében.

- **Szivattyús tározós vízerőművek:**

A valódi vízerőművektől abban térnek el, hogy többnyire nem hasznosítanak a természetben található vízi energiát, de ezek is vízzel dolgoznak. Az energia tárolásához két V_0 hasznos térfogatú víztároló áll rendelkezésre, az alsó és felső víztároló között h szintkülönbség van. Az adott szintkülönbség mellett tárolható mechanikai energia: $E_0 = V_0 \rho \cdot g \cdot h$, ahol ρ a víz sűrűsége, g a nehézségi gyorsulás.



7. Ábra: Szivattyús tározós vízerőmű

A felső víztároló teljes feltöltéséhez villamos csúcsidőn kívül a szivattyúzás villamosenergia-felvétele a villamoshálózatból:

$$E_{SZ} = \frac{E_0}{\eta_{ST}\eta_v}, \text{ ahol } \eta_v \text{ a villamos csatlakozás hatásfoka, } E_0 \text{ tárolható mechanikai}$$

energia és a η_{ST} a szivattyú turbina-hatásfoka.

A felső víztároló teljes kisütésekor villamos csúcsidőben a vízturbina villamosenergia-kiadása a villamoshálózatba:

$$E_{VT} = E_0 \eta_{ST} \eta_v.$$

Ha a két hatásfok feltöltéskor és kisütéskor megegyezik, akkor a szivattyús tározós vízerőmű kétirányú energiaátalakításának eredő hatásfoka:

$$\eta_{\text{át}} = \frac{E_{VT}}{E_{SZ}} = (\eta_{ST} \eta_v)^2$$

A tározás eredő hatásfoka 0,7-0,8 közötti értéket érhet el. Ilyen hatásfokkal pl. az olcsóbb éjszakai áramot célszerű drágább csúcsidei villamos energiává konvertálni.

A szivattyús tározós erőmű felépítésének egyik fő kérdése a víztároló kialakítása. Legkézenfekvőbb, ha alsó víztárolóként egy megfelelő vízhozamú folyó áll rendelkezésre, a felső víztárolót pedig a mellette lévő hegyen tóként alakítanak ki. Ha nincs megfelelő vízhozamú folyó, akkor az alsó és felső víztároló egyaránt tó lehet. Megoldást jelent még az is, ha az alsó víztárolóként meglévő vagy létesítendő fölalatti üreget alkalmaznak.

A szolgáltatott elektromos teljesítmény nagysága szerint lehetnek:

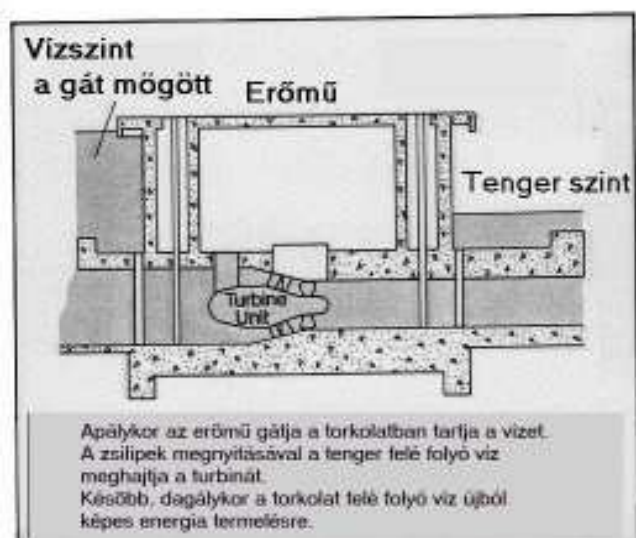
- Nagy vízerőművek:
Teljesítményük nagyobb 25 MW-nál. A nagy vízerőművek többsége környezeti gondokat vetett fel, többnyire nem illesztették sikeresen a természeti környezetbe, de létesítésükkel több vízrendészeti, árvízvédelmi feladatot megoldottak. A nagy vízerőművek létesítési költségei igen nagyok. A nagy beruházási költségeket gyakran több célra terhelhetik, az energiatermelés mellett öntözésre, árvízvédelemre, hajózásra, üdülő- és szabadidő-körzet kialakításra stb.. A költséges nagy vízerőműveket általában fejlett, nagy országok létesítenek. A nagy vízerőműnek villamos teljesítménye 4-8000 MW-ot is meghaladhatja.
- Kis vízerőművek:
Teljesítményük 100 kW-25 MW közötti. Környezetre káros hatásuk szinte nincs, létesítésük gyakran vízrendészeti szándékból vetődik fel.
- Törpe vízerőművek:
Teljesítményük 100 kW alatt van, kis teljesítményük miatt inkább a helyi energiaellátásban hasznosak. Az elmúlt évtizedekben általában nagy berendezések építése volt előtérben, ami nem kedvezett a kis teljesítményű, környezetbe könnyen illeszthető vízerőművek létesítésének. Európában pl. a kisteljesítményű vízerőmű potenciálnak csupán kb. 20%-át használták ki.³

Árapályerőművek:

Az árapály energia a vízenergia egyik fajtája. Hold és a Föld egy közös tömegközéppont körül kering; mivel a Föld tömege sokkal nagyobb, mint a Hold tömege, ezért a közös tömegközéppont a Földhöz közelebb, pontosan a Föld felszíne alá esik. Földön mindig két olyan terület van, ahol az óceán vízszintje magasabb, azaz két dagálykúp keletkezik. Az egyik dagálykúp úgy jön létre, hogy az óceán vízmennyisége a Hold tömegvonzása miatt a Hold irányába tart és ott megemelkedik. A Föld forgásából származó centrifugális erő hatására a Holddal átellenes oldalon is létrejön egy dagálykúp, mivel itt nagyobb a centrifugális erő, mint a Hold gravitációs

³Büki Gergely – Erőművek

vonzereje. Az árapály energiát hasznosító rendszerek a napi kétszeri dagályhullámot vagy apályt hasznosítják.



8. ábra: Árapályerőmű (forrás: <http://www.iclei.org/efacts/>)

Apály idején, a gát turbináin a tenger felé engedik a vizet, miközben energiát állítanak elő. Az emelkedő tengervízszint zsilipek segítségével a gát túloldalára engedhető és a dagály tetőpontján lezárható. Apálykor a gát tenger felőli oldalán a vízszint lecsökken, és a folyótorkolatban rekedt víz az erőmű túloldalára igyekszik áramlani. Ilyen erőművekkel 24,8 órás periódusonként kétszer lehet energiát termelni. A turbina forgási sebessége általában alacsony, 50-100 fordulat/perc. Mivel az erőművön viszonylag rövid idő alatt igen nagy mennyiségű víz folyik át, így sok turbinára van szükség. Reverzibilis turbinákkal a gát bármelyik oldalára áramló vízből lehet energiát termelni és ez kiegyensúlyozottabbá teszi a teljesítményt. Ezek a turbinák azonban sokkal bonyolultabbak és drágábbak.

Az energiatermelés alapmechanizmusa pedig innen már a vízierőművekéhez hasonlít, vagyis a víz a turbinán átfolyva meghajtja a generátort, ami elektromos áramot termel. A fő különbség a víz és árapály erőművek között - eltekintve a sósvízi környezettől - az, hogy az utóbbi esetében a turbináknak változó mennyiségű vizet kell hasznosítani. Az árapály erőmű által termelt teljesítmény az ár és az apály közötti vízszint különbség négyzetével arányos. A Rajna folyó torkolatában, Bretagnenál épült gát 240 MW-ot termel több mint 25 éve. Egy 18 MW-os turbinát az 1980-as évek közepén helyeztek üzembe Annapolis Royalban, a kanadai Új-Skóciában. Európa összes ár-apály által termelt elektromos energiának felét az UK-ban állítják elő. Az Egyesült Királyság teljes

ár-apály potenciálja elméletileg kb. 53 TWh/év ez 17%-a a jelenlegi elektromos áram termelésnek.^{3 8}

2.1.3.2. Vízerőművek hazánkban

A vízrendszer jellegéből adódóan Magyarországon igen alacsony a folyók esése - nagy alföldi térségbe futnak ki a hegyvidéki területekről - és világ legalacsonyabb esésű folyói közé sorolhatóak. A Tiszának például 1 km-en csak 2-3 cm az esése. Ilyen viszonyok mellett - gazdaságossági szempontból - az energetikai kihasználásra nem sok remény van, ezért pl. a tervezett erőműveket, amelyeket még évtizedekkel ezelőtt megterveztek, nem nagyon tudták kivitelezni.

Magyarország műszakilag hasznosítható vízerő-potenciálja kb. 1000 MW, amely természetesen több mint az optimálisan hasznosítható energia. A megoszlás a következő:

- Duna 72%
- Tisza 10%
- Dráva 9%
- Rába, Hernád 5%
- Egyéb 4%

A teljes hasznosítás esetén kinyerhető energia 7000-7500 millió kWh lenne évente. A valóságban viszont:

- a Dunán nincs villamos energia-termelésre szolgáló létesítmény
- a Tiszán a Tiszalöki Vízerőmű és a Kiskörei Vízerőmű található 11,5 MW és 28 MW teljesítménnyel
- a Dráván jelenleg nincs erőmű
- a Rábán és a Hernádon, ill. mellékfolyóikon üzemel a hazai törpe vízművek többsége
- egyéb vizeken nincs működő energiatermelő rendszer

A hazai kis-és törpe vízerőművek nagy része a kedvezőbb adottságokkal rendelkező Nyugat-Dunántúlon, a Rába baloldali vízgyűjtő területének kisvízfolyásain található. Az itt található négy vízerőmű együttes teljesítménye 2085 kW, évi átlagos

³ *Open University - Renewable Energy*

⁸ *Online Learning Environment - Tidal Power*

energiatermelésük 10 millió kWh. A négy erőmű közül a legnagyobb és egyben a legrégebbi az Ikervári Vízerőmű, amelyet 1896-ban alakítottak át egy régi malomból. Az erőműben 5 db vízszintes tengelyű iker turbina üzemel, összesen 1,4 MW beépített teljesítménnyel, amelyek átlagosan évi 7,6 millió kWh energiát termelnek. Az ún. kiépítési vízhozam 28 m³/s, az esésmagasság 8,4 méter. A Körmendi Vízerőművet ugyancsak egy régi vízimalomból alakították át 1930-ban. Az erőműben 2 db turbina üzemel, összesen 0,24 MW, azaz 240 kW teljesítménnyel, amelyek éves szinten 1,3 millió kWh energiát tudnak termelni. A kiépítési vízhozam 8,6 m³/s, az esésmagasság 4,1 méter. Érdekessége az erőműnek, hogy a duzzasztást egy - manapság már ritkaságszámba menő - rőzsegát biztosítja.

A Csőrőlneki Vízerőműben 3 db turbina üzemel ugyancsak 240 kW beépített teljesítménnyel már 1909 óta. Az évenként termelt villamosenergia 1,2 millió kWh, amelyet 13 m³/s kiépítési vízhozam és 3,5 méteres esésmagasság mellett produkál az erőmű. A duzzasztást itt is rőzsegát biztosítja. Az Alsószőlőneki Vízerőműben 4 db turbina 200 kW beépített teljesítményű 12 m³/s vízhozammal és 3 méteres esésmagassággal. Észak-Magyarország területén a Hernádból kiágazó Bársonyos csatornán öt törpe vízerőmű üzemel. Mindegyik a század elején létesült, helyi energiaforrásként, egy-egy 40 kW-os turbinával. Összteljesítményük 200 kW, éves átlagos energiatermelésük 0,5 millió kWh lenne, de kettő már üzemképtelen közülük. Rajtuk kívül három közepes teljesítményű vízerőmű hasznosítja még a Hernád vízerőkészletét.

A Kesznyéteni Vízerőmű 1943 óta üzemel. Két, egyenként 2,2 MW teljesítményű turbinával az évi átlagos energiatermelés 23,5 millió kWh. A kiépítési vízhozam 40 m³/s, az esésmagasság 13,5 m.

A Felsődobszai vízerőműben 4 db turbina üzemel. Együttes teljesítményük 0,52 MW, éves termelésük 3 millió kWh. A kiépítési vízhozam 20,8 m³/s, az esésmagasság 3,5 méter. Az erőmű 1906-ban létesült.

A Gibárti Vízerőmű 1903-ban létesült két db turbinával. Összteljesítménye 0,5 MW, éves termelése 3 millió kWh. A kiépítési vízhozam 18 m³/s, az esésmagasság 4,4 méter.

Mindkét területen az erőművek rekonstrukciójával növelni lehetne a teljesítményt.****

**** www.kekenergia.hu

Jövő tervezése:

- A Közép-Tiszavidéken tervezett Csongrádi Vízerőműnek
- Készül egy terv Dombrád, majd Szabolcsveresmart Záhony Benk térségében vízerőmű létesítésére, valamint Vásárosnaménynál
- A Szamos folyó magyar szakaszán Rápolyt környékén is készül vízerőmű létesítési terv.
- Jövőre kezdődik meg a 2 MW teljesítményű békésszentandrás erőmű építése, amely a Hármas-Körös felduzzasztott vizével termel majd energiát.
- Vas megyei Kenyeri határában, a Rábán valósul meg.*****
- Maros folyón Makó alatt lenne elhelyezhető vízlépcső
- Prédikálószerék környékén a Pilis-hegységben egy mesterséges tavat terveztek: 500 m szintkülönbség van a Duna és a tervezett mesterséges tó szintje között. A tervek szerint 7 óra alatt szivattyúznak fel a vizet és szükség esetén - az energiafogyasztás csúcsidőszakában - 4,5 óra alatt engednék vissza a Dunába, közben 1200 MW-os turbinákat járatva vele.
- Terv készül egy Tokajnál létesítendő szivattyús energiatározóra is. Itt a Tiszalöki-vízlépcső által felduzzasztott Bodrog vizét emelnék fel az Öreg-hegyen kialakított, 1,1 millió m³-es tározótóba. A magasságkülönbség 403 m. A beépítendő teljesítmény 270 MW.¹⁷

2.1.3.3. Vízerőművek környezeti hatásai

A vízerőművek nem szennyeznek ugyan a környezetet, de létesítésük és működésük során más nem kívánatos környezeti hatások lépnek föl. Minden völgyzáró gát megépítésekor az építkezés helyén rongálják a talajt, átalakítják a domborzatot, hatalmas mennyiségű betont építenek be a gátba. A tereprendezés pusztító hatása mellett nagy átalakulást okoz az élővilágban a felduzzasztott víz. A víztárolók területén elpusztul az eredeti élővilág, környékükön megváltoznak az ökológiai viszonyok: gyors

***** www.emenedzser.hu/vizeromu.htm

¹⁷ Lakatos Károly és Ökrös Pál: *A vízenergia észak-alföldi hasznosítása a múltban és a jövőben*

vízfolyás helyett csaknem mozdulatlan víztömeg jön létre, a víz oxigéntartalma lecsökken, partmenti sekély részein felmelegszik, stb.

Az élővilágra gyakorolt hatáson kívül a gátépítés vízrajzi következményei sem elhanyagolhatók. Megváltoznak a hordalékszállítás, és a lerakás körülményei. Az Asszuáni-gát mögött felduzzasztott Nasszer-tóban 13 millió m³ iszap rakódik le évente, ami a tó gyors feltöltődését okozza. Ugyanakkor ez az iszap hiányzik a gát alatti ártéri síkságról, amelyet korábban ez az iszap tett termékennyé.

A nagy gátak mögött felduzzasztott óriási víztömeg olyan súllyal nehezedik a kőzetekre, hogy azok a nagy nyomás miatt elmozdulhatnak, s ennek eredményeként földrengéseket okozhatnak.

A vízierőművek gyakran egy-egy állam életében igen nagy szerepet játszanak az energiatermelésben, de ugyanakkor az ökológiai hatásuk rendkívül negatív, különösen hosszú távon számolva. Ha csak a braziliai Parána folyót vesszük - Argentína és Paraguay területén - itt egy egész tórendszert, tavak láncolatát alakította ki a kiépült vízierőmű, és így rendkívül erősen befolyásolta a környezetet és élővilágot. Ha például nem megfelelő az erőmű megépítése, egyes halak nem tudnak eljutni a felső szakaszokra, hogy ott ikráikat lerakják, így veszélybe kerülhet a faj fennmaradása. A lebegő vízinövények a lelassult folyókon és a víztárolóban rendkívül elszaporodhatnak, ezzel akadályozzák a víz áramlását. Megállapítható, hogy a térségben kialakított vízrendszer, ami főleg a hajózást szolgálja egy teljes mocsárvilágot fog majd kialakítani, vagy már részben kialakított.

Ilyen és ehhez hasonló ökológiai hatást tapasztalunk Kelet-Afrikában, Nyugat-Afrikában és számos helyen, ahol ezek a gátak leblokkolják az üledéket és a tápanyagok áramlását. A folyótorkolatok, delták, amelyek eddig mindig mangrove-erdőknek adtak otthont, folyamatosan gyorsított erózióval pusztulnak. Az üledék-ellátottság csökkenése, (ami helyenként viszont a tápanyag ellátást biztosította) a part menti övezetekben élő földművelési kultúrák fennmaradását veszélyezteti. A tengeri élővilágra is hatással van üledékromlás, hiszen a beáramló üledék sok állat számára jelent táplálékot.

Tározós erőműveknél a felszíni víztárolók jelentős hatással vannak a környezetre. Tájba-illesztésüket nehezíti, ha a feltöltés és kisütés között nagy a vízszintingadozás. A víztároló létesítése kedvező is lehet a környezet számára, pl. üdülőkörzet kialakításához is vezethet. A környezeti hatások megakadályozhatják

szivattyús tározós erőművek építését. A tájképet ronthatja a nagyméretű töltő/kisütő csővezetékek felszíni vezetése.

A nagy vízerőmű-projektet sok környezetvédelmi és szociális alapú bírálat éri. A duzzasztógáták és a vízgyűjtő medencék elkerülhetetlenül szükséges nagy méretei következtében az érintett területek víz alá kerülnek, megzavarják a helyi ökoszisztemeket, csökkentik a biodiverzitást*, megváltoztatják a vízminőséget, továbbá a helyi lakosság elköltöztetésével és áttelepítésével nagyfokú társadalmi-gazdasági károkat okoznak.¹¹

A tervezett létesítményekről a megvalósíthatóság tanulmánnyal együtt környezeti hatásvizsgálatot kell készíteni, melyet az illetékes hatóságokkal és lakossággal szükséges megvitatni, egyeztetni, engedélyeztetni.

A teljesség igénye nélkül a legfontosabb megvizsgálandó kérdések egy vízerőmű létesítését megalapozó tanulmányban:

- esztétikai szempontok és a környezetbe való illeszkedés
- hanghatások (zaj, rezgés)
- biológiai szempontok
- felhasználással kapcsolatos kockázat¹²

* A biodiverzitás a földi életet alkotó gének, fajok és ökoszisztémák változatosságát foglalja magába.

¹¹ Környezetvédelmi lexikon

¹² Oláh György, Alain Goepfert, G.K. Surya Prakash – Kőolaj és földgáz után: A metanolgazdaság

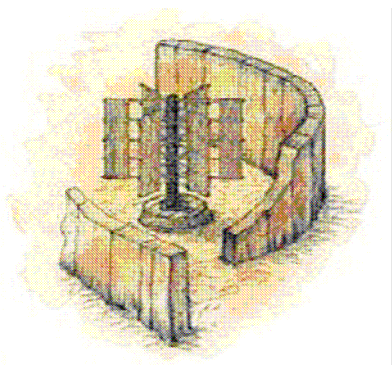
2.2. Szélenergia

2.2.1. Szélenergia története

A szél régóta fontos szerepet tölt be az emberiség történetében. Először ötezer évvel ezelőtt az egyiptomiak hasznosították tudatosan, amikor vitorlás hajóikkal a Níluson közlekedtek. Az első szélmalomról szóló beszámoló Babilóniából származik. A szél energiáját a legrégebbi időkben csak a hajók és dereglyék hajtására használták fel. Vitorlákat már a primitív ősemberek is használtak vízi járműveik hajtására, ugyanúgy, ahogy a ma élő vízpartlakó emberek is. Amikor azután kialakult az első szélmalom gondolata, a vitorlás hajóról vették a mintát, vitorlákat feszítettek ki a szélkerék küllőire és ezeket a vitorlákat ugyanúgy kezelték, mint a hajó vitorláit: kifeszítették, bevonták, ahogy a szél ereje megkívánta.

Amikor az ősi társadalmak már öntözéses mezőgazdálkodást folytattak és gabonájukat lisztté őrölték, szükségük volt valamiféle erőforrásra is, amellyel az öntözővizet a földekre emeljék és a malomköveket az őrléshez szükséges mozgásban tartásuk. Erre a célra kezdetben az emberi erő volt az egyetlen energiaforrás, amihez később az igavonó állat ereje is járult. Ezek helyett kedvező széljárású vidékeken a szél energiája valósággal kínálkozott a kihasználásra.

A legősibb szélmalomok romjait Sven Hedin svéd kutató expedíciója az iráni-afgán határ közelében, Neh-ben fedezte fel. Az itteni szélviszonyok különösen kedvezőek a szélmalomok felállítására szempontjából, mert itt jóformán állandó északi szél fúj.



9. ábra: Perzsa szélmalom (forrás: <http://www.chemonet.hu/hun/index.html>)

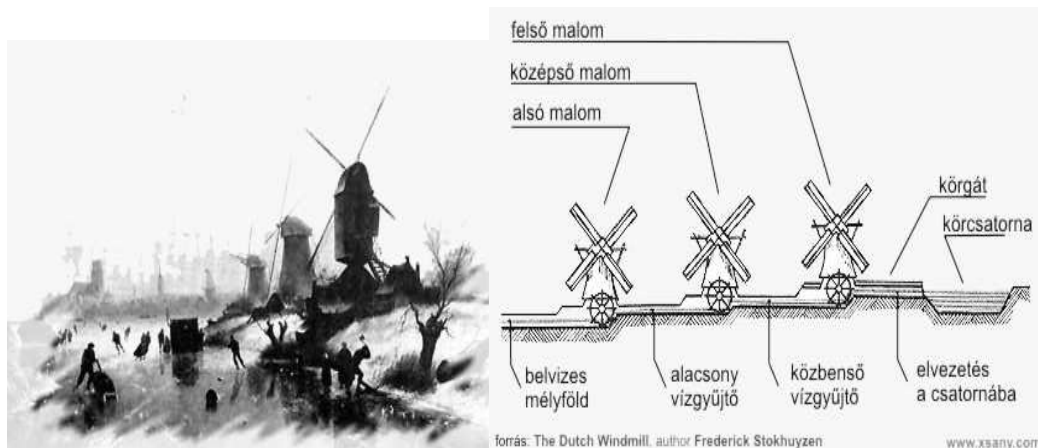
A perzsa szélérőműveket is erre az állandó egyirányú szélre kellett beállítani, sőt arra is volt mód, hogy több szélkereket állítsanak fel sorban egymás mellé, az uralkodó szél irányával szemben anélkül, hogy ezek egymást zavarták volna. A szélkerekek függőleges tengelyűek voltak. Ezeket vízszivattyúzásra, öntözésre és gabona őrlésére használták.

Feltételezhető, hogy a perzsa malmok a kereszties hadjáratok idején kerültek Európába, ahol a vízimalmok és a szárazmalmok elvei alapján átalakították. Az átalakítás lényege az volt, hogy a szélmalmost függőleges forgássíkú vitorlával, vízszintes helyzetű tengellyel, valamint a forgássíkot módosító és a sebességet fokozó áttételekkel látták el.

A függőleges tengelyről a vízszintesre való áttérést valószínűleg az indokolta, hogy így nagyobb hatásfokkal lehet kihasználni a szél energiáját. Növelte a hatásfokot, amikor bevezették a lapátok szélirányba forgatását. Ezt kézzel végezték. Néhány évszázaddal később a szélmalmokat alkalmassá tették vízszivattyúzásra is. Az iparosodás koráig a szélmalmok más feladatokat is elláttak, mint pl. a fűrészelés, öntözés, fűszer-, kakaó-, dohányfeldolgozás.

Az észak-európai szélmalmok létezését igazoló legrégebbi okmány a IX. századból maradt fenn. Angliában, a croylandi apátságban, i.sz. 806-ban létesítettek egy szélmalmost, majd Franciaországban 1105-ben szélmalom építési terveit nyújtották be az egyik kolostornak. Okmányok szerint Németalföldön a XIII. század vége felé, Németországban pedig a XV. században építettek szélmalmokat. Hollandiában a „szélérőművek” a későbbi századokban úgy megszorodtak és szerkezetileg is annyira tökéletesedtek, hogy a XIV-XV. században már külföldi bér munkát is vállaltak. Hollandia öntözéses mezőgazdaságának nagyarányú fejlődését is részben szélérőtelepeinek köszönheti; ezeket használták vízszivattyúzásra.⁶

⁶ Tóth László – Dr. Horváth Gábor: *Alternatív energia*



10. ábra: Holland szélmalomok (forrás: www.kekenergia.com/archiv/szelmalom.html)

A hollandok küzdelme a tengerrel a múlt homályába vész. Az áradások ellen elsődlegesen a csatornahálózat kiépítésével és a tavak rendezésével kíséreltek meg védekezni. Küzdelmüket a tenger sokszor megghiúsította, 1421.-ben például egy hatalmas nagy - Elizabeth névre keresztelt - áradás borított el több mint 72 falvat, ezek halálát okozva. 1400 után egy átfogó csatornahálózatot építettek ki, gátakkal erősítették meg, és a vízemelésre szélmalomokat kezdtek el használni. A szélmalomokat rendszerint csoportokba szervezték. A mélyebb területekről kiindulva általában 1,6 méterenként telepítettek egy malom. Három egymást követő malom után következik egy körcsatorna, ahová az egy szinten található csoportok egyszerre "dolgozhatnak", és ebből a csatornából a magasabban fekvő szélmalomcsoportok emelik tovább a vizet.

A szélerőművekre felszereltek egy hátsó, függőleges lapátot, amely a lapátok szélirányba való beállításáról gondoskodott. Kezdetben a szélkerekek lapátjai fából készültek. 1870-ben nagy áttörést jelentett, hogy a fa lapátokat vékony acéllemezekre cserélték. Az acéllemezek könnyebbek voltak, nagyobb sebességet és hatékonyságot értek el velük.

1889-ben 77 szélerőmű gyártó cég működött az USA-ban, amelyek exportra is termeltek. Az 1930-as években az amerikai farmokon szélerőművekkel állították elő a villamos áramot is. Az ötvenes években azonban, amikor az elektromos hálózatot már majdnem mindenhol kiépítették, háttérbe szorult a használatuk.

A 20. század második felében az olajár ingadozásának függvényében folytak a kutatások és fejlesztések a szélenergia-hasznosítás területén, főképp Dániában, Németországban, az Egyesült Államokban, Svédországban, Kanadában és az Egyesült Királyságban. Ebben a században megjelentek a dán háromlapátos szélturbinák. Az amerikaiak többször tettek negatív megjegyzéseket a dán szélerőművekre, mégis a

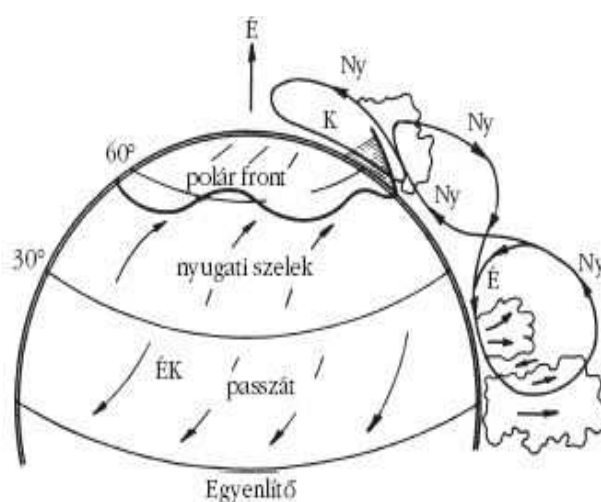
nyolcvanas évek közepén, az állami támogatás eredményeképpen felfutó kaliforniai szélérőmű farmtelepítések során a gépek fele már Dániából származott. Ennek oka, hogy a dán szélérőművek megbízhatóan, alacsony fenntartási költséggel működtek. Dánia kiaknázza a szélenergia hasznosításban rejlő lehetőségeket, hiszen a kilencvenes években kedvező áram-átvételi árakkal segítették a szélérőmű telepítéseket. A 21. századba úgy léptek be, hogy az ország villamos energia igényének 13%-át szélenergiából fedezték. Jelenleg a dán szélenergia kapacitás 80%-a egyéni tulajdonban van és a világon üzemelő szélturbinák közel fele Dániában készül. Az egy lakosra eső szélenergia-kapacitás terén ötszörösen és az egységnyi területre eső szélenergia kapacitás esetén is háromszor akkora előnye van, mint Németországnak.

Napjainkban egyre nagyobb teljesítményű szélérőműveket gyártanak és telepítenek. Az egyre nagyobb méretű turbinák gyártását az anyagtudomány rendkívül gyors fejlődése teszi lehetővé. A nagy előrelépést a repülőgépekben is használt üvegszál-kompozit anyagok alkalmazása jelentette. A fejlesztéseknek köszönhetően a szélérőművek teljesítménye és hatásfoka egyre nő.*

* http://www.nationalgeographic.hu/Print_default.asp?CurrentDate=6/13/2004

2.2.2. Szélenergia hasznosítása

A szél a légkörben kialakuló nyomáskülönbségek hatására jön létre. A légkör alsó rétegeiben végbemenő légmozgást a Nap sugárzó energiája hozza létre. A felmelegedett levegő ritkább, ezáltal felfelé emelkedik és helyébe hidegebb levegő áramlik. A trópusi területeken a légtömegek erősebben felmelegsznek, ezért a levegő felemelkedik és a sarkok felé kezd áramlani (antipasszát szél). A pólusok felé haladva lehűl, nyomása megnövekszik, süllyedni kezd, végül a föld felszínén visszaáramlik az Egyenlítő irányába (passzát szél).



11. ábra: Nevezetes légáramok⁶

A szélre hatással van a Föld forgásából származó Coriolis-erő, amely a forgó viszonyítási rendszerben a mozgó légtömegekre hat, ezért a kialakuló szél keleti vagy nyugati irányba fordul. Az északi féltekén nyugati szelek alakulnak ki. A légáramlást az egyenlítő és a trópusok között, az ún. Hadley-cirkuláció irányítja. A légtömeg az egyenlítőtől száll felfelé: a lehűlt levegő kb. a 30-as szélességi foknál ereszkedik le, és a felszínen keleti irányból visszatér az Egyenlítőhöz. A 30. földrajzi szélességi fokon a légtömegek összetorlódnak emiatt az egyenlítő és a 30. szélességi kör közötti övezetben eltolódnak úgy, hogy azok az észak-keleti irányból érkeznek.

Szél mozgási energiája: Az A keresztmetszeten, v sebességgel átáramló ρ sűrűségű légtömeg tömegárama:

⁶ Tóth László – Dr. Horváth Gábor: *Alternatív energia*

$$\dot{m} = \rho Av, \quad \left[\frac{kg}{s} \right].$$

Ennek felhasználásával az egy másodpercre vonatkozó mozgási energia:

$$P_k = \frac{1}{2}(\rho Av)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3, \quad [W],$$

Az egyenlet három dologra hívja fel a figyelmet:

- a szélenergia arányos a levegő sűrűségével, vagyis nagyobb magasságban ugyanahhoz a szélesebességhez kevesebb energia tartozik,
- a szélenergia a szélesebesség köbével arányos, ezért igen fontos a nagy szélesebességű helyek kiválasztása
- a szélgenerátoroknál a szélenergia arányos a rotor által súrolt felülettel, vagy a rotor átmérőjének a négyzetével.

A szél erőművek a szél energiájának maximum 59,3 %-át képesek hasznosítani, ez a Betz-maximum. A gyakorlatban, - részben technikai okokból, és a szél változásai miatt - további veszteségek lépnek fel: ténylegesen 20-30% hatásfok lehet a felhasználás. Egyértelmű, hogy a turbinák teljesítménye alapvetően függ a szélesebességtől, ezért a turbinák telepítési helyének optimalizálása döntő jelentőségű a gazdaságosság szempontjából.

A szélgépekkel energiatermelés céljából 30-40 m fölé kell, de legfeljebb 100-200 m talajszint fölötti magasságig tudunk hatolni, így csak ezen magasság érdekel bennünket. Mivel a mérőberendezést általában csak 10-20 m talajszint feletti magasságokban tudjuk elhelyezni, ezért a szélesebességet a megfelelő magasságra át kell számítani. A szélesebesség a talajszint feletti magassággal arányosan nő, mely a széleskörű megfigyelések és mérések alapján a következő formula szerint számítható át

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}}$$

ahol: v_1 – szélesebesség a talaj-közeli h_1 magasságban

v_2 – a h_2 magassághoz tartozó számított szélesebesség⁶

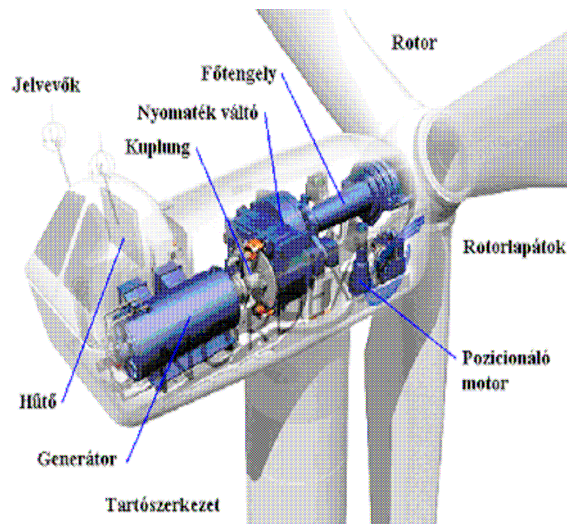
⁶ Tóth László – Dr. Horváth Gábor: *Alternatív energia*

2.2.3. Szélerőművek

2.2.3.1 A szélerőművek típusai, működésük

Ma a szélenergia hasznosításának alapvetően két irányzata különíthető el:

- A lokális felhasználásnál elsősorban a sűrűlapátos, ún. lassújárású szélerőgépeket (szélmotorok) találjuk meg, amelyek kis teljesítménnyel rendelkeznek, és dugattyús vagy membránszivattyút működtetve vizet szivattyúznak, tavakat szellőztetnek. Az ilyen gépek 1-2 kW teljesítménnyel villamos energia előállítására is felhasználhatók elektromos hálózattól távolabb eső területeken. Az energiatárolás akkumulátorokkal valósítható meg.
- A mai modern szélerőműveknél már nem a szélellenállás, hanem a lapátokra ható felhajtóerő elvét – ld. repülőgépszárny – hasznosítják. Az ellenálláselven működő berendezéseknél a szél energiájának 15%-a hasznosítható, míg a felhajtóerőelven működő berendezéseknek maximum 60%-a. Egy meghatározott minimális szélerősség esetén (2,5-3 m/s) kezd működni a berendezés. Egy bizonyos, nagy szélerősség esetén (kb. 24-26 m/s) a rotor terhelése túl nagy lesz, ezért ekkor a „pitch”^{*} szabályozású berendezéseket automatikusan leválasztják a hálózatról, a szárnyak „zászlóállásba” (szélirányba) állnak, a rotor üresjárásban forog.

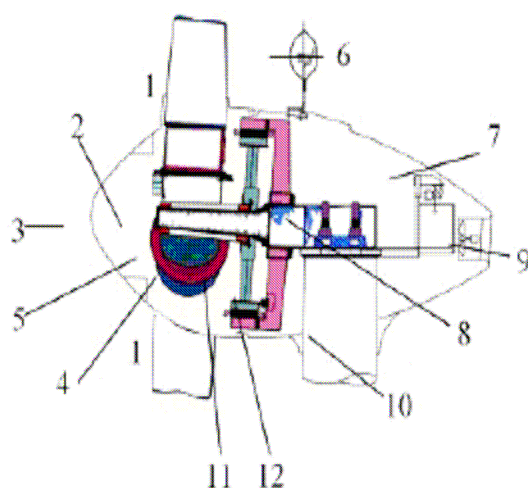


12. ábra: Hajtóművel szerelt szélerőmű (forrás:www.enercon.com)

* Pitch control: a lapát szögét szabályozza a szél sebességének megfelelően.

A korszerű szélerőművek 3 lapátos rotorja hajtómű közbeiktatásával vagy közvetlenül hajtja meg az áramtermelő generátort. Kezdetben a 4 és 6 póluspárú aszinkron generátorral szerelt szélerőművek terjedtek el, amelyeknél a kis szélesebségnél az 1000-es, és nagy szélesebségnél az 1500-as percnkénti fordulatszámot a hajtómű biztosította. Ennek megfelelően a rotor fordulatszámát a két szélesebség-tartományban állandó értéken kell tartani.

Újabb terjednek a hajtómű nélküli, sokpólusú, gyűrűs szinkrongenerátorokkal szerelt szélerőművek. Itt a turbina közvetlenül hajtja meg a generátor forgórészét. A fordulatszámot, a lapátszög elfordításával, az automatika fokozat nélkül úgy szabályozza, hogy a leadott nyomaték a legnagyobb legyen. A generátor által előállított változó feszültségű és frekvenciájú áramot egyenirányítják, majd ezt az egyenirányított (fordulatszámától független) áramot alakítják vissza a hálózatnak megfelelő feszültségű és frekvenciájú váltakozó árammá. Így gyakorlatilag a rendszer vezérlése a hálózatról történik.



- 1- lapát,
- 2- lapátforgató motor,
- 3- burkolat,
- 4- tengely,
- 5- csapágy,
- 6- szélesebség- és szélirány mérő,
- 7- alkatrész daru,
- 8- tengely felfogása,
- 9- hűtőventillátor,
- 10- állvány,
- 11- generátor forgórész,
- 12- generátor állórész

13. ábra: Hajtómű nélküli szélerőmű sokpólusú szinkron generátorral

(forrás: www.enercon.com)

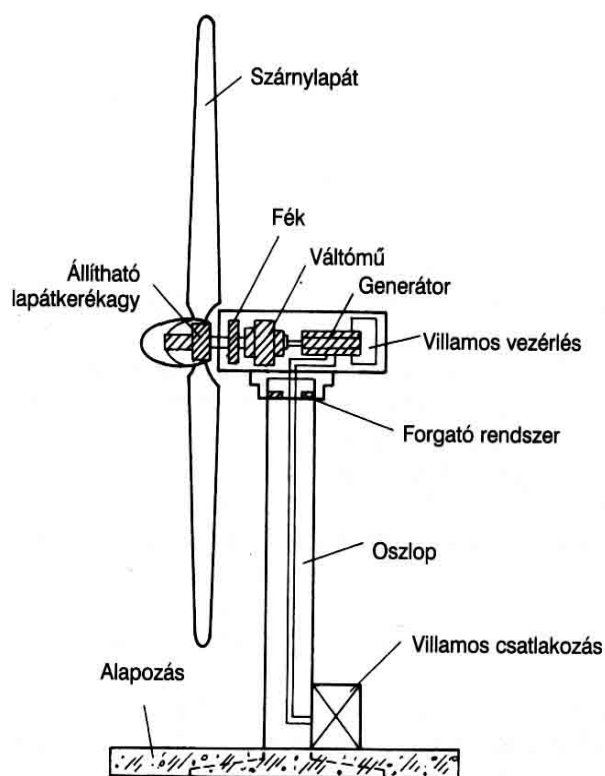
A két típus közül egyelőre a hajtóműves változat terjedt el jobban, de a hajtómű zajemissziója, olajhűtése eddig is sok problémát vetett fel az üzemeltetés során. Várható, hogy a jövőben a hajtómű nélküli szélerőmű típusok terjednek el inkább főleg az „onshore”^{**} szélerőmű parkoknál. Ezt igazolni látszik az a tény is, hogy az első 5 MW teljesítményű szélerőmű is hajtómű nélküli, szinkron generátorral készült. ⁴

^{**} szárazföldi

⁴ Dr. Tar Károly, Dr. Hunyár Mátyás, Dr. Veszprémi Károly, Dr. Tóth Péter Biróné, Kircsi Andrea, Szépszó Gabriella: A szélenergia hasznosítása

A nagy teljesítményű szélörvények telepítése elsősorban a tengerparti sekélyebb vizeknél várható, ahol a környezeti hatások kevésbé jelentkeznek. Ma már 150 MW összteljesítményű „offshore”^{***} szélörvény park is üzemel 2 MW egységteljesítményű szélörvényekkel. Villamos szélörvény felépítése ma már mind a lapátózás, mind a kapcsolódó egységek szempontjából kiforrott.

A szélörvények főbb részeinek jellemzői a következők:



14. ábra: Szélörvény felépítése⁴

- *Oszlop:* A gépház nagyságától függően 30-120 m magas oszlopokon van elhelyezve, benne a villamos generátor, amelyet szélörvény hajt. Az oszlop magassága általában 1-1,5-szerese a lapátörvény átmérőnek. Manapság a hengerelt acél oszlop a legelterjedtebb Európában, míg az Egyesült Államokban a rácsszerkezetű. A kisebb szélörvényeknél alkalmazzák az acélsodronyos kifeszítést is, az egyszerűbb szerkezet miatt. Az oszlop magasságát optimalizálni kell a jobb szélviszonyok, szilárdságtani és gazdasági tényezők függvényében. Az oszlopot természetesen villám- és rövidzár védelemmel látják el.

^{***} vízi, szó szerint: parttól távoli

⁴ Dr. Tar Károly, Dr. Hunyár Máttyás, Dr. Veszprémi Károly, Dr. Tóth Péter Biróné, Kircsi Andrea, Szépszó Gabriella: A szélenergia hasznosítása

- *Szárnylapát:* A szélgenerátor legfontosabb eleme a lapátkerék, amely a levegő mozgási energiáját alakítja át a főtengelyre ható forgási energiává. A főtengely jó minőségű edzett, ötvözött acél. A főcsapágó, amely a főtengely tökéletes megfutását is biztosítja, kétsoros golyóscsapágó. A csapágóház a gépház padlójához van hegesztve. A csapágó veszi fel a szellőkésekből, a tömegerekből és hajlítónyomatékokból adódó terheléseket, ezzel is mentesítve a hajtóművet. A lapátkerékének tengelye megegyezik a szél irányával. A korszerű szélgenerátorok 2 vagy 3 szárnylapáttal rendelkeznek. A szárnylapátok hidraulikusan elforgathatók, így fékező hatást is kiválthatnak. A szárnyra aerodinamikai felhajtóerő hat, ez a megfelelő széláram kialakulásával jön létre. A lapátkereket forgató erő a szárnylapáton keletkező felhajtóerőből származik, ebből jön létre a tengelyen a forgatónyomaték. A turbinalapát anyaga: üvegszál vagy kompozit epoxigyanta.
- *Váltómű:* A tengely, amin tárcsafék van, továbbítja a forgatónyomatékot a váltóhoz. Nagyobb gépeknél bolygókerékes váltóművet alkalmaznak. A tengelykapcsoló csillapítási funkciót is ellát a hajtómű és a generátor között, két flexibilis gumibetéttel segítségével.
- *Generátor:* generátor általában egy különleges kialakítású 4/6 pólusú aszinkron generátor. Alacsonyabb szélességeknél a vezérlés a 6 pólusú rendszert, nagyobb szélességeknél pedig a 4 pólusú kört kapcsolja be, ezzel biztosítva a gép jobb kihasználtságát. Saját termosztátos, folyadék hűtéses rendszerrel van megoldva a berendezés üzemi hőmérsékleten való tartása.
- *Villamos vezérlés:* A vezérlést a beépített érzékelők jelét felhasználó és programvezérelt mikroprocesszor és központi számítógép végzi. E rendszerek már csak villamos hálózattal együtt képesek működni, csak így biztosítható a hálózati frekvencia. A szélmérő (anemométer) fontos részegysége a szélgenerátornak, segítségével felmérhetjük a gép vagy szélérőmű park hatásfokát. A szabályozás és viharvédelem a szélességtől függően vezérelt. A lapátkerék forgási sebességének, a lapát szélirányba állásához az elektrohidraulikus szabályozó egység, a lapátmozgás forgási sík szélirányba fordításához rendszeresített segédmotorok áramforrása a hálózat. Ennek megoldására egy elektromotorral hajtott homlokfogaskerék-hajtóművet építettek be. A rendszer saját vezérlő programmal működik, melynek ellenőrzése ki- és beírása a toronyban található terminál segítségével történik. A terminál a vezérlő szekrényben található, melynek saját kijelzője és billentyűzete van.

A processzor a vezérlésen kívül tárolja a rendszer üzemmenetét, amit meghatározott időközönként ki lehet olvasni, majd a kapott adatokból számítógép segítségével pontosan ki lehet elemezni. Így meg lehet vizsgálni az utolsó eltelt időszakban a gép pontos működését, melyek a gép későbbi üzemeltetéséhez nagy segítséget nyújtanak. A vezérlés természetesen megoldható "on-line" módban is, amihez az kell, hogy a gép össze legyen kötve (rádiófrekvenciás úton, telefon v. villamos hálózaton stb.) a központi vezérlővel.

➤ *Villamos csatlakozás:* A kábelezés a földben vezet a transzformátorhoz. A csoportos telepítésnél először összefutnak a vezetékek, majd azután kapcsolódnak a hálózatra.¹⁴

2.2.3.2. A szélerőművek a világban és hazánkban

(Forrás: Wikipedia)

Globális helyzet:



15. ábra: Koppenhágai szélfarm

A víz felett gyakran erősen és folyamatosan fúj a szél, mivel nem ütközik akadályokba. A Koppenhága közelében lévő szélfarmnak ezek a nagy, lassan mozgó turbinái az enyhe, de állandó szelekből merítenek erőt.

Manapság már több országban gyártanak szélturbinákat és több ezer turbina üzemel világszerte. Jelenleg az összteljesítményük 93,8 GW, 2007-ben 19,7 GW-tal növekedett a teljes kapacitás (2008. február). 2006-ban a teljes teljesítmény kb. 65%-át

¹⁴ Horváth Gábor.: A szélgenerátor-oszlopok jellemzőinek összefüggései. Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2001.

Európában állították elő. 2000 és 2006 között megnégyszereződött az így termelt villamosenergia mennyisége.

A szélerőművek 81%-a az Amerikai Egyesült Államokban és Európában van, de az új telepítések megoszlása az első öt ország között 2006-ban 62 % volt.

2006-ben a legnagyobb szélenergia-kapacitással Németország, Spanyolország, az Amerikai Egyesült Államok, India és Dánia rendelkezett. A legtöbb új szélerőművet az USA (5000 MW), Spanyolország (3500 MW) és Kína (3300 MW) helyezte üzembe 2006-ban.

A Nemzetközi Szélenergia Egyesület (World Wind Energy Association) szerint 2010-re 170 GW-ra fog emelkedni a szélenergia kitermelés.

Hazai helyzet:

A magyarországi szélerőművek listája a 2008. áprilisig megépült szélerőműveket tartalmazza. Összesen 63 db szélerőmű van Magyarországon, melyeknek összteljesítménye 112 MW. A szélenergia kiaknázását Magyarországon részben politikai erők ássák alá, mely érthetetlen, hiszen az Európai Unió komoly összegekkel támogatja ezen beruházásokat. Mosonmagyaróváron 2007-ben összesen 12 széltorony működött, ezzel messze vezet a többi hazai térség előtt.

A magyarországi szélerőmű-létesítési kedv nőtt, ami érthető, hiszen egy 2 megawattos szélturbina esetében is évi 100 milliós nagyságrendű bevétel garantált. Az innen nyert áramot ugyanis a helyi szolgáltatók, vagy a Magyar Villamos Művek törvényben rögzített áron kötelesek átvenni. Ez az ár majdnem duplája a hazai erőművek átlagárának. A Kárpát-medence sík vidékei sokszor szélcsendesek, így egyéb erőművel kellene pótolni a termelést. Nem valószínű, hogy sok száz megawatt együttes teljesítőképességű szélerőmű-parkot építenek a befektetők hazánkban. Távolilag 250-300 MW elképzelhető, ha a földgáz nagyon megdrágul, de a termelés nagyon ingadozó lehet.

A szélerőművek telepítésének magyarországi ellenzői azzal szoktak érvelni, hogy az ország széljárása nem megfelelő erre a célra, túl alacsonyak a szélesebesség értékek. Természetesen ez sok helyen igaz, azonban nem szabad megfeledkezni arról a tényről, hogy az 1900-as évek elején több mint 600 szélmalom működött itt, 1933-ban több mint 250 volt üzemben. Karcagon 1952-ben még volt dolgozó szélmalom, ezeket a növekvő villamos energia-szolgáltatás sorvasztotta el, nem a széljárás kedvezőtlenre

fordulása. Magyarországon a vízhúzó szélérőművek, illetve az áramtermelő szélérőművek is alkalmazhatók. A kisebb berendezésekkel vízszivattyúkat, vízlevegőztetőket és generátorokat lehet működtetni, főleg szigetüzemben. A nagyobb szélérőművek áramtermelésre és a termelt villamos energia hálózatra táplálására alkalmasak.

Hazai legnagyobb szélérőművek listája:

- Mosonmagyaróvári szélérőmű - 5 x 2 MW
- Sopronkövesdi szélérőműpark - 7 x 3 MW
- Levél - 12 x 2 MW
- Sopronkövesd - 7 x 3 MW*

2.2.3.3. A szélérőművek környezeti hatásai

– A szélturbinák által előállított elektromos áram minden egysége olyan elektromos áramot helyettesít, amit egyébként fosszilis tüzelőanyagot elégető erőműben termeltek volna.

A szélenergia egyike a leginkább költség-takarékos megújuló energiaforrásoknak.

– Az építés előkészítésének (szélérőmű-alkotórészek helyszínre szállítása, megfelelő elektromos hálózati összeköttetés létesítése) időigénye a terület infrastruktúrájától (útviszonyok, elektromos állomás) függ.

Az építési folyamat során a környezet csak minimális mértékben kerül átalakításra.

Az oszlopok alapjának kiásásakor a felső humuszos talajt a többi kitermelt földtől elkülönítve kell deponálni, majd az építési terület rendezésekor fel lehet használni. A kitermelt földet általában nem szállítják el, hanem az elkészült alapra kis dombként visszatermelik.

– A szélparkok építése, működése majd felhagyása semmilyen vízhasználattal nem jár, szennyvíz vagy más vízszennyező hatás nem keletkezik. Az építmények alaptestei nem érik el a területre jellemző földalatti vízerek és általajvíz szintjét, ezért a tervezett létesítmények sem az építési, sem az üzemelési időszakban a talajvízre semmilyen hatással nincsenek. A szélérőművek alapozásának ugyan elvileg van némi hatása a talajvízáramlásra, ez a hatás azonban gyakorlatilag jelentéktelen. Mély alapok esetén -

* wikipedia

azok egymástól független, pontszerű elhelyezkedése miatt - a talajvíz gond nélkül körüláramolja őket.

– A tapasztalatok azt mutatják, hogy a szélpark körültekintő tervezése elkerülhetővé teszi a telekommunikációs rendszerek bármiféle zavarását. Mindazonáltal hasznos értékelné az ezzel kapcsolatos kérdéseket. Rádióhullámokat és mikrohullámokat széles körben használnak kommunikációs célokra. Bármely nagy mozgó szerkezet képes elektromágneses zavaró hatást (EMI) kelteni. A szélturbinák úgy kelhetnek elektromágneses zavaró hatást, hogy a jelek visszaverődnek a szárnylapátokról úgy, hogy a közelben lévő vevőkészülék fogja mind a közvetlen, mind a visszaverődött jeleket.

A szélparkból eredő rádiófrekvenciás sugárzás az emberre, a környezet állat- és növényvilágára semmiféle káros hatást nem gyakorol. Megállapítható, hogy a szélpark üzembe helyezése az élő környezet szempontjából nem jelent veszélyt, károsító hatásai nincsenek.

– Környezetvédelmi szempontból az embert zavaró hangot zajnak nevezzük. Annak ellenére, hogy a zaj hatására általában ritkán alakul ki maradandó, utólag is kimutatható elváltozás az élettelen környezetben, a zaj hasonló környezetszennyezési forma, mint például a levegő porral, a víz hővel vagy a talaj vegyi anyaggal történő szennyezése.

A zaj többnyire lokális probléma. Ez alatt azt értjük, hogy az adott hangforrás hatása határolt térben többnyire egy vagy néhány szomszédos épületre korlátozódik, illetve szabad térben igen nagy teljesítményű hangforrások esetén is csak néhány száz méter távolságra terjed ki az akusztikai hatás. A szélturbinák esetében a keletkező hallható zajok 300 m-es távolságban a 20-100 Hz-es tartományba esnek.

A modern szélturbinák csendesek és egyre zajtalanabbak. A hangnyomás szintje a tipikus szélérőmű alapjától 50 méter távolságban 50-60 dB(A), nagyjából ugyanolyan szintű, mint a beszélgetésé. Ettől 500 méterre a hangnyomás szintje körülbelül 35 dB(A), ami annak a hangnak felel meg, ami a nyugodt házon belül van. A tíz szélturbinát magába foglaló szélérőmű-park a legközelebbi 500 méteres távolságban körülbelül 42 dB(A) hangszintet teremt ugyanilyen feltételek mellett - ami azzal a hanggal egyenértékű, ami egy nyugodt irodában van. Amikor a szél ellenkező irányban fúj, a hang szintje jelentősen, akár 10 dB-lel is csökken.

A szélérőmű hangnyomása kis mértékben emelkedik a szél sebességével. A szél hangja a fák és élő sövények mellett, épületek körül és a helyi terepen átfújva ugyancsak

növekszik a szélesebséggel, de rendszerint nagyobb mértékben, és így gyakran elnyomja a turbina hangját.

Egyes ellenzők a szélturbinák káros zajhatását az infrahang-tartományba teszik. A szélerőművek kétségkívül kibocsátanak infrahangot. A szélerőművek közelében eddigi elvégzett infrahangvizsgálatok szerint a keletkező szintértékek olyan alacsonyak, hogy az emberi szervezetre nem gyakorolnak semmiféle káros hatást. Ezt különböző kísérletek alátámasztották. A mai szélparkok tervezésénél az általában 1,5 MW teljesítményű gépeket legalább 400 m távolságra építik a lakott területtől.

– A szélerőművek élővilágra gyakorolt hatásainak elemzése során elsősorban az állatvilágra, főleg a madarakra, illetve a denevérekre gyakorolt hatásokat vizsgálják.

A szélerőművek okozta madárpusztulások két okra vezethetők vissza: a madarak nem érzékelik a forgó lapátokat, és sérüléseket szenvednek azáltal, hogy nekirepülnek, illetve a vonuló madarakat vonzzák a szélturbinák fényei, megzavarodnak, ha kimerültek, vagy egyéb okból a szerkezetnek ütköznek. Bár a madárpusztulásokra terjed ki a legnagyobb figyelem a szélerőművekkel összefüggésben, talán ugyanolyan fontosságú a szélparkok zavaró hatása, melyet a fészkelő, tartózkodó vagy teelő madarakra gyakorolnak. Számos vizsgálat igazolja, hogy a legtöbb vonuló és teelő madárfaj megváltoztatja a vonulási útvonalait, hogy elkerülje a széltornyokat. A leggyakoribb viselkedésforma a horizontális kerülési tevékenység volt. Feltételezhetően élőhely-fejlesztésekkel, megfelelő élőhely-gazdálkodással a kedvezőtlen hatásokat jelentősen csökkenteni lehet.

A külföldi esettanulmányok alapján megállapítható, hogy szélerőművek, szélparkok telepítési helyének megválasztásakor lényeges szempont, hogy azok ne essenek nagy forgalmú madárvonulási útvonalakra, nagy biodiverzitással rendelkező területekre.

– A szélparkok telepítésénél figyelembe veendő a lakott területek közelsége. A beruházónak még a projekt kezdeti fázisában részletesen tájékoztatnia kell a lakosságot. A tervezett létesítmény és a megközelítési útvonal forgalma nem veszélyezteti a vele kapcsolatba kerülő környezeti elemeket, nem okoz káros zaj-, illetve rezgésterhelést.

A szélparkot a legközelebbi lakott területtől több 100 méterre kell építeni, hogy a zajhatás mértéke is csak töredéke legyen az emberre vonatkozó határértéknek. A szélturbinák esteleges zavaró villódzása a környezetbe illő, matt festett felülettel

megoldható, az árnyékhatás nem zavaró, mivel lakott területet és egyéb létesítményt nem zavar.

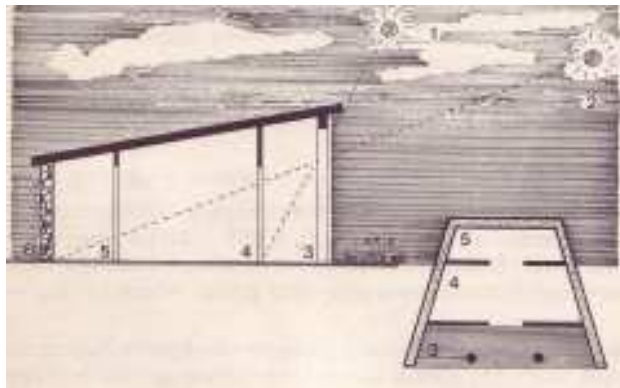
A szélturbinák forgórészeinek kialakítása műszaki biztonsági előírásoknak megfelelnek, a lapátok szilárdságilag többszörös biztonsággal tervezettek. A berendezések maximum 25 m/s szélesség esetén leállnak. A szélerőműveket úgy tervezik és kivitelezik, hogy 60-65 m/s szélességű vihar elviselésére is alkalmasak.¹⁵

¹⁵ Horváth Gábor (2005): *Környezetvédelmi szempontok a szélerőművek telepítése során. Mérnök Újság. Március.*

2.3. Napenergia

2.3.1. Napenergia története

A Nap biztosítja az ember életfeltételeinek biológiai alapjait, ezért nem csoda, hogy a napkultusz volt a legősibb vallás.



16. ábra: A Szókratész-féle szolárház terve

Szókratész egy működő „szolárházat” fejlesztett ki, amely maximálisan kihasználta a téli napsütést, és a déli homlokzatot megvédte a nyári közvetlen sugárzástól. Az építészeknek az első szolár-technikai tanácsot a görög történelemíró, Xenophón adta, aki azt vetette fel, hogy a házak déli oldalát magasabbra kell építeni, hogy a téli napot be tudjuk fogni.

A napenergia-technikáról első ízben a görög matematikus, Eukleidész tesz említést.



17. ábra: Arkhimédész homorú tükre

A legnagyobb antik szolár-technikus Arkhimédész volt. Homorú tükrök segítségével, amelyek gyújtópontja kis görbületük miatt több száz méter távolságban volt, felgyújtotta a római hadvezér Marcus Claudius Marcellus hajóit.

Ennek a technikának a segítségével történt a Vesta-templom szent tűzének meggyújtása. Az arabok Egyiptom bevétele után az ott virágzó üvegyártást megismerve üvegedényeket is készítettek, amelyekben a napsugarak segítségével folyadékot desztilláltak.

Európában a nap melegének hasznosításának kérdése csak azután merült fel, miután Galilei feltalálta a lencsét. Az első modern napmelegtárolót a svájci természettudós, de Saussure építette meg. Öt üvegtárcsát úgy helyezett el, hogy az üveglapokat mindig légtér választotta el egymástól, ami jelentősen fokozta a hatásfokot. Az észak-chilei sivatagban 1872-ben egy napenergiával működő desztilláló berendezést építettek, amely sós vízből naponta 27 000 liter ivóvizet állított elő.



18. ábra: Mouchot naperőgépe

A naperóművek évszázada a XIX. század volt. A modern naperőgép a francia August Bernard Mouchot nevéhez fűződik. Algír közelében, 1864.-ben helyezték üzembe a készüléket, ami egy öt méter átmérőjű tükörrel működött és percnként 2,5 tonna vizet szállított. 1878-ban a Párizsi Világkiállításon Mouchot professzor egy másik naperőgépet mutatott be, amely egy újságyomtató gépet működtetett.

F. Shuman és C. V. Boys 1911-ben Philadelphiában egy naperómű-modellt készítettek, amelyet két évvel később Kairó közelében meg is építettek. Ez a 73,6 kW teljesítményű berendezés öntözési célokat szolgált, egy 4200 négyzetméter területű gyapotültetvényt látott el a Nílusból szivattyúzott vízzel.

A jénai Zeiss művekben 1921-ben Staubel professzor napkemencét épített, amelyben a vasrúd néhány másodperc alatt megolvadt. Az első nagyobb, kísérleti

célokat szolgáló naperóműveket az akkori Szovjetunióban, Taskentben építették meg 1933-ban.

A napenergiának a háztartásban történő közvetlen hasznosítására vonatkozó első kísérletek 1930 és 1940 között végezték. Martin Wagner német építész 1931-ben mutatott be egy tervet, amely arról szólt, hogy egy üvegréteg védi a külső falakat az időjárás hatásaival szemben, egyben köztes teret is képez, amely csökkenti a hőveszteséget és a besugárzott napenergiát hasznosíthatóvá teszi. Ezekben az években a legtöbb szolárház csak annyiban volt „szolár”, hogy a déli homlokzatukon túlméretezett üvegfelületek voltak. Ezek az intézkedések azonban nem voltak elég hatékonyak, mert napsütéskor a ház túlmelegedett, borult időben viszont kihűlt.¹⁸

A mindmáig legnagyobb volumenű napenergia-program 1938-ban kezdődött, és néhány éves szünettel 1962-ig tartott. A program fő indítékát az adta, hogy az Egyesült Államokban a lakóházak fűtése óriási energiát emészt fel, nagyobb, mint az egész ipar energiafogyasztása. Ha ezt legalább részben napenergiából lehetne fedezni, annak gazdasági jelentősége óriási lenne. A program során négy különböző típusú kísérleti házat építettek, ezek fűtését és melegvíz-ellátását a napenergia felhasználásával kívánták megoldani. Minden kísérleti ház több évig üzemelt, és közben állandóan méréseket végeztek. A program legfontosabb eredménye az volt, hogy bebizonyította: a napenergiával történő lakóházfűtés Massachusettshez hasonló hideg éghajlatú vidéken is megvalósítható.

A Nobel-díjas Henri Becquerel apja, Edmund Becquerel nevéhez fűződik a Becquerel-effektus felfedezése (1839). Ennek lényege az, hogy elektrolittal érintkező fémelektroda potenciálja megvilágítás hatására megváltozik. A jelenséget tehát - elvben - fényenergia-elektromos energia átalakításra lehet használni. Charles Fritts amerikai feltaláló az 1880-as évek végén készítette el az első szelén napelemet. Ennek hatásfoka azonban kisebb volt, mint 1%. A kvantumfizika és a fotoelektromos effektus felfedezése után, az 1930-as évek elején kezdtek néhányan ismét a napelem megvalósításával foglalkozni, de az újra felfedezett szelén napelem rossz hatásfoka nem motiválta a további kutatásokat.

1954-ben a Bell Laboratóriumban három kutató: Pearson, Chapin és Fuller szilícium napelemekkel kezdett kísérletezni. Az első kísérletekben már 4%-os

¹⁸ P.R. Sabady: A napenergia építészeti hasznosítása

hatásfokot értek el, majd további tökéletesítések után hamarosan 15%-os hatásfokú napelemet állítottak elő. Eredményeik nagy port vertek fel, a napelemeket sokan "a jövő tiszta energiaforrásának" tekintették. Hamarosan kiderült azonban, hogy költségessége miatt a napelem széles körű alkalmazására most még nem kerülhet sor, de néhány speciális célra már ma is nélkülözhetetlen. Ilyen a távoli, izolált területek energiaellátása és az űrkutatás. Az USA űrprogramja során jelentős méretű napelemipart hoztak létre, az űreszközök működtetése ugyanis napelemek nélkül elképzelhetetlen. További, népszerű alkalmazást nyert több kis energiaigényű elektronikai eszközben; például zsebszámológépekben, zsebrádiókban, zseblámpákban. Újabban kiterjedten használják a napelemeket az autonóm napházakban.

Az 1980-as évek elejétől több nagyméretű, fotovillamos energiaellátó erőművet építettek, kísérleti jelleggel. Ezek közül az egyik legnagyobb a Carissa Plains-ben (USA) 1984-85-ben létesült 5,2 MW teljesítményű napelemerőmű, amely szilícium egykristálycellákból épült. Számos kisebb teljesítményű napelemes rendszer található az USA-ban, Németországban, Svájcban, Hollandiában stb.

A napenergia hasznosításának mindmáig legelterjedtebb eszköze a sík napkollektor, amelyet kiterjedten használnak lakóházak és középületek melegvízellátására, valamint fűtéskiegészítésre.

Magyarországon Bucsa községben (Karcag közelében) épült az első bioszolár napház, amely csak passzív elemeket tartalmaz (az épülettömbbe déli oldalról integrált naptér, különböző hőtároló elemek és korszerű, jó hőszigetelésű falak és nyílászárók vannak beépítve). Az alkalmazott passzív eszközökkel a hagyományos fűtési költségek 40-60%-a megtakarítható.¹⁹

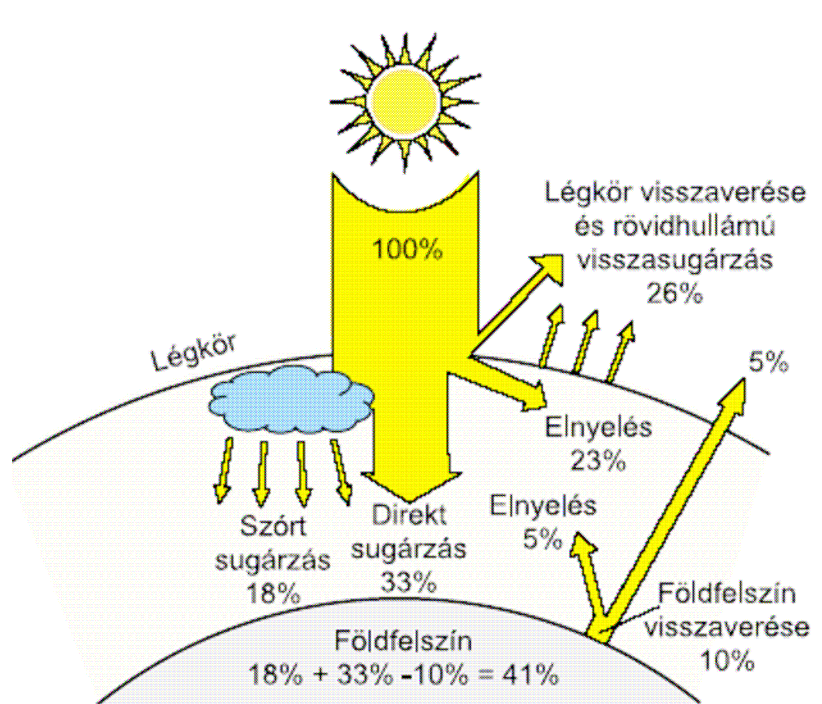
Az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb teret hódít a szolár-hidrogén technológia. A napsugárzás energiáját napelemekkel alakítják át villamos energiává, majd az így előállított egyenárammal elektronikus berendezést működtetnek. A vízbontásból nyert hidrogén többféleképpen felhasználható. A tiszta hidrogén levegőben elégethető és hőtermelésre felhasználható.²⁰

¹⁹ Zöld András: *Energiatudatos építészet* - Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999

²⁰ Imre László, Bitai András, Hecker Gerhardt.: *Megújuló energiaforrások* - Felsőfokú oktatási segédlet. BME Energetika Tanszék, Budapest, 2000.

2.3.2 Napenergia hasznosítása

A Nap gáznemű, gömb alakú, kb. másfél millió km átmérőjű sugárzó test, melynek külső felülete közel 6000 K hőmérsékletű. A napsugárzás energiahozamát napállandóval adjuk meg, amely a Nap-Föld közepes távolságban levő, a sugárzásra merőlegesen álló, egységnyi felületre, egységnyi idő alatt bejutó energia nagyságát adja meg. Érték $1853 \frac{W}{m^2}$.



19. ábra: A közvetlen sugárzást módosító légköri hatások (Forrás: www.naplopo.hu)

A légkör határát elérő közvetlen (direkt) sugárzás energiatartalma jelentősen csökken légkörben megtett útja során: részben elnyelik, részben megtörik, részben visszaverik a légkör részecskéi. A direkt sugárzás egy része rendezetlen irányú, szórt (diffúz) sugárzássá alakul.

A földfelszínre jutó sugárzás intenzitására a felhősödés van a legnagyobb hatással. A különféle időjárási viszonyok más és más mértékű felhősödéssel járnak, s így különféle intenzitást eredményeznek:

- erősen felhős időben: $250 - 300 \frac{W}{m^2}$

- gyengén felhős, átlagos időben: $500 - 600 \frac{W}{m^2}$
- derült, nyári idő esetén: $900 - 1000 \frac{W}{m^2}$

Az intenzitás maximális értéke nyáron, derült időben is csak ritkán lépi át a $1000 \frac{W}{m^2}$ értéket. A legintenzívebb besugárzást a Föld északi félén júliusban kapjuk, annak ellenére, hogy a nappalok már valamivel rövidebbek, a Nap delelési magassága kisebb, mert a felhőzet mennyisége csekélyebb, mint nyár elején. Legcsekélyebb a besugárzás decemberben, a nagy borultság és a rövid nappalok miatt. A besugárzás intenzitását a Nap - Föld geometriai viszonya is meghatározza.²²

A légkör tetejét elérő sugárzásnak kevesebb, mint a fele éri el a talajfelszínt. A felszínt elérő sugárzás egy része elnyelődik, másik része visszasugárzódik a légkörbe. A levegő felmelegedése tehát "alulról történik", ami azt jelenti, hogy a felszín felmelegíti a fölötte elhelyezkedő levegőt. A levegő saját sugárzáselnyelő hatása miatti felmelegedése kicsi, így a beeső sugárzás felmelegíti a felszínt, és a felszín melegíti fel a közeli levegőrétetet. A napsugárzástól felmelegedett talaj hőszugárakat bocsát a levegő legalsó rétegeibe. Ezzel megkezdődik a levegő melegedése. A napsugarak egy része a világűr felé távozik, egy része pedig veszendőbe megy. Legnagyobb részét azonban a levegő szén-dioxid és vízgőztartalma nyeli el, majd visszasugározza a Földbe. A különböző felszínek fényvisszaverő képességét **albedonak**, a légkör hővisszatartó tulajdonságát pedig **üvegházhatásnak** nevezzük.

Az albedot, azaz az adott felület által visszavert sugárzás és a felületre érkező sugárzás arányát %-ban mérjük. Minél kisebb egy táj albedója, a talaj annál kevesebb napsugarat ver vissza a levegőbe, így az adott területen nagyobb melegedésre számíthatunk. A különféle felszínek különbözőképpen verik vissza a napsugárzást. Szántóföld fölött például nagyobb a melegedés mértéke, mert viszonylag keveset ver vissza a napsugárzásból, alig 15 %-ot. Az erdős és vízzel borított felszínek fölött a mérsékelt 30 %-os albedo a jellemző. A hó-, illetve jég felszín a ráeső sugárzás nagy részét, közel 60 -90 %-át visszaveri. Ezért e tájak fölött a felmelegedés csekély.

²² Barótfi István (szerk.): A napenergia hasznosítása. Energiafelhasználói Kézikönyv, Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Budapest

2.3.3. Naperőművek

2.3.3.1. A naperőművek típusai, működésük

- **Naphőerőművek:** A napsugárzás mértékétől, tartósságától és az elérhető teljesítménytől függően a naphőerőművek több típusát fejlesztették ki.

➤ *Kis teljesítményű naphőerőmű:*

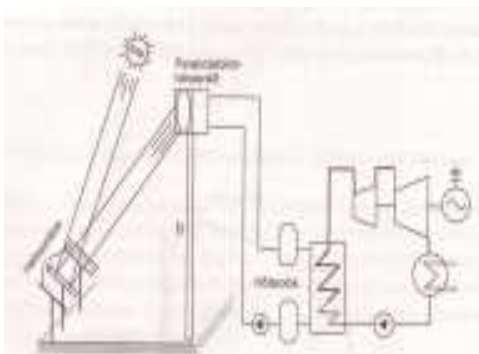


20. ábra: Parabola tányéros Stirling-motorral felszerelt naptükröt (forrás: Wikipedia)

Parabola tányéros, Stirling-motorral felszerelt naptükröt használnak, mivel a gőzturbinát nem lehet használni a kis teljesítmény miatt. Az egyetlen, napsugárzás irányába automatikusan beálló paraboloid tükör felülete 100 m² vagy nagyobb. Fókuszpontjában helyezkedik el az a hőcserélő, amelyet a tányérral együttmozgó Stirling-motor hajt. A hőmérséklet 700-1000°C, villamos teljesítménye néhány száz kW és hatásfoka eléri a 30%-ot.

➤ *Nagy teljesítményű naphőerőmű:* Itt már alkalmazhatók a gőzkörfolyamatok. A nagy teljesítményhez nagyszámú naptükör szükséges, amelyek kialakítására és elrendezésére két megoldást fejlesztettek ki.

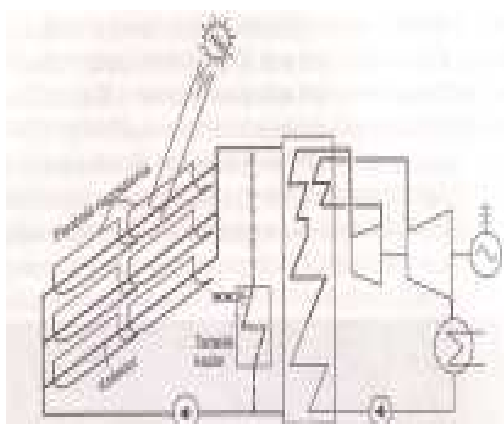
- *Torony típusú naphőerőmű:*



21. ábra: Torony típusú naphőerőmű

A talajszinten elhelyezett, vízszintes és függőleges tengely körül elforgatható, számítógépekkel irányított nagyszámú síktükör követi a napsugárzást, és a napsugarakat a központi, h magasságú tornyon elhelyezett parabolatükörré koncentrálja. Ez a koncentrált sugárzás hevíti a fókuszban elhelyezett hőcserélőt, illetve a benne áramló hőhordozó közeget (pl.: termoolaj, sólé, folyékony nátrium). A hőhordozó toronyban a hőmérséklet eléri az 1000°C -ot. A felvett hőt a talajszinten lévő gőzfejlesztőben adja le. A napsugárzás és a villamosteljesítmény-igény időben eltérő változását a hideg- és melegágba beépített tartályok egyenlítik ki. Hatásfokuk meghaladja a 20%-ot. A napsugárzás kis energiasűrűsége miatt a torony típusú naphőerőmű igen nagy területet foglal el, fajlagos területigényük $30\text{-}90\text{ m}^2/\text{kW}$, legnagyobb teljesítményük néhány tíz MW lehet.

- *Parabola-vályús kollektoros naphőerőmű:*



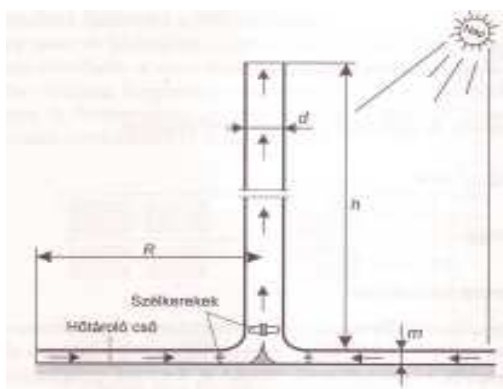
22. ábra: Parabola-vályús kollektoros naphőerőmű

A napsugarakat a talajszinten elhelyezett parabola keresztmetszetű vályúk gyűjtik össze, a hőt a vályú fókuszpontjában elhelyezett kollektoroknak adják le. A

kollektorok összefüggő csővezetékrendszert alkotnak, amely nagy területről képes a napenergiát összegyűjteni, és nagyteljesítményű naperóműbe szállítani.

A parabola vályúk csak a közvetlen napsugárzást tudják hasznosítani, a szórt sugárzást nem. A kollektorok felmelegedett közege a gőzfejlesztőkben nagy nyomású újrahevített gőzt termel. A napenergia kiesését tartalék gőzkazán pótolja, de hőtároló is beépíthető. Hatásfokuk 20% alatt marad. Ennek a típusnak két lényeges előnye van: egyrészt a naphőt így nagyobb hatásfokkal alakíthatjuk át villamos energiává, mint önálló naphőerőműben, másrészt a teljesítménye gyakorlatilag teljesen érzéketlen a napenergia napi és szezonális változásaira.

- **Napkémény:**



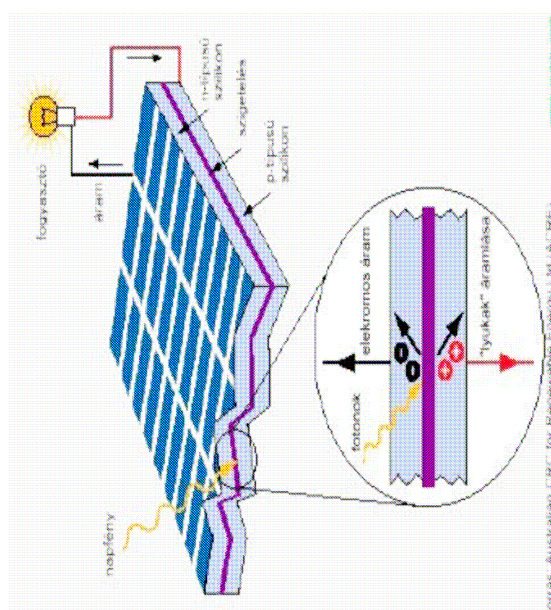
23. ábra: Napkémény

A naperóművektől teljesen eltérő a napkémények energiaátalakítása. A talajt m magasságban és R sugarú körben üveggel vagy műanyaggal lefedjük. A lefedett térben a napsugárzás hatására $15-30\text{ °C}$ -al a hőmérséklet, a levegő felmelegszik és a közepén elhelyezett h magasságú kéményben $12-15\text{ m/s}$ sebességű feláramlás alakul ki. A nagy sebességű levegő szélkereket hajt meg, és áramot termel. A szélkerekek elhelyezhetők a lefedett tér közepén nagy számban, vagy kisebb számban a kémény alsó zónájában.

A napkémény villamos teljesítménye követi a napsugárzás intenzitás változását. A napi teljesítményingadozás jól kiegyenlíthető, ha a lefedett térben vízzel töltött hőtároló csöveket helyezünk el.

- **Fotovillamos napelemek:** A napsugárzást közvetlenül villamos energiává alakító napelemeket nehezen hozzáférhető, felügyeletet nem igénylő, kisebb

teljesítményű elektromos fogyasztók ellátására alkalmazzák. Az egyik megoldást jelentik a termovillamos átalakítók, amelyek a napsugárzás hosszú hullámú hőszugárzását alakítják át közvetlenül villamos energiává.



24. ábra: Fotovillamos napelemeket (forrás: <http://nimbus.elte.hu>)

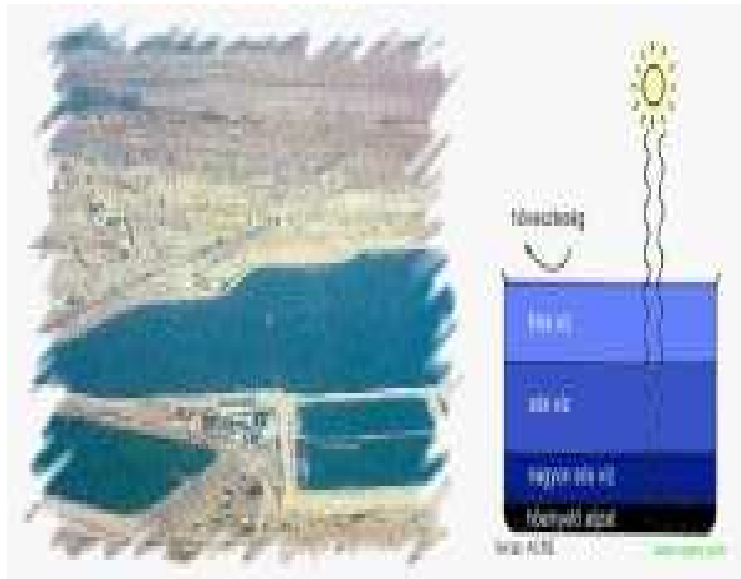
Elterjedtebb az alkalmazása a fotovillamos napelemeknek, amelyek a napsugárzásnak a látható fény tartományába eső részét hasznosítják. A fotovillamos napelem egy dióda, amely egy n-típusú felső és egy p-típusú alsó félvezetőből, továbbá felső és alsó fémvezetőből áll, amelyeket külső egyenáramú kör kapcsol össze. A fénysugárzás fotonjai a felső félvezető elektronjait kimozdítják kötésükből, és ebben az n-típusú félvezetőben elektronfelesleg, ugyanakkor az alsó, p-típusú félvezetőben elektronhiány alakul ki.

A félvezetőket jó vezetőre (fémleapokra) szerelve az elektronáram megindul és inverterrel megfelelő váltakozó áram állítható elő. A fotovillamos napelemek fejlesztésének fő feladata olyan anyagok és anyagpárok keresése, amelyek lehetővé teszik a hatásfok javítását. Jelenleg már 15-20% körüli hatásfokot érnek el a kezdeti 1% körüli értékhez képest. Ha a fotovillamos elemeket hűtik, akkor növelhető az energiaátalakítási hatásfok, a hűtőközeg felmelegítése pedig egyidejűleg kapcsolt hőtermelést jelent. Ezeknek együttes hatásfoka elérheti a 60%-ot is.⁷

⁷ Búki Gergely – Erőművek

- **Naptó:**

A jelenleg működő legnagyobb naptó a Bhuj naptó, amely Indiában található. 1987-ben hozták létre. Területe 6000 m². A tó 100 méter hosszú, 60 m széles és 3,5 m mély. A vízbe 4000 tonna sót oldottak fel. A naptóban három vízréteg található. A felső réteg a felületi zóna, ennek a hőmérséklete megegyezik a levegő hőmérsékletével és csak enyhén sós. Az alsó réteg nagyon meleg, 70- 85 °C-os, és nagyon sós. Ez a réteg gyűjti be és tárolja a hőt.



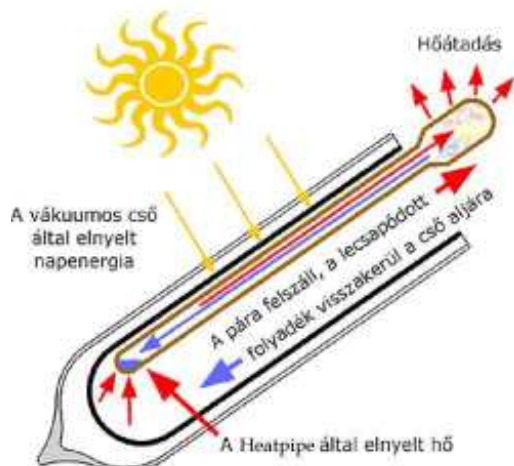
25. ábra: Bhuj naptó Indiában (forrás: ACRE)

A két réteg között található az elválasztó zóna. Ebben a zónában a víz nem áramlik, és mivel a só koncentrációja alacsony, ezáltal a réteg világos. Az alsó réteg a középső réteg által áteresztett fényt elnyeli, és felmelegszik. A felmelegedett alsó réteg azonban a nagy sótartalom miatt nem tud feláramolni, ezért itt tárolódik a hő.

- **Napkollektor**

A napkollektor nem más, mint a Nap fényenergiáját hőenergiává átalakító berendezés, amit legtöbbször víz melegítésére használnak, de előfordul hőcserélő közegként légnemű anyag is. Ezt a felmelegített anyagot használják fűtésre, de felhasználási területei között megtalálható még a melegvíz előállítás, de olyan megoldással is találkozhatunk, ahol a fényt összegyűjtve üvegszálakon, vagy tükrös csöveken keresztül vezetik el épületek világításához.

○ *Vákuumcsöves kollektor*



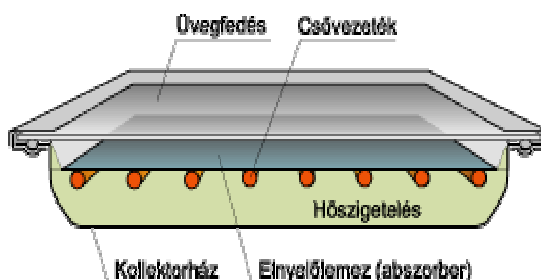
26. ábra: *Vákuumcsöves kollektor (forrás:*

<http://napkollektor.co.hu/pages/images/image005.jpg>)

A fűtőcsövekbe gyárilag olyan folyadékkeveréket töltenek, melynek forráspontja alacsonyabb a víz forráspontjánál. Amikor a fűtőcső hőmérséklete a folyadékkeverék forráspontja fölé emelkedik, a csőben lévő folyadék légnemű halmazállapotúra változik. Ez a gáz gyorsan tud áramlani a fűtőcső hőátadó végéhez. Ott a hőgyűjtő idomban keringetett folyadéknak átadja a begyűjtött hőenergiát, lehűl és újra folyadék halmazállapotúra változik.

A folyadék visszafolyik a fűtőcső aljába, ahol újra melegszik és újra gőzzé alakul. Cirkuláció alakul ki a fűtőcsőben. Felül melegebb gáz, alul hűvösebb folyadék. Ha a gáz lehűl, újra folyadék lesz belőle. Ha a folyadék felmelegszik, újra gáz lesz belőle. A gáz mindig felülre törekszik, a folyadék mindig lefelé folyik. Ezért kell a fűtőcsöveket mindig lejtéssel felszerelni. Vákuum olyan jól szigetel, hogy a cső belsejében lehet akár 150 °C, a külső cső akkor is hideg, ha megérintjük. Ez azt jelenti, hogy a vákuumcsöves kollektorok hideg időben is működnek, míg a síkkollektorok ilyenkor, a hőveszteség miatt gyengén teljesítenek.

○ *Síkkollektor*



27. ábra: *Síkkollektor (forrás: www.futesrasegites.hu/kepek/sikkollektor.jpg)*

A napkollektorok legelterjedtebb, változata a síkkollektor, amely egy elől üvegezett, hátul hőszigetelt lapos dobozszerkezet, melybe belül egy jó napsugárzás elnyelő képességű fekete lemezre (abszorberre) erősített csővezeték található

A napsugárzás áthalad a jó fényáteresztő képességű (alacsony vastartalmú) üveg fedőlapon és elnyelődik az abszorberen, ami az elnyelt napsugárzás hatására a hozzá erősített csővezeték rendszerrel együtt felmelegszik. A keletkezett hőenergiát aztán a csővezetékben keringtetett hőátadó folyadékkal lehet elszállítani a napkollektorból, és lehet felhasználni.

Az ilyen kollektorok maximális hatásfoka 80% körüli érték, derült időjárás esetén pedig 60% körüli hatásfokkal alakítják át a napsugárzást hőenergiává. Átlagos körülmények esetén fellépő veszteségek nagysága látható az ábrán.

- *Napkollektorok hasznosítása*

- a.) Melegvíz előállítás napkollektorral

Családi házak melegvíz előállításra általában 1-3 db, nagyobb vízfogyasztás esetén 4-6 db 2 m²-es napkollektort célszerű felszerelni. A megtermelt hőenergiát 200-500 literes melegvíz tartályban tároljuk. A jól hőszigetelt tároló alkalmas arra, hogy a napközben napkollektorokkal előállított melegvizet akár napokig is tárolja. Az ilyen tárolókban általában két hőcserélő található. Az alsóra kell kötni a napkollektorokat, a felsőre pedig a kazánt. Így a kazán csak a tároló felső részét tudja felfűteni. Ezzel biztosítható, hogy mindig legyen melegvíz, ugyanakkor a kazán feleslegesen ne fűtse fel a teljes tárolótérfogatot.

- b.) Házak fűtése napkollektorral

Az épületek energiaköltségei között a legnagyobb tételt a fűtés jelenti. Ezért joggal merülhet fel annak az igénye, hogy ezt is minél nagyobb részarányban napkollektorokkal lehessen fedezni. Sajnos fűteni télen kell, amikor a napsugárzás mennyisége alacsony, a nyáron összegyűjthető napsugárzást pedig reális beruházással nem lehet télire elraktározni. Rendszerek kiépítése függ a házak méretétől.

- Direkt, puffertároló nélküli rendszerek

Kisebbszerveknél, főleg padló-, vagy falfűtés esetén puffertároló nélküli rendszerek is megvalósíthatók. Ekkor a kollektorok a napsütés időtartama alatt közvetlenül a fűtési rendszerre hatnak, a hőtárolást az épület szerkezetei, a padló, vagy a falak biztosítják. A napkollektoros fűtés a hagyományos fűtési rendszerrel

párhuzamosan üzemel, erre a célra ún. szoláris fűtési egység szolgál. Ez tartalmazza a kollektor körüli hőcserélőt, valamint a fűtési körü szivattyút és termosztatikus keverőszelepet.

➤ Puffertárolós rendszerek

Nagyobb rendszereknél célszerű puffertárolót alkalmazni. Ez egy nagyobb méretű, jól hőszigetelt víztartály, melyben a napsütés időszakában hasznosított napenergia eltárolható a napsütés mentes időszakra. A puffertárolók a napkollektorok mellett jól illeszthetők a korszerű fatüzelésű kazánokhoz, cserépkályhákhoz, kandallókhoz is. A puffertárolót egybe lehet építeni a melegváltóval.*

2.3.3.2 A naperőművek a világban és hazánkban

(Forrás: Wikipedia)

Globális helyzet: Naperőművek döntő többségben az ibériai félszigeten, Auszráliában, Észak-Afrikában és az Egyesült Államokban épültek.



28. ábra: A PS10 naperőmű

A **PS10** naperőmű a spanyol Sevilla város mellett épült meg. A 11 MW teljesítményű naperőmű 624 nagy mozgatható tükörrel (heliostats) termeli az elektromos áramot. Az egyes tükrök felülete körülbelül 120 négyzetméter, mely a központi 115 méter magas toronyra irányítja a napsugárzást.

* www.naplopo.hu



29. ábra: Hassi R'mel naperőmű tükörfelülete

A **Hassi R'mel naperőmű** egy hibrid erőmű, mely Algéria Hassi R'mel területe mellett épült. Teljesítmény 25 MW, a tükrök összfelülete 180 000 m². 130 MW-os teljesítményű gáz turbinák növelik a hatásfokot.



30. ábra: Kramer naperőmű

A **Kramer naperőmű** az Amerikai Egyesült Államok nyugati partvidékén, a Mojave-sivatagban található. 354 MW teljesítményével elvileg a legnagyobb teljesítményű naperőműve a Földön. Az erőmű kb. 1 000 000 parabolikus tükre 6,4 km² nagyságú területet foglal el.

Hazai helyzet:

Magyarországon a helyzet nem túl rózsás, egyelőre csak néhány naperőmű üzemel. A napenergia hazai felhasználására két példa említhető.

Ezek közül az egyik a gödöllői Szent István Egyetem kollégiumának tetejére szerelt napelemek. A 150 négyzetméternyi területet beborító napelemes-rendszer jelentős villamosenergia megtakarítást tesz lehetővé. A több elemből kialakított rendszer szilícium alapanyagú félvezető rétegekből tevődik össze, amelyek a fény hatására villamosenergiát termelnek. Ily módon 10 kW teljesítmény érhető el, a nyert villamos energiát pedig bevezetik a hagyományos villamosenergia-hálózatba, csökkentve ezzel a kollégium energiaköltségeit.

A másik az újbudai polgármesteri hivatal, amely az első közintézmény Magyarországon, amelynek áramellátását részben egy napelemes rendszer biztosítja. A már 2007 óta üzemelő, 26 millió forintba kerülő, 20 kW-os rendszerrel 2008-ban 2,4 millió forintot takarítottak meg, így támogatás nélkül is 10-11 évre tehető a megtérülési idő.

2.3.3.3 A naperóművek jövője

A Nap egy kimeríthetetlen, hatalmas mennyiségben rendelkezésre álló energiaforrás, amelynek kihasználása ráadásul nem szennyezi a környezetet. A napsugárzás hasznosítása ma a fő energiaforrásokhoz képest mégis elenyésző. Ennek magyarázata a napenergia tulajdonságaiban és a napenergia hasznosítás jelenlegi fejlettségében keresendő. A napsugárzás nem egyenletesen érkezik a Földre, intenzitása az évszak, a napszak és az időjárás változásával jelentősen módosul. Ez a megbízhatatlanság rendkívül megnehezíti a napenergia ipari méretű hasznosítását, ugyanis az általa termelt energia mennyisége a nem tervezhető előre. Nehéz lenne egy olyan gazdaságot működtetni, amely leáll, ha felhős az idő. Erre a problémára megoldást jelentene, ha a villamos energiát ipari méretekben lehetne tárolni, mert így a megtermelt energiát egyenletesen lehetne a hálózatba juttatni. Sajnos ez ésszerű költségekkel jelenleg nem megoldható.

A megbízhatatlanság mellett a napenergia hasznosítás másik akadálya az, hogy az energiát óriási területről kell összegyűjteni. Egy naperómű telep körülbelül 50-100-szor nagyobb helyet foglal el, mint egy ugyanannyi energiát előállító atom-, vagy hőerőmű. Ahhoz például, hogy a Magyarország számára ma szükséges energiát napelemekből tudjuk előállítani, az ország területéből nagyságrendileg 100 km²-t kellene lefedni napelemekkel.

A napenergia termelés elterjedésének harmadik gátja az ára. A napelemek és napkollektorok jelenleg még túlságosan drágák ahhoz, hogy versenyezni tudjanak a nem megújuló energiaforrásokkal (az a néhány naperóműtelep a világon, amely a hálózatba áramot termel, mind jelentős állami támogatással épült). Ez a napelemek esetében a jövőben valószínűleg változni fog. A napelemek előállításához ugyanis félvezetőket használnak, és a félvezetőipar mögött olyan hatalmas kutató-fejlesztő

apparátus áll, hogy azok előállítási költsége jelentősen csökkenhet. Ezzel párhuzamosan hatásfokuk is nőni fog, ami kisebb területeken való megépítésüket teszi lehetővé.

A napenergia-hasznosítás előtt - mindent összevetve- szép jövő áll, leginkább a más energiaforrásoktól távoli helyeken, vagy kisebb igények kielégítésére. De kiszámíthatatlan jellege és hatalmas területigénye miatt ma úgy látszik, nem válhat elsődleges energiaforrássá.²³

Tervezett erőművek:

- A németországi Brandenburg tartomány déli részén épülhet meg a világ egyik legnagyobb naperőműve. A tervek szerint a létesítmény legnagyobb teljesítménye 50 MW, alapterülete 300 hektár. A naperőmű megépítése mellett szól, hogy működésével évente közel 50.000 tonna szén-dioxiddal kevesebb jutna a légkörbe.
- San Francisco-ban 2011-ig építik fel a 80 MW teljesítményű erőművet. A komplexum 21 ezer háztartást lát majd el elektromos árammal, a teljesítményt 12 kaliforniai település között osztják majd el.
- Ausztráliában fogják megépíteni a legnagyobb termikerőművet, mely egyben a legmagasabb létesítmény listáról a második helyre szorítaná a jelenleg világelső Canadian National Tower-t Torontóban. Az erőmű kéménye ugyanis 1 km magas lesz, és egymilliárd ausztrál dollárt szán létesítésére az ausztrál kormányzat. 200 000 háztartást fog villamos energiával ellátni, ezzel 700.000 tonnával fogja csökkenteni az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását.

²³ Hárfás Zsolt, Tarczal Lajos: Jövők Energiaforrásai

2.4. Bioenergia

2.4.1. Bioenergia története

Az emberiség első korszakalkotó felfedezése a tűzgyújtás volt. A tűzhöz hőre, üzemanyagra és oxigénre van szükség. Az üzemanyagul elődeinknél kézenfekvő módon az elszáradt növények szolgáltak.

Egészen a 17. századig a biomassza volt az egyetlen hőforrás a Napon kívül. Ebben az időben a világításban az állati és növényi olajok, valamint a faggyúgyertyák égetése játszott nagy szerepet.

Az ipari forradalom idején a fát felváltotta a szén, majd a kőolaj és a földgáz, azaz a fosszilis tüzelőanyagok. Csakhogy a fosszilis tüzelőanyagok – korlátozott mennyiségük miatt – nem alkalmasak arra, hogy egy fenntartható energiagazdaság épüljön rájuk.

A 80-as évek elejétől az egyre növekvő környezeti károk miatt – melyek jórészt a fosszilis energiahordozók fokozott használatának köszönhetően – és az energiaforrások kimerülése miatt a bioenergia került a figyelem középpontjába. A bioenergia előtérbe kerülésének oka az is hogy, a termelésből kivont termőterületeket valahogyan újra hasznosítsák és a falusi lakosságnak is tudjanak minél több munkát biztosítani.

A biomassza égetése során, a szénhez viszonyítva, alacsonyabb a kén-dioxid kibocsátás, a fa esetében melléktermékként keletkező hamu ökológiailag nem káros műtrágyaként hasznosítható. Igaz ugyan, hogy a biomassza égetése is jár üvegházhatású gázok kibocsátásával, de amennyiben a flóra veszélyeztetése nélkül, fenntartható módon alkalmazzuk, a növények fotoszintézise révén az összes megkötött szén-dioxid több mint amennyi az égetéssel keletkezik. A biomassza elterjedése segítheti a mezőgazdaság és az erdőgazdaság túltermelési válságainak kezelését is.²⁴

²⁴ Dr. Sembery Péter, Dr. Tóth László: Hagyományos és megújuló energiák

2.4.2. Bioenergia hasznosítása

2.4.2.1. Biomassza

A biomassza valamely élettérben egy adott pillanatban, jelen lévő szerves anyagok és élőlények összessége. A biomassza lényegében kémiai energia formájában tárolja a fotoszintézis során átalakított napenergiát. A fosszilis energiaforrások hasonló módon, az évmilliókkal ezelőtt a földbe érkezett napenergiát alakították át és kötötték meg.

A biomassza fogalma alatt a szárazföldön és vízben található, összes élő és nemrég elhalt szervezetek (mikroorganizmusok, növények, állatok) tömegét, a mikrobiológiai iparok termékeit, a transzformáció után (ember, állat, feldolgozó iparok) keletkező valamennyi biológiai eredetű terméket, hulladékot kell érteni.

A biomassza keletkezése alapján lehet:

- *Elsődleges biomassza:* maga a vegetáció (mezőgazdasági növények, erdő, rét, legelő, kertészeti növények, vízben élő növények),
- *Másodlagos biomassza:* az állatvilág, illetve az állattenyésztés fő- és melléktermékei, hulladékai,
- *Harmadlagos biomassza:* a feldolgozó iparok gyártási mellékterméke, az emberi életműködés mellékterméke.

2.4.2.2 Fotoszintézis

A fotoszintézis során a növények, algák és egyes baktériumok a Naptól származó energia felhasználásával szerves vegyületeket állítanak elő. Ez a folyamat Földünk legalapvetőbb folyamata, hiszen a fotoszintézisből származnak a magasabb rendű életformák számára elengedhetetlen szénhidrátok, az emberiség által felhasznált összes élelmiszer, valamint az építő- és nyersanyagok nagy része.

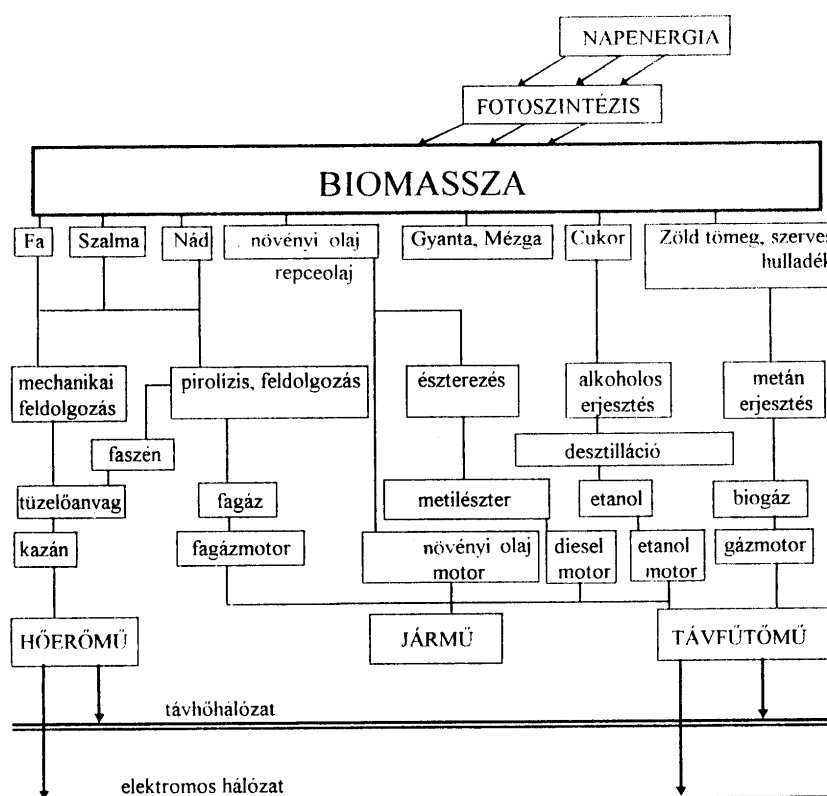
A növényi fotoszintézis alapreakcióját leíró egyenlet (J. Priestly, 1770-es években): $6CO_2 + 6H_2O + \text{fényenergia} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$.

A fényenergia begyűjtéshez a fotoszintetizáló szervezetek speciális pigmenteket használnak, amelyek közül legfontosabb a vörös és kék tartományban elnyelő klorofill. Ezen pigmenteknek köszönhető a Föld legjellemzőbb színe, a zöld.

A fotoszintézis eredményeként az elnyelt fény energiáját a növény arra fordítja, hogy a vizet elbontsa hidrogénre és oxigénre, valamint nagy energiatartalmú cukrot készítsen. Az oxigén gáz formájában felszabadul, a hidrogénből és a légkörből felvett szén-dioxidból szénhidrátot készít a növény. Az átalakítások eredményeként az elnyelt fény energiájának jelentős része, 30%-a hasznosul.

A folyamat endoterm, azaz a növények nagy mennyiségű energiát használnak fel a fény energiájából.²⁴

2.4.2.3. Energiatermelés biomasszából



31. ábra: Az energiatermelés lehetőségei biomasszából

²⁴ Dr. Sembery Péter, Dr. Tóth László: Hagyományos és megújuló energiák

a.) Biomassza energiaforrások

➤ **Energetikai célra termesztendő növények:**

- Lágyszárú növények

Jellemzőjük a hektáronkénti igen nagy növényszám, a viszonylag kis növénymagasság, a mezőgazdaságban kialakult technológiák-, és a kialakult műszaki megoldások alkalmazhatósága. Ezen növények és technológiák alkalmazásának nagy előnye, hogy a mezőgazdaságban alapvető műszaki-technológiai változtatásokra nincs, vagy alig van szükség. A növények életrétege miatt a betakarítások száma nagy és évente elvégezendő.

A jövőbeni biomassza-energiatorozók között a legfontosabbak: repce, rostkender, triticale, magyar árva rozsnok, pántlikafű.

- Fás energianövények

A fás növények a lágyszárúakhoz hasonlóak, de élveők, és a föld feletti részek nőnek tovább minden évben. A napenergia megkötése és a CO₂-forgalom megegyező a bemutatott növényekkel, de alapvető különbség van abban, hogy nem kell minden évben betakarítani, és ha egy tervezett betakarítás valamilyen okból elmarad, az állomány zavartalanul tovább nő, tehát technológiai problémák nem merülnek fel. Ezek közül a legfontosabbak: akác, fűz, nemesnyárok.

➤ **Energiaerdők:**

Széles skálája van az energetikai célra hasznosítható biomassza-féleségeknek, termesztésüket azonban sok tényező gátolja.

Ezek:

- a nehéz termelői-társadalmi elfogadtatás
- a feldolgozó módszereket nehéz beilleszteni a meglévő agrártechnológiába
- kicsi a biomassza területi energiahozama
- energetikai hasznosításának nagy a beruházásigénye.

Az energiaerdő olyan speciális faültetvény, amelyből a legrövidebb idő alatt a legkisebb költséggel, nagy mennyiségű és jól elégethető tüzelőanyag nyerhető. Az energiaerdőt célszerű a mezőgazdaságilag nem hasznosítható, vagy termelésből kivont területekre telepíteni. Ezek az ültetvények a vágásfordulójuk időtartama szerint lehetnek mini (1-4 év), midi (5-10 év), rövid (11-15 év), közepes (16-19 év), hosszú (20-25 év) élettartamúak. E telepítési típusra elsősorban az akácfélék alkalmasak gyors

növekedési erélyük, nagy szárazanyaghozamuk, könnyű kitermelhetőségük és feldolgozhatóságuk miatt. Ezen kívül megemlíthető még a hárs, a juhar, a fűz, az éger, a hazai nyár.

Hazánkban is folytak, valamint folynak energiaerdő-kísérletek különböző tájegységeken, különböző talajviszonyok között, eltérő fafajokkal és technológiákkal.

b.) A biomassa fűtőértéke

A biomassa energetikai hasznosításának legegyszerűbb módja a tüzelés. Az eltüzelés során nyert hőt rendszerint a hőellátásban értékesítik. Oxigéntartalmuk miatt az égetés során az égési levegőigény és a keletkező füstgáz mennyisége csekélyebb, mint a szének égetésénél.

Biomassa	Kémiai összetevők, (%)					Fűtőérték (MJ/kg)	Hamu (%)	Illóanyag (%)
	C	H	O	N	S			
Búzaszalma	45	6.0	43	0.60	0.12	17.3	74.0	6.0
Kukoricaszár						17.5	76.0	3.5
Fa	47	6.3	46	0.16	0.02	18.5	85.0	0.5
Kéreg	47	5.4	40	0.40	0.06	16.2	76.0	9.0
Fa, kéreggel	47	6.0	44	0.30	0.50	18.1	82.0	0.8
Repceolaj	77	12.0	11	0.10	0.00	35.8	10.0	0.0
Ethanol	52	13.0	25	0.00	0.00	26.9	10.0	0.0
Methanol	38	12.0	50	0.00	0.00	19.5	10.0	0.0

32. ábra: Biomassa-féleségek tüzeléstechnikai jellemzői

Fafajta	Fűtőérték [MJ/kg]	Fafajta	Fűtőérték [MJ/kg]
Fenyők		Akác	17,8
Jegenyefenyő	17,58	Cser	18,1
Lucfenyő	19,5	Gyertyán	17,4
Vörösfenyő	16,6	Juhar	17,8
Lágyfák		Kóris	18,1
Fűz	17	Tölgy	18,1
Nyár	17,5		
Nyír	18,4		

33. ábra: Különböző fajták fűtőértéke

A fajták különbözősége a fűtőértékük alapján - egységnyi szárazanyagra vonatkoztatva - elhanyagolhatóan kicsi.

A nedvességtartalom és a fűtőérték fordítottan arányos mennyiségek. Minél több vizet tartalmaz a fa, annál kisebb lesz a fűtőértéke, mivel a víz az égési folyamat során elpárolog. A víz elpárologtatásához szükséges hő (kb. 2,5 MJ/kg) veszteségként jelentkezik.

A fa állapota	Víz tartalom, (%)	Fűtőérték, (MJ/kg)
Erdei frissességű	50 - 60	7,1
egy nyáron át tárolva	25 - 35	12,2
Több éven keresztül tárolva	15 - 25	14,4

34. ábra: A különböző állapotú fa fűtőértéke

A biomassza eredetű energiahordozók általában olcsó, decentralizált energiaforrások. A száraz biomassza fűtőértéke közel áll a közepes minőségű barnaszén energiatartalmához.

c.) Biogáz

A mezőgazdaságból származó másodlagos biomasszából (elsősorban állati eredetű szerves trágya) anaerob fermentálással* biogáz nyerhető. A biogáz előállításának egyéb alapanyagai:

- mezőgazdasági melléktermékek

* Anaerob fermentáció során egy molekula glükóz két molekula piroszőlősavvá alakul, s ennek során két molekula ATP szintetizálódik

- élelmiszeripari melléktermékek
 - biomassza céljára termelt növények
 - kommunális hulladék szerves része
 - települési szennyvíziszap
- *A biogázt előállító metanogén baktériumok:* A biogáz a mikroorganizmusok, metanogén baktériumok életműködésének a terméke. A metánbaktériumok természetes életteret lelnek a mocsarakban, tenger mélyén és a bélrendszerben, kiváltképp a kérődzőknél. Ezekben a természetes életterekben található meg a metánbaktériumok létezésének élőfeltételei
- A metánbaktériumok élete anaerob körülmények nélkül elképzelhetetlen, azaz csak oxigéntől elzártan életképesek. Nedves közegre is szükségük van, létezésükhöz a kirohasztandó anyagok nedvességtartalmának 50% felett kell lennie. Életfeltételük fény hatására is csökken, létezésük harmadik feltétele tehát a sötétség.

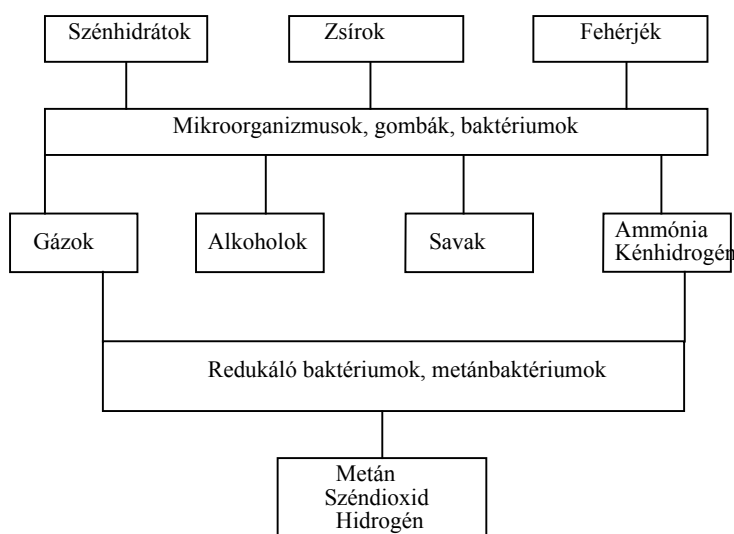
További körülmények:

- Megfelelően nagy telepítési felület.
- Elegendő nitrogéntartalom a sejtek felépítéséhez.
- Lúgos közeg (pH 7,0-7,6 között).
- 3 °C feletti hőmérséklet.

Ezek az élőlények heterotróf* növények, szénszükségletüket szerves anyagból fedezik. Tápanyagszállításuk ozmózással megy végbe, mivel a sejtnedv általában nagyobb koncentrációjú, mint a környezet. sejtmembránjaik pórusain át a víz és az oldott tápanyagok a sejtek belsejében jutnak, a disszimiláció végtermékei pedig kiléphetnek. A baktériumok kémiai összetétele hasonló a többi élőlényéhez. A szilárdanyag-tartalom átlagosan 53%-át a széntartalom adja, míg a víztartalom 73-88% körül ingadozik.

* egyes növények azon tulajdonsága, hogy táplálékra szorulnak, a szervezetüket felépítő és az életműködéshez szükséges anyagokat nem képesek szerves anyagokból előállítani

➤ *A biogáztermelés kémiája, mikrobiológiája:*



35. ábra: Szerves anyagok anaerob lebomlási folyamata

A számításba jöhető szerves anyagok többnyire nagy molekulájú vegyületekből épülnek fel. A metánbaktériumok nem képesek ilyen nagy molekulájú anyagokat felvenni. Ezért a metánná és szén-dioxiddá való anaerob rothasztáskor ezek az anyagok egy többlépcsős bontási folyamaton mennek keresztül, melynek során a nagy molekulájú vegyületek kismolekulájú zsírsavakká és alkoholokká alakulnak, amit a metánbaktériumok már közvetlenül fel tudnak venni. A biogáz-előállítás szempontjából a legfontosabb három fő vegyületcsoport: szénhidrátok, fehérjék és zsírok.²⁵

➤ *A biogáz felhasználása:*

A biogáz felhasználásának lehetőségei sokirányúak. A felhasználás és a szállítás is gáz formájában a leggazdaságosabb. A tisztított biogáz jellemzői megegyeznek a földgázéval, mivel szinte 100%-ban metánból áll. Ilyen formában az országos hálózatba is betáplálható, de helyi fogyasztásra eredeti metántartalma is megfelelhet. Sűrítve (tisztítva vagy eredeti formájában) járművek hajtására is használható. Az előbbieket közül a vezetékessé gázellátás tűnik a legkedvezőbbnek, hiányzik azonban a piaci szabályozás.

A gáz felhasználható még hőtermelésre, illetve elektromos energia előállítására, valamint a kettő kombinációjára. Utóbbi esetben a biogáz energiataralmának mintegy 80%-a hasznosul, míg ha csak áramot állítunk elő, a hatásfok csupán 32%.

²⁵ Dr.Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós: Energia és környezet

Ehhez azonban az szükséges, hogy a keletkező hő felhasználása is megvalósuljon. Ez a jelenlegi erőművek méretei mellett nem (vagy csak igen nehezen) oldható meg, ugyanis ehhez a közelben nagy (ipari vagy lakossági) hőfogyasztó lenne szükséges, ami általában nem adott. Nagyobb távolságra történő szállításkor pedig hőveszteség lép fel. Decentralizált villamosáram-előállítás esetén azonban a sok kisméretű bioáram-erőmű lehetőséget ad a hőenergia helyi felhasználására. Ezt lakossági, illetve intézményi fogyasztók használhatják fel. Még kedvezőbb az energia felhasználása ipari (agrár-ipari) parkokban, ahol az energiatermelő és a fogyasztók szorosan egymás mellett találhatók. A biogáz tisztításakor kapott tiszta szén-dioxidot fóliák és növényházak kultúráinak szén-dioxid trágyázására használják. Alkalmazása növényfajtól függően 15-40% terméstopplettet, és a termésminőség javulását eredményezi.

A biogáz keletkezésének és felhasználásának időbeli eltérését legjobban az országos földgázvezetékbe való betáplálás oldaná meg (a földgázutak kimerüléséig), mely rugalmas ellátást biztosítana. A hőigényre ugyanis jellemző, hogy főként késő ősz és kora tavasz között jelentkezik, míg a biogáztermelés (különösen alacsonyabb fokú hőszigetelés esetén) a melegebb időszakban nagyobb. Az állandó felhasználást tárolással, vagy a hőfelhasználás szezonális megoszlásának módosításával (pl. terményszárításra, üvegház, adszorpciós hűtővel működő hűtőház létesítésével) lehet elérni.²⁷

²⁷ Kissné Quallich Eszter (1983): A biogáz. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest

2.4.3. Bioenergia Magyarországon

Az elemzések azt mutatják, hogy a legnagyobb bővíthető energiahordozó-bázis Magyarországon a biomassa. Szintén nagy potenciál rejlik a biomassa jellegű melléktermékek, hulladékok energetikai hasznosításában, ez kiemelten fontos terület a mezőgazdaság számára is. A biomassa hasznosítása hazánkban még elenyésző a lehetőségeinkhez képest, de a korszerű eljárások pozitív energiamérlege, és az egyre kedvezőbbé váló gazdasági környezet egyaránt azt jelzik: a jövő a megújuló energiaforrásoké.

Jelenleg Magyarországon a biomassa energetikai célú hasznosítása leginkább a fás szárú növényekkel fűtött biomassa-erőművekre terjed ki (pl. Pécs, Oroszlány, Szentendre, Pornóapáti). Terjedőben vannak az erőművek szükségletének kielégítése érdekében az energiaültetvények (energiafűz, energianyár, energiafű stb.), amelyek alapanyagát pelletálva, brikettálva lehet az arra alkalmas kazánokban elégetni. A környezetbarát működés a biomassa-tüzelés esetében is akkor valósul meg, ha az alapanyagok között jelentős arányt képviselnek a mezőgazdasági hulladékok (szőlővenyige, szalma, fakéreg, gyümölcsfák nyesedékei, kukoricaszár stb.)

A biomassa erőművek között külön kategóriát képviselnek a biogáz-erőművek. A biogáz szennyvíztelepeken spontán képződik, de megfelelő reaktorban bármilyen szerves anyag gázzá alakítható. Magyarországon pl. Nyírbátorban, Sarródon, Szegeden működnek biogáz üzemek. Szeged esetében a Pick gyár sertéstelepein 6 biogáz üzem létesül, amely a dél-alföldi térség áramfogyasztásának 6%-át adhatja. Összegésében a magyarországi villamosenergia-termelő kapacitás biogázból 2005. és 2010. között megtízszerezhető.²⁶

²⁶ B. Papp László (2006): Bioenergia – több százmilliárdnyi beruházás

2.4.4. Bioenergia környezeti hatásai

Mindenekelőtt ki kell emelni a biomassza energetikai felhasználásánál azt a nagy előnyt, hogy "**CO₂-semleges**". Elégetésükkor (vagy származékaik elégetésekor) csak annyi szén-dioxid termelődik, amennyit a növény a fotoszintézis során felhasznált. Természetesen a termelésüknek, begyűjtésüknek, előkészítésüknek, illetve szállításuknak van energiaszükséglete - ezen keresztül bizonyos mértékű CO₂ kibocsátással számolni kell.

A biomassza eltüzelésekor is jelentős hamutartalommal (2-9 %) kell számolni, azonban ez a hamu környezetbarát. Káliumtartalmánál fogva felhasználható a talajerő-visszapótlásban.

A tüzelési célra felhasznált biomassza-féleségek kéntartalma minimális, általában 0,1% alatt van. Így kéntartalma gyakorlatilag sem a hamunak, sem a füstnek nincs.

A biomassza tüzeléskor az emisszióértékek általában sokkal kedvezőbben alakulnak, mint a hagyományos fűtési rendszereknél. Bizonyos bio-tüzelőanyagok (darabos fa, brikett, stb.) a hagyományos széntüzelésű tüzelőberendezésekben (kályhák) is elégethetők. Ilyenkor azonban az illóanyagok fűtőértékének nagy része nem hasznosul, a füstgázzal együtt távozik. A füstgázok környezetszennyező-anyag tartalma ekkor is kisebb, mint széntüzelés esetén, de sokkal rosszabb annál, minthogy speciális tüzelőberendezésben vagy nagyobb teljesítményű kazánokban tüzelnének el.

Biomassza elégetése során nitrogén-oxidok keletkeznek, illetve közvetve talajközeli ózon is kialakul. Különösen veszélyesek, egészségkárosítóak, rákkeltők az ózon másodlagos termékei, az oxidatív szennyezők (ilyen például az erősen mérgező PAN, azaz peroxi-acetil-nitrát, illetve a mérgező és rákkeltő aldehidek). Az ilyen anyagokat tartalmazó levegő izgatja az emberek, állatok szemét és nyálkahártyáját. Az ózon agresszív, oxidáló anyag. Mivel vízben csak mérsékelten oldódik, belélegzéskor mélyen lekerülhet a tüdőbe. Az ózon a tüdőkapacitás csökkenését okozhatja, és gyengítheti a baktérium- és vírusfertőzésekkel szembeni ellenállóképeséget. A magas ózonkoncentráció ingerelheti a szemet is. A tartósan magas ózon tartalmú levegő belélegzése növeli a rák kialakulásának esélyét. Ezen túl az ózon közvetlenül árt a

növényeknek, oxidálja, pusztítja azok zöld leveleit, virágait. Gátolja a fotoszintézist, és a gyökérlégzést, ami szintén a növény pusztulásához vezethet.

A biomassa igen jelentős raktárkapacitásokat igényel a fűtőművek közelében, illetve odaszállításuk is jelentős ráfordításokat igényel. Nagy változó költséggel kell számolni a szállítás során, hiszen közúton, vagy vasúton lehet eljuttatni a felhasználási helyre. Mivel a betakarítások fűnél nyáron, a fánál pedig télen szezonális jellegűek, míg a felhasználás egész évben folyamatos, ráadásul a legnagyobb mértékben télen történik, így a megfelelő raktározás, logisztika alapvető fontosságú. A fát, ami betakarítás után apríték, az átmeneti tárolás során forgatni kell, különben megindul egy rothadás, ami csökkenti a fűtőértékét. A fű esetében egyszerűbb a helyzet. A bálázógép szabvány méretű bálát készít, ami akár a szántóföldön is tárolható. A mezőgazdasági területek egy részének átcsoportosítása energifa és energiafű termesztésére azért is lenne jó megoldás, mert így az eddig túltermeléssel és raktározási gondokkal küzdő gabona és más mezőgazdasági növény termesztésére használt területektől vonnánk el a földeket.

Biogáz környezeti hatása:

- Biogáztechnológiával csökkenthető az üvegházgázok légköri koncentrációja:

Metán (CH₄)

A metán gáz üvegházpotenciálja 58-szorosa a szén-dioxidénak (azonos mennyiség esetén), így a légkörünket legjobban károsító klímagázok közé sorolható.

Természetes és mesterséges metánforrások a mocsárvidékek, rizsföldek, szarvasmarhatartás, kőolaj és földgáz bányászat és feldolgozása, bányászat, vulkánok stb.

A szerves anyagok gyors és gázmentes gyűjtésén keresztül (pl. trágya, szemét) a biogázüzemben történő ellenőrzött erjesztés során a metán emisszió csökkenthető.

Kéjgáz (N₂O)

Az N₂O a magas, 150 éves tartózkodási idejével az atmoszféra egyik lekárosítóbb üvegházgáza. Főként a vízben és talajban végbemenő biológiai folyamatok bocsátanak ki ilyen gázt. A hosszú tartózkodási ideje és a talaj alacsony szivárgási mutatói magas N₂O kibocsátáshoz vezetnek. A károsító hatásnak két szempontja van: egyrészt hozzájárul az üvegházhatáshoz, másrészt ha feljut a sztratoszférába pusztítja az itt jelenlévő ózont.

- A gáztermelés során keletkező egyéb emissziók:

Szaghatás: Bármilyen hulladékkezelő eljárás legfontosabb kritériuma a szaghatás minimalizálása. A hulladékkezelés különböző stádiumaiban a kibocsátás különböző mértékben és koncentrációban jelentkezik. Főként a gyűjtésnél, a szállításnál és az előkezelésnél keletkeznek ezek a szagok. Az állattartásnál az istállóból, a melléképületekből és egyéb mezőgazdasági tevékenységekből ered a szagemisszió, pl.:

- magától az állattól
- az istálló levegőjétől
- a takarmány előállításából, tárolásából és elosztásából
- az állati ürülék tárolásából és kezeléséből
- szerves trágya kiszállításakor.

Az állattartásból eredő szagok ammóniát, aminokat, kénhidrogént, fenolokat, zsírsavakat tartalmaznak. A biogáz üzemben való kezeléssel az emisszió jelentősen csökkenthető. A metánerjesztés során káros anyagok nem képződnek, vagy erősen lebomlanak. Egy sertéstrágyával folyamatosan üzemeltetett fermentálónál 50 %-os szag lebontás lehetséges.

Szennyvíz: A biogázüzemben az előkészítés és kezelés alatt nagyon kis mennyiségű szennyvíz keletkezik. Már a legegyszerűbb üzemekben is zárt vízforgató rendszert állítanak be.

Por: A por veszélyességét ezekben az anyagokban a spórák, gombák, vegyi anyagok, és egyéb toxikus anyagok mértéke határozza meg. A biogáz előállítás során többnyire nedves eljárásról beszélhetünk, ezért a por alakban előforduló fertőző és toxikus anyagok nem jutnak fontos szerephez. A reaktor hőmérsékletén ezen baktériumok nagy része elpusztul. A technológiához kapcsolódó egyéb eljárások, mint a komposztálás, szállítás utókezelés sokkal inkább küzdenek ezzel a problémával.

Mikroorganizmusok: A szerves hulladékok gyűjtőhelyi és a trágyadombok ideális élő- és szaporodóhelyei a betegséget terjesztő mikroorganizmusoknak. A szerves hulladékok biogázkészülékben történő kezelésével felszámolhatók ezek az élőhelyek. Ezáltal a fertőző betegségek elterjedése korlátozható.

Károsanyagok: Ehhez a csoporthoz olyan nehézfémek tartoznak, míg a Hg, Cd, Cu, melyek már igen kis mennyiségben az emberi szervezetre mérgezőek lehetnek. A mezőgazdasági alkalmazáson keresztül a hulladékkal, szennyvízzel és szennyezett levegővel kerülnek a bioszférába. Az állati trágya és a szilárd hulladék nem mentes a káros anyagoktól. A mezőgazdasági hulladékok nehézfém tartalma az állattartás módjától és a takarmányozástól függ. A mezőgazdasági hulladékok nehézfém tartalmára további magyarázatot ad a geológiai alapkőzet és a levegőből való bejutás. Nem csak a mezőgazdasági területeken, hanem más régiókban is előfordul magas talajterhelés. A növények felszíni részeire rakódott poron keresztül a nehézfém tartalom a mezőgazdaság és az élelmiszeripar közvetítésével eljut a háztartásokhoz, ahonnan a hulladék gyűjtésével a komposztba kerül. A növényekben levő nehézfém tartalom nem csupán a talajkeveredéssel magyarázható, hanem a nehézfémek külső szennyezésével is. Speciális anaerob eljárásokkal termelhető olyan komposzt, aminek a nehézfém tartalma jóval a határérték alatt marad.²⁵

²⁵ Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós: Energia és környezet

2.5. Geotermikus energia

2.5.1. Geotermikus energia története

A geotermikus források felfedezése egészen a római időkig nyúlik vissza. Legelőször a termálvizet alkalmazták, elsősorban gyógyászati, háztartási és pihenési célokra. Egykoron a Brit római fürdővárosok a hévízforrásokat csőhálózat segítségével közvetlenül hasznosították. A rómaiak a hévizet a szem és bőrbetegségek kezelésére, míg Pompeiben az épületek fűtésére használták. Új-Zélandon az első polinéz betelepülők, a geotermikus hőforrások gőzét a főzésben, a termálvizet pedig a fürdésben, mosásban és a gyógyításban hasznosították. A hévizek fűtésben és gyógyászatban való alkalmazása a modern világban ismét aktuálissá vált.

A 19. században a technika fejlődésével lehetővé vált a felszín alatt rejlő termikus erőforrások kutatása és feltárása. Toscanában a természetes geotermikus energiát a bór és az ammónium vegyületek feldolgozására használták. Az elektromos energia termelése 1904-ben indult meg Piero Ginori Conti herceg munkássága által.

Új-Zélandon, és az Észak-Kaliforniában az 1950-es években indult meg a termelés.

Franciaországban 1960 óta több mint 200.000 lakás fűtését oldják meg termálvíz segítségével.

Olaszország és Izland a vulkánikusan legaktívabb két európai ország a Közép-Atlantikum vulkáni hátságán fekszenek. Ennek ellenére a legfőbb, geotermikus energiát hasznosító nemzetek a Csendes-óceáni lemezszegély mentén csoportosulnak. Japán, a Fülöp-szigetek és Mexikó a jelenlegi technológia fejlesztésén dolgoznak. A geotermikus hő közvetlen felhasználásának lehetőségét, a távfűtésben és a mezőgazdaságban Japán, Kína, a volt Szovjetunió utód államai, Magyarország valamint Izland hasznosítja legelőnyösebben. Az új technológiákat Franciaországban és más nyugat-európai országokban dolgozták ki.²⁸

²⁸ Dr. Gööz Lajos: A természeti erőforrásokról, Nyíregyháza, 1999

2.5.2. Geotermikus energia hasznosítása

Geotermikus energia, geotermális energia: tágabb értelemben a Föld belsejében keletkező, a földi hő-áramban meghatározott szintig feljutó és ott a kőzetekben, illetve a pórusvízben tárolódó termikus energiamennyiség. Szűkebb értelemben felszín alatti víz hőtartalmában rejlő energia. A geotermikus energia jelenleg gazdaságosan csak a hévíz közvetítésével hasznosítható, amit a víz nagy fajhője tesz lehetővé.

A földmagban kb. 7000°C hőmérséklet uralkodik. Ez az óriási hőmennyiség két módon keletkezik. Egyrészt úgy, hogy 4600 millió éve, a bolygónk anyagainak kondenzálódása idején, a belső részek rendkívül gyorsan felmelegedtek, mert a sűrűsödő anyagok kinetikus energiája hőenergiává alakult. Másrészt a Föld belsejében hosszú bomlási idejű radioaktív izotópok találhatóak, mint a thórium-232, uránium-238, kálium-40. Ezek bomlása során hő szabadul fel, megközelítőleg $5 \cdot 10^{20} \frac{J}{év}$. Mivel a radioaktív bomlás aktivitása az idővel exponenciálisan csökken, a bomlásból származó hő Föld kialakulása után közvetlenül ötszöröse lehetett a mainak. Ez a hő a hőáramlás útján halad a felszín felé. A felszín közelében, úgy 100 km mélyen, a föld anyagai túl kemények ahhoz, hogy létrejöjjön a hőáramlás, így a hő hővezetés által halad tovább. A világon számos olyan hely található, ahol a vékony kőzetrétegen át annyi hő áramlik fel 150-200°C-os gőz formájában, hogy elektromos áram termelésére tudják hasznosítani.

A geotermikus energia gazdaságos kinyerését az után-pótlódó víz, az alkalmas víztartó, valamint a geotermikus gradiens határozza meg. A geotermikus gradiens azt jelenti, hogy a Föld középpontja felé haladva 100 méterenként hány °C-kal nő a hőmérséklet. A köznapi életben ennek a reciprokát szokás használni. Ha egy kisebb terület geotermikus gradiense eltér a tágabb környezet átlagától, geotermikus anomáliáról beszélünk. Az eltérés oka lehet a földkéreg kivékonyodása (pl. Kárpát-medence), közeli vulkáni tevékenység (pl. Izland) vagy vízszintes hévízmozgás. A geotermális energia kinyerése helyileg jelentős és gazdaságos lehet ott, ahol kedvezőek a földtani adottságok, viszonylag kis mélységben magas a hőmérséklet és jó vízáadó képződmények találhatóak. A geotermikus energia hasznosításának a fenti feltételek megléte esetén is gátja lehet a hévíz gyakran nagy oldott só tartalma, valamint az, hogy a lehűlt kezeletlen víz súlyosan károsíthatja a környezetet. A hasznosítása elsősorban a

felszínre érkező hévíz hőmérsékletétől függ. A 100°C feletti hőmérsékletű hévíz alkalmas lehet elektromosenergia-termelésre is. A 100°C alatti hőmérsékletű hévizek hőcserélőn keresztül történő közvetlen hő-hasznosítása a leggyakoribb (pl. épület, növényház fűtése), majd a 35-20°C-ra lehűlt vizet balneológiai** célokra használják fel. A geotermális energia legjobban a lépcsős hő-kinyeréssel oldható meg: pl. 90-60°C-os vízzel lakást fűtenek, 60-35°C-os vízzel növényházat, majd gyógyvízként használják fel. A hazai hévíz kutak által felszínre hozott hőmennyiség mintegy 40%-át fürdők, strandok hasznosítják, közel 30%-át pedig üvegházak fűtésére használják.¹¹

A geotermikus energiaforrásoknak három fontos jellemzője van:

➤ **Az aquiferek/víztározó rétegek**

A természetes aquiferek általában porózus kőzetek, amelyek vizet tárolnak, illetve rajtuk a víz átjuthat. A vulkanikus kőzetek, a mészkő és homokkő jó víztározó kőzetek, nagy permeabilitással^{***}, és viszonylag nagy porozitással* rendelkeznek.

➤ **A zárókőzet**

A zárókőzet akadályozza meg, hogy a geotermikus folyadék az aquiferből elszökjön.

➤ **Hőforrás**

A hő a kristályosodó magmatömegeből származik. Bizonyos esetekben a vulkánban fölfelé haladó magma nem tör ki, hanem egy bizonyos nagyságú felhajtó erő hatására sűrűsége olyan lesz, mint a magmát körülvevő kőzeteké. A magma és a talajvíz között ritkán jön létre közvetlen interakció. A hő a közöttük lévő nagy geotermikus gradiensű kőzeten át közvetítődik. A világ legfejlettebb geotermikus régiói kialudt vulkáni területen találhatóak (Észak-Olaszország, Nyugat-USA). Ezek a területek különösen alkalmasak a hasznosításra, hiszen a felszíni kőzetek jó hőszigetelők és a felszín alatt rejlő magmatikus intrúziók^{****} csak igen lassan, úgy tíz millió év alatt fognak kihűlni. Azokat a gyűjtőtartályokat éri meg leginkább hasznosítani, amelyek gőzt tároznak, hiszen a folyékony víztől mentes száraz gőz igen produktív. A gőzképződést elősegíti, ha a víztározó kőzetei hidrosztatikai nyomás alatt állnak (2 km

** A balneológia a gyógyforrásoknak, gyógyvizeknek a gyógyfürdői alkalmazásával és hatásaival foglalkozó tudomány,

¹¹ Környezetvédelmi lexikon

*** Permeabilitás: a folyadékok- vagy gázok a pórusokon történő áramlásának tényezője

* Porozitás: a pórusüregek térfogatának és a minta teljes térfogatának a hányadosa

**** A magma nagyobb tömegeinek behatolása szilárd kőzetek közé.

mélyen a nyomás elérheti a 3-3,5MPa-t) és beszivárgott talajvíz határolja. A folyadék dominált területek esetében a hidrosztatikus nyomás 1km-nél mélyebben már meghaladja a 10MPa-t. Az elektromos áram folyadék dominált helyekről történő termelésének előnye, hogy a folyadék nagy hidrosztatikus nyomású, és az alacsonyabb nyomású felszín felé haladva a víz rögtön gőzzé alakul, amint eléri forráspontját.

Azokon a területeken ahol nincs vulkanikus hő a hőforrások két típusát különböztetjük meg:

- Az üledékes medencékben a víztározó rétegek vizet szállítanak a mélybe, ami ott felmelegszik és hasznosíthatóvá válik.

Előnye: az energia nemcsak elektromos áram termelésre alkalmas. A vastag üledékréteg alatt elhelyezkedő kőzetréteget alulról az olvadt kőzetanyag cirkulációi vékonyítják. Az Alföld alatt a geotermikus gradiens nagy és 1 km mélyen már 120°C-os termálvizet lehet találni. Más területeken vastagabb üledékes réteget találhatunk. A mexikói Golf-öbölnél, Dél - Texasban és Luisianában 3-5 km mélyen 160-200°C-os hévizet találhatunk. Mivel itt a víztározó rétegek mélyen találhatóak és fölöttük vastag impermeábilis kőzet található, az itt uralkodó nyomás helyenként meghaladja a 100 MPa-t. A tárolt víz magas só- és metántartalmú.

- Léteznek forró, száraz kőzetek, ahol a természetes hőtermelés nagy ugyan, de ezekhez mesterségesen kell aquifert építeni, hogy az energiát hasznosítani tudjuk.

Ezen energiaforrások hasznosítása a tározott hő kinyerésére irányul. Fontos, hogy legyen egy mesterséges furat a megfelelően magas hőmérsékletű kőzetben, hogy rajta vizet tudjanak cirkuláltatni. A levezetett víz, gőzzé alakul, ami a felszínre áramoltatva elektromos áram termelésére hasznosítható. Ez a technológia azonban még csak elméletben létezik. Legalább 6 km mélyre kellene fúrni a földkéregben, ami egy igen költséges eljárás. Az UK-ban, Franciaországban, Japánban és az USA-ban végzett kísérletek alapján a gránittömbök bizonyultak a legalkalmasabbnak az ilyen célú hasznosításra. Ezek a kőzetek nagy területeket foglalnak el a földkéregben, magmából kristályosodnak és természetesen nagy koncentrációban tartalmaznak kémiai elemeket, hosszú bomlási idejű radioaktív izotópokat uránt, thóriumot, káliumot.

2.5.3 Geotermikus erőművek

2.5.3.1 Geotermikus erőművek típusai, működésük

Három geotermikus erőmű típus létezik, melyek különböző technológiával nyerik ki a föld hőenergiáját:

➤ **A "dry steam" (száraz gőz) erőmű:**

E típusnál a gőzt közvetlenül a turbinába vezetik, ami pedig az áramtermelő generátort mozgatja. Az eljárás szükségtelenné teszi, hogy a gőzt fosszilis tüzelőanyagok elégetése árán állítsák elő. Először 1904-ben használták Olaszországban Ladarello-ban, és még mindig hatékonyan működik. Ma Amerikában a Geysers geotermális területen, a világ legnagyobb mélységi hőbányászati területén használják ezt a technológiát.

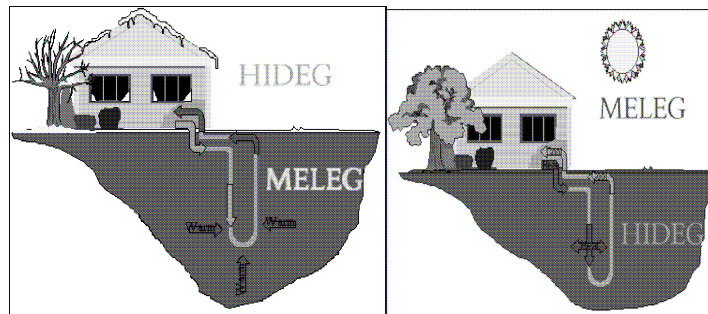
➤ **A "flash" erőművű:** A turbina működéséhez a 182 °C hőmérsékletű folyadékot egy tartályba eresztik, ahol az alacsonyabb nyomás miatt hirtelen gőzképződés lép fel. A folyamat hirtelenségére utal a "flash" név, ami angolul villanást jelent. A képződő gőz aztán további vezetéseken megy keresztül, és végül meghajtja a turbinát. A módszer előnye, hogy a gőzképződés után, a fennmaradó folyadékot újabb tartályokba vezetve, egyre csökkenő nyomásviszonyok mellett további gőzképződéssel még nyerhetünk energiát.

➤ **A "binary cycle" (kettős ciklusú) erőmű:** Bizonyos geotermális területeken a kitermelő aknából feltörő forró víz hőmérséklete nem éri el a 182 °C-t. Az ilyen víz mégis kiválóan alkalmas energiatermelésre, mivel a "binary-cycle", azaz kettős ciklusú turbinában a lapátokat nem vízgőz, hanem egy alacsonyabb forráspontú folyadék gőze mozgatja. Ez a fluidum a vízzel soha nem érintkezik. A hőcserélő berendezésben veszi át a víz által felszínre hozott földhőt, melynek hatására gőzzé alakul, és innentől a fentebbi erőműtípusokkal megegyező módon működik. A három közül ez a rendszer a legtisztább, hiszen tökéletesen zárt, így az atmoszférába sem juttat semmit, még vízgőzt sem. Ennél

fogva a jövő erőművei valószínűleg a kettős ciklusú technológiát alkalmazzák majd.³

2.5.3.2. Hőszivattyú

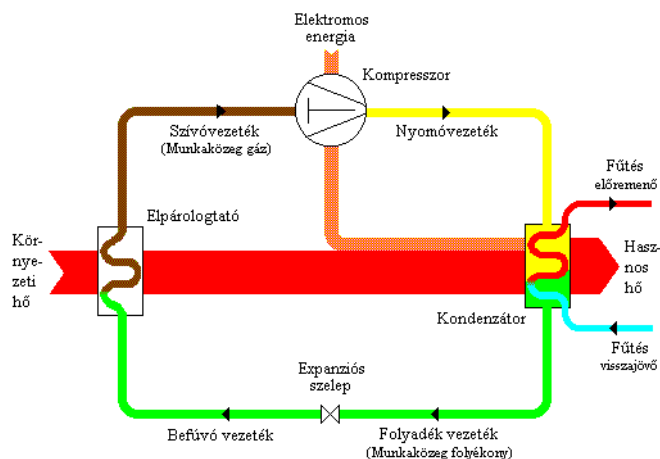
A hőszivattyú úgy működik, mint egy háztartási hűtőgép, amely melegíti a konyhát, amikor belül hideget termel. A hőszivattyú télen hűti a talajt és melegíti a lakást. Nyáron pedig hűti a lakást és melegíti a talajt.



36. ábra: Hőszivattyú működési elve

Működési elve: A hőszivattyú olyan nagyteljesítményű klímagép, melyet elsősorban fűtésre használnak, de egy átkapcsolással hűtött vizet vagy levegőt tud keringetni a fűtési rendszerben, tehát klímagépet pótol. Két hőcserélőt egy körvezeték köt össze. Egy kompresszor a csővezetékben olyan munkaközeget keringet, melynek igen alacsony a forráspontja, csak nagy nyomás alatt cseppfolyósodik. A hideg oldali hőcserélő előtt a folyékony halmazállapotban lévő munkaközeg nyomását egy nyomáscsökkentő szelep leejti kb. 5bar-ra. Ekkor a munkaközeg elpárolog, kb. 0°C -ra lehül és a párolgáshoz szükséges hőt a hőcserélő másik oldalán átfolyó környezeti közegből (vízből, levegőből, termálvíz hulladékból, szennyvízből, stb.) vonja el, annak lehűtésével. A kb. 5°C-ra felmelegedett munkaközeget a kompresszor elszívja, besűríti 15-25 bar nyomásra, melytől a lecsapódó munkaközeg felmelegszik 40-60°C-ra. A lecsapódásnál felszabadul az a hő, melyet a környezetből elvont, megnövelve a kompresszorba betáplált és hővé átalakult energiával. Mindezt az energiát a másik hőcserélőn áthaladva átadja a fűtési rendszerben keringő fűtőközegnek.

³ Open University - Renewable Energy



37. ábra: hőszivattyú működési elve

A hőszivattyú kevesebb energiát (elektromos áram) használ, mint amennyit lead (hő). A kinyert hőenergia és a befektetett elektromos energia arányszámát teljesítmény tényezőnek (COP - Coefficient Of Performance) nevezzük, amely a hőszivattyú legfontosabb jellemzője. Ebben az értelemben a hőszivattyú hatásfoka nagyobb, mint 100% (általában 300-600% lehet). Elméletét Carnot dolgozta ki, az első hőszivattyút 1870 körül alkalmazta von Rittingen osztrák mérnök a Salzburg környéki sóbányákban.

A hőszivattyú előnye, hogy kicsi a helyigénye, nagy teljesítményekre is képes és önállóan képes nagyobb igények teljes ellátására, hidegebb vidéken is. A kompresszor meghajtásához szükséges energia többszörösét tudja a környezetből elvont hővel leadni.²⁹

2.5.3.3. Geotermikus erőművek globális és hazai helyzete

Globális helyzet: A geotermikus erőműveket elsősorban az aktív vulkáni tevékenységgel bíró területekre építik, hiszen itt felszín közeli területeken, magas hőmérsékletű termálvíz van jelen. Ilyen területek a Pacifikus hegységrendszer.

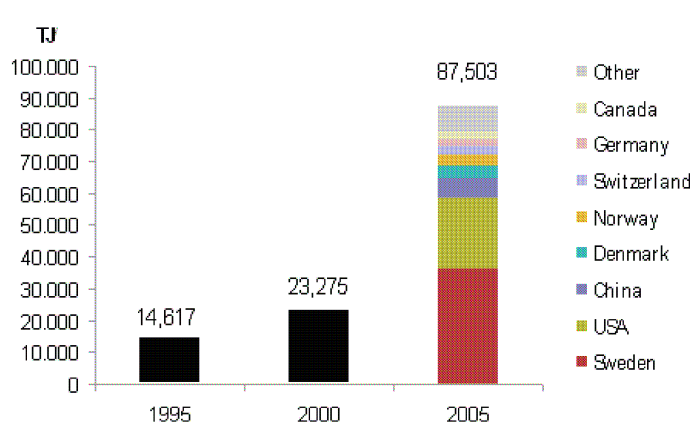
A 10 legnagyobb hasznosító közé tartozik USA, a Fülöp-szigetek, Mexikó, Indonézia, Olaszország, Japán, Új-Zéland, Izland, Costa Rica és Kenya.

Európában Olaszország vezet, az országos teljes villamosenergia-termelésének 1,9%-át adva. Van még földhőerőmű Portugáliában, Franciaországban és Németországban.

²⁹ Hajdú György: A hőszivattyú a jövő energiaforrása a nap és föld hőjének hasznosítása

A közvetlen hőhasznosítás sok alkalmazási területen érvényesül: fűtés, ipari és mezőgazdasági (üvegházak, talajfűtés) felhasználások, hévízfürdők. Világszerte eddig kilencven országban mutattak ki készleteket.

A földhőszivattyúk fejlődése is jelentős, amit a következő táblázat mutat:



38. ábra: A földhőszivattyús rendszerek fejlődése világszerte (Fridleifsson et al., 2008)

Hazai helyzet: Magyarországnak kedvezőek a geológiai, azon belül is a hidrogeológiai (vízföldtani) adottságai geotermikus energia jelenlétét illetően. Ez annak köszönhető, hogy Magyarország alatt az átlagosnál vékonyabb a szilárd földkéreg, aminek következtében 1,5-2-szer magasabb a földi hőáram értéke, mint az európai átlag, s mindehhez megfelelő mélységben jelentős víztároló rétegek vannak. A legfőbb ilyen víztároló az ún. felső-pannóniai homokkőmedence, melynek vastagsága helyenként eléri a 2500 métert, és amelyből 100°C körüli kifolyó hőmérsékletű termásvíz is nyerhető. Ezen üledékes tárolók mindenekelőtt a Nagy- és Kisalföldön fordulnak elő, illetve kisebb vastagságban és rosszabb vízáradó képességgel a Dunántúl egy részén. A különböző hévíztárolók egyébként szerte az országban előfordulnak. Felfedezésük szinte kivétel nélkül az olajipari kutatások következménye. Az igazán értékes területek leszűkülnek az ország délkeleti és északnyugati részére, Csongrád és Békés megye illetve Győr-Moson-Sopron megye, továbbá a szigetszerűen előforduló karsztos tárolókra.

Villamosenergia-termelést szolgáló geotermikus erőmű a mai napig nem működik Magyarországon. Az első kísérleti geotermikus erőművi blokk (2–5 MW teljesítménnyel) kialakítását a Zala megyei Iklódbördőce térségében kezdte meg a MOL. Működéséhez a település határában lévő szénhidrogén-kutató fúrásból kialakított kút 140°C-os termásvizét kívánták használni.

A geotermikus energiát ma Magyarországon alapvetően kétféle célra használják: hőhasznosításra, és balneológiai célokra (fürdők ellátása). A leggyakoribb hasznosítási mód a lakossági, kommunális, mezőgazdasági létesítmények fűtése. A lakó- és középületek fűtési és használati melegvíz igényét a 80-90°C-os hévizet szolgáltató kutakkal távhőszolgáltatás-szerűen ki lehet elégíteni. Az új épületeknél célszerű úgynevezett közepes és kis hőmérsékletű fűtési rendszereket (padlófűtések, légfűtések) kialakítani, mivel ezeknél már a 60°C-os feletti hőmérséklet-tartományba tartozó hévizek is jól felhasználhatók. A teljes melegvíz-igény kielégíthető kizárólag a termálenergiára támaszkodva. A legtöbb hévizet ma a mezőgazdaság használja fel hazánkban. Elsősorban a növénytermesztő és állattartó telepek fűtése gazdaságos. A növényházak fajlagos hőigénye meglehetősen nagy. A mezőgazdaság területén jelentős energiafogyasztók a szárítók. Ez a szárítási módszer egyébként jól kombinálható a napenergia felhasználásával.³⁰

2.5.3.4. Geotermikus erőművek környezeti hatásai

- A fűrés során jelentős zaj-szennyezés keletkezik.
- Az elhasznált fűrófolyadékokat ülepitő medencékben tárolják.
- A talaj lesüppedése földrengést is előidézhet.

A geotermikus folyadékok a víz és a kőzet kölcsönhatásától függően gyakran tartalmazhatnak szennyező gázokat, mint a szén-dioxid, kén-hidrogén, kén-dioxid, metán, nitrogén, hidrogén ezen kívül Na- és K-kloridot ill. -karbonátokat, nehézfémeket és szilícium-dioxidot. A vízből felszabaduló gázok, így pl. a kén-hidrogén vagy a kén-dioxid a légkörbe távoznak. A kén-hidrogén-szennyezés abszorpciós kénmentesítővel csökkenthető, ezáltal elkerülhető a nem kívánt nagy mennyiségű kénvegyületek keletkezése is.

A hagyományos energiatermelő rendszerekkel szemben ezeknek a rendszereknek sokkal kisebb a szennyezőanyag kibocsátása. A fűrés biztonságos, mivel nem áll fenn közvetlen tűzveszély, mint az olaj és földgáz kutak esetében. A vízkitermelés okozta depresszió hatására jelentős oldal- és keresztáramlások alakultak ki a megcsapolt szintek irányába. A szemipermeábilis* szinteken keresztül történő függőleges irányú

³⁰ Mádlné Dr. Szőnyi Judit: A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon

* Féligáteresztő hártya

átszivárgás egészen a talajvíztároló szintig terjed. Ez jelentős talajvízszint-süllyedést eredményez, és befolyásolja a felszíni vízfolyások jellegét is.

Hőszivattyúk alkalmazása a fűtéstechnikában egy olyan lehetőség, amely egyszerre csökkenti a környezet szennyezőanyag terhelését és a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának arányát.

A használt hévizeket nem könnyű kezelni. A nagy sótartalom következtében az esetek nagy részében az élővízbe és a termőtalajba nem vezethetők be, mert környezeti gondokat okozhatnak. Az esetek egy részében a használt hévizet a vegetációs, ill. öntözési időszakban ideiglenesen tárolják, s szezonon kívül engedik le a csatornába. Az ideiglenes tározás a talajvízzel kapcsolatban okozhat gondot. Lehet a használt vizeket kezelni is, de ez nagyon drága. A szükséges vízkezelések pl. a metánmentesítés, vas- és mangántalanítás, a pH beállítás, az oxigénmentesítés, a vízstabilizálás, a lágyítás, a vízelhelyezés hőfoktól függően hűtés, az oxigénbevitel. A víz elhelyezésével kapcsolatos gond csökken, ha csak a víz hőenergiáját hasznosítják, majd ezután a lehűlt vizet a kutakon keresztül visszatáplálják, visszanyomják. Ez a módszer általánosan alkalmazható.

A termálvizek energetikai célú hasznosítása visszatáplálás nélkül a hévizek mennyiségének (nyomáscsökkenés) és minőségének (hőmérsékletcsökkenés) romlását idézi elő. A visszatáplálást ellenőrzött körülmények között kell elvégezni, mert a szennyezett hévíz visszasajtolása a felszín alatti vízkészlet elszennyeződését okozhatja.

A hasadékos és durvább szemű, porózus tárolók kivételével a hévíz visszasajtolás nem tekinthető technikailag megoldottnak. A módszer előnye viszont, hogy készletgazdálkodási szempontból nem terheli a környezet felszín alatti víztárolóit, ha a vizet a termelőkútba nyomják vissza. A hévíz visszatáplálása technológiája további fejlesztésre szorul, például a visszatáplálás előtti vízkezelést illetően. A vízkezelések nagy részben megegyeznek az élővízbe helyezett hévizek vízkezeléseivel, kiegészítve a visszasajtolás előtti vegyszeradagolással, szűréssel és fertőtlenítéssel.

A termálvíz jelentős mennyiségű radont is tartalmazhat. A radon alfa-sugárzó nemesgáz, bomlástermékei is radioaktívak. Légzéskor a radon és leányelemei bekerülnek a tüdőbe, és egészségkárosodást okoznak, növelik a rákos megbetegedések lehetőségét. A radon, illetve bomlástermékei okozzák a lakosságot érő természetes eredetű sugárterhelés 50%-át.

3. Szakmódszertani fejezet: megújuló energiaforrások tanítása

A média révén mindenki hallott már a globális felmelegedésről, az ózonlyukról, egy esetleges olajválságról. Hangzatos kifejezések, melyeket a média a bevételek növelése érdekében időnként "bedob". Sokszor nem fűznek hozzá semmilyen tudományos magyarázatot, nem céljuk az emberi hozzáállás megváltoztatása, és gyakran hiteltelenné teszik a szakembereket. El kell érni, hogy az emberek reálisan gondolkodjanak, mérlegelni tudják, mi célszerű és megvalósítható, hiszen a lakóhelyükről, természetes és épített környezetükről, saját és családjuk egészségéről van szó.

Ahhoz, hogy a diákok a jelenben és a jövőben helyesen tudjanak cselekedni, pontos ismeretekre van szükség. Az óvodai, iskolai környezeti nevelés célja egy járható út bemutatása és elfogadtatása. A tanulóknak rá kell jönniük arra, hogy ők, mint egyének is sokat tehetnek a környezetükért.

Ha a tanuló környezettudatosan viselkedik az iskolájában és az otthonában, az előbb-utóbb hatással lesz a családjára, környezetére is. Ha lehetőségük van rá, nekik is nevelővé kell válniuk; információkat adhatnak át családi és baráti körben, elmesélhetik tapasztalataikat, tanácsokat adhatnak. Buzdítani kell őket arra, hogy keressék a hasonló érdeklődési körű csoportokat, szervezeteket és tevékenyen vegyenek részt azok munkájában

A jelen kor kiemelkedő problémája a fokozódó energiaszükséglet, valamint a felhasznált energiahordozókból származó üvegházhatású gázok és egészségre ártalmas anyagok kibocsátásának növekedése. Ezen problémák megoldásához mindenekelőtt szemléletváltásra van szükség, mind a termelői, mind pedig a fogyasztói oldalon. Akkor lehet igazán mély és lényegi társadalmi változásokat elérni, ha ezt a szemléletváltást már fiatal korban el kezdjük, hogy a rossz beidegződések, reflexek ki se alakulhassanak. Tehát mindenképpen jó alapot kell teremtenünk a felnőttkori környezettudatos magatartás kialakításához már az iskolában. Ezért megkülönböztetett szerepet kell kapnia a környezeti nevelésben és a természettudományos tárgyak oktatásában az energetikával kapcsolatos ismeretanyag elsajátításának és a hozzá

kapcsolódó gyakorlati vonatkozásoknak, melyet a Kerettanterv is elír. A megújuló energiaforrások a középiskolai szaktárgyi órák keretében a következő témákkal kapcsolatban illeszthetők be:

Évfolyam	Tantárgy	Témakör	Tartalom
9.	Kémia	kémiai reakciók a részecskék ismeretében	Galvánelemek: - galvánelemek környezeti vonatkozásai, - az akkumulátorok újratöltésének fontossága és lehetősége. Elektrolízis: - Az iparilag fontos elektrolízis környezetszennyező hatásai (pl.: energiaigény, mellékterméke)
			Hullámmozgás
	Fizika	A teljesítmény és hatásfok	Fogyasztás, tudatos és ésszerű felhasználás, erőművek hatásfoka, gazdaságosság.
		Energia	Tudatos energiafelhasználás, energiatípusok (mozgási, helyzeti), energia-megmaradás: - víz és szél-erőművek.
		Folyadékok, gázok mechanikája	Folytonossági egyenlet, Bernoulli-törvény: - víz- és szél-erőművek, Hidrosztatikai nyomás: - geotermikus energia, termálvizek felszínre jutása.
		Csillagászati alapismeretek	A Naprendszer - napenergia hasznosítása
	Földrajz	A kéreg földrajza	A földkéreg belső hője - geotermikus energia, Kéreg anyagai, kőzetek – energiahordozók.
		Légkör földrajza	Légnyomás és a szél - szélenergia hasznosítása.
		Víz földrajza	Felszín alatti vizek - hévizek és termálvizek.
			Folyók – vízenergia.
			Tengerek és óceánok - ár-apály erőművek.
	Talaj földrajza	Talaj eltartó képessége, biomassza termelés.	

Évfolyam	Tantárgy	Témakör	Tartalom
10.	Fizika	Hőtan	<p>Hőtágulás, hőáramlás:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geotermikus energia felszínre kerülése, hasznosítása - globális felmelegedés, sarki jégolvadás, üvegházhatás, - napkémények <p>víz fajhője:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geotermikus energia - hűtőfolyadék <p>Termikus kölcsönhatás:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hőszivattyú, - erőművek hőleadása <p>Halmazállapot-változás:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hőszivattyú - geotermikus erőművek <p>Adiabatikus folyamatok:</p> <ul style="list-style-type: none"> - a táguló gőz lehűlése <p>Gázok nyomása:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geotermikus energia - napkémények - turbina meghajtása.
	Földrajz	Általános gazdaságföldrajz	A világ energiagazdasága, energiahordozók. A gazdasági élet szerkezetének átalakulása: a környezetbarát technológiák alkalmazása
		Regionális gazdaságföldrajz	A világ régióinak, országainak és Magyarország energiagazdasága
		Társadalomföldrajz	<p>Globális természeti és társadalmi problémák:</p> <ul style="list-style-type: none"> - környezet és az energia - energiaválság és a megújuló energiaforrások - települések és hulladékgyűjtés
	Kémia	Szénhidrogén készletünk, mint energiahordozó	Telített szénhidrogének: A földgáz, mint fosszilis energiahordozó, gázerőmű, kőolajipar és a kőolaj felhasználás környezeti problémái, kitermelés globális problémája, társadalmi, gazdasági vonatkozások.
		Környezeti szerves kémia	Energiagazdálkodás: fosszilis, hasadó és megújuló energiaforrások, előnyeik, hátrányaik

	Biológia	A vírusok, prokarióták és egysejtű eukarióták	Az elemek körforgásában szerepet játszó baktériumok (szénkörforgás). Mikrobiológiai fermentációk.
		A növények teste és életműködése	A növények szerepe a bioszférában: fotoszintézis, oxigéntermelés, és széndioxid megkötés – fatüzelés vonatkozása.

Évfolyam	Tantárgy	Témakör	Tartalom
11.	Fizika	Elektromágneses hullámok	Napsugárzás és energiatartalma
		Hullámoptika	A levegő és víz szerepe a fény terjedésében
		A fény kettős természete	Napelem, fotoelektromos hatás
		Geometriai optika	Gömbtükrök gyakorlati alkalmazása, fény terjedése, visszaverődése, törése - naperóművek
		Elektromosság, mágnesesség	Generátorok, motorok működési elve, gyakorlati alkalmazása, különböző energiák átalakítása elektromos energiává. Áramforrások, galvánelem. Félvezető diódák és tranzistorok, napelemek.
Csillagászat	Nap energiatermelése, Nap gravitációs vonzása, ár-apály jelenség értelmezése - ár-apály erőművek		

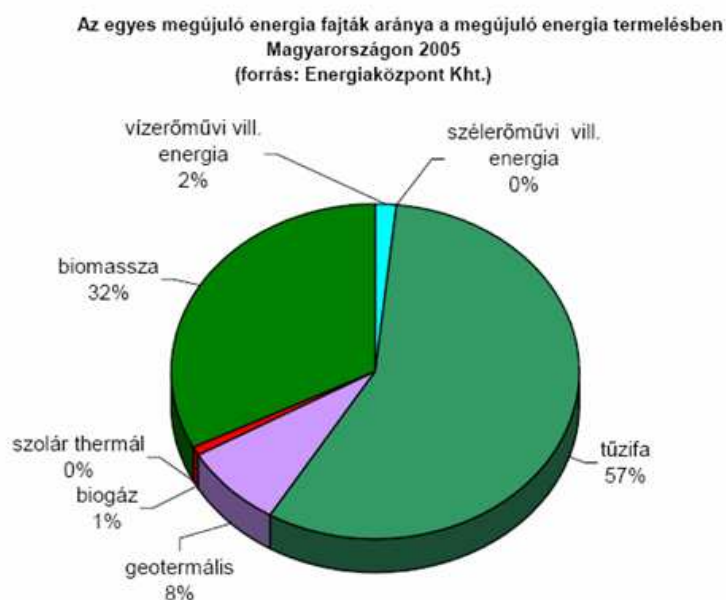
A tanórák keretében a fenti témakörökben, az új ismeretek és alapozó tudás megszerzését követően, jó alkalom nyílik a gyakorlati vonatkozások feltárására és megismertetése a diákokkal, amelyet a tanulók is gyakran igényelnek. A témakörökhöz kapcsolódó cikkelemzésekkel, vitákkal, kísérletekkel, technikai jellegű mérésekkel pedig könnyen átültethető lexikális tudásuk a gyakorlatba, továbbá rávilágíthatunk a mindennapi, gazdasági, politikai összefüggésekre. Az így színezett órák élvezhetőbbek lesznek a diákok számára, az önálló munka és a gyakorlati alkalmazások megtörik a gyakori frontális szervezési forma egyhangúságát.

4. Összegzés

Az emberiség mindennapi léte elképzelhetetlen megfelelő mennyiségű energia nélkül. Ez éppúgy igaz a régmúlt időkre, mint mai világunkra. Csupán a mennyiség változott: amíg a földművelés korszakában a szükséges energia az ekét vontató ökör napi élelemadagját és a mindennapi tűzifát jelentette, addig az iparosodástól kezdve az egyre növekvő számú népesség táplálása és a folyamatosan gyarapodó gépállomány energia-ellátása jelenti a fő problémát. A külső energiáktól való függés elkerülhetetlen, ennek hatásait azonban csak manapság kezdjük igazán érezni. Míg eleinte a fokozódó igényeket az energiaforrások kitermelésének növelésével is ki tudtuk elégíteni, ma már az ésszerű, takarékos és minél inkább hatékony felhasználásra is gondot kell fordítanunk, hiszen elsődleges fosszilis energiahordozóink kimerülő félben vannak. Persze ma már tisztában vagyunk vele, hogy a könnyen elérhető lelőhelyek lassan elfogynak és kimerülnek, az egyéb helyekről történő kitermelés (nehézsége és veszélyessége miatt) pedig olyan drágulást eredményez, amely minden előrelátó embert alternatívák keresésére ösztönöz. Ezeknek az alternatíváknak az egyik fő csoportja a megújuló energiaforrások használata, melyek elterjedése az emberiség szempontjából különösen fontos, azonban egy átlagos közép-európai családnál ma még gyakran anyagi korlátokba ütközik.

Szakdolgozatomban a megújuló energiahordozókat ismertettem történeti hátterük, hasznosítási módjuk és azok technológiája, valamint környezeti hatásuk szerint. Kiderült, hogy a jelenleg hasznosító technológiák még nem alkalmasak arra, hogy a megújuló energiahordozók teljes mértékben helyettesítsék a hagyományos energiaforrásokat, de igen nagymértékben csökkenthetik a felhasználási ütemüket, és a hasznosításukkal járó környezeti károkat. A megújuló természeti erőforrásokat hasznosító technológiák fejlesztése és elterjedése csak jelentős állami támogatással oldható meg. A vízenergia igencsak helyhez kötött és tájkárosító hatású, a napenergia és a geotermikus energia villamos energia előállítására még nagyon drága, háztáji fűtésre azonban jól használható. A bioenergia erőmű szerepe még szintén nem jelentős, a túlnépesedés miatti élelmiszerválság még fokozottabb gondolkodásra ösztönzi a szakembereket, mivel elveszi a helyet a mezőgazdasági természetstől.

Magyarország lehetőségei a megújuló energiaforrások terén jónak mondhatók. Az ország adottságai megfelelőek a geotermikus energia kiaknázására, a szél energiájának hasznosítása is gazdaságos, emelett jelentős mennyiségű biomassza áll rendelkezésünkre. 2007-ben Magyarország a teljes primer energiafelhasználás 4,9 százalékát fedezte megújuló energiaforrásokból, ez 54,8 PJ megújuló energia felhasználást jelentett. Az elmúlt években jelentős fejlődés következett be, amely azonban lényegében egyetlen energiahordozó - a biomassza - felhasználásának rohamos növekedéséből ered. A többi megújuló energia-technológia pár százalékos részarányt tudott csak elérni a hazai megújuló energia mixben. A megújulók nagyobbik része (65,2%) a hőtermelésben vesz részt. 2007-ben a villamosenergia-termelés 3,32 százalékban részesült a megújuló energia felhasználásból, a maradék 1,5 százalékot a bioüzemanyagok adták.**



39. ábra: Megújuló energia fajták aránya Magyarországon*

Mint fizika tanár ezek után arra a következtetésre jutottam, hogy a megújuló energia nem tudja kiváltani a fosszilis energiát, annak kiváltására leginkább az atomenergia képes. Az atomenergia körüli éles viták oka az atomenergia két ellentétes fizikai tulajdonságban keresendő. Az atomenergia egyrészt billiószor (10^{12} -szer) annyi energiát képes szolgáltatni, mint a mechanikai erők (például a szél, vagy a víz), és milliószor annyit, mint az ipari forradalom eredményeként az ember szolgáltatába

** Megújuló Energia Magyarországon - Helyzetjelentés 2008

* forrás: www.biomasszaeromuvek.hu/img/tablazat2.jpg

állított kémiai reakciók (főként különböző égési és elektrokémiai folyamatok), amelyek átalakították a társadalmat. Másrészt mind a vegyi, mind a nukleáris energia hulladékot is termel. A mechanikai erők nem változtatják meg alapvetően a molekulákat, amelyekre hatnak, s így a szél- és vízi energia kiaknázása környezetvédelmi szempontból üdvös. Ezzel szemben a kémiai és a nukleáris reakciók megváltoztatják az atomokat és a molekulákat, miáltal hulladék keletkezik. A mechanikai erők kihasználását szorgalmazóknak meg kell mutatniuk, miként lehet kiküszöbölni azt a kellemetlenséget, hogy így módon csak viszonylag csekély energia termelhető. A vegyi és nukleáris energia szószólóinak viszont a radioaktív és légköri hulladékok problémáira kell megoldást találniuk. Természetesen az atomenergiát kritikusan kell megítélni. Több előrejelzés szerint atomenergia nélkül nehéz lesz összeegyeztetni az energiaigényeket és a környezetvédelmi követelményeket. Ugyanakkor sokan elképzelhetetlennek tartják az atomenergia szerepének növekedését a jelenlegi politikai akadályok és társadalmi megítélés miatt. Az atomenergiának fontos szerepet kell játszania a fenntartható fejlődésben, ám az atomenergiát szigorú ellenőrzés alatt kell tartani. A biztonsági követelményeket, az erőműtervekkel kapcsolatos előírásokat, a hulladéktárolást és a teljes fűtőanyagciklust egy nemzetközi szervezetnek kell szabályoznia. Csak így lehet az atomenergiában rejlő összes lehetőséget kiaknázni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani elsősorban témavezetőmnek, Dr. Sós Katalinnak támogatásáért és a szakdolgozat megírásához nyújtott segítségért, valamint a Tanszéknek, hogy lehetővé tette a szakdolgozat elkészítését.

TARTALOM

1.	BEVEZETÉS.....	1
2.	MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK.....	3
2.1.	VÍZENERGIA.....	3
2.1.1.	VÍZENERGIA TÖRTÉNETE.....	3
2.1.2.	VÍZENERGIA HASZNOSÍTÁSA.....	7
2.1.3.	VÍZERŐMŰ.....	10
2.1.3.1.	VÍZERŐMŰ TÍPUSOK.....	10
2.1.3.2.	VÍZERŐMŰVEK HAZÁNKBAN.....	16
2.1.3.3.	VÍZERŐMŰVEK KÖRNYEZETI HATÁSA.....	18
2.2.	SZÉLENERGIA.....	21
2.2.1.	SZÉLENERGIA TÖRTÉNETE.....	21
2.2.2.	SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁSA.....	25
2.2.3.	SZÉLERŐMŰVEK.....	27
2.2.3.1.	SZÉLERŐMŰVEK TÍPUSAI, MŰKÖDÉSÜK.....	27
2.2.3.2.	SZÉLERŐMŰVEK A VILÁGBAN ÉS HAZÁNKBAN.....	31
2.2.3.3.	A SZÉLERŐMŰVEK KÖRNYEZETI HATÁSAI.....	33
2.3.	NAPENERGIA.....	37
2.3.1.	NAPENERGIA TÖRTÉNETE.....	37
2.3.2.	NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSA.....	41
2.3.3.	NAPERŐMŰVEK.....	43
2.3.3.1.	NAPERŐMŰVEK TÍPUSAI, MŰKÖDÉSÜK.....	43
2.3.3.2.	NAPERŐMŰVEK A VILÁGBAN ÉS HAZÁNKBAN.....	50

2.3.3.3.	NAPERŐMŰVEK JÖVŐJE.....	52
2.4.	BIOENERGIA.....	54
2.4.1.	BIOENERGIA TÖRTÉNETE.....	54
2.4.2.	BIOENERGIA HASZNOSÍTÁSA.....	55
2.4.2.1.	BIOMASSZA.....	55
2.4.2.2.	FOTOSZINTÉZIS.....	55
2.4.2.3.	ENERGIATERMELÉS BIOMASSZÁBÓL.....	56
2.4.3.	BIOENERGIA MAGYARORSZÁGON.....	63
2.4.4.	BIOENERGIA KÖRNYEZETI HATÁSAI	64
2.5.	GEOTERMIKUS ENERGIA.....	68
2.5.1.	GEOTERMIKUS ENERGIA TÖRTÉNETE.....	68
2.5.2.	GEOTERMIKUS ENERGIA HASZNOSÍTÁSA.....	69
2.5.3.	GEOTERMIKUS ERŐMŰVEK.....	72
2.5.3.1.	NAPERŐMŰVEK TÍPUSAI, MŰKÖDÉSÜK.....	72
2.5.3.2.	HŐSZIVATTYÚ.....	73
2.5.3.3.	GEOTERMIKUS ERŐMŰVEK GLOBÁLIS ÉS HAZAI HELYZETE.....	74
2.5.3.4.	GEOTERMIKUS ERŐMŰVEK KÖRNYEZETI HATÁSAI.....	76
3.	SZAKMÓDSZERTANI FEJEZET: MEGÚJULÓ ENERGIÁK TANÍTÁSA.....	78
4.	ÖSSZEGZÉS.....	82
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	85
	FELHASZNÁLT IRODALOM.....	89

NYILATKOZAT

Alulírott Tamás Attila, fizika kiegészítő szakos hallgató, kijelentem, hogy a szakdolgozatban foglaltak saját munkám eredményei, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem azt, hogy szakdolgozatomat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

aláírás

dátum

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Vajda György, MTA Társadalomkutató Központ: Energiaellátás ma és holnap. MTA kiadó, 2004.
- [2] Vajda György: Energia és társadalom. MTA Társadalomkutató Központ, 2009.
- [3] Open University - Renewable Energy
- [4] Dr. Tar Károly, Dr. Hunyár Mátyás, Dr. Veszprémi Károly, Dr. Tóth Péter Bíróné, Kircsi Andrea, Szépszó Gabriella: A szélenergia hasznosítása. Magyar Szélenergia Társaság, Debrecen, 2001.
- [5] Bihari Péter: Energetika II. Kézirat, Budapest, 1998.
- [6] Dr. Tóth László, Dr. Horváth Gábor: Alternatív energia. Libri kiadó, 2003.
- [7] Büki Gergely: Erőművek. Műegyetemi kiadó, Budapest, 2004.
- [8] Online Learning Environment - Tidal Power
- [9] A. A. Zvorikin - N. I. Oszmova - V. I. Csenisev - Zs. V. Suhargyin: A technika története. Kossuth Kiadó, Budapest, 1964.
- [10] Horváth Árpád: Korok, Gépek, Feltalálók. Gondolat Kiadó, Budapest, 1964.
- [11] Környezetvédelmi lexikon. Akadémia kiadó, Budapest, 2007.
- [12] Oláh György, Alain Goeppert, G.K. Surya Prakash: Kőolaj és földgáz után: A metanolgazdaság. Better Kiadó, Budapest, 2007.
- [13] Ledács-Kiss A.: A szélenergia hasznosítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- [14] Horváth Gábor.: A szélgenerátor-oszlopok jellemzőinek összefüggései. Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2001.
- [15] Horváth Gábor: Környezetvédelmi szempontok a szélerőművek telepítése során. Mérnök Újság. Március. 2005.
- [16] Scróth Ágnes: Környezeti nevelés a középiskolában- szerk. Trefort Kiadó, Budapest, 2004
- [17] Lakatos Károly, Ökrös Pál: A vízenergia észak-alföldi hasznosítása a múltban és a jövőben. Magyar Szélenergia Társaság, Debrecen, 2003.
- [18] P.R. Sabady: A napenergia építészeti hasznosítása. Műszaki Kiadó, Budapest, 1980.
- [19] Zöld András: Energiatudatos építészet - Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.

- [20] Imre László, Bitai András, Hecker Gerhardt.: Megújuló energiaforrások. Felsőfokú oktatási segédlet. BME Energetika Tanszék, Budapest, 2000.
- [21] Ferenczi Ödön: Áramtermelés nap és szélenergiából. Cser Kiadó, 2007.
- [22] Barótfi István: A napenergia hasznosítása. Energiafelhasználói Kézikönyv, Környezettechnikai Szolgáltató Kft., 1993.
- [23] Hárfás Zsolt, Tarczal Lajos: Jövünk Energiaforrásai. TDK dolgozat, Nyíregyháza, 1999.
- [24] Dr. Sembery Péter, Dr. Tóth László: Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó, Budapest, 2004.
- [25] Dr.Tóth Péter, Dr. Bulla Miklós: Energia és környezet. SZIF jegyzet. Universitas Kft. Kiadó, 1999.
- [26] B. Papp László: Bioenergia – több százmilliárdnyi beruházás. Népszabadság. 2006.
- [27] Kissné Quallich Eszter: A biogáz. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest,1983.
- [28] Dr. Gööz Lajos: A természeti erőforrásokról, Nyíregyháza, 1999.
- [29] Hajdú György: A hőszivattyú a jövő energiaforrása - a Nap és a Föld hőjének hasznosítása. Magyar Energetika, VIII. évfolyam, 2000/6. szám.
- [30] Mádlné Dr. Szőnyi Judit: A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon. MTA jelentés, Budapest, 2008.