

TARTALOM

	Oldal
1. AZ ENERGIA, A KÖRNYEZET ÉS AZ	
ÖKOSZISZTÉMA KAPCSOLATAI.....	1
1.1. Ökológia, mint tantárgy.....	2
1.2. Ökológiai fogalmak.....	3
1.3. Az ökoszisztéma alkotóelemei	5
1.4. Biogeokémiai körforgás	11
1.4.1. A víz körforgása	12
1.4.2. A szén körforgása	13
1.4.3. A nitrogén körforgása.....	15
1.4.4. A foszfor körforgása.....	16
1.4.5. A kén körforgása	18
1.5. Szennyező anyagok az ökoszisztémákban	19
2. ENERGIARENDSZEREK ÖKOLÓGIAI	
LÁBNYOMÁNAK MEGHATÁROZÁSA	25
2.1. Az ökológiai lábnyom	26
2.1.1. Miért szükséges az ökológiai lábnyom	
meghatározása?	29
2.1.2. Az ökológiai lábnyom és a kapcsolódó	
szakkifejezések.....	25
2.1.3. Az ökológiai lábnyom használata	33
2.1.4. Az ökológiai lábnyom összetevői	36
2.2. A szénlábnyom meghatározása	36
2.3. Az energiatermelő rendszerek ökológiai lábnyoma	41
2.3.1. Az energiarendszerek összehasonlítása	43
2.4. Atomenergia.....	48

3. HAGYOMÁNYOS ENERGIATERMELŐ RENDSZEREK ÉS KÖRNYEZETI HATÁSAIK:	
HŐERŐMŰVEK.....	57
3.1. Hogyan működik egy hőerőmű?	59
3.2. A hőerőművek környezeti hatásai	60
3.3. Globális klímaváltozás	64
3.3.1. Klímaváltozás okai	70
3.3.2. A globális felmelegedés környezeti következményei.....	70
3.3.3. A globális felmelegedés társadalmi- gazdasági következményei	71
3.4. Az ózonréteg vékonyodása.....	71
3.5. Savas eső	75
3.5.1. A savas eső környezeti hatásai	77
3.5.2. A savas eső hatása az épületekre és műemlékekre	79
4. AZ ATOMERŐMŰVEK ÖKOLÓGIAI ÉS KÖRNYEZETI DIMENZIÓI.....	82
4.1. Bevezetés.....	84
4.2. Az atomreaktorok kockázatos vonatkozásai	89
4.2.1. Uránbányászat	89
4.2.2. Urándúsítás.....	90
4.2.3. A reaktor működése	90
4.2.4. A hulladék elhelyezése.....	92
4.2.5. Leszerelés	95
4.2.6. Költség	96
4.2.7. Atomerőművek mint háborús és terrorista célpontok.....	97

4.3. Az atomreaktorok ökológiai szempontok szerinti értékelése.....	98
5. A NAPENERGIÁT HASZNÁLÓ TECHNOLÓGIÁK KÖRNYEZETI HATÁSAI	106
5.1. A napenergia rendszerekkel való energiatermelés technológiai szempontjai.....	107
5.1.1. Napkollektor.....	108
5.1.1.1. A napkollektoros rendszer alkotóelemei	109
5.1.2. Koncentrált napenergia.....	113
5.1.2.1. A koncentrált napenergia rendszer alkotóelemei	114
5.1.3. Napelem	118
5.1.3.1. A napelemes rendszerek fő alkotóelemei.....	120
5.2. A napenergiát használó technológiák környezeti hatásai.....	121
5.2.1. A napkollektoros rendszerek környezeti hatásai	124
5.2.2. A koncentrált napenergia rendszerek környezeti hatásai.....	126
5.2.3. Napelemes rendszerek	129
Összefoglalás.....	132
6. SZÉLENERGIA	137
6.1. Szélenergia	138
6.2. A szélturbina elemei.....	139
6.2.1. A rotorlapátok.....	140
6.2.2 A gondola	143
6.2.3 A szélturbina tornya	143
6.3 A szélenergia használatának környezeti hatásai.....	145

6.3.1. A vadvilágra gyakorolt hatás.....	146
6.3.2. Vizuális hatások	146
6.3.3. Zajhatások	148
7. HULLÁM-, ÁRAPÁLY- ÉS HIDROGÉNENERGIA..	151
7.1. A hullámzásban és az ár-apályban rejlő áramtermelési lehetőségek	152
7.2. A hullám- és árapály-energia hasznosítás környezeti hatása.....	164
7.3. Hidrogénenergia.....	168
7.3.1. A hidrogéngyártás technológiai.....	172
7.3.2. Környezeti hatások	177
8. GEOTERMIKUS ENERGIA.....	183
8.1. Áramtermelés geotermikus energiával.....	187
8.2. A geotermikus energia hasznosításának környezeti hatása.....	201
9. VÍZENERGIA.....	207
9.1. Vízenergia rendszerek.....	208
9.2. Környezeti hatások	228
10. BIOMASSZA ENERGIA RENDSZEREK	233
10.1. Biomassza energia.....	234
10.2. Biomassza energia fogyasztás	236
10.2.1. Globális fogyasztás	236
10.2.2. Az Európai Unió fogyasztása.....	238
10.3. Energiatermelési célú biomassza források	239
10.3.1. Élelmisznövények	239
10.3.2. Szénhidrogénekben gazdag növények.....	240
10.3.3. Hulladékok	240
10.3.4. Gyomnövények és vadon termő növények	240

10.3.5. Gyorsan növekvő lágy- és fás szárú fajok.....	241
10.4. A biomassa átalakítása az energia más formáivá	242
10.5. Más energiaformák előállítása biomasszából.....	244
10.5.1. A biomassa termokémiai átalakítása	244
10.5.2. Áram előállítása biomassza-tüzelésű erőművekben	245
10.5.3. Kapcsolt energiatermelés, avagy a hő- és áramtermelés kombinációja.....	246
10.5.4. Biomassa-elgázosítók	248
10.5.5. Biokémiai feldolgozás	249
10.6. A biomassa energia környezeti hatásai.....	252
10.6.1. A biomassa termelésének környezeti hatásai.....	252
10.6.2. A biomasszára épülő energiatermelési folyamatok környezeti hatásai	256

TÁBLÁZATJEGYZÉK

Táblázat	Oldal
2.1. táblázat	Ekvivalens szén-dioxid életciklus, alternatív költség kibocsátások..... 45
3.1. táblázat	A különféle kibocsátások eredményeként jelentkező hatások típusai 62
3.2. táblázat	Az éghajlatváltozással kapcsolatos fejlemények időbeni alakulása69
4.1. táblázat	Az atomreaktorok tulajdonságainak ökológiai szempontok szerinti értékelése..... 89
5.1. táblázat	A fűtésre használt kisméretű napkollektoros technológia környezeti hatásai 125
5.2. táblázat	A koncentrált napenergiát használó rendszerek környezeti hatása.....126
5.3. táblázat	A napelemes rendszer életciklusa során fellépő környezeti hatások.....129
5.4. táblázat	A különböző energiaforrásokból származó egy egységnyi elektromosság vízlábnyoma.....132
6.1. táblázat	A szélturbina alkotóelemeihez használt anyagok..... 142
6.2. táblázat	A szélenergia használatának környezeti hatásai 145
8.1. táblázat	A geotermikus energia közvetlen felhasználási kategóriáinak globális szintű összesítése a 2015-ös évre vonatkozóan 196
10.1. táblázat	Példák a biomasszára és energia célú felhasználására 243

ÁBRAJEGYZÉK

Ábra	Oldal
1.1. ábra A tápláléklánc egy példája	8
1.2. ábra A táplálékháló egy példája	9
1.3. ábra Ökológiai piramisok	10
1.4. ábra A víz körforgása	13
1.5. ábra A szén körforgása.....	14
1.6. ábra A nitrogén körforgása.....	16
1.7. ábra A foszfor körforgása.....	17
1.8. ábra A kén körforgása	18
1.9. ábra Biomagnifikáció	21
1.10. ábra Szennyezések szállítási folyamata a felszín alatti vizekben.....	23
2.1. ábra Ökoszisztéma szolgáltatások	27
2.2. ábra A világ ökológiai lábnyoma és biológiai kapacitása	32
2.3. ábra Az ökológiai lábnyom összetevőinek megoszlása.....	33
2.4. ábra Az ökológiai lábnyom összetevői.....	37
2.5. ábra A globális ökológiai lábnyom összetevőire bontva	39
2.6. ábra Energiarendszerek lábnyom méretének összevetése	47
3.1. ábra Hőerőmű rajza	59
3.2. ábra A fűtőanyag-lánc elve	61
3.3. ábra Üvegházhatás.....	68

3.4. ábra	Ózonréteg	73
3.5. ábra	Az ózonréteg elvékonyodásának mechanizmusa	75
3.6. ábra	Savas eső hatása a Great Smoky hegység erdőire.....	79
4.1. ábra	A maghasadási reakció és láncreakciók.....	85
4.2. ábra	A globális atomenergia-alapú áramtermelés	86
4.3. ábra	Függőleges tartályok beton vagy acél szerkezetekkel	93
4.4. ábra	Vízszintes tartályok	93
5.1. ábra	A napkollektoros rendszer alkotóelemei, keringetős rendszer esetén.....	113
5.2. ábra	Parabolavályús kollektor rajza	114
5.3. ábra	Tornyos naperőmű működése.....	115
5.4. ábra	Egy lineáris Fresnel kollektor működése	117
5.5. ábra	A parabolatányéros kollektor működése. A tányér egész nap követi a Nap járását.....	118
5.6. ábra	A szigetyszerű és a hálózatra tápláló napelemez rendszerek áttekintése.....	119
5.7. ábra	A megújuló energia technológiák általános életciklusa.....	122
5.8. ábra	A napelemez, a koncentrált napenergiát alkalmazó és a szélenergiát alkalmazó áramtermelés környezeti hatásai	134
6.1. ábra	Szélenergia turbina vázlata, az alkotórészeit megjelölve	141
7.1. ábra	Árapály duzzasztógátak.....	156

7.2. ábra	Oszcilláló vízoszlop	160
7.3. ábra	Hullámenergia hasznosító eszközök.....	162
7.4. ábra	Óceáni hőenergia átalakítás.....	163
7.5. ábra	Árapály-kerítés	166
7.6. ábra	A hidrogéngyártás nyersanyagai és folyamati technológiái	172
7.7. ábra	A foto-elektrolitikus cella működési elve.....	176
7.8. ábra	A foto-biológiai hidrogéngyártás működési elvé	178
8.1. ábra	Szárazgőzös erőmű.....	191
8.2. ábra	Nedvesgőzös erőmű	191
8.3. ábra	Kettős ciklusú geotermikus erőmű	193
8.4. ábra	Geotermikus hőszivattyú.....	193
8.5. ábra	A geotermikus energia közvetlen felhasználá- sának összehasonlítása globális szinten.....	197
8.6. ábra	Európa hőatlasza.....	199
9.1. ábra	Víztározó típusú vízerőmű	210
9.2. ábra	Folyami vízerőmű ábrája.....	212
9.3. ábra	Szivattyús vízenergia-tározó rendszerek	215
9.4. ábra	A vízerőmű-rendszer alkotóelemei.....	220
9.5. ábra	Pelton-turbina	223
9.6. ábra	Turgo-turbina.....	223
9.7. ábra	Francis-turbina.....	225
9.8. ábra	Kaplan-turbina.....	226

9.9. ábra	Bánki-turbina.....	226
9.10. ábra	Kis vízerőművek típusai esés, vízhozam vagy kapacitás szerinti bontásban	228
10.1. ábra	A fotoszintézis folyamata.....	234
10.2. ábra	Globális végsőenergia-fogyasztás 2013-ban	236
10.3. ábra	Az EU szilárd biomassza elsődleges energiatermelés és belföldi fogyasztás növekedési adatok	238
10.4. ábra	Energiatermelési célú biomassza források	242
10.5. ábra	Áramtermelési célú biomassza források.....	246
10.6. ábra	A kapcsolt energiatermelés az elkülönült áramtermeléssel összevetve.....	247
10.7. ábra	A gázmotoros kombinált hő- és áramtermelő erőművek alapelve.....	248

1. FEJEZET

AZ ENERGIA, A KÖRNYEZET ÉS AZ ÖKOSZISZTÉMA KAPCSOLATAI

A fejezet szerzői: Başak TAŞELİ¹ és Evren ALTIÖK²

¹Giresun University, Mérnöki kar, Környezetmérnöki tanszék,
Giresun, Törökország

e-mail: basak.taseli@giresun.edu.tr

²Giresun University, Mérnöki kar, Genetikai és biomérnöki tanszék,
Giresun, Törökország

e-mail: evren.altiok@giresun.edu.tr

Absztrakt: Az ökológia egyrészt az emberiség létével egyidős, másrészt viszont a tudomány egyik legfiatalabb ága. A könyv első fejezete néhány alapvető ökológiai fogalmat mutat be, és részletesen tárgyalja az ökoszisztémák egyes részeinek alkotóelemeit. Közelebbről megnézzük, hogy ezek a részek összekapcsolódva hogyan alkotnak egységes ökoszisztémát. Bemutatásra kerül az ökológia, az ökológia területe, az ökológiai hálózatok, valamint az energia és a tápanyag áramlása. Megvizsgáljuk az ökoszisztémákon belüli energiaáramlások koncepcióját, az anyagok körforgását a bioszférában, a táplálékhálót, a táplálékláncot és az ember hatását a bioszféra körfolyamataira. A fejezet végén bemutatjuk, hogy mi történik az ökoszisztémában a szennyezőanyagokkal, hogyan szállítódnak.

Képzési célok:

A fejezet végén a tanuló:

- Meg tudja határozni, mit jelent az ökológia fogalma
- Meg tudja határozni az ökoszisztéma alkotóelemeit,
- El tudja mondani az ökológia területeit,
- Össze tudja vetni azt a struktúrát, amely egyaránt tartalmazza az élettelen, abiotikus és élő, biotikus összetevőket,
- Ismertetni tudja az ökológiai rendszerben jelen lévő hálózatokat, amelyek az energiaáramlást és a tápanyagok áramlását szabályozzák,
- Tudja, hogy a naprendszerből érkező energia biztosítja az összes tápanyag és energia áramlását,
- El tudja magyarázni az ökoszisztémákon belüli tápláléklánc és energiaáramlás koncepcióját,
- El tudja magyarázni az anyagok körforgását a bioszférán belül,
- Meg tudja különböztetni a táplálékláncot és a táplálékhalót,
- El tudja mondani, milyen hatással van az ember a bioszférán belüli körforgásokra.

1.1 Ökológia, mint tantárgy

Az ökológia az élettől, élőlényekkel és populációkkal foglalkozó tudományág, a biológia részét képezi. Multidiszciplináris tudományág, amely más tárgyak eszközeit is felhasználva magyarázza el a természetben megfigyelt jelenségeket. Az „ökológia” szót a ház vagy élőhely jelentésű görög „oikos” szóból alkották, az élő szervezetek természetes élőhelyükön való tanulmányozásának leírására. Az élőlények egymással és a fizikai, kémiai környezettel való interakcióját jelenti. A „-logos” jelentése: tan (Ambelu és mtsi. 2007).

1.2 Ökológiai fogalmak

Biom: Nagy, viszonylag elkülönült területen húzódó, földrajzi helyzetétől függetlenül hasonló klímával, talajjal, növény- és állatvilággal jellemezhető régió.

Tundra: A világ földterületeinek igen nagy részét alkotja. Növényzetében uralkodóak a mohák, fűfélék és néhány kisebb évelő növény.

Tajga: A legnagyobb földterületű biom. Tülevelű erdők az uralkodóak.

Lombhullató erdő: Lombhullató fák, nagyszámú emlős, madár- és rovarfaj, valamint szerényebb számú hüllő- és kétéltűfaj jellemző rá.

Füves puszta: Olyan terület, ahol az éves csapadékmennyiség nem elegendő a fák növekedésének fenntartásához.

Sivatag: Olyan terület, ahol éves szinten kevesebb, mint 250 mm csapadék esik. A nedvesség hiánya a sivatag biómjának kialakításában alapvető tényező.

Trópusi esőerdő: Magas hőmérséklet, nagy éves csapadékmennyiség, és a növény- és állatfajok nagy változatossága jellemzi.

Vízi biómok: A brakkvizes torkolatok olyan elkülönült víztestek, ahol a sós tengervíz keveredik a **folyamokból, folyókból, patakokból** származó édesvízzel. Amellett,

hogy ezek a biológiaiailag legtermékenyebb ökoszisztémák a földön, a szennyeződések szűrőjeként és az áradások elleni védelemként is szolgálnak.

Élőhely: Az a fizikai terület, ahol egy élőlény él. Lehet akár egy óceán vagy erdő méretű, de lehet kicsi, korlátozott kiterjedésű is.

Ökológiai hely: Minden élőlénynek megvan a maga pozíciója egy adott közösség szerkezetén és működésén belül. Az élőlénynek ezt a közösségen vagy az ökoszisztémán belüli helyét vagy szerepét nevezzük ökológiai helynek. Az élőhelytől eltérően az ökológiai hely az élőlény biológiai szerepét írja le.

Tápláléklánc: Lineáris sorrendje annak, hogy ki kivel táplálkozik egy ökoszisztémán belül.

Biokémiai körforgás: Az anyagoknak az élő rendszeren keresztül történő majd az élettelen környezetbe visszatérő körforgása.

Eutrofizáció: Olyan folyamat, amely során egy víztest tápanyagtartalma túl magassá válik, melynek eredményeként a növények túlburjánzanak.

Biomassza: Egy ökoszisztéma adott táplálkozási szintjén lévő összes élő szervezet teljes szárazanyag tömege.

Életközösség: egy adott élőhelyen élő összes faj populációinak együttese.

Táplálkozási szint: Minden élőlény, amely azonos számú energiáttranszferre van az ökoszisztémába belépő eredeti forrástól (pl. a napfénytől).

Ökoszisztéma: Egy életközösség és annak fizikai és kémiai környezete. Az ökoszisztéma élő (biotikus) és élettelen (abiotikus) részből áll.

1.3 Az ökoszisztéma alkotóelemei

Az ökoszisztéma élettelen alkotóelemei: Az ökoszisztémák abiotikus része fizikai (szélsébség, földterület, talajnedvesség, áramlások, hőmérséklet, talajporozitás stb.) és kémiai (víz, gázok, ásványi anyagok, egyéb komplex vegyi anyagok) jellemzőkkel rendelkezik.

Az ökoszisztéma élő alkotóelemei: Az élőlények.

Termelők: Minden zöld növény termelő: a talajból felvett egyszerű vegyületekből, vízből és szén-dioxidból a nap energiája segítségével a **fotoszintézis** révén oxigént és összetettebb, nagyobb energiájú szénvegyületeket állít elő, amelyek végeredményképp magát a növényt alkotják.

$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ (1.1.) sz. egyenlet

A zöld növényekkel ellentétben – a kemotrófok kivételével – minden más élőlény fogyasztó. A fogyasztók más élőlényekből veszik a kémiai energiát és a tápanyagokat.

Fogyasztók: Egyes élőlények (pl. a szarvasmarhák) kizárólag növényeket fogyasztanak, ezért őket növényevőknek nevezzük. Mivel ételmüket közvetlenül a termelők adják, ők az elsődleges fogyasztók. A növényevőkkel táplálkozó élőlényeket másodlagos fogyasztóknak (vagy húsevőknek) hívjuk, mivel az ő táplálékuk már egy szinttel feljebb van a táplálékláncban. A másodlagos fogyasztókkal táplálkozó állatot harmadlagos fogyasztónak hívjuk, és így tovább.

Lebontók: A lebontók olyan fogyasztók, melyek az energiát és a tápanyagot a hulladékok vagy elhalt növényi és állati anyagok emésztéséből nyerik. A lebontók többségében a korhadásért vagy rothadásért felelős baktériumok és gombák. Ők végzik az ökoszisztéma ásványianyag-körforgásának utolsó lépését.

Nitrifikáció: Olyan folyamat, amely során a talajbaktériumok az ammóniát vagy ammónium-iont oxidálják, így nitrit (NO_2^-) szabadul fel, majd más talajbaktériumok a nitritet energia-anyagcseréjük során felhasználják, melynek eredményeképpen nitrát (NO_3^-) keletkezik.

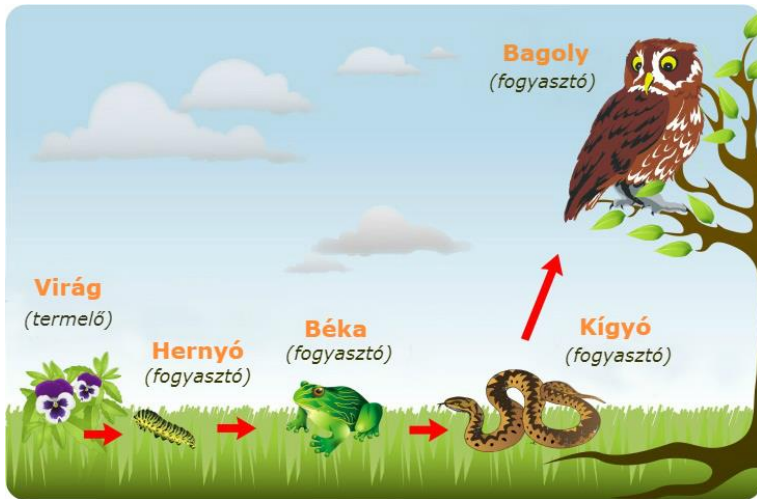
Ammonifikáció: A nitrogéntartalmú ürülék és a maradványok bizonyos baktériumok és gombák általi lebontása.

Denitrifikáció: A nitrát vagy nitrit nitrogéngázzá (N_2) és kis mennyiségben dinitrogén-oxiddá (NO_2) való redukciója.

Nitrogén megkötése: Bizonyos baktériumoknál a légköri nitrogéngáz (N_2) asszimilációja; reduktív reakciókon keresztül elektronok kapcsolódnak a nitrogénhez, majd ammónia (NH_3) vagy ammónium (NH_4^+) képződik.

Az ökoszisztémák nyílt rendszerek, így folyamatos energia- és tápanyagfelvételre szorulnak. Egy ökoszisztéma működésében számos körfolyamat vesz részt, mint a víz körforgása, a tápanyagok körforgása stb.

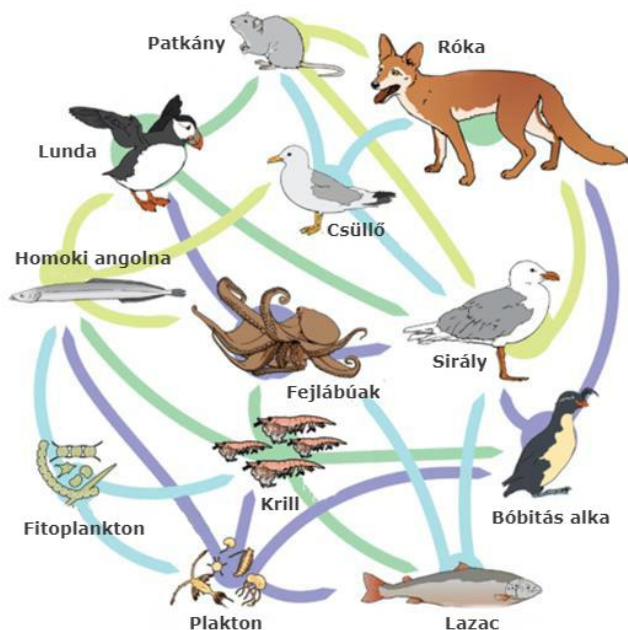
Táplálkozási szintek szerinti szerveződés: Az ökoszisztémák különböző rétegekre oszthatók az alapján, hogy az energia hányszor kerül egy szervezetből egy másikba a rendszer kezdeti energiafelvételétől számítva. Így minden olyan élőlény, amely ugyanannyi lépésre van az energiabeviteltől, ugyanahhoz a táplálkozási szinthez tartozik. A tápláléklánc a táplálék energiájának a növényekből az állatokba, majd más állatokba való átvitele a táplálkozás egymást követő szintjein (táplálkozási szintek vagy trofikus szintek).



1.1. ábra [A tápláléklánc egy példája](#)

A táplálékláncban (lásd 1.1. ábra) minden egyes átvitelnél a táplálék kémiai kötéseiben potenciálisan jelen lévő energia nagy részek hőveszteségként elveszik. Az energia hő formájában való fokozatos elvesztése miatt az egymást követő szinteken összességében egyre kisebb mennyiségű energia áramlik. Ez a tápláléklánc szintjeinek számát rendszerint 4-5-re korlátozza.

A résztvevő élőlények közötti kapcsolatok többnyire annyira összetettek, hogy a lánc egy erősen összetett, elágazó hálózatot alkot. Ez az úgynevezett táplálékhaló (lásd 1.2. ábra), amely valójában az ökoszisztémán belül meglévő táplálkozási kapcsolatrendszer jelent.



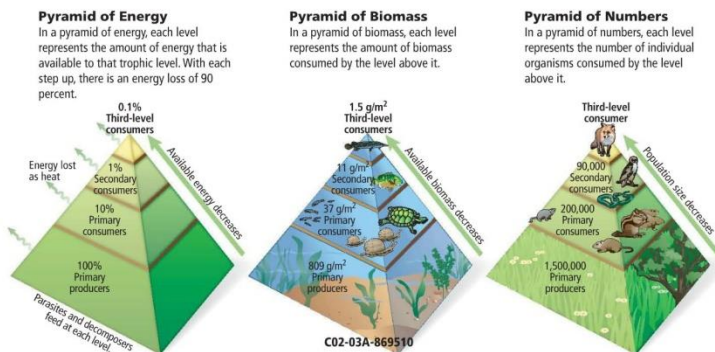
1.2 ábra A táplálékháló egy példája

Az ökoszisztéma megjeleníthető ökológiai piramisok formájában is. A piramisoknak három általános típusát különböztethetjük meg (lásd 1.3. ábra).

Számpiramis: Ez a piramis az egyes táplálkozási szintek egyedszámaiból áll.

a) **Biomassza-piramis:** A biomassza-piramis az egyes táplálkozási szinteken lévő élő anyag szárazanyagtartalmának (tömeg) mérésével állítható fel.

- b) **Energiapiramis:** Ez az egyes táplálkozási szinteken lévő szervezetek energiatartalmának mérésével készül.
- c) **Produktivitási piramis:** A produktivitási piramisok a táplálékláncon át áramló energiát mutatják be.



1.3 ábra Ökológiai piramisok

Az energiának a következő táplálkozási szintre való átvitelekor csak 10%-a használdik új biomassza felépítésére, a többi anyagcsere-folyamatokra fordítódik.

Az ökoszisztéma működése: Az ökoszisztéma működése a rajta át és keresztül történő energia- és anyagáramláshoz kapcsolódik.

Energiaáramlás: Végeredményben a legtöbb szervezet a felépüléséhez és életfolyamataihoz szükséges energia tekintetében a Nap energiájától függ. Egy ökoszisztémán keresztül történő energiaáramlás ott kezdődik, amikor a napfény energiáját valamely zöld növény a fotoszintézis segítségével megköti. A táplálékláncon belüli minden

egyres energiaátadáskor az alsóbb szinten tárolt kémiai energiának mintegy 90%-a elvész, és így a következő szintek számára elérhetetlenné válik. Mivel a táplálékláncba belépő energia teljes mennyiségét a növények fotoszintetikus tevékenysége köti meg, a tápláléklánc alsóbb szintjein lévő szervezetek számára több felhasználható energia érhető el, mint a magasabb táplálékoszint szinten lévők számára. Egy példával ez a koncepció egyszerűbben bemutatatható: Kukorica - szarvasmarha - ember; 10000 egységnyi energia - 1000 egységnyi energia - 100 egységnyi energia.

Ha az embert a táplálékláncban egy fokkal lejjebb helyezzük, akkor tízszeresére nő a számára közvetlenül elérhető energia. Kukorica - ember; 10000 egységnyi energia 1000 egységnyi energia.

1.4 Biogeokémiai körforgás

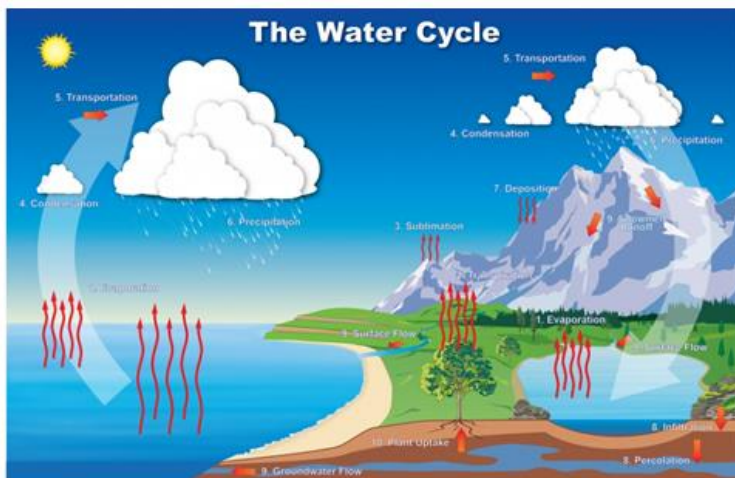
Az energiaforráson túl az élőlények mindegyike számos, az ökoszisztémán belül folyamatos körforgásban lévő szervetlen anyagtól is függ. Az ilyen molekulák ökoszisztémán keresztül vezető útja során, képződéskor vagy bomláskor, illetve egyik formából a másikba alakuláskor hasonló degradáció figyelhető meg, mint a táplálékláncban keresztül haladó energia esetében. A földi anyagok élő rendszereken keresztül történő majd a földi rendszerbe visszatérő körforgása a **biogeokémiai körforgás**. A természetben előforduló 92 kémiai elemből

mintegy 40 elengedhetetlen az élő szervezetek létehez. Ezeket nevezzük **tápanyagoknak**. Az élet fenntartása a bolygónkon végső soron a szervetlen anyagoknak a többé-kevésbé körkörös irányú, az élettelen környezetből az élőlényekbe irányuló, majd ismét a környezetbe vezető körforgásától függ. Az ilyen körforgás az elemek szervetlen formából szerves molekulává majd abból ismét szervetlenné való alakulásával jár (Kumar 1997).

1.4.1 A víz körforgása

A víz körforgását a Nap vezérli. Felmelegíti az óceánok vizét, így annak egy része elpárolog. A jég és a hó közvetlenül vízgőzzé szublimál. A légkörbe a szárazföldről is jut vízgőz a földfelszín párolgásával (evaporáció) és a növények párologtatásával (evapotranszspiráció). A nedves légtömeg felemelkedik, majd a vízgőz kicsapódva felhőket képez. A légáramlatok a felhőket a világ minden tájára elszállítják. A felhőkben a részecskék egymásnak ütköznek, egyre növekednek, majd csapadék formájában a földre hullnak. A csapadék hullhat hó formájában is, a fagyott víz pedig felhalmozódhat, hiszen a jégtömbök és a gleccserek több ezer évig tárolhatják a vizet. Az esők nagy része az óceánok felszínére hull. A szárazföldeken a csapadék egy része a felszínen szétárad. A felszíni és a felszín alatti vízgyűjtőkben a vízfolyások vize felhalmozódik, és édesvízként kerül tárolásra. A folyóknak nem a teljes vízmennyisége kerül vissza az óceánokba. Egy jelentős

rész beszivárog a felszín alá, és ott halmozódik fel, feltöltve a víztartó rétegeket (vízzel telített felszín alatti kőzetek), melyek hosszú időre képesek tárolni az édesvizet (lásd 1.4. ábra



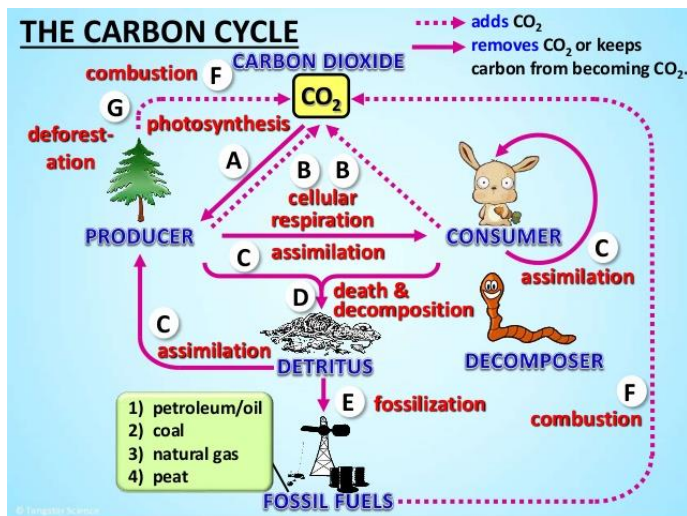
1.4. ábra [A víz körforgása](#)

1.4.2 A szén körforgása

Az élőlények szerves vegyületeinek alapvető alkotóeleme a szén. Mivel az energia átadása a szénhidrátok és zsírok fogyasztásán és raktározásán keresztül történik, a szén az energia áramlásával együtt mozog az ökoszisztémán belül. A szén legfontosabb forrása a légkörben és a földi vízkészletben oldva található szén-dioxid.

A szén körforgása során a légzés és a fotoszintézis ellentétes irányú reakciók. A légzés során szénhidrogénekből és oxigénből keletkezik szén-dioxid, víz és energia. A fotoszintézis során a szén-dioxidból és a vízből termelődnek szénhidrogének és oxigén (lásd 1.5. ábra).

A növények és állatok légzése során felszabaduló szenet a növények a fotoszintézis keretében veszik fel. Amikor egy állat vagy növény elpusztul, akkor a benne lévő szenet a lebontók hasznosítják, vagy pedig a környezetben halmozódik fel kőszén, kőolaj vagy földgáz alkotva.

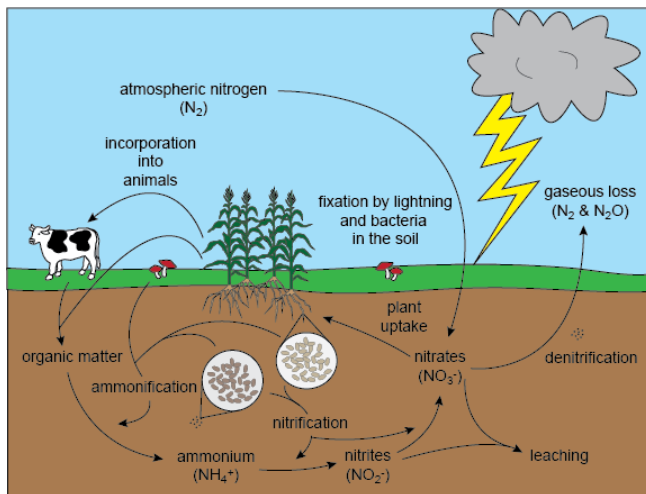


1.5. ábra [A szén körforgása](#)

1.4.3. A nitrogén körforgása

A nitrogén minden élőlény számára kulcsfontosságú, mert a fehérjék és nukleinsavak felépítéséhez szükséges. A nitrogén elsődleges tárolója a légkör, melynek mintegy 78%-át képezi, így minden elem közül a nitrogén rendelkezik a legnagyobb gáznemű raktárral. A nitrogéngázt a légkörből nitrogénkötő baktériumok és fotoszintetizáló cianobaktériumok (kékmoszatok) kötik meg. Ezek az élőlények nitrát vagy ammónia formájában képesek a nitrogént asszimilálni.

Az elhalt növényi vagy állati maradványok rothasztásában lebontó baktériumok és gombák vesznek részt. A folyamat során nitrogéntartalmú szerves savak keletkeznek, melyek lebontásakor ammónia gáz szabadul fel (NH_3). A talajban lévő nitrifikáló baktériumok az ammóniumot nitritmolekulákká alakítják (NO_2^-), melyből ezután nitrátot képeznek (NO_3^-). Ezen a ponton a növények ismét felhasználható formájú nitrogénhez jutnak. A talajban lévő nitrátokból a nitrogént denitrifikáló baktériumok távolítják el és engedik vissza a légköri nitrogénraktárba, amelyből az vagy nitrogénkötő baktériumok vagy a villámlás segítségével kerül be újra a körforgásba (lásd 1.6. ábra).



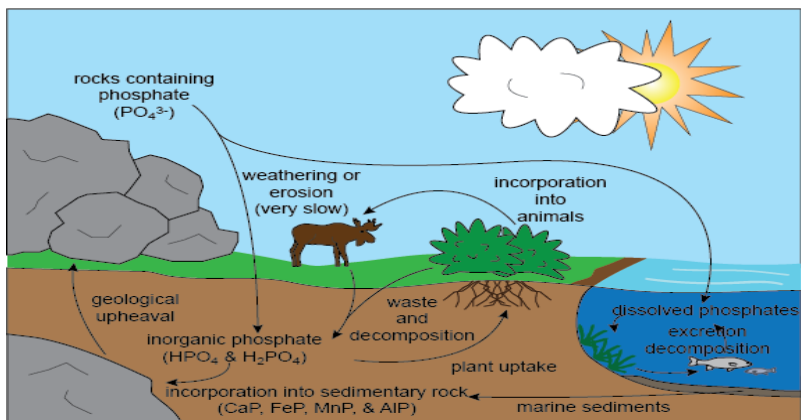
1.6. ábra [A nitrogén körforgása](#)

1.4.4 A foszfor körforgása

A foszforkörforgásban fontos szerepe van az üledékképződésnek, hiszen a ciklusban az alapvető foszforraktárt a korábbi földtani korokban képződött foszfát-közetek adják.

A csapadék és az erózió eredményeként ezekből a foszforraktárakból foszfát oldódik ki, melyet a növények gyökereiken keresztül felszívnak, és a sejtszinten zajló szintézis során felhasználnak. Az állatok a növényeken keresztül jutnak foszforhoz. A foszfor az oldott foszforraktárakba a salakanyagok normál kiválasztásával és az elhullott állatok tetemein keresztül kerül vissza. Oldott formában a foszfor jelentős mennyisége elveszik

azáltal, hogy sekélytengeri üledékekbe kerül. Ennek a foszfornek egy része a tengeri madarak ürüléke révén kerül vissza a szárazföldre. A foszforkörforgásban jelentős szerepet játszik az emberi tevékenység is (lásd 1.7. ábra). Egyes folyó és álló édesvizekben többlet jelentkezik a biológiailag hasznosítható foszfátból a befolyó, beszivárgó vizek túl magas tápanyagtartalmának köszönhetően. Mivel az ilyen víztestekben a foszfát rendszerint limitáló tényező, ez lehetővé teszi a növények elburjánzását. Ezt a folyamatot nevezik **eutrofizációnak** (Kumar 1997.)

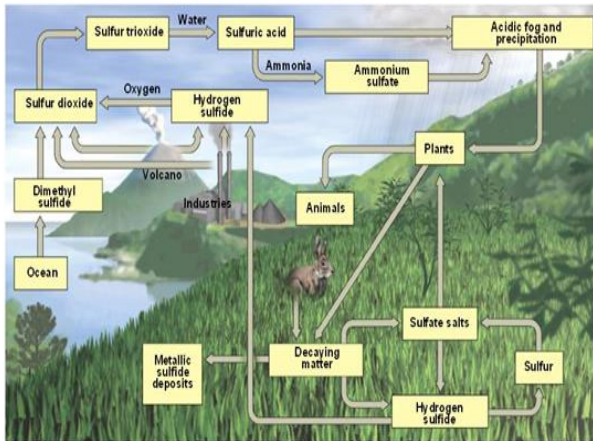


1.7. ábra [A foszfor körforgása](#)

1.4.5. A kén körforgása

A kén a szerves molekulákban kis mennyiségben fordul elő, de azok alapvetően szükséges eleme. A Földön főként szulfátásványokban, tiszta kénként vagy különféle fémekkel (pl. az ólommal, higannyal) együtt van jelen. A baktériumok kén-hidrogént, H_2S -t bocsátanak ki az emésztési folyamatot követően; ez egy „záptojás” szagú gáz, mely alapvető jellemzője a mocsaraknak és a szennyvíznek.

A földkéregben jelenlévő legnagyobb kénkészletek gipsz (CaSO_4) és pirit (FeS_2) formájában találhatók. Az édesvíz tartalmaz szulfátot, kén-hidrogént és elemi ként; a légkör tartalmaz kén-dioxidot, a vulkanikus tevékenységek során pedig valamennyi kén-hidrogén is kerül a levegőbe (lásd 1.8. ábra).



1.8. ábra [A kén körforgása](#)

1.5 Szennyező anyagok az ökoszisztémában

Szennyező anyag: Bármely, az élőlények egészségére, túlélésére vagy tevékenységeire káros hatást kifejtő vagy a környezetet nem kívánt módon megváltoztató anyag.

Környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagok (PoPk): különféle termékekben (az elektronikától az gépjárművekig) használt szintetikus szerves anyagok, melyek ellenállóak a környezeti lebontással szemben, és negatív hatással vannak a környezetre. Ide tartoznak például a PCB-k (poliklórozott bifenilek) és a DDT (diklór-difenil-triklóretán).

Hogyan kerülnek szennyező anyagok a környezetbe?

Pontszerű források: Erősen koncentrált szennyezőanyag-kibocsátás konkrét helyszínei (pl. gyárak, erőművek, szennyvízvezetékek).

Nem pontszerű források: Elszórt, diffúz szennyezőanyag források (pl. a mezőgazdasági és építési területekről lefolyó vizek).

Egy szennyező anyag ökoszisztémán belüli mozgását befolyásoló tényezők:

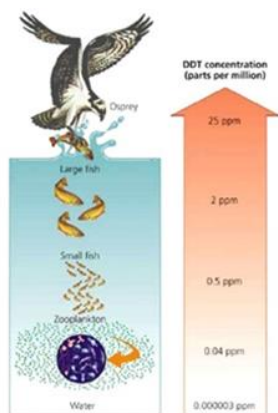
- A szennyező anyag oldhatósága befolyásolja, hogyan, hol és mikor halad át a környezeten.
- A vízben oldható szennyező anyagok gyorsan és széles körűen mozognak a környezetben.

- A zsírban oldódó szennyező anyagoknak általában valamilyen vivőanyagra van szükségük a környezeten belüli, a szervezetekbe irányuló és azon belüli mozgáshoz.
- A szervezetbe kerülve a zsírban oldódó szennyező anyagok már könnyedén bejutnak a szövetekbe és a sejtekbe, ahol a metabolikus lebontástól védett zsírkészletekként felhalmozásra és tárolásra kerülnek.
- A zsírban oldható szennyező anyagok évekig tartósan megmaradhatnak.
- Egy szennyező anyag tartós megmaradása azt mutatja meg, hogy mennyi idő szükséges a lebontásához és az ökoszisztémából való kikerüléséhez.
- A műanyagok és a klórozott szénhidrogének a lebontással szemben ellenállóak.
- A POP-k, természetüknél fogva elég tartósak, és így a lebontással szemben ellenállóak.

Szennyező anyagok a táplálékláncban:

Bioakkumuláció: Olyan folyamat, mely során a sejtek különféle molekulákat szelektíven felszívnak és tárolnak. Történhet tápanyagok és esszenciális ásványi anyagok felhalmozásával vagy szennyező anyagok felszívásával és tárolásával. Ekkor egy adott szennyező anyag koncentrációja a tápláléklánc első szervezetében a környezeti koncentrációhoz képest megnövekszik.

Biomagnifikáció: Az a folyamat, mely során a szennyező anyagok hatása a környezetben a táplálékláncon keresztül felerősödik (lásd 1.9. ábra). Egyes szennyező anyagok nagyon stabilak, és a metabolikus bontásnak ellenállóak; hosszú időn keresztül a szervezetben maradhatnak. Amikor egy élőlényt a magasabb táplálkozási szint egy tagja elfogyaszt, akkor a fogyasztó a zsákmány biomasszájának csak nagyjából 10%-át képes beépíteni a szervezetébe (10%-os szabály), ugyanakkor az oldhatóság miatt a szennyező anyag nagy része a zsákmányból átkerül a fogyasztóba. Ezért a tápláléklánc magasabb szintjein a szennyező anyag szöveti koncentrációja drasztikusan növekszik.



The higher up the food chain, the more concentrated the pesticides become.

This process is called biomagnification (or bioamplification)

1.9. ábra [Biomagnifikáció](#)

Szennyező anyagok mozgása: A szennyeződések forrástól való szállításának fő folyamatai az advekció, a diffúzió és a diszperzió (lásd 1.10. ábra).

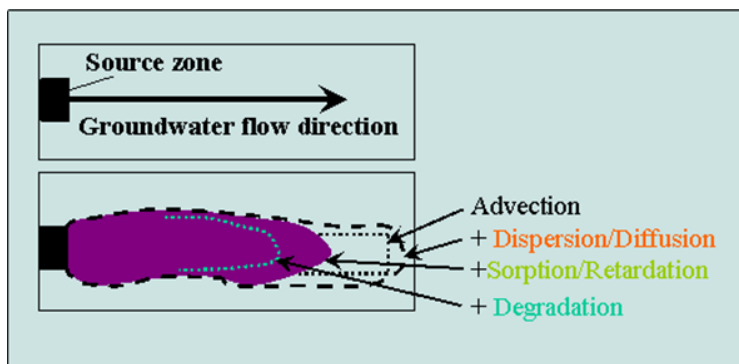
Advekcio: A légkörben a levegővel, a víztestben pedig a vízzel együtt való mozgás. A szennyező anyag a légáramlás vagy a vízáramlat sebességével mozog.

Diffúzió: A diffúzió az a folyamat, mely során a szennyező anyag molekulái a légtömegen vagy a víztesten keresztülhaladnak, szétterjednek. Mi okozza a (molekuláris) diffúziót? Egy adott hőmérsékleten (pl. 20°C-on) a molekulák egy bizonyos energiaszinttel rendelkeznek, amely mozgásban tartja őket. Mozgásuk során véletlenszerűen más molekulákba ütköznek. A másik molekulával való ütközés megváltoztatja a molekula haladásának eredeti irányát. A diffúzió a molekulákat a nagyobb koncentráció felől az alacsonyabb koncentráció irányába vezeti, ezzel szétterjednek a közegben. A diffúzió egyik legjobb példája, ha egy kis mennyiségű festékanyagot helyezünk egy vízzel teli főzőpohárba, anélkül, hogy a vízben áramlatokat generálnánk, a festékanyag szép lassan szétterjed a vízben, amíg a vizet egyenletesen megfesti (a festékanyagnak a vízzel megegyező sűrűségűnek kell lennie, különben leülepedik vagy úszik a víz felszínén, ami pedig egy advektív folyamat. (<https://www.coursehero.com/file/219914/esm222-08-9-movement/>)

Diszperzió: Más néven szétszóródás. Az épületek, a folyókban lévő kövek vagy a víztartó réteg homokszemcséi a szennyező anyagok további terjedését

okozzák. A szél és a vízáramlások is hozzájárulnak a szétszóródáshoz.

Retardáció: A talajba beszívódó szennyező anyag haladási sebessége a víz vagy levegő fázishoz képest lelassul. Itt a szennyező anyag hosszabb idő alatt tesz meg egy adott távolságot, mint a szállító közeg. A mozgó részecskékhez (kolloidokhoz) kapcsolódó szennyező anyagok is megkötődhetnek vagy felszabadulhatnak (szorpció-deszorpció).



1.10. ábra [Szennyezések szállítási folyamata a felszín alatti vizekben](#)

Hivatkozások

Ambelu A., Deboch B., & Lenjissa D., (2007). Lecture Notes on Ecology (ökológiai előadások jegyzetei), Jimma University az Ethiopia Public Health Training Initiative-vel, a The Carter Center-rel, az etióp egészségügyi minisztériummal és az etióp oktatási minisztériummal együttműködésben.

Kumar, H.D. (1997). Modern Concepts of Ecology. 8. kiadás, USA, Vikas Publication House.

A <https://www.coursehero.com/file/219914/esm222-08-9-movement> hivatkozás alatti weboldal (2017).

A <https://www.google.com.tr/search?q=biogeochemical+cycles> hivatkozás alatti weboldal (2017).

2. FEJEZET

ENERGIARENDSZEREK ÖKOLÓGIAI LÁBNYOMÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A fejezet szerzője: Gamze YÜCEL İŞILDAR¹

¹Gazi Egyetem, Tudományos és Technológiai Intézet,
Környezettudományi Tanszék, Ankara, Törökország

e-mail: akarakoc@gazi.edu.tr

Kivonat: A világ számos részén nő a népesség és a fogyasztás. Az emberiség egyre nagyobb terhet jelent a bolygónk számára, a természeti erőforrások pedig már nem elegendőek igényeink kielégítésére. A természet már nem tudja feldolgozni a hatalmas mennyiségben termelődő szennyező anyagokat. Rendszerezett, több területet érintő felmérésekre van szükség, melyekben a bolygó korlátozott erőforrásaiért egymással versengő igényeket vizsgáljuk meg és vetjük össze. Az alábbi fejezetben egyrészt az ökológiai lábnyommal (ecological footprint, EF) foglalkozunk, amely egy adott ökológiai keretet - biológiai kapacitást - határoz meg, másrészt azzal, hogy az ember biológiai kapacitás igénye mennyire közelíti meg vagy mennyivel lépi túl ezt a keretet. Megismerkedünk továbbá az ökológiai lábnyom legnagyobb részét kitevő szénlábnyommal (vagy karbonlábnyommal, carbon footprint, CF) is. Ez is az erőforrások felhasználását jelzi, de kifejezetten a hagyományos energiatermelő rendszerekhez közvetlenül kapcsolódó fosszilis tüzelőanyagok égetése során kibocsátott üvegházhatású gázokra összpontosít. Végül az alternatív energiarendszereket vetjük majd össze figyelembe véve az ökológiai és szénlábnyomukat.

Képzési célok:

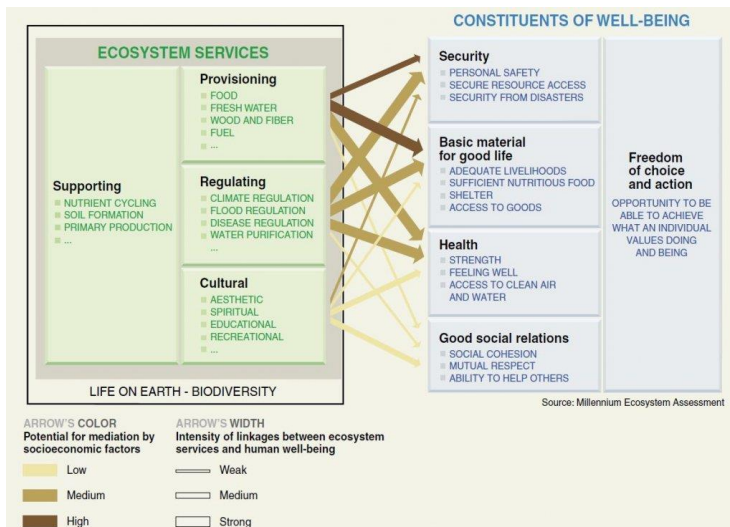
A fejezet végén a tanuló ismerni fogja:

- Az ökológiai és a szénlábnyom fontosságát (és szükségességét)
- Az ökológiai és a szénlábnyom valamint a kapcsolódó szakkifejezések jelentését
- Az ökológiai és a szénlábnyom számításának korlátait
- Az ökológiai lábnyom összetevőit
- Az energiatermelő rendszerek ökológiai lábnyomának egymáshoz viszonyított méretét

2.1. Az ökológiai lábnyom

2.1.1. Miért szükséges az ökológiai lábnyom meghatározása?

A földi életet lehetővé tévő erőforrások közé tartozik többek között a talaj, a víz, a levegő, az ásványi anyagok és a növények. A sejtjeink működését és az alapvető szükségleteket biztosító energiát, a testünket felépítő tápanyagokat, valamint az ökoszisztéma által szolgáltatott víz- és levegőtisztítást és éghajlat-szabályozást egyaránt természeti erőforrások biztosítják. Az emberek jóléte attól függ, hogy a Föld természetes rendszerei mennyire képesek ökoszisztéma-javakkal és -szolgáltatásokkal ellátni bennünket. Az ökoszisztéma-szolgáltatásokat az alábbi 2.1 ábra foglalja össze.



2.1. ábra Ökoszisztéma szolgáltatások

Azonban a világ számos részén növekszik a népesség és a fogyasztás. Az emberiség egyre nagyobb terhet jelent a bolygónk számára, a természeti erőforrások pedig már nem elegendőek igényeink kielégítésére. A halászat összeomlása, a klímaváltozás, az erdőirtás, a termőföldek csökkenése az erózió és a szikesedés miatt csak néhány a legégetőbb problémák közül, amelyek veszélyeztetik azt, hogy az ökoszisztémák továbbra is elő tudják állítani a kritikus megújuló erőforrásokat és szolgáltatásokat. A XX. század második felétől különösen nagy veszélybe sodortunk egy sor kritikus környezeti rendszert, és átléptük a Föld eltartóképességének határait. Az

eltartóképeség megadja, hogy mi az a maximális szint, amilyen mértékben a természet képes támogatni az emberi népeiséget és az emberi tevékenységeket (élelem, víz, élőhely, energia vonatkozásában). Sajnos a természet már nem tudja feldolgozni a hatalmas mennyiségben termelődő szennyező anyagokat. A Global Footprint Network 2015. novemberi „World Footprint” jelentése szerint az emberiség jelenlegi erőforrás-felhasználásához és hulladéktermeléséhez a Föld kapacitásainak 1,6-szorosára lenne szükség.

Ezzel összefüggésben mindenképp szükség van arra, hogy a környezeti problémák, a természet károsodása és az erőforrás-kimerülés konkrét hatásait megvizsgáljuk, megértsük, és szembe nézzünk azokkal. Az ember ökoszisztémákra gyakorolt hatásának „mérhetősége” segít abban, hogy az emberek felismerjék - és elismerjék a környezet válságát. Szükség van arra, hogy tapasztalati mérések révén ismerjük meg ezeknek a hatásoknak a mozgatórugóit, és megoldásokat találjunk csökkentésükre a gazdasági és társadalmi jólétet fenntartása mellett (Galli A. és mtsi., 2015.).

A Föld ökoszisztémáira gyakorolt emberi nyomás összességének első megközelítéseként az ökológiai lábnyom számvitt, az EFA-t (Ecological Footprint Accounting) használták (Galli 2015.; Lin D. és mtsi., 2015.; Wackernagel M. és mtsi., 2014.) Az ökológiai lábnyom egy olyan mérési eszköz, melynek segítségével

megbecsülhető, hogy az emberiség fogyasztásának mértéke meghaladja-e a Föld eltartókéességét vagy sem; azaz milyen mértékben marad az emberi társadalom a bolygó regeneratív képességén belül - vagy mennyivel haladja meg azt.

2.1.2. Az ökológiai lábnyom és a kapcsolódó szakkifejezések

Egy adott populáció **ökológiai lábnyoma** az a termőföld és vízszükséglet, amelyre az ökoszisztémának a populáció által elfogyasztott erőforrások előállításához és a populáció által termelt hulladék feldolgozásához, asszimilációjához szüksége van, akárhol is legyen az adott föld és vízkészlet a Földön (Wackernagel M. és Rees W., 1996.). Méri a termékeny területek, azaz a szántóföldek, legelők, erdők, tengeri területek, valamint a lakóterületekhez és infrastruktúrához szükséges beépített területek iránti igényt. Ez az erőforrás-számvitel hasonló az életciklus-elemzéshez, ahol az energia, biomassa (élelmiszer, rost), építőanyag, víz és egyéb erőforrások fogyasztását egy „globális hektárnak” (gha) nevezett normalizált földterület-mértékegységre váltják át.

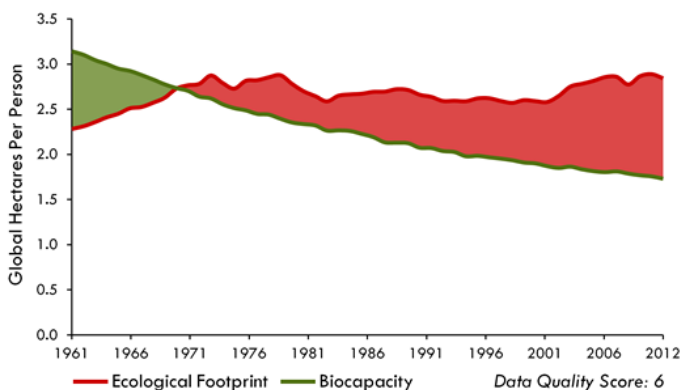
A **globális hektár** egy hektárnyi, az adott év világátlagának megfelelő biológiai termelékenységű földterületet jelent. A globális hektár használatára azért van szükség, mert a különböző földterület típusok termelékenysége eltérő. Például egy globális hektárnyi

szántóföld fizikailag kisebb területet foglal el, mint a jóval kisebb biológiai termelékenységű legelő, hiszen egy hektár szántóföld által biztosított biológiai kapacitás előállításához nagyobb legelőterületre van szükség. Mivel a világ biológiai kapacitása bizonyos mértékben évről évre változik, a gha értéke is kis mértékben változott az évek során. (WWF, 2016.). Az utóbbi időben a számítás abba az irányba tolódott el, hogy a népességnek egy adott évben a bioszférán belüli tevékenységeihez szükséges földhasználatot mérje, figyelembe véve az adott évben uralkodó technológiákat és erőforrás-gazdálkodást (Borucke M. és mtsi., 2013.). Ezek a biológiai termelékenységgel súlyozott hektárértékek lehetővé teszik, hogy a kutatók beszámoljanak a Föld egészének vagy valamely régiójának meglévő biológiai kapacitásáról, és arról is, hogy mekkora erre a biológiai kapacitásra az igény (az ökológiai lábnyom). Az **egyenérték faktor** az a fő tényező, amely lehetővé teszi a különböző típusú földeknek a közös, globális hektár egységre való átváltását. Ezek az egyenérték faktorok a különböző földterületek adott évre vonatkozó relatív termelékenységének értékelésén alapulnak. A legújabb ökológiai lábnyom számításokban a mezőgazdasági termelésre való alkalmasság mutatóját használják a különféle földtípusok produktív kapacitását helyettesítő mérőszámként. Egy adott földterület típuson, például a szántóföldön belül az egyes területek képessége arra, hogy hasznos javakat és szolgáltatásokat termeljenek, drasztikus különbségeket mutathat az olyan tényezőktől függően,

mint az éghajlat, a domborzati adottságok vagy az uralkodó gazdálkodási mód. A **hozamfaktorok** egy adott földtípus különféle területeinek a hozam, mint közös nevező alapján való összehasonlítását teszik lehetővé. Például egy ország legelőre vonatkozó hozamfaktora az adott ország legelőinek átlagos termelékenységét veti össze a legelők világátlagával. Ezek a hozamfaktorok az országon belül egy adott típusú földhasználati mód - pl. a legelő - egy hektárját konvertálják egy az adott földterület-típus világátlag szerinti hektárjával egyenértékű számmá.

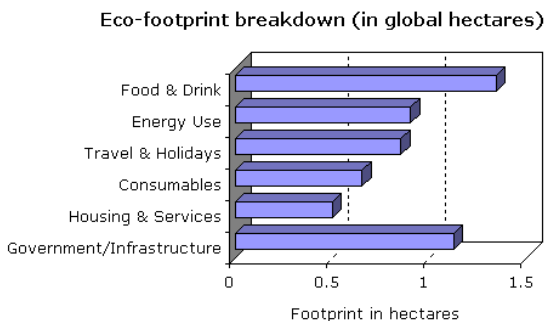
Ha egy populáció ökológiai lábnyoma nagyobb, mint a régió biológiai kapacitása, akkor az a régió **ökológiai deficit**tal működik. Nevezhetjük ezt **ökológiai túllövésnek** is. A populáció kereslete azon javak és szolgáltatások iránt, melyeket földje és tengerei képesek biztosítani - gyümölcsök, zöldségek, hús, hal, fa, a ruházkodáshoz gyapot, valamint a szén-dioxid felvétele - meghaladja azt, amilyen mértékben ezeket a régió ökoszisztémái képesek megújítani. Egy ökológiai deficitben lévő régió importtal, saját ökológiai eszközeinek felélésével (például túlhalászattal) és/vagy a szén-dioxid légkörbe bocsátásával elégíti ki a keresletet. Ma már világos, milyen következményekkel jár a „túllövés”: élőhelyek és fajok elvesztésével, és a szén felhalmozódásával a légkörben (Tittensor D.P. és mtsi., 2014.). Ha egy terület biológiai kapacitása nagyobb, mint az ökológiai lábnyoma, az azt jelenti, hogy **ökológiai tartalékai** vannak.

A 2.2 ábra bemutatja a világ trendjeit az ökológiai lábnyom és a biológiai kapacitás esetében (gha-ban) 1961 és 2012 között. Tisztán látszik, hogy a globális túllövés helyzete az 1970-es években kezdődött, és attól kezdve az emberiség igénye a Föld regeneratív kapacitására erősen megnövekedett. A Föld regeneratív kapacitására való emberi igény várhatóan továbbra is kitartóan növekedni fog, és 2020-ra mintegy 75 százalékkal haladja majd meg a kapacitást. Ahhoz, hogy ezt már a tervezés során kezelni tudjuk, jelentős fejlesztésekre van szükség a technológia, az infrastruktúra és a viselkedés terén, hogy kisebb erőforrásigényű termelést és életstílust támogassunk (WWF, 2016.)



2.2. ábra [A világ ökológiai lábnyoma és biológiai kapacitása](#) (gha-ban megadva)

Az emberi felhasználások hozzájárulását a 2.3. ábra szemlélteti.



2.3. ábra [Az ökológiai lábnyom összetevőinek megoszlása](#) (gha-ban)

2.1.3. Az ökológiai lábnyom használata

Az ökológiai lábnyom esetében tett megállapítások azt mutatják, hogy igen messzire került az emberiség a biztonságos és helyes működési helyzetétől (Dearing J.A. és mtsi., 2014.) a természeti erőforrások és az ökológiai szolgáltatások túlhasználata miatt. Ezek korai jelzőrendszerként mutatják a környezetvédelem és a fenntarthatóság szükségességét.

Az ökológiai lábnyomra vonatkozó megállapítások:

- Tájékoztatnak arról, hogy egy ország/város/ személy/létesítmény a számára rendelkezésre álló földterületnél mennyivel többet vagy kevesebbet használ fel.
- Lehetővé teszik, hogy az emberi igények és az ökoszisztéma jövőjére vonatkozó lehetséges forgatókönyvek megvitatásra kerüljenek
- Az emberiséget a túlzott felhasználás felől olyan útra terelik, mely az élelmiszer- és energiaforrásokkal való gazdálkodás, valamint a természeti és mezőgazdasági ökoszisztémák termelékenységének megtartása vagy növelése révén fenntartható lehet.
- Hasznos eszközei az emberek természettel szembeni viselkedésének megváltoztatását célzó, az eltartóképességgel és túlfogyasztással kapcsolatos nevelésének
- Bevonják a közszereplőket abba a munkába, amelynek köszönhetően az ökológiai lábnyomra vonatkozó diagnózisok alapján ágazatspecifikus szabályozások, előírások és gazdasági döntések szülehetnek.

Az ökológiai lábnyom tervező eszközként elsősorban a hosszú távú befektetésekre vonatkozó döntéseknél igen hasznos.

Ugyanakkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy az ökológiai lábnyom számításának is vannak korlátai (Galli A. és mtsi. 2016.). Az ökológiai lábnyom csak egyfajta szemüvegen - a biológiai kapacitáson - át tekint az embereknek az összetett és egymással is kölcsönhatásban lévő környezeti rendszerektől való függésére. Nem veszi figyelembe az emberi fogyasztás által a környezetre gyakorolt összes nyomást és következményt, így nem tér ki a környezetszennyezésre és az élőhelyek csökkenésére sem (Galli A. és mtsi., 2012.). Az ökológiai lábnyom szemléletét alkalmazva - amely valamely közösségnek egy adott időpontban való erőforrás-felhasználásáról készít pillanatfelvételt - a térben és időben való összehasonlításhoz szükség van korábbi ökológiai adatokra (Marazzi L. 2017.). Az ökológiai lábnyom rálátást ad a fenntarthatóság minimálisan szükséges feltételeire is: arra, hogy az emberi fogyasztási tevékenységek a Föld biológiai kapacitása által meghatározott korlátokon belül maradnak-e vagy sem (Lin és mtsi., 2015.). Az ökológiai lábnyom nemcsak méri az emberi behatást, de konkrét gazdálkodási tevékenységek fenntarthatóságát is képes előre jelezni. Olyan számveteli rendszer, ahol a mérleg egyik oldalán a Föld ökoszisztémaival szemben támasztott emberi igények, a másikon pedig ezen ökoszisztémák megújulási képessége áll. Ennek a hatókörnek és ezeknek az ismereteknek a tudatában az ökológiai lábnyom- számításokat szükséges, de nem elégséges hivatkozási keretként kellene alkalmazni, mely segít közelíteni egymáshoz az emberiség

természettel szemben támasztott igényeit a biológiailag termelékeny területekért való versengésben (Galli, 2016.).

2.1.4. Az ökológiai lábnyom összetevői

Az ökológiai lábnyom számításánál a főbb földhasználati típusoknak megfelelően a lábnyomnak hat összetevőjét különböztetjük meg. Ezek mindegyike az emberek jólétét szolgáló hat ökoszisztéma-szolgáltatáson alapul: növényi eredetű élelmiszerek termelése, állati eredetű élelmiszer termelése, halfeldolgozásból származó élelmiszerek termelése, faanyagtermelés, élettér és az energiához kapcsolódó CO₂-abszorpció (Galli A. és mtsi., 2012.; Kitzeset J. és mtsi., 2009.). Az összetevők egyenérték faktorokkal súlyozott értékeinek összege adja a teljes értéket. Így az ökológiai lábnyom egy földterület alapú, összetett mutató (Wackernagel és Rees, 1996., Steen-Olser és mtsi., 2012.). A 2.4. ábra az ökológiai lábnyom összetevőit mutatja be és magyarázza.

2.2. A szénlábnyom meghatározása

Az ökológiai lábnyomot egyes összetevőire lebontva láthatjuk, hogy ezek hogyan járulnak hozzá az emberiségnek a bolygóval szemben támasztott igényeihez.

Carbon

Represents the amount of forest land that could sequester CO₂ emissions from the burning of fossil fuels, excluding the fraction absorbed by the oceans which leads to acidification.



Cropland

Represents the amount of cropland used to grow crops for food and fibre for human consumption as well as for animal feed, oil crops and rubber.



Grazing Land

Represents the amount of grazing land used to raise livestock for meat, dairy, hide and wool products.



Forest

Represents the amount of forest required to supply timber products, pulp and fuel wood.



Built-up Land

Represents the amount of land covered by human infrastructure, including transportation, housing, industrial structures and reservoirs for hydropower.



Fishing Grounds

Calculated from the estimated primary production required to support the fish and seafood caught, based on catch data for marine and freshwater species.

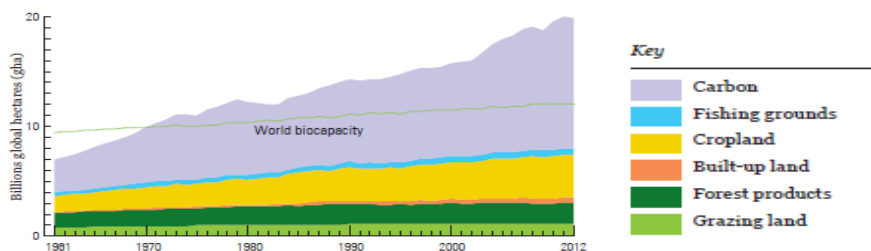
2.4. ábra Az ökológiai lábnyom összetevői (WWF, 2016.)

Az ökológiai lábnyom valószínűleg legismertebb összetevője globális szinten a szénlábnyom (vagy karbonlábnyom, carbon footprint, CF). Ennek egyszerű oka az, hogy ez adja az ökológiai lábnyom legnagyobb részét. Az antropogén igények növekedése a

szénlábnyomnál (+260% a fosszilis tüzelőanyagok, az elektromosság és az energiaigényes árucikkek növekvő használatából eredően) és a szántóföldi lábnyomnál (+125%) volt a legjelentősebb (WWF, 2016.). A globális felmelegedés egyre erősebb jelenléte a köztudatban egyre nagyobb érdeklődést kelt a szénlábnyom iránt.

A **szénlábnyomot** a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből és más forrásokból kibocsátott CO₂ felvételéhez szükséges földterületként is meghatározhatjuk (WWF, 2016.). Általánosan használják annak leírására, hogy egy adott személy, csoport vagy szervezet összességében mennyi CO₂ és más üvegházhatású gáz kibocsátásáért felel. A meghatározások között különbséget lehet tenni az alapján, hogy milyen tevékenységek és üvegházhatású gázok kerülnek be a szénlábnyom-értékelés hatókörébe, és az milyen részletességgel készül. Egyes szénlábnyom meghatározások csak a szén-dioxidot veszik figyelembe (Global Footprint Network, 2007.). Más meghatározások és módszerek az összes, a kiotói egyezményben szereplő üvegházhatású gázt magukba foglalják, és a kibocsátásokat „széndioxid-egyenértékekben” fejezik ki. Ilyen például a Carbon Trust (2007.).

A 2.5. ábra jól mutatja, hogy az emberiség ökológiai lábnyomának uralkodó összetevője a „szén” (amely az 1961-es 43%-os szintről 2012-re 60%-ra növekedett). Ennek elsődleges oka a fosszilis tüzelőanyagok - a szén, kőolaj és földgáz - égetése volt.



2.5. ábra A globális ökológiai lábnyom összetevőire bontva (WWF, 2016.)

A zöld görbe a Föld erőforrás-termelő és ökológiai szolgáltatás nyújtó képességét (biológiai kapacitását) jelöli. Ez némiképp növekvő tendenciát mutat, ami legfőképp a mezőgazdaságban megnövekedett termelékenységnek köszönhető (Global Footprint Network, 2016.) Az adatok globális hektárban (gha) vannak megadva. (WWF, 2016.).

A nevével ellentétben a szénlábnyom nem területmértékkal kerül kifejezésre. Az üvegházhatású gázok teljes mennyiségének csak a tömegét méri (kg, t, stb.), és ezt nem váltják át területi egységre (ha, m², km², stb.). A földterületre való átváltásnak annyi különféle feltételezésen kellene alapulnia, hogy az megnövelné az

adott szénlábnyom-becslés bizonytalanságát és hibalehetőségeit. Ha csak a CO_2 -t számítják bele, akkor a mértékegység kg CO_2 ; ha más üvegházhatású gázokkal is számolnak, akkor kg CO_2 -e a mértékegység, amely a CO_2 -egyenértékek tömegét fejezi ki. Ezeket úgy számítják ki, hogy egy adott gáz tényleges tömegét az adott gázra vonatkozó globális melegítési faktorral megszorozzák. Így a különféle üvegházhatású gázok globális felmelegedést erősítő hatása összehasonlíthatóvá és összegezzhetővé válik.

Ugyanakkor a teljes körű ökológiai lábnyom számítás során a szén-dioxid-kibocsátások adatait az adott szénkibocsátás feldolgozásához szükséges terület globális hektár értékére váltják át (Monfreda C. és mtsi., 2004.). A globális hektár alapú szénlábnyom értéke már hozzáadható az ökológiai lábnyom többi összetevőjéhez, mint pl. a szántóföldek lábnyomához és a halászott területek lábnyomához, és így kapjuk meg valamely populáció vagy tevékenység teljes ökológiai lábnyomát.

Széles körben elfogadott, hogy az életciklus-elemzés (lifecycle assessment, LCA) a szénlábnyom számítás hasznos eszköze, különösképpen a termékek szintjén (Wiedmann T. és Minx J., 2008.). Ugyanakkor a szénlábnyomot továbbra is érik bírálatok. Ezek közül kiemelkedik az az egyes megfigyelők által hangoztatott nézet, miszerint a részletes adatokra való nagy igény veszélyezteti az eredmény minőségét, különösképpen

olyan helyzetekben, ahol a kis vagy közepes méretű elszámoláshoz felhasznált adatok rendkívül korlátozott mértékű rendelkezésre állása alulbecsléshez vezet (Chakraborty D. és Roy J., 2013.; De Benedetto L. és Klemeš J. , 2009.). Egy másik bírálat szerint a szénmegkötő földterületek figyelembe vételének hiánya azzal a kockázattal jár, hogy a területi visszacsatolási folyamatokra – mint például az erdőterületek hirtelen leépülése vagy a vegetáció eloszlásában és az óceáni áramlatokban bekövetkező változások, melyek további hatással vannak a globális szénkörforgásra, – nem fordítanak figyelmet, ez pedig később káros hatással lehet az éghajlatra (Fang K. és mtsi., 2013.).

2.3. Az energiatermelő rendszerek ökológiai lábnyoma

A népesség növekedésével folyamatosan nő az energiafogyasztás és az energia iránti igény. Az energiatermelés minden formája hatással van a környezetre (levegőnkre, vizünkre és földünkre) de nem egyformán. A lakossági, munkahelyi, szabadidős és szolgáltatási ágazatok energiafelhasználása és CO₂-kibocsátása továbbra is hatalmas méreteket ölt. Figyelembe véve, hogy a jelenlegi elsődleges energiáknak kb 80%-a származik fosszilis energiákból, az energiatermelő rendszerek környezeti hatásainak fontossága egyre növekszik. Az energia iránti egyre nagyobb igényen túl, a CO₂-kibocsátásnak köszönhető

klímaváltozás környezeti és egészségügyi kockázatai nemzetközi kihívást jelentenek a tudomány és a politika területén.

Az energiarendszerek relatív környezetterhelésének értékeléséhez az életciklus alapján teljes energiaellátási láncokat kell figyelembe venni, számításba véve minden rendszerösszetevőt és a hatások összes kategóriáját. Erőforrás-elszámolási eszközként az ökológiai lábnyom segíthet meghatározni, hogy mi járul hozzá a legnagyobb mértékben az energiatermelésből származó környezeti hatásokhoz, és segíthet összehasonlítani a különféle - fosszilis tüzelőanyagokat, megújuló erőforrásokat, ill. atomenergiát használó - energiarendszerek hatását.

Ennek során figyelembe kell venni, hogy:

- mekkora fizikai területre van szükség az energia előállítására,
- mennyire tér el ez a követelmény a nem megújuló és a megújuló energiaforrások esetében,
- milyen ökológiai költségekkel jár az ilyen típusú területigény,
- mit kell figyelemmel kísérni ahhoz, hogy az energiatermelő létesítményeknek az ökoszisztémákra, az emberi egészségre és a társadalmi rendszerekre gyakorolt hatását megismerhessük.

A következő részben a fosszilis tüzelőanyagok, a megújuló energiaforrások és a nukleáris energiarendszerek környezeti hatásait tárgyaljuk, és hasonlítjuk össze az életciklusuk, az ökológiai- és a szénlábnyomaik mentén.

2.3.1. Az energiarendszerek összehasonlítása

A különféle energiatechnológiák összehasonlítása módszertani problémákat vet fel, melynek az az oka, hogy nagyon különböző forrásokra épülnek, és nagyon mások az adott források kiaknázására használt technológiák.

A hagyományos energiatechnológiák főként olyan fosszilis erőforrásokon alapulnak, mint a szén, a nyersolaj vagy a földgáz. Ezek a technológiák rendszerint azzal gyakorolják a legnagyobb hatást a környezetre, hogy működésük során CO_2 -t bocsátanak ki a légkörbe, így megváltoztatják a globális szénáramlási rendszereket - ami súlyos következményekkel jár a globális klíma esetében.

Ugyanakkor a megújuló energiákat: a szélenergiát, a Nap hőjét, a fotoelektromosságot vagy a víz erejét felhasználó rendszerek környezetre gyakorolt hatása leginkább a berendezéseik (napelemek, szélturbinák, napkollektorok) gyártásához és telepítéséhez kapcsolódik. A „megújuló erőforrásokon alapuló technológiák” egy széles tárházat takarnak, és ezek nagy különbséget mutatnak abban, hogy mekkora nyomást gyakorolnak a környezetre, és hogy ez a nyomás hogyan oszlik meg a különféle hatáskategóriák között.

Számos módszer áll rendelkezésre a környezeti hatások felmérésére, úgymint az MIPS (material input per service unit, szolgáltatásra vetített anyagfelhasználás egység), a CML-módszer, a CED (cumulative energy demand, kumulatív energiaigény) és az ökológiai lábnyom. A megújulóenergia-típusok ökológiai térbeli lábnyoma a CO₂-lábnyom modellekkel összefüggésben felhasználható arra, hogy megismerjük, valójában mennyibe kerül (és milyen előnyökkel jár) a társadalmak számára a megújuló energia (Burger, J. és Gochfeld, M. 2012.).

Teljes körű környezeti hatásértékeléshez olyan elemzőeszközre van szükség, amely képes az anyagáramlások, az energiaáramlások és a kibocsátások értékelésére. Ez olyan mértékegységet tesz szükségessé, amely erősen aggregált (hogyan lehetővé tegye az összehasonlítást), de különféle hatásokat értékel átlátható, tudományosan megalapozott módon.

Itt az energiarendszerek környezeti hatásait összehasonlító vizsgálat eredményeit összegezzük, mely az életciklus-elemzésen és az ökológiai lábnyom-számításokon alapul. A 2.1 táblázat az egyes villamosenergia-forrásokra (a bioüzemanyagokon kívül minden technológiára) vonatkozóan megadja az életciklus CO₂-e kibocsátását a megtermelt áram 1 kWh-jára vonatkozóan.

Technology	Lifecycle	Opportunity cost emissions due to delays	War/terrorism (nuclear) or 500 yr leakage (CCS)	Total
Solar PV	19–59	0	0	19–59
CSP	8.5–11.3	0	0	8.5–11.3
Wind	2.8–7.4	0	0	2.8–7.4
Geothermal	15.1–55	1–6	0	16.1–61
Hydroelectric	17–22	31–49	0	48–71
Wave	21.7	20–41	0	41.7–62.7
Tidal	14	20–41	0	34–55
Nuclear	9–70	59–106	0–4.1	68–180.1
Coal-CCS	255–442	51–87	1.8–42	307.8–571

2.1. táblázat Szén-dioxid ekvivalens kibocsátások az egyes technológiák életciklusa során (Jacobson M.Z., 2008.).

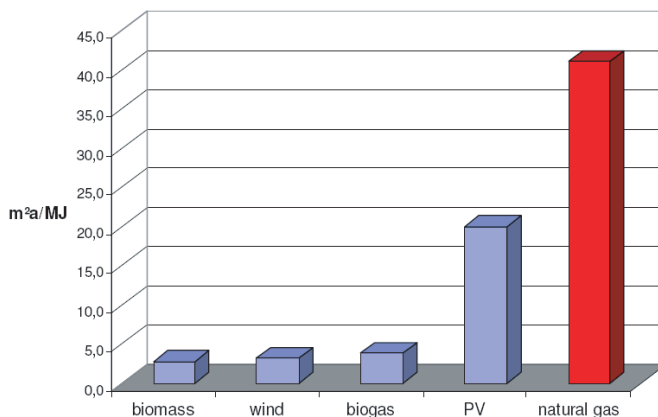
A 2.1. táblázat azt mutatja, hogy a szén felhasználásának van a legnagyobb környezeti hatása (majdnem tízszerese a napenergiáénak). Ugyanakkor a napelemek hatása valamivel nagyobb, mint a geotermikus energiáé. Az atomenergia nagyon széles skálán mozog, amint azt a 2.4. pont is említi, és nagyon nehezen összehasonlítható más forrásokkal. A klímához kapcsolódó kibocsátások az életciklus során csak az erőmű megépítése, üzembe helyezése, karbantartása és leszerelése során jelentkeznek.

A geotermikus energia esetében a gőzölögtető vagy száraz gőzös erőművek esetén a feloldott CO₂ forró vízből való kiválása során is történik kibocsátás - a bináris üzemeknél erre nem kerül sor.

A kukorica és cellulóz alapú etanol gyártásánál, valamint a szén-CCS technológia (szénleválasztási és tárolási) és a nukleáris energia esetében további kibocsátás jelentkezik a tüzelőanyag bányászata, termelése során. A

bioüzemanyagok és a szénleválasztás- és tárolás esetében az égéstermékekkel is sor kerül kibocsátásra.

Kettl és mtsi. (2011.) vizsgálatukban a „Fenntartható Folyamat Mutatót” (Sustainable Process Index, SPI) a különféle technológiák és erőforrásaik ökológiai hatásaival kapcsolatos kérdések megoldására használták fel. Megvizsgálták, hogy a megújuló energiákon alapuló rendszerek valóban kisebb hatással vannak-e a környezetre, mint a fosszilis energia technológiák, akkor is, ha a teljes élettartamot vesszük figyelembe. Az eredmények azt mutatták (lásd 2.6. ábra), hogy még a „tisztá” fosszilis alapú technológia, mint a földgáz turbinák használata is nagyobb nyomást gyakorol a környezetre, mint bármelyik megújuló energián alapuló alternatíva. A különbség nem csupán százalékokban, de nagyságrendekben volt mérhető: a földgázzal előállított villamos energia hatása (a maga 41,0 m²a/MJ értékével) 10,8-szor nagyobb, mint a biogáz technológiáé (ami 3,8 m²a/MJ), és még a „legrosszabb”, napelemes (PV) technológia (19,2 m²a/MJ-os) hatásának is a kétszerese.



2.6. ábra Energiarendszerek ökológiai lábnyomának összevetése (Kettl és mtsi., 2011.)

*A $\text{m}^2\text{a/MJ}$ mértékegység az adott év lábnyomának területét és a megtermelt energia MJ értékét jelzi.

Végül pedig nem szabad elfelednünk arról, hogy amikor Nugent és Sovacool 2014-ben összevetette 153 megújuló erőmű életciklus-elemzését, különös figyelmet fordítva a szél- és napenergia alapú rendszerekre, a következő megállapításokra jutottak:

„az egyes technológiák emissziós intenzitásának tartománya: a szélenergia esetében a $0,4\text{g CO}_2\text{-e/kWh}$ minimum értéktől a $364,8\text{g CO}_2\text{-e/kWh}$ maximum értékig terjedt, $34,11\text{g CO}_2\text{-e/kWh}$ -s középértékkel. A napenergia tartománya az $1\text{g CO}_2\text{-e/kWh}$ -tól $218\text{g CO}_2\text{-e/kWh}$ -ig terjedt”. Ez azt jelzi, hogy számos életciklus-elemzés hajlamos szubjektív döntési szempontokat választani, és úgy tűnik, hogy azokat számos belső és külső tényező

befolyásolja. Az elfogulatlan életciklus-elemzések is adhatnak tehát homlokegyenest eltérő eredményeket a módszertani különbségeik miatt, még akkor is, ha objektíven végzik őket, ahogy azt a fenti példa is mutatja.

2.4. Atomenergia

Az atomenergia alapú áramtermelés szénlábnyoma viszonylag alacsony, mert nem történik égés (a hőt az urán vagy a plutónium maghasadása adja); az üzemeltetés alatti CO₂-kibocsátás a teljes értéknek kevesebb, mint 1%-át teszi ki. A legtöbb kibocsátás az uránbányászat, a dúsítás és a fűtőelemgyártás során jelentkezik. A teljes élettartam során kibocsátott CO₂ 35%-át a rendszer felszámolása adja. Ez az atomerőmű leszereléséből, valamint a hulladékártoló létesítmények építéséből és fenntartásából eredő kibocsátásokat egyaránt magába foglalja. Az atomenergia-termelés életciklusának legnagyobb energiaigényű szakasza az uránbányászat, ami az összes CO₂-kibocsátás 40%-át teszi ki. (Parliamentary Office of Science and Technology, 2006). Poinssot és mtsi. 2014-ben publikált eredményei azt emelik ki, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátását tekintve az atomenergia hatása a legkisebb (kb. 5,3g/kWh-e). Ez 100-ad része a fosszilis energiáénak, és 8-ad része a napenergiáénak. A légköri (SO_x és NO_x) szennyezést figyelembe véve az atomenergia értékei nagyobbak, mint a víz- és szélenergia alapú áramé, de még mindig alacsonyabbak, mint a napelemes technológiáé és egyértelműen kisebbek,

mint a fosszilis alapú energiáé. A lehetséges hatásjelzők (savasodás, eutrofizáció és fotokémiai reagensek) szempontjából az atomenergia számadatai rendszeresen a második legjobb helyezést érik el a vízenergia mögött. Minden más energiaforrásnál - még a szélergiánál és a napenergiánál is – csekélyebb a hatása. Hasonlóképpen, bár a bányászat hatása erőteljes, mégis az atomenergia földterület-használatát vélik a legalacsonyabbnak. Ezzel ellentétben az atomenergia vízfelhasználásának valamint kivonásának számadatai számottevően meghaladják a többi energiaforrásét, a fosszilis energiák értékeinek tartományába esnek. Végül pedig az atomenergia technológiai hulladéka mintegy ezredrésze a fosszilis energiákénak, de még így is tízszerese a megújuló energiákénak. Ez közvetlen összefüggésben van a teljes üzemanyagciklus üzemeltetéséhez szükséges hatalmas infrastruktúrával (az erőművekkel, és különösképpen a reaktorokkal).

Azonban az atomerőmű-katasztrófák, mint amilyen a csernobili (Szovjetunió, 1986.) vagy a fukusimai (Japán, 2011.) volt, regionális és globális szinten egyaránt hatalmas társadalmi és ökológiai következménnyel járhatnak. A kis valószínűségű és nagy hatású események lehetőségével kapcsolatban a közvélemény általában nagyon „fél” vagy aggódik. Egy nukleáris létesítmény teljes életciklus-költsége magas lehet. Az életciklus-költségekbe beleszámít a bányászat, a feldolgozás, a dúsítás és a fűtőelemgyártás (a velejáró ökológiai és

egészségügyi hatásokkal), az új infrastruktúrákat igénylő biztonságos szállítási folyosók és a hulladékelhelyezés máig megoldatlan kérdése, ami jelentős felszín alatti területhasználatot vonhat magával (Burger, J. és Gochfeld, M. (2012.).

Valójában nincs egyetértés a tudományos szakirodalomban a meglévő atomreaktorok szénlábnyomára vonatkozóan. Az atomenergia szénlábnyomának megállapítását célzó tanulmányok problémás területet jelentenek. A szakirodalomban megjelent számos atomenergiával kapcsolatos életciklus-elemzés módszertanának és kontextusának ellentmondásai nagyon széles skálán mozgó eredményekhez vezettek, ami megnehezíti a közvetlen összehasonlítást, és megghiúsítja az egyértelmű, közös álláspont kialakítását (Warner E. és Garvin H., 2012.). Az eredmények bizonytalanok és spekulatívak. 2012-ben, négy évvel Sovacool (2008-as) tanulmányát követően Ethan Warner és Garvin Heath 274 olyan cikket talált, amely atomenergia életciklus-elemzést tartalmazott. Megszűrve ezeket 27-et választottak ki további vizsgálatra. Ezekben 99 szénlábnyomra vonatkozó becslés szerepelt, melyeket a szerzők függetlennek nyilvánítottak. A szénkibocsátási adataik 4 és 220 gCO₂/kWh között ingadoztak. Átlag helyett medián értéket számoltak: a becslések fele 13 gCO₂/kWh alatti értéket jelzett. A megjelent két áttekintő szakirodalmi cikk egymással ellentétes eredményre jutott. Az egyik azt mondja, hogy a szénlábnyom a CCC (Klímaváltozási

Bizottság) határértéke felett van, míg a másik szerint jóval alatta (http://www.theecologist.org/News/news_analysis/2736691/false_solution_nuclear_power_is_not_low_carbon.html).

Az atomenergia alacsony szénkibocsátású villamos energia forrásként való megítélése kétséges: míg a hagyományos fosszilis tüzelőanyagokkal, pl. a szénnel összehasonlítva jó eredményeket mutat, az urán kitermeléséhez és feldolgozásához, valamint az erőműépítéshez és -lebontáshoz szükséges logisztikai lánc az atomenergia esetében olyan szénlábnyomot eredményez, mely számottevően meghaladja a megújuló energiaforrásokét. (https://www.cse.org.uk/downloads/reportsandpublications/planning/renewables/common_concerns_about_wind_power.pdf)

A fosszilis tüzelőanyagoktól való függés csökkentése vagy akár megszüntetése, és a megújuló energiaforrások felé fordulás kiváló lehetőséget biztosít arra, hogy az emberiség ökológiai lábnyomát olyan mértékűre csökkentsük, amelyet a Föld még elbír.

Hivatkozások:

Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M., Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: the national footprint accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, (24), 518–533.

Galli, A., Lin, D., Wackernagel, M., Gressot, M. és Winkler, S. (2015). Brief for GSDR – Humanity's growing Ecological Footprint: sustainable development implications. Global Footprint Network.

Burger, J. és Gochfeld, M. (2012). A conceptual framework evaluating ecological footprints and monitoring renewable energy: wind, solar, hydro, and geothermal. *Energy and Power Engineering*, (4), 303-314.

Chakraborty, D. és Roy, J. (2013). Energy and carbon footprint: numbers matter in low energy and low carbon choices. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, (5), 1–7.

De Benedetto és L., Klemeš J. (2009.) The environmental performance strategy map: an integrated LCA approach to support the strategic decision making process. *Journal of Cleaner Production*, (17), 900-906.

Dearing, J.A., Wang, R., Zhang, K., Dyke, J.G. és Haberl, H. (2014). Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. *Global Environmental Change*, (28), 227-238.

Fang, K., Heijungs, R. és De Snoo, G. (2013). The footprint family: comparison and interaction of the ecological, energy, carbon and water footprints. *Revue deMétallurgie*, (110), 77–86.

Galli, A., Wiedmann, T.O., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B.R. és Giljum, S. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a “Footprint Family” of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, (16), 100–112.

Galli, A. (2015). On the rationale and policy usefulness of ecological footprint accounting: the case of Morocco. *Environmental Science & Policy* (48), 210–224.

Jacobson, M. Z. (2008). Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy and Environmental Science*, (2), 148–173.

Kettl, K., Niemetz, N., Sandor, N., Eder, M. és Narodoslawsky, M. (2011), Ecological Impact of Renewable Resource-Based Energy Technologies. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, (1), 1-5.

Kitzes, J., Galli, A., Bagliani, M., Barrett, J., Dige, G., Ede, S., Erb, K., Giljum, S., Haberl, H. és Hails, C. (2009). A research agenda for improving national ecological footprint accounts. *Ecological Economics*, (68), 1991–2007.

Lin, D., Galli, A., Borucke, M., Lazarus, E., Grunewald, N., Martindill, J., Zimmerman, D., Mancini, S., Iha, K. és Wackernagel, M. 2015. Tracking supply and demand of biocapacity through ecological footprint accounting.

Sustainability Assessment of Renewables- Based Products: Methods and Case Studies, 179–200.

Marazzi, L. (2017). Our Ecological Footprint, Macat International Ltd.

Monfreda, C., Wackernagel, M. és Deumling, D. (2004). Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts. Land Use Policy, 231-246.

Nugent, D. és Sovacool, B.K. (2014). Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. Energy Policy, (65), 229-244.

Parliamentary Office of Science and Technology, Postnote. (2006). Carbon footprint of electricity generation. Number 268

Sovacool, B.K. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. Energy Policy, 36(8), 2950-2963.

Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A.E. és Hertwich, E.G. (2012). Carbon, land, and water footprint accounts for the european union: consumption, production, and displacements through international trade. Environmental Science & Technology, (46), 10883-10891.

Tittensor, D.P., Walpole, M., Hill, S.L.L., Boyce, D.G., Britten, G.L., Burgess, N.D., Butchart, S.H.M., Leadley, P.W., Regan, E.C. és Alkemade, R. (2014). A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. Science 346 (6206): 241–244.

Wackernagel, M., Cranston, G., Morales, J. C. és Galli, A. (2014). Ecological footprint accounts, Itt: Atkinson, G., Dietz, S., Neumayer, E., Agarwala, M. (Eds.), Handbook of Sustainable Development. második, átdolgozott kiadás Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Glos, UK.

Wackernagel, M. és Rees, W. (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers.

Warner, E. és Garvin, H. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions of nuclear electricity generation. systematic review and harmonization. Journal of Industrial Ecology, 16(1), S73-S92.

Wiedmann, T. és Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. Itt: Pertsova, C.C. (Ed.), Ecological Economics Research Trends (pp. 1–11), Hauppauge, NY,USA: Nova Science Publishers.

WWF. 2016. Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era. WWF International, Gland, Svájc.

<http://www.footprintnetwork.org/content/images/trends/2016/world.png> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

<http://www.footprintnetwork.org/faq/> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

<http://info.cat.org.uk/questions/low-impact-living/what-ecological-footprint/> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/bloom_or_bust_report.pdf hivatkozás alatti weboldal

<http://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>
hivatkozás alatti weboldal (2017.)

http://www.theecologist.org/News/news_analysis/2736691/false_solution_nuclear_power_is_not_low_carbon.html hivatkozás
alatti weboldal (2017.)

<https://www.cse.org.uk/downloads/file/common-concerns-about-wind-2nd-edition-all-chapters.pdf> hivatkozás alatti
weboldal (2017.)

3. FEJEZET

HAGYOMÁNYOS ENERGIATERMELŐ RENDSZEREK ÉS KÖRNYEZETI HATÁSAIK: A HŐERŐMŰVEK

A fejezet szerzői: Başak TAŞELİ¹ és Duygu ALTIOK²

¹Giresun Egyetem, Mérnöki kar, Környezetmérnöki tanszék,
Giresun, Törökország

e-mail: basak.taseli@giresun.edu.tr

²Giresun Egyetem, Mérnöki Kar, Élelmiszertudományi
Tanszék, Giresun, Törökország

e-mail: evren.altiok@giresun.edu.tr

Kivonat: Az energia a mindennapi emberi igények kielégítéséhez szükséges. A legenergiaigényesebb ágazatok az ipar, az építőipar és a közlekedés. Az energia előállítása, átalakítása, szállítása és fogyasztása jelentősen szennyezi a környezetet – ugyanakkor használata elengedhetetlen előnyökkel jár. A népességnövekedéssel és az ipari fejlődéssel párhuzamosan létrehozott nagyüzemi energiatermelő és átalakító rendszerek jelentősen befolyásolják az ökológiai egyensúlyt és az országhatárokon átnyúló környezeti hatásokat is. Az erőmű vagy az azt kiszolgáló üzemanyag-lánc kibocsátásai játsszák a legnagyobb szerepet a környezeti

problémák kialakulásában. Az ilyen kibocsátások között van szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú egyaránt. Egyértelmű, hogy a fosszilis tüzelőanyagok égetése hozzájárul a nitrogén-oxidok (NO_x), kén-dioxid (SO₂) és szén-dioxid (CO₂) kibocsátásának növekedéséhez. A káros kibocsátások hozzájárulnak a globális felmelegedéshez, a savas esők képződéséhez és a sztratoszféra ózonrétegének elvékonyodásához is. A fejezet a klímaváltozás, a savasesők képződés és az ózonréteg vékonyodásának ökológiai, gazdasági és társadalmi hatásait is ismerteti.

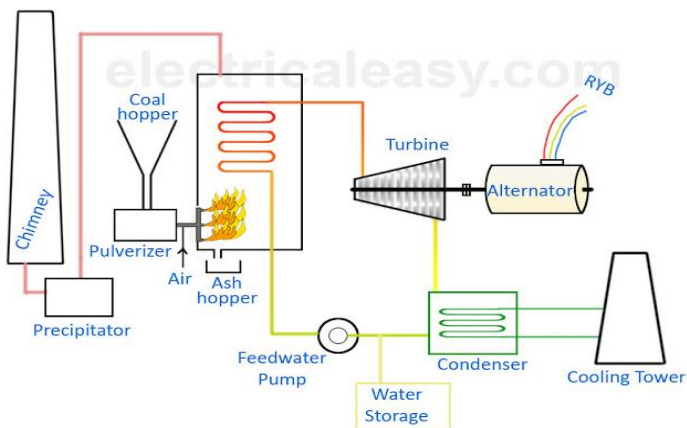
Képzési célok:

A fejezet végén a tanuló:

- Ismertetni tudja a környezeti hatások hatókörét,
- Be tudja mutatni, milyen hatásai vannak a hőerőműveknek,
- El tudja magyarázni a hőerőművek működését,
- Ismeri a klímaváltozás, a globális felmelegedés, az ózonréteg elvékonyodása és a savas esők fogalmát,
- Meg tudja határozni a klímaváltozás ütemét, valamint azt, hogy mennyire súlyos problémát jelentenek a savas esők és az ózonréteg elvékonyodása,
- Ismertetni tudja a klímaváltozás, a savas esők és az ózonréteg elvékonyodásának okait és hatásait,
- Ismeri az ember környezetre gyakorolt hatását.

3.1 Hogyan működik egy hőerőmű?

A hőerőművek munkaközegként vizet használnak. Működésük közben a fűtőanyag energiáját alakítják át elektromos energiává. A hőerőművekben a fűtőanyag elégetésével gőz termelődik, ami egy turbinát hajt meg. A gőzturbinán átjutva a vízgőz egy kondenzátorban kicsapódik, és visszakerül a kazánba, ahol aztán ismét gőz fejlődik (lásd 3.1. ábra). A hőerőművek elsődleges fűtőanyagként szenet, olajat és földgázt használnak (<http://www.electricaleasy.com/2015/08/thermal-power-plant.html>)



3.1. ábra [Hőerőmű vázlatos rajza](#)

3.2 A hőerőművek környezeti hatásai

A hőerőművek környezeti hatásait az energiatermelés előtti és az azt követő időszakra vonatkozóan is meg kell vizsgálni. Például egy szénalapú erőmű esetében, amikor az erőmű teljes fűtőanyag láncának hatásait vizsgáljuk, figyelembe kell venni a szénbányák bezárását, a salak eltávolítását és az erőmű leállítását követő elbontását is. A hőerőművekben történő áramtermelési ciklus során a legjelentősebb környezeti hatás az erőművek és a fűtőanyaglánc további elemeinek szilárd, folyékony és gáznemű kibocsátásából ered (lásd 3.2. ábra). A gáznemű kibocsátott anyagok közé tartoznak a füstgázok (SO_2 , NO_x), a szénhidrogének, a szén-monoxid és a szén-dioxid. A hőerőművekben a folyékony kibocsátást alapvetően a hulladékvíz jelenti. Jelentős mennyiségű víz kerül felhasználásra a hűtéshez, tisztításhoz és egyéb folyamatokhoz. A pernyében a fűtőanyag frakciók miatt megtalálható nehézfémek, mint a Fe, Zn, Cu és Pb a szilárd emisszióhoz járulnak hozzá. A levegőben szuszpenzió formájában fennmaradnak, majd az esővízzel bemosódva a felszín alatti vízkészletekbe és az ivóvízforrásokba kerülnek (www.britannica.com).

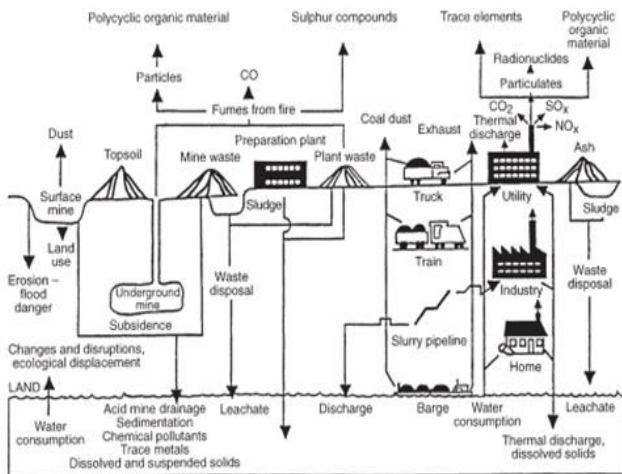
A közvetlen kibocsátásokon túl másodlagos összetevők is vannak. Ide tartozik a nitrogén oxidjaiból és illékony szerves vegyületekből (VOC-k) képződő ózon, a szén-dioxidból képződő kénvegyületek, és a kén-dioxidból és a

nitrogén oxidjaiból képződő savas eső. A 3.1 táblázat a különféle kibocsátások hatásait foglalja össze.

Széntüzelésű, olajtüzelésű és földgáztüzelésű erőművek

Foglalkozási kockázatok:

- Az anyagok kitermelése, a fúrás, az olaj- és gázmezők feltárása, a bánya és az erőmű építés során előforduló balesetek és megbetegedések;
- A szállítójárat építése, a szén és az olaj erőműbe szállítása során előfordul balesetek;
- Az erőmű működése során fellépő balesetek;
- A rákkeltő szénhidrogéneknek való kitettségéből eredő rákos megbetegedések;



3.2. ábra A fűtőanyag-lánc elve (www.britannica.com)

A: halálozás; B: megbetegedés; C: vegetáció; D: erdők, E: halgazdaságok;
 F: vízi; G: szárazföldi; H: felszín alatti víz; I: klímaváltozás; J: esztétika
 * CFC = klórozott-fluorozott szénhidrogének

A környezeti hatások forrása	Emberi egészség		Biológiai erőforrások							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Kültéri levegő										
Szilárd részecskék (por)	X	X								
SO ₂	X	X	X	X						
NO _x , nitrát, NO ₂		X	X	X		X				
Mérgező anyagok, ólom, higany	X	X	X	X	X	X	X	X		
CO	X	X								
CO ₂	X	X	X	X	X	X	X		X	
CFC-k*	X	X	X	X	X	X	X		X	
Gőz										
Szekunder kültéri levegő										
Savas aeroszolok	X	X								
Savas csapadék			X	X	X	X	X			
Ozon (szénhidrogének, illékony szerves vegyületek)	X		X	X			X			
Beltéri levegő										
Felszíni vizekbe engedés										
Kémiai	X	X	X		X	X	X			
Hő					X	X				X
Szilárd hulladék ártalmatlanítása										
Szállítás							X			X
Földterület használat							X			X
Veszélyes anyagok / poliklórozott bifenilek	X	X			X	X		X		
Mérgező anyagok a salakban	X	X			X	X		X		
Építés / üzemeltetés										
Létesítmény földterület használata			X	X			X			X
Szállítás földterület használata			X	X			X			X
Robbanás/baleset	X	X								X
Kiömlések	X	X	X		X	X	X	X		X
Leszerelés							X	X		X
Fűtőanyag beszerzés										
Kitermelés	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Feldolgozás	X	X	X		X	X	X	X		X
Szállítás / tárolás	X	X	X		X	X	X	X		X

3.1. táblázat A különféle kibocsátások eredményeként jelentkező hatások (www.britannica.com)

A köz veszélyeztetése:

- Sérülések és halálesetek a szén-, olaj-, és gázszállítás közben;
- A szennyezőanyagok belégzésének hatásai a bányá- és az erőmű építésénél, illetve az olaj- és gázmezők feltárásánál felhasznált anyagok előállítása során;
- A szén, olaj és gáz égésekor, valamint az erőmű működése során kibocsátott szennyezőanyagok belégzésének hatásai;
- A szilárd és folyékony hulladékokkal kibocsátott mérgező anyagok.
- Az olaj és a gáz tárolása során keletkezett tüzek, robbanások.

Környezeti hatások:

- A külszíni bányászat miatt földterület-veszteség; bányászati károk a földalatti bányaterületeken;
- Savas esők;
- A vizek szennyezése a bányákból származó folyékony szennyezőanyagokkal;
- A vizek szennyezése az erőműből származó szilárd és folyékony hulladékokkal;
- A szén, olaj és gáz égése, és az erőmű működése során kibocsátott szennyezőanyagok abszorpciója miatt csökkennek az erdőgazdálkodási, növénytermesztési és állattenyésztési hozamok, valamint a természeti környezetben élő vadállatok száma;

- Radioaktív szennyezés a salakmeddők környékén;
- Az anyaggyártás valamint az erőmű építése és működése során kibocsátott CO₂ hozzájárulása a globális felmelegedéshez;
- A víz szennyezése az olajszállítás során és baleseteknél.

3.3 Globális klímaváltozás

Klíma: A klíma - vagy éghajlat - egy adott helyen jelentkező időjárási viszonyok átlaga más időszakokban és régiókban tapasztalt időjárási viszonyok széles skálájával összevetve. Egy adott régió éghajlatát az időjárási elemek, azaz a hőmérséklet, a szél, a csapadékmennyiség, a légnyomás és ezek napi és éves szintű változásai határozzák meg.

Klímaváltozás A klímaváltozás a légkör összetételét közvetlenül vagy közvetve torzító emberi tevékenység valamint az éghajlat természetes változása eredményeként fellépő, egymással összevethető időszakoknál megfigyelt éghajlati változás.

Globális felmelegedés: A globális felmelegedés a földfelszín közelében mért léghőmérsékletek átlagának növekedése, amellyel az elmúlt egy-két évtizedben kezdtek el foglalkozni. A fosszilis tüzelőanyagok intenzív égetése és az üvegházhatású gázok - különösen a széndioxid - légköri koncentrációjának növekedése, így világunk melegebbé az, amit üvegházhatásnak nevezünk (globális felmelegedés).

A folyamatot befolyásoló gázok közé tartozik a széndioxid, a metán, a szén-monoxid, a szénhidrogének és a klórozott-fluorozott szénhidrogén gázok. Állítások szerint a globális felmelegedés legsúlyosabb hatása az, hogy a sarkvidéki jégsapkák olvadásának következtében a tengerszint megemelkedik, ezáltal számos ország területe kerül víz alá. Mivel a fosszilis fűtőanyagok fogyasztásának üteme nem változik, az elkövetkező 50 év alatt világunk átlaghőmérséklete 5 fokkal is növekedhet, ami végzetes katasztrófákhoz vezetne. Továbbá mivel az üvegházhatás következtében nő a Föld hőmérséklete, a tengervíz párolgása is intenzívebbé válik, így hevesebb esőkre és áradásokra számíthatunk.

3.3.1 A klímaváltozás okai

Vulkáni tevékenységek: A vulkáni tevékenység nagy mennyiségű kén-dioxidot és más aeroszoloikat képesek kibocsátani a sztratoszférába. Ezek a vegyületek csökkentik a légkör átlátszóságát, így a földfelszín és a troposzférát elérő napsugárzás mennyiségét. A vulkáni tevékenység olyan intenzív is lehet, hogy a gázok, mint a vízgőz, a SO_2 , CO_2 , NH_4 és a vulkáni hamu megváltoztathatják a globális éghajlatot. A vulkáni kürtőn feláramló láva érintkezésbe lép a földkéreg széntartalmával, ezzel jelentős mennyiségű szén-dioxidot szabadítva fel. Ez a CO_2 , amely elkeveredik a légkörben, jelentős szerepet játszik a klímaváltozásban.

A vulkánkitörések következtében a légkörbe kerülő szilárd anyagok is hatással lehetnek az éghajlatra.

Lemeztektonikus tevékenységek: A tektonikus (földkéregben zajló) mozgások eredményeként változnak a felszíni képződmények is, ami az óceáni- és a légáramlatok változásához vezet, ez pedig drasztikus éghajlati változásokat eredményezhet. A tektonikus tevékenység erőteljes hatással van a szén-dioxid koncentrációjára.

Üvegházhatású gázok: Az üvegházhatású gázok olyan nagy hőviszatarító képességgel rendelkező, légkörben előforduló vegyületek, melyek erősítik az üvegházhatást. Ezek a gázok képesek elnyelni a földfelszín infravörös sugárzását és azt a földfelszínre visszasugározni – ezzel járulnak hozzá az üvegházhatásnak nevezett jelenséghez. Az üvegházhatású gázok növelik a légkör hőmérsékletét, vagyis globális felmelegedést eredményeznek, és üvegházhoz hasonló hatásukkal megváltoztatják az éghajlatot. A legfőbb üvegházhatású gázok a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4), a dinitrogén-oxid (N_2O) a klórozott-fluorozott szénhidrogének és a halonok, valamint az ózon (O_3).

Vízgőz: A földfelszín és a légkör alacsonyabb rétegeinek felmelegedése azt eredményezi, hogy a felszínről nagyobb mértékben párolog el a víz. A légkör alacsonyabb rétegeiben megnövekedett koncentrációban jelen lévő

vízgőz nagy mennyiségű hosszúhullámú sugárzást fog fel és sugároz vissza a felszín irányába.

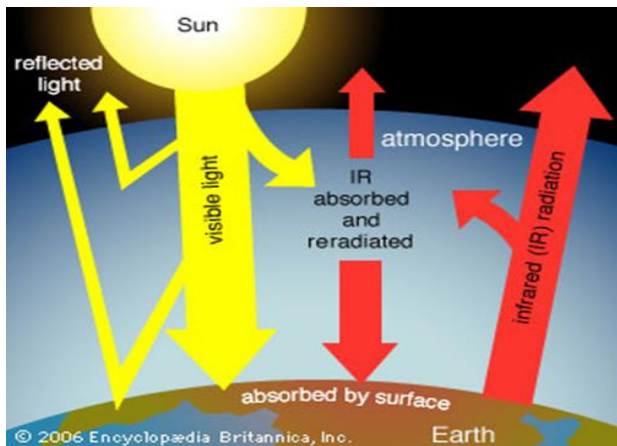
Szén-dioxid: A CO_2 gáz a levegő legjelentősebb hőtartó képességű összetevője. A légköri CO_2 mennyiségét a vulkánok aktivitása, a szerves anyagok égése és természetes lebomlása és az aerob szervezetek légzése határozza meg. A CO_2 és más hővisszatartó tulajdonsággal rendelkező gázok mennyiségének megnövekedése a légkör hőmérsékletének növekedését okozza. Félő, hogy ez olyan éghajlatbeli változásokhoz vezethet, amelynek komoly következményei lennének, például a jégtakarók felolvadása és az óceánok vízszintjének megemelkedése.

Metán: A metán (CH_4) a második legjelentősebb üvegházhatású gáz. A légkörbe különféle emberi és állati tevékenységek révén kerül. A metán hővisszatartó tulajdonságú. A légkörben sokkal rövidebb ideig tartózkodik, mint a CO_2 .

Felszín közeli ózon és egyéb vegyületek: Az ózon mennyisége függ a szélességi körtől és a légköri magasságtól. A felszín közeli ózon (O_3) kialakulását légszennyezés okozza, és meg kell különböztetnünk a sztratoszférában természetesen előforduló ózontól. A klórozott-fluorozott szénhidrogén gázok használata is hatással van az ózonkoncentrációra. Az üvegházhatást a sztratoszférában lévő ózonréteg csökkenti, a földfelszín közelében lévő ózon ugyanakkor növeli. Az UVB-

sugárzás egy része normál körülmények között is eljut a légkör alacsonyabb rétegeibe, és egy részét a földfelszín csapdába ejti. Biológiailag káros hatásokat akkor tapasztalhatunk, amikor ez a felszíni hőmérséklet növekedését eredményezi. A légköri ózonkoncentráció növekedése hatással van a klímaváltozásra is.

Aeroszokok: Az aeroszokok a napsugárzás egy részét visszaverik vagy elnyelik. A légkörben pár nap alatt felhalmozódhatnak, majd esővel, hóval vagy a levegőből való száraz kiülepedéssel válnak ki (lásd 3.3 ábra).



3.3. ábra Üvegházhatás www.qa-international.com

Év	Esemény
1896.	Svante Arrhenius megalkotja a légköri CO ₂ hatásával kapcsolatos első éghajlatváltozási modellt
1920 1925.	A texasi és a perzsa-öböl-beli olajmezők megnyitásával megkezdődik az ipari méreteket öltő kőolajfeltárások kora
1957.	Roger Revelle és Hans E. Suess egy az óceánok CO ₂ -felvételét vizsgáló tanulmányban azt írják, hogy „az emberek nagyszabású geofizikai kísérletbe fogtak”.
1960.	Az amerikai klímakutató, Charles David Keeling által kidolgozott görbével megkezdődik a légköri CO ₂ -koncentráció nyomon követése.
1973.	Az első olajválság.
1974.	Először bizonyítják, hogy a klórvegyületek az ózonréteg elvékonyodásában szerepet játszanak.
1979.	A második olajválság.
1980.	Keeling görbe: A CO ₂ koncentrációja 1980-ban 337 ppm.
1990.	Az első Éghajlat-változási Kormányközi Testület (IPCC) jelentés megjegyzi, hogy a korábbi időszakban felmelegedési mintázatot észleltek, és ez a jövőre vonatkozóan további felmelegedést jelez előre.
1992.	A riói ENSZ konferencián létrehozzák a Éghajlatváltozási Keretegyezményt
1997.	Létrehozzák a Kiotói Jegyzőkönyvet azzal a szándékkal, hogy korlátozzák az iparosodott országok üvegházhatású gáz kibocsátásait.
2000.	Keeling görbe: A CO ₂ koncentrációja 2000-ben 367 ppm
2001.	A harmadik IPCC Jelentés arról számol be, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátásából eredő felmelegedés 2nagy valószínűségű”.
2005.	A Kiotói Jegyzőkönyv hatályba lép. Az USA kivételével minden jelentősebb iparosodott állam aláírja.
2006.	Kína a világ legnagyobb üvegházhatású gáz kibocsátójává válik.
2007.	A negyedik IPCC Jelentés beszámol arról, miként jelentkeznek a globális felmelegedés hatásai.
2011.	Kanada visszalép a Kiotói Jegyzőkönyvtől.
2014.	Keeling görbe: A CO ₂ koncentrációja 2015-ben már 400ppm
2015.	A Kiotói Jegyzőkönyvet helyettesítő Párizsi Klímaegyezményt közel 200 ország írja alá.
2016.	A Párizsi Klímaegyezmény hatályba lép.

3.2. táblázat Az éghajlatváltozással kapcsolatos fejlemények időbeni alakulása (www.britannica.com)

3.3.2 A globális felmelegedés környezeti hatásai

A globális felmelegedés és a klímaváltozás megváltoztatja a Föld lég hőmérsékletét, ami befolyásolja az ökoszisztémákat és így a növények, állatok és egyéb életformák biológiai sokféleségét. Az előrejelzések szerint a XXI. század végéig az átlaghőmérséklet 2,3-6,0 °C-kal fog növekedni. Ez a növény- és állatfajok jelentős részének kihalásával és jelentős emberi egészségügyi problémákkal fenyeget (IPCC, 2007.). A felszín felmelegedése számos régióban általunk nem befolyásolható változásokhoz vezethet, mint például a fák korábbi rügyfakadása, a vegetáció korábbi kizöldülése, a tojásrakási és költési idők eltolódása és a madarak, halak és más vonuló állatok évszakokhoz kötődő vándorlási mintázatainak megváltozása. A sarkköri ökoszisztémákban a tengeri jég évszagos változásának eltérő mintázata veszélyezteti az olyan ragadozókat, mint a jegesmedvék és a rozmárok - mivel mindkét faj vadászati tevékenységében nagy szerepet játszanak a tengeri jégtáblák.

A klímaváltozás következtében a globális légkörzés is átalakul, ami minőségi és/vagy mennyiségi problémákhoz vezet a víz, a levegő, valamint az ökoszisztémák, a mezőgazdaság és az infrastruktúra esetében is. A globális felmelegedés olyan nemkívánatos következményekkel járhat, mint a tengerszint növekedése, az évszakok változása és az ökoszisztémák károsodása. Hosszabb

távon egyes régiókban súlyos aszályok és elsivatagosodás léphet fel, míg a világ más részein a hurrikánok és az áradások súlyossága és gyakorisága növekedhet a globális felmelegedés következtében. Várhatóan a téli hőmérsékletek magasabbak lesznek, a tavasz korán, az ősz későn köszönt be, és az állatok vándorlása is eltolódik. A változásokhoz alkalmazkodni képtelen növény- és állatfajok egyedszáma csökkenhet, vagy akár ki is pusztulhatnak ezek a fajok.

3.3.3 A globális felmelegedés társadalmi-gazdasági következményei

Előreláthatólag a gleccserekben és a hótakaróban tárolt édesvíz mennyisége csökkenni fog, így a világ népességének több mint 15%-a nem jut majd elegendő ivóvízhez. Továbbá az emelkedő hőmérséklet tavak és folyók biológiai aktivitására gyakorolt negatív hatásai által romlani fog a vízminőség, így még kevesebb lesz az elérhető ivóvíz, valamint a mezőgazdaságban felhasználható, biztonságos vízkészlet. A melegebb vizekben például kellemetlen algavirágzás léphet fel, mely veszélyeztetheti az emberi egészséget.

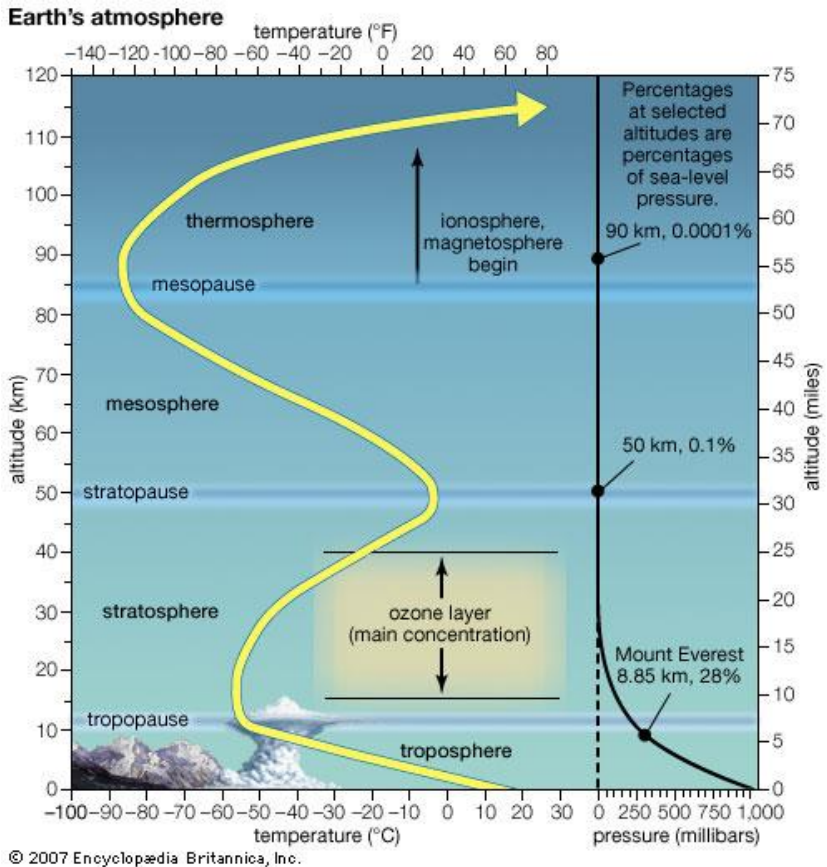
3.4 Az ózonréteg elvékonyodása

Az ózon nagyobb mennyiségben két légköri rétegben van jelen: a troposzférában és a sztratoszférában. A sztratoszférában található ózon az, amely a Föld felszíne felett 10-45 km-rel természetes állapotban megtalálható.

Ez a légkörben jelen lévő ózon 90%-át teszi ki (lásd a 3.4. ábrát). Megléte létfontosságú, mert megszűri a napsugárzás káros ultraibolya sugarait. A troposzférában található (ipari hulladékokból, kipufogógázokból stb. származó) ózon emberi tevékenységekből ered. A felszíntől kb. 10 km magasságig található meg, és a légkörben jelenlévő ózon 10%-át teszi ki. A troposzférában található ózon a globális éghajlatváltozásban szerepet játszó üvegházhatású gázok rangsorában a negyedik helyet foglalja el. A nagy hullámhosszú sugárzást a légkörben tartja, és ott növeli az üvegházhatást, melyhez összességében 7%-ban járul hozzá. A troposzférikus ózon az emberi egészségre káros. A légkör más molekuláival reakcióba lépve károsítja a növények és állatok élő szöveteit is. A veszélyes ózon egyik forrását jelentő nitrogén-oxidok (NO_x) elsősorban gépjárművekből (49%), erőművekből (28%), ipari tevékenységekből (13%) és kereskedelmi tevékenységekből származnak (5%). A sztratoszférában található ózon az oxigénmolekulákban található kémiai kötések felbontásával, más néven fotolízisével keletkezik, mely a napsugárzásból származó nagyenergiájú fotonok által történik. A fotolízis eredményeként keletkező oxigéngyökök oxigénmolekulákhoz kapcsolódva képezik az ózont.

Az ózon feladata elnyelni a sztratoszférában az ibolyántúli (UV) sugarakat, melyek minden élőlényre, természeti erőforrásra és mezőgazdasági termékekre negatív hatással

vannak. Az ózon mennyisége a sztratoszférában természetes körülmények között is egész évben változó a kémiai reakciók, a széljárás vagy más folyamatok eredményeként, amelyek az ózonmolekulákat bolygó szerte szállítják.

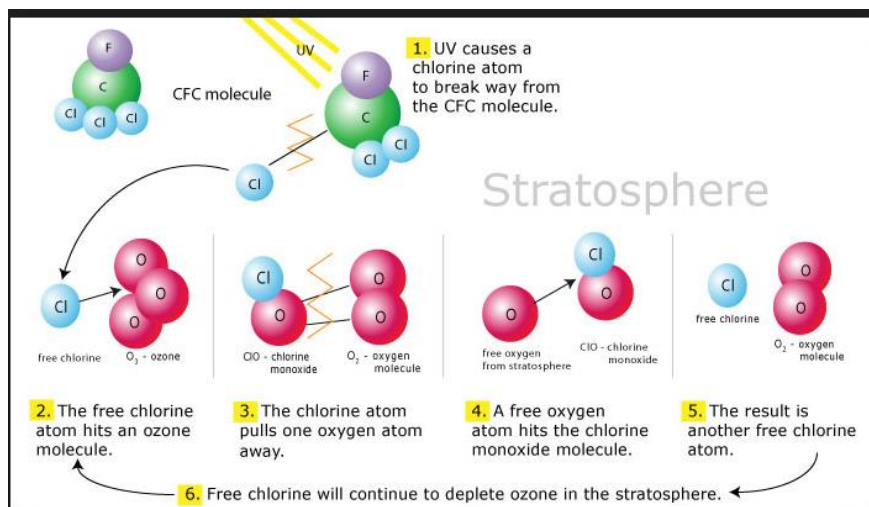


3.4. ábra [Az ózonréteg](#)

Azt a jelenséget, amikor az ózon sűrűsége túl alacsony ahhoz, hogy az ultraibolya sugarakat visszatartsa, ózonlyuknak, vagy az ózonréteg elvékonyodásának nevezik. Az ózonréteg elvékonyodásának eredményként a földfelszín közelében az UV-B sugárzás megnövekszik, melynek hatására az emberek immunrendszere több szempontból is károsodik. Az UVB-sugárzás a látás romlását és bőrrákot is okozhat.

Az ózonréteg sokat változott az évtizedek során az emberi tevékenység hatására. Az elvékonyodás az utóbbi évtizedekre olyan méreteket öltött, hogy a sarkvidékek felett a tavaszi évszakokban úgynevezett ózonlyukak alakulnak ki.

A sztratoszférában egyre nagyobb mennyiségben jelen lévő klór és bróm katalizálja az ózon bomlását. Ezek a vegyi anyagok a klórozott-fluorozott szénhidrogénekről és más halogénezett szénvegyületekről az UV sugárzás hatására leválva az ózont úgy rombolják, hogy az ózonmolekuláról egy oxigén atomot leválasztanak. Amikor egy klóratom reagál az ózonnal, olyan folyamatot indít el, ahol egyetlen klóratom ózonmolekulák ezreinek oxigénné való átalakulását okozhatja (lásd 3.5. ábra).



3.5. ábra [Az ózónréteg elvékonyodásának mechanizmusa](#)

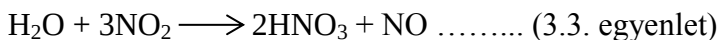
3.5 Savas esők

A szén és a kőolaj globális fogyasztása folyamatosan nő. A hőerőművekben és ipari létesítményekben használt szén hamut (kadmium, acél, ólom), CO₂-t és SO₂-t bocsát a légkörbe. Az egyre nagyobb számú gépjármű is növeli a légkör szén-dioxid tartalmát. Továbbá a SO₂ és a CO₂ légköri koncentrációját a vulkáni tevékenység is növeli. A fosszilis tüzelőanyagok égéséből származó, légköri üvegházhatást eredményező CO₂-kibocsátás az elmúlt negyven évben különösen intenzív növekedést mutatott, 1990-ben elérte az évi 0,6 milliárd tonnát, 1998-ban pedig már 5,5 milliárd tonna volt éves szinten.

Ezek a légszennyezést okozó gázok reakcióba lépnek a légkör víztartalmával (H₂O), melynek eredményeként

savas vegyületek keletkeznek: H_2SO_4 (kénsav), HNO_3 (salétromsav) és H_2CO_3 (szénsav). A kénsav és a szénsav keletkezését az 1. és a 2. egyenlet mutatja.

A nitrogén-monoxid (NO), amely szintén növeli az esővíz természetes savasságát a villámlás során keletkezik a nitrogén és az oxigén reakciójával. Ezen felül az autók motorjában lejátszódó magas hőmérsékletű égés során, illetve a hőerőművekben is nagy mennyiségű NO-gáz keletkezik. A levegőben a nitrogén-monoxid (NO) nitrogén-dioxiddá (NO_2) oxidálódik, és a vízzel reagálva salétromsavat képez (3. egyenlet), mely a felszínre savas tulajdonságú eső, hó vagy köd formájában jut le.



A savas ülepedés a savas részecskék és gázok száraz kiülepedését is jelenti, amely a száraz időszakokban fejti ki hatását a felszínre. A savas esők okozta károk nem korlátozódnak az erdőkre. Hatással vannak minden élőlényre, illetve a vasutakra, épületekre, hidakra és emlékművekre egyaránt.

A savas esők hatására a levelekben lévő klorofill lebomlik, ezért a növény megsárgul és kiszárad. Amint azt tudjuk, a növények a fotoszintézis során CO_2 -t fogyasztanak, ha

azonban a savas esők kiszáritják a vegetációt, az a légköri CO₂ növekedését eredményezi.

3.5.1 A savas esők környezeti hatásai

A légköri szennyezőanyagok a széllel könnyen mozognak, így a savas esők nagyon nagy területeket érinthetnek, akár a szennyező anyagok keletkezésének helyétől messze is eljuthatnak (lásd 3.6. ábra). A savas esők világszerte egyre nagyobb környezeti problémát jelentenek, mivel számos káros szerves és biokémiai reakciót indítanak be. A savas esők az egész környezetre káros hatásúak, de a leginkább érintett területek az erdők és a mezőgazdasági területek. Ezek az esők a növények növekedéséhez nélkülözhetetlen elemeket (például a magnéziumot és a kalciumot) a talajból a mélyebb rétegekbe mossák, melynek eredményeként a növények nem tudják ezeket hasznosítani. A fontos ásványi anyagok talajból való eltűnése a fák halálát és a termés károsodását okozhatja. További problémát jelent, hogy a savas esők hatására a talajban lévő alumínium kioldódik, ami megakadályozza, hogy a fák gyökerei a tápanyagokat hasznosítsák.

A savas esők anyagai a levelek gázcserenyílásain bejutva elsavasítják a sejtplazmát, ezzel a növényen belül a vízáramlás egyensúlyi állapotba kerül. A leveles növényeknél, mint amilyenek a fák és a spenót, a SO₂ a levelek felületén bevonatot képez és akadályozza a fotoszintézist. Ennek eredményeként a növény vizet veszít és a levél hamarosan elpusztul. Továbbá idővel a fa felső

ágai meggyengülnek, szélvédő hatásukat elveszítik, és a szél átjárhat közöttük. Ezért a fák zöld rügyei nem növekednek, kiszáradnak, a leveleiket lehullajtják, és nem hoznak virágokat és gyümölcsöt.

A talajra hulló savas eső felborítja a talaj kémhatását, ami a talajlakó mikroorganizmusokra káros hatással van - azok nem képesek fenntartani élettevékenységeiket, és elpusztulnak (Kızıloğlu T., 1995.).

A tavakba, folyókba hulló savas esők megzavarják a víz sav-bázis egyensúlyát, ami hatással van a halakra. A savas környezetben a halak nem képesek életben maradni. A halakra gyakorolt hatás a táplálékláncon keresztül ránk, emberekre is befolyással van.

A savas esők bejutnak a felszín alatti, a felszíni és az ivóvizekbe, kapcsolatba lépnek a talaj nehézfémekkel, melyek a halakba és a növényekbe jutnak. Az ilyen táplálékok fogyasztása a bennük tárolt savas anyagok miatt olyan betegségeket okozhat, mint a golyva, a fekély, krónikus hörgőgyulladás, asztma és tüdőtágulat (Kızıloğlu T., 1995.). A savas eső ivóvízforrásainkat is szennyezi. Ha egy ivóvízbázisként használt kisebb méretű tó vize eleve savas, és abba savas eső hullik, ivóvízként való felhasználásra alkalmatlanná válik. A savas esők környezetkárosító hatásait nem hagyhatjuk figyelmen kívül, mivel ezek az esők a jövőben a tiszta ivóvízkészletek kimerülését is okozhatják.



3.6. ábra [Savas eső hatása a Great Smoky hegység erdőire](#)

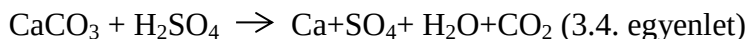
A savas esőt okozó káros gázok számos légzőszervi megbetegedést okozhatnak, hiszen jelen vannak a levegőben, amit belélegzünk. A savas eső a bőrre kerülve akár bőrrákot is okozhat. A levegőben lévő szulfátot belélegezve hörgőgyulladás, asztma vagy tüdőrák alakulhat ki.

3.5.2. A savas eső hatása az épületekre és műemlékekre

A savas esők koptató hatásúak, az épületeket, szobrokat és történelmi műemlékeket erodálják. Ha a savas eső savtartalma magas, akkor még a legkeményebb kőzetek is erodálódhatnak. A műemlékek építéskor gránitot, márványt és mészkövet használnak. A márvány és a

mészkegyaránt kalcium karbonátból (CaCO_3) áll, csak a kristályszerkezetükben különböznek. A korábbi történelmi korokban márványt, mészkövet és meszes homokkővet használtak az építkezésekhez is. Bár ezek nagyon tartós anyagok, napjainkban a márványból és mészkőből épült épületeket és kültéri műemlékeket a savas esők fokozatosan elerodálják. Mivel a homokkő homokrészecskéi között meszes anyag található, megfigyelték, hogy idővel a savas eső és a légszennyező anyagok hatására a homokszemcsék elporladnak.

A kalcium-karbonát és a savas esők elsődleges összetevője, a kénsav közötti kémiai reakció (4. egyenlet) a kalcium-karbonát vizes ionokká való felbomlását eredményezi. Ezeket az ionokat a víz kimossa (www.chemistry.wustl.edu).



Az eső pH-ja, az esőzés időtartalma és a környezeti hőmérséklet egyaránt fontos szerepet játszik abban, hogy milyen hatást gyakorol a savas eső az építményekre, műemlékekre.

Hivatkozások

IPCC (2007), Climate Change 2007: Synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change, 4th Assessment Report, ISBN 978-92-9169-143-2.

Kızıloğlu, T. (1995). Toprak Mikrobiyolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yay. no: 180, Erzurum (török nyelven).

<http://www.electricaleasy.com/2015/08/thermal-power-plant.html> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

www.britannica.com hivatkozás alatti weboldal (2017.)

A QA International által létrehozott és készített www.qa-international.com hivatkozás alatti weboldal (2017.)

www.chemistry.wustl.edu hivatkozás alatti weboldal (2017.)

<https://www.google.com.tr/search?q=ozone+destruction+mechanism> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

<https://www.google.com.tr/search?q=Effect+of+acid+rain+on+Great+Smoky+Mountains> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

4. FEJEZET

AZ ATOMERŐMŰVEK ÖKOLÓGIAI ÉS KÖRNYEZETI DIMENZIÓI

A fejezet szerzői: Feriha YILDIRIM¹ és Gamze YÜCEL
İŞILDAR²

¹Gazi Egyetem, Tudományos és Technológiai Intézet,
Környezettudományi Tanszék, Ankara, Törökország

e-mail: ferihayildirim@gmail.com

²¹Gazi Egyetem, Tudományos és Technológiai Intézet,
Környezettudományi Tanszék, Ankara, Törökország

e-mail: akarakoc@gazi.edu.tr

Kivonat: Napjainkban a növekvő energiaigények arra készítetik az országokat, hogy fosszilis fűtőanyagokat használjanak, mert azok olcsó és könnyen elérhető forrást biztosítanak. Azonban a fosszilis tüzelőanyagoknak köszönhetően keletkező üvegházhatású gázok (különösképp a CO₂) felgyorsították az éghajlat változását. A globális felmelegedéssel kapcsolatos egyre növekvő aggályok miatt az elektromos áram előállításának egyik lehetséges alternatívájaként az atomenergia reneszánszát éli, az atomreaktorok száma az elmúlt években növekedett. Azonban az elmúlt 60 évben közel 100 nukleáris baleset történt, melyek némelyike komoly környezeti hatásokkal járt. Ezzel összefüggésben az atomerőművek

ökológiai hatását értékelni kell. Ebben a fejezetben röviden ismertetjük az atomreaktorok előnyeit és hátrányait. Minden egyes lépés (a teljes életciklusra vonatkozóan) ökológiai kockázatairól szót fogunk ejteni. Ezek a lépések: az uránbányászat, a dúsítás, a nukleáris fűtőanyagciklus, a reaktorfolyamatok, a radioaktív hulladékok kezelése és a reaktor leszerelése. Az energiahatékonyság, a klímaváltozás, a közegészségügy, az ökoszisztémák, a biológiai sokféleség, a jövő generációk és a társadalmi részvétel mind alapvető szempontként szerepelnek az atomenergia értékelésénél, ugyanakkor figyelembe vesszük a gazdasági, politikai és társadalmi vonatkozásokat is.

Képzési célok:

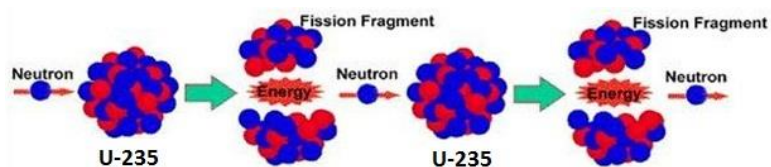
A fejezet végén a tanuló ismerni fogja:

- Az atomreaktorok előnyeit,
- Az atomreaktorok hátrányait,
- Az atomreaktorok kockázati tényezőit,
- Az atomreaktorok ökológiai szempontok szerinti értékelését (a klímaváltozásra, a kinyert energia mennyiségére, a gazdasági hatékonyságra, az ökoszisztémákra, a biológiai sokféleségre, a biztonságra, a közegészségügyre, a jövő generáció jogaira és a társadalmi részvételre vonatkozóan).

4.1. Bevezetés

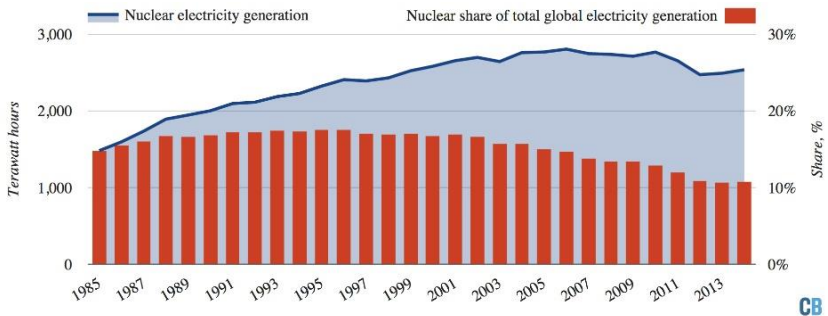
Napjainkban az energiaszolgáltatás nagyrészt fosszilis fűtőanyagokra alapozva történik. Mivel azonban a fosszilis erőforrások a közeljövőben (mintegy 150 éven belül) kimerülnek, másrészt a belőlük származó üvegházhatású gázok klímaváltozást okoznak, más, alternatív energiaforrásokat kell keresni. Bár az emberek jobbra a megújuló energiaforrásokra fordítják figyelmüket, ezen a területen a teljes energiaellátás nem fenntartható. A megújulók tárolási és hatékonysági korlátai miatt, a fosszilis fűtőanyagok erős alternatívájaként továbbra is napirenden maradt az „atomenergia”.

Az atom ill. a nukleáris jelző az atommagokkal való kapcsolatra utal. Az atomenergia az az energia, amely az atomi részecskék láncreakciójának eredményeként keletkezik. Az energia két alapvető reakciónak eredményeként szabadul fel, az egyik a (mag)**fúzió**, a másik a (mag)**hasadás**. Az erősen radioaktív anyagok (mint az urán) neutronokkal való bombázásával okozott maghasadás vagy az alacsonyabb radioaktivitású anyagok magfúziója eredményeként felszabaduló energia igen jelentős. Fontos alapelv az, hogy az erőművek az atomenergiát maghasadásból, konkrétan az urán maghasadásából nyerik ki (lásd 4.1. ábra).



4.1. ábra [A maghasadásos reakció és láncreakciók](#)

Ezt a kifejezést először a II. világháború alatt lehetett hallani. A kezdeti kutatások a japán Hiroshima városára 1945. augusztus 6-án és Nagaszaki városra 1945. augusztus 9-én ledobott bombákhoz kapcsolódóan indultak meg. Rutherford, Hans, Strassman, Oppenheimer és Einstein voltak azok a tudósok, akik elsőként tanulmányozták ezt az energiaforrást. (Karabulut Y., 1999.) Napjainkban a világ elektromosságának 10,9%-át adják az atomerőművek. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség „Power Reactor Information (PRIS)” adatai szerint jelenleg 31 országban összesen 441 atomerőmű működik (a 2015. november 15-i állapot szerint) Bár a csernobili atombalesetet követő 25 évben az atomerőmű-építések visszaestek, ugyanakkor globális szinten az elektromos energia iránti kereslet több mint kétszeresére nőtt. Ennek eredményeként az atomenergia-termelés 1996-ban tetőzött, 18%-ot elérve, majd 2014-re 11%-ra esett vissza (lásd 4.2. ábra) (<https://www.carbonbrief.org/mapped-the-worlds-nuclear-power-plants>).



4.2. ábra A globális atomenergia-alapú áramtermelés (kék terület, bal oldali tengely), és az atomenergia részesedése a világ összes áramtermeléséből (piros oszlopok, jobb oldali tengely). (BP Statistical Review of World Energy 2015 és Carbon Brief elemzés. Carbon Brief diagram)

Az atomenergia előnyei

- Nem használ fosszilis fűtőanyagokat, és nem bocsát ki üvegházhatású gázokat,
- A gyorsan fogyó készletekkel rendelkező fosszilis fűtőanyagoktól való függőség csökkentése,
- Hatékonyabb a megújuló energiaforrásokhoz képest,
- Stratégiai erővel és politikai hatalommal ruházza fel az országokat (az energetikai célok mellett katonai célokra felhasználva)
- A fosszilis fűtőanyagok árváltozásait figyelembe véve gazdasági szempontból stabilabb azoknál.

Az atomenergia hátrányai

- Nagy a kockázata a balesetek során előforduló sugárzásnak, amely több generáció életére gyakorol káros hatást, emberekére és más élőlényekére egyaránt,
- A radioaktív hulladék elhelyezése, kezelése során számos problémát tapasztaltak,
- Drága energiaforrás,
- A források és a technológia tekintetében külső függőséget igényel,
- Az adott helyszín rossz megválasztása esetén káros hatással lehet a környezetre,
- Az üzembeállítása hosszú időt vesz igénybe működési idejéhez képest.

Valójában az atomenergia egy **politikai** döntés, és a vita a politikai arénában zajlik. Azonban a nukleáris katasztrófák eredményeként megtörtént emberi tragédiák miatt **etikai** és **lelkiismereti** vonatkozásai is vannak. (Caldicott H., 2014.) Ezért fontos és szükséges úgy értékelni az atomenergia előnyeit és hátrányait, hogy egyrészt megvizsgáljuk az emberiség és a természet kapcsolatrendszerében, másrészt **gazdasági** szempontból is elemezzük, így sokkal átfogóbb képet alkotva róla.

Az elemzés mindenekelőtt az energiatermelés életciklusának különböző szakaszait vizsgálja meg, mint

az uránbányászat, az urándúsítás, a reaktor működése, a hulladékok elhelyezése és az erőmű lebontása.

Elemezzük **az atomerőművek kockázati tényezőit**, és újra meg újra megvizsgáljuk a **költségek** és a **biztonság** kérdéseit. Továbbá a következő szempontok szerinti ökológiai értékelést végezzük el:

- a) Energiahatékonyság
- b) Klímaváltozás
- c) Humán egészségügy
- d) Ökoszisztémák és biológiai sokféleség
- e) Jövő generációk
- f) Társadalmi részvétel

Ezek az értékelések megfelelnek az alábbi tanulmányoknak, melyeket ismerni kell ahhoz, hogy az Európai Bizottság által készített Extern-E Report (1995) jelentés szerinti „észszerűbb energiapolitikák megalkotása” vizsgálatát be lehessen tartani:

- A használt nukleáris hulladékok lerakásával és újrafelhasználásával kapcsolatos kockázatok elemzése
- Szén-dioxid kibocsátások összehasonlítása
- Radiológiai kockázatértékelés és gazdasági előrejelzések készítéséhez szükséges atomenergia kockázati tényezők kiszámítása.

4.2. Az atomreaktorok kockázati tényezői

Az, hogy az atomerőművek mennyire biztonságosak, a mai napig a világ tudósai által egyik leghevesebben vitatott kérdés. Hogy az egészről teljes képet kaphassunk, az erőművek ökológiai értékelésekor minden szakaszt figyelembe kell venni, és minden kockázatot értékelni kell. Ezért megvitatásra kerül az uránbányászat, a használt fűtőanyag tárolása, a hulladékok feldolgozása, illetve a használt fűtőelemek újrafeldolgozása és újrafelhasználása során keletkező hulladékok kezelése és eltemetése. Továbbá az élettartama végére érő reaktorhoz és annak leszereléséhez kapcsolódó kockázati tényezők, valamint az üzemek környezetre gyakorolt hatása (ökológiai szempontból).

4.2.1. Uránbányászat

Hogy a nyersanyagból uránt nyerjünk ki, urántartalmú kőzeteket kell különböző fizikai és kémiai folyamatoknak alávetni, amelynek eredményeként az uránt elemi állapotban tartalmazó oldatot kapunk. Ezt követően ebből az oldatból az uránt urán-oxidok formájában kicsapják. A folyamatban a gépek működése során kis mennyiségű gáz kibocsátás történik, amely üvegházhatást idéz elő. Továbbá kis mennyiségű radioaktív szóródás is jelentkezik.

4.2.2. Urándúsítás

A kinyerést követően az uránércet egy dúsításnak nevezett folyamatnak vetik alá, hogy az erőműben felhasználhatóvá tegyék. Itt viszont az jelent kockázatot, hogy a dúsítás során atomfegyverek előállítására is lehetőség van. Ebben a helyzetben egyes országok érdeklődni kezdenek a nukleáris fegyverkezés iránt, és megnövekedhet az atomfegyverek mennyisége. Az atomfegyverek használata során radioaktív részecskék keletkeznek, melyek az adott régió túl szélesebb földrajzi térségekbe is áttérjednek, ahol több év múlva sugározni fognak.

4.2.3. A reaktor működése

Világszerte az összes atomerőmű a maghasadás elvén működik. A reakció eredményeként keletkező hőt alakítják át energiává. A rendszerben lévő vizet ezzel a hővel felforralva gőz képződik. A nagy nyomású gőzt egy turbinára vezetik, mely egy áramfejlesztőt, generátort hajt meg, és ennek forgása révén villamos energia keletkezik. Ezek a folyamatok egyetlen rendszerben mennek végbe, mely számos (kb. 50 000) mechanikai alkatrészből áll, melyek bármelyikénél fennáll a meghibásodás lehetősége. Ez egy kockázati tényező a sugárzás esetleges szivárgása esetében. (Kurokawa G. és mtsi., 2011.) Például a hűtőrendszerek meghibásodása és az ezzel járó túlmelegedés az egyik legnagyobb veszély, amely a sugárzás szóródásához vezethet.

Az atomerőművekkel kapcsolatos különféle értékelések során a csúcstechnológia és a biztonsági intézkedések miatt a „baleseti kockázatot” alacsonynak ítélik meg. Azt azonban kijelentik, hogy baleset bekövetkezése esetén a hatás óriási lehet. (Erdősemeci F., 2014.) Ha atomerőmű-baleset történik, azt a balesetek kimenetelét figyelembe véve meghatározott skála alapján osztályozzák.

A skála 1-től (a legkisebb hatású) 7-ig (a legnagyobb hatású, nagyon súlyos balesetek) osztályoz (Nemzetközi Atomenergia-ügynökség és OECD/NEA, 2008.). Még ha úgy is tartják, hogy „a kockázat alacsony”, az atomerőművek 60 éves történelmében már 99 atomerőmű-baleset történt. Ezek közül kettő volt 7-es szintet elérő „nagyon súlyos baleset”, további kettő érte el a 6-os, súlyos szintet, és volt egy 5-ös szintű (telephelyen kívüli kockázattal járó) baleset is. (Kurokawa és mtsi., 2011: 13). A három legszörnyesebb körben ismert erőműbaleset a 7-es besorolású 2011-es japán fukusimai baleset, az ukrán területen történt 1986-os csernobili baleset és a Pennsylvania-ban 1979-ben, Three Mile Island erőműben történt baleset. Ezeken kívül 1953 és 2011 között 4 helyen történt nagyobb és 10 reaktorban kisebb méretű baleset. Továbbá a szovjet hadsereg tulajdonában lévő 8 atom-tengeralattjárón történt sugárzásszivárgás (1961-1985.). A japán kormány a fukusimai balesetet követően 54 reaktorából 50-et bezárt. (De ezeket a reaktorokat még mindig üzemben lévőként tartják számon, azzal a feltételezéssel élve, hogy a közeljövőben újranyitják őket,

és ezt a helyzetet jelezve szerepelnek az IAEA listákon. Hasonlóképpen, a fukusimai balesetet követően Németország a 18 reaktorából 8-at bezárt, és bejelentették, hogy 2022-ig a többi is be fogják zárni. Az 1986-os csernobili katasztrófát követően Olaszország 4 atomreaktorát zárta be, míg Ausztria az újonnan épült erőművét anélkül zárta be, hogy azt valaha használták volna.

4.2.4. A hulladék elhelyezése

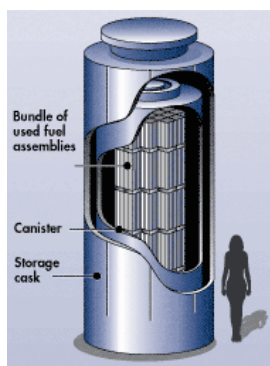
A radioaktív hulladék a radioaktivitási szintjétől függően alacsony, közepes vagy nagy aktivitású lehet. (IAEA, 1995.) Az atomerőművek reaktoraiban keletkező hulladék nagy aktivitású hulladéknak számít. Ez mennyiségét tekintve a radioaktív hulladékok 3%-át teszi ki, ugyanakkor a radioaktivitás tekintetében 95%-ot képvisel. Ezeknek a hulladékoknak nagyon nagy a felezési ideje is (például a Pu_{239} felezési ideje 24 065 év).

A nukleáris hulladékok kezelésének két állomása van:

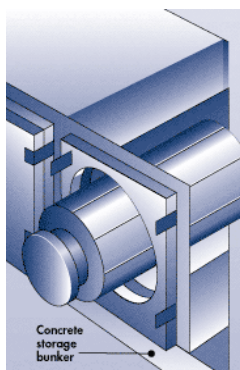
a) A mennyiség és a radioaktivitás csökkentése újrafeldolgozás (reprocesszálás) révén, majd a hulladék tárolása: A reprocesszálás igen drága technológia, és biztonsági szempontból is fenyegetést jelent. Például egy 1 GW-os reaktor 240 kg plutóniumot képes előállítani; ez a mennyiség 20 atomfegyverhez elég.

Bizonyos atomreaktoroknál a kiégett fűtőelemeket a helyszínen, a földfelszín felett tárolják, az alábbi 4.3.

ábrán láthatóhoz hasonló rendszerben. Miután a kiégett fűtőelem lehűlt, speciális tartályokba rakják. Minden egyes tartály kb 2-6 tucat kiégett fűtőelem kötegnek ad helyet, a köteg típusától függően. A tartályt víztelenítik és légtelenítik, majd inert gázzal töltik fel és lezárják (hegesztett vagy szegecselt retesszel).



4.3. ábra [Függőleges tartályok beton vagy acél szerkezetekkel](#)



4.4. ábra [Vízszintes tartályok](#)

Egyes tartályokat felszíni betonbunkerekben való vízszintes tárolásra alakítottak ki, ahol egy-egy bunker nagyjából akkora, mint egy egyautós garázs (lásd 4.4. ábra).

b) Végleges tárolás: Az atomerőművekkel rendelkező országokban a termelés eredményeként keletkező radioaktív hulladék végleges tárolására vonatkozóan nemzeti és nemzetközi szabályzatok vannak érvényben.

Az atomhulladékok elraktározásával kapcsolatos lényeges pont, hogy a világon sehol nem működik olyan végleges lerakóhely, amely képes lenne „nagy aktivitású radioaktív hulladék” befogadására, mert az ilyen létesítményeknél követelmény, hogy legalább 250 000 évig kockázatmentesek legyenek. (Altın S. és Kaptan H.Y., 2006.) A nagy aktivitású radioaktív hulladékot befogadó lerakóhelyeket a világon mindenütt bezárják. Az egyik legutolsóként bezárásra kerülő létesítmény az Egyesült Államok Nevada államának Yucca-hegységében található. 2009-ben a feldolgozást a régióban leállították, és bizottságot alakítottak alternatív megoldások kidolgozására. A probléma ideiglenes kezeléseként kiegészítették az atomerőművekre vonatkozó szerződéseket azzal a feltétellel, hogy a radioaktív hulladékokat 20 éven át az üzemben belül tárolják. Jelenleg a nagy aktivitású radioaktív hulladékokat az új-mexikói Carlsbadban tárolják, míg az alacsony aktivitású radioaktív hulladékok tárolására a dél-karolinai

Barnwellben, a washingtoni Richlandben, a utah-i Clive-ban és a tennessee-i OakRidgeben kerül sor. (World Nuclear Association, 2014.)

Ez mind azt mutatja, hogy az atomhulladék elszigetelt, szivárgásmentes eltemetésére megfelelő, biztonságos helyet találni továbbra is igen fontos és megoldatlan probléma világszerte. Így a kockázat az utánunk következő generációkra hárul.

Egy olyan világban, ahol nagyon nehéz helyet találni az atomhulladéknak, egy újabb probléma vetődött fel, ez pedig a veszélyes hulladékok exportálásához kapcsolódik. A fejlett országok radioaktív hulladékaikat a harmadik világ országaiba szállítják. Az ilyen országokba küldött hulladék sorsa bizonytalan, és az továbbra is veszélyes marad az adott országra és közvetve más országokra is, hiszen a földi ökoszisztéma egy egészet alkot.

4.2.5. Leszerelés

Az atomerőműveket többnyire 30-40-éves üzemeltetésre tervezik. Az élettartam legfeljebb 60 évvel növelhető megfelelő kezelési programokkal vagy akár új technológiai fejlesztésekkel. Egy az élettartama végére érő atomerőmű leszerelésének költsége nagyon magas lehet, és itt is megjelenhet a sugárzásszivárgás kockázata. Amikor az erőmű a gazdaságos élettartama végére ér, az alkotórészei szétszerelésének és elhelyezésének költségei a teljes költség 10-15%-át is kitehetik. (Például

Németországban egy standard, 1200 MW-os erőmű leszerelése és zöld területté való visszaalakítása kb. 400 millió euróba került, ami az első befektetési költségek 20%-ának megfelelő összeg. Franciaországban egy 900 MW-os atomerőmű leszerelése a beruházási költségének 15%-át tette ki (Nukleáris Világszövetség - World Nuclear Association, 2014). Amit külön ki kell hangsúlyozni, az az, hogy ez a költség először a vállalatnál jelentkezik, de később azt a vállalat közvetetten a közösségre hárítja át.

4.2.6. Költség:

Egy atomenergián alapuló rendszer költsége mindig is nagyobb volt, mint amit a politikusok és tudósok számadatai mutattak, és a „községre és a környezetre gyakorolt hatások költsége” nem is került bele a számításokba, vagy azzal nem is foglalkoztak. Egy hosszú építési idejű atomerőmű fogyasztási költségei úgy alakulnak, hogy a költségek 60%-a a termelésre fordítódik, 20%-a a fűtőanyagra, további 20%-a pedig a karbantartási és javítási munkákra. Az erőmű által az élettartama alatt termelt áram költségein belül olyan részletek kerülnek előtérbe, mint a kezdeti beruházás, a fűtőanyag, a javítás és karbantartás, a hulladékkezelés és a leállítás az élettartam végén. Azonban az alábbi költségek rejtve maradnak, és nem kerülnek beszámításra:

- A kutatás-fejlesztési tanulmányok részeként az atomenergia más energiarendszerekkel összevetett költsége,

- Azoknak a problémáknak a költsége, melyek hosszú távon az atomhulladékokhoz és a leállításhoz kapcsolódóan merülhetnek fel,
- A föld értékének csökkenése azon a területen, ahol az erőmű megépül, és a turizmusból származó bevételek csökkenése,
- Az atombaleset eredményeként kialakuló sugárzás által az emberekre, a közösségre és a természeti környezetre gyakorolt hatás költsége. (Például a sugárzással kapcsolatos megbetegedések kezelésének költségei, a munkaerő-veszteség, a termelés visszaesése, a mezőgazdasági területeken és ökoszisztémákban okozott károk, valamint az ivóvíz-források szennyezése.

Mindezekon felül a jelentős kezdeti beruházási költségekkel és a hosszú építési időszakkal (10-12 év) szemben nagyon rövid (50-60 éves) élettartam áll, ez pedig olyan negatív tulajdonság, amit nem szabad figyelmen kívül hagyni. Tekintettel a magas költségekre, és annak lehetőségére, hogy a jövő generációit is sugárzásnak tesszük ki, fel kell tenni a kérdést, hogy vajon lehet-e hatékony és megbízható egy ilyen relatív rövid élettartamú energiatermelési mód. (Extern-E, 1995.)

4.2.7. Atomerőművek, mint katonai és terrorista célpontok:

Ha két ország között háború tör ki, célként tűzhetik ki az atomerőművek (ha van ilyen) megtámadását, mert azzal

hihetetlen pusztítást érhetnek el. Továbbá ha nem megfelelő a biztonság, az atomerőművek nyílt célpontjai lehetnek a belföldi és a nemzetközi terrorizmusnak és szabotázsakcióknak.

4.3. Az atomreaktorok ökológiai szempontok szerinti értékelése

Amint azt az atomerőművek előnyeit leíró részben ismertettük, az atomreaktorok nem termelnek légszennyező anyagokat vagy szén-dioxidot, mert működésük a fosszilis tüzelésű erőművektől eltérő. Ennek ellenére az uránérc bányászata, tisztítása és a reaktor-fűtőanyaggá alakítása nagy mennyiségű energiát igényel. Az atomerőművekhez továbbá rengeteg fémeket és betont kell felhasználni. Ha az uránérc bányászatához és tisztításához fosszilis tüzelőanyagokat használnak, vagy ha az atomerőművek létesítése során fosszilis tüzelőanyagokat használnak, akkor már nem mondhatjuk azt, hogy az atomerőművek kibocsátása nem eredményez klímaváltozást.

Az egyik oldalon ott van a globális felmelegedés problémája és az a hatás, amelyet az emberek és a környezet már érezhet, a másik oldalon pedig az energia iránti növekvő kereslet. Ezért az atomerőművek nagy kockázatai (bár azt állítják, hogy ezek kisebbek) is részét képezik ennek a dilemmának, meg kell vitatni és el kell dönteni, hogy az emberek számára mely értékek a fontosabbak - a környezeti etika vagy az energia iránti

igény. Ennek a pontnak a további részében a 4.1. táblázatba foglalva az olyan vonatkozásokat értékeltük etikai szempontból, mint a **klímaváltozás, a kinyert energia mennyisége, a gazdasági hatékonyság, az ökoszisztéma, a biológiai sokféleség, a biztonság, a közegészségügy, a jövő generációk jogai és a társadalmi részvétel**. Megvizsgáltuk, hogy ezen szempontok mentén milyen ökológiai hatása van az atomerőműveknek. (Hangsúlyozva a politikai, gazdasági és társadalmi dimenziókat is.)

4.1. táblázat: Az atomreaktorok tulajdonságainak ökológiai szempontok szerinti értékelése

Ökológiai terület	Ökológiai szempontú értékelés
Klímaváltozás	Mivel az üzemelés során üvegházhatásúgáz-kibocsátás nem történik, az atomerőmű működése nem járul hozzá a klímaváltozáshoz, a meglévő erőművek pedig 17%-kal csökkentik az üvegházhatású gázok kibocsátását. Azonban egyre nagyobb világszerte az energia iránti kereslet, melynek kielégítése érdekében további atomerőművekre van szükség, amelyek mindegyike kockázatot jelent az ökoszisztémák számára. Mindaddig, amíg a többi káros összetevőt (kipufogógázok, erdőirtás, közjavak vesztesége) nem sikerül kiiktatni, addig az atomerőművek nem jelentenek valódi segítséget.

Energiamennyiség	A termelési határfok magas, azonban nem szabad szem elől téveszteni a meglévő kockázati tényezőket.
Gazdasági hatékonyság	Emiatt az ökológiai értékek háttérbe szorúlnak, és a káros következmények másodlagos fontosságúvá válnak. (Az ökológiai és ökonómiai/gazdasági szempontok összeütközése.) Előfordulhat, hogy ökoszisztéma-szolgáltatások leállnak. (Erdők, vízkészletek, élelmiszerkészletek, állattenyésztés stb.) Baleset esetén:
Ökoszisztéma és biológiai sokféleség	- A radioaktív részecskék a légáramlatok és víz segítségével a környező régiókba, sőt más országokba is eljuthatnak - Radioaktivitás felhalmozódása a táplálékláncban - Az élőlények - közöttük az emberek maradandó genetikai károsodása - Egyes hulladékok sugárzási szintje nagyon magas, és a radioaktivitás hosszú évekig fennmarad (akár több százezer évig). - Mivel a hulladék erősen radioaktív, a szigetelése nagyon drága, és a biztonsági hibák miatt sérülhet az ökoszisztéma.
Hulladékok	- Biztonsági problémaként jelentkezik, hogy nehéz a hulladékok tárolásához olyan biztonságos helyszínt találni, ahol a tároló nincs káros hatással az ökoszisztémákra és/vagy az élőlényekre. (Olyan helyet kellene találni, amely több százezer évre áthatolhatatlan.)

Biztonság	- Továbbá előfordulhat, hogy a ma még biztonságosnak tartott helyek a jövőben földrengések vagy lemeztektonikai mozgások miatt kockázatosak válnak. - Még a nagyon biztonságosnak tartott új generációs atomerőműveknél is előfordulhat „emberi hiba”. - A nagy természeti katasztrófák még a legbiztonságosabb atomerőművekre is fenyegetést jelenthetnek
Közegészségügy	Fontos, hogy az emberek a természettel harmóniában, egészségesen éljenek, hogy részesei lehessenek a Föld ökoszisztémáinak. - Ahhoz, hogy az emberi gének ne károsodjanak, meg kell óvni őket a radioaktív sugárzástól - A genetikai mutációknak és az ökoszisztéma felborulásának a kockázatát ökológiai szempontból nem hagyhatjuk figyelmen kívül, mivel ezek minden faj, így az ember elkövetkező generációira is hatással vannak.
Jövő generációk	
Társadalmi részvétel	- Különösen az olyan erőművek esetében, melyek lakott területeken vagy azok közelében létesültek, felmerülhet a kockázata, hogy a terület és hagyományos (ökológiai) életvitel is sérül. - Baleset esetén a közösségek hagyományos életvitele és élettere (talaj, vízi környezet, stb) a sugárzás okozta zavarok miatt veszélybe kerülhet.

Atomerőművek telepítése és üzemeltetése esetén, különösen a fejlődő országokban, kiemelt fontosságú, hogy tudományosan alátámasztott költség-haszon-elemzéseket tanulmányozzanak, és hogy (ökológiai szempontból is) megvizsgálják ennek a technológiának a lehetséges hatásait. Ezeknek a törekeny gazdaságú országoknak sokkal nagyobb nehézséget okozna talpra állni egy esetleges atombaleset után.

A legnagyobb előny, amit az atomerőművek védelmében felhozhatnak: a pozitív hatás a globális klímaváltozás esetében, valamint a magas hatásfok. Ezek az erőművek a technológia fejlődésével egyre hatékonyabbak, továbbá a balesetek kockázatát is jelentősen csökkentették. (Gamson W.A. és Modigliani A., 1989.) (Yıldırım M. és Örnek İ., 2007.) Amikor a klímaváltozásnak az élőlényekre és az ökoszisztémákra gyakorolt jelentős hatását értékeljük, akkor ezek a tulajdonságok pozitívnak tűnnek. Pacala és Socolow (2004.) vizsgálata szerint az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése szempontjából egy választható lehetőség az atomenergia - ahhoz, hogy 2050-ig szinten tartsuk (és nem azért, hogy csökkentsük) a globális szén-dioxid kibocsátást, 700 GW kapacitású atomerőmű parkra van szükség. Azonban Caldicott, H. (2014.) szerint bár tervben van, hogy 2050-ig a fosszilis energia 10%-át globális szinten atomenergiával kiváltják, azt is elmondja, hogy ehhez közel 100 atomerőműnek

kellene működnie. Ez azt jelenti, hogy az elkövetkező 36 évben 28 új atomerőművet kellene megnyitni és üzembe állítani. Ha a cél az, hogy a szintfenntartás helyett a széndioxid-kibocsátást atomenergia felhasználásával a felére csökkentsük, akkor világszerte a reaktorok számát 1400-ra kellene növelni. Azonban egy ilyen mértékű bővítés hihetetlen mennyiségű hulladékot termelne, és több ezer tonna plutónium is keletkezne (ami az atomfegyverek alapanyaga).

Az atomerőművekben használatos fűtőanyagok dúsítása során használt elektromos energia 83%-a nem atomenergiából származik. Ha figyelembe vesszük az uránnak a bányákból való kitermeléséhez és elszállításához szükséges energiát is, akkor még magasabb ez az arány. Ez azt jelenti, hogy a létesítése során az atomerőmű fosszilis és egyéb energiaforrások használatát igényli.

Mindaddig, amíg a globális klímaváltozást okozó egyéb tényezők nem kerülnek kiiktatásra (különösképpen a kipufogógázok az erdőtüzek és füves területeken keletkező tüzek, stb.), az atomerőművek számának növelése nem fogja megoldani a problémát. Ellenkezőleg. Még több súlyos problémát generál.

Van egy további szempont, ami nem kerül terítékre, vagy nem kap elegendő hangsúlyt az atomerőművekkel kapcsolatos vitákban (bár a radioaktív hulladékok lerakásával kapcsolatos döntések meghozatalakor, és a

kockázatelemzések és modellezések során számos különféle fizikai tényezőt figyelembe vesznek), ez pedig a „társadalmi” dimenzió.

Hivatkozások:

Altın, S., & Kaptan, H.Y. (2006.) Radyoaktív atıkların oluşumu, etkileri ve yönetimi. A 12. Mühendislik Dekanlar Konseyi 2.Ulusal Mühendislik Kongresi, Zonguldak kongresszus jegyzőkönyvében.

Caldicott, H. (2014.) Nuclear power is not the answer. New York, U.S.A.: The New Press.

Dreicer, M., Tort, V., & Manen, P. (1995.) ExternE: Externalities of energy Vol 5 Nuclear (EUR--16524-EN). International Atomic Energy Agency (IAEA).

Erdöşemeci, F. (2014.) Nükleer güç santrallerinin çevre etiği açısından irdelenmesi (Kiadatlan M.Sc. diplomamunka.) Gazi University, Ankara.

Gamson, W. & Modigliani, A. (1989.) Media discourse and public opinion on nuclear power: A constructionist approach. American Journal of Sociology. 95(1), 1-37.

IAEA (1995.) The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes” Annex I.

IAEA és OECD/NEA (2008.) INES (The International Nuclear and Radiological Event Scale) User’s Manuel.

Karabulut, Y. (1999.) Enerji kaynakları, Ankara, Törökország: Ankara Üniversitesi Basımevi.

Kurokawa, G., S. Iyengar, D. Macer, K. Uejima, N. Chaipraditkul, A. Dorjderem, S. Gardini, C. Liuying, C. Kuppuswamy, J. Rajan és S. Rao (2011). Ethics of Nuclear Energy Technology (ECCAP WG12 Report). Ethics and Climate Change in Asia and Pacific (ECCAP) Project, Draft 6.

Pacala, S. & Socolow, R. (2004.) Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. Science. 305(5686), 968-972.

Yıldırım, M., & Örnek, İ. (2007.) Ultimate choice for energy: The nuclear energy. Gaziantep University Journal of Social Sciences. 6(1), 32-44.

[http://www.electricalport.com/technical-pole-section/is nuclear alternative-what is nuclear energy -/4173#ad-image-0](http://www.electricalport.com/technical-pole-section/is-nuclear-alternative-what-is-nuclear-energy-/4173#ad-image-0) hivatkozás alatti weboldal (2017.)

<https://www.carbonbrief.org/mapped-the-worlds-nuclear-power-plants> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

A <https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/diagram-typical-dry-cask-system.html> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

A <http://www.world-nuclear.org/> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

5. FEJEZET

NAPENERGIA RENDSZEREK ÉS KÖRNYEZETI HATÁSUK

A fejezet szerzői: Uta Zähringer¹ és Krishna Sthapit²

¹ Renewables Academy AG, Berlin, Németország

e-mail: zaehringer@renac.de

² Renewables Academy AG, Berlin, Németország

e-mail: sthapit@renac.de

Kivonat: A napenergia olyan hőenergia, amelyet a Nap bocsát ki, és a hidrogénnek a Nap magjában és felszínén történő maghasadásából és magfúziójából ered. A napenergia használata lehet közvetlen (pl. napkollektoros vagy napelemes) vagy közvetett (pl. szél-, víz- vagy bioenergia). Ebben a fejezetben csak a közvetlen használatról lesz szó: a napkollektoros és a napelemes technológiákról. A fejezet első része a napenergia alkalmazásainak technológiai szempontjaira és alkotóelemeire összpontosítunk. A hagyományos erőművekkel összehasonlítva a megújuló energiatechnológiákkal előállított energia esetében az üvegházhatású gázok kibocsátása és egyéb környezeti hatások mértéke kisebb. Azonban a napenergia projektek értéklánca mentén is jelentkezik valamilyen mértékű környezeti hatás. Ezek némelyikével ismerkedhetünk meg a fejezet második részében.

Képzési célok:

- Az olvasók különféle napenergia technológiákat ismernek meg
- Az olvasók értékelni tudják majd a napenergia technológiák teljes életciklusa során felmerülő környezeti hatásokat

5.1. A napenergia rendszerekkel való energiatermelés technológiai szempontjai

A napenergia olyan hőenergia, amelyet a Nap bocsát ki, és a hidrogénnek a Nap magjában és felszínén történő maghasadásából és magfúziójából ered. A Nap óriási mennyiségű energiával látja el a Földet. Ez teszi lehetővé az általunk ismert formában a földi élet. A bejövő energiát a légkör részecskéi és molekulacsoportjai és, a földfelszín és az óceánok visszaverik, szétszórják, elnyelik és visszasugározzák. Ez indítja útjára a szeleket, az óceáni áramlatokat, a párolgást, a kicsapódást (csapadékot), és a földfelszín hőmérsékletének szabályozását. A fák, a növények a fényenergiát kémiai energiává alakítják a fotoszintézis folyamatában, és közben szerves anyagot (biomasszát) termelnek. Ez a napenergia közvetett felhasználásának kategóriájába esik.

A napenergia használata lehet közvetlen (pl. napkollektoros vagy napelemes) vagy közvetett (pl. szél-, víz- vagy bioenergia). Ez a fejezet csak a közvetlen használatot tárgyalja.

A napenergia közvetlen felhasználásának technológiai az alábbiak:

A napkollektoros vagy naphőenergia rendszerek a napenergiát arra használják, hogy meleg vizet állítsanak elő különféle fogyasztók - így például a háztartások, szállodák, kórházak számára vagy ipari célokra. Helyiségek fűtését vagy hűtését célzó alkalmazásokra is használhatók.

A koncentrált napenergia erőművek (CSP, concentrated solar power) a nap energiáját tükrök segítségével koncentrálnak el magas hőmérsékletet, amelyet áramfejlesztő turbinákat meghajtó gőz előállítására használnak fel. Ez elektromos áram termelésére szolgáló naphőenergia technológia.

A napelemes vagy más néven fotovoltaiikus (photovoltaic, PV) rendszerek a nap energiáját közvetlenül árammá alakítják a fényelektromos hatás segítségével.

5.1.1. Napkollektor

A napkollektorok munkája a napsugárzás hővé avagy hőenergiává alakítása. A különféle napenergia rendszerek közül a legnagyobb hatékonysággal a napkollektorok működnek. Ezt a hőenergiát használati melegvíz-ellátásra, épületfűtésre, hőt igénylő folyamatokhoz (hőkezelésre) vagy akár hűtésre is lehet használni.

5.1.1.1. A napkollektoros rendszer alkotóelemei

Elnyelőlemez (abszorber)

Minden napkollektoros rendszer központi része. Erősen vezető fémlapból, lehetőleg rézből készítik. Gazdasági okokból egyre többször használnak alumíniumot is, mert olcsóbb, mint a réz, és ugyanolyan jó vezető. Ennek a felületét szelektív, sugárzás-elnyelő réteggel vonják be, amely a fényt hővé alakítja át. Ez a hő azután a fémen keresztül olyan csatornába jut, melyekben hőátadó folyadékot keringetnek. A hő hőáramlással átadásra kerül a folyadéknak, majd a forró folyadék vagy a felhasználás helyére vagy egy tárolóba kerül. A hőátadó folyadék rendszerint víz vagy víz és fagyálló keveréke, azonban erre a célra levegő is használható (mint a légkollektorokban) (lásd 5.1. ábra).

Kollektor

Ha magasabb hőmérsékletre van szükség, mint pl. a használati melegvíz-ellátás, az épületfűtés vagy a folyamati hő esetén, akkor az abszorbert a hőveszteség ellen le kell fedni és szigetelni kell.

A kollektoroknak két fajtája van, a síklemezes és a vákuumcsöves. A síklemezes vagy síkkollektor esetében egy pár centiméterrel az abszorber fölé üveg borítás kerül, amely a napsugárzást átengedi, de csökkenti a hőáramlási (avagy konvektív) veszteséget (üvegházhatás). Így a fény áthatol az üvegfedélen, és az abszorberben hővé alakul. A

kollektor oldal- és hátfalára ásványiszálás vagy habszigetelést visznek fel, hogy minimalizálják a hővezetési és hőáramlási veszteségeket, és becsapdázzák a hőt.

A vákuumcsöves kollektorok nagy hatékonyságúak, a csövekben lévő vákuum kiváló szigetelőképessége miatt. Az egyszerű típusú vákuumcsőnél egy vákuumos üvegcsőben van szelektív bevonattal rendelkező abszorbercsík. Az abszorbercsík aljának teljes hosszában egy koaxiális cső fut (azaz egy cső, amin belül egy másik cső is van). A koaxiális abszorbercső belsejében a hőátadó folyadék lefolyik a belső csőbe, majd eljut a külső csőbe, ahol felveszi az abszorbercsíktől a hőt. Az üvegcsövet fémfedél zárja le. A koaxiális abszorbercső áthalad ezen a fedélen, és egy gyűjtőcsőbe nyílik. Ez egy közvetlen áramlásos kollektor.

Hőtárolók

Vannak olyan időszakok, amikor a napsugárzás szintje nem elég magas az igények kielégítéséhez, például éjszaka vagy télen. Máskor pedig túl sok a besugárzás. Mindkét helyzetben jó, ha a napkollektoros rendszer hőtárolóval is rendelkezik. Hőtároló közegként számos oknál fogva a vizet használják: nagyon magas a fajlagos hőkapacitása, nem jelent egészségügyi kockázatot és szinte mindenütt rendelkezésre áll.

A használati melegvíz-tartályok a melegvíz-ellátásra szolgálnak. Ivóvizet tartalmaznak, melyet pl. a csapoknál vagy zuhanyzóknál lehet vételezni.

Az épületfűtéshez vagy folyamati hő alkalmazások esetén a tárolót puffertartálynak nevezik. Ez tartalmazza a technológiai vizet, amely egy zárt körön belül kering, és nem kerül fogyasztásra.

A kombi-tárolók olyan puffertartályok, amelyekben beépített használati melegvíz-tartály (tartály a tartályban) vagy integrált használati meleg víz fűtőtekercs van.

Maga a tartály az alkalmazásától függően készülhet acélból, zománcozott acélból, rozsdamentes acélból vagy rézből. A nem nyomás alatt lévő (vagy nyílt szellőzésű) hengereket egyre inkább műanyagból, műanyag filmből vagy műanyaggal erősített üvegszálas anyagból készítik.

A tároló körüli hőszigetelés nagyon fontos a hőveszteségek lehető legnagyobb mértékű csökkentése - és így a teljes rendszer hatékonyságának növelése érdekében.

Szivattyú

A keringető rendszerekben szivattyút használnak a hőátadó folyadék rendszeren belüli mozgatására. Ugyanolyan típusú szivattyút lehet használni, mint a hagyományos fűtésrendszereknél. A napkollektoros rendszerek szivattyúinak műszaki adatai azonban

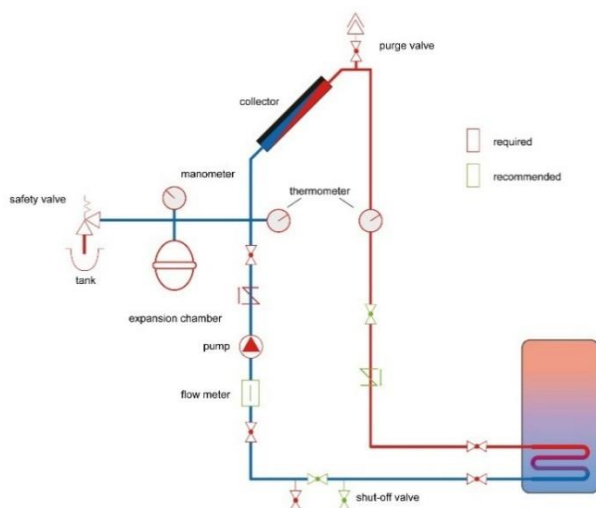
némiképp eltérőek. A hagyományos fűtésrendszereknél nagy áramlási sebességű, kis nyomásveszteségű szivattyúra van szükség. A napkollektoros rendszereknél nagy nyomásveszteségű, alacsony áramlási sebességű szivattyúra van szükség, tehát más teljesítménygörbájű szivattyúra.

Tágulási tartály

A zárt rendszerekben a tágulási tartály az, amely a folyadék hőmérséklet miatt fellépő tágulással megnőtt térfogatú folyadékot felveszi. Elvileg a hagyományos fűtésrendszerekhez való tágulási tartályok a napkollektoros rendszerekben is használhatók. Azonban, ha fagyálló folyadékot alkalmaznak, akkor a tágulási tartály membránjának azzal szemben ellenállónak kell lennie. Továbbá biztosítani kell, hogy a membránt ne érje magas hőmérséklet a stagnálási időszakokban.

Egyéb alkotóelemek

Melegítéskor a folyadék tágul, és ez nagy nyomást eredményezhet. Ezért zárt rendszereknél biztonsági nyomáscsökkentő szelepet kell beépíteni arra az esetre, ha a rendszer nyomása olyan szintűre emelkedne, amely már nem biztonságos. Ilyen nyomás léphet fel akkor, ha pl. egy másik rendszerelem - mint pl. a tágulási tartály - meghibásodik. A biztonsági szelep méretezése ugyanúgy történik, mint a hagyományos zárt rendszerekben.



5.1. ábra A napkollektoros rendszer alkotóelemei, keringetős rendszer esetén (Forrás: RENAC)

5.1.2. Koncentrált napenergia

A koncentrált napenergia (Concentrated Solar Power, CPS) technológia a napsugárzást koncentrálni, hogy így magas, jellemzően a 290 - 1000°C tartományon belüli hőmérsékletet érjen el. Ez a hőenergia azután közvetlenül a folyamati hő alkalmazásokban kerül felhasználásra, vagy gőzturbinákkal elektromos árammá alakítják át.

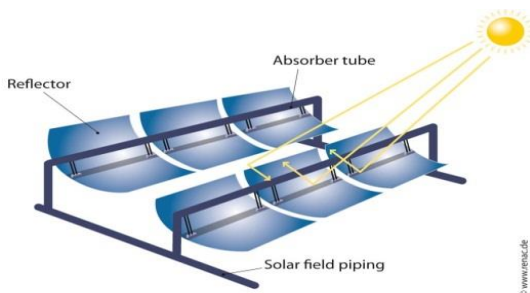
A koncentrált napenergiához erős közvetlen napsugárzáshoz van szükség, ezért földrajzilag korlátozott, hogy hová lehet telepíteni. A koncentrált napenergiás rendszerek négy fő típusa a parabolavályú, a tornyos

naperőmű (vagy naptorony), a lineáris Fresnel reflektor és a parabolatányér.

5.1.2.1. A koncentrált napenergia rendszer alkotóelemei

Parabolavályús kollektorok

A napsugárzás egy parabola-keresztmetszetű vályúról egy a vályú teljes hosszában végigfutó vákuumos gyűjtőcsőre tükröződik (lásd 5.2. ábra). A parabolavályúkat a földfelszín felett kb. 8 m-re telepítik. Észak-déli tájolásúak. A vákuumos gyűjtőcső hőátadó folyadékot tartalmaz, amelyet a koncentrált napsugárzás melegít fel. A hőátadó folyadék a hőt egy hőcserélőnek adja át egy hagyományos gőzerőműben. A hőcserélő másik oldalán található víz túlhevített gőzzé alakul, amely a gőzturbinákat meghajtja, és így áram termelődik. Az alkalmazástól függően különböző hőátadó folyadékot használnak.

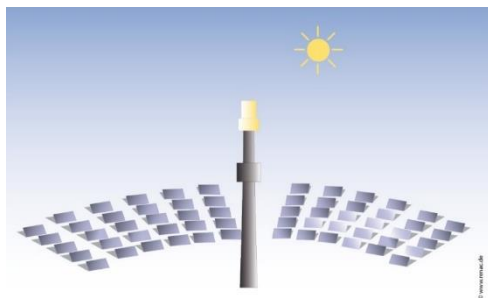


5.2. ábra Parabolavályús kollektor rajza (Forrás: RENAC)

Tornyos naperőmű (vagy naptorony, vagy központi energiagyűjtő)

A napsugárzást több száz vagy akár több ezer heliosztát (nagy acéltükrök) tükrözik egy központi gyűjtőre, amely a torony tetején található. Ezt a technológia az „egy pontra fókuszáló” technológiák csoportjába tartozik. A heliosztátok mindegyike kétmotorú, kéttengelyű napkövető rendszerrel van felszerelve. A heliosztátok elrendezése a központi gyűjtő körüli körkörös mezőben (jellemzően a nagyobb, pl. 100 MW kapacitású erőműveknél), vagy az északi mezőben történik (jellemzően a kisebb, pl. 20 MW kapacitású erőműveknél) (lásd 5.3. ábra).

A torony központi gyűjtőjére tükrözött napsugárzás a vizet túlhevített gőzzé alakítja. Ezt gőzturbina meghajtására és ezzel elektromos áram termelésére használják fel.

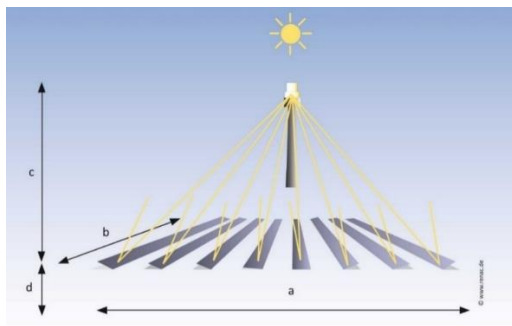


5.3. ábra Tornyos naperőmű működése (Forrás: RENAC)

Lineáris Fresnel reflektor

A lineáris Fresnel reflektor alkalmazása a „vonali” technológiák csoportjába tartozik. A lineáris Fresnel reflektorok (LFR-ek) nagyjából a parabolavályúk szerkezetéhez közelítenek, hosszú, tükrözött csíkokkal, amelyek a napsugárzást egy lefelé néző, rögzített gyűjtőcsőre tükrözik, amely a reflektor teljes hosszán végigfut (lásd 5.4. ábra). A reflektor csíkok kelettől nyugatig lekövetik a Nap járását, a gyűjtőcső ugyanakkor a rögzített pozícióban marad. A gyűjtőcső körül található másodlagos reflektor minden nem-fókuszált sugárzást visszatükröz a csőre.

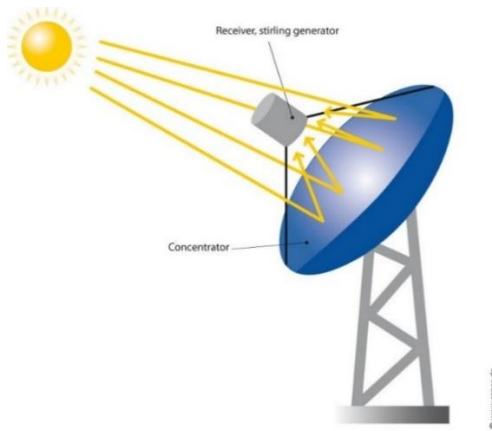
A lineáris Fresnel reflektoros rendszerek közvetlenül a gyűjtőcsőveken átfolyó vizet fűtik fel mintegy 270°C hőmérsékletűre (közvetlen gőzfejlesztés, Direct Steam Generation, DSG), így már nincs többé szükség szintetikus hőátadó folyadékokra és hőcserélőkre. Ez, a tükrök alacsonyabb gyártási és üzembe helyezési költségeivel együtt, a lineáris Fresnel rendszerek költségét a parabolavályús rendszerekhez képest csökkenti.



5.4. ábra Egy lineáris Fresnel kollektor működése (Forrás: RENAC)

Parabolatányér

A parabolatányéros reflektor (tükör) a napenergiát a tányér egy adott pontjában lévő gyűjtőbe koncentrálja („egy pontra fókuszáló” technológia). A gyűjtő 750°C körüli hőmérsékletre melegszik fel, és egy a gyűjtőhöz kapcsolódó kis dugattyút, Stirling motort vagy mikroturbinát hajt meg, ezzel közvetlenül a tányérnál elektromos áramot termelve (lásd 5.5. ábra). A tányér egész nap követi a Nap járását. A tányér mérete jellemzően 5-25kW. A napsugárzás erős koncentrációja és a magas üzemi hőmérsékletek lehetővé teszik, hogy a parabolatányéros rendszerek napenergia villamos energiává alakításában akár 30%-os hatékonyságot is elérjenek.



5.5. ábra A parabolatányéros kollektor működése. A tányér egész nap követi a Nap járását. (Forrás: RENAC)

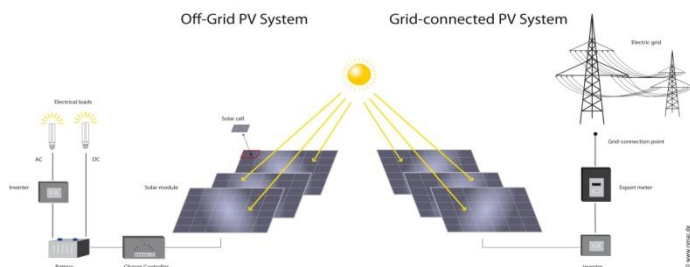
5.1.3. Napelem

A napelemes rendszerek két alapvető rendszer topológiájúak lehetnek: hálózatra tápláló vagy szigetszerűen kiépített rendszerek. A hálózatra tápláló napelemes rendszerek a megtermelt villamos áramot a központi villamosenergia-hálózatokba visszatáplálásra kerül. A hálózatra tápláló rendszerek használhatók nagy (közüzemi) méretű energiatermelésre a napelemes erőművekkel, valamint háztartási vagy ipari energiaellátás céljaira egyaránt.

A szigetszerűen telepített napelemes rendszerek számos olyan területen használhatók, ahol nem lehet kapcsolódni a hálózathoz - például az öntözőrendszerek vízszivattyúinál, tanyáknál vagy a fejlődő országokban napelemes otthoni

rendszerekhez, kommunikációs antennákhoz és telemetrikus állomásokhoz stb.

Az 5. a szigetszerű és a hálózatra tápláló rendszerek főbb alapvető alkotóelemeinek egyszerű vázlatát láthatjuk.



5.6. ábra A szigetszerű és a hálózatra tápláló napelemes rendszerek áttekintése

Napelem cellák

A monokristályos és polikristályos c-Si cellák szelet-alapúak. Vastagságuk 100 és 250 μm között, méretük pedig 1016-1524 mm (4-6 inch) között változik. A szeleteket (wafer) különféle módszerekkel megolvasztott szilikonból állítják elő, úgy, hogy először tömbökbe tömörítik, majd ezt huzalfűrésszel felvágják. Mivel nagyon nagy tisztaságra van szükség, a gyártási folyamat rengeteg energiát fogyaszt el, ugyanis a hibák javításához magas hőmérsékletű folyamatokat kell alkalmazni. Az elektromos érintkezőket az előlapra és a hátlapra egyaránt szitanyomással viszik fel.

A vékonyfilmes napelem cellák (amorf Si, kadmium-tellurid, réz-indium-gallium-szelenid [CIGS] cellák) általában üvegfelületre kerülnek felvitelre. Ezt követően a felületet lézerrel előkészítik, és ezt követően kerülnek rá az elektromos érintkezők. A vékonyréteg konstrukciók gyártása sokkal kevesebb energiát használ fel, mint a c-Si napelem celláké, mert az anyag felvitele alacsony hőmérsékletű folyamat. Továbbá éppen ezért a gyártás folyamata sokkal gyorsabb és olcsóbb is, mint a c-Si napelemeké, az így kapott technológiák hatékonysága azonban nem éri el a c-Si rendszereket.

5.1.3.1. A napelemes rendszerek fő alkotóelemei

Napelem modulok

A napelem modul a kívánt végteljesítmény leadásnak megfelelő számú, sorosan vagy párhuzamosan kapcsolt napelem cellákból áll. A kristályos modulokban a napelem cellák száma jellemzően 36 és 72 között változik. A napelem cellák elektromos kapcsolatban állnak, és két nagyon vékony, átlátszó, gőzálló kapszulázó anyag (általában etilén-vinil-acetát, vagy EVA) rétege között, mintegy szendvicsként helyezkednek el, majd ezt helyezik egy tükröfelületű hátlap tetejére (ez általában polivinil-fluoridból készül), amely egy üvegborítással lezárt alumínium keretbe kerül.

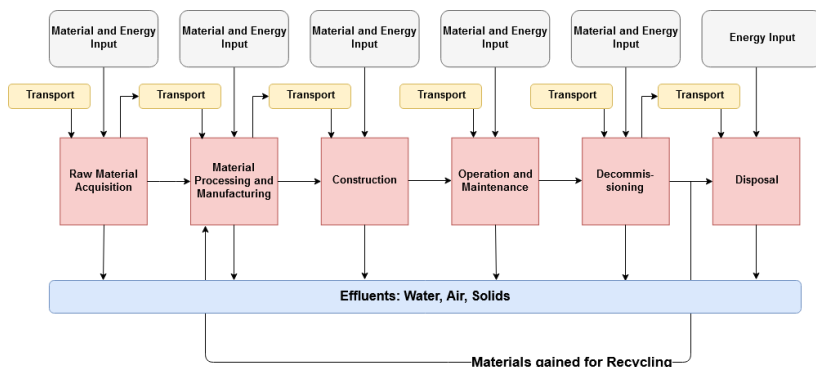
Inverterek

Az inverterek az egyenáramot (DC) váltóárammá (AC) alakítják, valamint szabályozzák a feszültséget és a frekvenciát. Leginkább kétféle inverterrel találkozhatunk: Egy- és háromfázisú inverterekkel. Az egyfázisú inverterek a váltóáramot az távvezetékeknek csak egy fázisába táplálják, míg a háromfázisú inverterek mindhárom fázisába. A kis, jellemzően 5 kWp alatti rendszerek általában egyfázisú invertereket használnak, mert egy vezeték elegendő a napelemes rendszer által biztosított áram felvételére.

5.2. A napenergiát használó technológiák környezeti hatásai

A hagyományos erőművekkel összehasonlítva a megújuló energiatechnológiákkal előállított energia esetében az üvegházhatású gázok kibocsátása jóval kisebb. Másrészt viszont, ha a megújuló energiát használó technológiák teljes életciklusát vesszük figyelembe, akkor nem mehetünk el a környezeti hatásaik mellett.

Az 5.7 ábra mutatja a megújuló energia projektek bemeneti és kimeneti oldalát.



5.7. ábra A megújuló energia technológiák általános életciklusa (Corona, Cerrajero, López, & San Miguel, 2016.) (Fthenakis & Kim, 2011.); saját illusztráció

Egy termék teljes élettartamára vonatkozó összes környezeti hatásának meghatározására használt módszer közismert neve az életciklus-értékelés (vagy LCA, lifecycle assessment). Az életciklus-értékelést a környezeti hatásvizsgálat részeként alkalmazzák, a környezeti hatások mértékének megjelenítésére.

A környezeti hatásvizsgálat olyan tanulmány, amelynek célja, hogy felmérje egy ajánlat lehetséges környezeti hatásait. A környezeti hatásvizsgálatban és az életciklus-értékelésben a hatások a kibocsátások természete és típusa

szerint kerülnek csoportosításra. A kategóriák országokként és intézményenként eltérőek lehetnek. Ebben a fejezetben nem csoportosítjuk a hatásokat. Az 5. és a 6. fejezet mutatja be a különböző szakirodalmi forrásoknak megfelelően az általánosan lehetséges hatásokat és a leggyakrabban előforduló hatásokat.¹

Egy életcikluson belül az első két szakasz a nyersanyag beszerzése és a gyártás. A nyersanyagok kitermelése során számos környezeti hatás jelentkezik. Abban, hogy milyen mértékű a hatás, számos tényező játszik szerepet. Ilyen tényező lehet a kitermelésre váró nyersanyag fajtája, a kitermeléshez használt technológia vagy a terület ökológiája. Hasonlóféleképpen az anyagfeldolgozás és a gyártás szakaszában az anyag természetétől függően különféle és különböző mértékű hatások lépnek fel.

Például a tiszta vas érceiből való kinyerése során² különféle technológiákat alkalmaznak az elválasztásra. A felhasznált technológiától függően számos különféle típusú és mennyiségű hulladék keletkezik, amely közvetve vagy közvetlenül károsíthatja a természetet. A gyártási folyamatban a kinyert nyersanyagot felhasználva alkotják meg az új terméket vagy alkotóelemeket. Különféle energaintenzitású technológiákat használnak, melyek

1 További információkért, kérjük, olvassa el a felhasznált szakirodalmat.

2 Az érc jellemzően egy olyan kőzet, amely fontos elemeket, köztük fémeket tartalmazó ásványi anyagokat rejt.

végeredményben hozzájárulnak az üvegházhatású gázok kibocsátásához és a hulladéktermeléshez. Az értéklánc különböző pontjain (szakaszaiban) fellépő hatásokat az alábbi pontok alatt tárgyalt egyes technológiáknál az adott technológiának megfelelően külön tüntettük fel. Mivel a környezeti hatásvizsgálat csak a létesítés, az üzemeltetés és a lebontás szakaszait vizsgálja, részleteiben az ezekben a szakaszokban jelentkező adott hatásokat fogjuk vizsgálni. Ezeket a hatásokat az alábbiakban a technológiák szerint fogjuk tárgyalni.

5.2.1 A napkollektoros rendszerek környezeti hatásai

A kisméretű napkollektoros rendszereket jellemzően használati meleg víz előállítására használják, és leginkább lakóházak tetőire szerelik fel. Az „Environmental impacts from energy sector” (Az energiaszektor környezeti hatásai) című tanulmány szerint az üzemeltetési szakaszban elsősorban két konkrét környezeti hatás az uralkodó:

Vizuális hatás: A lakóházak tetejére telepített napkollektoros rendszerek az épület esztétikájára vizuális hatással lehetnek (Tsoutsos, Frantzeskaki, & Gekas, 2005.). A fénylő tükörről való visszaverődés a szomszédok számára zavaró lehet.

Hulladéktermelés: A napkollektoros rendszertől függően különféle hűtőfolyadékokat használnak. Ez lehet víz-alapú, de a közvetett rendszerek tartalmazhatnak fagyállót vagy rozsdásodásgátlókat is. Az ilyen folyadékokban lehet

glikol, nitrátok, nitritek, krómvegyületek, szulfitok és szulfátok. A nagyhőmérsékletű alkalmazásoknál összetettebb anyagokat is használnak, mint pl. aromás alkoholokat, olajokat, klórozott-fluorozott szénhidrogéneket stb. Az ilyen folyékony hulladékok szennyezhetik a vizet, és ezeket megfelelően kell ártalmatlanítani és kezelni az üzemeltetés során, hogy minden szivárgás, és annak eredményeképpen bekövetkező vízszennyezés megelőzhető legyen. (Tsoutsos, Frantzeskaki, & Gekas, 2005.). Az alábbiakban a kisméretű napkollektoros rendszerek használatából eredő további lehetséges környezeti hatásokról kapunk tájékoztatást.

Nyersanyag beszerzés	Gyártás	Létesítés	Üzemeltetés	Lebontás
Biodiverzitás csökkenése	Vízstressz	Hulladék-termelés	Vizuális hatás	Hulladék-termelés
Élőhely elvesztése, Mérgező folyékony hulladékok	Hulladék-termelés	Légszeny-nyezés	Hulladék-termelés	Légszeny-nyezés
Hulladék-termelés				
A természeti erőforrások kimerülése				
CO ₂ és egyéb üvegházhatású gáz kibocsátás Zajszennyezés (kivéve az üzemeltetési szakaszban)				

5.1. táblázat A fűtésre használt kisméretű napkollektoros technológia környezeti hatásai.

5.2.2 A koncentrált napenergia rendszerek környezeti hatásai

A koncentrált napenergiát használó rendszerek környezeti hatásait Wu és munkatársai sorolják fel 2014-es publikációjukban (Wu és mtsi. (2014.)).

Nyersanyag beszerzés	Gyártás	Létesítés	Üzemeltetés	Lebontás
Biodiverzitás csökkenése	Vízstressz és víz-szennyezés	Biológiai sokféleség csökkenése	A vízkészletek túlzott fogyasztása	Por-képződés
Élőhely elvesztése	Hulladék-termelés	Erózió	Vizuális hatás	Hulladék-termelés
Mérgező folyékony hulladékok		Víz- és talaj-szennyezés	A talaj-hőmérséklet csökkenése	
Hulladék-termelés		Légszeny-nyezés	Hulladék-termelés	
A természeti erőforrások kimerülése				
CO ₂ és egyéb üvegházhatású gáz kibocsátás				
Zajszennyezés				

5.2. táblázat A koncentrált napenergiát használó rendszerek környezeti hatásai.

Vízfogyasztás: A napelemes és a szélenergiaerőművekhez képest a koncentrált napenergiát használó erőműveknél a legnagyobb az egy egységnyi elektromosságra jutó vízfelhasználás. Az áramfejlesztő gőzének lehűtésére nedves technológiát használó koncentrált napenergia erőművek több vizet fogyasztanak el, mint a száraz léghűtési technológiát használó társaik. A vizet nem csak hűtés céljára használják, hanem a tükrök tisztítására is, mert a legtöbb koncentrált napenergia erőmű félsivatagos területen épült, ahol erős a napsugárzás, és amely hajlamos a porosodásra. A vízvesztések csökkentésére, hatékony vízgyűjtő és újrahasznosító rendszert kell alkalmazni.

A talajhőmérséklet csökkenése: Egy Wu Z. és mtsi. egy tanulmányában a mérések szerint a koncentrált energia erőművek tükröpaneljeinek árnyéka és a megváltozott légáramlás a talajhőmérsékletet 0,5-4,0°C fokkal hűti le. Az ilyen hőmérséklet-változások befolyásolhatják a koncentrált napenergia erőművek olyan területeit, amelyeken növénytermesztést is végeznek. A talajhőmérséklet változása különösen befolyásolhatja azokat a növényeket, amelyek érzékenyek a talajhőmérsékletre. (Wu, és mtsi., 2014.)

Hulladéktermelés: Működése során koncentrált napenergia erőmű különféle veszélyes és nem veszélyes hulladékokat termel. Az ACWA POWER által a koncentrált napenergia erőmű környezeti és társadalmi hatásaira vonatkozóan végzett vizsgálatban az üzemeltetés során keletkező lehetséges veszélyes hulladékok közé tartoztak: a hulladékvíz és a hulladék olaj kezelési folyamatokból származó iszap, olajos iszap, olajos rongyok, kémiai anyagok, az erőmű berendezéseinek általános karbantartásából származó oldószerek, használt vegyszerek és üzemanyag tartályok, az esetleges kiömlések és szivárgások miatti talajszennyezés stb.. Az ilyen hulladékokat megfelelően ártalmatlanítani kell, mert máskülönben egészség- és környezetkárosító hatásuk lehet. (ACWA Power, 2015.)

5.2.3. Napelemes rendszerek

A napelemes rendszerek életciklusa alatt számos környezeti hatás megfigyelhető.

Itt láthatjuk a különböző szakaszokban fellépő hatásokat.

Nyersanyag beszerzés	Gyártás	Létesítés	Üzemeltetés	Lebontás
Biodiverzitás csökkenése	Vízstressz és vízszennyezés és	Biodiverzitás	A mikroklíma és a helyi vízviszonyok megváltozása	Por-képződés
Élőhely elvesztése	Hulladék-termelés	Erózió		Hulladék-termelés
Hulladék-termelés		Víz- és talaj-szennyezés	Vizuális hatások	
A természeti erőforrások kimerülése		A földhasználat és a föld borítottságának megváltozása	A talajfelszín hőmérséklet és az alsó légköri réteg feltételeinek változása	
		A szállító-járművek miatti földmozgások		
CO ₂ és egyéb üvegházhatású gáz kibocsátás más kiszolgáló egységekből - pl. a szállítójárművekből - történik				
Zajszennyezés				

5.3. táblázat A napelemes rendszer életciklusa során fellépő környezeti hatások (Hernandez, és mtsi., 2014); saját illusztráció

- **Biológiai sokféleség csökkenése, talajerózió, a földhasználat és a borítottság változása:** A közüzemi méretű napelemes rendszerek rendszerint nagyobb területet vesznek igénybe, ezért telepítéskor onnan eltávolítják a növényzetet és elegyengetik a talajt. Az ilyen tevékenység élőhelyvesztéshez, talajerózióhoz, fragmentációhoz és a biológiai sokféleség csökkenéséhez vezethet.
- **A távvezetékek és átviteli folyosók ökológiai hatása:** A központosított közüzemi méretű napelemes rendszerek távvezetékei és átviteli folyosói az elektromos hálózathoz való csatlakozás céljából épülnek. Az ilyen építéseknek nagy az energia- és anyagigénye. Az erdőkön belüli felaprózódás, a fragmentáció is a hatások között szerepel.
- **Hulladéktermelés:** A napelemes rendszerek életciklusának minden szakaszában termelődik valamennyi hulladék. Például a leszerelés időszakában fontos, hogy a napelemes rendszerek gondosan újrahasznosításra kerüljenek. A napelemes panelek olyan mérgező fémeket tartalmaznak, mint a kadmium az arzén és a szilícium-dioxid por. Hosszú időn át belélegezve a szilícium-dioxid por krónikus obstruktív tüdőbetegséget (COPD-t) okozhat (Hnizdo & Vallathan, 2003.).

- **Üvegházhatású gáz kibocsátások:** A napelemes rendszer életciklusában jelen van az üvegházhatású gáz kibocsátás. Vagy a nyersanyag beszerzés vagy az üzemeltetési és karbantartási szakaszban jelentkezik. A kibocsátás a különféle eszközök, mint pl. szállítójárművek általi energiafelhasználásból erednek.
- **Vízfogyasztás:** A napelemes rendszerek hatékonyságának fenntartása érdekében az üzemeltetési és karbantartási szakaszban vizet használnak a panelekre kiülő por eltávolítására, és ahol ez problémát okoz, a porosodás gátlására. A fűlsivatagos területeken, ahol a víz szűkösen áll rendelkezésre, a nagy mennyiségű vízfogyasztás stresszt jelenthet a környező területek és lakosok számára.

A 4. táblázat két szakaszra vonatkozóan mutatja be az egy egységnyi elektromosság termeléséhez felhasznált víz mennyiségét. Láthatjuk, hogy a napelemes rendszer a koncentrált napenergiához és a szélenergiához képest egy TJh elektromosságra vetítve kevesebb vizet fogyaszt.

5.4. táblázat A különböző energiaforrásokból származó egy egységnyi elektromosság vízlábnyoma. A zárójelben szereplő számok a medián értékét mutatják (Mekonnen, Gerbens-Leenes, & Hoekstra, 2015.)

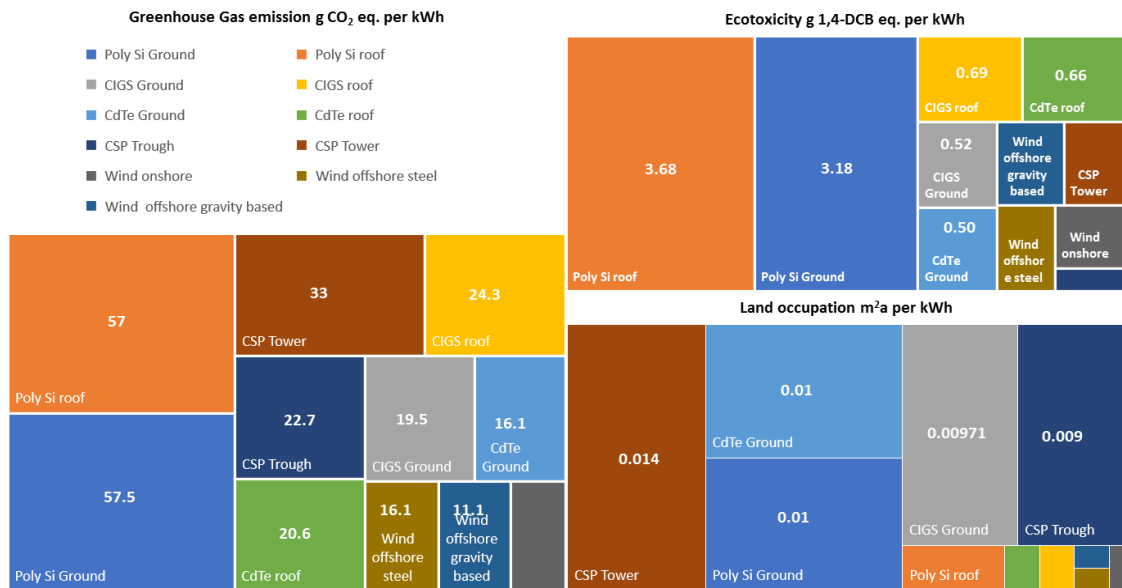
Energiaforrás	Létesítés	Üzemeltetés	Összesen
	Vízlábnyom (m ³ TJh ⁻¹)	Vízlábnyom (m ³ TJh ⁻¹)	Vízlábnyom (m ³ TJh ⁻¹)
Koncentrált napenergia	84 – 179 (169)	34 – 2000 (559)	118 - 2180
Napelem	5,3 – 221 (86)	1,1 – 82 (19)	6,4 - 303
Szél	0,10 – 9,5(1)	0,1 – 2,1 (0,2)	0,2 - 12

Összefoglalás

Mindhárom napenergiát használó technológiánál a létesítés szakaszától a leszerelésig összességében vagy egy-egy szakaszban jelentkező különféle hatásokat tekintettünk át. Ez rálátást ad arra, hogy milyen környezetre ható tényezőket és enyhítő intézkedéseket kell figyelembe venni a megújuló energia projektek

létesítésénél, hogy ezeket a hatásokat elkerülhessük vagy a lehető legkisebb mértékűre szorítsuk vissza. A környezeti hatások típusai között sok hasonlóság és némi különbség is tapasztalható (lásd 5.8. ábra). Végül a projektfejlesztő felelőssége, hogy amennyire csak lehet, olyan kialakítású napenergia technológiát alkalmazzon, amely nincs nagy hatással a környezetre.

Az 5. a három áramtermelő technológia: a koncentrált napenergia, a napelemes és a szélenergia rendszerek a teljes életciklusa során fellépő környezeti hatások összehasonlítását láthatjuk, három fő hatáscsoport mentén, az alapanyag beszerzéstől a lebontásig. Ez az ábra áttekintést ad arról, hogy a különböző típusú technológiák, és azon belül az egyes anyag ér rendszertípusok milyen különböző mértékben befolyásolják a környezetet. Például a réz-indium-gallium-szelenidből (CIGS) készült, háztetőre szerelt napelem és a földfelszínen telepített CIGS napelem mindhárom hatáscsoportban eltérő eredményeket mutat. Ha csak ezt a három kategóriát vesszük figyelembe a technológiák összevetésekor, akkor azt láthatjuk, hogy a szélenergia technológia gyakorolja a legkisebb hatást a környezetre. A 6. fejezetben közelebbről megismerkedhetünk a szélenergia alkalmazásának technológiájával és a kapcsolódó környezeti hatásokkal.



5.8. ábra A napelemes, a koncentrált napenergiát alkalmazó és a szélenergiát alkalmazó áramtermelés környezeti hatásai egy kWh megtermelt elektromosságra vetítve. Polikristályos szilícium (Poli-Si), réz-indium-gallium-szelenid (CIGS), kadmium-tellurid (CdTe) (Hertwich, és mtsi., 2014.) eq. = egyenlet, CFC = klórozott-fluorozott szénvegyület, DCB = diklór-benzol, m²a = négyzetméter/év; saját illusztráció.

Hivatkozások

ACWA Power. (2015). *Specific Environment and Social Impact Assessment*. Ouarzazate Morocco. 2017. július 1-én letöltve a <http://documents.worldbank.org/curated/en/618461468274482428/pdf/E44890V90P131200Box391417B00PUBLIC0.pdf> honlapról.

Corona, B., Cerrajero, E., López, D., & San Miguel, G. (2016. június 29.). Full environmental life cycle cost analysis of concentrating solar power technology: Contribution of externalities to overall energy costs. *Elsevier*, 135, pp. 758 - 768. doi:10.1016/j.solener.2016.06.059

Fthenakis, V., & Kim, H. (2011. február 23.) Photovoltaics: Life-cycle analyses. *Solar Energy*, 85, pp. 1609 - 1628. doi:10.1016/j.solener.2009.10.002

Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., . . . Allen, M. F. (2014. augusztus 11.) Environmental Impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, pp. 766 - 779. doi:10.1016/j.rser.2013.08.041

Hnizdo, E., & Vallathan, V. (2003. április 1.) Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. *Occupational and Environmental Medicine*, 60, pp. 237 - 243. doi:10.1136/oem.60.4.237

Mekonnen, M., Gerbens-Leenes, P., & Hoekstra, A. (2015. március 9.) The consumptive water footprint (WF) of electricity and heat: a global assessment. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 1, pp. 285 - 297. doi:10.1039/c5ew00026b

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005.) Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*(33), pp. 289 - 296. doi:10.1016/S0301-4215(03)00241-6

Wu, Z., Hou, A., Chang, C., Huang, X., Shi, D., & Wang, Z. (2014.) Environmental impacts of large-scale CSP plants in northwestern China. *Environmental Science Processes & Impacts*, 16, pp. 2432 - 2441. doi:10.1039/C4EM00235K

6. FEJEZET

SZÉLENERGIA

A fejezet szerzője: Uta Zähringer

Renewables Academy AG, Schönhauser Allee 10-11,
10119 Berlin, Németország

e-mail: zaehringer@renac.de

Kivonat: A napenergia használata lehet közvetlen (pl. napkollektoros vagy napelemes) vagy közvetett (pl. szél-, víz- vagy bioenergia). Ez a fejezet a napenergia egyik közvetett felhasználásával foglalkozik: Az első rész a szélenergia használatának fizikai és technológiai alapjait tárgyalja.

Bár a szélerőmű vízlábnyoma a napelemes és a naphő erőművéhez képest kisebb, a szélenergia projektek létesítési, üzemeltetési és lebontási szakaszaiban különféle környezeti hatások jelentkeznek. Ezeket tárgyaljuk a fejezet második részében.

Képzési célok:

A fejezet végén a tanuló:

- Ismeretekkel rendelkezik a szélenergia technológiáról
- Értékelni tudja majd a szélenergia technológia teljes életciklusa során felmerülő környezeti hatásokat

6.1 Szélenergia

A szelet szélturbinák segítségével használják fel energiatermelésre. A szélturbina, amint azt a neve is mutatja, energiaforrásként a szelet használja fel. A szél energiája a Naptól származik. A napsugárzás eléri a földfelszínt, és az Egyenlítő és a pólusok közötti hőmérsékleti különbségek a bolygó körül hőáramlásokat indít el - azaz szelet támaszt. A légkör egy óriás termikus gép, amely folyamatosan „termeli” a szelet.

A légtömegek az alacsony és magas nyomású területek között áramlanak. Ezidáig a szélenergia ipar a földfelszín felett kb. 200 m-es magasságig volt képes a szelek energiát „befogni”. A szélturbinák 3 m/s-os és 35 m/s-os szélesebesség között képesek áramot termelni. Egyes különleges kialakítású szélturbinák képesek ennél alacsonyabb vagy magasabb szélesebességeknél is működni. A hurrikánok, a tájfun, a tornádók vagy a viharok nem alkalmasak erre, mert nagyon erősek és súlyos károkat okozhatnak a szélturbinában.

A szél gyakran változtatja sebességét és irányát. A gyors ingadozást széllökésnek hívjuk. A széllökés során a szél sebessége hirtelen megnövekszik, majd hirtelen csökken. Ezeket a széllökéseket a turbulenciák okozzák.

6.2. A szélturbina elemei

Általános felépítése

A szélturbinák megépíthetők úgy, hogy kiállják a kemény viharokat, működjenek sarkvidéki vagy trópusi éghajlati körülmények között, a tengerben, tengerparton vagy sivatagokban. Az adott céloknak megfelelő különféle kialakítású turbinák széles köre áll rendelkezésre.

A szélturbinák lehetnek függőleges vagy vízszintes tengelyűek, egy- vagy akár húszipátosak, a pár watt kiskapacitásúak vagy megawattos nagyságrendűek, sebességváltóval vagy anélkül működők, egyenáram vagy váltóáram generátorral. Nincs egyetlen általánosan meghatározott kialakítás, ugyanakkor a legsikeresebbek a háromlapátos, horizontális tengelyű, széliránnyal szemben álló turbinák. Ezeknél a turbináknál a rotorlapátok helyezkednek el a széllal szemben, míg a szélalatti konstrukciónál a gondola áll szemben a széllal.

A szélenergia rendszer fő alkotóelemei a következők:

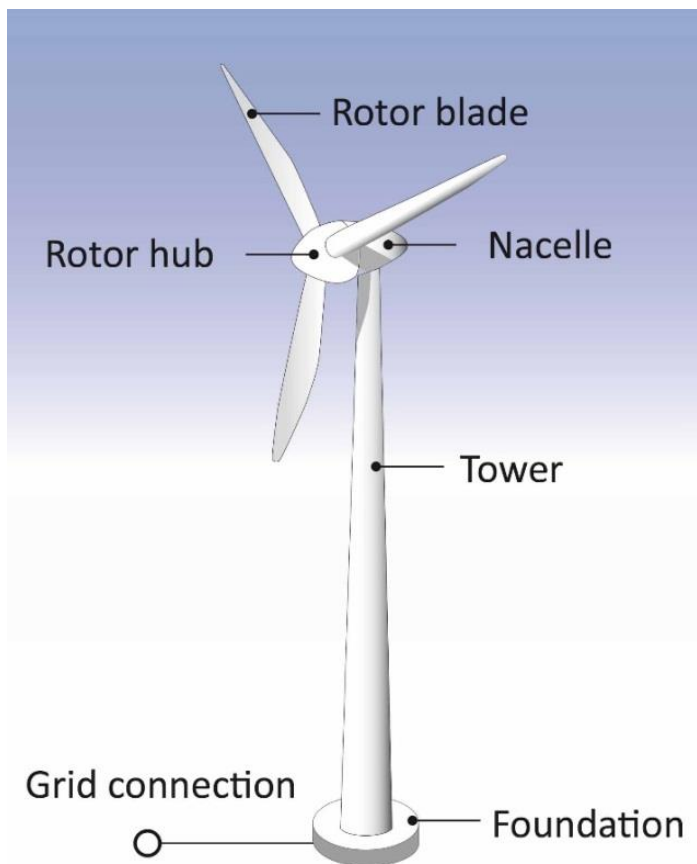
- Rotorlapátok
- Gondola és a vezérlőegységek
- Generátor és elektronika
- A torony alkotóelemei

A 6.1. ábra bemutatja egy szélturbina alkotóelemeit, 6.1 táblázat pedig arról ad képet, hogy az egyes alkotóelemekben milyen anyagokat használnak. A

következő részben az egyes alkotóelemeket fogjuk részletesen megismerni.

6.2.1. A rotorlapátok

A rotorlapátok „fogják be” a szelet és alakítják át a szél mozgási energiáját a rotoragy forgásává (lásd 6.1. ábra). A rotoragy viszi át az energiát a lapátoktól a generátorra. Ha a szélturbinának van sebességváltója, akkor a rotoragy egy lassan forgó sebességváltó-tengelyhez kapcsolódik, így alakítva a szél energiáját forgási energiává. Ha a turbina közvetlen meghajtású, akkor a rotoragy az energiát közvetlenül a generátor gyűrűnek adja. Minden gyártó saját koncepciójú lapátokat gyárt, és további kutatásokat végeznek az innovatív kialakításokra vonatkozóan; a sok és sokféle variáció létezik. Általánosságban azonban elmondható, hogy a modern lapátok felépítése hasonló a repülőgépszárnyhoz (World Wind Energy Association, 2011.).



6.1. ábra Szélturbina vázlata, az alkotórészeit megjelölve (RENAC, 2017.)

6.1. táblázat A szélturbina alkotóelemeihez használt anyagok

Alkotóelem	Anyag
Alap	Beton, acél
Torony	Acél, beton
Hajtómű	Öntöttvas, acél, kenőanyagok
Generátor	Öntöttvas, réz, elektronika
Elektronika	Kábel, kapcsolótábla
Gondola	Fémek, szálal alkotóelem
Rotorlapátok	Szálszerkezetű anyagok, szendvics mag

A szélturbina lapátjai ugyanazt a felhajtó erőt használják ki, mint a repülőgépek vagy a madarak: a szárny formája miatt a levegőáramlat a szárny alatt lassabb, mint felette. Ezért a nyomás pont fordítva alakul. A szárny felett a nyomás alacsonyabb, mint a szárny alatt. Ez nyomáskülönbséghez vezet (felhajtó hatás). Ezek az erők forgatják meg a rotort.

Megállapították, hogy a nagy szélturbinák által végzett áramtermeléshez a legnagyobb hatékonyságú a háromlapátos rotor. A három lapát jobb tömegeloszlást tesz lehetővé, ami egyenletesebbé teszi a forgást, és megjelenésében is nagyobb nyugalmat áraszt. A

rotorlapátok üvegszálakkal vagy szénszálakkal megerősített szintetikus anyagokból, fából és fémből (villámvédelem stb.) készülnek. A különböző rétegeket epoxigyantával ragasztják össze. Az alumínium és acélötvözetek nehezebbek, és esetükben problémát jelent az anyagfáradás. Ezért ezeket az anyagokat általában csak nagyon kisméretű szélturbináknál használják. (World Wind Energy Association, 2011.)

6.2.2 A gondola

A gondolában található a turbina teljes gépészete. Mivel a szélkövetéshez képesnek kell lennie forogni, a toronyhoz csapágyakon keresztül kapcsolódik. A gondolában található a hajtómű. Ez a következő részekből áll: rotortengely tengelyággal, sebességváltó (a közvetlen meghajtású turbináknál ilyen nincs), fék(ek), tengelykapcsoló, generátor, áramtermeléshez kapcsolódó elektronika, hűtés/fűtés s egy kis daru.

A gondolán belüli elrendezés gyártónként változó.

6.2.3 A szélturbina tornya

A szélturbina tornyokat betonból, fémből, fából vagy ezek kombinációjából készítik. A legnagyobb szélturbinákat csőszerkezetű acéltornyokkal építik, melyeket szelvényenként gyártanak le. A rendelkezésre álló széltorony fajták az acél, a beton, a rácsszerkezetű, a hibrid tornyok és a kikötött, csőszerkezetű tornyok.

Az acéltornyok általában 2-4 szegmensből állnak. Ezek mindegyike 20-30 méter hosszú, és az egyik végén peremezett. A szélerőmű park helyén kerülnek összecsavarozásra.

A betontornyok különlegesen kialakított szelvényekből állnak, melyeket a szélerőmű park helyszínén rögzítik egymáshoz. Maguk a torony szelvények teljes egészében előre gyártott elemként kerülnek legyártásra. Az is lehetséges, hogy a tornyot teljes egészében a helyszínen építsék meg, mászózszaluzás segítségével (ez hívják helyszíni öntésű betonnak).

A rácsos toronyszerkezet elve azon alapul, hogy csak azokon a pontokon kerüljön anyag felhasználásra, ahol a szerkezetbe erőknek kell belépni. Ezt a módszert alkalmazva a torony súlya csökkenthető.

A hibrid tornyok előre gyártott szelvényes tornyok a tetejükön acélcsöves szelvényekkel kiegészülve. Ennek az előnye az, hogy a szelvények egyszerű teherautókkal is könnyen szállíthatók, különösen azokban az országokban, ahol a nagy átmérőjű acéltornyok szállítása problémába ütközik, és ahol a beton szelvények helyben legyárthatók.

A kikötött csőszerkezetű tornyokat csak kis szélturbináknál használják. Ezek könnyűek, ezért daru nélkül telepíthetők.

6.3 A szélenergia használatának környezeti hatásai

A szélerőműben a kivitelezés, üzemeltetés és a lebontás szakaszaiban különféle környezeti hatások lépnek fel. A 6.2. táblázat a szélerőmű lehetséges környezeti hatásait sorolja fel. Például a napelemes és a naphő erőművéhez képest a szélerőmű vízlábnyoma kisebb. A következő pontokban a szélerőmű park üzemeltetése alatt jelentkező hatásokról lesz szó.

Nyersanyag beszerzés	Gyártás	Létesítés	Üzemeltetés	Lebontás
Biodiverzitás csökkenése Élőhely elvesztése Mérgező folyékony hulladékok Hulladék-termelés A természeti erőforrások kimerülése	Vízstressz és víz-szennyezés Hulladék-termelés	Biodiverzitás csökkenése Víz- és talaj-szennyezés A szállító-járművek miatt föld-mozgások	A vadvilágra gyakorolt hatás Vizuális hatás	Por-képződés Hulladék-termelés
CO ₂ és egyéb üvegházhatású gáz kibocsátás				
Zajszennyezés				

6.3.1 A vadvilágra gyakorolt hatás

Számos tanulmány bizonyította a szélerőművek hatását a madárfajokra (H Kunz, és mtsi., 2007.) (Drewitt & Langston, 2006.) (Saidur, Rahim, Islam, & Solangi, 2011.). A vadászattal összevetve a szélerőművek áldozatául esett madarak száma minimális. Mégis, a szélerőművekhez kapcsolható eseteket el lehet kerülni a helyszín előzetes, alapos tanulmányozásával, hogy a lehető legkisebb legyen ez a hatás. S. Mariò és munkatársainak „Predicting the trends of vertebrate species richness as a response to wind farms installation in mountain ecosystems of northwest Portugal.” (azaz „A gerinces fajgazdagság trendjeinek előrejelzése szélerőmű északnyugat-portugáliai hegyvidéki ökoszisztémába telepítésére reagálva”) című munkája leírja, hogy rossz időjárási körülmények között vagy egy ködös éjszakán a szélerőművek fénye vonzza a madarakat, így megnövelve a széllapátokkal való ütközésből eredő sebezhetőségüket (Santos, és mtsi., 2010.). A madarak elhullásában szerepet játszó másik tényező a torony kialakítása. A régebbi, alacsonyabb rotoragy magasságú, kisebb rotorátmérőjű turbinák nagy fordulatszámmal forognak, így a madarak elhullásának nagyobb a kockázata (Magoha, 2002.).

6.3.2 Vizuális hatások

A szélenergia rendszer technológiájától, a színétől, méretétől, a lakóhelyektől való távolságától, és a stroboszkóphatástól függően a szélerőmű hatása változó lehet (Ladenburg, Visual impact assessment of offshore wind farms and prior experience, 2009.). A vizuális hatás csökkentése érdekében a turbinákat az alapnál zöldre festik, amely felfelé fokozatosan szürkébe megy át. A stroboszkóp hatás vagy a lapátok mozgásától vagy a napsugárnak a szélturbina testéről való visszaverődésétől alakul ki, ezt a villódzófény-jelenséget nevezik diszko hatásnak is. (Saidur, Rahim, Islam, & Solangi, 2011.).

Ez nem tart sokáig, és bizonyos konkrét körülmények együttes bekövetkezése esetén lép fel, pl.

- ha a nap alacsony szögben süt és
- a turbina közvetlenül a nap és az érintett ingatlan között van, és
- a szélesebbség a turbina bekapcsolási szélesebbségét meghaladja (így biztosítva, hogy a turbinalapátok mozogjanak). (Department of the Environment, Heritage and Local Government of Ireland, 2006.)

A stroboszkóphatást befolyásolhatjuk a körütekintő helymegválasztással, kialakítással és tervezéssel.

6.3.3 Zajhatások

A szélturbina által kibocsátott zajt aerodinamikai vagy mechanikai típusúként határozhatjuk meg. A sebességváltón belül zajló mozgások, az elektromos generátor és a csapágyak mozgásai által keltett zajok mechanikai típusúak, míg a levegőnek a turbina lapátjai felett és azon túl való áramlása által keltett hangok aerodinamikai típusúak. Az ilyen zaj a turbina méretétől és a széliránytól függően változik, és zavarhatja a környéken élőket. Úgy gondolják, hogy a zajhatások a szélerőművek közelében lévő ingatlanok értékét is csökkentik. Az működés során keletkező mechanikai zajok hangszigetelő függöny és rezgéscsillapító támasztótalp alkalmazásával csökkenthetők. Az aerodinamikai zaj azzal csökkenthető, ha úgy tervezik meg a lapátokat, hogy az a mozgás közben a lehető legkisebb zajt keltse (Saidur, Rahim, Islam, & Solangi, 2011.) (Gauld, 2007.). A társadalmi elfogadottságnak olyan zajérzékeny helyszíneken való biztosítása, mint a kollégiumi, kórházi vagy lakóterületek, megköveteli a szélerőmű park elrendezésének gondos megtervezését. Például Németország bajorországi tartományában azért, hogy elkerüljék a szélerőművek okozta hatásokat, olyan szabályt vezettek be, hogy a szélturbinák lakott területtől való távolságának el kell érnie legalább a turbinamagasság tízszeresét.

Hivatkozások

Department of the Environment, Heritage and Local Government of Ireland. (2006.)

Drewitt, A., & Langston, R. (2006.) Assessing the impacts of wind farms on birds. *International journal of avian science*, 148, pp. 29 - 42.

Gauld, R. (2007.) *Wind developments: Ecological, technical and social impact considerations*. Orkney Sustainable Energy Ltd.

H Kunz, T., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Tuttle, M. D. (2007.) Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), pp. 315 - 324.

Ladenburg, J. (2009.) Visual impact assessment of offshore wind farms and prior experience. *Applied Energy*, 86, pp. 380-387.

Ladenburg, J. (2009.) Visual impact assessment of offshore wind farms and prior experience. *Applied Energy*, 86, pp. 380-387. doi:10.1016/j.apenergy. 2008.05.005.

Magoha, P. W. (2002.) Footprints in the wind?: environmental impacts of wind power development. *Fuel and Energy Abstracts*, 3(5), pp. 30-33. doi:10.1016 /S1471-0846(02)80083-X.

Mário S, B. R. (2010.) Predicting the trends of vertebrate species richness as a response to wind farms installation in mountain ecosystems of northwest Portugal. *Ecological Indicators*, 10, pp. 192 - 205.

Renewables Academy (RENAC) AG. (2017.) Environmental and social standards in renewable energy (PV, wind and biomass) project finance. Berlin, Germany.

Saidur, R., Rahim, N., Islam, M., & Solangi, K. (2011.) Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), pp. 2423 - 2430. doi:10.1016/j.rser.2011.02.024

World Wind Energy Association. (2011.)

7. FEJEZET

HULLÁM-, ÁRAPÁLY- ÉS HIDROGÉNENERGIA

A fejezet szerzője: Aleksandra SRETENOVIC

A Belgrádi Egyetem Gépészmérnöki Kara, Belgrád, Szerbia

e-mail: asretenovic@mas.bg.ac.rs

Kivonat: Ez a fejezet a hullám- és árapály energiaforrások áramtermelési lehetőségeivel foglalkozik. Megismerkedhetünk a technológia hasznosításának lehetőségeivel és korlátaival. Bemutatásra kerül a technológia fejlődése, ismertetve az árapályturbínákat, az árapály-duzzasztógátákat és a hullámfogó eszközöket. Sor kerül a hullám- és árapály-energia környezeti hatásainak értékelésére.

Kifejtjük, hogyan zajlik a hidrogén gáz ipari termelése, és milyen hatással van a környezetre. A gyártást követően a hidrogén már-már kiváló energiahordozó. Felhasználható üzemanyagcellákban elektromos áram és hő termelésére. A hidrogéngáz tárolásának, szállításának és felhasználásának technológiai szempontjai is bemutatásra kerülnek. A hidrogén gáz alkalmazásának megbízhatóságáról és gazdasági szempontjairól is lesz szó.

Képzési célok:

A fejezet elsajátítását követően a tanuló:

- Megérti a hullámvázban és az ár-árvázban, mint megújuló energiaforrásban rejlő lehetőségeket
- Megérti és el tudja mondani a hullám- és ár-árváz-energia források környezeti hatásait
- Kritikusan tud beszélni a hullámváz és az ár-árváz felhasználásának előnyeire és hátrányaihoz kapcsolódó kérdésekről
- Megérti és el tudja mondani a hullámvázban és az ár-árvázban, mint energiaforrásban rejlő lehetőségeket
- Kritikusan tud beszélni a különféle hidrogén-előállítási technológiákról, azok előnyeire és hátrányairól
- Kritikusan tud beszélni a hidrogén-előállítás és -felhasználás környezeti hatásairól

7.1 A hullámvázban és az ár-árvázban rejlő áramtermelési lehetőségek

A „vízes megújulók” kifejezést gyakran használják a tengeri szélenergia fejlesztésekre csakúgy, mint az ár-árváz-duzzasztógátakra/kerítésekre, ár-árváz áramlásra és a hullámenergia rendszerekre (Frid és mtsi., 2012.). Ezeknek az energia erőforrásoknak a felhasználása különösen azoknál az országoknál kap nagy szerepet, amelyek jelentős parti vízterülettel rendelkeznek. Az Energia Világtanács (World Energy Council) becslése szerint, ha az óceánokban fellelhető megújuló energiának

kevesebb, mint 0,1%-át árammá tudnák alakítani, az több mint ötszörösét adhatná a világ jelenlegi energiaigényének (Council, 2016.). A 2002-2007-es időszakra vonatkozóan a világ tengeri megújuló energiájáról szóló „World Offshore Renewable Energy Report” jelentése arról számol be, hogy bár becslések szerint közel 3000 GW-nyi árapály-energia érhető el világszerte, ennek kevesebb, mint 3%-a található olyan területeken, amelyek alkalmasak az áramtermelésre (Esteban & Leary, 2012.). Sajnos ennek az óceáni energia-erőforrásnak csak töredéke található olyan helyeken, ahol azt a rendelkezésre álló technológia segítségével gazdaságosan lehet hasznosítani. Dokumentumokkal igazolt, hogy az európai árapály-erőforrások 48%-a az Egyesült Királyság, 42%-a Franciaország és 8%-a Írország területén található. A hullámenergia becsült potenciálja mintegy 1 000-10 000 GW. Ez a világ elektromos energia fogyasztásával azonos nagyságrendű. Az árapály-áramlatoknak a hullámozás (vagy a szél) energiájával szemben fontos előnye a kiszámíthatóság, mivel az ár-apály hetekre vagy akár évekre pontosan előre jelezhető.

Ár-apály

Ami az ár-apály energiájának kutatását olyan vonzóná teszi, az az ár-apály jelenség rendszeressége és a benne rejlő hatalmas energia potenciál (Pelc & Fujita, 2002.). Az ár-apály az óceán vízfelszínének rendszeres emelkedése és süllyedése, amelyet a Nap és a Hold Földre gyakorolt

gravitációs ereje, valamint a Föld és a Hold egymás körüli keringésének centrifugális ereje okoz. Mivel a Hold a Földhöz közelebb helyezkedik el, gravitációs ereje a Nap gravitációs erejének 2,2-szerese. Az árapály áramlások a parti területeken, valamint olyan helyeken figyelhetők meg, ahol a víztömegeknek szűk csatornákon kell áthaladniuk. Az áramlatok két irányban haladnak. A part irányába haladó áramlás a dagály (az ár), míg a partról visszahúzódó az apály. Az árapály-energia helyzeti (potenciális) és mozgási (kinetikus) részből tevődik össze. Ezért az árapályenergia-termelő létesítmények két fő kategóriába sorolhatók: az árapály-duzzasztógátak, amelyek a helyzeti összetevőt hasznosítják, és az árapály áramlat turbinák, amelyek a mozgási energiát használják fel.

Árapály-duzzasztógátak

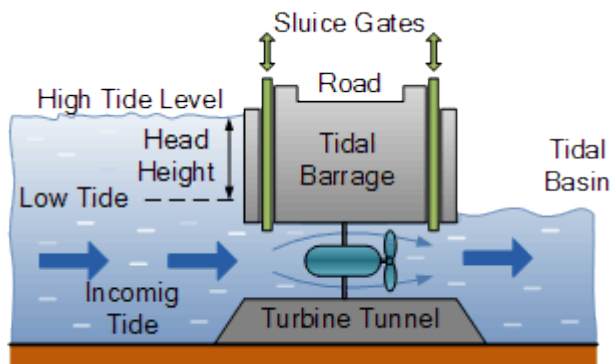
Az árapály-duzzasztógát olyan típusú árapály-áramtermelés, ahol egy árapály átjáró vagy medence bejáratánál keresztbe, árapály tározót létrehozva alacsony gátfalat építenek (<http://www.alternative-energy-tutorials.com.html>) (lásd 7.1. ábra). A gát teljes szélességében a víz alatt alagutak vannak, melyekben „zsilipkapuk” segítségével irányítják a tengervíz átáramlását. Az alagutak belsejében rögzített vízturbina generátorok találhatók, amelyek a víz mozgási energiáját használják az árapály elektromosság előállítására. Az árapály-duzzasztógát működési elve ugyanaz, mint a

vízerőművek áramtermeléséé. Annyi a különbség, hogy az ár-apály két irányban folyik, így generátorokat úgy kell kialakítani, hogy azok mindkét irányú vízáramlást kezeljék.

Az ár-apály szintkülönbség a tengerszint dagálykori és apálykori szintje közötti vertikális különbség (<http://www.alternative-energy-tutorials.com.html>).

Figyelembe véve, hogy az ár-apály egy alacsony és egy magas szint között vertikális, azaz függőleges irányba ható mozgás, az útja során magasságkülönbséget hoz létre, amelyben helyzeti energia tárolódik. Ezt a nyomómagasságot arra használják, hogy a gát két oldalán vízszintkülönbséget hozzanak létre, amikor pedig a víz a turbinákon áthalad, áram termelődik. Három fő árapály-energia rendszer van használatban:

- **Ár-irányban termelő:** az árapályból származó áram előállítására akkor kerül sor, amikor a víz dagálykor belép az árapály-tározóba.
- **Apály-irányban termelő:** az árapályból származó áram előállítására akkor kerül sor, amikor a víz apálykor elhagyja az árapály-tározót.
- **Két irányban termelő:** az árapályból származó áram előállítására dagálykor és apálykor egyaránt sor kerül.



7.1. ábra [Árapály-duzzasztógát](#)

Az apály-irányban termelő árapály-duzzasztógát esetében dagálykor a zsilipkapukat kinyitják, hogy a dagállal a víz beáradhasson az árapály-medencébe (tölcsértorkolatba, fjordba vagy öbölbe). A dagály tetőzésekor a zsilipeket a gáton elzárják, így a vizet a medencében tartva. Ha már megfelelő szintkülönbség alakult ki, a turbinakapu kinyílik, és a visszatartott víz a turbinákon át kifolyik. Az áramtermelés mindaddig folytatódik, amíg a hidrosztatikus nyomómagasság a turbinák gazdaságos üzemelését lehetővé tévő minimális szintre nem csökken. Ekkor kinyitják a zsilipeket, hogy lehetővé tegyék a medence újratöltődését. Ez az üzemmód (az apály-irányban termelő) termeli a legtöbb áramot. Áramot úgy is lehet termelni, hogy a dagály a turbinákon keresztülhaladva tölti fel újra a medencét. A kétirányú berendezéseknél mindkét irányú áramlás hasznosítható. Az első árapály-duzzasztógátak 1966-ban épültek, amikor a franciaországi

Rance folyónál üzembe helyezték az erőművet (lásd 7.2. ábra), amely még a mai napig üzemel (Esteban & Leary, 2012.). Az egyetlen ország, ahol jelenleg ilyen rendszerek komoly bevezetési munkálatai zajlanak, az Dél-Korea. Más országok még mindig elemzik az ilyen erőművek gazdaságossági szempontjait, figyelembe véve a jelentős, nagy mértékű infrastrukturális beruházási igényt, valamint a lehetséges környezeti károkat. Az első kereskedelmi célú telepek nemrégiben kerültek üzembe helyezésre, ezek a Pelamis projekt (Portugáliában) és a SeaGen (Észak-Írországon) keretében, melyek 2008 nyarán kerültek telepítésre.

Az árapály-duzzasztógát építéséhez óriási mennyiségű anyagra van szükség, hogy az állni tudja azt a hatalmas terhelést, amellyel a gáttal elzárt víz ránehezkedik (Rourke, Boyle, & Reynolds, 2010.). Az árapály-duzzasztógátak legnagyobb hátránya a környezetre gyakorolt negatív hatás. Egy gát megépítése egy tölcsértorkolatban vagy egy öbölben befolyásolhatja a természetes apály-dagály áramlást, ami hatással van a tölcsértorkolat vízi élővilágára, valamint a vízminőségre és a hordalékszállításra is. Az árapály gát hatással van a halakra és más vízi állatokra, de a vízi közlekedésre is. Az apály-irányban termelő rendszernél ez a probléma nem olyan jelentős, mivel a medencében az ár-irányban termelő rendszerhez képest nagyobb vízszintet tartanak fenn.

Árapály turbinák

Az árapály áramlat turbinák az ár-apály áramlás mozgási energiáját használják fel áram előállítására (Rourke és mtsi., 2010.). Első ránézésre szembetűnő a szélenergia technológiával való hasonlóság, mivel az árapály áramlat generátorok víz alatti szélerőmű-parkra emlékeztetnek. Azonban a levegő és a víz sűrűségének és sebességének különbözőségei miatt számos üzemi különbség van a működési feltételekben. A tengeri szélerőműveket a viharok vagy a tenger megrongálhatják, ugyanakkor az árapály turbinák a tenger szintje alatt vagy a tengerfenékhez rögzítve helyezkednek el. Mivel a turbinák a víz alatt vannak, nagyobb erőnek és nyomatékknak vannak kitéve, mint a szélturbinák. Úgy kerülnek kialakításra, hogy nagy terhelést bírjanak el abban az időszakban is, amikor nem termelnek áramot, továbbá, hogy képesek legyenek áramot termelni az árapály mozgások mindkét irányában (dagály és apály esetén egyaránt).

Az árapály áramlat energia kinyerésnek két legáltalánosabb módja:

- Vízszintes tengelyű árapály áramlat turbinák. A turbinalapátok egy a víz áramlásának irányával párhuzamos, vízszintes tengely körül forognak.

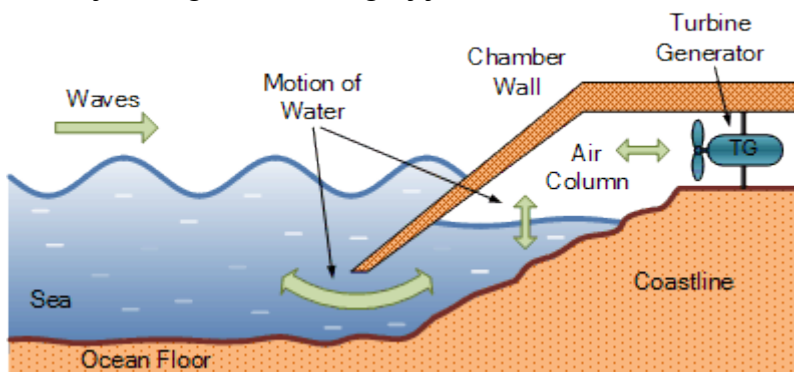
- Függőleges tengelyű árapály áramlat turbinák. A turbinalapátok egy a víz áramlásának irányára merőleges, függőleges tengely körül forognak.

A főbb árapály áramlatok az alábbi helyeken találhatók: Jeges-tenger, La Manche csatorna, Ír-tenger, Mexikói-öböl, Amazonas, Magellán-szoros, Gibraltár, stb. ("<http://www.alternative-energy-tutorials.com.html>").

A hullámzás energiájának hasznosítása

A hullámzásnak mint energiaforrásnak a fő hátránya, hogy többnyire véletlenszerűen változó (mivel a szél okozza), bár némi évszakos jellegű mintázat észrevehető benne (Antonio, 2010.). Az 1970-es évek olajválságának köszönhetően jelentősen nőtt a hullámzás felhasználásával való energiatermelés iránti érdeklődés. A hullámenergia felvétele összetett hidrodinamikai folyamat, amely számottevő elméleti problémákat vet fel. Ezért a hullámenergiához kapcsolódó első tanulmányok többnyire elméleti megközelítések voltak. Azóta indultak újtjukra az első projektek, hogy 1991-ben az Európai Bizottság bevette a hullámenergiát a kutatás-fejlesztési programba. Jelenleg – a hullámzásból történő energiafelvétel különböző lehetőségeinek köszönhetően – a hullámenergia felfogására alkalmazott technológiák széles palettája áll rendelkezésre. Az, hogy melyik technológiát választják, függ a vízmélységtől és az elhelyezkedéstől is (parti,

partközeli, nyíltvízi). Az első prototípusok partközeli eszközök voltak, amelyek előnye a könnyebb telepítés és karbantartás, és melyeknél nincs szükség mélytengeri rögzítésre és hosszú, víz alatti elektromos kábelekre. A tipikus első-generációs eszköz az oszcilláló vízoszlop, léguturbinával. Az oszcilláló vízoszlop egy részben alámerülő szerkezetből áll, amely a vízfelszín alá nyílik (lásd 7.2. ábra). A hullámok által keltett oszcilláló vízmozgás a levegőt átáramoltatja a turbinán, amely az áramfejlesztő generátort meghajtja.



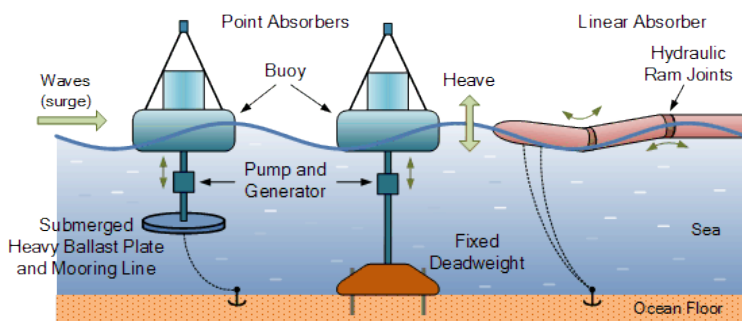
7.2. ábra [Oscilláló vízoszlop](#)

Az oszcilláló vízoszlopos rendszerben használt széluturбина generátor típusa a hatékonyság egyik fő tényezője. A kamrában lévő levegő folyamatosan változtatja a mozgásirányát a víz függőleges (fel-le) irányú mozgása miatt, amely a turbinánk keresztül szívó és fújó hatást fejt ki. Ennek a problémának a leküzdésére ezekben a rendszerekben úgynevezett **Wells turbinát** használnak

szélturbinaként. A Wells turbina arról nevezetes, hogy ugyanabba az irányba forog, függetlenül attól, hogy az oszlopban lévő levegő milyen irányban áramlik. A mozgási energiát kinyeri a visszafelé irányuló levegőáramlásból, és egy elektromos indukciós generátort hajt meg. Ez a technológia nem bocsát ki üvegházhatású gázokat, ezért így a szélenergia Wells turbinákon át történő természetes átvitelével nem szennyező, ugyanakkor megújuló energiaforráshoz juthatunk. Ennek a parti rendszernek az előnye, hogy a fő mozgó alkatrész, a turbina, könnyen leszerelhető javítás vagy karbantartás céljából, mert ez a szárazföldön van. A hátránya, hogy az oszcilláló hullám oszlopok teljesítménye függ a hullámenergia szintjétől, amely nap mint nap, az évszaknak megfelelően változik.

A nyíltvízi eszközök a víz felszínén lebegő oszcilláló testek, amelyek képesek kiaknázni a nyílt tengeren kialakuló erősebb hullámozást (lásd 7.3. ábra). A legegyszerűbb hullámenergia hasznosító eszközök egy hullámozó bójából állnak, amely egy (a tengerfenékhez vagy a fenékhez rögzített szerkezethez) rögzített keretre fejtenek ki erőt. A hullámok emelkedése és süllyedése a hullám felvevője és a reakciópont közötti relatív elmozdulást eredményezi. A lineáris abszorber (hullámcsillapító) a víz felszínén úszik. Az óceán fenékéhez van kipányvázva úgy, hogy a bejövő hullámokra merőlegesen kilenghessen. Amint a hullámok

ennek a kígyószerű hullámenergia eszköznek a teljes hossza mentén elhaladnak, a hosszú, hengeres testet arra készítetik, hogy lefelé hajoljon, a hullámok teknőjébe, majd felfelé íveljenek, amikor a hullámok taréja halad el. Az eszköz teste mentén összekötőcsuklók vannak, melyek a hullámokban elhajolva jelentős erőt fejtenek ki. Ez az erő minden egyes kapcsolódási pontnál egy-egy hidraulikus kos működtetésére fordítódik. A hidraulikus kos olajat nyom át egy hidraulikus motoron. Ez a motor hajtja meg az áramot termelő generátort.

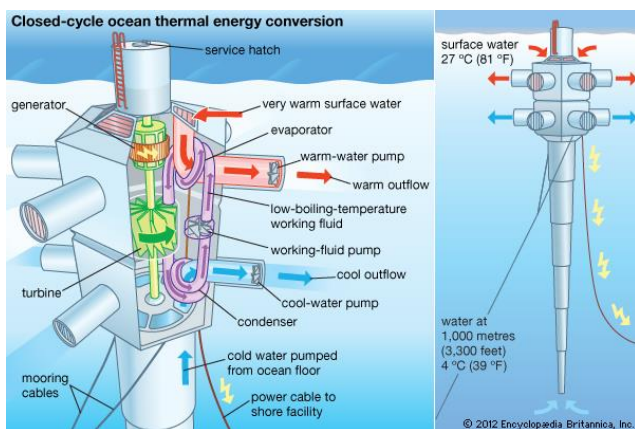


7.3. ábra [Hullámenergia hasznosító eszközök](#)

Az óceáni energiák hasznosításának egyéb lehetőségei

A 7.4. ábrán látható óceáni hőenergia átalakítás (ocean thermal energy conversion, OTEC) az óceán természetes hőmérsékleti különbségeit felhasználva termel elektromos áramot úgy, hogy a felmelegedett felszíni vízben tárolt hőt párologtatásra, a mélységi, 1000 m-ről származó vizet

hűtésre (kondenzációra) használja (Pelc & Fujita, 2002.). Ebben a folyamatban a munkaközegként használt folyadékot – például ammóniát – felváltva elpárologtatják, majd kondenzálják, ezzel Rankine ciklust működtetve. Rendszerint az elpárologtatott ammóniában lévő energiát turbinával fogják fel, amely egy generátort hajt meg. Ez a generátor pedig áramot termel a közüzemi hálózatra. Az óceáni hőenergia átalakítása nagy hőmérsékleti különbségű vizeken, az energiát hőerőgéppel kinyerve lehetséges. A becslések szerint az óceáni hőenergia átalakítással anélkül, hogy az óceán hőstruktúráját befolyásolnák, összességében kb. 10TW-nyi energia biztosítható. Ez nagyjából annyi, mint jelenleg a teljes globális energiaigény.



7.4. ábra [Óceáni hőenergia átalakítás](#)

Az ozmózis folyamatának segítségével a sókoncentráció-beli különbségek is felhasználhatók energia kinyerésére. A

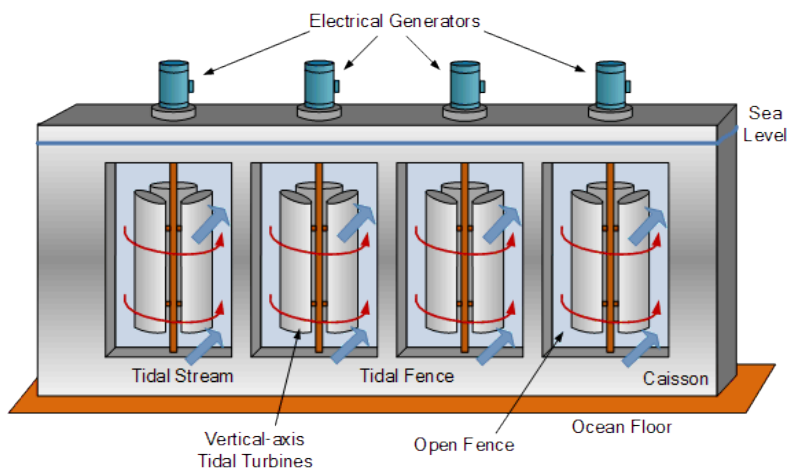
tengeri biomassza termesztésével számos hasznos terméket kaphatunk, köztük elektromos áram termelésére használatos megújuló fűtőanyagokat. Azonban a technológiai korlátok és a gazdaságossági megfontolások miatt az ozmotikus és hőenergiára alapuló fejlesztések korlátozottak.

7.2 A hullám- és árapály-energia hasznosítás környezeti hatása

Mindeztidáig az árapály-kerítések és a hullámenergia hasznosító eszközök csak különféle kísérleti modellekként működtek. Így a környezeti hatásaikra vonatkozó előrejelzések nagyon szűk körű tapasztalati adatokon alapulnak. Bebizonyosodott, hogy az árapály-duzzasztógátaknak azáltal, hogy egy öblön keresztül húzódó gátat kell építeni hozzájuk, jelentős környezeti hatásaik lehetnek, melyek egyértelműen láthatók az olyan helyeken, mint a madarak táplálékszerzési területei vagy a halak ívó- és ivadéknevelő területei. Ezek a hatások három fő csoportra oszthatók: 1) az élőhelyekre és fajokra gyakorolt hatás, 2) a szaporodásra és felnevelt szaporulatra gyakorolt közvetlen hatás, és 3) a vízoszlop folyamataira és a hidrológiára gyakorolt hatások. Az árapály-duzzasztógát hatással van a fajok szaporodására és vonulására, és az élőhelyeket a létesítmény feletti és alatti vízszelvényekben is befolyásolja. A hullámenergia-gyűjtők - a konfigurációjuktól függően - az

energiarendszer mozgó alkatrészei révén szintén megváltoztathatják a vízi élőhelyeket (Frid és mtsi., 2012.).

Figyelembe véve hogy a duzzasztógát élettartama a 100 évet is meghaladja, ezek a hatások hosszú távúak, és ezért azokat alaposan meg kell vizsgálni. Az árapály-változásban és a vízvisszatartásban bekövetkező változások hatással vannak a madárközösségekre és a tengerfenéki élőhely hozzáférhetőségére. Ha az erőmű helyszínét halak vonulási útvonala keresztezi (lazacfélék, angolnák, alóza-félék), akkor megfelelő halátjárókat kell biztosítani, bár a térségen belüli élőhelyek állományának bizonyos fokú elvesztése elkerülhetetlen (Pelc & Fujita, 2002.). A duzzasztógát által okozott változások közé tartozik a vízjárta területek csökkenése, az áramlatok lassulása, a sótartalom skálájának beszűkülése és az alsó vízrétegek jellemzőinek megváltozása. Az utóbbi idők újításai közé tartoznak az árapály-kerítések, melyek teljesen kereszteznek egy olyan csatornát, ahol az árapály áramlás viszonylag gyors áramlatokat hoz létre (lásd 7.5 ábra).



7.5. ábra Árapály-kerítés

A turbinák úgy kerülnek kialakításra, hogy lehetővé tegyék a halak, a víz és az üledék áthaladását a csatornán. A tölsértorkolatok szájánál elhelyezkedő árapály-erőművek ugyanolyan környezeti problémákat okoznak, mint a nagy gátak. A sós víz tölsértorkolatokon keresztüli áramlásának megváltoztatásával az árapály-erőművek befolyásolhatják ezeknek az érzékeny környezeteknek a hidrológiáját és sótartalmát. A torkolatok számos tengeri szervezet ivadékgazdjaként szolgálnak, valamint egyedi és pótolhatatlan élőhelyük a torkolati élőlényeknek. Ennek a különleges élőhelynek nagy árapály-erőművek építésével való megváltoztatását el kell kerülni. A Rance folyó árapály-erőművének építési szakaszában a tölsértorkolatot 2-3 évig teljesen elzárták a tengertől, és sokáig tartott, amíg a torkolatban beállt az új ökológiai

egyensúly. A jövőben bármely új árapály-gátat építenek, a torkolatot nem szabad teljesen elzárni a tengertől. Az ilyen erőműveket mindaddig nem szabad megépíteni, amíg részletes környezeti felmérések nem bizonyítják, hogy csak minimális hatást gyakorolnak a tengeri ökoszisztémára. Az árapály-kerítések és árapály turbinák valószínűleg jobban kímélik a környezetet. Az árapály-kerítéseknek lehet némi negatív hatása, mert lezárnak egyes csatornákat, ezzel megnehezítve a halak és tengeri élőlények számára, hogy ezeken a csatornákon áthaladjanak. A tengeri emlősöket kerítéssel távol tartva lehet megvédeni, és egy hanglokátoros rendszer leállítja a rendszert, ha tengeri emlősöket érzékel. Az árapály-turbinák jelenthetik az árapály-erőművek leginkább környezetbarát lehetőségét. Nem zárnak el sem csatornákat sem torkolatokat, nem zavarják a halak vándorlását, és nem változtatják meg a hidrológiát. Az árapály-turbinák és az árapály-kerítések egyaránt jelentős energiatermelő kapacitást kínálnak, anélkül, hogy az óceánra jelentősebb hatást gyakorolnának. Ugyanakkor az árapály-duzzasztógátak valószínűleg túl nagy károkat okoznak a tengeri ökoszisztémákban. Az árapály-energia projektek helyszínét úgy kellene megválasztani, és a létesítményeket úgy kellene megépíteni, hogy a főbb vonulási csatornák nyitva maradjanak. A turbináknak elég lassan kell forogniuk ahhoz, hogy a halpusztulást a minimálisra csökkenthessük, valamint hogy a táplálóanyagok és az üledékek szállítása is nagyrészt

zavartalan maradjon. A hullámenergia átalakítók csak jelentéktelen közvetlen hatást gyakorolnak a tengerfenéki életközösségekre (makrofaunális biomassa, egyedsűrűség, fajgazdagság és biológiai sokféleség) a természetes nagy változékonysághoz képest.

7.3 Hidrogénenergia

A hidrogén a környezetünkben a harmadik leggyakoribb elem, de mindig más elemekhez kapcsolódik, olyan molekulákat alkotva, mint pl. a metán (CH_4), a víz (H_2O) és az ammónia (NH_3). Az, hogy szabadon nem fordul elő (a használatát megelőzően le kell választani), jelentős hatással van energiaforrásként való használatának értékére. Kinyerésének folyamata jelentős mennyiségű energiát igényel, és az ehhez felhasznált energia forrása lehet megújuló vagy fosszilis fűtőanyag. A hidrogént sokszor emlegetik a „jövő üzemanyaga”-ként, és számos előnye van, amellyel rászolgált erre a címre (Tabak, 2009.). Könnyen ég és egységnyi tömegre vonatkoztatva jelentős mennyiségű hőt szabadít fel. A hidrogén üzemanyagcelláknak nevezett energiaátalakító eszközök meghajtására is használható, az égésnél hatékonyabb folyamat alkalmazásával. Elméletileg a hidrogén megújuló energia, ha figyelembe vesszük, hogy a víz a hidrogén forrása és a használatának egyik terméke is. A hidrogén előnyeit figyelembe véve sok kutató úgy gondolja, hogy a hidrogén lesz az, amely végül leválthatja majd a fosszilis

üzemanyagokat. Azonban széles körű gyakorlati alkalmazásának jelenleg még jelentős korlátai vannak:

- Előállítása és szállítása költséges.
- Gépjárművek üzemanyagaként nehéz a fedélzeti tárolása olyan mennyiségben, mely a járművezető számára praktikus vezetési távot biztosíthatna.
- Az üzemanyagcellák gyártása ez idáig túl drágának bizonyult, és túlságosan is hajlamos a meghibásodásra ahhoz, hogy számos gyakorlati alkalmazásban felhasználják.

Ami a hidrogéntekológiákat olyan érdekessé teszi, az az energiarendszerek fejlesztésének jelenlegi stádiumában felmerülő két nagyon fontos problémára adott lehetséges válasza: energiatároló az időszakosan rendelkezésre álló energiaforrásokhoz (különösen a megújuló energiaforrásoknál), valamint közlekedési üzemanyag (a fosszilis üzemanyagok kiváltására) (Leveque és mtsi., 2010.). Általában a fosszilis üzemanyagra épülő hidrogén-előállítási technológiák már ma is fejlettek, azonban még sokat kell javítani rajtuk ahhoz, hogy széles körben elterjedt ipari felhasználást érhessünk el. A fenntartható, nagyüzemi méreteket öltő fosszilis üzemanyagokat használó hidrogéntermeléshez CCS – azaz szén-dioxid leválasztási és tárolási – technológiára van szükség. A földgáz hidrogén előállításra való használata Európa ellátásbiztonságában problémákat okozhat. Ezek a tények, figyelembe véve a gazdaságossági szempontokat is, arra

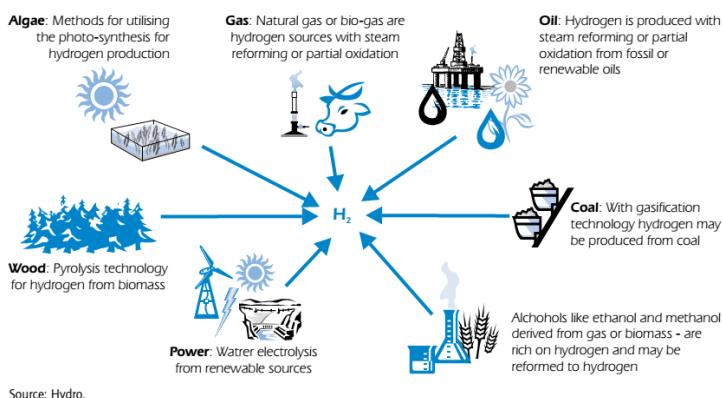
utalnak, hogy a szénből történő hidrogén előállítás jobb alternatíva.

A tudósok felvetettek néhány problémát, amelyek a megújuló hidrogén jövőjének alakulására hatással lehetnek. Míg egy hatékony elektromos hálózatban az energiaveszteség kb. 1%, ha energiatárolási és szállítási közegként a hidrogént használjuk, akkor ezek a veszteségek 75-80%-ra rúgnak. Így ez az alacsony hatékonyságú elektromosság-hidrogén-elektromosság útvonal úgy tűnik, hogy összeegyeztethetetlen a jövőbeni fenntartható energiaellátással. Másrészt, ha más megújuló energiaforrások tároló közegként hidrogént használunk, az azt jelenti, hogy csak akkor lenne szabad hidrogénnek termelődnie, ha feleslegben termelődik az áram. Ez azzal jár, hogy a megújuló energiaforrások tárhódításának jelentős méreteket kell öltenie ahhoz, hogy a hidrogént hatékonyan lehessen előállítani. Azonban ez a nagyon alacsony szintű és erősen rendszertelen hidrogén-előállítás az elektrolizáló készülékek hatékonyságát rontja. Harmadrészt, a nem időszakos megújuló energiaforrások sem biztos, hogy a hidrogéntermelés rendelkezésére állnak. A biomasszát már számos különféle célra alkalmazzák, ugyanakkor a megtermelt anyag jelentős részét vissza kell tartani a talaj termékenységének biztosítása érdekében, ami befolyásolja, hogy mekkora a potenciálisan elérhető mennyiség. A nagyléptékű vízierőművekből származó elektromosság használata sem ajánlott, mert ezeknek az erőműveknek a környezeti

hatásai bizonyítottan jelentősek, ezért ezek nem is esnek a megújuló energiaforrásokkal azonos megítélés alá. A szükséges infrastruktúrafejlesztések ára is kérdésként merül fel, különösen az alacsony termelési kapacitások esetén. Ahelyett, hogy teljes mértékben a hidrogén és a megújuló energiaforrások összekapcsolása felé fordulnánk, ajánlatos megvizsgálni más hidrogén-előállítási technológiákat is, és alaposan körüljárni a hidrogén és más energiahordozók közötti kapcsolatot. A hidrogéngyártás és -szállítás jelenlegi technológiáinak óriási költsége felveti a kérdést, hogy a lehetséges végfelhasználás igazolhatja-e a befektetést. Pillanatnyilag a hidrogén felhasználása az üzemanyagcellákban való alkalmazásokra korlátozódik, ahol nagyon alacsony helyi környezeti hatású, megbízható elektromos energia termelésre van szükség. Ezek az alkalmazások az üzemanyagcella-technológiák jelentős fejlődését indították el. Sokan szerint a hidrogén közlekedésben való alkalmazása az, ami valójában alátámaszthatja a hidrogénalapú gazdaságot. Jelenleg a járművekhez használható alacsony hőmérsékletű üzemanyagcellák költsége kb. 8 000 EUR/kW. A becslések szerint ahhoz, hogy versenyképes legyen, ennek a költségnek két nagyságrenddel csökkennie kell. Az autógyártók által már kifejlesztett vegyes (hidrogén és dízel) üzemű motorok sokkal kevesebb szerves vegyületet és egyéb szennyező anyagot bocsátanak ki.

7.3.1. A hidrogényártás technológiái

A hidrogényártási technológiákat durván három fő csoportra oszthatjuk: elektrolitikus, termokémiai és biológiai hidrogén előállítás. A lehetséges forrásokról és kinyerési technológiákról ad áttekintést a 7.6. ábra. A hidrogén nyersanyagokból való kivonása általában alacsony hatékonyságú folyamat, amely néha több energiát igényel, mint amit termelni képes.



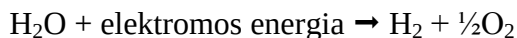
7.6. ábra A hidrogényártás nyersanyagai és folyamatok technológiái (IEA, 2006.)

A hidrogén előállítható vízből, biomasszából, földgázból vagy szénből (gázosítást követően) (Turner, 2004.).

Napjainkban a hidrogént leginkább földgázból állítják elő, metán gőzreformálással.

A víz elektrolízise

A víz elektrolízise egy jól ismert, kereskedelmileg elérhető technológia, mellyel nagy tisztaságú hidrogén állítható elő. Ez a folyamat a víz elektromos energiával hidrogénre és oxigénre való felbontása, amint azt az egyenlet is mutatja:

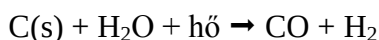


Ennek a folyamatnak az előnye, hogy decentralizált működést tesz lehetővé, amely jóval leegyszerűsíti az infrastruktúrát a fosszilis üzemanyag vagy a biomassza alapú hidrogéntermeléshez képest. Ahhoz, hogy ez a technológia gazdaságilag életképes legyen, vagy az elektrolizáló berendezéseknek kell jóval olcsóbbnak és hatékonyabbnak lennie, vagy az elektromos energia árának kell a gáz és szén árakhoz képest alacsonyabbnak lennie. Figyelembe véve, hogy magasabb hőmérsékletnél kevesebb elektromos energia szükséges a folyamathoz, az olyan helyeken, ahol a magas hőmérséklet, nagy hő áll rendelkezésre, előnyben lehetne részesíteni a magas-hőmérsékletű elektrolizáló rendszereket.

Szénből történő előállítás

A szén elgázosítása lehetne az a technológia, amely jelentős mennyiségű hidrogént és áramot képes termelni, a

jelentős szénkészleteknek köszönhetően. Továbbá a viszonylag alacsony költsége miatt gyakran említik úgy, mint a nagy mennyiségben való gazdaságos hidrogéntermelés legjobb erőforrását. A folyamat egyik jellemző reakciója, amikor a szén szén-monoxiddá alakítják, és ehhez hidrogént adnak hozzá.



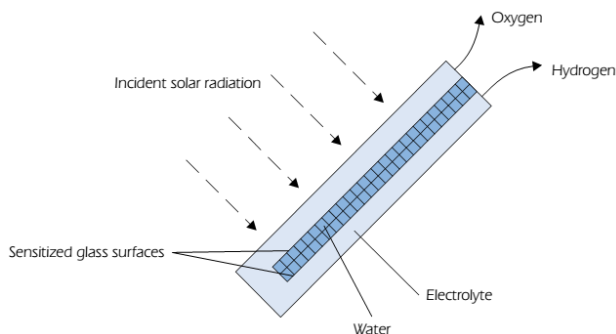
Ekkor a CO tovább alakul CO₂ -dá, és H₂ molekula keletkezik. Azonban az összes fosszilis üzemanyag alapú hidrogéngyártási technológia fő melléktermékeként jelentkező CO₂-ot meg kell kötni. Ehhez viszont energiára van szükség, ami tovább növeli a szénfelhasználást. A nap-, szél-, atom- és geotermikus energia felhasználásával történő hidrogéntermelés során sor kerülhet a víz elektrolízisére, hőt felhasználó termokémiai ciklusokra és biomassza feldolgozására is. A biomassza könnyen átalakítható számos folyékony üzemanyaggá, mint pl. metanollá, etanollá, biodízellé és pirolízis olajjá, amelyek azután szállíthatók és a helyszínen felhasználhatók hidrogén termelésére. Bár a biomassza egyértelműen fenntartható, nem tud annyi hidrogént biztosítani, mint amennyire szükség lenne.

Termokémiai vízbontás

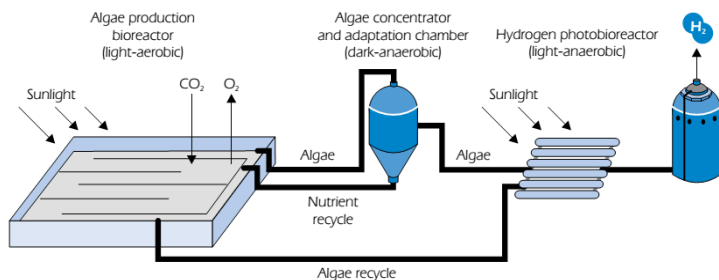
Mivel a víz közvetlen hő hatására való felbontásához 2000°C-ot meghaladó hőmérsékletekre van szükség, és az

eredmény a hidrogén és oxigén gyorsan újra egyesülő keveréke, a tudósok számos termokémiai ciklust vizsgáltam meg, amelyek segítségével csökkenthető a hőmérséklet, a hidrogén és az oxigén pedig külön lépésekben állítható elő. Az egyik legáltalánosabb módszernél kénsav használatára van szükség 850°C-on, és hidrogén-jodidra 450°C-on. Azonban olyan anyagtulajdonságokat kell elérni, amelyek meg tudnak felelni a HI és H₂SO₄ működési feltételeihez szükséges stabilitás követelményeinek. Biztonsági okokból hosszú hőátvezetőre van szükség, hogy ezt az üzemet a reaktortól távol lehessen tartani. Az ilyen termokémiai ciklusokhoz napkollektoros rendszereket is lehet használni. Bármely technológia, amely elektromos áramot termel, képes az elektrolizálót működtetni - és így hidrogént termelni. A nap- és a szélenergiában rejlő hatalmas potenciál miatt úgy tűnik, hogy valószínűleg ezeket a forrásokat a jövőben majd szélesebb körben alkalmazzák. A piacon elérhető elektrolizáló hatékonysága 60-tól 73%-ig terjed, így az egyik gyakran hangoztatott probléma, hogy nem elég hatékonyak. Azonban – bár minden bizonnyal nagyon fontos – a hatékonyság önmagában nem lehet a meghatározó tényező, különösképpen nem az új technológiákról való döntéshozatalnál. A víz bontásához szükséges energiát nyerhetjük a hő és az elektromosság kombinációjából is. A közlekedéshez használt hidrogén előállításához szükséges víz mennyisége nem nagy. A 230 millió jármű üzemanyagcellás járművé alakítása esetén kb.

évi 100 milliárd gallon vízre van szükség a hidrogénigény kielégítésére. A jövő hidrogéntermelésére hatást gyakorolhatnak olyan fenntartható hidrogéngyártási technológiák, mint pl. a fotobiológiai vagy a fotoelektrokémiai megközelítések (lásd 7.7. ábra). Ezek a rendszerek a hidrogént közvetlenül a napfény segítségével állítják elő a vízből, és lehetőséget kínálnak a napenergiától a hidrogénhez vezető út hatékonyságának növelésére és a rendszer tökeköltségének csökkentésére, de továbbra is nagy területre van szükségük a napfény begyűjtéséhez. Ezek a rendszerek lehetővé teszik a tengervíz követlen alapanyagként való felhasználását a nagy tisztaságú vizek használata helyett (lásd 7.8. ábra).



7.7. ábra A foto-elektrolitikus cella működési elve (IEA, 2006.)



7.8. ábra A foto-biológiai hidrogéngyártás működési elve (IEA, 2006.)

7.3.2. Környezeti hatások

A hidrogén használata segíthet a légköri CO_2 csökkentésében, különösképpen, ha a járművekben a hagyományos fosszilis üzemanyagok helyett kerül energiaforrásként felhasználásra. A Nemzetközi Energiaügynökség (International Energy Agency, IEA) 2011-es jelentése szerint a közlekedési ágazat a felelős világszerte a fosszilis üzemanyagok égetéséből eredő CO_2 kibocsátások 23%-áért (ennek legnagyobb részét a személyautók és a teherautók adják). Az előrejelzések szerint 2035-re a közúti szállítási iránti kereslet globális szinten 40%-kal fog megnövekedni. A hidrogén üzemanyagcellákkal működtetett járművek jelentősen csökkenthetik az üvegházhatású gázok kibocsátását, mivel itt az egyedüli melléktermék a hő és a víz. A National Academy of Sciences (Nemzeti Tudományos Akadémia) előrejelzése szerint 2020-ra 2 millió hidrogénhajtású jármű lehet az utakon, és ez a szám 2030-ra 25 millióra

nővekedhet. Ez a könnyű-haszongépjárművek üvegházhatású gáz kibocsátásában 2035-re 20%-os, míg 2050-re még ennél is nagyobb, 60%-os csökkenéshez vezetne. Bár maga az üzemanyagcella nem bocsát ki CO₂-ot, ezek a járművek nem teljesen „zöldek”, mivel a hidrogéngyártási technológiáknál is sor kerül némi üvegházhatású gáz kibocsátásra. A két általános módszer, a földgáz gőzreformálás és a szén elgázosítása során egyaránt a kinyerési folyamatoknál CO₂ szabadul fel. Azonban amikor figyelembe vesszük az üzemanyaggyártás emisszióit, akkor a hidrogén üzemanyag esetében még mindig jóval kisebb mennyiségben történik üvegházhatású gázok kibocsátása, mint a fosszilis üzemanyagok (kőolaj alapú üzemanyagot használó autók) esetében.

A nemrégiben közreadott kutatás bizonyítja, hogy az üzemanyagcellás gépjárművek földgáz alapú hidrogént használva a teljes üvegházhatású gáz kibocsátást a hagyományos benzines, belsőégésű motorral működő járművekhez képest 60%-kal csökkentik. Természetesen ez az arány még nagyobb lehet, ha a hidrogén előállítására kevésbé szén-intenzív technológiát használnak. A hidrogén megújuló energiaforráson alapuló elektrolízissel történő gyártása során az üvegházhatású gázok kibocsátása csekély vagy nem is kerül rá sor, így ez számít az egyik legkörnyezetbarátabb üzemanyagforrásnak. A megújuló energiát felhasználva gyártott hidrogén teljes

üvegházhatású gáz kibocsátása a gyártástól az üzemanyagcellás járműben való felhasználásáig alacsonyabb, mint a hagyományos benzines, bioüzemanyagos vagy hibridüzemű járművéké. A CO₂ kibocsátások csökkentése érdekében a tudósok azon dolgoznak, hogy olyan módszerekkel nyerjenek ki hidrogént, amelyek szén-dioxid leválasztási és tárolási (CCS) technológiákat alkalmaznak. Ezek a keletkező szén-dioxidot a levegőbe való kibocsátását megelőzően megkötik, szállítják és tárolják is. A CCS technológiával a hidrogéngyártás során keletkező CO₂-t egy tárolóhelyre szállítják, majd magas nyomással mélyen a föld alatt húzódó földüregekbe injektálják, ahonnan nem tud feljutni a légkörbe, és így nem járulhat hozzá a globális felmelegedéshez. Ezeket a technológiákat alkalmazva a hidrogéngyártás még inkább környezetbaráttá tehető. A CCS és a széngázosítás kombinációja megfizethető és alacsony üvegházhatású gáz kibocsátású hidrogéngyártást tesz lehetővé. A folyamat során a szenet elgázosítják, és ez a gáz többek között hidrogént is tartalmaz. A hidrogént azután több lépésben nyerik ki. A CCS technológiával a CO₂ kibocsátások a széntüzelésű erőművekkel összevetve akár 90%-kal is csökkenthetők. Azonban egyes tudósok szerint a hidrogénenergia jelenleg nem olyan tiszta, mint amilyennek hangzik. A hidrogéngyártás során potenciálisan bekövetkező üvegházhatású gáz kibocsátáson túl, maga a hidrogén is veszélyt jelenthet a légkörre. Nem lehetséges úgy gyártani, tárolni és szállítani

a hidrogént, hogy valamennyi ne szökne el a légkörbe. Ahogy egyre több hidrogént használnak majd, az elszökött hidrogén felhalmozódhat a légkörben, bontva az ózonréteget, és ezzel hozzájárulva a globális felmelegedéshez. A tudósok próbálnak környezetbarátabb módszereket kidolgozni a hidrogén gyártására. Eddig ezek egyike sem lépett a számítógépes modelleken és a kutatólaboratóriumok falain túl. Például az olyan elektrolízissel termelt hidrogénnek, amely megújuló energiával - mint pl. szél- vagy napenergiával - termelt elektromos áramot használ, nulla vagy nulla körüli az üvegházhatású gáz kibocsátása, és ez elméletben nagyon vonzó. Mégis, a jelenleg ténylegesen termelt hidrogén kevesebb mint 5%-át állítják elő ennek a módszernek a segítségével. Úgy tűnik, hogy ez a közeljövőben sem lesz másként, mert jelenleg nem működik olyan kereskedelmi léptékű, nulla-kibocsátású hidrogéntermelő üzem, amelyen mindez bemutatható és bizonyítható.

Hivatkozások

Antonio, F de O. (2010.) Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(3), 899-918.

World Energy Council. (2016.) World Energy Resources 2016.

Esteban, Miguel, & Leary, David. (2012.) Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy. *Applied Energy*, 90(1), 128-136.

Frid, Chris, Andonegi, Eider, Depestele, Jochen, Judd, Adrian, Rihan, Dominic, Rogers, Stuart I, & Kenchington, Ellen. (2012.) The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 133-139.

International Energy Agency (IEA), (2006.), Hydrogen Production and Storage

A <http://www.alternative-energy-tutorials.com/wave-energy/wave-energy-devices.html> hivatkozás alatti weboldal (2017.)

Leveque, Francois, Glachant, Jean-Michel, Barquin, Julian, von Hirschhausen, Christian, Holz, Franziska, & Nuttall, William J. (2010.) *Security of Energy Supply in Europe. Natural Gas, Nuclear and Hydrogen*: Edward Elgar.

Pelc, Robin, & Fujita, Rod M. (2002.) Renewable energy from the ocean. *Marine Policy*, 26(6), 471-479.

Rourke, Fergal O, Boyle, Fergal, & Reynolds, Anthony. (2010.) Tidal energy update 2009. *Applied Energy*, 87(2), 398-409.

Tabak, John. (2009.) *Natural Gas, Nuclear and Hydrogen*: Infobase Publishing.

8. FEJEZET

GEOTERMIKUS ENERGIA

A fejezet szerzője: Aleksandra SRETENOVIC

A Belgrádi Egyetem Gépészmérnöki Kara, Belgrád, Szerbia

e-mail: asretenovic@mas.bg.ac.rs

Kivonat: A geotermikus energia igen jelentős lehetőségeket rejt, és a Föld folyamatos hőkibocsátása miatt a világon mindenütt megtalálható. A különböző hőmérsékleti szintek révén a geotermikus energia használható áramtermelésre és különféle egyéb hőigények kiszolgálására. A hő forrása lehet a víz (alacsony, közepes vagy magas hőmérsékleti szintű) vagy a talaj (forró kőzetek). A források magas hőmérsékletű vize (vagy gőze) használható áramtermelésre, a közepes hőmérsékletű víz használható közvetlenül fűtésre vagy ipari célokra, míg az alacsony hőmérsékletű víz és a talaj hője főként hőszivattyúk számára szolgál hőforrásként. Ismertetünk néhány széles körűen alkalmazott vagy ígéretes műszaki megoldást. Szólunk a geotermikus energia használatának környezeti hatásairól.

Képzési célok:

A fejezet elsajátítását követően a tanuló:

- Ismeri a geotermikus energia lehetőségeit és elérhetőségét
- Megérti és el tudja mondani a geotermikus energia alkalmazásának környezeti hatásait

- Kritikusan tud beszélni a geotermikus energia-használat lehetséges alkalmazásaihoz kapcsolódó kérdésekről

A geotermikus energiát a bolygó 4,5 milliárd évvel ezelőtti kialakulásából származó maradékhő (kb. 40%-ban), valamint a természetben előforduló radioaktív izotópok bomlásából származó hő (a maradék 60%) adja (Glassley, 2014.). A földben lévő termikus energiát a kőzet valamint a kőzetrepedésekben és pórusokban található természetes folyadék foglalja magába, különböző hőmérsékleti szinteken (Leveque és mtsi., 2010.). A történelem során a meleg geotermikus folyadékokat főzésre és fürdőzésre használták, de a XX. század elején ezt a megújuló energiaforrást szélesebb körű ipari és kereskedelmi célokra kezdték el alkalmazni, így például áram termelésére. A Föld kérgén keresztüli átlagos hőáramlás közel 59 mW/m^2 . A legtöbb szárazföldi területen a hőáramlást két elemi folyamat okozza: a Föld köpenyétől és magjából induló hőáramlás és hővezetés, valamint a földkéregben található radioaktív elemek (urán, tórium és káliumizotópok) bomlásából származó hő. A vulkanikusan vagy tektonikusan aktív régiókban magasabb hőáramlást jegyeznek. Ez az oka annak, hogy az emberek a geotermikus energiát általában csak ezekhez a helyekhez kapcsolják. Ilyen helyek Izland, Új-Zéland, Japán, a Yellowstone Nemzeti Park (az utóbbi idők vulkáni tevékenységei). Gyakran figyelmen kívül hagyják,

hogy a geotermikus energiaforrás használata sok más régióban is lehetséges.

Áram termeléséhez olyan mélységekbe kell lefúrni, ahol magas hőmérsékletű (150-200°C-os) hő található. Más fűtési alkalmazásoknál elegendő alacsonyabb, 100-150°C-os hőfokot elérni. A geotermikus hő közvetlenül és közvetve is használható épületek fűtésére és hűtésére, a fűtés, szellőztetés és légkondicionálás és hűtés (heating, ventilation, air conditioning, cooling; HVAC) - áramigényének csökkentésére (Glassley, 2014.). Még az 50°C alatti hőmérsékleteken is számos célra lehet hasznosítani a geotermikus energiát. A legáltalánosabban elterjedt technológiát a geotermikus hőszivattyúk jelentik. Ezek alacsony szintű energiát használnak, amely könnyen elérhető 2-200 m közötti mélységben, és épületek fűtésére és hűtésére alkalmazzák, ezzel jelentősen csökkentve a villamos energia költségeket. Bár a földfelszín közelében a hőmérséklet függ a külső időjárási viszonyoktól, a 3 m-nél mélyebb rétegek hőmérséklete a Föld belsejéből eredő folyamatos hőáramlásnak köszönhetően közel állandó. A geotermikus hőszivattyúk egyik kiemelkedő tulajdonsága a levegő-víz hőszivattyúkhöz képest, hogy egész évben állandó hatékonysággal működnek (a hatékonyság nem változik a külső levegőhőmérséklettel). A geotermikus energia számos kiemelkedő tulajdonsággal bír: nincs szüksége külső fűtőanyag infrastruktúrára, mivel a Föld belső rétegeiből a hő utánpótlása állandó. Az áramtermelés

üvegházhatású gáz kibocsátása a fosszilis tüzelőanyaggal fűtött erőmű értékéhez képest több mint 90%-kal kevesebb vagy egyáltalán nincs is. Ez az energiaforrás sokféleképpen fordul elő, ezáltal különféle célokra alkalmazható. A közepes hőmérsékletű geotermikus hő közvetlenül használható élelmiszer-feldolgozásra, anyagok szárítására, mezőgazdasági tevékenységekhez és üvegházakhoz, haltenyésztéshez (akvakultúrához) és papírgyártáshoz. Bár ezek a közvetlen alkalmazások fejlettek és sikeresnek bizonyultak, még mindig viszonylag ismeretlenek és mérhetetlenül kihasználatlanok. A geotermikus energia leghatékonyabb felhasználását ott találhatjuk, ahol a rendelkezésre álló forrás és technológia összhangban van az adott energiaszektor igényeivel. A hő- és energiatermelés kombinálása a kapcsolt energiatermelésű és a hibrid rendszerekben, valamint a hőszivattyús alkalmazások olyan opciók, amelyek lehetővé teszik az energiamegtakarítás javítását (Leveque és mtsi., 2010.). A geotermikus energiának számos olyan tulajdonsága van, amely a jövő fenntartható energiaszerkezetére tekintettel kívánatosá teszi azt, nevezetesen a széles körű elterjedtsége, az, hogy tárolás nélkül képes alapterhelést továbbítani, kicsi a lábnyoma és alacsonyak a kibocsátási értékei. A geotermikus energia az egyike azon kevés megújuló energiaforrásoknak, amelyek képesek biztosítani a folyamatos alapterhelést adó áramot, és minimális hatással vannak a látképre és a környezetre. Ezeknek a

rendszereknek az ökológiai lábnyoma kicsi, és jóformán nincs kibocsátásuk. Ha az alapterhelés számottevő részét geotermikus forrásokból fedeznénk, azzal kiválóan lehetne pufferelni a gáz áringadozásából és ellátási zavarából eredő instabilitásokat.

8.1. Áramtermelés geotermikus energiával

A geotermikus erőművek fő tulajdonsága, hogy azokat jellemzően alapterhelést biztosító üzemnek tervezik. Ez megkülönbözteti őket olyan más megújuló erőforrásoktól, mint a szél- vagy a napenergia, amelyek rendelkezésre állása erősen időszakos jelleget mutat. A nap- vagy szélenergia alapú áramtermelés időszakos jellege (és gyakori kiszámíthatatlansága) miatt az ilyen létesítmények nem képesek megbízható alapterhelés kapacitást biztosítani. Az alapterhelés az, amely fenntartja a legtöbb infrastrukturális rendszert. Ennek megbízhatónak kell lennie, és ellátását egyenletes energiaforrással kell megoldani. Tekintettel arra, hogy a geotermikus energia kibocsátása a Föld belsejéből soha nem szűnik meg, az alapterhelést biztosító erőművek energiaforrásaként kiváló választás lehet. Először 1904-ben, az olaszországi Lardelloban állítottak elő áramot geotermikus gőz segítségével (Leveque és mtsi., 2010.). Azóta más hidrotermikus fejlesztésekre is sor került, például a Gejzireknél telepített gőzmező Kaliforniában, forróvizes rendszerek az új-zélandi Wairakei-ben, Mexikóban,

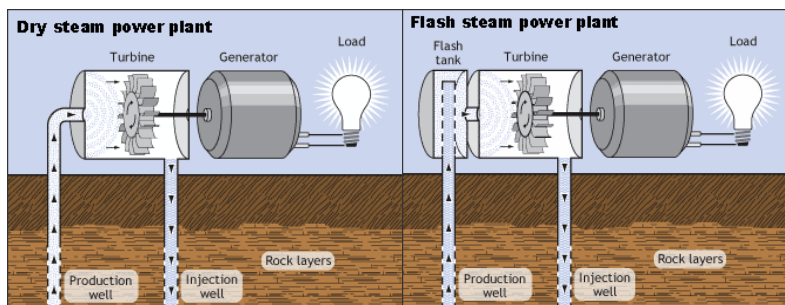
Reykjavíkban Izlandon, Indonéziában és a Fülöp-szigeteken, melyek mind hozzájárultak a XXI. század elején elért közel 10 000 MW(e) telepített áramtermelő kapacitáshoz, míg a közvetlen felhasználási kapacitás már meghaladja a 100 000 MW(t) értéket (termikus MW) (Glassley, 2014.). A geotermikus áramtermelés egy másik fontos jellemzője, hogy nem igényel külső üzemanyag-ellátási infrastruktúrát. Mivel ez az energia természetes körülmények között fordul elő, az erőmű közelében, nincs szükség üzemanyag-szállításra. Ez pedig mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból kívánatos. Az újabb vizsgálatok bizonyították, hogy a geotermikus áramtermelés is lehet rugalmas. Ahhoz, hogy egy erőforrás rugalmas legyen, az áramfejlesztőnek arra van szüksége, hogy az áramtermelő egységből érkező elektromos teljesítmény az áram iránti igénynek a nap folyamán való változását és a villamosenergia-hálózatba leadott energia változását figyelembe véve tudjon növekedni vagy csökkenni. A rugalmas áramtermeléshez további elemeket és üzemeltetési stratégiákat kell betervezni, ezek teljes megvalósítása pedig még folyamatban van. Jelenlegi formájában a rugalmas áramtermelést az áramfejlesztő berendezésbe bevezetett forró geotermikus folyadék mennyiségének változtatásával érik el. Ezt vagy úgy oldják meg, hogy másodlagos csővezeték körök segítségével kikerülik az áramfejlesztő berendezést vagy úgy, hogy szabályozzák a geotermikus folyadéknak a tárolóból való kinyerésének mértékét. A

geotermikus energián alapuló áramtermelés a mélyebb rétegekben lévő geotermikus hő elektromos energiává alakításának képességére épül. Az ehhez szükséges berendezés egy csőkomplexum, amely a mélyből a forró folyadékokat egy felszíni turbinaegységhez vezeti, ahol a hőenergia a turbina forgásával mozgási energiává alakul. Majd a turbina mozgási energiája elektromos generátor segítségével alakul át elektromos energiává.

Ahhoz, hogy egy geotermikus helyszín hasznosítható legyen, rendelkeznie kell olyan gőztermelő kapacitással, amely elég magas ahhoz, hogy az áramtermelést gazdaságossá tegye. Bár az olyan feltételek, mint az építési költségek, a feltárási befektetés, az elektromos infrastruktúrához való hozzáférés és más megfontolások nagy hatással vannak arra, hogy az adott telephely gazdasági szempontból életképes lesz-e, általánosságban úgy tartják, hogy ahhoz, hogy az áramátviteli infrastruktúrához fel lehessen használni, több mint egy MW termelési kapacitásra kell alkalmasnak lennie. Ha helyi felhasználásra tervezik, mint például egy kisebb közösség, pár ipari épület vagy egy egyetemváros áramellátására, akkor sokkal kisebb (pár tíz-kW-os) egységek is gazdaságosan alkalmazhatók. A geotermikus erőforrást értékelni kell a forrás nyomása és a kútfej szempontjából, valamint a folyadéknak a turbinán való átáramlási sebessége szempontjából is. A szárazgőzös rendszerek ritkák, de ezek jelentős áramtermelésre

képesek. Ennek egy sikeres példája a kaliforniai Gejzírmező (1. ábra), melynek a jelenlegi telepített kapacitása kb. 1400 MW, amelyből 933 MW üzemel. Ezzel ez a világ legnagyobb geotermikus áramtermelő telepe, és itt még további áramtermelő kapacitások fejlesztése is folyamatban van. Ezen kívül az egyedüli működő szárazgőzös létesítmény az olaszországi Lardello.

Ez a folyamat olyan termelőket alkalmaz, amelyek több száz vagy akár több ezer méterrel a felszín alá hatolnak, alacsony szintű utat biztosítva a tározókban található folyadék mélyből való felemelkedéséhez. Az injekciós (visszasajtoló) kutak a tározóknak a visszaforgatott kondenzációs vízzel való feltöltésére szolgálnak, melyet (szükség esetén) további vízforrásokból pótolnak ki. A tározóknak számos fajtája létezik. A szárazgőz tározók entalpiája elegendő az összes rendelkezésre álló víz elpárologtatására. Az ilyen rendszereket a legegyszerűbb kialakítani, és az összes geotermikus erőforrás közül ezekben áll rendelkezésre a legtöbb energia. Ugyanakkor geológiai ritka képződmények (lásd 8.1. ábra).

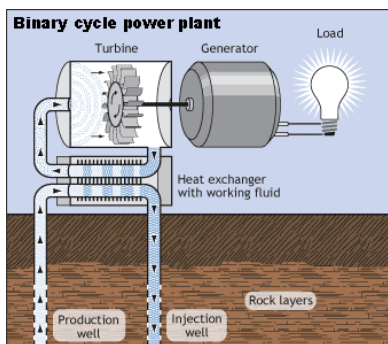


8.1. ábra Szárazgőzös erőmű **8.2. ábra** Nedvesgőzös erőmű
(www.energy.gov) (www.energy.gov)

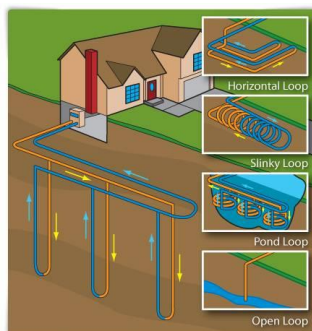
A másik, szélesebb körben elterjedt hidrotermikus rendszer általában elegendő hővel rendelkezik (160°C – 250°C -os hőmérsékleti tartományban), megnövekedett nyomás alatt, hogy lehetővé tegye a turbinához közelítő víz hirtelen gőzzé alakulását (lásd 8.2. ábra). Amikor a gőz lehűl, vízzé kicsapódik, és a földbe visszainjektálásra kerül, hogy majd újra lehessen hasznosítani. A szárazgőzös és a hidrotermikus áramtermelő erőművekben az áram úgy keletkezik, hogy a gőz a folyadéktól a lehető legtöbb energia elvonására tervezett turbinaegységben való tágulásakor és lehűlésekor kiterjeszkedik. Az alacsonyabb hőmérsékletű geotermikus erőforrásokat kettős ciklusú erőművek alkalmazásával lehet áramtermelésre használni. Ezek munkaközegként olyan egyéb folyadékot alkalmaznak (rendszerint valamilyen szerves vegyületet, pl. izopentánt, propánt vagy valamilyen vizes ammóniaoldatot), amelynek a forráspontja jóval a vízé alatt van. A kettős ciklusú

erőműben a geotermikus víz egy hőcserélőn folyik át, hőjét átadja a munkaközegnek, majd visszainjektálásra kerül a tározóba (lásd 8.3. ábra). A kettős ciklusú erőművek a geotermikus energia piacának leggyorsabban növekvő szegmensévé kezdenek válni. Meg van az az előnyük, hogy alacsonyabb hőmérsékletű erőforrást igényelnek, nem bocsátanak ki gázokat a légkörbe, és modulárisan építhetők (Leveque és mtsi., 2010.)

Ma, amikor világszerte közel 10 000 MW elektromos energiát termelnek geotermikus rendszerekkel, a kereskedelmi forgalomban számos, különböző fejlettségi szintű energiaátalakítási technológia áll rendelkezésre (közvetlen gőztágulás, egy- és több-fokozatú kigőzölögtetés, szerves kettős Rankine ciklusok, kétfázisú expanderek). A geotermikus energia elektromos energiává való átalakításának vannak az adottságaiból fakadó korlátai, mivel a fosszilis tüzelőanyagok égési hőmérsékletéhez képest a geotermikus folyadékok hőmérséklete sokkal alacsonyabb.



8.3. ábra Kettős ciklusú geotermikus erőmű
(www.energy.gov)



8.4. ábra Geotermikus hőszivattyú
(<http://www.dustymars.net/he at-pump-geothermal/>)

Az alacsonyabb energiájú hőmérsékletek a folyadék hozzáférhetősége vagy az exergia tekintetében alacsonyabb maximális munkaképességet – és a termodinamika második főtételének értelmében pedig alacsonyabb hő-áram átalakítási hatásfokot – eredményeznek. A hozzáférhetőség értéke azt a maximális mennyiségű elektromos energiát adja meg, amelyet a kitermelt geotermikus folyadék adott áramlási sebességénél adott hőmérsékleten és sűrűségben vagy adott nyomáson termelni képes. A geotermikus átalakító rendszerek hasznosítási hatékonysága jelenleg a gyakorlatban jellemzően 25-50%-os hatásfokú. A jövőbeni mérnöki gyakorlatban ezt szeretnék 60%-ra vagy afölé növelni. Ez további kutatás-fejlesztési célú befektetéseket igényel, hogy a hőmérsékleti különbségek minimálisra

csökkentésével, a hőátadási együtthatók növelésével és az átalakítók, mint pl. a turbinák, a turbo-expanderek és a szivattyúk mechanikai hatékonyságának növelésével javítani lehessen a hőátadási lépéseket.

Geotermikus hőszivattyúk

A geotermikus hőszivattyúk azt az alacsony hőmérsékletű geotermikus hőt használják fel, amely a viszonylag sekélyebb felszín alatti rétegekben (300 m-nél kisebb mélységben) található. Ezt a réteget a Föld belsejéből jövő folyamatos hőáramlás a talajra érkező napsugárzással együtt egész évben viszonylag állandó hőmérsékletű energiaforrássá teszi. Ez a hatásfok szempontjából nagyon fontos (a fűtőteltjesítmény valamint a levegő-víz hőszivattyúk jóságfoka avagy COP értéke az alacsonyabb környezeti hőmérsékletek esetében jelentősen csökken). A jelenleg elérhető geotermikus hőszivattyú technológia 3-5 közötti jóságfokot biztosít, ezzel lehetővé téve, hogy a hőszivattyú legyen a legjobb energiahatékonyságú fűtés, szellőztetés, légkondicionálás és hűtés célú berendezés. Ezeknek a rendszereknek a méretezése és kialakítása a gyakorlatban jól ismert és fejlett, de kritikus fontosságú a geotermikus forrás tulajdonságainak megfelelő vizsgálata, és az épületben lévő rendszerek igényeivel való összehangolása (lásd 8.4. ábra).

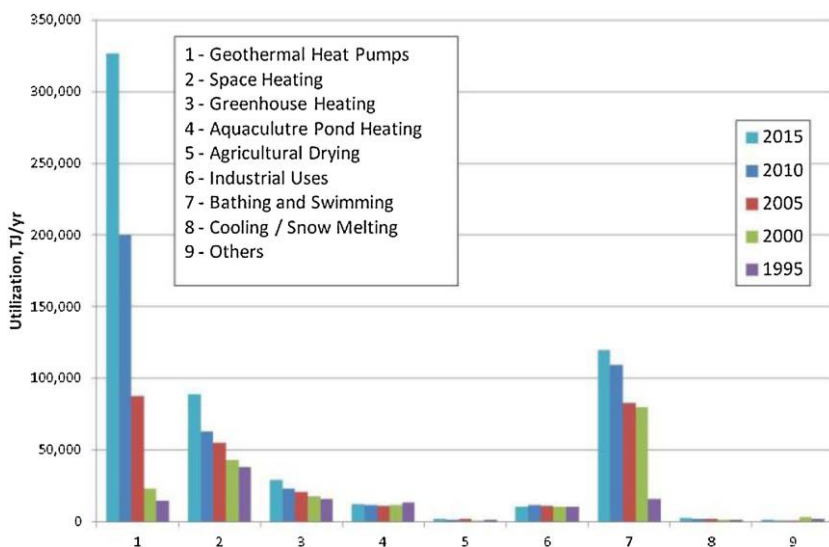
A geotermikus energia közvetlen felhasználása

A geotermikus áramtermeléstől eltérően, ahol a hőt elektromos árammá alakítják át, a közvetlen alkalmazásoknál a hőenergiát közvetlenül bevezetik valamilyen folyamatba. A 10-150°C-os hőmérsékleti tartományba eső geotermikus energia alkalmas arra, hogy az ipari igények széles skáláján biztosítsa a szükséges hőt.

2010-ben éves szinten világszerte mintegy 122 TWh hőenergiát használtak fel közvetlen alkalmazásban, amit 50 583 MW-os telepített kapacitás szolgáltatott (Lund & Boyd, 2016.). A közvetlen felhasználású alkalmazások telepített kapacitásának növekedése az ilyen típusú rendszerek nemzetközi fejlesztésének gyors növekedését mutatja. 1985-ben 11 ország számolt be arról, hogy 100 MW-ot meghaladó mértékben használ közvetlenül geotermikus energiát. 2010-re az ilyen országok száma 78-ra nőtt. A közvetlen felhasználás különféle kategóriáit összesíti a 8.1. táblázat, a 8.5. ábrán pedig az 1995-2015 közötti időszak energiahasználati értékeinek összehasonlítása látható.

	Kapacitás [MWt]	Felhasználás [TJ/év]
Geotermikus hőszivattyúk	50 258	326 848
Épületfűtés	7 602	88 668
Üvegházak fűtése	1 972	29 038
Haltenyészetek tavainak fűtése	696	11 953
Mezőgazdasági szárítás	161	2 030
Ipari célok	614	10 454
Fürdők, úszómedencék	9 143	119 611
Hűtés/hó leolvasztása	360	2 596
Egyéb	79	1 440
Összesen	70 885	592 638

8.1. táblázat A geotermikus energia közvetlen felhasználási kategóriáinak globális szintű összesítése a 2015-ös évre vonatkozóan. (Lund & Boyd, 2016.)



8.5. ábra A geotermikus energia felhasználásának globális értéke éves szinten 1995., 2000., 2005., 2010. és 2015. évben, TJ/év-ben megadva. (Lund & Boyd, 2016.)

A közvetlen alkalmazási rendszerek mindegyikénél részletesen értékelni kell a hőveszteségeket, a terhelési igényt, és a lehetséges geotermikus hőszolgáltatás nagyságrendjét. Az ilyen alacsony vagy közepes hőmérsékletű erőforrások használatának hatáskör növelhető, ha több alkalmazást kombinálunk, lépcsőzetes rendszerben. Az ilyen rendszerek lehetővé teszik, hogy a lehető legnagyobb mennyiségű hő kerüljön hasznos munkaként felhasználásra. A geotermikus energia közvetlen felhasználásának egyik fő előnye, hogy jelentősen csökkenti vagy teljesen kiváltja a rendszerint

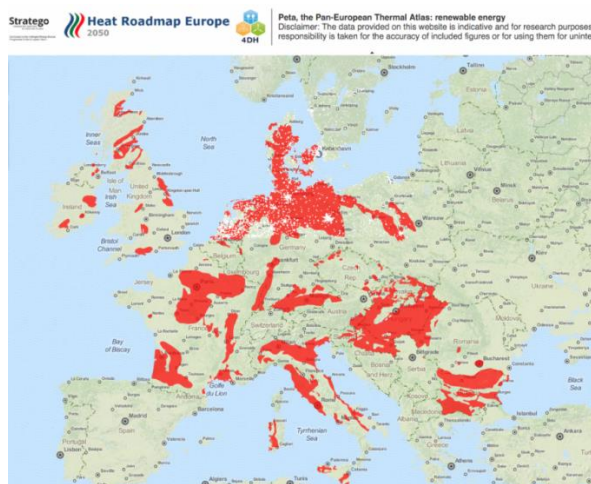
fosszilis tüzelőanyagokkal működtetett rendszerekből származó energia fogyasztását. Továbbá magas a kapacitástényezőjük, és csökkentik a tűzveszélyességet, mivel szükségtelenné teszik az égést. Így a hagyományos technológiákkal szemben jelentős előnyöket biztosíthatnak. Az üvegházhatású gázok kibocsátását is nagy mértékben csökkentik.

Távfűtés

2010-ben az épületfűtés a közvetlen felhasználású alkalmazások által éves szinten elfogyasztott 423 830 TJ energiából 63 025 TJ-nyit tett ki. 2015-ben ez az érték az éves 592 638 TJ-ból 88 688 TJ volt. Ez a geotermikus energia közvetlen felhasználási céljai közül világszerte a harmadik legnagyobb (8.5. ábra). Az épületfűtési alkalmazások többnyire az épületeket a szükséges hővel ellátó távfűtési hálózatok. A rendszer részét képezi a geotermikus hőforrás, a csőhálózat, a vezérlőrendszer és az elhasznált víz ártalmatlanítására vagy visszasajtolására használt rendszer. Ha a geotermikus folyadék hőmérséklete elég magas ($>65^{\circ}\text{C}$), akkor a sekély kútból vagy forrásból kinyert forró víz közvetlenül bevezetésre kerül, a folyadék közvetlen elvezetésével. A közepes hőmérsékletű helyeken a geotermikus forrásból származó folyadék hőcserélőbe kerül, és ez teszi lehetővé a hő zártláncú hálózatban való átadását. Az olyan helyeken, ahol alacsony hőmérséklet áll rendelkezésre, ajánlatos

hőszivattyúkat használni, mivel ezeknél a rendszereknél plusz energia bevitelére van szükség.

Egy európai támogatással készült tanulmány részeként tették közzé az „Európa hőatlasza” c. térképet (lásd 8.6. ábra). Ez az Európán belüli különböző fűtési lehetőségeket és a jelenlegi hőigényeket, valamint a távfűtésre használható napenergia, biomassa- és geotermikus energia lehetséges mértékét mutatja. Ez az energiatervező eszköz az európai kormányok, vállalkozások, tanácsadók, akadémiák és tervezők számára jó alapot ad ahhoz, hogy az energiahatékonysági intézkedésekbe, valamint a még kihasználatlan alternatív energiaforrások fűtésre és hűtésre való felhasználásába való befektetésekről megalapozott döntéseket hozhassanak.



8.6. ábra Európa hőatlasza (Forrás: heatroadmap.eu)

Haltenyésztés

A geotermikus folyadékok egyik legegyszerűbb közvetlen felhasználása a haltenyésztésben lehetséges. A geotermikus folyadékok számos különféle halfaj és más vízi élőlény nevelésére használhatók - ilyenek például a harcsa, a sügér, a márna, az angolnák, a lazac, a pisztráng, trópusi halak, homárfélék, aligátorok, algák, garnélarák, kékkagylók, fésűskagylók stb. A geotermikus hőt felhasználva a hőmérséklet a tenyésztés és a nevelés igényeinek, valamint az adott állat egészséges életfeltételeinek megfelelően optimalizálható.

Szárítás

A geotermikus hőt gyakran használják élelmiszertermékek, pl. vöröshagyma, hús, gyümölcsök, burgonya, fűszerek vagy cukor szárítására, de olyan anyagokhoz is, mint pl. a faanyag, a beton blokkok és így tovább. Erre a célra használva a geotermikus hő üzemanyagot takarít meg a hagyományos fosszilis tüzelőanyaggal fűtött kazánokhoz képest. Mivel nincs égés, tűzveszély sincs. Továbbá a hő- és energiatermelés kombinálása a kapcsolt energiatermelésű és a hibrid rendszerekben, valamint hőforrásként és hűtőközegeként egyaránt való alkalmazás a hőszivattyús rendszerekben olyan opciók, amelyek lehetővé teszik az energiamegtakarítás javítását.

8.2 A geotermikus energia hasznosításának környezeti hatása

A geotermikus energiarendszerek teljes életciklus-elemzésének eredményei azt mutatják, hogy ezek környezeti hatása a hagyományos erőművekéhez képest számottevően kisebb (Leveque és mtsi., 2010.). Figyelembe véve, hogy ez a megújuló energiaforrás a föld alatt található, és a rendszerekhez használt berendezések viszonylag kis méretűek, a környezet látképére összességében nincs nagy hatással. Az üvegházhatású gázok kibocsátása minimális. A geotermikus energia elérhetősége és egyenletessége lehetővé teszi, hogy megbízható alapterhelési erőmű forrásaként használják, tehát nincs szükség tároló vagy tartalék rendszerekre. Ezt az energiát nem egy adott helyszínen kell megtermelni majd onnan nagy távolságokra továbbítani, így a fosszilis vagy a biomassza erőforrásokhoz képest a megtakarítás jelentős. A megtakarítások nem csak a szállítási költségeken jelentkeznek, hanem a szállítás során kibocsátott üvegházhatású gázok mennyiségén is. A használatából minimális mennyiségű nitrogén vagy kén oxidok szabadulnak fel, és nincs szükség radioaktív anyagok elhelyezésére. A nemrégiben megjelent tanulmányokból az az általános következtetés vonható le, hogy a geotermikus erőművek kibocsátása és egyéb környezeti hatása minden más áramtermelési formáénál drasztikusan kisebb (Tester és mtsi., 2006.). A

geotermikus hőszivattyúk környezeti hatása erősen korlátozott, mivel általában az építés során kerülnek beszerelésre, és jellemzően felszín alatti hőcserélőt használnak, amely jóval a fagyhatár alá van temetve. Azonban van néhány olyan lehetséges hatás, amelyet a geotermikus energia még szélesebb körben való elterjesztését megelőzően értékelni és elemezni kell. A főbb aggályok a szeizmikus tevékenységek beindításához vagy a talajsüppedéshez, a vízhasználatához és a vízszennyezéshez kapcsolódnak. A fűréssel és a termeléssel kapcsolatban felmerülő zaj, biztonsági, tájképi és földhasználati problémák szintén fontos kérdések, de teljesen kezelhetők. Minden geotermikus áram fejlesztés esetén számos környezeti hatás léphet fel, ilyenek lehetnek: a gázkibocsátások, a vízhasználat és -szennyezés, a szilárdanyag-kibocsátások, a zajszennyezés, a földhasználat, a talajsüppedés, földrengések, földcsuszamlások kiváltása, a természetes élővilág élőhelyének és vegetációjának megzavarása, a természetes látképek megváltoztatása és a katasztrófák esetleges előidézése. Annak ellenére, hogy ez a lista ilyen hosszú, a napjaink és a közeljövő geotermikus energiát használó technológiai összességében sokkal kisebb hatást gyakorolnak a környezetre, mint a hagyományos fosszilis tüzelőanyagokra valamint az atomenergiára alapuló erőművek.

Gáz kibocsátások

A geotermikus száraz- vagy nedvesgőzös erőművek MWh-ként számítva sokkal kevesebb CO₂-t bocsátanak ki, mint a fosszilis tüzelőanyaggal fűtött erőművek, a kettős ciklusú erőművek pedig gyakorlatilag nem bocsátanak ki CO₂-t. A szabályozott szennyező anyagok - nitrogén oxidok (NO_x) és a kén-dioxid (SO₂) - koncentrációja a geotermikus száraz- és nedvesgőz erőművek gázként távozó kibocsátásában rendkívül alacsony. Az utóbbi időben megjelent adatok azt jelzik, hogy a geotermikus erőművek sokkal inkább környezetkímélők, mint más, hagyományos erőművek (Tester és mtsi., 2006.).

Vízszennyezés

A fűrásból és a termelésből eredő folyadékok oldott ásványi anyagokat tartalmazhatnak. Ezek mennyisége annál nagyobb, minél magasabb a folyadék hőmérséklete, így a magas hőmérsékletű (>230°C) források esetén ezt meg kell vizsgálni. Egyes elemek, mint pl. a bór és az arzén megmérgezhetik a talajt és a vizet, és káros hatással lehetnek a helyi élőhelyekre és vegetációra. Ha a rendszerben a kútbélés károsodik, akkor ezek a folyadékok kiléphetnek a környezetbe, és ott károkat okozhatnak. Ezért a fűrés és az üzemeltetés szakaszában figyelemmel kell követni a helyszínt, hogy elkerülhető legyen minden veszélyes szivárgás. Általában a környezet szennyeződésének elég kicsi a veszélye, mivel az összes

kitermelt folyadékot visszasajtolják (Tester és mtsi., 2006.).

Szilárdanyag kibocsátások

Gyakorlatilag esélye sincs annak, hogy a felszíni létesítmények vagy a környező területek a geotermikus folyadékból származó szilárd anyagokkal szennyeződjenek. Az egyetlen veszélyes helyzet az lehet, ha a folyadék kezeléséhez vagy az ásványi anyag kinyerő rendszerhez kapcsolódóan olyan baleset történik, amely során szilárd anyagok kerülnek a környezetbe. A biztonság kedvéért célszerű óvatosnak lenni olyan esetekben, ahol a szilárd anyagok eltávolításához a folyadékot vegyi kezelésnek kell alávetni. Az ilyen folyamatban használt vegyi anyagok mérgezőek lehetnek, és lehet, hogy ártalmatlanításukra bizonyos szabályok vonatkoznak (Tester és mtsi., 2006.).

Zajszennyezés

A geotermikus rendszerek működése által okozott zaj jelentősen nem különbözik más ipari létesítményekétől. A zajszint a fűrés, a stimuláció és a tesztelés fázisában a legmagasabb, ahol ez a szint a 80-115 dBA-s tartományon belüli. A rendszer rendes működésekor a zajszint 900 m-es távolságból nem haladja meg a 71-83 dBA-t. Ezek a szintek jelentősen csökkennek, amint egyre távolodunk a forrástól. Így ha figyelembe vesszük, hogy a geotermikus erőművek nagy geotermikus tározó területeken találhatók,

akkor zajproblémáknak nem igazán kellene előfordulnia. Összehasonlításképpen, a zsúfolt városi területeken a jellemző zajsztint 70-85 dBA körül van, míg, ha valaki nagyobb autópálya mellett él, az 90 decibeles zajjal jár (Tester és mtsi., 2006.).

Földterület használat

A vizsgált geotermikus erőmű földterületre gyakorolt hatása erősen függ a geotermikus folyadék tulajdonságaitól és a hulladékvíz elvezetésétől. Rendszerint ezek az üzemek a tározóhoz közeli helyszínen épülnek, a nyomás és hőmérsékletvesztés miatt, amelyet a hosszú csővezeték okozhat. Azért, hogy elkerülhető legyen a jelentős hatás a földterületre, és hogy a föld mezőgazdasági és egyéb célokra való használata lehetséges legyen, a csővezetékeket összegyűjtik, és pillérekre és tartósínekre szerelik fel. Így az erőmű teljes lábnyoma, a kiegészítő berendezéssel együttesen is viszonylag kicsi (Tester és mtsi., 2006.).

Hivatkozások

Glassley, William E. (2014.). *Geothermal energy: renewable energy and the environment*: CRC Press.

Leveque, Francois, Glachant, Jean-Michel, Barquin, Julian, von Hirschhausen, Christian, Holz, Franziska, & Nuttall, William J. (2010.) *Security of Energy Supply in Europe. Natural Gas, Nuclear and Hydrogen*: Edward Elgar.

Lund, John W, & Boyd, Tonya L. (2016.) Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66-93.

Tester, Jefferson W, Anderson, Brian J, Batchelor, Anthony S, Blackwell, David D, DiPippo, Ronald, Drake, E, . . . Nichols, Kenneth. (2006.) The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century. *Massachusetts Institute of Technology*, 209.

9. FEJEZET

VÍZENERGIA

A fejezet szerzője: Aleksandra SRETENOVIC

Belgrádi Egyetem, Belgrád, Szerbia

e-mail: asretenovic@mas.bg.ac.rs

Kivonat: A vízenergia használatának lehetőségei és jelenlegi állapota alaposan kidolgozottak. Számos különböző vízerőmű létezik. Ezek közül a főbb csoportok a következők: víztározó típusú, folyami erőművek, szivattyús energiatározók és a kisméretű vízerőmű rendszerek. Bemutatásra kerülnek a különböző típusokhoz tartozó technológiák. A vízerőművekben leginkább használt turbinák: az akciós turbinák (Pelton, Bánki) és a reakciós turbinák (propeller, Frances, kinetikus). Ismertetjük a vízerőművek környezeti hatását, kiemelve a ma már nem „zöld” energiaforrásnak tekintett nagyméretű erőművek és a kisméretű vízerőművek közötti különbségeket.

Képzési célok:

A fejezet elsajátítását követően a tanuló:

- Ismeri a vízenergia elektromos áram termelésére való lehetőségeit és elérhetőségét

- Tud beszélni a vízenergia alapú áramtermelés előnyeiről és hátrányairól (gazdasági, társadalmi és környezetvédelmi szempontokból)
- Megérti és el tudja mondani a vízenergián alapuló (nagy- és kisméretű) rendszerek lehetséges környezeti hatásait
- Kritikusan tud beszélni a vízenergia-használat lehetséges alkalmazásaihoz kapcsolódó kérdésekről (a rendszerek típusairól, az alkalmazott turbinákról)

9.1. Vízenergia rendszerek

A vízenergia kiforrott technológia, amelyet jelenleg mintegy 160 országban használnak áramtermelésre. A mintegy 1 060 GWe teljes kapacitásával (amely 2011-ben a világ elektromos áramtermelési kapacitásának 19,4%-a volt), a 2011-es adatok szerint a vízenergia éves szinten körülbelül 3 500 TWh-s termelést biztosít, amely a teljes globális áramtermelés 15,8%-át adta az adott évben. A vízerőművek több mint 35 országban adják legalább 50%-át a teljes áramellátásnak. Egyik előnyük, hogy vízszabályozást és öntözést biztosítanak. A vízenergia áramtermelésre való használata nagyon költséghatékony. Nagy hatékonyságot kínál alacsony működtetési és termelési költségek mellett, azonban a kezdeti befektetés költsége tetemes. Egy másik fő jellemzője a működés rugalmassága. A vízerőművek kapacitása 23 és 95% között változtatható, az adott erőmű céljától és a szolgáltatástól függően (alapterhelés, csúcsterhelés biztosítása).

A vízenergia globális műszaki potenciálja rendkívül jelentős, éves szinten nagyjából 15 000 TWh-ra becslik. Ennek a potenciálnak a fele Ázsiában, további 20%-a pedig Latin-Amerikában áll rendelkezésre. Európában, Afrikában, Latin-Amerikában és Ázsiában még további számottevő kihasználatlan műszaki potenciál található. Európának még a vízenergia szempontjából legfejlettebb régióiban is a műszakilag lehetséges felhasználásnak csupán kb. 50%-a teljesül. A kisméretű vízenergia rendszerek potenciálját 150-200 GWe-ra becsülik. Ennek a lehetőségnek napjainkig csupán kb. 20%-át használjuk ki.

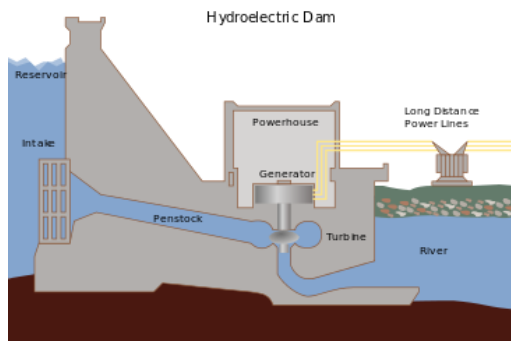
A nagyméretű vízenergia projektek azonban társadalmi ellenállásba ütközhetnek, a víz elérhetőségére, az ökoszisztémákra és a környezetre gyakorolt hatásuk, valamint a projekt által érintett területek lakosságának áthelyezése miatt. A vízerőművek főbb problémái közé tartoznak a társadalmi elfogadottság, a nagy kezdeti befektetési költségek és a lassú megtérülés, a hosszú jóváhagyási és építési ciklusok, valamint a koncessziós jogok és a hálózati csatlakozások megszerzésének és megújításának hosszú átfutási ideje. Ezek a kihívások nagy valószínűséggel határt szabnak a ténylegesen is megvalósítható vízenergia használati lehetőségeknek.

A vízenergia rendszereket a következőképpen csoportosíthatjuk (Egré & Milewski, 2002.):

- víztározó típusú rendszerek jelentős tárolókapacitással;
- folyami rendszerek kis tárolókapacitással vagy tárolókapacitás nélkül és folyóeltereléses rendszerek
- szivattyús energiatározó rendszerek;
- kis, mini és törpe vízmű rendszerek.

Víztározó típusú rendszerek;

A víztározós rendszereknél (lásd 9.1 ábra) a vizet egy gát mögé tározzák, hogy lehetővé tegyék az áramlás szabályozását egész éven át (napi vagy havi alapon), vagy nagy tározók esetében akár több éves időszakokra vonatkozóan is. A tározó a száraz évszakok és/vagy a csúcsigények idején is biztosítja az áramigény kielégítéséhez szükséges energiatartalékot.



9.1. ábra [Víztározó típusú vízerőmű](#)

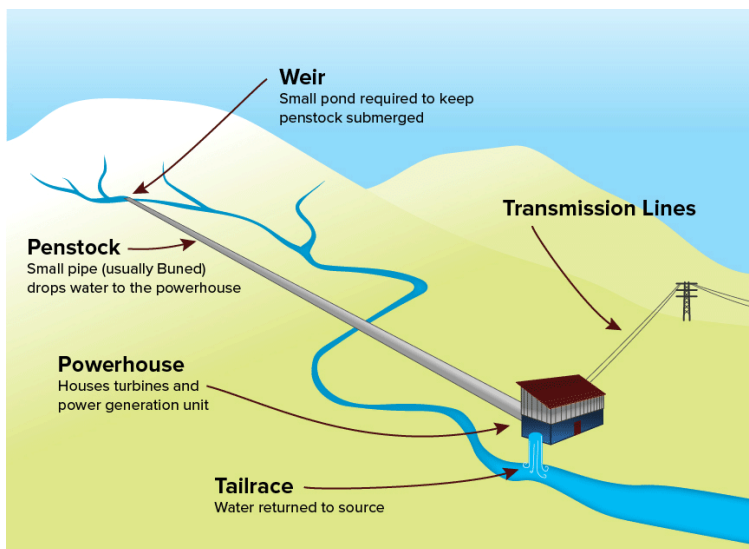
A víztározó típusú rendszerek környezeti hatásai a következőkből erednek:

- a gát, a töltések, árvízvédelmi töltések és az erőmű létesítéséhez kapcsolódó építési munkák;
- az infrastruktúra jelenléte (oda vezető utak, elektromos vezetékek, állomások, stb.);
- a folyó vízhozamának változásai;
- tározó létrehozása, amely akár nagyobb ökológiai változásokat is előidézhet a szárazföldi és a folyami környezetek tó-jellegű környezetté változtatásával, de a földhasználat megváltoztatásával is, mint pl. a közösségek és termelési tevékenységek áttelepítése.

Folyami vízerőművek

A vízenergia alapú áramtermelésnek ez a típusa a vízáramlást a folyó természetes medrén belül használja fel, anélkül, hogy (nagyobb) tározóra lenne szükség. Kis eséssel általában nagy folyók kisesésű szakaszaira, vagy nagy eséssel, kisebb méretű, meredekebb esésű folyókra tervezhetők. A folyami vízerőműprojektek (lásd 9.2 ábra) a folyó vízáramát teljes terjedelmében vagy részben is felhasználhatják. A teljes vízáramot felhasználó folyami rendszer által előállított áram mennyisége az év során jelentős változásokat mutathat, mivel függ a folyó vízhozamától. A legtöbb folyami vízerőművet ezért úgy alakítják ki, hogy az alapterheléshez szükséges, egész év során azonos kimenő teljesítményt a teljes vízhozam egy töredékét felhasználva biztosítsa. A folyóra épült vízerőművek energiahozama optimalizálásának egy általános stratégiája, hogy a felső vízgyűjtőn egy nagy

tározót építenek, amely a folyó alsóbb szakaszain lévő több folyami vagy tározós erőmű számára kiegyenlített vízhozamot biztosít. A nagyméretű tározó hiánya az összes folyami erőmű projektnél segít jelentősen lejjebb szorítani mind a társadalmi mind a környezeti hatásokat, mivel a folyó nem alakul át tóvá. Továbbá a folyó vízhozamának alakulása lényegében változatlan marad, ez pedig az erőmű alvízi oldalán jelentkező hatásokat csökkenti.



9.2. ábra [Folyami vízerőmű ábrája](#)

Folyóeltereléses vízerőmű rendszerek

A folyóelterelés lehet:

- A folyó folyásán belüli elterelés: A folyóra gátat építenek, és a víz folyását alagutakon keresztül a hegyoldalba vezetik, hogy majd később a vízfolyás

alsóbb szelvényeinél visszavezessék a folyómederbe.

- Vízválasztón keresztüli elterelés: Ez a stratégia növeli a vízerőműnek helyet adó befogadó folyó vízhozamát, az elterelt folyó alsóbb szakaszaiét pedig csökkenti.

A folyón belüli elterelések esetében a cél, hogy az erőműnél a nyomásmagasságot (avagy az esést) megnöveljék, ezzel növelve a rendelkezésre álló energiát és áramot. A vízválasztón keresztüli elterelések esetében is energianövekedés az eredmény. Ebben az esetben annak a befogadó víztestnek a vízhozamát növelve, amelyen az erőmű található. Az eltereléses vízenergia rendszerek sajátos környezeti hatása az elterelés alatti szelvények vízhozamának azonnali súlyos csökkenése vagy teljes megszűnése. Ez hatással lehet az alsóbb szelvények partjának eróziójára, vízhőmérsékletére és vízminőségére. Az ilyen hatások nagyságrendje függ az érintett ökoszisztémáktól, és különösképpen a vízbiológiától és a csökkent vízhozamú folyószakasz hosszától. A vízválasztón keresztüli eltereléseknél ezen felül jelentkező hatás a befogadó folyó megnövekedett vízhozamához kapcsolódik. A különböző hal vagy növényfajok egyik vízgyűjtőterületről a másikra való nem kívánatos áttérjedésének a veszélye is fenn áll.

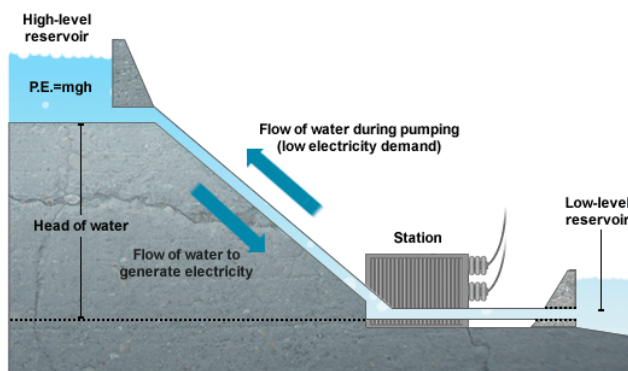
Végül kialakul egy új ökológiai egyensúly, amikor a csökkent vízhozamú folyók partját növények nővik be,

elbokrosodik, és szárazföldi állatvilág népesíti be, a megnövekedett vízhozamú folyók mentén pedig nagyobbak lesznek a vizes élőhelyek. A leghatékonyabb intézkedés, ha biztosítják az elterelés alatti szakaszokban is az ökológiai szempontból minimális vízhozamot, hogy fenntarthatassák a folyó élőhelyeit és az alvizek meglévő földhasználati módjait (halászat, hajózás, lakossági és ipari vízellátás, stb.). A legtöbb természetes vízfolyás vízhozama jelentős eltérést mutat a különböző évszakokban, és egyes folyók az év bizonyos szakaszaiban akár teljesen ki is száradhatnak. Az adott folyóhoz kapcsolódó ökoszisztéma az idők során alkalmazkodott a folyó vízhozamának alakulásához. Egy elterelt folyó ökológiai vízhozama tervezésének alapjául lehet venni a folyó legértékesebb vízi élőlény fajainak élőhelyét, hogy pl. minimálisra lehessen csökkenteni az ívőhelyek elvesztését. Egy csökkentett vízhozamú folyóban az elterelést megelőző feltételekhez hasonló vízszintek biztosítása érdekében kisebb bukógátakat lehet építeni.

Szivattyús vízenergia-tározó rendszerek

A szivattyús energiatározó rendszerek (lásd 9.3. ábra) a csúcsidőn kívüli időszakokban egy felsőbb tározóba vizet szivattyúznak az alapterhelést biztosító erőművek által pluszban megtermelt energiát felhasználva. A napi csúcsterhelési időszakokban azután megfordítják az áramlás irányát, ezzel is áramot termelve. Ezeket a rendszereket tartják az energiatárolás egyik leghatékonyabb technológiájának. A víznek a

csúcsterhelési időszakon kívül a felső tározóba való visszaszivattyúzásának elve azt jelenti, hogy ezek az erőművek nettó energiafogyasztók – ugyanis több energia szükséges a víznek a felső tározóba való szivattyúzásához, mint amennyit az erőmű megtermel, amikor a víz az alsó tározóba zúdul. Általában az áramtermelés szakaszában a szivattyúzás áramszükségletének 65-75%-át tudják újra kinyerni.



9.3. ábra [Szivattyús vízenergia-tározó rendszerek](#)

A szivattyús energiatározó erőművek fejlesztése akkor költséghatékony, ha a hálózatban lévő más erőművek, pl. széntüzelésű erőművek és/vagy atomerőművek főként az alapterheléshez szükséges energiát termelnek, kevésbé rugalmasan. Ilyen esetekben a csúcsidőben termelt áram ára kétszerese is lehet a csúcsidőn kívül termelt áram árának, vagy akár még annál is több. A szivattyús energiatározós erőműveket gyorsan, rövid idő alatt, egy héten egyszer vagy kétszer kiürülő kis felső medence

jellemzi. Ezért a felső tározó szintsüllyedése jelentős. Ezek a medencék gyakran mesterségesek, és nem alakul ki bennük stabil vízi környezet. A szivattyús tározós erőművek alsó tározóként esetenként használhatnak egy folyót, tavat vagy meglévő tározót, vagy további medencéket építenek. A szivattyús energiatározós erőművekhez kapcsolódó környezeti problémák főként a felső medence helyének megválasztásához, az erőmű elhelyezéséhez (a felszín alatt vagy felett), valamint az alsó tározóban található ökoszisztéma jellegéhez kapcsolódnak. Ezek a kérdések helyspecifikusak, és a projekt tervezési fázisában kezelhetők.

Kis, mini és mikro vízmű rendszerek

A kis, mini és törpe vízmű rendszer meghatározása viszonylagos, és a körülményektől függően országonként változó. Ezért nincs világszerte általánosan elfogadott definíciójuk. A nagy projektekhez képest a kisméretű erőművek a bevezetés szempontjából előnyben vannak, mivel a tervezési-építési időszak rövidebb, kisebb a befektetés, és csak kis területeket kell megszerezni hozzájuk. A kisméretű vízerőműveket gyakran használják elosztott energiatermelő alkalmazásokhoz dízel áramfejlesztők vagy más kisméretű erőművek alternatívájaként vagy azokkal kombinálva vidéki alkalmazásokhoz.

A környezeti hatások nagyjából arányosak az elárasztott terület nagyságával. A kisebb gátaokhoz és a kisebb népességhez kapcsolódó kisebb kockázatok is előnyt jelentenek. Környezeti szempontból a megújuló, kis gátaok és a nem-megújuló nagy gátaok megkülönböztetése bizonyos szinten önkényes. Nem a projekt mérete az, ami meghatározza, hogy megújuló és fenntartható-e vagy sem, hanem az adott projekt és a helyszín konkrét jellemzői. A kérdés, amit fel kell tenni: Mi károsítja kevésbé a környezetet? Egy hatalmas erőmű egyetlen folyón 1 000 MW telepített kapacitással, vagy 200 db egyenként 5MW-os kis vízerőmű 100 folyón? Lehet-e az érintett folyók és mellékfolyók száma miatt az egyetlen 1 000 MW-os projekt hatása összességében kisebb, mint 200 db egyenként 5MW-os kis vízerőmű együttes hatása? Bár nyilvánvaló, hogy egy adott élőhelyen a kisebb emberi beavatkozásnak kevesebb hatása van, mint egy nagymértékű beavatkozásnak ugyanazon az élőhelyen, mégis a vízerőmű projekteket a megtermelt energia és áram alapján kell összehasonlítani. Ebből a szempontból egy sor kisméretű vízerőmű projekt összesített hatása lehet nagyobb is, mint egyetlen nagy projekté, ha figyelembe vesszük az érintett ökoszisztémák sokféleségét, és az összességében sokkal nagyobb felszínű előtöltött területet, amely a kis projekteknél ugyanakkora mértékű tároláshoz szükséges.

A vízenergia alapú áramtermelés fő **előnyei** (Okot, 2013):

➤ Gazdasági szempontok

- Az üzemeltetési és karbantartási költségei alacsonyak
- Tartós és stabil technológiával rendelkezik: a rendszerek 50 évig vagy akár tovább is tarthatnak nagyobb új befektetés igénye nélkül
- Megbízható energiaforrás
- Segíti a regionális fejlődést, munkalehetőségeket teremt
- Bevált, jól ismert technológia, a legnagyobb hatékonysággal

➤ Társadalmi szempontok

- Javítja az életszínvonalat
- A vizet más felhasználási célokra elérhető formában hagyja
- Gyakran árvízvédelmet biztosít
- Javíthatja a hajózhatósági feltételeket
- Javítja a területhez és annak erőforrásaihoz való hozzáférhetőséget

➤ Környezeti szempontok

- Nem termel légszennyező anyagokat, és csak nagyon kevés üvegházhatású gázt bocsát ki
- Nem keletkezik hulladék

- Segít elkerülni a nem-megújuló üzemanyag források kimerülését
- Lassítja a klímaváltozás

A fő **hátrányai**:

➤ Gazdasági szempontok

- Nagy tőkekötség
- Több tudományág részvételét igényli
- Hosszú távú tervezést és hosszú távú megállapodásokat igényel

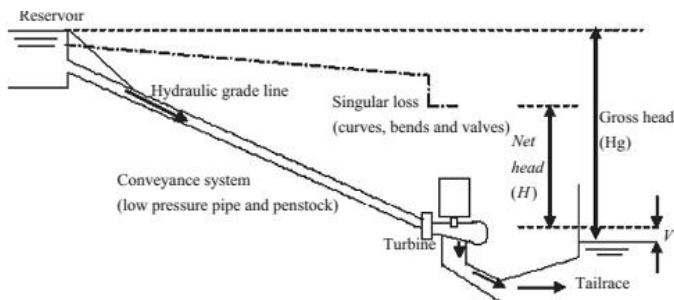
➤ Társadalmi szempontok

- Kitelepítéshez vezethet
- A nagy területek elárasztása csökkenti a lakossági hozzáférést. Befolyásolja a kültéri szabadidős tevékenységeket
- Az elektromos vezetékek megváltoztathatják a tájképet
- A vízfelhasználások kezelésére van szükség

➤ Környezeti szempontok

- Akadályt állítanak a halak vándorlása és a szórakozási lehetőségek elé
- A vizes élőhelyek módosításával járnak
- Szükségessé teszik a vízminőség kezelését
- Szükség lehet a populációk monitorozására
- A nagy biológiai sokféleségű növényvilágban gazdag területek gáttal elzárásával nő a szénkibocsátás.

A 9.4. ábra egy nagy vonalakban ábrázolt vízerőmű-rendszer alkotóelemeit mutatja be (Okot, 2013.).



9.4. ábra A vízerőmű-rendszer alkotóelemei (Okot, 2013.)

A vízerőmű alapelve a bruttó esés H_g (m) nagy részének mechanikai és elektromos energiává való átalakítása. A vízturbinák a víznyomást alakítják át mechanikai energiává, amelyet azután áramfejlesztő vagy más gép meghajtására lehet felhasználni. Az előállított áram ezzel arányban áll. A víznyomást a vízturbinák mechanikai tengelyteljesítménnyé alakítják át. A mechanikai tengelyteljesítmény áramfejlesztő vagy más gép meghajtására is felhasználható. A rendelkezésre álló elektromos áram egyenesen arányos a nyomásmagasság (esés) és a térfogatáram szorzatával. Általában a hidraulikus teljesítmény P_o (kW) és az ennek megfelelő energia E_o (kWh) egy adott időszakára vonatkozóan

$\Delta t(h)$:

$$P_0 = \rho g Q H$$

$$E_0 = \rho g Q H \Delta t$$

Ahol ρ a víz sűrűsége (kg/m^3) és g a gravitáció (m/s^2). A hálózatba leadott végső teljesítményt a $P = \eta P_0$ adja meg, ahol a η a turbógenerátor hidraulikai hatásfoka. Az áramtermelés leghatékonyabb módja még mindig a vízenergia használata. A modern vízturbinák a rendelkezésre álló energiának akár 90%-át képesek árammá alakítani, ez azonban a méretükkel arányban csökken. A törpevízművek hatásfoka jellemzően 60-80% közöttire tehető.

Vízturbinák

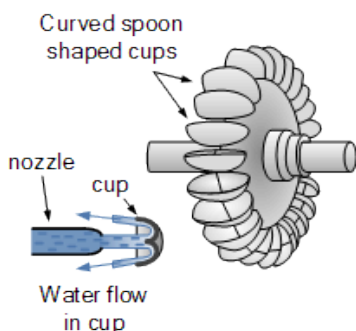
Jelenleg különféle kialakítású vízturbinákat használnak, melyek mindegyikének megvan a maga előnye és hátránya, és az optimális üzemeltetési tartománya. Figyelembe véve, hogy a turbina áramtermelő teljesítménye az esés, a vízmennyiség és a lapátokra ható víznyomás kombinációjától függ, fontos, hogy az adott konfigurációhoz legmegfelelőbb turbina körültekintően kerüljön kiválasztásra. A leggyakrabban használt turbinák két csoportba sorolhatók:

- Reakciós turbinák – ahol a lapátok egy nyomás alatt lévő házban helyezkednek el, és a víz alá teljesen bemerülnek. A megfelelő profilkialakítású lapátok közötti nyomáskülönbség okozza a lapátok gyors forgását.
- Akciós turbinák – a vízáramlás egy vagy több vízszugáron (fúvókán) keresztül nekiütközik a turbinalapátoknak. Az akciós turbinánál a mechanikai teljesítményt a vízáramlás mozgási energiája adja.

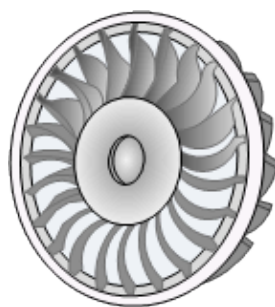
A működésmódon túl a turbinák csoportosíthatók a kialakítás, a szerkezet és a lapátok elrendezése szerint. A Pelton-, a Turgo- és a Kaplan-turbinák a feltalálóikról kapták a nevüket. A rendszerben lévő magasabb és alacsonyabb vízszint közötti különbség (ami a helyzeti energiát tárolja) a rendszer esése. Általában a vízenergia alapú és vízerőmű rendszerekben az alacsony esés 30m-nél kisebb, a közepes esés 30-150 m közötti, a nagy esés pedig 150 m-t meghaladó függőlegesen mért távolságot jelent.

A feltalálója, Lester Pelton nevét viselő **Pelton-víz turbina (vagy Pelton-kerék)** a leggyakrabban használt nyitott típusú turbinakerék kialakítás (lásd 9.5. ábra). Ez egy akciós turbina, amely leginkább a nagy esésű és alacsony vízhozamú rendszerek kiszolgálására alkalmas. A kerék kerületén körbe kis, hajlított csészék (kanalak) találhatók. A fúvókákon keresztül befecskendezett nagysebességű

vízszugár nekiütözik ezeknek a kanalaknak, és olyan impulzusereő keletkezik, amely megforgatja a turbinát. A Pelton-kerék legfontosabb része a kanál, amely két félre van osztva, melyek mindegyike hátrafelé van fordítva és hajlítva. A különleges forma miatt a vízszugár majdnem 180 fokkal eltérül.



9.5. ábra Pelton-turbina
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)



9.6. ábra Turgo-turbina
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)

A vízszugár által keltett helyzeti energia ezeken a fúvókákön keresztül mozgási energiává alakul át, és a mozgó víznek szinte az összes energiája a kanalak megforgatására fordítódik. A fúvókáköl érkező vízszugarak nekinyomulnak a turbina kanalainak, és ezáltal a kerék forogni kezd, nyomatékokot és teljesítményt hozva létre. A Pelton-turbina a mechanikai energiáját kizárólag a vízszugár mozgási energiájának változásából szerzi. A rendelkezésre álló víz nyomásmagasságtól (eséstől) és a kerék körül érintőirányban elhelyezett fúvókák számától

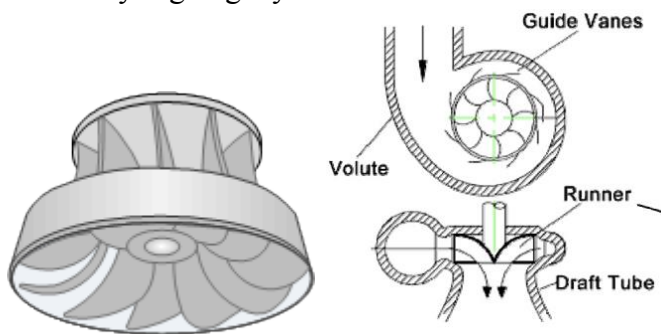
függően a fúvókákból elötörő vízsugarak sebessége és iránya szabályozható, így lehetővé téve az elektromos áram termeléséhez ideális folyamatos lassabb sebességet. A Pelton-turbina sebessége a fúvókákon keresztül a csészékhez vagy kanalakhoz érkező vízáram állításával szabályozható.

A **Turgo-vízturbina** egy másik akciós típusú vízturbina kialakítás, ahol a turbinalapátoknak nagysebességű vízsugár ütközik neki (lásd 9.6 ábra). A Pelton-kerékhez képest az a különbség, hogy a beérkező vízsugár a kanál síkjával kb. 20° -os szöget zár be. A hajlított lapátok felfogják a vizet és megforgatják a turbina tengelyét. Az ugyanolyan kimenő teljesítmény eléréséhez szükséges egyenértékű Pelton-kerékhez képest a nagyobb áramlási sebesség miatt a Turgo-turbinánál a turbina kerékátmérője kisebb lehet. Azonban a Turgo-kerék hatásfoka nem éri el a Pelton-kerékét.

A **Francis vízturbina**, melyet feltalálójáról, James Francis-ról nevezek el, egy radiális áramlású, reakciós típusú turbinakonstrukció, ahol a teljes turbinakerék szerkezet a víz alá merül, és amelyet egy ház vesz körül (lásd 9.7. ábra). A víz a házba nyomás alatt lép be, és egy sor vezetőlapátnak nevezett, a házban körben elhelyezkedő, rögzített vagy állítható résen keresztül halad át, amelyek a vízáramlást a megfelelő szögben irányítják a turbinalapátokra. A víz a turbinalapátokra radiálisan

(sugárirányban) érkezik, és axiálisan (tengelyirányban) távozik, ami forgást idéz elő.

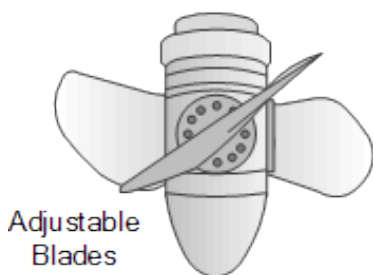
A Francis-turbina egy alámerülő turbina, melynek kialakítása hasonló a propelleres turbinához, amely a lapátok megforgatásához a víz nyomását és mozgási energiáját használja. A vízáramlás energiája a turbina kimeneti tengelyére nyomaték és forgás formájában tevődik át. Ez a turbina az alacsony és a közepes esésű rendszerekhez alkalmas, de viszonylag nagy vízmennyiséget igényel.



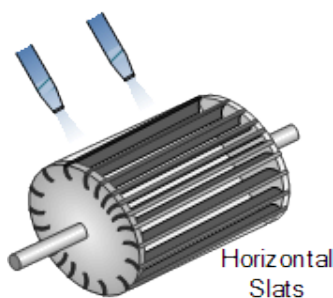
9.7. ábra [Francis-turbina](#)
(Okot, 2013.)

Az osztrák feltalálója, Victor Kaplan után elnevezett **Kaplan-vízturbina** egy axiális áramlású, reakciós típusú vízturbina, amely nagyon hasonlít egy hajócsavarhoz (lásd 9.8. ábra). Szokták **propeller turbinának** is nevezni. A Kaplan propeller alakú rotorjának két vagy több rögzített vagy állítható lapátja van. A Kaplan-turbina pont fordítva működik, mint a hajócsavarok. A víz a turbina csövébe

sugárirányból lép be, a bemenő terelőlapátokon keresztül. Ezeknek a terelőlapátoknak a szöge és elhelyezkedése miatt a víz felkavarodik és örvény jön létre a zárt csövön belül, amely erőt fejt ki a szögletes alakú propellerlapátokra. Mint a propellernél, a csavart rotorlapátok ezen a csövön belül találhatók, egy központi tengelyhez erősítve. Az örvénylő víz ereje a lapátokra hatva átadja a lapátoknak az energiát, és ezzel forgást és nyomatékot kelt. A Kaplan-turbinák egyik fő előnye, hogy amennyiben kellően nagy vízhozam áramlik át a turbinán, nagyon alacsony esésű alkalmazásoknál használhatók anélkül, hogy gátakra vagy bukógátakra lenne szükség – így a környezetre gyakorolt hatásuk elhanyagolható.



9.8. ábra Kaplan-turбина
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)

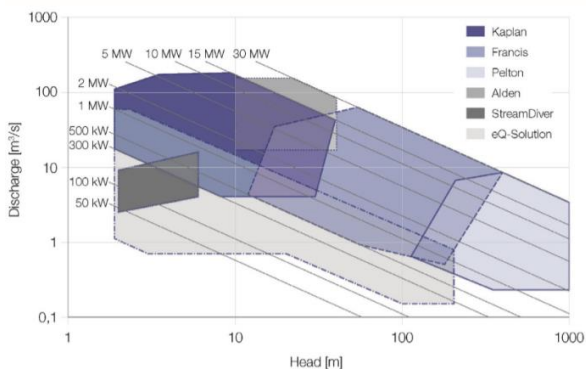


9.9. ábra Bánki-turбина
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)

A **Bánki-turбина (vagy Michell vagy keresztáramú turбина)** akciós típusú vízturбина, amelynek dobhoz hasonló rotorja van, és egy megnyúlt, téglalap metszetű fűvókát alkalmaz, amely a henger alakú járókeréken lévő

hajlított terelőlapátokra (bordákra) irányul (lásd 9.9 ábra). A Bánki-turbinák kevésbé hatékonyak, mint a modern (azaz a Pelton, a Turgo, a Francis és a Kaplan) turbinák, de nagyobb vízhozamok és kisebb esések esetében is tudnak működni. A vizet a bordázatra egy szimpla vagy dupla függőleges, téglalap alakú fűvókán keresztül vezetik, úgy hogy a vízáram a járókereket teljes hosszában érje. A fűvókák a vizet a járókerekekre irányítják, és a víz helyzeti energiáját mozgási energiává alakítják. A víz, miután az első lapátot elérte, a dobon keresztül lefolyik, és az ellentétes oldalon távozik. Így a keresztáramú turbina kétszer is felhasználja a víz energiáját: egyszer a felső oldalon és még egyszer az alsó oldalon, így a turbinakereket a központi tengelye körül megforgatva, és ezzel tovább növelve a hatékonyságot. A Bánki-turbina fő előnye, hogy különböző terhelésnél és különböző vízhozamoknál is megtartja a hatásfokát. Továbbá a viszonylag egyszerű felépítése és könnyű szabályozhatósága miatt, valamint azért, mert nagyon kis esésnél is működőképesek, a Bánki-turbinák ideálisak a mini és törpeerőművekben való használatra. Az adott helyzetben a legjobb típusú turbinakialakítás megválasztása gyakran az adott helyen lévő eséstől és vízhozamtól függ, valamint attól, hogy az adott telep egy folyó vagy vízfolyás partján található, vagy a vizet csatornán vagy csővezetéken kell-e elvezetni az adott helyszínre.

A 9.10. ábra áttekintést ad arról, hogy az adott helyszínen rendelkezésre álló esésnél és víznyomásnál melyik vízturbina kialakítás működik a legjobban.



9.10. ábra Kis vízerőművek típusai esés, vízhozam vagy kapacitás szerinti bontásban (Voith, 2013.)

9.2. Környezeti hatások

A nagy vízenergia projektek ellentmondásosnak bizonyultak, mert: jelentősen befolyásolhatják a víz hozzáférhetőségét nagy földrajzi területeken; felboríthatják a természetes ökoszisztémákat; a lakosság egyes csoportjainak akaratuk ellenére történő kitelepítését kényszeríthetik ki, és nagy áramátviteli infrastruktúrát igényelhetnek. Ezek a fő okai annak, hogy vannak olyan ökológusok és környezetvédelmi aktivisták, akik szerint a

nagyméretű vízerőmű nem annyira kívánatos módja az áramtermelésnek, és nem is olyan „zöld”, mint amilyennek első ránézésre tűnik. Nyilvánvaló, hogy a vízenergia használata a megtermelt elektromos áramon túl számos gazdasági és társadalmi előnnyel jár olyan területeken, mint pl. az öntözés, a vízellátás, az élelmiszerellenőrzés és a kikapcsolódás. Bár a vízenergia fejlesztések hagyományosan mindig is zöld energia erőforrásnak számítottak, a közzétett beszámolók elkülönítetik a megújulónak és fenntarthatónak tartott kisméretű vízerőműveket, és a nagy vízerőműveket, melyeket nem sorolják ebbe a kategóriába (Pang, Zhang, Ulgiati & Wang, 2015.). A 70-es évek közepétől kezdve különböző projekteknel megfigyelték a halak vándorlásának, az üledékszállításnak, az alvizeknek és a torkolatoknak a zavarait. Számos bizonyíték van arra, hogy a megépült gátak megváltoztatták a folyó vízhozamát, befolyásolják a víz hőmérsékletét, az elöntések mértékét és a tápanyagterhelést, ami a folyó mentén a táplálékszerzési és szaporodási életterekre vonatkozóan következményekkel jár. Egyes gátellenes szervezetek azt állítják, hogy az üvegházhatású gáz kibocsátások mértéke az ugyanolyan teljesítményű hőerőművéhez hasonló szintet ér el. Továbbá vitathatatlanok a társadalmi-gazdasági hatásai, melyek közé tartozik lakosság akarata ellenére való kitelepítése, a mezőgazdasági és erdőterületek nagy kiterjedésű pusztulása, történelmi emlékek és ásványianyag-

erőforrások károsodása, valamint régészeti lelőhelyek, idegenforgalmi célpontok és látnivalók elvesztése. Az előnyöknek a hátrányokkal való összemérése a döntéshozókat nehéz feladat elé állítja. A vízenergiához kapcsolódó környezeti hatásokat összegezve négy jelentős csoportot határozhatunk meg: állatvilág, növényvilág, tájkép és történelmi emlékek. Az újabban megjelent kutatások leggyakrabban a növényvilágot említik, a gátépítésnek a növényvilágra gyakorolt egyértelmű közvetlen károsító hatása miatt, mint amilyen a mezőgazdasági területek elvesztése, erdőterületek elvesztése, az erózió és a növényzetre gyakorolt hatás. A hatások jellege és mértéke nagyban függ az adott helyszín jellemzőitől, valamint a vízerőmű típusától és méreteitől (Botelho, Ferreira, Lima, Pinto & Sousa, 2017.). Ez azt jelenti, hogy a helyi közösségeket érő hatásokat minden egyes esetben fel kell mérni. Mivel a nagyméretű vízerőmű már nem számít tiszta megújuló energiaforrásnak, a kisméretű vízerőmű, melynek népszerűsége a 60-as évektől kezdődően csökkent, lehetséges megoldást kínálhat a felmerülő környezetvédelmi problémákra, és a nagy vízerőműveket kiváltó tiszta alternatívává válhat. Azonban bizonyos mértékig a kisméretű vízerőművek is befolyásolják a folyó ökoszisztémáját. A helyi ökoszisztémának ezek a változásai többnyire két szempontot érintenek: az eredeti tájképet és az alvízi ökoszisztéma leromlását, amelyet a víz eltározása és elterelése okoz, és amely a folyó

időszakos kiszáradásához vezethet. Bár a vízerőművek a vizet nem fogyasztják el, és nem szennyezik, a természetes vízáramlást megzavarják. Mivel a vízáramlás, a vízhozam a folyó ökológiai folyamatainak fő mozgatórugója, ezek a változások drasztikus hatással lehetnek a folyó ökoszisztémáinak egészséges működésére.

A víz elzárása és a gát miatt kialakuló időszakos kiszáradás az alvízi ökoszisztéma-szolgáltatások leromlását váltja ki. Ha ez elkerülhető, akkor a környezetre gyakorolt hatás viszonylag kicsi. A probléma akkor jelentkezhet, ha egyes országokban a kisméretű erőművek létesítése nincs megfelelő tervezéshez kötve. Ez az üzemeltetés megbízhatatlanságát, és nagyobb mértékű kiszáradást eredményezhet. Az lehetséges, hogy néhány gondosan megválasztott helyszínen telepített kisméretű vízerőművet úgy építsenek meg, hogy az ne gyakoroljon észrevehető hatást a folyóra. Azonban ha ezt a technológiát kiterjedten, a folyók és vizesések minden lehetséges pontján használják, az drasztikusan növeli a környezet károsodását. A kisméretű vízerőművek túl intenzív alkalmazásával megismétlődhet a nagy vízerőmű projektek korábbi időkben tapasztalt környezetkárosítása. A vízenergia hasznosítás technológiájának jelentős előrehaladása további pozitív irányú fejlődés ígérletét hordozza. Új, kisebb beavatkozással járó, alacsony esésű és kisebb tározókkal használható turbinák fejlesztésén dolgoznak, melyek csökkenthetik a beruházási költségeket

(Pang és mtsi., 2015.). Azonban a szükséges fejlesztések megvalósítása gyakran hosszú időt vesz igénybe, és kevés a kutatás-fejlesztésbe való befektetés. Ez részben azon a téves elgondoláson alapul, hogy a vízenergia hasznosításának technológiája kiforrott, és csak kevés továbbfejlesztési lehetőséget kínál.

Hivatkozások

Egré, Dominique & Milewski, Joseph C. (2002.) The diversity of hydropower projects. *Energy Policy*, 30(14), 1225-1230.

Okot, David Kilama. (2013.). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515-520.

Pang, Mingyue, Zhang, Lixiao, Ulgiati, Sergio & Wang, Changbo. (2015.) Ecological impacts of small hydropower in China: Insights from an emergy analysis of a case plant. *Energy policy*, 76, 112-122.

Voith (2013.), “Small hydro”, Voith, Germany, http://voith.com/en/Broschuere_SH_final_screen.pdf.

10. FEJEZET

BIOMASSZA ENERGIA RENDSZEREK

A fejezet szerzője: Magyar László

Energiaklub Szakpolitikai Intézet és Módszertani Központ,
Magyarország

e-mail: magyar@energiaklub.hu

Kivonat: A biomassa a fosszilis tüzelőanyagok (a szén, a kőolaj és a földgáz) alternatív energiaforrása. Az utóbbi években ismét felélénkült a biomassa energia iránti érdeklődés, mivel a nettó széndioxid-kibocsátó fosszilis tüzelőanyagokkal szemben egy szénsemleges energiaforrás. A biomassa sokoldalú felhasználási lehetőséget nyújt, hiszen szilárd, folyékony és gáznemű tüzelőanyagokká is átalakítható. A bioenergia használható lakásfűtésre, közösségek áramellátásának biztosítására és a közlekedési ágazat üzemanyaggal való ellátására egyaránt. Ebben a fejezetben a különböző biomassa forrásokról, a bioenergia termelés technológiai útjairól és a folyamatokhoz kapcsolódó környezeti hatásokról szerezhetünk részletes ismereteket.

Képzési célok:

- Az olvasók megismerik a biomassza energia forrásait, és a biomassza energiát felhasználó különféle technológiákat
- Az olvasók értékelni tudják majd a biomassza energia felhasználásának környezeti hatásait

10.1 Biomassza energia

A biomassza egy gyűjtőfogalom, amely magába foglalja a fitomasszát - avagy a növényi biomasszát, és a zoomasszát, vagy állati biomasszát. A biomassza a Napból érkező energiát tárolja: a növények a fotoszintézisen keresztül megkötik a Nap energiáját, és azt kémiai energiává alakítják át (lásd 10.1. ábra) (Abbasi és mtsi., 2010.).

Photosynthesis



In the process of photosynthesis, plants convert radiant energy from the sun into chemical energy in the form of glucose—or sugar.



10.1. ábra A fotoszintézis folyamata (US National Energy Education Project - USA Nemzeti Energiaoktatási Projekt)

A földfelszínt elérő napsugárzás teljesítménye 173 000 TW (terawatt), amely 17 000-szerese annak, amit napjainkban az emberiség fosszilis tüzelőanyagok formájában elfogyaszt (Goldemberg J, Johansson TB, 2004.). A fotoszintézis során megkötött energia kb. 140 TW, ami ugyan a bolygónkat elérő teljes napenergiának nagyon kis hányada, a létrejövő biomassa mennyisége mégis hatalmas, akár jelenlegi energiaigényünk tízszeresét tudná fedezni. Éves szinten mintegy 100 milliárd tonna szén alakul át biomasszává (Abbasi és mtsi., 2010.).

A biomassa a fosszilis tüzelőanyagok (a szén, a kőolaj és a földgáz) alternatív energiaforrása. Akár fosszilis üzemanyagokat égetünk el, akár biomasszát, szén-dioxid szabadul fel, azonban a biomassa forrását adó növények a fotoszintézisen keresztül növekedésük során ezzel közel azonos mennyiségű CO₂-t kötnék meg. Az utóbbi években újra felélénkült a biomassa energia iránti érdeklődés, mivel a nettó széndioxid-kibocsátó fosszilis tüzelőanyagokkal szemben, melyek mértéktelen használata globális felmelegedéshez és az óceánok elsavasodásához vezetett, a biomasszára szénsemleges energiaforrásként tekintünk (US National Energy Education Project).

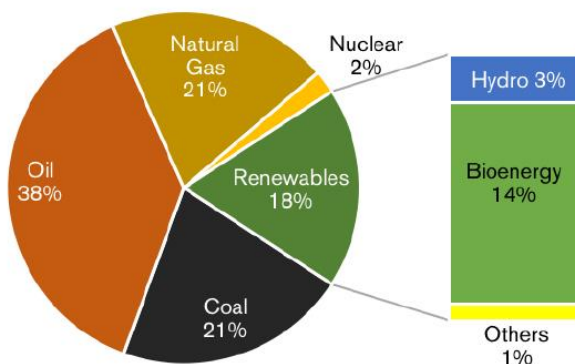
A biomassa elégetésekor a kötésekben tárolt kémiai energia hőként szabadul fel. A bioenergia sokoldalú energiaforrás, más energiaforrásokkal szemben szilárd, folyékony és gáznemű tüzelőanyagokká is átalakítható.

Ezáltal használható lakásfűtésre, közösségek áramellátásának biztosítására, vagy a közlekedés üzemanyaggal való ellátására egyaránt (World Energy Council - Energia Világtanács, 2016.)

10.2 Biomasszaenergia-fogyasztás

10.2.1. Globális fogyasztás

2012-ben globális szinten a bioenergia (a hulladékot is beleértve) a világ energiafogyasztásának 14%-át tette ki, és nagyjából 2,6 milliárd ember energiaigényét biztosította (lásd 10.2. ábra) (World Bioenergy Association - Bioenergia Világszövetség, 2014.).



10.2. ábra Globális végsőenergia-fogyasztás 2013-ban (World Bioenergy Association 2014.)

A közlekedési célú folyékony bioüzemanyagok gyártásában és fogyasztásában az USA és Brazília töltötte be a vezető szerepet (a gyártás mintegy 80%-át adva). A kukorica-etanol gyártása az USA-ban, a nádcukor-etanol gyártása Brazíliában jelentős növekedést mutat (World Energy Council, 2016.).

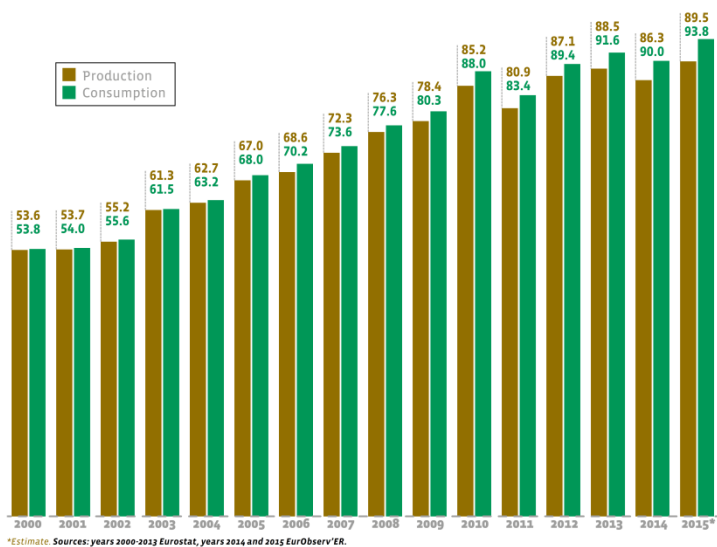
A biomasszát elektromos áram termelésére leginkább Európában és Észak-Amerikában hasznosítják – a termeléshez elsősorban erdészeti alapanyagot és melléktermékeket használnak fel. Európa és Amerika az áramtermelési célú biomassza-felhasználás több mint 70%-át adja, ugyanakkor az elmúlt pár évben a biomassza egyre növekvő elterjedést mutat Ázsia és Afrika fejlődő országaiban is, ahol a lakosság jelentős része számára nem biztosított az áramellátás (World Energy Council, 2016.).

Jelenleg a biomassza legjelentősebb felhasználási módja a hő formájában történő hasznosítás, elsősorban vidéki területeken és a fejlődő országokban. A bioenergia felhasználásának mintegy 90%-át a hagyományos égetés adja. Ide tartozik a tűzifa, a faszén, a mezőgazdasági hulladékok stb. fűtésre és főzésre való felhasználása. Ugyanakkor hamarosan gyors változáson fog keresztül menni a szektor, mivel a gyors urbanizáció, a biomasszának az erdőirtáshoz vezető nem megfelelő hatékonyságú kitermelése, a klímacélok és az egyre növekvő energiakereslet a felhasználást a jobb átalakítási

hatékonyság és olyan modern bioenergia-források irányába tereli el, mint a biogáz, a pellet és a folyékony bioüzemanyagok (World Energy Council, 2016.).

10.2.2 Az Európai Unió fogyasztása

Az EU-ban 2015-ben 93,8 Mtoe (millió tonna kőolaj egyenérték) rekord értékű biomasszaenergia-fogyasztást jegyeztek. A szilárd biomassza termelése és fogyasztása az elmúlt két évtizedben folyamatos növekedést mutatott (lásd 10.3. ábra).



10.3. ábra Az EU szilárd biomassza termelésének és fogyasztásának növekedési adatai 2000-től 2015-ig (Mtoe-ben megadva) (Eurobserv'er: Solid biomass barometer 2016.)

Az EU szállítási ágazaton belüli összes bioüzemanyag fogyasztása 2016-ban 14,4 Mtoe volt. Ennek 80,6%-át a biodízel adta. A cél a bioüzemanyag-gyártás során kibocsátott üvegházhatású gázok negatív hatásainak csökkentése, beleértve a közvetlen földhasználat-változást is. Az üzemanyaggyártóknak 2020-ra 6%-kal kell csökkenteni üzemanyagaik üvegházgáz-intenzitásának szintjét.

10.3 A biomasszaenergia-termelés forrásai

10.3.1 Élelmiszernövények

Bioüzemanyagok – azaz etanol, biodízel és benzin/gázolaj adalékanyagok – gyártására élelmiszernövényeket is felhasználhatunk, például cukornádat, kukoricát, szóját, búzát, cukorrépát és olajnövényeket (lásd 10.4. ábra) (Abbasi és mtsi., 2010.).

Az élelmiszernövények energiatermelési felhasználását célzó projekteket egyre kritikusabb szemmel nézik, hiszen az energiatermelés a termények élelmiszerként való felhasználásával versenyeznek, így felhajtja az élelmiszerárakat, és veszélyezteti a létminimum határán élő emberek megélhetését. Továbbá az ilyen célú energiatermelés erősen károsítja a talajt és a természetes vizeket is (Abbasi és mtsi., 2010.).

10.3.2 Szénhidrogénekben gazdag növények

Számos olyan növény van, amely elegendő mennyiségű szénhidrogént tartalmaz ahhoz, hogy egyfajta gázolajhoz hasonló üzemanyag lehetséges forrása legyen. Azonban még ha nagy reményeket is fűznek az ilyen növények némelyikéhez, a nagyléptékű használatuk hasonló negatív hatással jár, mint az élelmisznövények használatáé (Abbasi és mtsi., 2010.).

10.3.3 Hulladékok

A hulladékok közé tartoznak a mezőgazdasági hulladékok (szalma, zöldség/gyümölcshéj, egyéb növényi hulladékok), az erdészeti hulladékok, az élelmiszer hulladékok és a szilárd települési hulladék biomassza komponensei. Ezekből a hulladékokból jelentős energia termelhető, mivel globális szinten több milliárd tonna biomasszát képviselnek. Azonban az, hogy hogyan lehet tisztán és költséghatékonyan kivonni belőlük az energiát, még óriási, és egyelőre megoldatlan kihívást jelent (Abbasi és mtsi., 2010.).

10.3.4 Gyomnövények és vadon termő növények

Azokat az invazív növényeket, amelyek nagyobb mértékben növekednek, mint amilyen mértékben azokat az ember hasznosítani kívánja, gyomoknak hívjuk. Az invazív növények kiszorítják az egyéb fajok többségét, és

az általuk elfoglalt területeket destabilizálják és károsítják. Ha az ilyen növényeket energiaforrásként hasznosíthatnánk, akkor gazdaságilag is megérné, hogy időnként begyűjtsük és felhasználjuk őket, ezzel visszaszorítva terjedésüket, és csökkentve az általuk okozott károkat (Ganesh és mtsi., 2009.).

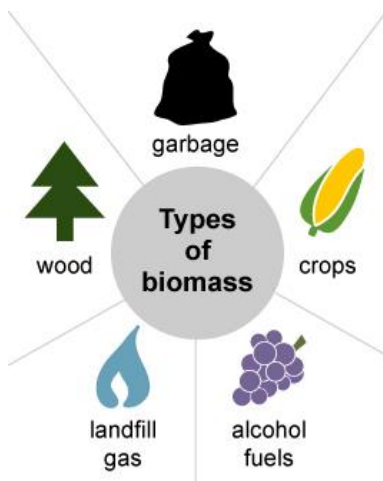
10.3.5 Gyorsan növekvő lágy- és fás szárú fajok

Ide tartoznak:

- Bizonyos fás szárú növények: például a fűzek, a nyárfák és egyéb keményfák, illetve
- Lágy szárú növények: például a vesszős köles, a nagy kékszárú prérifű, a zöld pántlikafű és az energianád (*miscanthus*).

Ezek közül az Észak-Amerikában elterjedt vesszős köles különösképp felhívta magára a figyelmet jelentős biomassza-hozamával, széleskörű földrajzi elterjedési területével, hatékony tápanyag-felhasználásával, szénmegkötő képességével és az egynyári növényekhez viszonyított alacsony (termesztéshez szükséges) fosszilis tüzelőanyag igénye miatt (McLaughlin, Kszos, 2005). A bioüzemanyag-forrásként hasznosítandó növények kiválasztásánál nagy odafigyelésre van szükség, mivel azok a tulajdonságok – pl. a C4 típusú fotoszintézis, a hosszan tartó borítottság, a kártevők és kórokozók hiánya és a gyors tavaszi növekedés – amelyek az egyes fajokat

erre a felhasználási célra ideálissá teszik, egyben azok is, amelyek egy növény invazív jellegét adják (Raghu és mtsi., 2006.)



10.4. ábra Energiatermelési célú biomassza-források (US National Energy Education Project)

10.4 A biomassza átalakítása az energia más formáivá

Az égetés a biomasszában tárolt energia felszabadításának csak az egyik lehetséges módja. Átalakítható más energiaforrásokká is, például metán gázzá vagy a közlekedésben hasznosítható üzemanyaggá: etanollá és biodízellé.

A metángáz annak a biogáznak az alkotóeleme, amely a szemétnek, a mezőgazdasági hulladéknak és az emberi eredetű hulladékoknak a hulladéklerakókban vagy emésztő tartályokban való lebomlásakor keletkezik (EIA).

A gépjárművek üzemanyagaként hasznosítható etanolt legtöbbször kukoricából vagy cukornádból állítják elő erjesztéssel. Egy másik közlekedési üzemanyag, a biodízel előállítása növényi olajokból és állati zsírokból történik (EIA).

A 10.1 táblázat felsorolja a biomassza egyes forrásait és azok felhasználását az energiatermelésben.

Biomasszaforrás	Felhasználása különböző energiatermelési folyamatokban
Fa és faipari hulladékok	Épületfűtés ill. az iparban folyamati hő és áramtermelés céljából eltüzelik
Mezőgazdasági termények és hulladékanyagok	Tüzelőanyagként elégetik vagy folyékony bioüzemanyaggá alakítják
Élelmiszerhulladék, kerti hulladék, fahulladék	Erőművekben áramtermelés céljából eltüzelik, vagy hulladéklerakókban biogázzá alakítják
Állati trágya és humán szennyvíz	Biogázzá alakítják, amelyet tüzelőanyagként el lehet égetni

10.1. táblázat Példák a biomassza forrásaira és energia célú felhasználásukra (www.eia.gov)

10.5 Más energiaformák előállítása biomasszából – technológiai megoldások

10.5.1 A biomassza termokémiai átalakítása

A termokémiai feldolgozás során a biomassza hőbontás és kémiai átalakítás során egy sor különböző termékke alakul. A folyamat a biomassza különféle oxigénkoncentrációk mellett való hevítését jelenti. Amikor a biomasszát teljesen oxigénmentes környezetben hevítik, pirolízis következik be, amely különféle szerves folyadékokat eredményez, melyek kezeléssel vagy finomítással folyékony üzemanyagokká alakíthatók. Egy másik lehetőség – az alacsony oxigénkoncentráció mellett való hevítés – gázképződést, valamint hidrogén és szerves gázok termelődését eredményezi, melyeket szintén folyékony üzemanyagokká lehet alakítani (Abbasi és mtsi., 2010.).

A termokémiai folyamatok beindításának és az erőműben való fenntartásának a költségei magasak, a magas hőmérsékleten való feldolgozás miatt. Hatékony működés akkor érhető el, ha a termokémiai folyamatokat nagy léptékben végzik, amely a biomassza nagy távolságokból való beszállítását teszi szükségessé, ez pedig költségnövelő tényező. Továbbá a termokémiai folyamatok alkalmazásakor a biomassza szállításához és felhevítéséhez rengeteg fosszilis üzemanyagot és tüzelőanyagot használnak fel (Abbasi és mtsi., 2010.).

10.5.2 Áram előállítása biomassa-tüzelésű erőművekben

A biomassa közvetlen elégetése áramtermelés céljából egy kiforrott, a kereskedelemben rendelkezésre álló technológia, amely különféle méretekben alkalmazható, a pár MW-tól a 100 MW-os vagy azt meghaladó méretekig. Ez a biomassa alapú áramtermelés legáltalánosabb formája (lásd 10.5. ábra). Világszerte az energiatermelési célokra hasznosított biomasszának több mint 90%-a az égési folyamaton megy keresztül (IRENA, 2012.).

Az égetésen alapuló biomassa erőműnek két fő alkotóeleme van: a biomassa-tüzelésű kazán, amely gőz termelésére szolgál, és a gőzturbina, amely az áram termelésére szolgál. A két legáltalánosabb kazántípus a vízrostélyos és a fluidágyas. Ezekben lehet csak biomasszával, illetve biomassa és szén vagy más szilárd tüzelőanyagok kombinációjával is tüzelni. A kazánban termelődő gőzt a gőzturbinákra fűvatják, melyek a gőz hőenergiáját mechanikai energiává alakítják, ami az áramfejlesztésnél kerül felhasználásra (IRENA, 2012.).

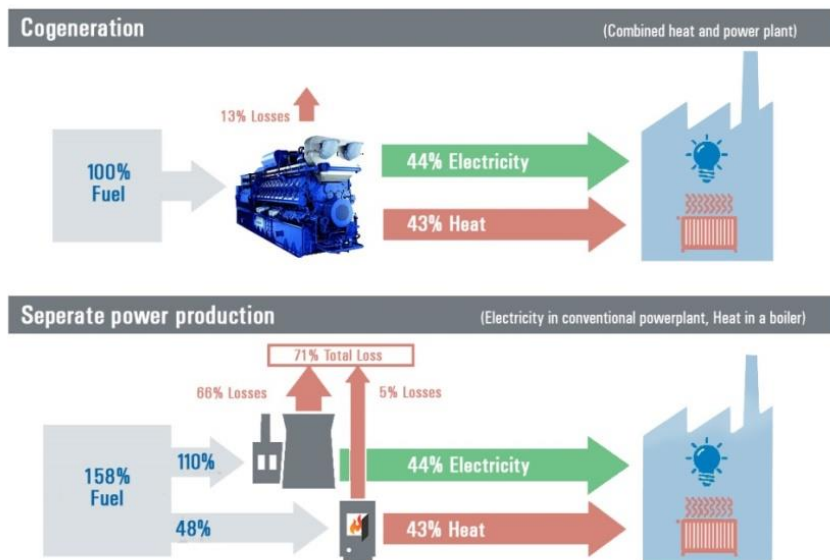


10.5. ábra Áramtermelést szolgáló biomassza források
<http://www.calbiomass.org/wp-content/uploads/2013/02/biomass-fuel-sources.jpg>

10.5.3 Kapcsolt energiatermelés, avagy a hő- és az áramtermelés kombinációja

A kapcsolt energiatermelés avagy a hő- és áramtermelés kombinációja (combined heat and power, CHP) az a folyamat, amelyben egy adott fűtőanyagot egyszerre használnak fel hő és áram egyidejű termeléséhez, ezzel jelentősen növelve az összhatásfokot. A normál áramtermelő erőművekben a keletkező hőnek akár 70%-át is a légkörbe engedik. A kapcsolt üzemmódnál ezt a hőt folyamati hő szükségletek ellátására hasznosítják (Abbasi és mtsi., 2010.). A hő- és áramtermelést kombináló üzemek a potenciális energia mintegy 80%-ának

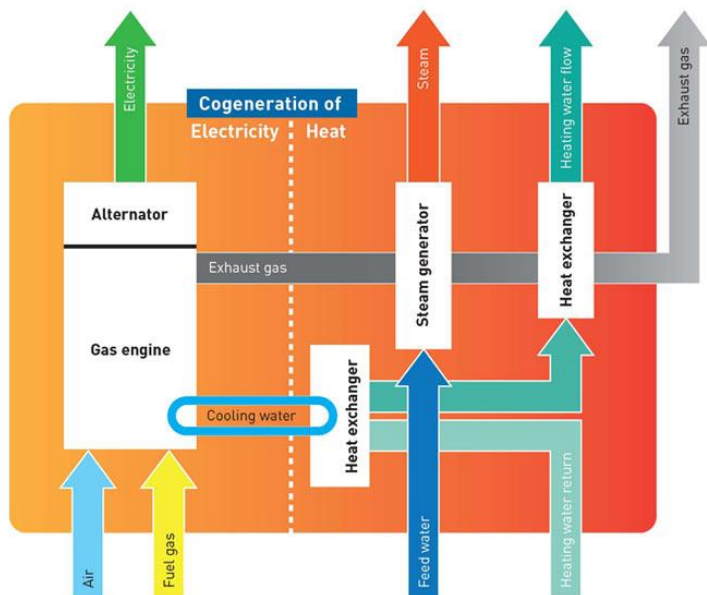
hasznosításával legtöbbször a biomassa-felhasználás leghatékonyabb módját jelentik (lásd 10.6. ábra) (EESI).



10.6. ábra A kapcsolt energiatermelés és az elkülönült áramtermelés hatásfokának összehasonlítása (Forrás: www.mwm.net)

A kapcsolt energiatermeléses projektek kapacitása a pár kilowattól a több megawattos nagyságrendig terjedhet villamos energiát tekintve, emellett a hőtermelés a 100 kWth (termikus kilowatt) alatti értékektől több MWth-os teljesítményig terjedhet. A kapcsolt energiatermelésű rendszerek gyakran nagyobb szén-dioxid-megtakarítást

eredményeznek, mint a csak áramot előállító rendszerek, de a gazdaságosság területén kevésbé teljesítenek jól, főként azért, mert igen nagy kezdeti beruházást igényelnek (lásd 10.7. ábra) (Abbasi és mtsi., 2010.).



10.7. ábra A gázmotoros kombinált hő- és áramtermelő erőművek alapelve (Forrás: www.mwm.net)

10.5.4 Biomassza-elgázosítók

A biomassza-elgázosítók a nagy üzemanyag-fogyasztó ágazatoknál a fosszilis üzemanyagok kiváltására használhatók. A gázosító technológiák lehetőséget

kínálnak a biomassza generátorgázzá alakítására, amely egyszerű vagy kombinált ciklusú gázturbinákban nagyobb hatékonysággal égethető el, mint amikor közvetlenül a biomasszát égetik el a gőzturbina meghajtása céljából. Bár vannak kereskedelmi forgalomban elgázosító technológiák, ezek használatának széles körben való elterjesztése érdekében a kutatás-fejlesztés és a technológia megismertetése területén még sok a tennivaló (IRENA, 2012.).

Az elgázosító technológiáknak három főbb típusa van:

- Fixágyas elgázosítók;
- Fluidágyas (keringető vagy buborékoltató) elgázosítók; és
- Folyamatos elgázosítók

10.5.5 Biokémiai feldolgozás

Erjesztés etanollá

Az élelmiszer növényekben a cukrok keményítő formájában vannak jelen. Ezt először egyszerűbb cukrokká kell átalakítani, mielőtt etanollá alakíthatnánk. Mivel az erjesztés víz jelenlétében történik, az így keletkező etanol oldott formában lesz. Ahhoz, hogy üzemanyagként lehessen használni, az etanolt vízmentessé kell tenni (Abbasi és mtsi., 2010.).

Az etanolos erjesztéssel kapcsolatban a nagy problémát az átalakítási folyamat jelenti, ami minden, csak nem tiszta. Egyes tudósok még azt is kijelentik, hogy a folyamat összességében annyira szennyező és olyan sok energiát vesz igénybe, hogy végeredményben több üvegházhatású gáz kibocsátására kerül sor, mint az általa kiváltott üzemanyag, a benzin esetében.

Etanol gyártása lignocellulózban gazdag növényekből

Egyre nagyobb az ellenállás azzal szemben, hogy az élelmiszernövényeket bioüzemanyagok gyártására használják, és egyre inkább elfogadott tényként kezelik, hogy ez nem olyan tiszta és zöld folyamat, mint amilyennek korábban gondolták, így a figyelem egyre inkább a lignocellulózban gazdag növényi részekre irányul. Amíg a kukorica keményítőben gazdag magvai a teljes növénynek csak egy kis részét teszik ki, a növény többi része mind lignocellulózban gazdag. Így az energetikai célú biomassza-termelésre szánt földterületek minden egyes hektárján jóval nagyobb mennyiségű lignocellulózban gazdag biomasszát lehet termelni, mint élelmiszer-alapanyagot (Abbasi és mtsi., 2010.).

Anaerob feltárás

A technológiát egyre nagyobb sikerrel alkalmazzák állati trágya és szennyvizek feldolgozásánál (Ramasamy és mtsi., 2004.), azonban fitomassza feldolgozása esetén

üzemeltetési problémákkal és alacsony hatékonysággal kell megküzdeni (Ganesh és mtsi., 2009.).

Észter alapú biodízelgyártás

Itt a fő kihívást az jelenti, hogy az olajnövényeket hektáronként elég nagy mennyiségben lehessen termelni, hogy a lehető legkisebb környezeti költségek mellett maximális olajhozamot lehessen elérni (Abbasi és mtsi., 2010.).

Feltörekvő új technológiák

A biomasszából történő bioüzemanyag-előállítás új technológiai gyorsan fejlődnek. Ilyenek a módosított élesztőtörzsek kitenyésztése a nagyobb etanolhozam érdekében (Alper és mtsi., 2006.), az új mikroorganizmusok használata etanol előállítására (Seo és mtsi., 2005.), a cellulózbontást célzó előkezelések (Moiser és mtsi., 2005.), a cukrokat közvetlen elektromos árammá alakító üzemanyagcellák (Chaudhury, Lovley, 2003.), és a biomassza szintézisgázzá alakítását hatékonyabbá tevő katalizátorok fejlesztése (Salge és mtsi., 2006.).

10.6 A biomassza-energia környezeti hatásai

10.6.1 A biomassza termelésének környezeti hatásai

A biomassza-energia szénmérlege ugyan semleges, de tápanyagmérlege nem

A biomassza-energia védelmének központi érve az, hogy szénsemleges: csak annyi szént juttat vissza a légkörbe, amennyit korábban fotoszintézissel abból felvett. Ez az érv még akkor is megállja a helyét, ha figyelembe vesszük, hogy az utóbbi években a biomassza által megkötött szénnek legalább egy része fosszilis üzemanyag eredetű lehetett (Abbasi és mtsi., 2010.).

A biomassza azonban nem csupán egy darab szén. Nitrogént és más fontos tápanyagokat is tartalmaz. A biomassza energetikai célú intenzív termesztésének más vonatkozásai is vannak a szén-dioxid megkötésen túl (Miller és mtsi., 2007.).

A reaktív nitrogénvegyületek több mint 75%-ának kibocsátása mezőgazdasági tevékenységekből ered (Smil, 1999.). A globális légköri CO_2 -koncentráció 1750 óta nagyjából egyharmadával nőtt, míg ugyanennyi idő alatt a légköri N_2O -koncentrációban 15%-os növekedés következett be, azonban minden egyes N_2O molekula 300-szor nagyobb mértékben képes hozzájárulni a globális felmelegedéshez, mint egy CO_2 molekula (Fixen, West, 2002.). Az emberi tevékenység megzavarta a nitrogén

természetes körforgását is, mely azt eredményezte, hogy az inert légköri nitrogén reaktív nitrogénvegyületekké alakulása a becslések szerint 1100%-kal növekedett (Gitay, Suarez, 2002.).

Reaktív állapotban a nitrogén az alábbi átalakuláson megy keresztül a környezetben: $\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_x \rightarrow \text{NO}_3$; ennek eredményeként pedig a következő káros környezeti hatások lépnek fel: talajközeli ózon termelődése, savasodás, eutrofizáció, oxigénhiányos állapot, a sztratoszféra ózonrétegének vékonyodása és a klímaváltozás (Galloway és mtsi., 2003.). Ezek közül a mezőgazdaság legelterjedtebb környezeti hatásai közé tartozik a felszíni vizek eutrofizációja és a felszín alatti víztartó rétegek szennyeződése. A folyamat során a foszfor körforgása is érintett, amely szintén eutrofizációt okozhat (Abbasi és mtsi., 2010).

A talaj meglévő nitrogénkészleteire alapozva nem lehet intenzíven és ismétlődően fenntartani a biomassza-alapú energiatermelési programokban tervezett egységnyi földterületre jutó biomassza-hozamokat. Ezek a készletek ugyanis nem elegendőek ahhoz, hogy megfelelő mennyiségben biztosítsák a tápanyagot az olyan nem nitrogén-megkötő terményeknek, mint a kukorica. A nitrogén természetes szintjét táplanyag-utánpótlással kell növelni, jellemzően műtrágya formájában. Viszont a talaj szervesanyag-tartalma, a benne élő talajlakók, a talaj

víztartó képessége, és számos mikrotápanyag műtrágyákkal nem pótolható (Abbasi és mtsi., 2010.).

Termőföld és vízi erőforrások

Egy jelentős biomaszaenergia-termelési program megvalósításához erőforrásként nagy mennyiségű vízre és termőföldre van szükség. Egyes régiókban a felszín alatti vizeket 10-szer olyan gyorsan szivattyúzzák ki, mint amilyen gyors a víztartó réteg természetes újratöltődése. Egy másik probléma a víz növényvédőszerrel és műtrágyákkal való szennyezése, ezek a szerek viszont kétségtelenül szükségesek bármely intenzív termesztési program fenntartásához (Pimentel és mtsi., 1992.).

A növekvő mértékű energetikai célú biomasza-termelés más földhasználati módokkal, például az élelmiszer-termeléssel, az erdőkkel és a lakóterületekkel verseng a hasznosított területekért. Az energiatermelés során a termőföldekről jelentős mennyiségű biomasszát távolítanak el. Ez a folyamat növeli a talaj és a víz degradációját, az áradások kockázatát és a tápanyaghiányt, továbbá a természetes állat- és növényvilágot is károsan befolyásolja (Abbasi és mtsi., 2010.).

Talajerózió és vízfolyás

A biomaszaenergia-termelési projektek sokszor súlyosbítják a talajeróziós problémákat is. A talajerózió

jelentősen hozzájárul a víz gyorsabb elfolyásához, és így hátráltatja a felszín alatti vízkészletek újratöltődését. A tápanyagban gazdag elfolyások károsítják a befogadó folyók, tavak vízminőségét, mivel eutrofizációt okoznak (Abbasi, Chari 2008.).

Tápanyagveszteség

Jelentős mennyiségű tápanyagveszteség lép fel akkor, amikor a termények maradványanyagait biomassza-energia céljából betakarítják a földekről.

A természetes élővilágban és az élőhelyekben bekövetkező degradáció

Ha egy természetes ökoszisztémát energiaültetvénnel helyettesítenek, megváltozik az élőhely típusa, a vadállomány és az elérhető táplálékforrások is. Az erdők és vizes élőhelyek megváltoztatása csökkenti egyes emlős- és madárfajok valamint más élőlények élő- és szaporodási területét. A gyors növekedésű fák monokultúrás ültetvényei csökkentik a vegetáció sokféleségét, és a terület, mint élőhely értékét számos vadon élő állatfaj számára. Ezek a monokultúrák kevésbé stabilak, mint az éghajlati övnek megfelelő erdők, és termelékenységük fenntartásához nagyobb energiabefektetést igényelnek növényvédőszeres és műtrágya formájában. A gazdaságos ültetvényekben a fák állománysűrűsége 2-3-szorosa a természetes erdőkének (Rowe és mtsi., 2009.).

10.6.2 A biomasszára épülő energiatermelési folyamatok környezeti hatásai

A biomassza termelése/termesztése a biomassza alapú energiarendszereknek csak az egyik vetülete; egy másik, ugyanolyan fontos vetület az alapanyagok felhasználható energiává való átalakítása (Abbasi és mtsi., 2010.).

A biomassza felhasználása nem csupán üvegházhatású gázok felszabadulásával jár, hanem számos más, erősen mérgező légszennyező anyag is a környezetbe kerülhet (Lewtas, 2007.).

A termikus folyamatok környezeti hatása

A termikus folyamatok által okozott főbb környezeti problémák a következők:

- (a) légszennyezés → szilárd részecskék, valamint szén-oxidok, kén-oxidok és nitrogén-oxidok kibocsátása;
- (b) szerves kibocsátások → dioxin, szénhidrátok, mérgező irritatív anyagok és rákkeltő vegyületek;
- (c) szilárd hulladékok képződése → fenékhamu, pernye (melyek néha mérgező anyagokat tartalmaznak), és a velük járó szennyezési problémák;

(d) vízszennyezés → biológiai oxigénigény és kémiai oxigénigény változása, szilárd anyagok szuszpenziója, fémek nyomelemek beoldódása;

(e) földterületekre és vízi erőforrásokra gyakorolt nyomás;

(f) háztartási kockázatok → például véletlen tüzesetek;

(g) foglalkozási veszélyeztetettség → hosszabb idejű kitettség mérgező és maró hatású vegyi anyagoknak.

Fatüzelés

A fa, fapellet és faszén fűtésre és főzéshez való használata helyettesítheti a fosszilis tüzelőanyagokat, és összességében alacsonyabb CO₂-kibocsátást eredményezhet. Ugyanakkor a fa füstje szennyezőanyagokat tartalmaz, például szén-monoxidot és szilárd részecskéket. A modern fatüzelésű kályhák, pellet-tüzelésű kályhák és kandalló-betétek csökkenthetik a fatüzelésből származó részecskeszennyeződés mértékét.

A szegényebb országokban a fa és a faszén jelentős főzési és fűtési célú tüzelőanyagnak számít, de ha a fák kitermelése gyorsabb ütemben zajlik, mint ahogy azok növekedni képesek, az az erdők kiirtásához vezet (EIA).

Biomassza felhasználása áram- és hőtermelés céljára

A fa áram- és hőtermelésre való felhasználása az elmúlt években gyors növekedést mutatott, de valós hatása a klímára és az erdőkre ellentmondásos. Csakúgy, mint pár éve a közlekedési célú bioüzemanyagok körüli vita, ez is egy nagyon ellentmondásos témává vált, ahol csak nagyon kevés területen sikerült konszenzusra jutni (Chatam House).

A biomassza áram- és hőtermelés céljára való felhasználására vonatkozó legújabb támogatási szabályzatok azon a helytelen feltételezésen alapulnak, hogy a technológia alkalmazása közvetlenül és teljesen szénsemleges. Ez a feltételezés támaszt alá számos közpolitikát, ami azt eredményezi, hogy a biomassza felhasználása bővül, ez pedig inkább csak hátráltatja a klímaváltozás korlátok közé szorítására tett kísérleteket. Valójában a biomassza egységnyi energiára vetítve több szenet bocsát ki, mint a legtöbb fosszilis tüzelő- vagy üzemanyag. Rövid és középtávon szénsemlegesnek csak azok a maradványanyagok tekinthetők, amelyek máskülönben hulladékként elégetésre kerültek volna, vagy amelyek az erdőben hagyva gyors lebontásra kerültek volna (Chatam House).

Az egyik ok, amiért a biomasszát szénsemlegesnek vélik az, hogy a nemzetközi üvegházgáz-elszámolási szabályok szerint az ehhez kapcsolódó kibocsátásokat az

energiaágazat helyett a földhasználatnál kell nyilvántartani. Azonban a földterület használatból eredő kibocsátások elszámolásának különböző módjai miatt ezeknek a biomasszából származó kibocsátásoknak egy része soha nem kerül elszámolásra (Chatam House).

Szilárd települési hulladék vagy fahulladék eltüzelése

A szilárd települési hulladék hulladékerőművekben energiatermelés céljából való elégetésével kevesebb hulladék kerül a lerakókba. Másrészt viszont a szemét égetése légszennyezést okoz, és vegyi anyagokat bocsát a levegőbe. Ezek a vegyi anyagok megfelelő kontroll nélkül az egészségre és a környezetre is ártalmasak lehetnek (EIA).

A hulladékerőművek által kibocsátott gázokat minden esetben tisztítják: a kibocsátott anyagok áramában lévő savak semlegesítése érdekében folyadékot permeteznek az égési gázokhoz. A szövetbetétes szűrők és az elektrosztatikus porleválasztók az égési gázokból a részecskéket is eltávolítják. Az hulladékégetők kemencéjében az égés magas (1000-1100 °C-os) hőfokon történik, amely a szilárd települési hulladékban jelen lévő vegyi anyagokat egyszerűbb, kevésbé veszélyes vegyületekké bontja le (EIA).

A hulladékerőművek hamujának ártalmatlanítása

A hamu a hulladékban eredetileg jelen lévő fémeket magas koncentrációban tartalmazza. A települési hulladékban jelenlévő ólom és kadmium leginkább az elemekből származik. A ruhafestékek, nyomdafestékek és a kerámiák is tartalmazhatnak ólmot és kadmiumot. A fluoreszkáló villanykörték kis mennyiségben higanyt tartalmazhatnak. A hulladék égetés előtti szétválogatása a probléma egy részére megoldást jelenthet (EIA).

A hulladékgáz és a biogáz gyűjtése

A szennyvízkezelő-telepek, hulladéklerakók és trágyafeldolgozó üzemek biológiai folyamatai során biogáz keletkezik. A biogázt főként metán és CO_2 alkotja. Sok létesítményben a metánt elégetve áramot termelnek. Ez kiválthatja a fosszilis tüzelőanyagokon alapuló áramtermelés egy részét, és a CO_2 -kibocsátások nettó csökkenését eredményezheti, bár a metán égése során is CO_2 keletkezik. Mivel a metán üvegházhatása erősebb, mint a CO_2 -é, így összességében az üvegházhatás is csökken.

Az erjesztéses eljárások hatása; folyékony bioüzemanyagok: az etanol és a biodízel

A bioüzemanyagok szénsemlegesek lehetnek, mivel az előállításukhoz használt növények (például kukorica és

cukornád az etanolhoz, szójabab és olajpálmák a biodízelhez) növekedésük során CO₂-t kötnek meg. Így ellensúlyozhatják a bioüzemanyagok gyártásából és elégetéséből származó CO₂-kibocsátásokat (EIA).

Mindazonáltal a bioüzemanyag célú növénytermesztés ellentmondásos, mert az erre a célra felhasznált földterületet, műtrágyát és energiát lehetne inkább élelmiszernövények termesztésére is használni. A világ egyes részein a természetes vegetációt és az erdőket nagy területen írtják ki, hogy ott bioüzemanyag alapanyagaként szolgáló növényeket termesszenek: az etanolhoz cukornádat, a biodízelhez pedig szóját és olajpálmát.

Ezek a tevékenységek mind rövid, mind hosszú távon akár sokkal nagyobb mértékben erősíthetik a globális felmelegedést, mint amennyire a gépjárművek üzemanyagaiban a benzin egy részének etanollal való helyettesítése csökkenti azt (Searchinger és mtsi., 2008.).

A biomasszának vannak olyan alternatív forrásai is, amelyek nem versengenek az élelmiszernövényekkel a földterületért, és amelyekhez kevesebb műtrágya és növényvédőszer szükséges, mint a kukoricához és a cukornádhoz. Etanolt papírhulladékból is lehet termelni, a biodízel pedig hulladék zsírokból és olajokból, sőt akár még algákból is előállítható (EIA). Egyre nagyobb támogatást élvez a bioüzemanyagok olyan lignocellulóz alapú energianövényekből való előállítás, mint a vesszős

köles, a füzek és nyárfák, különösen, ha azokat alacsony termőképességű területeken termesztik (Schmer és mtsi., 2008.).

Az etanol és az etanol-benzin keverék égése tisztább, és nagyobb az oktánszáma, mint a tiszta benziné, de nagyobb az üzemanyagtartályokból és az adagoló berendezésekből való párolgási kibocsátásuk is. Ezek a párolgási kibocsátások hozzájárulnak a veszélyes talajközeli ózon és szmog kialakulásához. A párolgási kibocsátás csökkentéséhez a benzint további feldolgozási eljárás alá kell vetni, mielőtt vegyítnék az etanollal. A biodízel égése kevesebb kén-oxid, kevesebb szilárd részecske, kevesebb szén-monoxid és kevesebb el nem égett és egyéb szénhidrogén képződésével jár, viszont határozottan több nitrogén-oxidot termel, mint a kőolaj-alapú üzemanyag (EIA).

Bár az életciklus-elemzések azt mutatják, hogy a bioüzemanyagoknak az általuk kiváltott fosszilis üzemanyagokhoz képest kedvezőbb a nettó energia egyenlegük (Schmer és mtsi., 2008.), ha az energia egyenleget teljes összefüggésében vesszük számításba, az üvegházhatású gáz kibocsátásokat, a környezeti hatásokat és az etikai elveket is figyelembe véve, akkor a bioüzemanyagok hasznosítása már kevésbé tűnik vonzó alternatívának (Abbasi és mtsi., 2008.).

Hivatkozások

Abbasi, Tasneem, Abbasi, SA: Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization; Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 3, April 2010, 919-937 old.

Abbasi SA, Chari KB. Environmental management of urban lakes. New Delhi: Discovery Publishing House; 2008.

Alper H, Moxley J, Nevoigt E, Fink GR, Stephanopoulos G. Engineering yeast transcription machinery for improved ethanol tolerance and production. Science 2006;314:1565–8.

Chari KB, Abbasi SA. A Study on the aquatic and amphibious weeds of Oussudu Lake. Hydrology Journal 2005;28(September–December):89–98F.

Chatham House (International Affairs Think Tank) (<https://www.chathamhouse.org/about/structure/ee-department/environmental-impact-use-biomass-power-and-heat-project>)

Chaudhuri SK, Lovley DR. Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells. Natural Biotechnology 2003;21:1229–32.

EESI: (<http://www.eesi.org/topics/bioenergy-biofuels-biomass/description>)

EIA (U.S. Energy Information Administration) www.eia.gov

Euroserv'er: Biofuels barometer 2017

Euroserv'er: Solid biomass barometer 2016

Fixen PE. West FB nitrogen fertilizers, meeting contemporary challenges. *AMBIO* 2002;31:169–76.

Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW. The nitrogen cascade. *BioScience* 2003;53L:41–356.

Ganesh PS, Gajalakshmi S, Abbasi SA. Vermicomposting of the leaf litter of acacia (*Acacia auriculiformis*): Possible roles of reactor geometry, polyphenols, and lignin. *Bioresource Technology* 2009;100:1819–27.

Gitay HA, Suarez T. In: Watson, Dokken DJ, editor. *Climate Change and Biodiversity*. IPCC Technical Paper V. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2002.

Goldemberg J, Johansson TB. *World energy assessment overview: update*. New York: United Nations Development Programme; 2004.

IRENA: *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series – Biomass for Power Generation*, 2012

Lewtas J. Air pollution combustion emissions: characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. *Mutation Research—Reviews in Mutation Research* 2007;636:95–133.

McLaughlin SB, Kszos LA. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy* 2005; 28:515–35.

Miller SA, Landis AE, Thesis TL. Environmental trade-offs of biobased production. *Environmental Science & Technology* 2007;(August):5176–82.

Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzapple M, Ladisch M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 2005;96:673–86.

Pimentel D. Competition for land: development, food, and fuel. In: Kaliasha MA, Zcker A, Ballew KJ, szerkesztők. *Technologies for a Greenhouse-constrained Society*, Lewis, Boca Raton, FL; 1992. 325–48. old.

Raghu S, Anderson RC, Daehler CC, Davis AS, Wiedenmann RN, Simberloff D, és mtsi. Adding biofuels to the invasive species fire? *Science* 2006;313:1742.

Ramasamy EV, Gajalakshmi S, Sanjeevi R, Jithesh MN, Abbasi SA. Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource Technology* 2004;93:209–12.

Rowe L, Street R, Taylor NR. Identifying potential environmental impacts of large-scale development of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13:271–90.

Salge JR, Dreyer BJ, Dauenhauer PJ, Schmidt LD. Renewable hydrogen from nonvolatile fuels by reactive flash volatilization. *Science* 2006;314:801–5.

Scheer, Hermann: *Handbook of Renewable Energies in the European Union I-II*; Frankfurt am Main, Germany, 2002

Schmer MR, Vogel KP, Mitchell RB, Perrin RK. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. USA: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2008.

Searchinger T, Heimlich R, Houghton RA, Dong F, Elobeid A, Fabiosa J, et al., Use of croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change 10.1126/Science.1151861. Science 2008;319:1238–40.

Seo JS, Chong H, Park HS, Yoon KO, Jung C, Kim JJ. The genome sequence of the ethanologenic bacterium *Zymomonas mobilis* ZM4. Nature Biotechnology 2005;23:63–8.

Smil V. Nitrogen in crop production: an account of global flows. Global Biogeochemical Cycles 1999;13:647–62.

US National Energy Education Project

World Bioenergy Association: Global Bioenergy Statistics 2014

World Energy Council: World Energy Resources – Bioenergy 2016.