

## 10. Villamos erőművek és energetikai összehasonlításuk

A villamos erőművek olyan nagyszisztemek, amelyek különböző energiahordozókból villamos energiát állítanak elő.

A világ első villamos erőművét Edison alkotta meg, amikor erőgépként gőzgépet, munkagépként egyenáramú dinamót alkalmazott.<sup>1</sup> Ez a villamos erőmű konkrét célra készült, de hamarosan a villamos energiaátvitel került előtérbe. Depez az 1882-es müncheni kiállításra egy 57 km hosszú kísérleti távvezeték épített. Egy gőzgép hajtotta generátor egyenáramával, 1500–2000 V feszültségen működtette a kiállítási helyszínre telepített villanymotort.

A villamos energia távolsági átvitelében igazi áttörést a váltakozó áramra való áttérés jelentette. A váltakozó áram alkalmazásával lehetővé vált a transzformátorok széles körű, szervezett használata. A villamos erőátvitel újabb jelentős állomása a háromfázisú transzformátor alkalmazása.

### 10.1. Hőerőművek

A 9. fejezetben részletesen foglalkoztunk a hőtermelés különböző módozataival. A hőtermelést követő folyamatok alapján különböző energiaátalakítók kapnak szerepet. Főbb lehetőségeket a 10.1. ábra szemlélteti.<sup>2</sup>

A klasszikus hőerőművekben a tüzelőanyag elégetésével felszabaduló hő a gőz közvetítésével a gőzturbinában az expanzió révén forgó mozgássá alakul, mely a generátor forgatásával villamos energiát generál.

#### 10.1.1. Gőzturbinás erőművek

A kazán tűzterében elégetett tüzelőanyag (szén, fűtőolaj, hulladék, biomassza) hője felmelegíti a kazán-dob-csővezeték rendszerben lévő nagynyomású vizet, amely gőzzé párologva a túlhevítőben magas hőmérsékletű gőzzé alakul. Ez a gőz expandál a gőzturbinában, a fáradt gőz hőtartalmát kondenzátorban vonják el. A kondenzátumot tápszivattyú juttatja a kazán vízterébe. A rendszer hatásfoka a Ran-

---

<sup>1</sup> 1882. New York – vasútállomás megnyitása – Thomas Alva Edison. Orłowski – Pezylowski: Találmányok könyve. Móra Ferenc Könyvkiadó, 1982. pp.61.

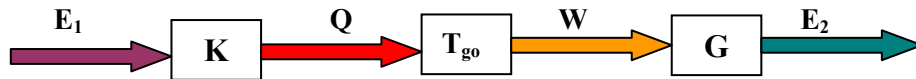
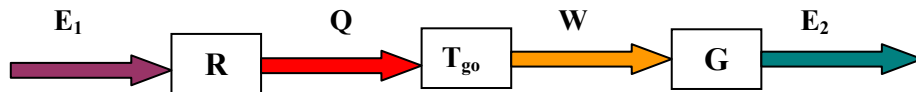
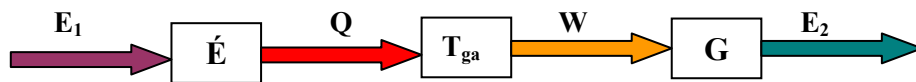
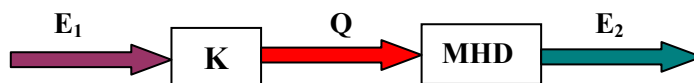
<sup>2</sup> Büki Gergely: Erőművek. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004. pp. 15–20.

*Közbenső energiák*

$E_1$  – primér energiahordozó kötött energiája  
 $Q$  – hő  
 $W$  – munka  
 $E_2$  – villamos energia

*Energiaátalakító berendezések*

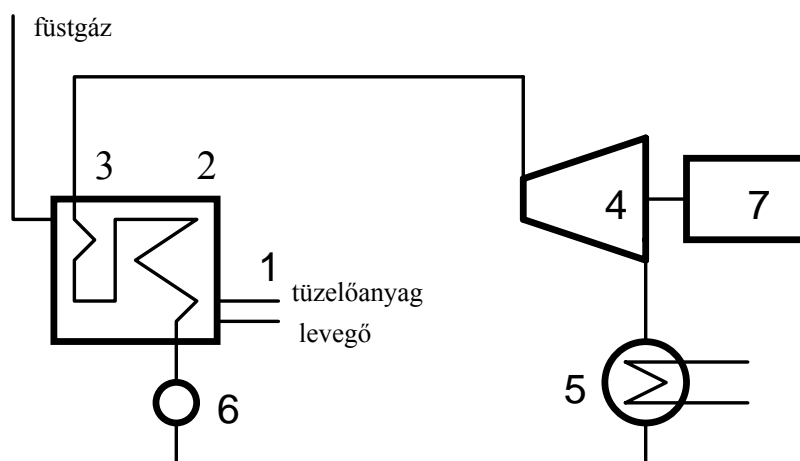
**K** – kazán  
**R** – atomreaktor  
 $T_{go}$  – gőzturbina  
 $T_{ga}$  – gázturbina  
**G** – generátor  
**É** – égéstér  
**MHD** – generátor  
**TC** – tüzelőanyag cella

**Gőzturbinás hőerőmű energiaátalakítási folyamata****Atomerőmű energiaátalakítási folyamata****Gázturbinás hőerőmű energiaátalakítási folyamata****Magnetohidrodinamikai hőerőmű energiaátalakítási folyamata****Tüzelőanyag cella energiaátalakítási folyamata**

10.1. ábra: Hőerőművek energiaátalakítási folyamatai

kin–Clausius körfolyamat alapján elsősorban a kazántér nyomásától, a túlhevítés hőfokától és a kondenzációs hőmérséklettől függ.

A gőzturbinás hőerőmű elvi vázlatát a 10.2.ábra szemlélteti. A legfontosabb egységeket (kazán, turbina, generátor, kondenzációs hűtőtorony, pernyeleválasztó, kéndioxid leválasztó, gipszüzem, ...) a 10.1–10.10. képek mutatják.



- |               |                |                 |
|---------------|----------------|-----------------|
| 1. Tüztér     | 2. Kazán       | 3. Túlhevítő    |
| 4. Gőzturbina | 5. Kondenzátor | 6. Tápszivattyú |
| 7. Generátor  |                |                 |

10.2. ábra: A gőzturbinás erőmű folyamatábrája

Hazánkban a hagyományos hőerőművek fontos szerepet játszanak a villamosenergia ellátásában. Jelentősebb hazai gőzerőmű adatait a 10.1. táblázat szemlélteti.

Erőmű neve	Teljesítmény	Fűtőanyag	Építés időszaka
Paksi atomerőmű	2000 MW	urán-oxid	1973–1986
Mátraaljai hőerőmű	800 MW	lignit, biomassza	1965–1973
Tiszai hőerőmű	860 MW	gudron, tüzelőolaj, földgáz	1971–1979
Pécsi hőerőmű	215 MW	földgáz, biomassza	1955–1966

10.1. táblázat: Jelentősebb hazai gőzturbinás erőművek<sup>3</sup>

<sup>3</sup>[http://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarorsz%C3%A1gi\\_er%C5%91m%C5%B1vek\\_list%C3%A1ja](http://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarorsz%C3%A1gi_er%C5%91m%C5%B1vek_list%C3%A1ja)



10.1. kép: Erőművi blokk: kazán, szénőrlő malom



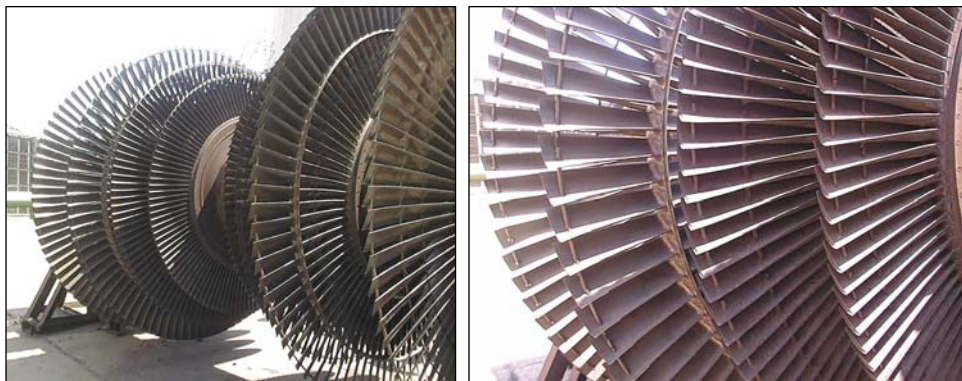
10.2. kép: Szénőrlő malom kopása / Tűztér ellenőrző nyílása



10.3. kép: Turbina és generátor szint



10.4. kép: Szétbontott gőzturbina



10.5. kép: Gőzturbina járókereke



10.6. kép: Heller-Forgó hűtőtorony ←

10.7. kép: Hűtőelemek ←

10.8. kép: Kéntelenítő berendezés ↑



10.9. kép: Blokkirányító



10.10.kép: Az erőmű blokkjainak elrendezése

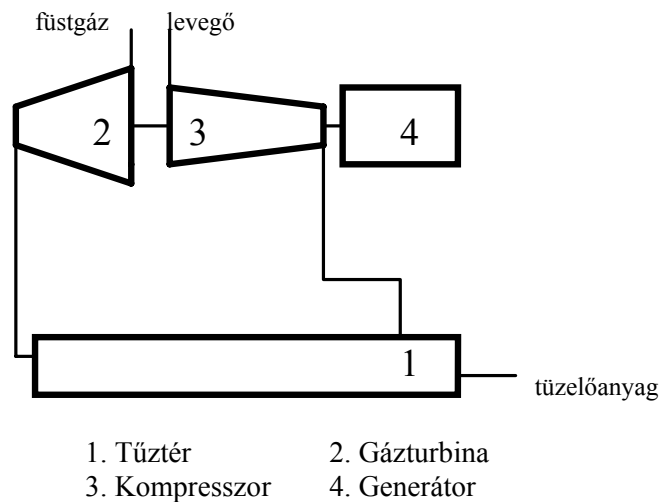
A klasszikus gőzturbinás erőművi blokkokat főként alaperőművi funkcióban üzemeltetik, de ma már gyakori a különböző kapcsolt üzemmódu működtetés is. A leggyakrabban alkalmazott módozatok: épületek hőigényének biztosítása, technológiai hőigények kielégítése, kombinált gáz/gőzerőművek létesítése.

A szén tüzelőanyaggal dolgozó gőzerőművek gőzkazánjai régebben többnyire rostélytüzelésűek voltak, ma már szénportüzelést és fluidágyas tüzelést alkalmaznak. Ezt a változtatást a tüzelőanyag váltás (lignit) és a környezetvédelmi előírások korlátozzák. Porszténtüzelés esetén oxigénhiányos, többlépcsős égés hozható létre, amely az  $\text{NO}_x$  csökkentését jelentheti. Fluidágyas rendszerrel mézskőpor adagolásával a  $\text{SO}_2$ -t és az  $\text{SO}_3$ -t lehet csökkenteni, s a korlátozott tüztéri hőmérséklet miatt az  $\text{NO}_x$  képződés is csökken.

A szén alapú kazán tüzelés esetén a pernye leválasztásáról és a füstgáz kéntelenítéséről gondoskodni kell. A pernye elhelyezése külön feladat. A kén leválasztás után keletkezett gipsz hasznosítható.

### 10.1.2. Gázturbinás erőművek

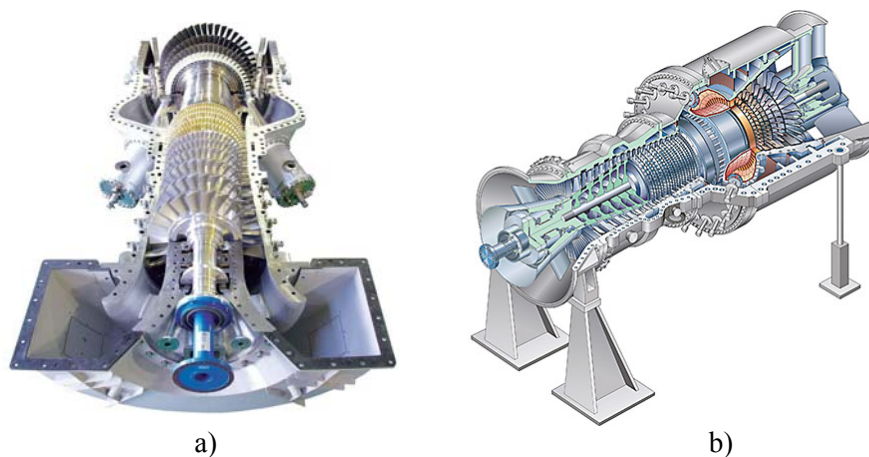
A gázturбина az elégetett tüzelőanyag füstgázának energiáját hasznosítja, a turbinában lezajló expanzió során (10.3. ábra).



10.3. ábra: A gázturbinás erőmű folyamatábrája

A klasszikus gázturbinás erőműveket rendszerint csúcsra járatott egységként használták. A gázturбина felépítését a 10.11. kép (a, b) szemlélteti.

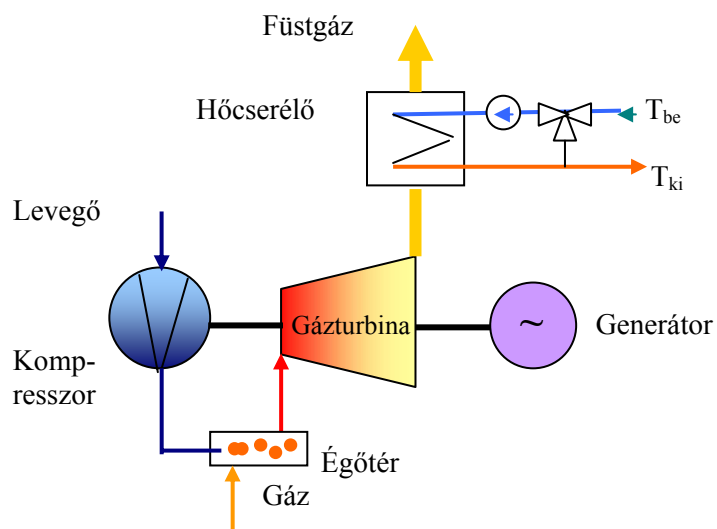




10.11. kép: A gázturbina felépítése

A nagyméretű szénhidrogén tüzelőanyagú gőzerőmű egységeket az utóbbi időszakban kombinált gáz-/gőzerőművi blokkokra cserélik.

A mai alkalmazások többsége ún. kapcsolt hő és energiatermelés, azaz a gázturbina után füstgázhoz hasznosító hőcserélőt szerelnek, amely forróvizet (HMV) vagy gőzt állít elő (10.4. ábra).



10.4. ábra: A gázturbinás erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel

A jelentősebb hazai gázerőmű adatait a 10.2. táblázat szemlélteti.

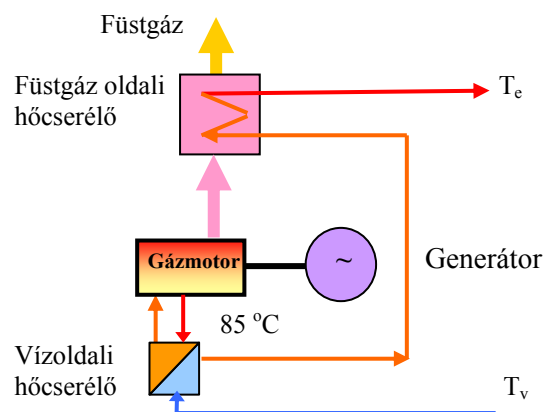
Erőmű neve	Teljesítmény	Fűtőanyag	Építés időszaka
Inotai gázturbinás csúcserőmű	200 MW	gázolaj	1971–1975
Kelenföldi gázturbinás erőmű	136 MW	földgáz, gázolaj	1990–1996
Csepeli gázturbinás erőmű	390 MW	földgáz, gázolaj	1995–2000
Nyíregyházi Kombinált ciklusú erőmű	49 MW	földgáz	2006–2007

10.1. táblázat: Jelentősebb hazai gőzturbinás erőművek

### 10.1.3. Gázmotoros erőművek

A gázmotorokat régóta alkalmazzák biogázok (állattartó telep, szennyvíztisztító iszap) hasznosítására. Az előállított villamos energiát általában helyi célra, sziget üzemmódban alkalmazzák. A 10.12. kép a hódmezővásárhelyi szennyvíztisztító szennyvíziszap feldolgozása során nyert gáz tárolását, a 10.13. kép a nyitrai szennyvíztisztító gáztároló egységét mutatja. A 10.14. kép egy a gázt helyi célra hasznosító gázmotort, a 10.15. kép földgázzal és biogázzal is működőképes gázkazánt mutat.

Az utóbbi időben előtérbe került a kis teljesítményű gázmotorok alkalmazása fűtőblokkként távfűtési vagy házfűtési rendszerekben. Kiderült, hogy ezek a kapcsolt rendszereket kis teljesítménynél kedvező hatásfok jellemzi (10.5. ábra).



10.5. ábra: A gázmotoros erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel



10.12–10.13. kép: Szennyvíztisztítók gáztározói



10.14–10.15.kép: Gázmotor részlet / Kombinált gázkazán

1 GJ hő átviteléhez szükséges vízmennyiség különböző visszatérő hőmérséklet esetén (10.3. táblázat).<sup>4,5</sup>

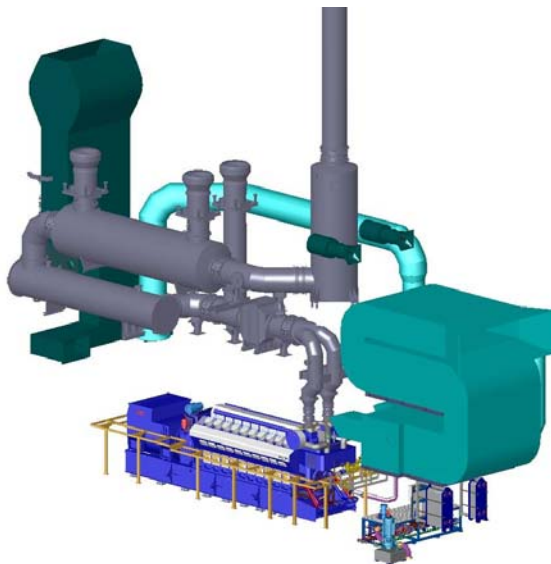
Belépő hőmérséklet	Kilépő hőmérséklet	Fajlagos víz szükséglet
60 °C	106,84 °C	21,35 m <sup>3</sup> /GJ
70 °C	98,11 °C	35,58 m <sup>3</sup> /GJ
80 °C	89,37 °C	106,74 m <sup>3</sup> /GJ

10. 3. táblázat: Gázmotor hő és víztérfogat viszonyai

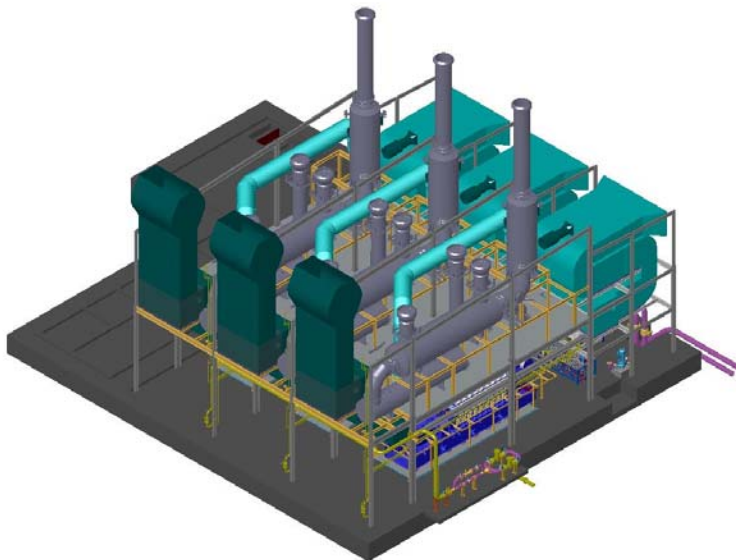
<sup>4</sup> Balikó Sándor: Gázmotor fűtési rendszerbe illesztése. Energiagazdálkodás 2002, 1. pp. 29.

<sup>5</sup> A villamos- és a hőteljesítmény arányai: Pl. a Kiskunhalasi Távhőszolgáltatónál: 320 KWe/ 535 KWth. Forrás: Bercsi Gábor: Gázmotoros kapcsolt energiatermelés helyzete az ezredfordulón. Energiagazdálkodás 2001. 5. pp. 16–19.

Az újpalotai gázmotoros erőmű néhány 3D-s szimulációját mutatják a 10.16–10.17. képek.



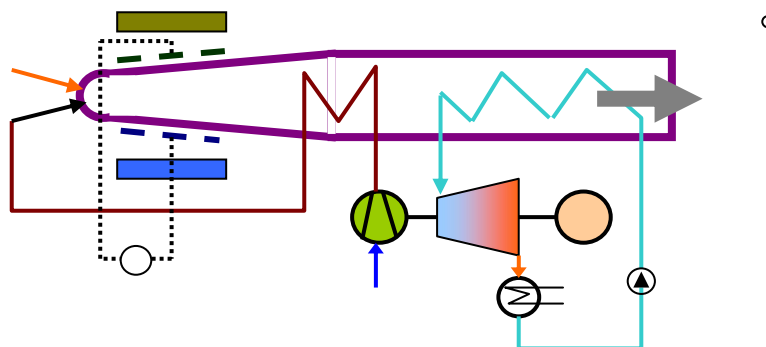
10.16. kép: Gázmotoros fűtőerőmű egy blokkjának főbb egységei



10.17. kép: Gázmotoros fűtőerőmű három blokkjának elrendezése

## 10.2. MHD generátor

Közvetlen energiaellátás, mely során a füstgáz egy magnetohidrodinamikuss rendszerben ionizálódik és a felszabaduló elektronok a gázt vezetővé teszik. Az ionizált és vezetővé tett gáz nagy sebességgel áramlik. Hatásfoka kedvező, ha a hőmérséklet magas és kilépő hőt gőzerőmű tovább hasznosítja (10.5. ábra).



10.5. ábra: MHD generátor elvi elrendezése

Jelölje az alábbi anyagokat és egységeket: G – gáz; É – Észak; D – Dél; L – levegő,  
1 – Generátor; 2 – Gőzturbina; 3 – Kompresszor; 4 – Szivattyú; 5 – Kondenzátor

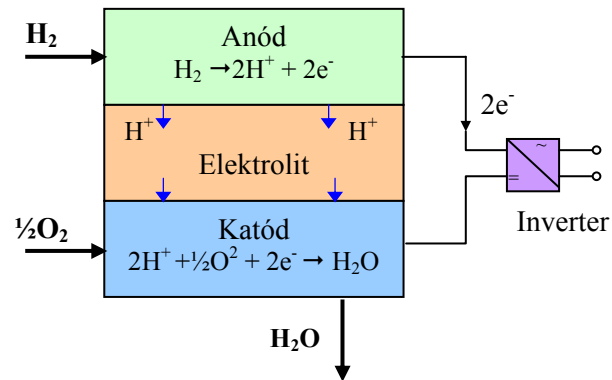
### Feladat

Írja a helyes számokat és betűket a megfelelő helyre!

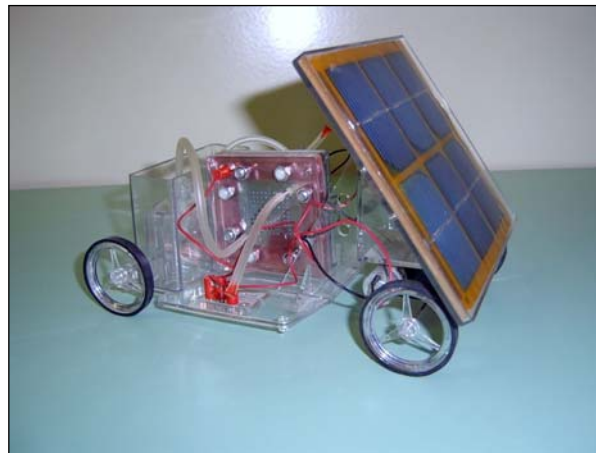
## 10.3. Tüzelőanyag cella

A tüzelőanyag cella a tüzelőanyagból közvetlenül villamosenergiát termel. Ha a tüzelőanyag hidrogén, akkor a hidrogén és az oxigén elektrokémiai reakciójából víz keletkezik és az anód és a katód között elektronok áramlanak, mely az inverterben váltakozó árammá alakítható. A rendszer jellemzőit mutatja a 10.6. ábra.<sup>6</sup> Tüzelőanyag cellás autó modelleket a 10.18–10.20. képek szemléltetik.

<sup>6</sup> Büki Gergely: Kapcsolt energiatermelés. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007. pp. 225–233.



10.6. ábra: Hidrogén tüzelőanyag cella működési elve



10.18., 10.19, 10.20. ábra: Tüzelőanyag cellás modellek  
 (Modellre szerelt napelemmel; Modellhez kapcsolható napelemmel; Hidrogén-oxigén kutat működtető napelemmel; A napelemek a vízbontás energiáját fedezik.)

## 10.4. Napenergia hasznosítása

### 10.4.1. Napelemek alkalmazása

A napelemek (PV) félvezető technológiát alkalmazó fotoelektromos berendezések. Legkisebb egységei a cellák, amelyeket modulokká kapcsolnak. A hálózati modulok ~240 cellából állnak, melyek által előállított egyenáramú villamos energiát váltakozó árammá kell alakítani.

A napelemek hatásfoka 5–15%. Jelenleg a világ összes villamosenergia felhasználásának csak ~1%-át állítják elő ily módon. Ennek az energiának „kézzel fogható” hasznosítására óriási felületeket kellene kialakítani. Ezzel létrehozható energia jelenleg reálisan csak lokális igényeknek tud megfelelni.<sup>7</sup> Különböző kísérletek folynak, s amennyiben a napelem modulok ára és a kapcsolódó berendezések költségei csökkennek, van remény arra, hogy a napelem felületek nőnek. A 10.21. kép egy napelem telepet mutat be (Portugália). A 10.22–10.25. képek helyi alkalmazásokat szemléltetnek.

A 10.6. táblázat megépült napelem parkok főbb jellemzőit foglalja össze.

Erőmű neve	Teljesítmény	Helyszín	Építés időszaka
Sarnia Photovoltaic Power Plant	97 MW <sub>p</sub>	Canada	2009–2010
Rovigo Photovoltaic Power Plant	70 MW <sub>p</sub>	Italy	2010
Olmedilla Photovoltaic Park	60 MW <sub>p</sub>	Spain	2008

10.6. táblázat: Működő napelem parkok a világon (50 MW<sub>p</sub> felett)<sup>8</sup>



10.21. kép: Napelem telep (Portugália)

<sup>7</sup> Részletesen: Dr. Giber János: Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Kiadó, Budapest, 2005.

<sup>8</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power\\_plan](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_plan)



10.22–10.25. képek: Egyszerű napelem alkalmazások



### 10.4.2. Naperőművek

A Nap energiájának legegyszerűbb alkalmazása a közvetlen hasznosítás. Azokon a földrajzi helyeken, ahol a Nap energiáját közvetlenül hasznosították az elmúlt évezredekben, most új eszközökkel hatékony, jól felhasználható energiához juthatunk. A 10.26. kép a halszáritás hagyományos módját mutatja be, mely és a napelempark közötti analógiát könnyen fel lehet ismerni.

A termikus naperőmű lényegileg egy 50–60 m magas toronyban elhelyezett „kazán”, amelyet a körkörös elhelyezkedő tükörrendszerrel érkező napsugarak felmelegítenek. Ideális meteorológiai viszonyok esetén gőz állítható elő, amely gőzturbinában hasznosítható és villamos energia fejleszthető (10.27. kép).

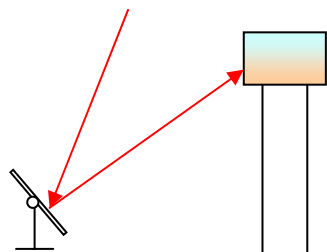
A rendszer hatékonysága fokozható, ha a tükrök szöge állítható, és ha nem sík-tükröket, hanem parabolatükröket alkalmaznak (10.29. kép).

A naperőmű mintájára *napkohók* is építhetők, melyeket elsősorban metallurgiai kísérletekhez használnak.

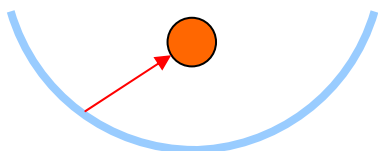
A naperőmű egyik változatában vízszintes *csőregisztereket melegítenek parabolikus tükrökkel*, így torony építésének költségei megtakaríthatók (10.28. kép).



10.26. kép: A Napenergia hagyományos és modern felhasználási módjai között analógia van



10.27. kép: Naptorony<sup>9</sup>



10.28. kép: Parabola teknős naperőmű hőgyűjtő rendszere

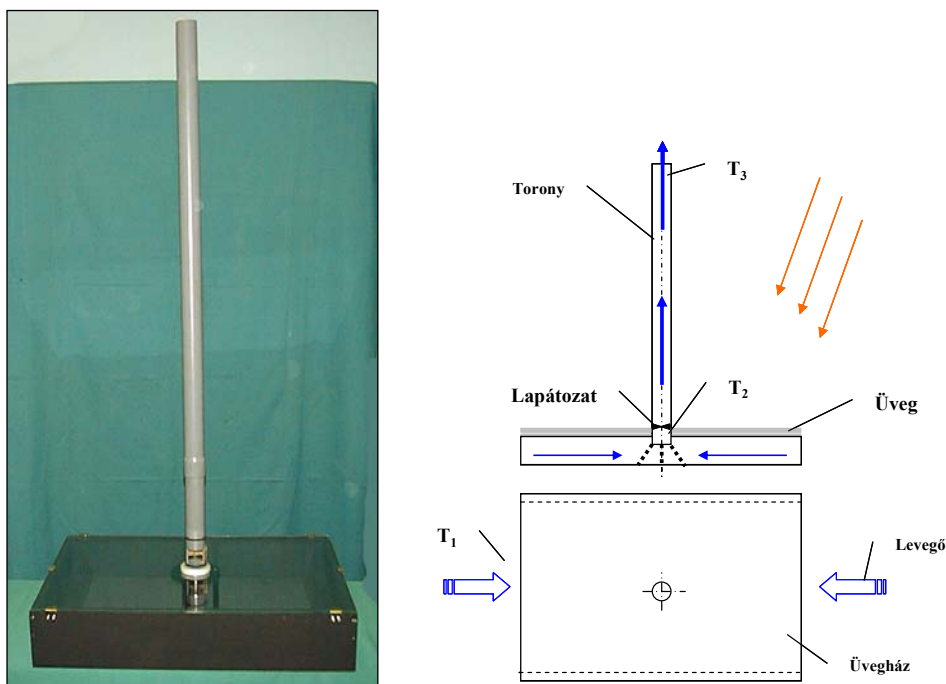


10.29. kép: Parabola tükrös napkonyha

<sup>9</sup> Naptorony épült Spanyolországban, 83 m-es toronnyal. A napsugarakat gyűjtő felület (300 darab, egyenként 40 m<sup>2</sup>-es tükrökből áll (heliostat). Népszabadság, 2011. január 12.

### 10.4.3. Naptorony

A naptorony egy magas kémény, melynek környezetében hőgyűjtő felületeket (üvegház és napkollektor kombinációja) állítanak fel, s az üvegházhatás során felmelegedett levegő egy turbinát hajt. A friss levegő a vákuum hatására beáramlik a hőgyűjtőbe, s felmelegedve fenntartja a folyamatot. A napkémény modelljét és elvi rajzát a 10.30. kép szemlélteti.



10.30. kép: Napkémény modellje és működési elve

### 10.4.4. Szélenergia hasznosítása

A szélenergia hasznosítására – a gyakorlati tapasztalatok szerint – ott van lehetőség, ahol a szélsébség értéke 5–10 m/s közé esik. A szélsébség átlagértéke és a szeles órák száma elsősorban a tengerparti régiókban magas. Így vált Hollandia, Dánia és Németország szél erőmű „nagyhatalommá”. A kinyerhető valóságos teljesítménysűrűség: 30–1000 W/m<sup>2</sup>.

A hazai szélvagyon főként a Kisalföldre, a Bakony északi és északnyugati részére és Szolnok megye területeire koncentrálódik. A szélkerekek a nagy magasság miatt rendkívül költségesek, de egyértelműen megújuló energiának tekinthetők. Kedvezőtlen környezeti hatásuk a zajhatás, mely céltudatos telepítéssel elkerülhető.



10.31–10.35. kép: Függőleges és vízszintes tengelyű szélkerekek



10.36–10.37. kép: „Kapcsolt” energiátalakító rendszerek

#### 10.4.5. Vízenergia hasznosítása

A vízenergia villamos energia előállítására való hasznosítása egyidős a villamos energia ellátással. A vízerőművek adják a világ villamos energia termelésének ~20%-át. A vízerőművek főbb típusai:

- *Átfolyós vízerőművek*, melyeket a nagy vízhozamú, de kis esésű folyókra építenek. A vízesés nem sokat változik.
- *Tározós vízerőművek*, amelyek a naponta, vagy meghatározott periódusonként gyűjtik össze a vizet. Magas gátrendszert igényel. Általában csúcsüzemben működtetik.
- *Üzemvíz csatornára telepített erőművek*, melyek építése a legkevesebb környezeti beavatkozással jár.
- *Szivattyús tárolós vízerőművek* többféle üzemmódban működhetnek. Leggyakoribb, hogy csúcsra járatják, azaz a felső víztározót akkor töltik fel, amikor nincs villamos csúcs és akkor engedik le a vizet, amikor a villamos energiaigény megnőtt. Ma már motor-generátor és turbina-szivattyú üzemmódú gépeket is alkalmaznak.
- *Árapály erőművek* és a *hullám erőművek* alkalmazása is előtérbe került, de ezek többsége még kísérleti szakaszban működik.

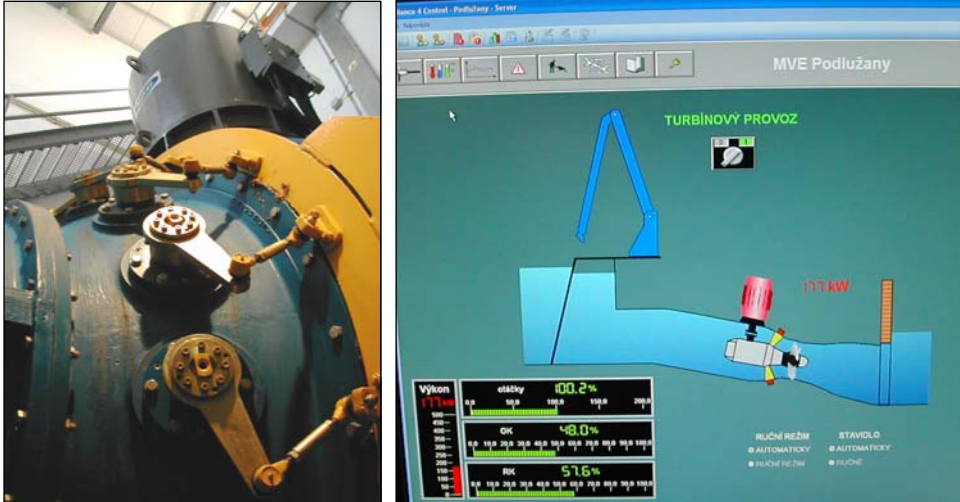
A hazai vízerőművek közül a Kiskörei erőmű a legnagyobb beépített teljesítményű: vízese 6,7 m, vízhozama: 560 m<sup>3</sup>/s, villamos teljesítménye: 28 MW, 4 db csőturbina szolgáltatja az energiát. Tározó hasznos térfogata: 132 millió m<sup>3</sup>.



10.38–10.40. kép: A kiskörei vízerőmű modellje, billenő szegmensei és uszadék tisztítója



10.41–10.45. kep: Mini vízerőmű a Nyitra folyón, partfal karbantartása

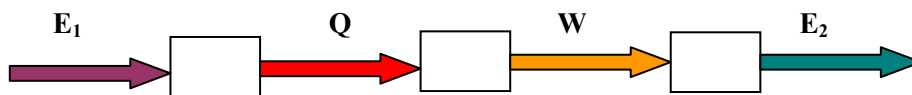


10.46–10.47. kep: A turbina elhelyezése, a vezetőkerék szabályozó rendszere

### Kérdéstár

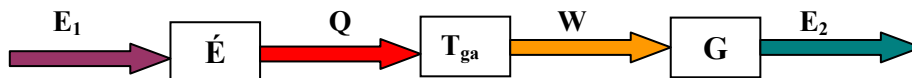
1. Rajzolja fel a gázturbinás hőerőmű energiaátalakítás folyamatát! Elemezze!
2. Írja be az üres helyekre a megfelelő betűjeleket!

#### Atomerőmű energiaátalakítási folyamata



3. Egészítse ki a hiányzó szöveget!

..... hőerőmű ..... folyamata



4. Válassza ki a hibás állítást!

- a) A Tiszai hőerőmű biogázzal üzemel.
- b) Pécsi hőerőmű biomasszát is felhasznál fűtőanyagként.
- c) A Mátraaljai erőműben lignitet tüzelnek el.
- d) A Paksi erőmű urán-oxid fűtőanyagot használ.
- e) A lignitet porszénként tüzelik el.



5. Jelölje a helyes választ!

- a) A kénleválasztás során keletkezett gipszet a mezőgazdaságban hasznosítják.
- b) A Heller-Forgó hűtőtornyot ott használják, ahol a hűtővíz nagy mennyiségben rendelkezésre áll.
- c) A kéntelenítés során nem marad vissza füstgáz.
- d) A kénteleítő egységet csak azért helyezték el a hűtőtornyban, hogy helyet ne foglaljon.
- e) A kénleválasztás során keletkezett gipszet a gipszkarton gyárban hasznosítják.

6. Válassza ki a helyes állításokat!

- a) A gázturbinás erőműben a füstgázt komprimálják.
- b) A gázturbinás erőműben a friss levegőt komprimálják.
- c) Az égéstérből a füstgáz a HMV hőcserélőbe jut.
- d) Az égéstérből a füstgáz a gázturbinába jut.
- e) A kompresszort a generátor hajtja.
- f) Általában egyenáramú hőcserélőket használnak.

7. A gázmotoros erőművekre vonatkozó állítások közül válassza ki a helyeseket!

- a) Csak az utóbbi évtizedben használják.
- b) Kis teljesítményeknél kapcsolt üzemmódban jó a hatásfoka.
- c) Kis teljesítményeknél kapcsolt üzemmódban rossz a hatásfoka.
- d) A gázmotor meglévő fűtőművekhez nem kapcsolható.
- e) A gázmotor vízoldali hűtőköréből kikerülő víz tovább melegíthető a füstgáz hőjével.
- f) A gázmotor vízoldali hűtőköréből kikerülő víz nem melegíthető tovább a füstgáz hőjével.

8. Válassza ki az alábbi felsorolásból azokat az egységeket, amelyek tüzelőanyag cellához tartoznak!

- a) generátor
- b) kompresszor
- c) kondenzátor
- d) inverter
- e) katód
- f) szivattyú

9. Mely állítások igazak a Napkéményre?

- a) parabola teknőben gyűjtik a hőt
- b) forgó egysége a turbina
- c) a felmelegedett levegő felfelé áramlik a kéményen és mozgásba hozza a turbinát
- d) a kémény tetején egy kazán található, ezt melegíti fel a feláramló levegő
- e) a levegő csak azért áramlik, mert a kémény magas
- f) a kéményhez kis hőgyűjtő területre van szükség

10. Egészítse ki az alábbi mondatokat:

- a) Az átfolyós vízerőműveket ..... vízhozam és .....esés esetén építik.
- b) A ..... vízerőműveknél magas gátrendszert alkalmaznak.