

Atomenergia a 21. században

Dr. Sükösd Csaba
c. egyetemi tanár
BME Nukleáris Technikai Intézet

Teleki Blanka Gimnázium, Budapest

2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 1

Tartalom

- Energia és teljesítmény
- Energia → villamosenergia → atomenergia
- Az atomenergia fő irányai a 21. században
- Magyarországi helyzet
- Atomenergia – de miért?
- Mennyire drága az atom, a nap- és a szélenergia?

2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 2

Energia és teljesítmény

Nissan LEAF elektromos autó

A motor maximális teljesítménye: 108 kW teljesítmény

Az akkumulátor kapacitása: 40 kWh energiatartalom

$$\text{Energia} = \text{teljesítmény} \cdot \text{idő}$$

$$\text{kWh} = \text{kW} \cdot \text{h}$$

Energia „átváltása”:
1 Joule (J) = 1 Watt • 1 sec (Ws)

1 kWh = (1000 W) • (3600 s) = 3 600 000 J

Miért fizetünk? A teljesítményért, vagy az energiáért?
Az energia megmutatja, hogy összességében mennyi munkát végezhetünk.
(Energia → munkavégző képesség)

Teljesítmény = a munkavégzés „sebessége”

HF: Átlagos hatótávolság: 250 km (100 km/h átlagsebesség mellett)
Mekkora az autó átlagos teljesítménye? (16 kW)

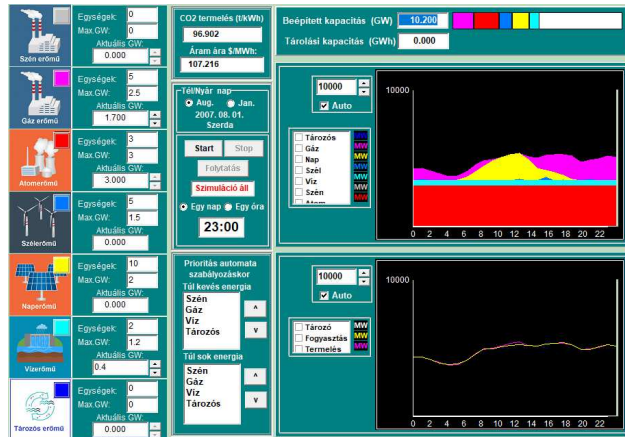
2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 3

Energiaforrástól a használt energiáig

	Energiaforrás	Energiahordozó	
CO₂- kibocsátó fosszilis	<ul style="list-style-type: none"> • szén, lignit • kőolaj, • olajpala, • olajhomok • földgáz 	<ul style="list-style-type: none"> • villamos energia • távhő • üzemanyagok • földgáz 	<ul style="list-style-type: none"> • mechanikai energia (gépek, közlekedés...) • fűtés, • meleg víz, • világítás, • informatika, • kommunikáció • ipari hő • stb...
CO₂ mentes megújuló atom	<ul style="list-style-type: none"> • urán, tórium • deutérium • trícium (lítium) • nap, szél • víz • árapály, hullám • biomassza • földhő 	<ul style="list-style-type: none"> • kőolaj-finomítási termékek • szén-nemesítési termékek • hidrogén 	

2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 4

Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2019. évi szimulációs feladata



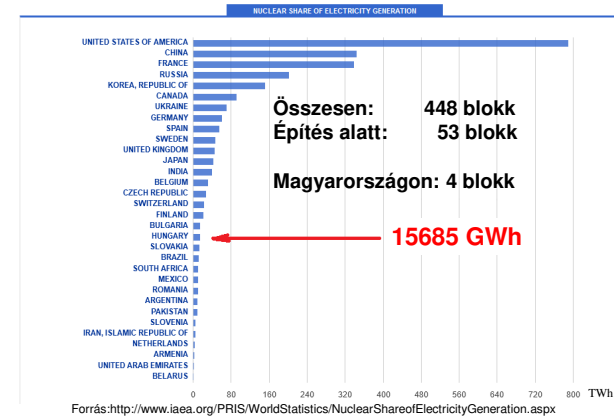
Letölthető: https://sukjaro.hu/SCsaba/EnergiaTermelés/SzL_2019.ecs
 Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

2022. június 8.

5

Atomenergia a 21. század elején

Atomerőművekben termelt villamos-energia mennyisége 2020-ban



Forrás: <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>

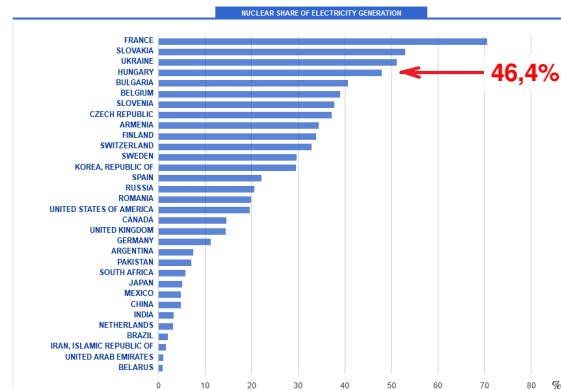
2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

6

Atomenergia a 21. század elején

Atomerőművekben termelt villamos-energia aránya 2020-ban



Forrás: <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

7

Atomenergia a 21. század elején

- Meglévő erőművek **üzemidő-hosszabbítása**
- Új erőművek **építése**
- 3. generációs erőművek **fejlesztése**.
A jelenleg épülő erőművek többsége ilyen!
- 4. generációs erőművek **kutatása**
- **Radioaktív hulladék** kezelésével kapcsolatos **kutatások**

Hazánk is érintett:

- **üzemidő-hosszabbítás** (Paks I-nél megtörtént)
- meglévő kapacitás **távlati pótlása** 2 új blokkal (Paks II)
- **Kutatásokban** való erőteljes részvétel (MTA-EK, BME, NUBIKI)

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

8

Atomerőmű fejlesztések

- **Kína:** szédületes tempó
 - 26 blokk építés alatt, rövidesen még több indul,
 - tervek: 5-6x növelni a nukleáris kapacitást
- **Oroszország** sem áll meg:
 - Belföldön 21 új blokk(!), 9 hazai telephelyen 2030-ig
 - Külföldön sok futó projekt (kínai, indiai, török, vietnami, fehér orosz, jordániai, szlovák, magyar, finn...)
- **USA** 30 év után újra belekezdett
 - Belföldön jelenleg 5 új blokk épül, rövidesen még több
 - Külföldön (Kína, India, Anglia...)
- **Európa** is épít...
 - Finnország (Olkiluoto 3-4, Hanhikivi) 2+1 új blokk
 - Franciaország (Flamanville) 1 új blokk
 - Nagy-Britannia (Hinkley Point, Sizewell, Wylfa, Oldbury, Sellafield) 9 új blokk (elhatározva)
 - Szlovákia (Mohovce 3-4) 2 új blokk

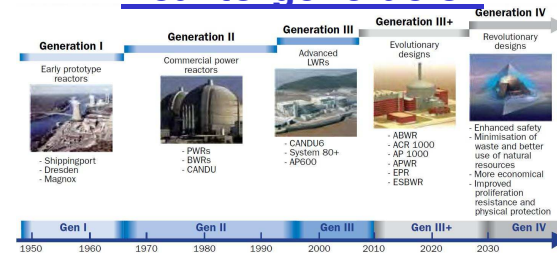
2020	2030	2050
60 GW	200 GW	400 GW

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

9

Reaktorgenerációk



- I.: 1970-es évek előtt, természetes uránnal működő reaktorok.
- II.: A 70-es évektől kifejlesztett könnyűvízes reaktortípusok, **jelenleg** is alkalmazzuk őket. Zömük 2015-2030-ra tölti ki tervezett élettartamát.
- III-III+: A jelenlegi reaktortípusok optimalizálása biztonsági és gazdaságossági szempontok szerint.
Készék a kereskedelmi forgalomra, **a piacon ezeket kínálják**
- IV.: Jelenleg **fejlesztés alatt**, 6 fő típus vizsgálata nemzetközi projektekben. Céljuk fenntartható energiaforrás biztosítása (villamos- és hőtermelés, tengervíz sóatlanítás), illetve a **hidrogén**termelés.

Paks-1

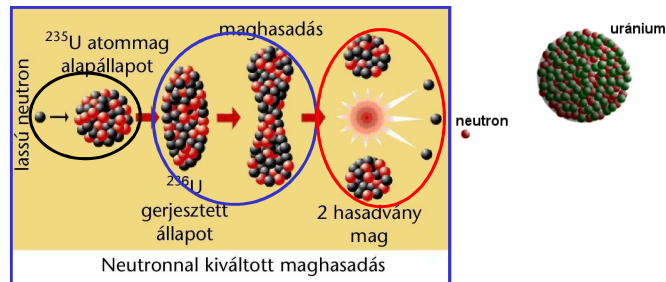
Paks-2

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

10

A maghasadásos láncreakció folyamata



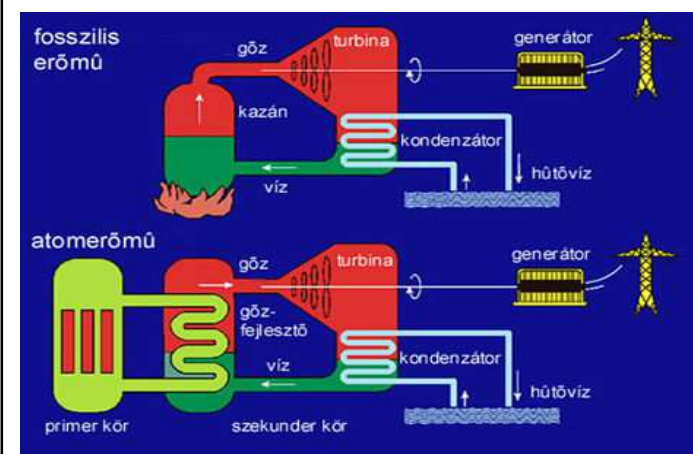
- 1) Az atommag **neutron** elnyelésékor gerjesztett állapotba jut
- 2) Alakja deformálódik, befűződik
- 3) **Két részre hasad, közben néhány neutron is kilép+ENERGIA**
- 4) A keletkezett neutronok újabb maghasadást okoznak Szabályozott **láncreakció** jön létre.
A szabályozást a **neutronok elnyelésével** valósítjuk meg.

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

11

A fosszilis hőerőmű és az atomerőmű elvi felépítése



2022. június 8.

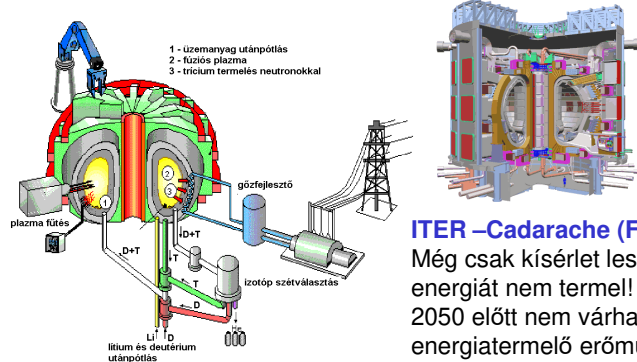
Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

12

Fúziós erőművek?

Az atomenergia felszabadításának másik útja: a magfúzió
 ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{n} + 17,6 \text{ MeV}$ (D+T fúzió)

Csak igen magas hőmérsékleten lehet megvalósítani
 (10-100 millió fok!) → az anyag plazma állapotban



2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

13

Magyarországi helyzet

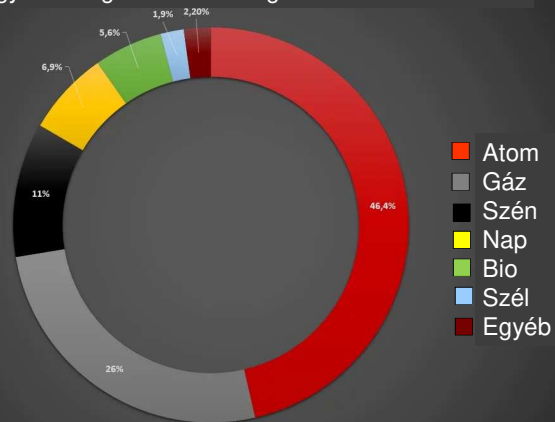


2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

14

Magyarország villamos-energia termelése 2020-ban



Forrás: <https://villanyautósok.hu/wp-content/webp-express/webp-images/doc-root/wp-content/uploads/2021/03/2021-03-12-magyarorszag-energiavisz-2020.png> webp

2022. június 8.

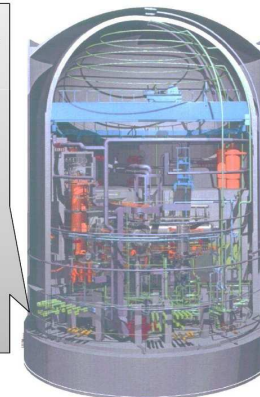
Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

15

Milyen reaktort akar a magyar fél?

Külső és belső veszélyeztető tényezők meghatározása

- Meteorológiai szélsőségek
- Földrengés
- Áradások
- Repülőgép-beesés
- Tűz
- Villamos betáplálás elvesztése
- Emberi tevékenységből eredő hatások
- Stb.



Földrengésre méretezés: legalább 0,25 g maximális vízszintes talajfelszíni gyorsulás

Külső események elleni védelem a konténment rendszer tervezésével (külső konténment)

Forrás: Aszódi Attila

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

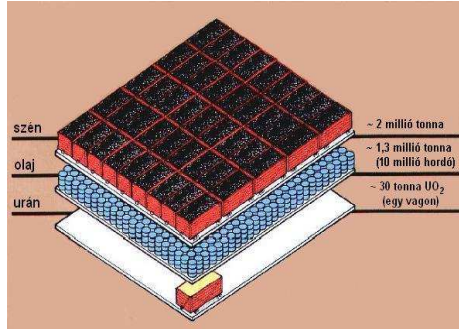
16

Atomenergia, de miért?

1) **Sűrű** energia: atommaghasadáskor sokmilliószor annyi energia szabadul fel, mint a szén, olaj, vagy földgáz elégetésekor

Következmények:

- Bányászat** olcsó, kisebb kockázatú
- Szállítás** olcsó
- Nagy tartalék készletek** halmozhatók fel: független energia ellátás
- Hulladék** kisebb mennyiségű



2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

17

Atomenergia, de miért? (folyt.)

- Környezetbarát:** atomerőművekben nem keletkezik üvegházhatást okozó gáz (széndioxid, füstgázok). Kyoto Egyezmény vállalásainak teljesítésében az atomerőműveknek nagy szerep juthat(na)
- Földrajzi** adottságtól függetlenül telepíthető: pl. vízerőmű, szél erőmű, napenergiával működő erőmű nem ilyen
- Pillanatnyi **klimatikus** hatásoktól függetlenül működik: **Alaperőműként** üzemeltethető. pl. szél erőmű, napenergiával működő erőmű nem ilyen
- Olcsó:** az összes többi energiatermelési móddal összehasonlítva az egyik legolcsóbb (a széntüzelésű erőművek ill. a vízerőművek ilyen olcsók még)

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

18

A napenergia ára

Mennyibe kerülne naperőművel előállítani a Paksi Atomerőmű által előállított energiát?

Paksi adatok:

Teljesítmény: 2000 MWe,
Éves energia: 15685 GWh

Naperőmű adatok (sajtóból):

Kaposvár (2021):
Teljesítmény: 100 MWe,
Éves energia: 130 GWh

Létesítési költség: 100 millió euró ~ 40 Mrd (milliárd) forint

A **TELJESÍTMÉNY** kiváltására 2000 MW / 100 MW = **20 db** ilyen (kaposvári) erőművet kellene építeni. Ennek költsége 20 * 40 MrdFt = **800 milliárd Ft**. Milyen olcsó! (Paks-II tervezett költsége kb. 3500 - 4500 milliárd Ft)



2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

19

A napenergia ára (folyt.)

Kaposvár éves energiatermelése: 130 GWh

Paks által évente megtermelt **ENERGIA**: 15685 GWh.

Ha tehát a blokkok által megtermelt **ENERGIÁT** szeretnénk kiváltani, akkor 15685 / 130 = **120 db** ilyen naperőművet kellene építeni, és ennek az építési költsége **4800 milliárd Ft** lenne!

Mitől van ez a nagy különbség? A naperőmű nem mindig termel!!

Időbeli kihasználtság: $\frac{130\,000\text{ MWh}}{100\text{ MW}} = 1300\text{ h}$ Egy évben van

$365 \cdot 24 = 8760\text{ h}$, tehát a kihasználtság: $\frac{1300}{8760} \approx 0,15$, azaz **15% !!**

A naperőmű működése során megtermelt **energia 85%-át el kellene tárolni** arra az időre, amikor nem működik! A tárolás költsége még nincs is benne a 4560 milliárd Ft-ban!

Beclések szerint a Paksi Atomerőmű pótlását biztosító **két új blokk** létesítési költsége 3500-4500 milliárd Ft közé esik. Sok? És az ugyanennyi energiát termelő naperőmű létesítése?

2022. június 8.

Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022)

20

A napenergia ára



HÁBORÚ > BEFEKTETÉS > BANK > DEVIZA > GAZDASÁG > GLOBÁL > EU > SZLET > INGYATLAN > ZÖLD VILÁG > IRIDA > TÖZSÉGI

Gazdaság
28 új naperőművet épít országszerte az MVM Csoport

MVI
2022. május 17. 10:04

Az MVM Zöld Generáció országszerte 28 naperőművet épít mintegy 7 milliárd forint beruházással - tájékoztatás a társaság weboldaráról.

A projekt nyolc évvel ezelőtt Országban teremtették, mivel a 0,5 megawatt (MW) kapacitású egységből 28 telepítés a legelőször, 15000 szolár panellel, megőrzésével nem hasznosított területen - mondta el a társaság csoportvezetője az MTI-nek.

Eddig nem történtek tájékoztatás szerint az erőművek évi 10 ezer gigawatt (GWh) villamos energiát termelhetnek majd, ez több mint 6000 háztartás éves villamosenergia-szükségletének fedezésére elegendő, egyelőre pedig évente 19 000 tonna szén-dioxid keletkezik az ország szén-dioxid-kibocsátásából. A rendszer növekvő teljesítménye 13,911 MW lesz.

Forrás: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20220517/28-uj-naperomvet-epit-orszagszerte-az-mvm-csoport-545329>

Új létesítések (2022 május):

Adat:
Éves energia:
69000 GJ=
= 19,2 GWh

Létesítési költség: = 7 Mrd Ft

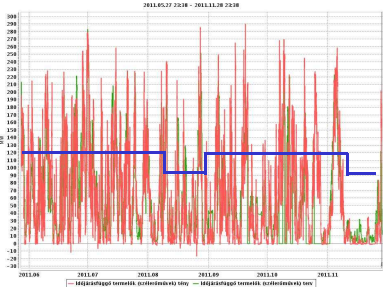
Paks-2 energiájának kiváltása 5720 Mrd Ft –ba kerülne. Energiatárolás nélkül!!

2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 21

A szélenergia ára

Már vannak szélerőműveink, le tudunk vonni következtetéseket!

Mosonszolnok szélerőmű-park: 52 GWh évente, 9 Mrd Ft létesítés
Paks: évi 15685 GWh ~ 300 ilyen szélerőmű-park. ~ 2700 Mrd Ft



2021.05.27.2021 - 2021.11.28.2021

Forrás: <http://www.mavir.hu/web/mavir/szeltermeles>

Szélerőműveink teljesítménye 2021.05.27 - 2021.11.28
Kihasználtság: ~ 13%

a Paksi Atomerőmű teljesítménye („alaperőmű”)

Szélenergia (és napenergia) részarányának lényeges növelése: csak ENERGIATÁROLASSAL!

2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 22


Energiatárolás nagy mennyiségben


- Villamos energia formájában nem lehet (akkumulátorok, kémiai)
- **Vízenergia** (megvalósítható, jelenleg legolcsóbb)
- **Hidrogén-gazdaság** (még kutatás alatt áll)

Vízenergia: tározós erőmű (kb. 70-80% a visszanyerhető energia)

- többletermelés idején felpumpáljuk a vizet (potenciális energia),
- hiány esetén leengedjük, áramot fejlesztünk. $E = mgh$

Természeti adottságok kellene!
Magas hegyek, nagy völgyek
Komoly környezeti hatások!





Banqiao (1975) : 171 000 halott, 11 millióan veszítették el hajlékukat

2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 23

Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2019. évi szimulációs feladata

Egység: 0
Max. GW: 0
Aktuális GW: 0.000

Szén erőmű:
Egység: 0
Max. GW: 2,5
Aktuális GW: 1,700

Gáz erőmű:
Egység: 0
Max. GW: 3
Aktuális GW: 3,000

Atomerőmű:
Egység: 0
Max. GW: 0
Aktuális GW: 0.000

CO2 termelés (tKWh): 96.902
Áram ára \$/MWh: 107.216

Beépített kapacitás (GW): 10.200
Tárolási kapacitás (GWh): 0.000

Változó nap: Aug. 2007. 08. 01. Szerda

Tárolás: Tározós, Gáz, Nap, Szél, Víz

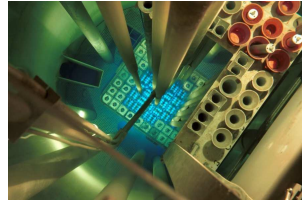
Optimális energiamixben:

- Alaperőművek (atom)
- Megújulók (nap, szél, bio...)
- Ingadozásokat kiegyenlítő (gáz, tározós)

Letölthető: https://sukjaro.hu/SCsaba/EnergiaTermeles/SzL_2019.exe

2022. június 8. Atomenergia a 21. században (Teleki Blanka Gimnázium 2022) 24

**Következtetés: 2000 MW alaperőművi
villamosenergia termelést **nem lehet** nap-
vagy szélenergia-erőművekkel kiváltani (ittthon)!**



„...majdnem mindaz, amit hozzáadtunk az emberek
kényelméhez, a felismert **fizikai** törvények hatására
következett be.”

(Wigner Jenő, Nobel-díjas fizikus)

Köszönöm a figyelmet!