

**BME**  
**Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar**

**Műszaki kémia előadás**

**Energiahordozók**

**2.rész**

**Atomenergia, Alternatív energiahordozók**

Összeállította:  
dr.Szabó Mihály

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

2020. ősz

## **Az atommag**

protonok (p)  
neutronok (n)

rendszám (Z)  
tömegszám vagy nukleonszám (A)  
 $A=Z+N$

## **A proton:**

az elektronnál 1837-szer nehezebb, ( $1,6724 \cdot 10^{-24}$  g tömegű),  
pozitív töltésű,  
stabilis részecske.

Egy proton nyugalmi tömegének 938,2 MeV energia felel meg.  
( $1 \text{ MeV} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ )

**A neutron:**

elektromosan semleges,

tömege 1839 elektrontömeg ( $1,6747 \cdot 10^{-24} \text{g}$ ),

instabil részecske.

átlagos élettartama 16,9 s,

spontán bomlásakor proton és elektron keletkezik, (radioaktív  $\beta$ -bomlás),

A neutron nyugalmi tömegének megfelelő energia 939,5 MeV.

## izotópok:

Z állandó, N és A különböző

A természetben az elemek többnyire izotópjaik keverékeként fordulnak elő.

A periódusos rendszer elején  $Z \sim N$ ,

a rendszám növekedésével  $N > Z$

Pl. urán:  $Z = 92$   $N = 143 - 146$ .

## A mag sűrűsége:

A magsugár  $10^{-13}$  cm,

A teljes atom sugara  $10^{-8}$  cm,

Csaknem a teljes tömeg a magban (az atom  $10^{-15}$  részében) koncentrálódik.

Az elemek maganyagának sűrűsége  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>, nagyjából állandó.

## Az atommag kötési energiája és stabilitása

A mag tömege mindig kisebb, mint a nukleonok tömegének összege, a mag elemeiből történő keletkezése exoterm folyamat.

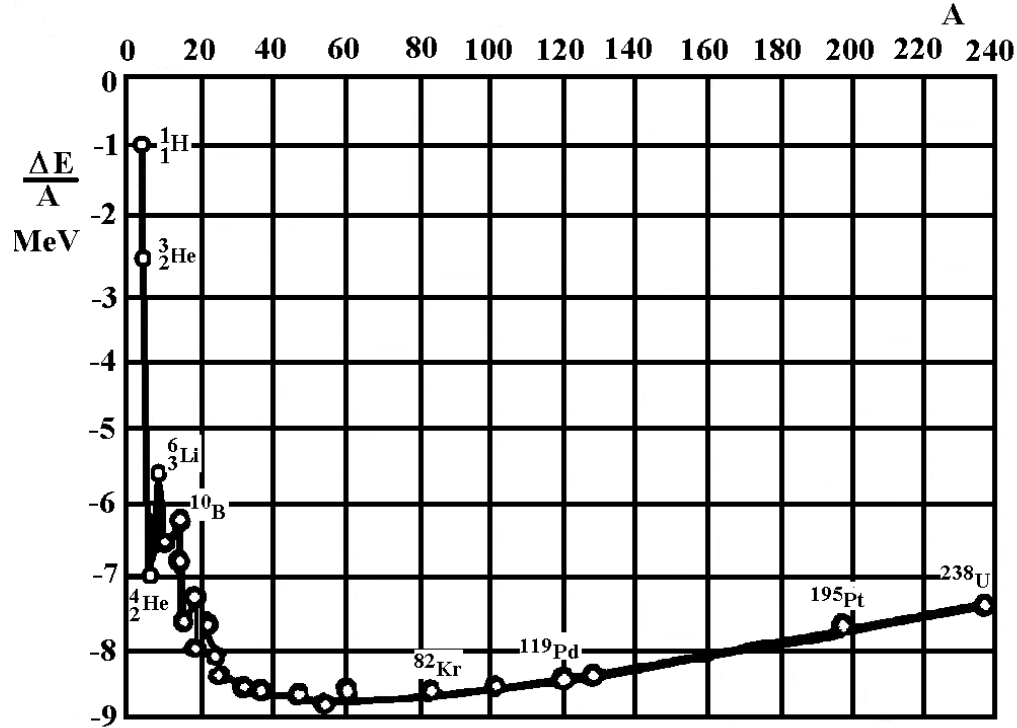
A mag kötési energiája

$$\Delta E = \Delta m * c^2$$

ennyi energiát kell befektetni, ha a magot elemeire akarjuk felbontani.

Az atommag átlagos kötési energiája több milliószorosa a kémiai kötések energiájának.

Az egy nukleonra eső átlagos kötési energia a tömegszám függvényében:



## **a magenergia-hasznosítása:**

### **elvileg két lehetőség**

- a kisebb magok egyesítése, fúzió
- a nagyobbak hasítása, fisszió

### **Fúzió**

Két  $^2\text{H}$  atommag egyesítése  $^4\text{He}$  atommaggá:  
a fajlagos kötési energia növekedése 6 MeV,  
a felszabaduló energia 24 MeV.

### **Fisszió**

Ha az  $^{235}\text{U}$  elhasad két közepes tömegszámú atommaggá:  
a fajlagos kötési energia növekedése 0,9 MeV,  
a felszabaduló energia 200 MeV.

# A maghasadás

## **Otto Hahn és Fritz Strassmann 1938:**

az urán atommagja neutronokkal bombázva kettéhasad, s eközben jelentős mennyiségű energia szabadul fel

## **Niels Bohr 1939:**

a természetes elemek közül csak a legnehezebbek, az urán és a tórium atomjai képesek hasadásra,

ezek instabilitása a természetes radioaktivitás oka.

(a Földön található természetes elemek száma 92).

az urán 235-ös tömegszámú atommagja a legalkalmasabb a hasadásra.

## **Joliot-Curie, Halban, Kowarski 1939:**

az  $^{235}\text{U}$  hasadása közben ún. szekunder neutronok kibocsátása (átlag 2,46),

**a láncreakció lehetősége.**



# Hasadóanyagok

## A természetes hasadóanyag:

az urán-235

termikus (lassú, a molekulák hőmozgásának megfelelő sebességű, ~2200 m/s)  
neutronok hatására hasad

Az urán, mint nukleáris üzemanyag

a legkoncentráltabb energiaforrás:

fajlagos energiatartalma milliószorosa a legjobb fosszilis energiahordozókének  
(pl. egy 0,5 cm<sup>3</sup>-es UO<sub>2</sub> fűtőelem-tabletta energiatartalma egyenértékű 0,6 tonna kőolajjal)

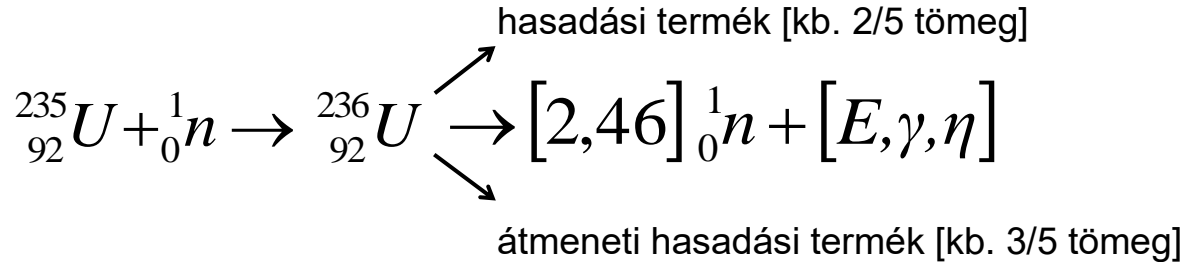
100 g <sup>235</sup>U elhasadása 1785 tonna trinitro-toluol (TNT) robbanóanyag energiájának megfelelő energiát képvisel.

Magyarország éves villamosenergia-fogyasztása kb. 44-45 ezer GWh, ehhez

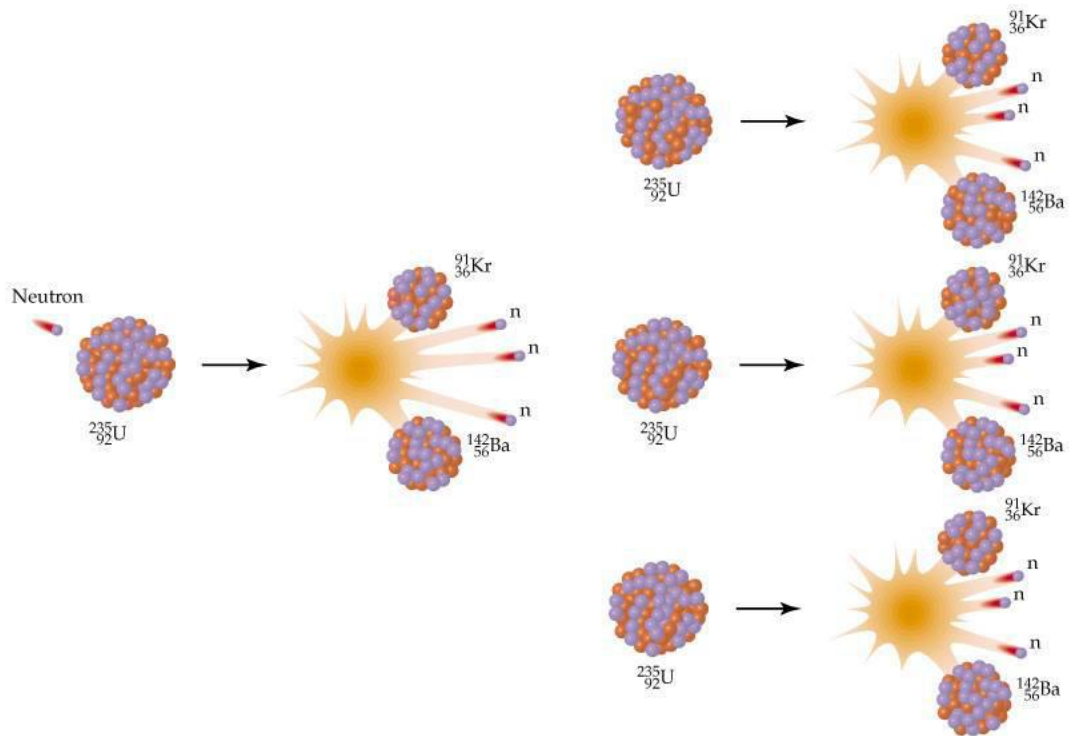
19 t tiszta U-235 elhasadása szükséges, vagy

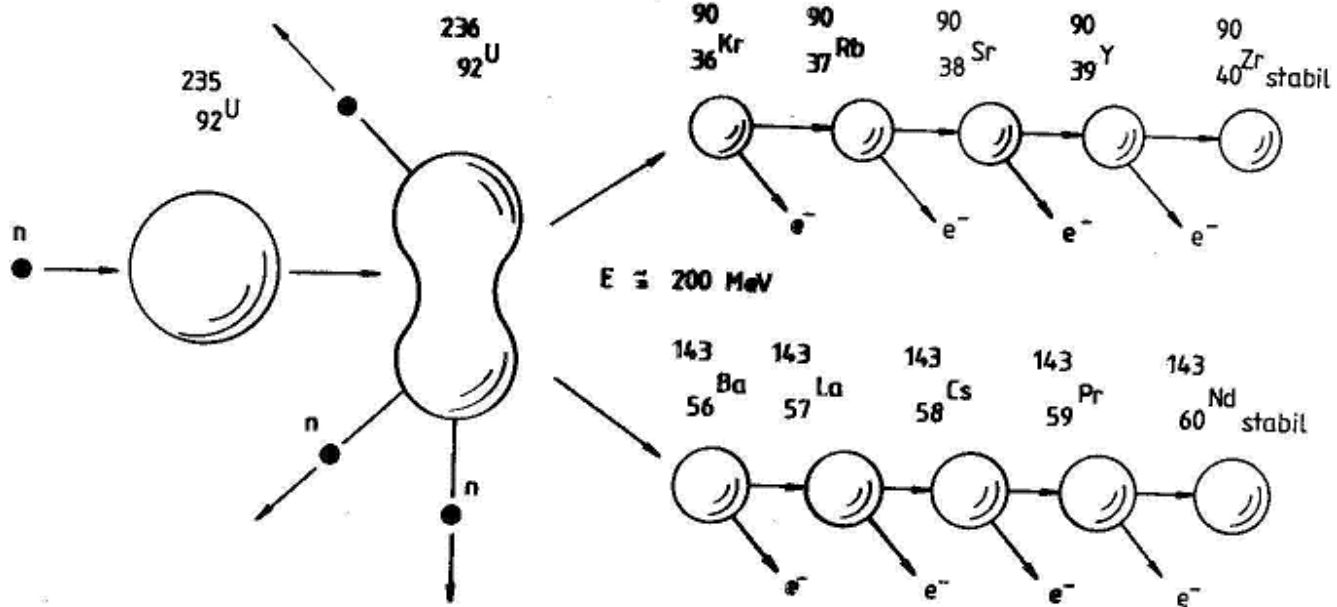
47 millió tonna (tehát kb. 2,5 milliószor annyi) feketekőszén eltüzelése

## A maghasadás:



A hasadványok sokfélék: ma 35 elem mintegy 200 izotópját ismerik





## A láncreakció feltétele:

pontosan 1 db neutron hasítson újabb urán-235-ös izotópot a sokszorozási tényező, (k): egy adott pillanatban lezajló hasadásból származó neutronok a következő generációban hányszor több (kevesebb) hasadást hoznak létre,

ha $k=1$ láncreakció <b>kritikus</b> ,	egyenletes energiatermelés
ha $k<1$ láncreakció <b>szubkritikus</b> ,	a láncreakció leáll
ha $k>1$ láncreakció <b>szuperkritikus</b> ,	atombomba

**de, sajnos** a természetes uránban:

urán 238-as tömegszámú (99,3 %)

urán 235-ös tömegszámú (0,7 %).

a  $^{235}\text{U}$  izotóp felezési ideje 710 millió év

az  $^{238}\text{U}$ -é 4 milliárd év, azaz az  $^{235}\text{U}$  izotóp gyorsabban fogy, mint a  $^{238}\text{U}$

kis mennyiségű hasadóanyag esetén a neutronok igen nagy hányada kilép az uránból,

**kritikus tömeg:** kevesebb neutron szökik ki, mint ami az önfenntartó láncreakcióhoz szükséges.

Pl.: golyó alakú, moderátor nélküli fém U-235 kritikus tömege **49 kg = 2,57 dm<sup>3</sup>**

## Megoldás:

1. a keletkezett neutronok lassítása moderátorral,  
a legjobb **lassítók** a kis tömegszámú elemek (rugalmas ütközés),  
feltétel: ne nyelje le a neutronokat,  
megfelel: könnyűvíz ( $\text{H}_2\text{O}$ ), a nehézvíz ( $\text{D}_2\text{O}$ ), a grafit (C) és a berillium (Be)  
leggyakrabban:  $\text{H}_2\text{O}$ , de nagyobb az elnyelése, mint  $\text{D}_2\text{O}$ -é

e miatt az uránt **dúsítani** kell

a dúsítás: az urán 235-ös tömegszámú izotóp arányának növelése 2-5 %-ra

2. a neutronok számának szabályozása neutron elnyelőkkel (B, Cd)  
a) szabályozó rúd /kazetta a reaktor aktív zónájába mélyebben vagy kevésbé betolva változtathatják a neutronok számát,  
b) a hűtőközeg bórsav-tartalmával
3. a felszabaduló energia elvezetése a reaktorból **hűtőközeg** segítségével  
a leggyakoribb hűtőközeg a víz

# Atomreaktorok és atomerőművek

Enrico Fermi, Chicago, 1942. december 2. „atommáglya”



## **Az első erőmű:**

Obnyinszk (SZU) 1954. július 27.  
grafitmoderálású, vízhűtésű reaktor  
villamos teljesítménye 5 MW volt

## **Magyarország, Paks:**

- 1982: az 1. blokk üzembe helyezése,
- 1984: a 2. blokk üzembe helyezése,
- 1986: a 3. blokk üzembe helyezése,
- 1987: a 4. blokk üzembe helyezése,

Élettartam-hosszabbítás

Új blokkok



## Reaktortípusok

Sokféle, de legnagyobb számban **termikus reaktorok**

A termikus energetikai reaktorok közül a legelterjedtebb:

enyhén dúsított (~3,5-4,2 %) urán,

természetes (könnyű) vízzel lassított (moderált) és hűtött típus.

Másik lehetőség:

természetes (dúsítás nélküli) urán

kisebb neutron elnyelő (deutériumot tartalmazó) nehézvíz. (Moderátorként grafitot is alkalmaznak.)

**Forralóvizes** típus: (Csernobil)

az aktív zónán átvezetett csövekben külön-külön felforr a víz, amelynek energiáját hőcserélőkön keresztül, vagy azok nélkül hasznosítják a turbógenerátorban.

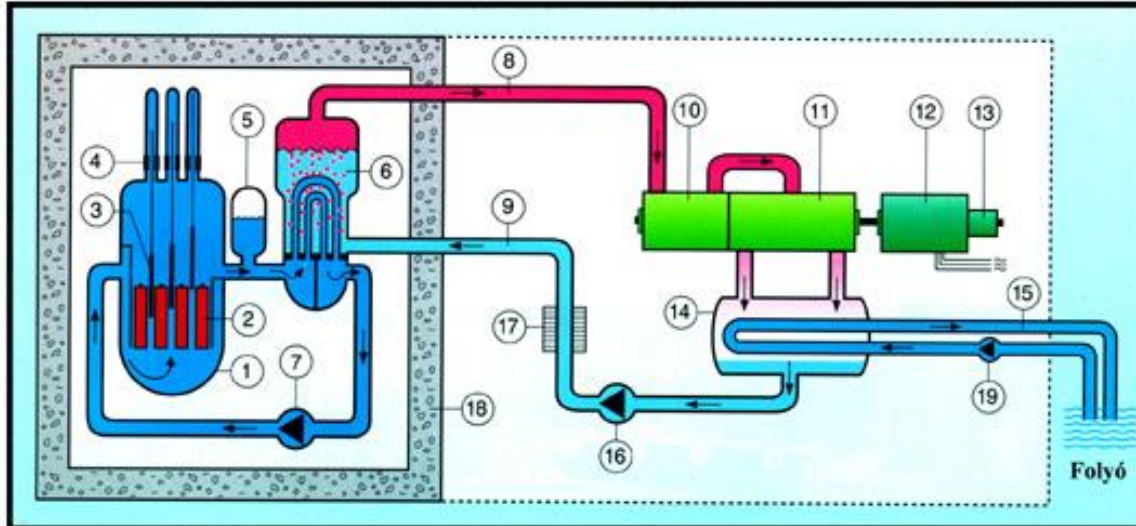
**Nyomottvizes** típus: (Sokkal gyakoribb, Paks)

a víz a reaktortartályban alkalmazott nagy nyomás következtében nem forr fel, az elvezetett hőt egy hőcserélőben egy másik, ún. szekunder körben keringetett víznek adja át

a szekunder körben a nyomás kisebb, így a hőcserélőben a víz felforr.

Pakson VVER típusú (vízhűtésű, vízmoderátorú energetikai) reaktor  
4 db, egyenként 440 MW névleges teljesítményű blokk,  
intenzifikálással 500 MW, összesen 2000 MW

## A Paksi Atomerőmű elvi vázlata



1 Reaktortartály

2 Fűtőelemek

3 Szabályozórudak

4 Szabályozórúd hajtás

5 Nyomástartó edény 123 bar 297°C

6 Gőzfejlesztő 46 bar 223 °C  
→ 258°C

7 Primer körű keringető szivattyú

8 Frissgőz

9 Tápvíz

10 Nagynyomású turbina

11 Kisnyomású turbina

12 Generátor

13 Gerjesztőgép

14 Kondenzátor

15 Hűtővíz

16 Tápvíz szivattyú

17 Tápvíz előmelegítő

18 Betonvédelem

19 Hűtővíz szivattyú

# A nukleáris üzemanyagciklus

Feladata:

a reaktorok üzemanyagának biztosítása,  
a reaktorok által ki nem égetett természetes hasadóanyag ( $^{235}\text{U}$ ) és  
a keletkezett, ill. előállított újabb, mesterséges hasadóanyagok ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{233}\text{U}$ )  
hasznosítása

## **Nagy tisztaságú urán előállítása:**

Az urán a természetben gyakori, 200 fajta urán-ásvány, de erősen diszpergálva  
(3-5 g/t közepes koncentráció)  
a kifizetődő kitermeléshez 0,5-5 g/kg

több, egymást követő művelet, (őrlés, kénsavas kezelés,  $\text{U}_3\text{O}_8$  kicsapása, majd  
pogácsák sajtolása (yellow cake)  
sok hulladék

## Izotópdúsítás:

(A természetes vízzel történő moderálás érdekében az uránt **dúsítani kell**).  
A dúsításkor az  $^{235}\text{U}$  arányát növelni kell a  $^{238}\text{U}$ -hoz képest.

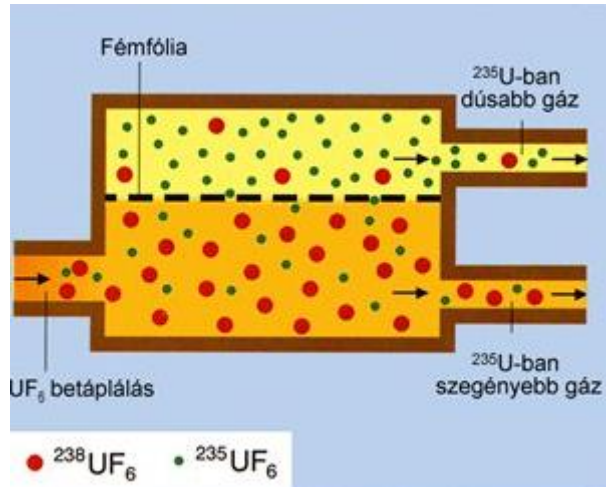
az uránt uránium-hexafluorid gáz halmazállapotú vegyületté alakítják ( $\text{UF}_6$ ).  
A fluornak csak egyféle izotópja létezik, a molekula tömege csak az urán tömegétől függ.

**csak FIZIKAI módszerek** alkalmazhatók, (pl. desztilláció, termodiffúzió, gázdifúzió, ultracentrifugálás, aerodinamikai módszerek), mert az izotópok kémiaailag nem különböznek.

## **gázdifúzió UF<sub>6</sub>-dal:**

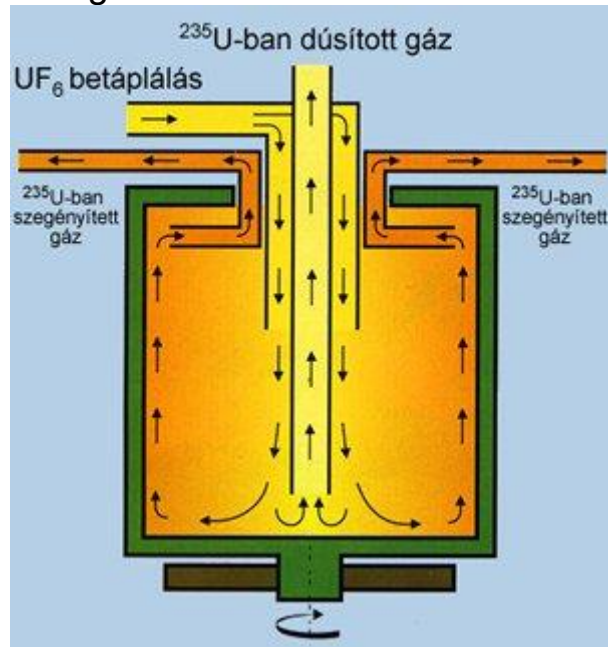
porózus falon a gázmolekulák diffúziós sebessége a molekulatömeg négyzetgyökével fordítva arányos

A gázdifúziós egységekben egy maratott fólián (aluminiumötvözet vagy teflon) keresztül, mesterségesen fenntartott nyomáskülönbség hatására diffundál át az urán-hexafluorid gáz. A "túloldalra" könnyebben jutnak át a 235-ös tömegszámú uránizotópot tartalmazó molekulák, így az ott felhalmozódó gáz <sup>235</sup>U-ban dúsabb lesz.

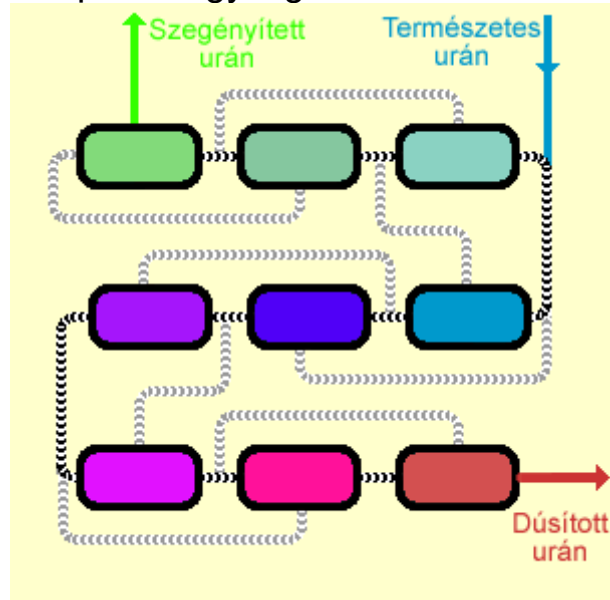


## ultracentrifugálás:

A nagy sebességgel forgó centrifugába a gázt bevezetve, a tengely mentén elvezethető gáz gazdagabb  $^{235}\text{U}$ -ban, a palást mentén elvezetett gáz gazdagabb  $^{238}\text{U}$ -ban, mint a bevezetett gáz..



Nagyon sok, kaszkádba kapcsolt egység



Drága, ismét sok hulladék



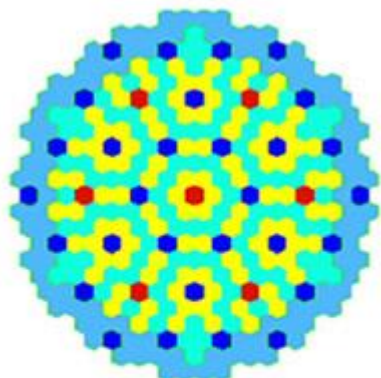
## Fűtőelemek:

A dúsított uránt tartalmazó urán-hexafluoridot több lépésben **urán-dioxid**dá alakítják, amit pasztillákká préselnek.

A pasztillákat Zr-Nb-ötvözetből készült vékony csövekbe **üzemanyagpálcákba** töltik, a pálcákat **kazettákba** szerelik.

## Paks:

a pelletek mérete: 9 mm magasság, 7,6 mm átmérő.  
cirkónium-nióbium ötvözetből készült, 2,5 m hosszú csövek  
kötegek rozsdamentes acélból készült keretben,  
egy kötegben 126 db cső,  
a 440 MW elektromos teljesítményhez 312 köteg,  
összesen 42 tonna, átlagosan 3,5 %-ra dúsított urán-oxidot.



- 3.6 % dúsitású üzemanyag
- 2.4 % dúsitású üzemanyag
- 1.6 % dúsitású üzemanyag
- szabályozó kazetták
- biztonságvédelmi kazetták

## **A nukleáris üzemanyag „kiégése”:**

az üzemanyagciklus egy fázisa.

a maghasadás következtében radioaktív hasadási termékek,

mintegy 30-féle kémiai elem különféle radioaktív izotópjai, különböző bomlási sebesség,  $10^{18}$  Bq aktivitás

egy ún. reaktorkampány alatt (a fűtőelem-cserék között eltelt időszak, 1-1,2 év).

a kiégett fűtőelemek kiemelése után „hűtés”, a keletkezett sokféle, rendkívül nagy aktivitású izotópok közül a rövidebb felezési idejűek elbomoljanak.

a hasadási termékek között több hosszú felezési idejű radioaktív izotóp is van, a hulladék biztonságos elhelyezéséről **több száz évre** kell gondoskodni.

## **Ideiglenes tárolás – pihentető medence**

A radioaktív hasadási termékek, valamint az  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  magok neutronokat fognak be, és sorozatos bomlásokon keresztül transzuránok keletkeznek.

A kiégett fűtőelem aktivitása nagy, a fűtőelemet hűteni kell, különben a bomlások során felszabaduló hőtől megolvad. Ezen kívül az intenzív sugárzást el kell

szigetelni a környezettől. A két feladatot egyszerre oldja meg a pihentető medence. Pakson az elhasznált üzemanyag-kötegeket öt évig tárolják.

## **Reprocesszálás:**

A „kiégett” nukleáris üzemanyagból a megmaradt ( $^{235}\text{U}$ ) és a keletkezett ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ) hasadóanyagok kinyerése tiszta állapotban, újabb fűtőelemek előállítására céljából.

Feldarabolás, salétromsavas oldás, extrahálás tributil-foszfáttal.

Ma a kiégett üzemanyagnak csak egy részét használják fel újra a reprocesszálás segítségével.

## **Üvegesítés**

A végleges elhelyezés előtti legelterjedtebb átalakítás.

A hulladékot kiizzítják, majd szilícium- és egyéb oxidokkal keverik, ami nagy hőmérsékleten (hőálló, sugárzástűrő, nem oldódó, a radionuklidokat biztonságosan magába záró) üveggé alakul.

Hordóba töltés, végleges hulladéktárolóba szállítás.

## Végleges elhelyezés

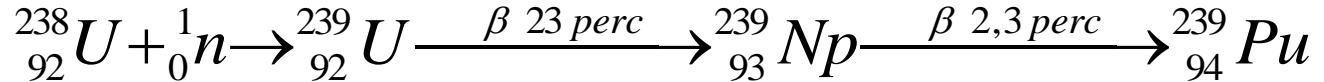
talajvízmentes geológiai képződményekben, amelyek földtörténeti korokon keresztül változatlanok maradtak.

sóbánya: ha van só, biztos, hogy nincs víz a közelben.

összefüggő sóréteg: biztos, hogy földrengés sem veszélyezteti a környéket.

## A mesterséges hasadóanyagok

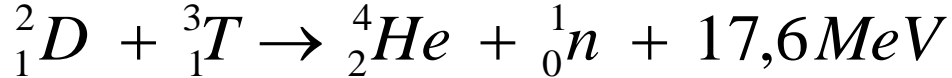
### plutónium–239



A reaktorban az energiatermelés közben nagy mennyiségű újabb hasadóanyag is keletkezik, **gyorsszaporító reaktorok** lehetősége.

## Fúzió

A szóba jövő reakció:



1 kg  $\approx$  10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> olajjal egyenértékű

1 ember energiafogyasztásának biztosításához teljes élete során  
10 g deutériumra és 15 g tríciumra van szükség

deutériumkészlet több százmillió évre, a (trícium-forrás) lítium ezer évig elegendő

a természetes vízben 35 mg deutérium



## **Feltétel:**

**$1-2 \cdot 10^8$  °C** szükséges a Coulomb taszítás legyőzésére, 1000 km/s sebesség

Lawson kritérium:

a plazmasűrűség\*idő\*hőm =  **$3,77 \cdot 10^{21}$  sK/cm<sup>3</sup>** kell legyen.

## **Megoldás?**

a kísérletek mágneses térrel összetartott plazmában folynak.

Nemzetközi együttműködés (ITER) sok Mrd Euro

# Alternatív energiahordozók

Vizsgálatuk oka:

a kőolaj (és földgáz) készletek 50 (100) év,

a fosszilis energiahordozók környezetszennyezése (savas eső, üvegházhatás),

az atomenergia hosszú távú kockázata

a 80 % ↔ 20 % probléma

# Napenergia

A földre eső napsugárzás teljesítménye 176 mrd MW

A napos órák száma	Magyarországon	kb. 2000 óra/év,
	a Szaharában	kb. 4000 óra/év.

Az évi átlagos beeső sugárzási energia Magyarországon  
4400-4800 MJ/m<sup>2</sup>\*év.

Közvetlen hasznosítás:

fotovillamos cella,

napkollektor,

nap-hőerőmű,

egyéb módok (termény-szárítás, szoláris építészet stb.)

Közvetett hasznosítás:

szél energia,

víz energia,

biomassza.

## ***A fotovillamos cella:***

Félvezető diódában foton hatására töltés szétválasztás,  
elektron – lyuk pár.

Az elektron az n félvezető, a lyuk a p félvezető felé vándorol, Külső  
külső ellenálláson egyenáram keletkezik.

Modul: sorba kapcsolt cellákból épül fel (ált. 60 db)

Jellemzően 250-280 W teljesítmény

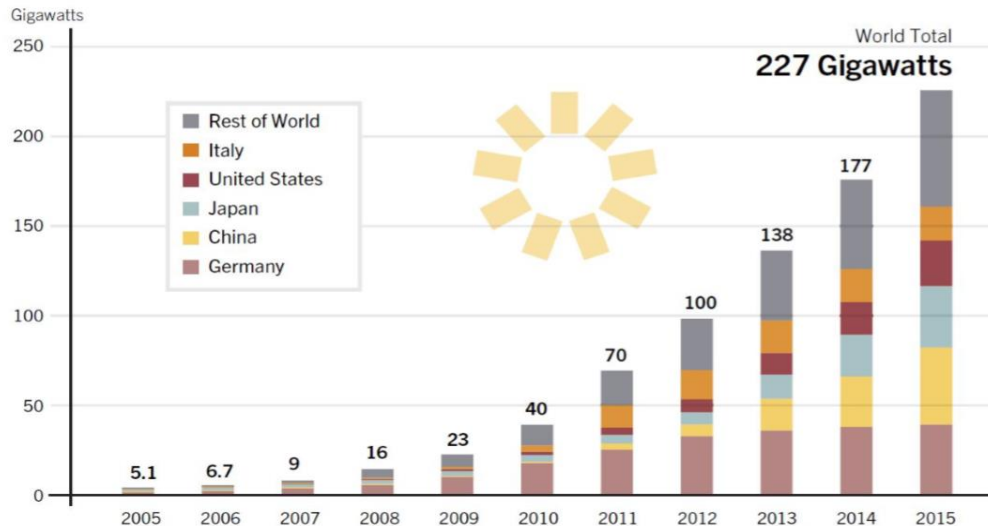
Névleges hatásfok: 16-18% Éves átlagos hatásfok: 12-15%

a direkt és a szórt sugárzást is hasznosítják

inverterekkel váltóáram, transzformátorral 20kV, hálózatra is  
kapcsolható

Háztartási méretű kiserőművek: 50 kW alatt

# Napelemes rendszerek világszinten



Forrás: REN21 Renewables 2016 Global Status Report



**ENERGETIKAI GÉPEK ÉS  
RENDSZEREK TANSZÉK**

Mayer Martin János | **A napelemes energiatermelés helyzete, lehetőségei és kihívásai** | © 2017  
XIX. Környezetvédelmi és Iparbiztonsági Konferencia | Balatonfüred | 2017. május 19. | **11**

Magyarországon:

Részarány a villamos energia termelésben: 0,4% (2015)

225 MW (2016)

Jellemzői:

környezetvédelmi szempontból a legtisztább  
változó a teljesítmény, emiatt akkumulátor kell  
(hagyományos, vagy új típusú, pl. víztározó a magasban, H<sub>2</sub>).  
kis teljesítmény, csak helyi igények kielégítésére  
helyigénye nagy,  
a jelenlegi ár még nem versenyképes a fosszilis energiahordozókkal,  
de a megújulók között versenyképes, egyre csökken, a hatásfok egyre  
javul.

Egészen kis méretben (néhány kW) is megvalósítható,  
egyszerű üzemeltetés, kis karbantartásigény:

lakossági beruházások,  
decentralizált termelés, kisebb veszteségek

(Gyakorlatilag) korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll!

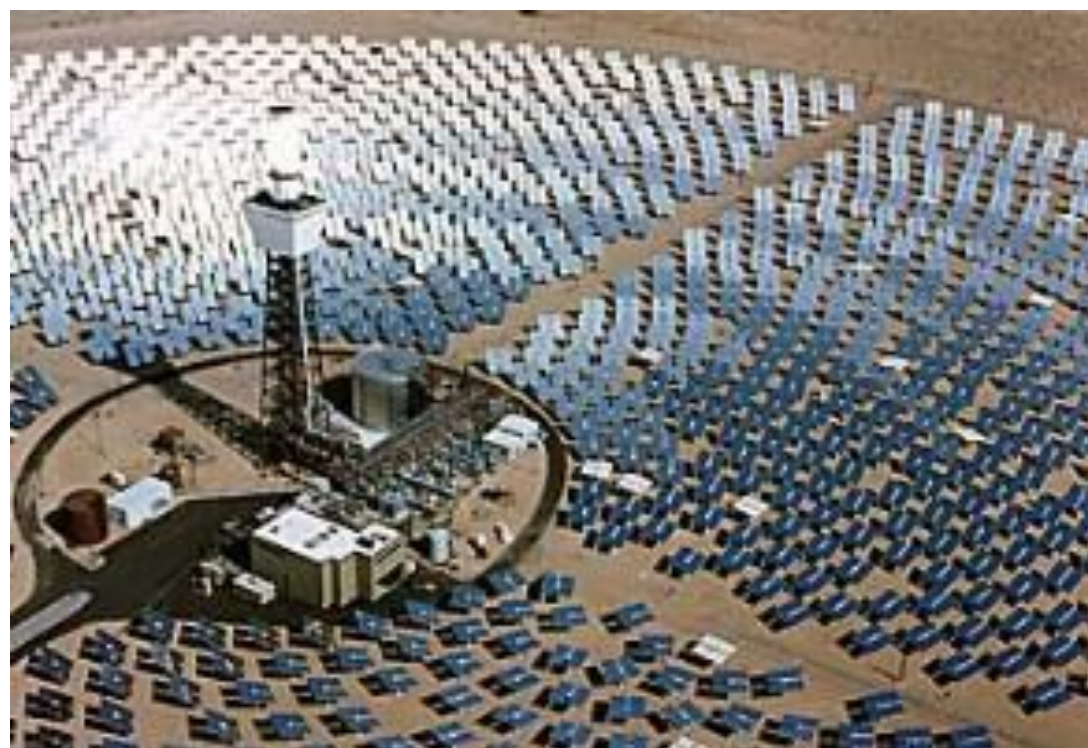


## **A Nap-hőerőmű:**

optikai tükrökkel gyűjtve a napsugarakat energiaáram-sűrűség  
növelés,  
egy toronyban vízgőzt termelnek,  
hagyományos turbina-generátor rendszer  
(pl. Egyesült Államok: 10 MW teljesítmény).

a napsugarakat parabola vályús kollektorban gyűjtik,  
a vályú fókuszt vonalában csőben haladó olaj melegszik.  
(pl. Californiában 9 db 13–80 MW teljesítményű erőmű,  
14 % átlagos hatásfok, a legnagyobb 464.000 m<sup>2</sup>-t foglal el.

csak direkt sugárzást hasznosít  
a termelés drágább, de a hőtárolás lehetősége!!!



## ***A napkollektor***

főként a háztartások melegvíz szükségletének ellátására  
alacsony hőmérsékletű folyadék hőcserélőben melegíti a használati  
melegvizet.

kiegészítő fűtésként alkalmazható,  
intelligens automatikát igényel.

A beruházási költség egy átlagos lakóházra ? Ft, a megtérülési idő 8-  
10 év?



A napenergia:

környezetvédelmi szempontból a legjobb,  
egyelőre az ár nem versenyképes a fosszilis energiahordozókkal,  
megfelelő akkumulátor szükséges.

# Szélenergia

A szél oka, a különböző felületi felmelegedés.

A hasznosítás során nyerhető energia elsősorban a szélesebbesség függvénye.

A változó intenzitás és szélirány miatt mozgatható tengelyű, állítható lapátozású szélkerekek szükségesek.

Változó teljesítmény → akkumulátor szükséges.

pl. 6 m/s szélerősség (250 W/m<sup>2</sup>)

csak házi energia ellátás, a megtérülés 8 év.

10 m/s-nál 1200 W/m<sup>2</sup>, a megtérülés 2-3 év.

## **Hollandia (Egmond aan Zee): tengeri szélérőmű park**

több, mint 100 ezer holland háztartás éves fogyasztása

36 turbina, kapacitása 108 megawatt, több mint 200 millió eurós (50 Mrd Ft) befektetés



A szélenergia:

környezetvédelmi szempontból jó,  
egyelőre az ár nem versenyképes a fosszilis energiahordozókkal,  
megfelelő akkumulátor szükséges,  
hálózat-stabilitási problémák  
táj elcsúfítása?



## Vízenergia

A vízenergia hasznosításának alapja a napenergia miatti vízkörforgás.

A hasznosítás szintkülönbsége alapján 3 típus nagy, közepes és kis esésű.

Magyarországon több törpeerőmű mellett két jelentősebb

TiszaIök:  $\Delta H=7,5$  m, 12 MW

Kisköre:  $\Delta H=6,3$  m, 21 MW.

## Ökológiai probléma:

Kis vízesésű folyóknál hosszú szakaszon vízháztartás módosulás.

Ez ökológiailag kiszámíthatatlan következményekkel járhat.

A beruházási költség hatalmas,  
csak folyószabályozással, öntözőművel együtt.

Általában alaperőműként üzemelnek, csúcsra járatásuk esetén számos ökológiai probléma.

## **Biomassza**

A Földön évente 165 mrd t biomassza keletkezik.

őserdő: a legjobb hatásfok 30 t/ha\*év,  
gabonatabla: 6,5 t/ha\*év.

A hasznosítás módjai:

- közvetlen eltüzelés,
- pirolízis, elgázosítás,
- sajtolás,
- alkoholos erjesztés,
- metános erjesztés (biogáz termelés).

A közvetlen tüzelés problémái:

magas oxigén-tartalom,  
kis fűtőérték,  
kis sűrűség,  
a hamu alacsony olvadáspontja,  
változó összetétel.

Eredmény:

kis tüztérhőmérséklet  
a hatásfok alacsony.  
speciális kazánokat igényel.

## A pirolízis, az elgázosítás

a kőszeneknél alkalmazott módszerekkel analóg eljárás.  
oxigén jelenlétében, illetve annak kizárásával végzett hevítés.

Célja:

éghető gáz, illetve nemesebb tüzelőanyag nyerése.

Növényi magvak *sajtolása*:

brikett, pellet, olaj nyerhető.

Az olaj napraforgóból, repceből nyerhető a legjobb hatásfokkal, hektáronként 700-1300 kg.

A felhasználás:

közvetlen,

átalakítás (repceolaj metil-észter ld. később) utáni elégetés.

### Az alkoholos erjesztés:

ősidők óta ismert eljárás.  
az etilalkohol desztillációval kinyerhető,  
közvetlenül, vagy motorbenzinbe keverve motorhajtóanyag

### A metános erjesztés:

kb. 50 – 50 %-ban metánt és szén-dioxidot tartalmazó **biogáz**  
nyerhető.  
fűtőértéke kb.  $22500 \text{ kJ/m}^3$ , a földgáz fűtőértékének 2/3-a,  
a szén-dioxid kémiaiilag eltávolítható, a fűtőérték növelhető.

Elsősorban melléktermékekből, (pl. hígtrágya),  
szemétlerakókban anaerob baktériumos erjedéssel is keletkezik.

## A biomassza:

tüzeléstechnikai szempontból nem kedvező  
elsősorban melléktermékek hasznosítása jöhet szóba,  
a kultúrnövényeké az élelmezési problémák miatt nem.



## **Geotermális energia**

forrása 70 %-ban a radioaktív bomlás során keletkező hő,  
30 %-ban a Föld természetes hőkapacitása

Föld hőmérséklet gradiense    átlagosan 30 °C/km,  
Magyarországon 50-70 °C/km,  
max. 100 °C/km.

Általában melegvíz, ritkábban gőz.

A hasznosítás után a vizet nagyobb távolságra kell visszavezetni, hogy a forrást ne hűtse.

## Jellemzői:

környezetvédelmi szempontból kedvező,  
energetikailag a kis hőmérsékletkülönbség kedvezőtlen,  
kémiaailag gyakran magas sótartalom, korrózió, vízkőképződés,  
csak helyi energiaforrás.

## **Alternatív motorhajtó anyagok**

A szóba jövő lehetőségek: ld. összefoglaló ábra

## **Köszén**

A készletek ugyan jelentősek,  
de belőle az ismertetett módokon  
nagyobb környezetszennyezéssel,  
drágábban állíthatók elő

motorhajtó anyagok, mint a kőolajból.

## Metanol CH<sub>3</sub>OH

Oktánszáma kiváló,  
nagyobb kompresszió viszony, nagyobb hatásfok lehet  
nincs benne C-C kötés,  
a kipufogógázokban kevesebb mérgező anyag (de több aldehid)  
a benzines elosztóhálózat alkalmas  
fűtőértéke a motorbenzinének fele (a tömegének fele oxigén!),  
csaknem kétszeres a volumetrikus fogyasztás,  
rossz a hidegindítás (a forráspontja 65 °C),  
korróziós problémák,  
vízzel korlátlanul elegyedik, mérgező,  
előállítása szintézisgázból drága, jelenleg kis kapacitások,  
benzinhez keverőkomponensként kisebb mennyiségben kiváló.

## **Etanol v. Etilalkohol $C_2H_5OH$**

oktánszáma kiváló, nagyobb termikus hatásfok,  
fűtőértéke a motorbenzinnek mintegy 2/3-a, (oxigéntartalma 35 %),  
1 dm<sup>3</sup> benzin kb. 1,25 dm<sup>3</sup> etanollal egyenértékű,  
az égése szintén tisztább,  
a forráspontja (78,5 °C) miatt itt is hidegindítási problémák,  
vízzel szintén korlátlanul elegyedik, de nem toxikus,  
keverőkomponensnek a metanolhoz hasonlóan kiváló.

Előállítása:

biológiai úton.

etilén hidratálásával

*A bioetanol:*

jelentős termőföldigény,

valamennyi gépkocsihoz a jelenlegi összes termőföld kétszerese,

nagy energiaigényű a desztilláció,

a teljes ciklusban a szén-dioxid kibocsátás akár nulla is lehet,

*A vegyipari etanol:*

az etilént jelenleg kőolajból nyerik!!

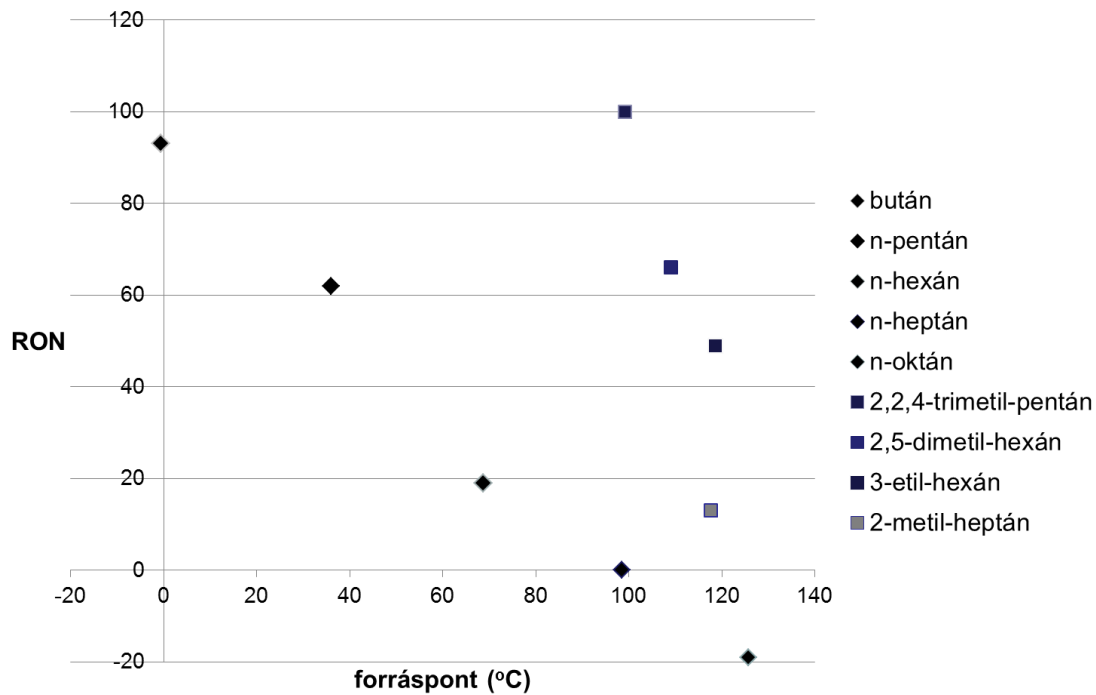
## Szénhidrogén gázok

Az 1-4 szénatomot tartalmazó szénhidrogén gázok (metán, etán, propán, bután) fűtőértéke és oktánszáma is kiváló:

	F (MJ/kg)	RON	MON
metán	50	133	130
etán	48	115	103
propán	47	110	100
n-bután	46	93	92
i-bután	46	100	98



## A normál és a 8 szénatomos paraffinok oktánszáma (ld. korábban)



nagyobb hidrogén tartalom,  
elégetésükkor kevesebb szén-dioxid,  
az Otto-motor átalakítható,  
az égés tisztább, de nagyobb a volumetrikus fogyasztás,  
hármashatású katalizátor használható,

A megvalósítás:

sűrített földgázzal (CNG: Compressed Natural Gas),  
cseppfolyós földgázzal (LNG: Liquefied Natural Gas),  
propán-butánnal (LPG: Liquefied Petroleum Gas).

### A sűrített földgáz:

140-200 bar nyomású, nehéz tartály,  
nagy a balesetveszély és a ballaszt-tömeg.

### A cseppfolyós földgáz:

a cseppfolyósításhoz atmoszférikus nyomáson mínusz 160 °C,  
a hűtés nagy energiaigényű,

### A propán-bután:

perspektívikus megoldás,  
könnyen cseppfolyósítható,  
a megtehető úthossz kevésbé korlátoz.  
földgázból és kőolajból nyerhető,  
a készletek nem végtelenek, de még számottevőek,  
új infrastruktúrát kell kiépíteni,  
a „gázautó” néhány évtizedre átmeneti megoldás lehet.

# Hidrogén

fűtőértéke tömegegységre vetítve a legnagyobb, 120 MJ/kg,  
egységnyi térfogatra a metán fűtőértékének csak 1/3-a  
nagy koncentráció-tartományban (4-76 tf%) ad robbanóképes elegyet  
a levegővel,  
a gyújtási energia igen kicsi,  
az égési sebessége, diffúzió sebessége nagy,  
szigorú biztonsági intézkedések szükségesek,  
égése tiszta, a (desztillált) víz mellett csak NO<sub>x</sub> keletkezik.

## A hidrogén tárolása:

*fém-hidridekkel*



balról jobbra a feltöltés, visszafelé a használat iránya

Kis hőmérsékletű hidridek már 100 °C alatt kb. 1 atm nyomású hidrogént termelnek, a teljesítménysűrűségük 650 Wh/kg.

A nagy hőmérsékletű hidridek csak 100 °C fölött adnak 1 atm. nyomású hajtógázt, de teljesítménysűrűségük nagyobb, 2500 Wh/kg.

nagy ballaszt tömeg

*a sűrített és a cseppfolyósított hidrogén*

ugyanazok a megállapítások érvényesek, mint a szénhidrogén gázokra

a hidrogén cseppfolyósításához légköri nyomáson  $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$  szükséges!

csak drágán oldható meg.

A hidrogén tüzelőanyag cellában is elégethető  
a termelt áram villamos motor hajtására használható

A teljes folyamat környezetszennyezése a hidrogén előállításától függ:

fosszilis energiahordozóból elgázosítással → nagyobb a szennyezés

fosszilis energiahordozóból nyert villamos árammal vizet elektrolizálunk  
→ nagyobb a szennyezés

Ha a villamos áramot az elektrolízishez alternatív energiahordozóból nyerjük, a szennyezés kicsi, de ma még drága.

A hidrogén mint energiatároló:

a jövőben szóba jöhet,

a felesleges villamos energia felhasználásával vizet elektrolizálva állítható elő, amelyet a fogyasztás megnövekedésekor áramtermelésre lehet használni.



## Elektromos autó

önmagában nem környezetszennyező

azonnal rendelkezésre áll a teljes motornyomaték  
fokozatmentes gyorsulás

a padlóba épített akkumulátornál a súlypont alacsonyan van, jó kanyartartás

hogyan állítjuk elő a villamos áramot?

fosszilis erőművekben:

a teljes folyamat környezetszennyezése nagyobb

alternatív forrásból (pl. fotovillamos elemből)

a teljes folyamat alig szennyezi a környezetet, viszont ma még drága.

hogyan tároljuk?

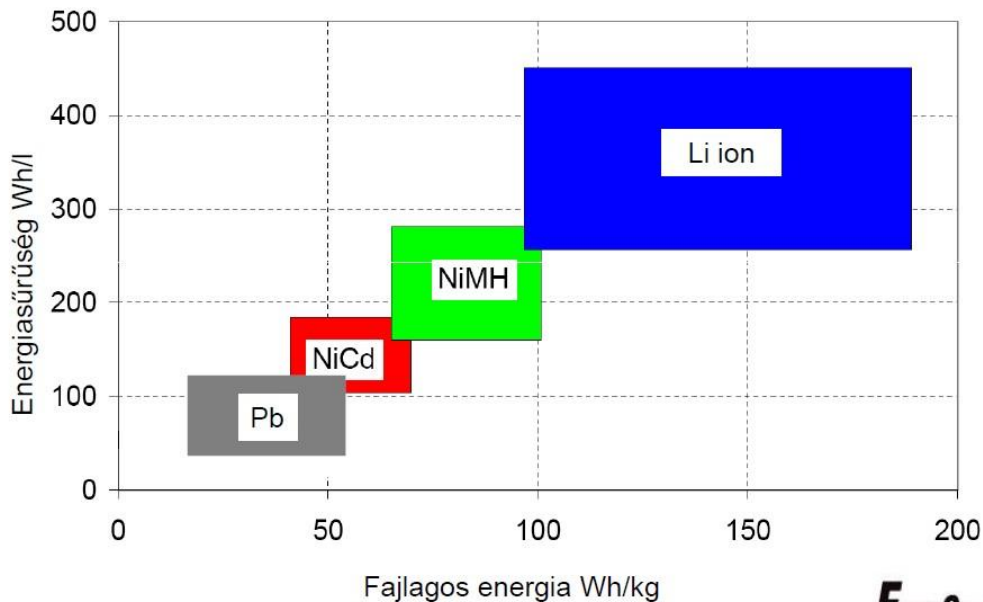
Az akkumulátoros tárolás:

a jelenlegi akkumulátorokkal kicsi energia- és teljesítménysűrűség  
az akku nehéz,  
hosszú ideig tartó, gyakori feltöltés,  
a hatótávolság kicsi.

De a villamos motor csendes,  
állás közben nem fogyaszt,  
a fékezési energia visszanyerhető

	Kénsavas ólom akkumulátor	Benzin	Li ion akkumulátor
Energiasűrűség	35 Wh/kg	12 000 Wh/kg	160 Wh/kg

## Különböző akkutechnológiák összehasonlítása



A Li ion akkumulátor:

A Li a legjobb katód, mert a legnegatívabb a standard potenciálja

(- 3,045 V)

sűrűsége kicsi ( $0,534 \text{ g/cm}^3$ )

De: a lítiumot nehéz vizes közegben használni, mert hevesen bontja

Megoldandó:

más elektrolit, szerves vegyület, pl. poli-etilén -oxidban oldott Li só

anód: grafit

katód: lítium-kobalt-oxid

A perspektívikus megoldás: a tüzelőanyag cellában történő közel 80 %-os hatásfokú áramtermelés, és az ugyanilyen hatékonyságú elektromotor kombinációja.

A tüzelőanyag cella további előnye:  
bármilyen éghető anyag (pl. hidrogén, metanol) hasznosítható  
a tárolási problémák a folyékony tüzelőanyagoknál nem jelentkeznek,  
de pl. a metanol előállítás problematikája fennmarad.

## **Biodízel**

A biomassa hasznosításának egyik fajtája.

A növényi olajok

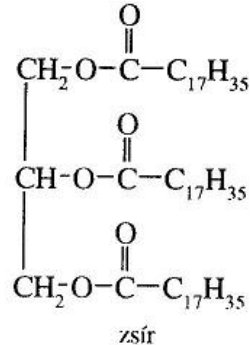
elsősorban emberi tápanyag és

ipari nyersanyag, de

kőolajtermékek kiegészítésére és helyettesítésére is alkalmasak.

A különböző növényekből sajtolással, majd extrakcióval nyerhető olajok tulajdonságai a kőolajtermékek közül a gázolajhoz állnak a legközelebb.

a természetes zsírok glicerín és zsírsavak észterei:



Motorhajtóanyagként történő felhasználásuk (már Rudolf Diesel is)

**kémiai átalakítás nélkül:**

sűrűségük nagyobb,  
fűtőértékük kisebb,  
viszkozitásuk kb. tízszeres,  
kokszképzési hajlamuk nagyobb,  
cetánszámuk kisebb, mint a gázolajé  
biológiailag lebonthatók,  
kéntartalmuk elenyésző.

## **Kémiai átalakítások:**

### 1. Átészterezés

A zsírsav-glicerin észtereket metil- vagy etilészterré alakítjuk.

A tulajdonságok jelentősen javulnak.

Hátrány:

termőföldigény,  
ár

Előny:

A teljes ciklus (mint minden biomassza hasznosítás) az üvegházhatást nem, vagy alig növeli.

Csak helyi, egyéb szempontokból (munkalehetőség az adott területen, a mezőgazdaság saját szükségletének megtermelése) indokolt megoldás lehet.



Magyarországon:  
repceolaj metil-észter (RME),

2. Katalitikus hidrogénezés  
a glicerín-észter molekula tördelése  
nincs glicerín melléktermék

Kísérletek Magyarországon

## Hibrid megoldások

benzin- vagy dízelmotor és villanymotor együttesen, plusz generátor, akkumulátor és intelligens szabályozó rendszer

Toyota Prius (első, de már szinte minden gyártónál van):

a benzinmotor minden üzemállapotban az optima közelében tud működni. Nagy terhelésnél:

a villanymotor az akku felhasználásával besegít a benzinmotornak, Kisebb terhelésnél:

a benzinmotor teljesítményfeleslegével, illetve fékezéskor a mozgási energiából a generátor áramot termel és tölti az akkumulátort.

Jelentősen csökken a légszennyezés és a fogyasztás is, akár 4 l / 100 km is elérhető.

ábra: Prius.ppt