



**55 év tapasztalat,
nemzetközi háttér,
európai színvonal**

Dr. Stróbl Alajos (ETV-ERŐTERV)

Hidrogénforrások és előállítási módszerek

MET Hidrogén Tagozat – MTA Kémiai Kutatóintézet

Budapest, 2008. november 25. 16:10-16:40

normál

30 perc alatt 30 színes ábra – időzítve

Hidrogén-gazdálkodás alapjaiból

- A fejlett, „nyugati” világ már több mint 150 éve foglalkozik a hidrogénnel, mint vegyi alapanyaggal és energia-hordozóval.
- Főleg a vegyipari használata terjedt el előbb. Például a nitrogén-alapú műtrágyagyártásnál – földgázból (NH_3). Városi gáz-összetevőként nálunk is elterjedt volt.
- A léghajózástól az űrhajózásig terjedő közlekedési szakma is kiemelten foglalkozott, foglalkozik a hidrogénnel.
- Kiépültek már nagy és kiterjedt ellátórendszerek is. Pl. Németországban 210 km-es csőhálózáttal 18 ipari várost összekötve, vagy az USA-ban (Teeside, NASA).
- A fejlődést ma egyértelműen az olaj távlati helyettesítésének ígérete serkenti, de a megújuló források terjedéséhez is köthető a hidrogén-gazdálkodás formálódása.

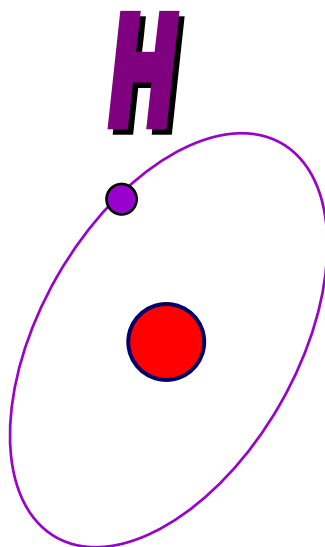
Az energiaellátás folyamata



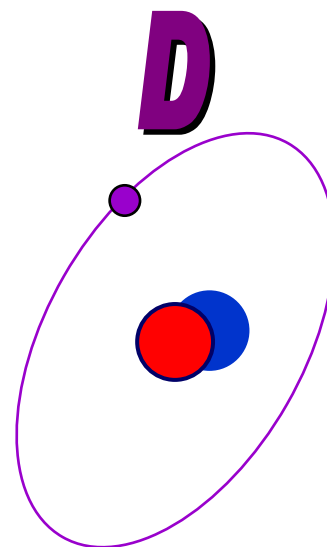
A hidrogén alapvető fizikai adatai

Izotópok:

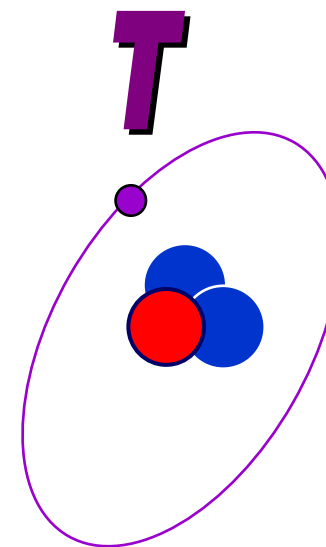
A világon hidrogénből van a legtöbb, a Földön azonban szabadon nincs – kivéve némely vulkán gázkitöréseit és a magas légkört (<0,01 tömeg %).



Hidrogén



Deutérium



Trícium

Atomi tömegegység	1,007825	2,0140	3,01605
Természetes előfordulás, %	99,985	0,015	$\sim 10^{-18}$
Felezési idő, év	-	-	12,26
Ionizációs energia, eV	13,5989	13,6025	13,6038
Termikus neutronbefogás keresztmetszete (10^{-24} cm ²)	0,322	$0,51 \times 10^{-3}$	$<6 \times 10^{-6}$
Nukleáris spin, $h/2\pi$	+1/2	+1	+1/2

A hidrogén-molekulák fizikai adatai

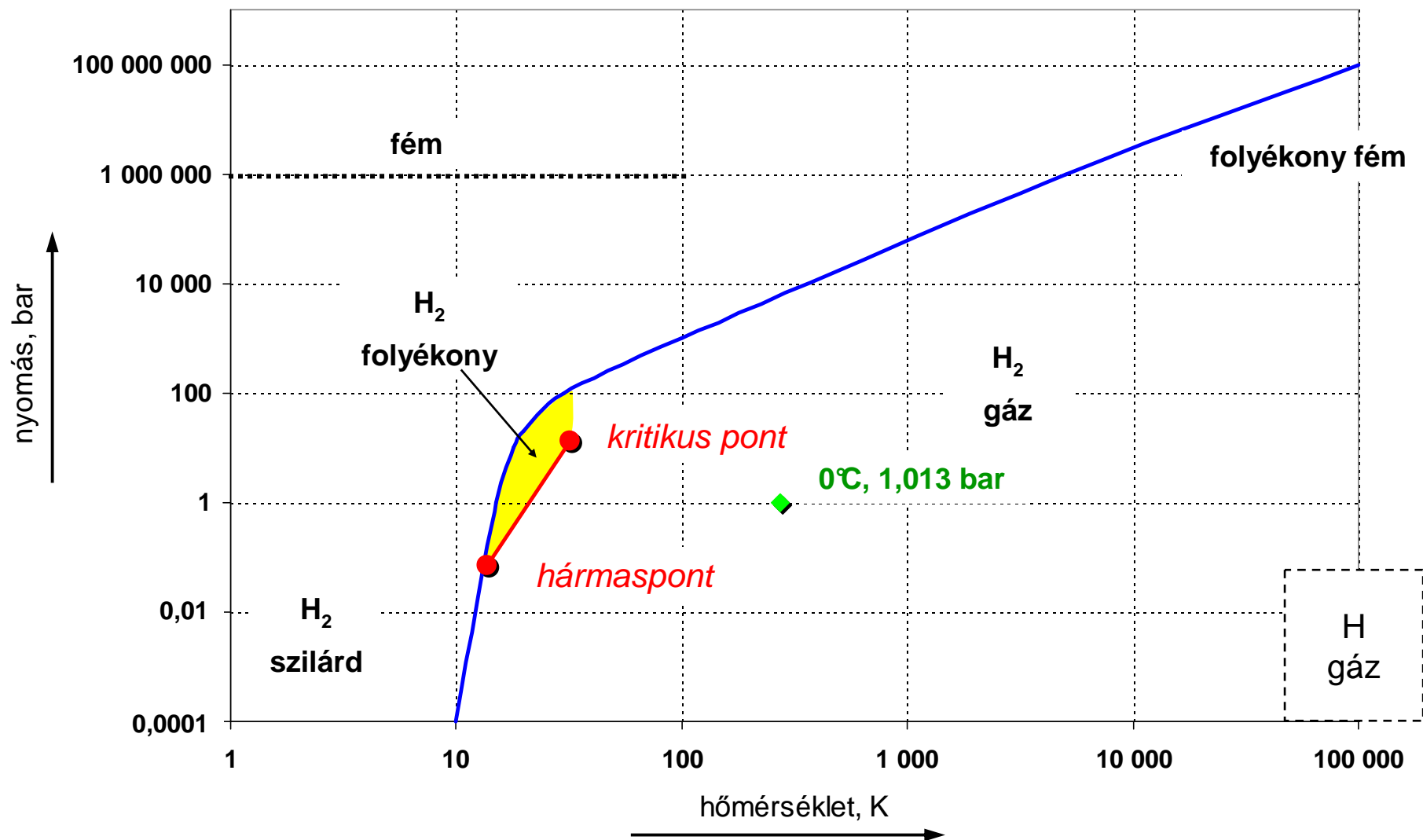
Molekula	n-H ₂	n-D ₂	n-T ₂	HD	HT	DT
Tömegegység	2,016	4,029	6,034	3,022	4,025	5,022
Disszociációs energia, eV	4,473	4,552		4,51		
Hármaspont						
hőmérséklet, K	13,96	18,73	20,62	16,6	17,63	19,71
nyomás, kPa	7,3	17,1	21,6	12,8	17,7	19,4
Kritikus pont						
hőmérséklet, K	32,98	38,35	40,44	35,91	37,13	39,42
nyomás, kPa	1,31	1,67	1,85	1,48	1,57	1,77
normál forráspont, K	20,39	23,67	25,04	22,13	22,92	24,38
Sűrűség (n-bp-nél)						
(folyékony) ρ_L , kg/m ³	70,811	162,50	260,17	114,80	158,62	211,54
(gőzfázis) ρ_V , kg/m ³	1,316	2,230	3,136	1,802	2,310	2,694
párolgási hő, J/mol (25 K)	825	1175	1400	1000	1100	1290



Az égési és a robbanási adatok

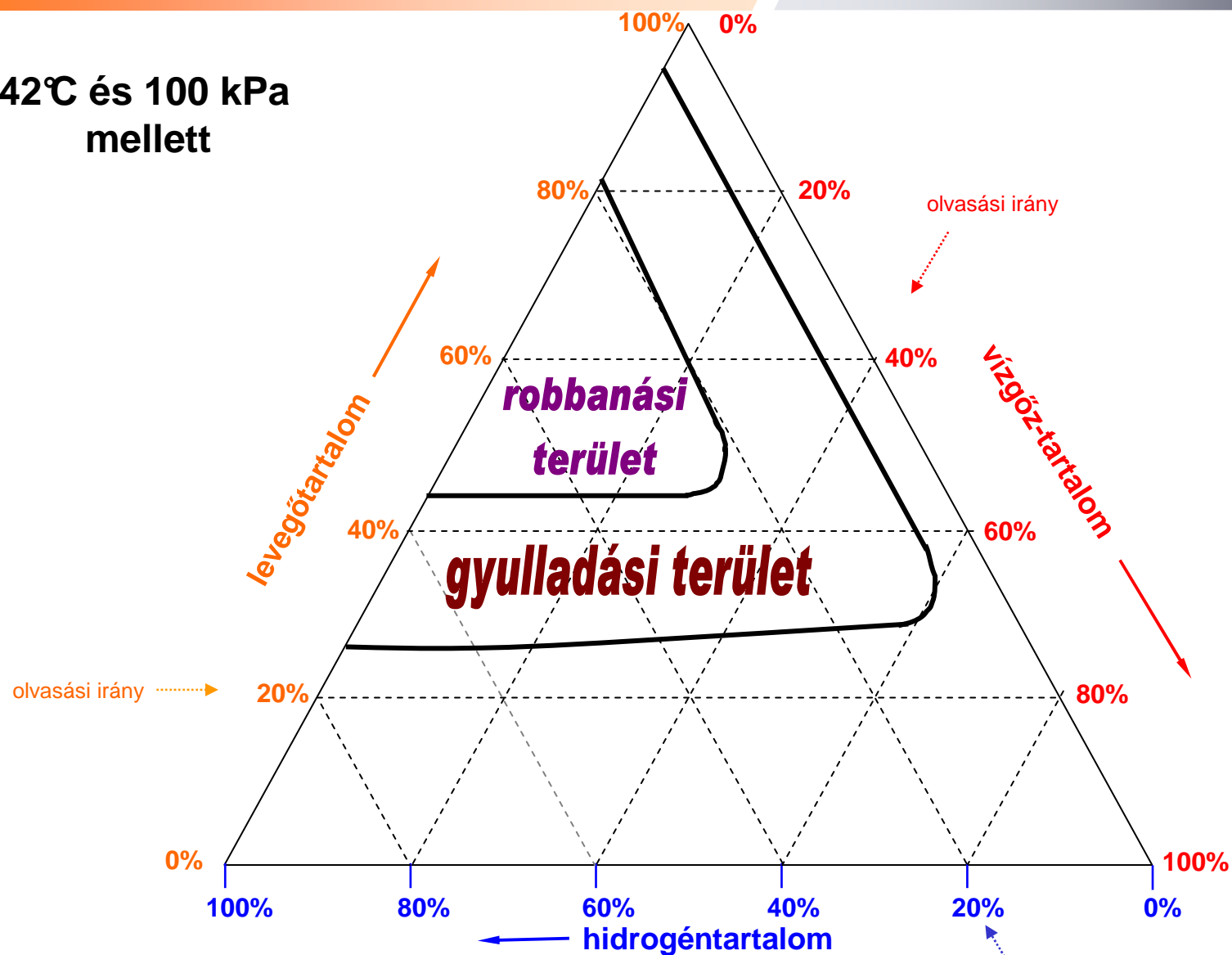
Tüzelőanyag	Hidrogén	Metán	Propán	Benzin
Gázsűrűség normál állapotban, kg/m ³	0,084	0,65	2,42	4,4
Párolgási hő, kJ/kg	445,6	509,9		250-400
Alsó fűtőértéke, kJ/kg	119 930	50 020	46 350	44 500
Felső fűtőérték, kJ/kg	141 800	55 300	50 410	48 000
Hővezetési tényező (n.á), mW/cm.K	1,897	0,33	0,18	0,112
Diffúziós együttható (n.á), cm ² /s	0,61	0,16	0,12	0,05
Lobbanási határ a levegőben, térfogat %	4,0 – 75	5,3 – 15	2,1 – 9,5	1 – 7,6
Robbanási határ a levegőben, térfogat %	18,3-59	6,3-13,5		1,1 – 3,3
Határ oxigén indexe, térfogat %	5	12,1		11,6
Sztöchiometrikus arány a levegőben, térf. %	29,53	9,48	4,03	1,76
Minimális gyújtási energia, mJ	0,02	0,29	0,26	0,24
Öngyulladás hőmérséklet, K	858	813	760	500 – 744
Lánghőmérséklet a levegőben, K	2318	2148	2385	2470
Max. égési sebesség a levegőben, m/s	3,46	0,45	0,47	1,76
Robbanási sebesség a levegőben, km/s	1,48 – 2,15	1,4 – 1,64	1,85	1,4 – 1,7
Robbanási energia, tömegre, gTNT/g	24	11	10	10
Robbanási energia térfogatra, gTNT/m ³	2,02	7,03	20,5	44,2

Hidrogén egyszerűsített fázisábrája

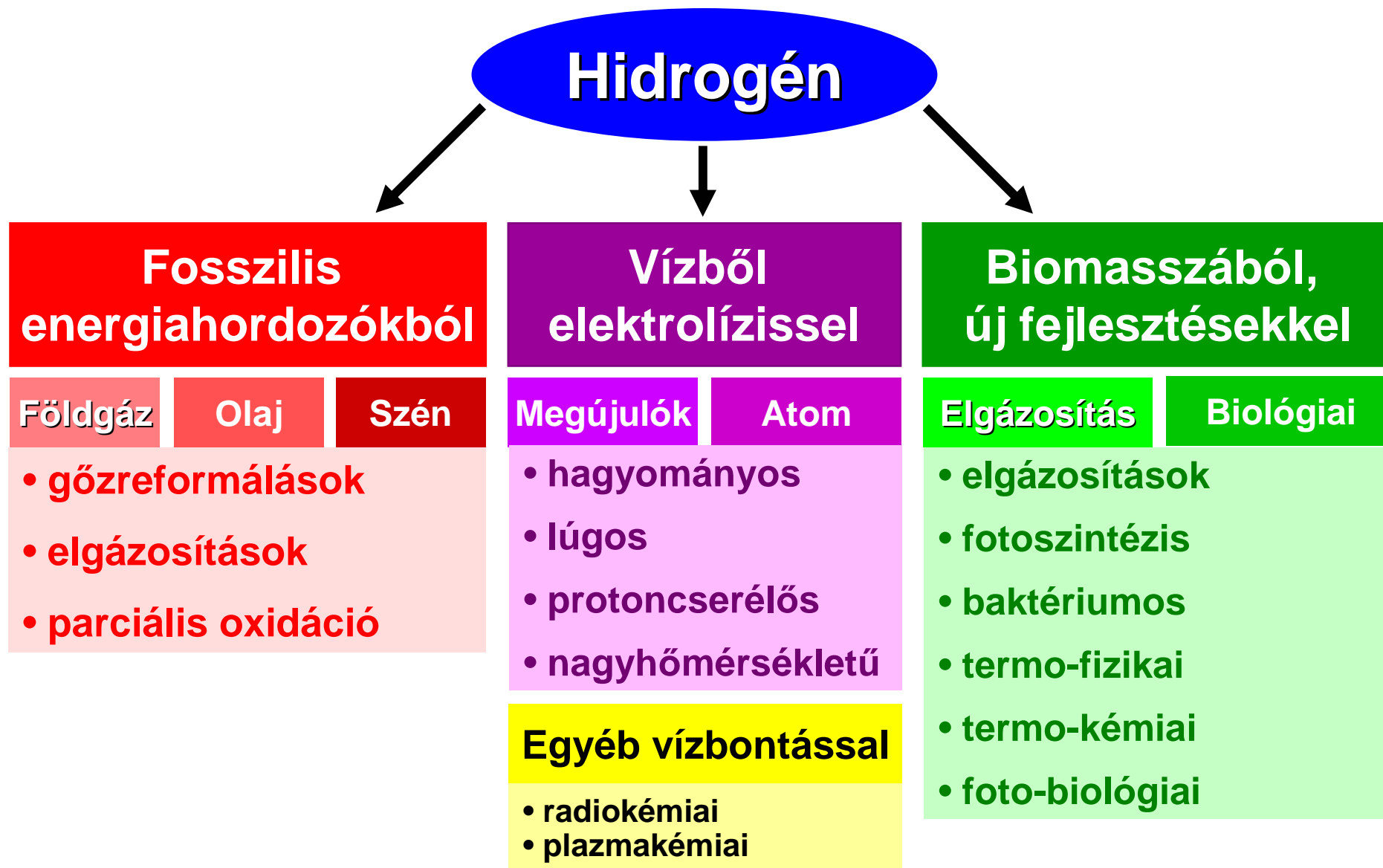


Határok hidrogén, levegő, víz keverékre

42°C és 100 kPa mellett



A hidrogén-előállítás módszerei



A hidrogén-termelés gyakorlata

a) Fosszilis tüzelőanyagokból – régi és újabb módszerekkel

- Földgázból (pl. $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} = 4 \text{H}_2 + \text{CO}_2$, katalitikus gőzreformálással)
- Olajból (pl. parciális oxidációval)
- Szénből (szénelgázosítással, vízgáz-reakcióval izzó szénen)

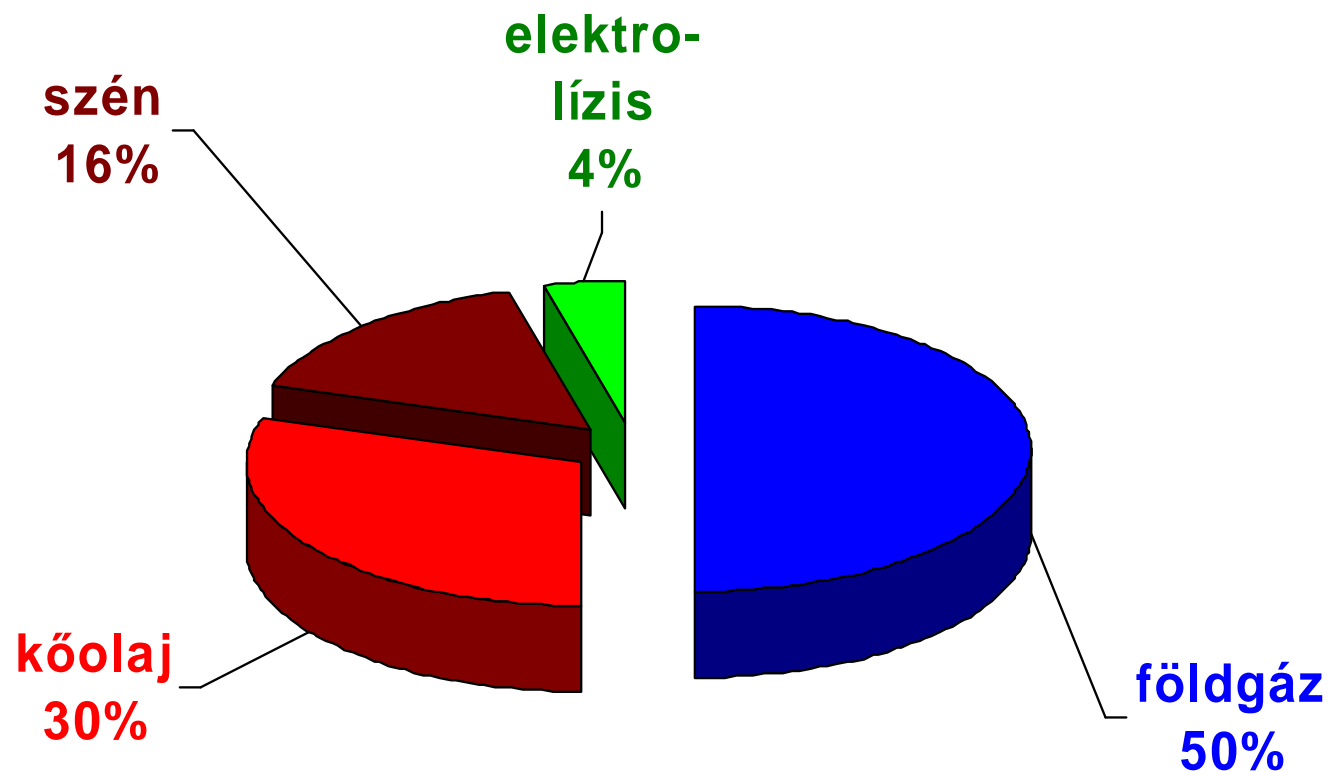
b) Elektrolízises vízbontással – régi és újabb módszerekkel

- Hagyományos ($\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$, -237 kJ/mol , $1,23 \text{ V}$, 25°C , 1 bar)
- Lúgos (30% KOH, azbeszt elektródák, kis és közepes mérettel $0,5\text{-}5 \text{ MW}$);
- Szilárd polimer elektrolit (protoncserélő membrános, 100 kW , $80\text{-}90\%$)
- Nagyhőmérsékletű (gőzös, 700°C)

c) Egyéb módszerekkel – újabb módszerekkel, fejlesztéssel

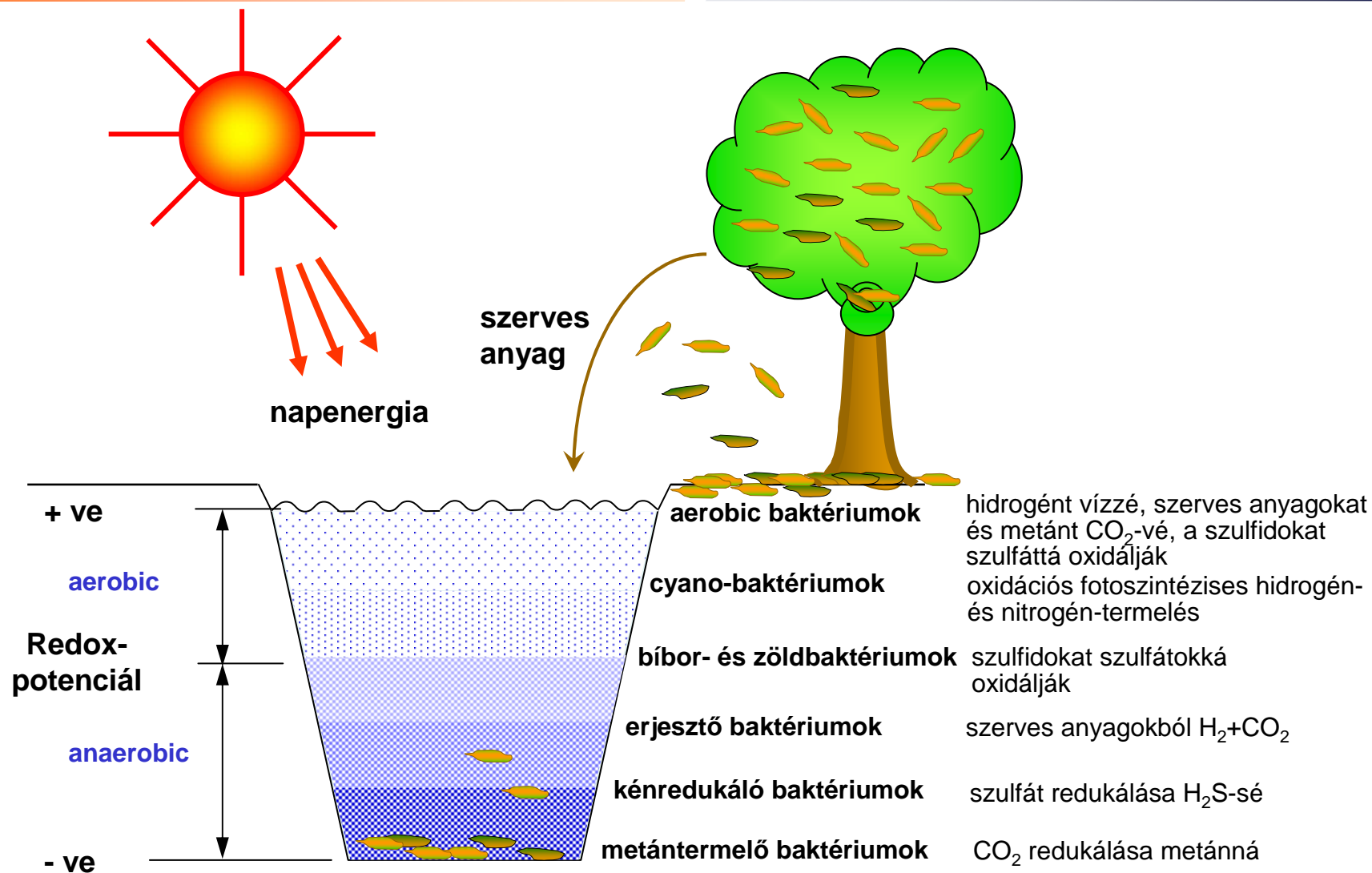
- Biomasszából (elgázosítás, fluid-ágyas eljárások)
- Termo-kémiai (vízbontás 2000°C felett, jelenleg $100\text{-}1200^\circ\text{C}$ között t, többfokozatú)
- Termo-fizikai (katalitikus eljárások, 2000°C)
- Foto-elektrokémiai
- Foto-biológiai (bio-fotólízis, foto-trópikus baktériumok)

A hidrogéntermelés jelene

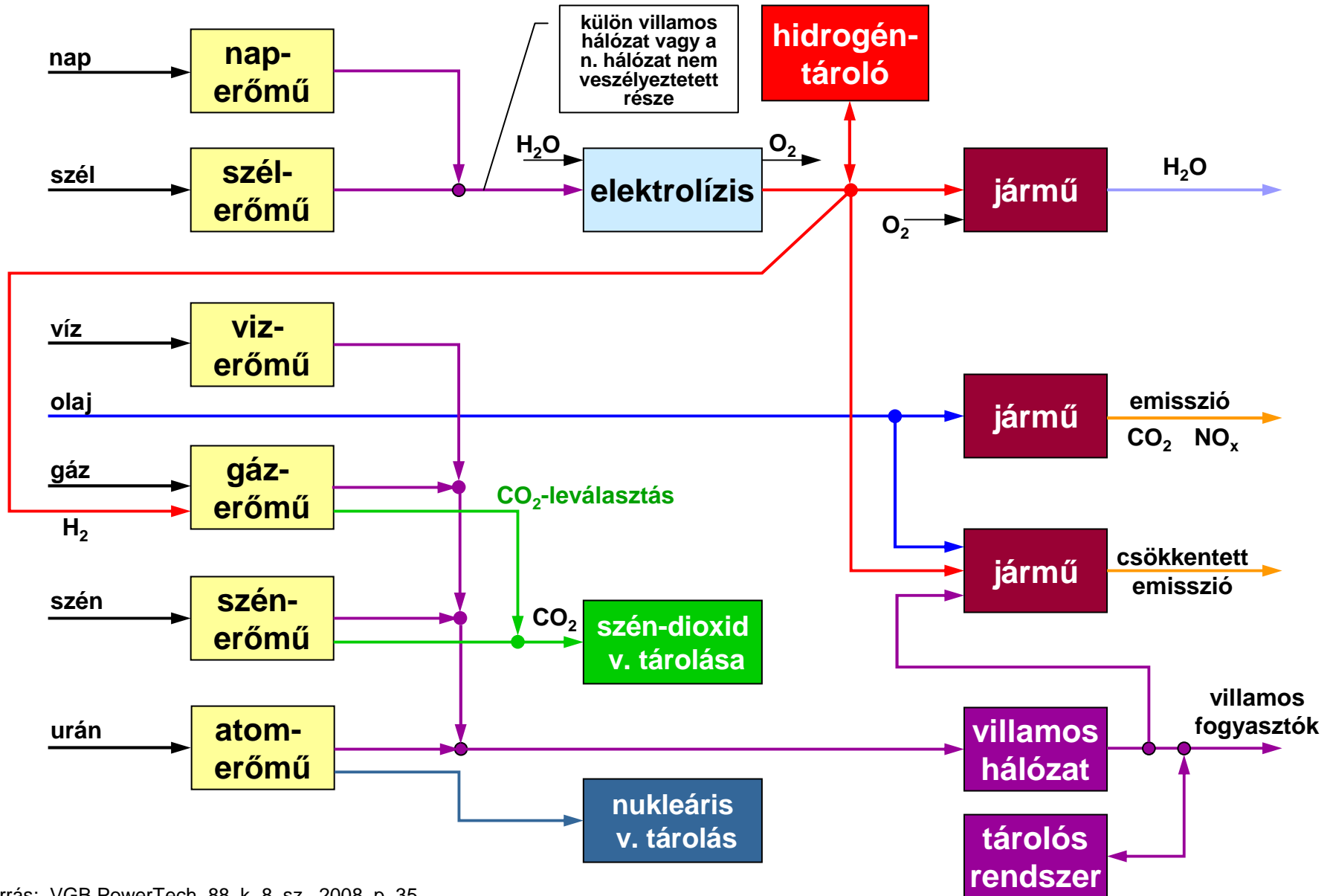


- az éves termelés kb. 45 millió tonna
- ennek 96%-a fosszilis tüzelőanyagból
- a piaci kereslet évente kb. 6%-kal nő

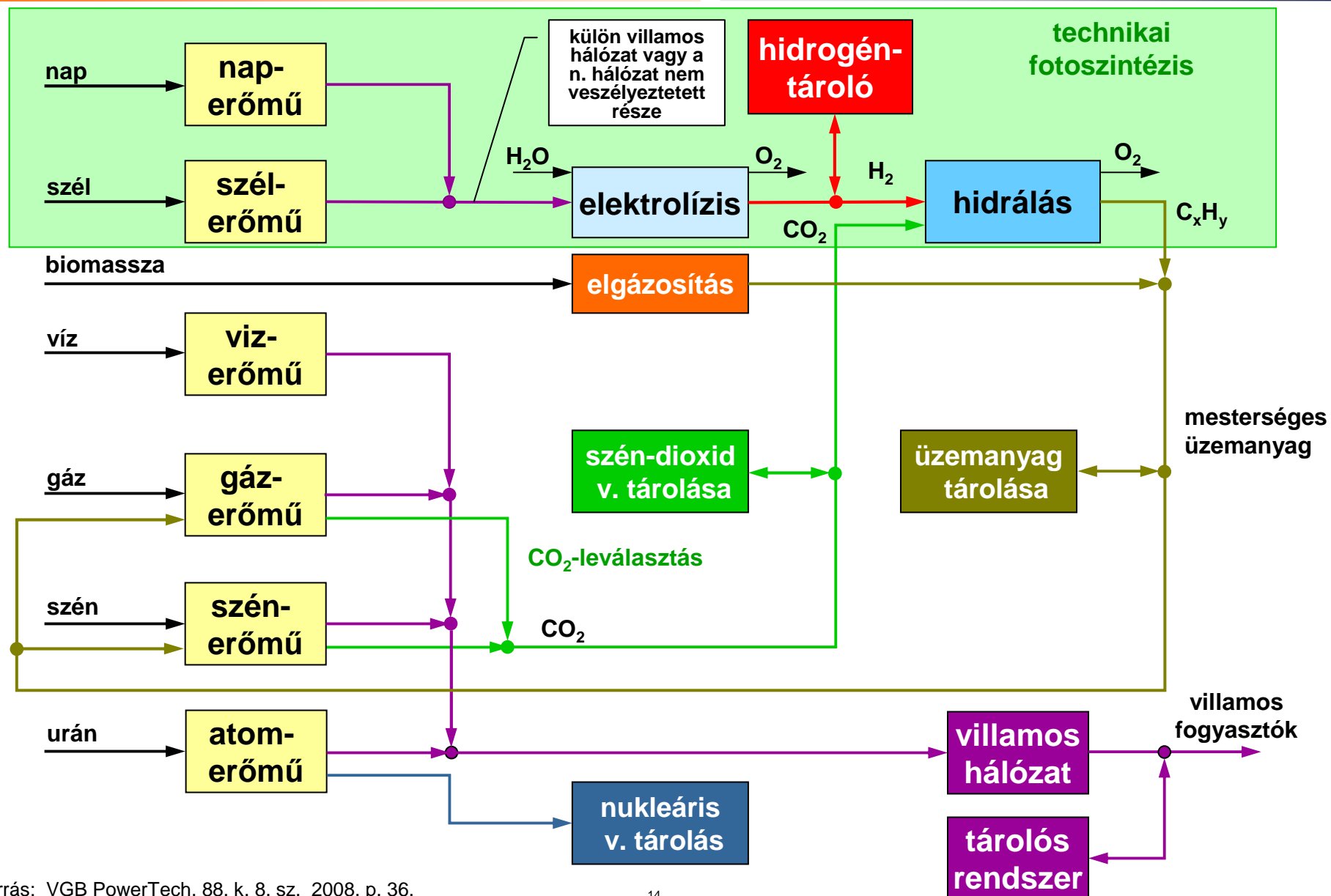
Baktériumos gáztermelés



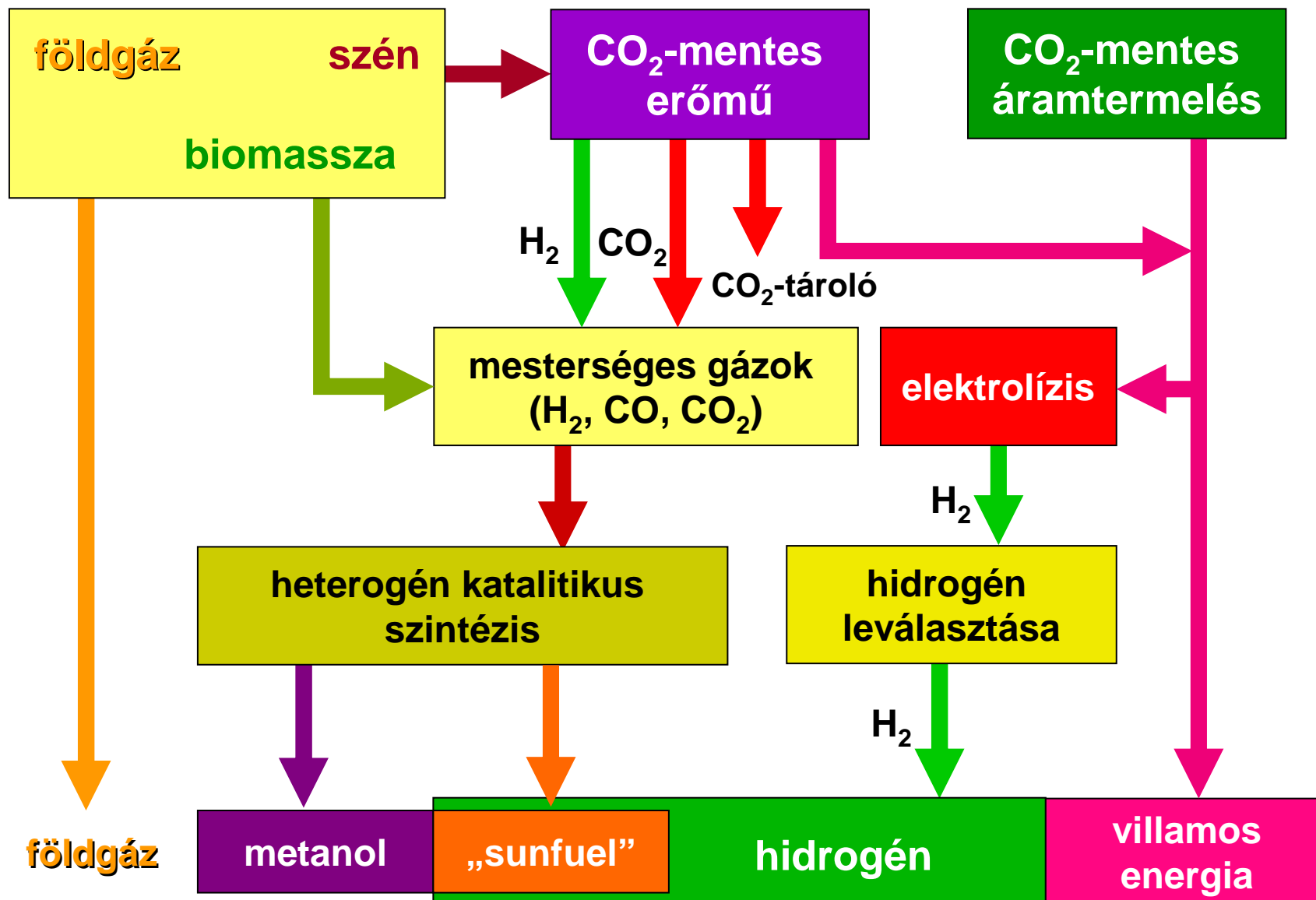
Energiaellátás hidrogéntárolással



Ellátás mesterséges fotoszintézissel

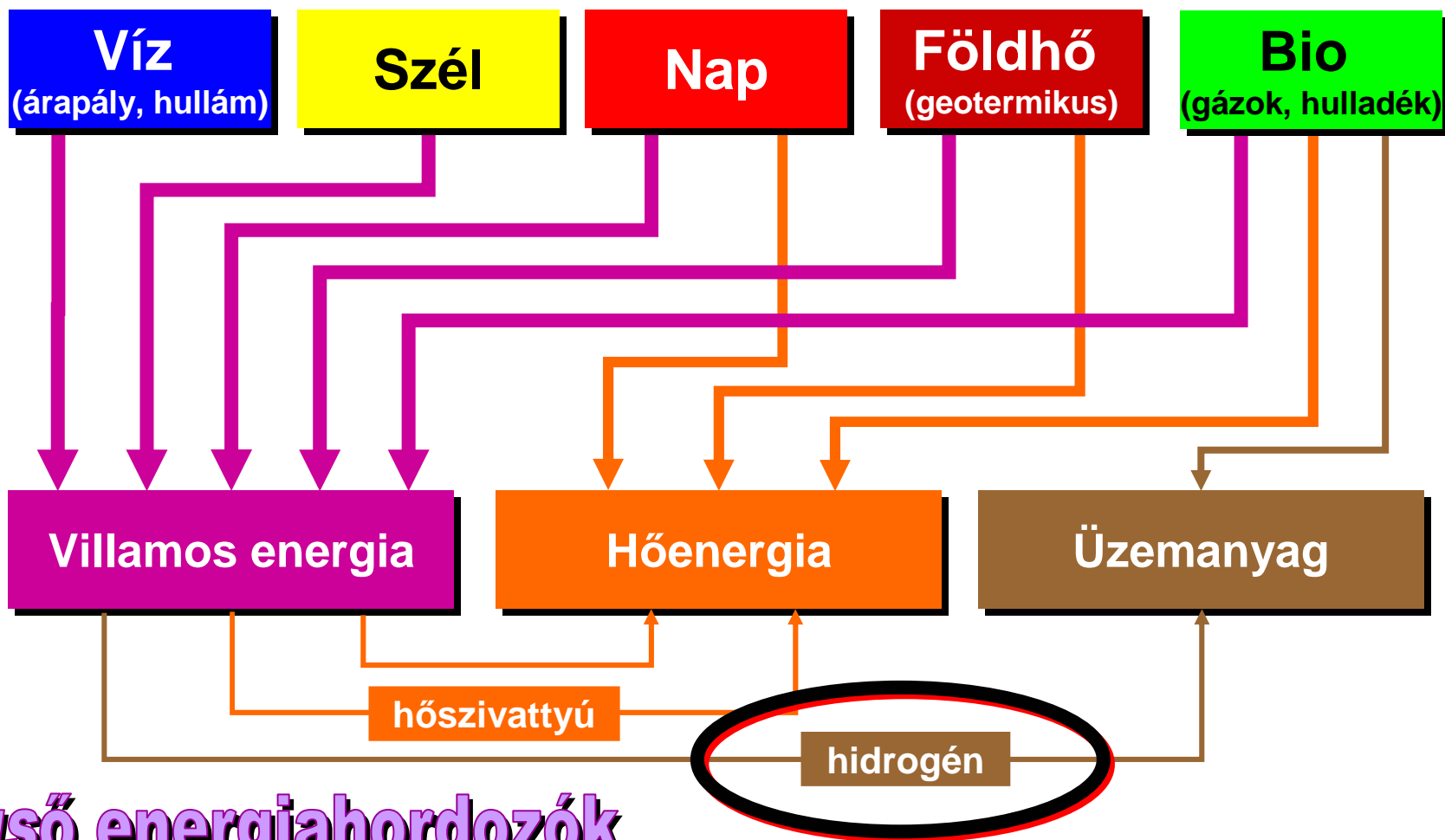


Energiaátalakítás a hajtásokhoz



A megújuló energia átalakítása

Primerenergia-hordozók



Végző energia-hordozók

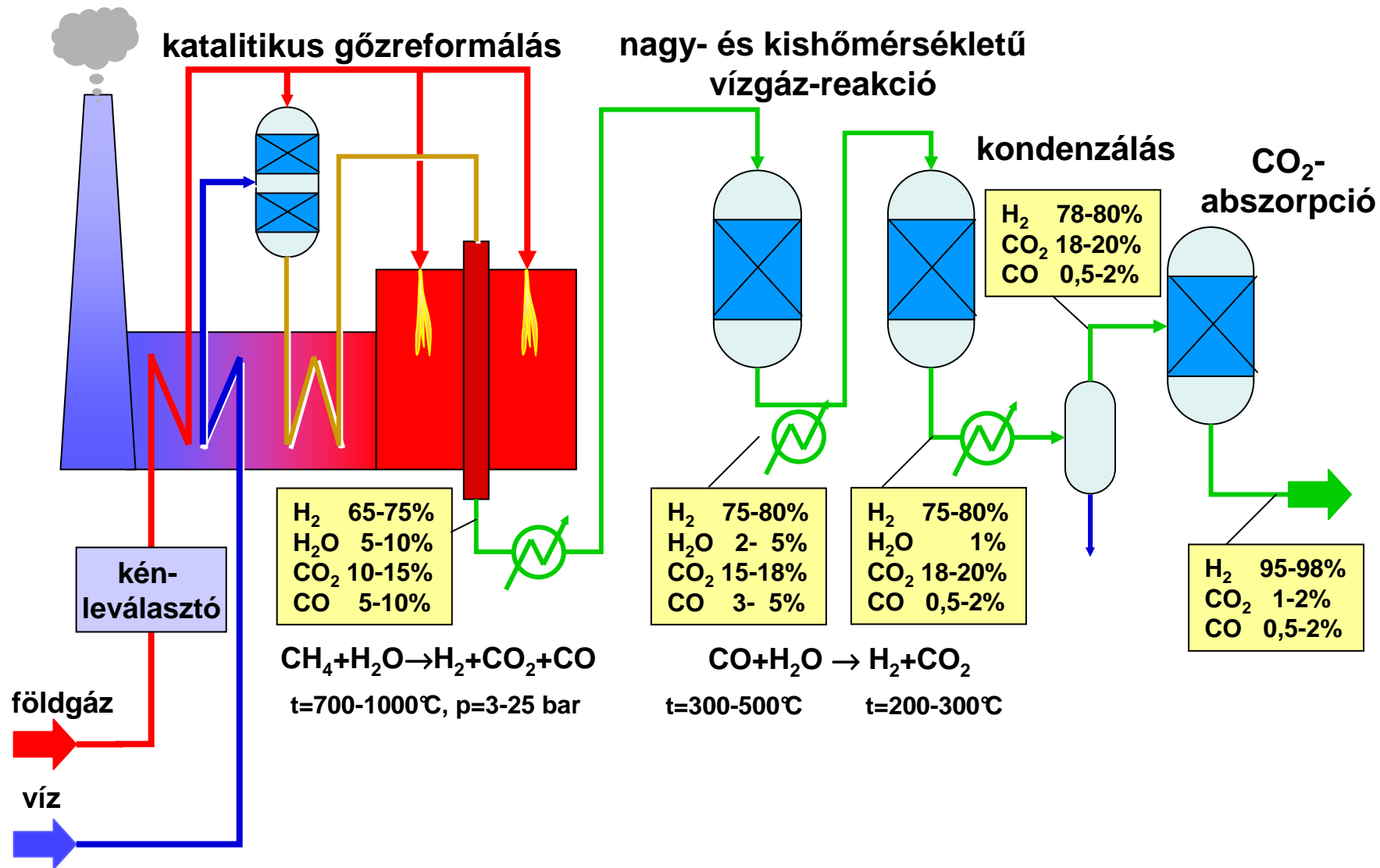
A hidrogén-előállítási módszerek

Technológia	Várható H ₂ -termelési költség, USD/GJ	Felhasználható a megújuló forrás?	Kihatás más folyamatokra			Műszaki méret lehetősége
			H ₂ /víz ciklus	Egyéb ciklus	Karbon-ciklus	
Földgáz-reformálás	12-18	nem	kicsi	nagy	nagy	jó
Szénelgázosítás	13-18	nem	kicsi	nagy	nagy	jó
Biomassza-elgázosítás	14-25	igen	nagy		nagy	közepes
Szárazföldi szél	22-30	igen	kicsi		alacsony	közepes
Tengeri szél	27-37	igen	kicsi		alacsony	közepes
Naperőműves elektrolízis	32-42	igen	közepes	alacsony	alacsony	jó
Napelemes elektrolízis	52-82	igen	közepes	alacsony	alacsony	közepes
Atomerőműves elektrolízis	20-27	nem	közepes	alacsony	alacsony	jó

IEA adatok (Word Energy Investment Outlook, 2003, p. 425)

Összehasonlító akkori versenytárs-árak: benzin 8-10 USD/GJ, földgáz 7-9 USD/GJ

Hidrogéntermelés földgázból



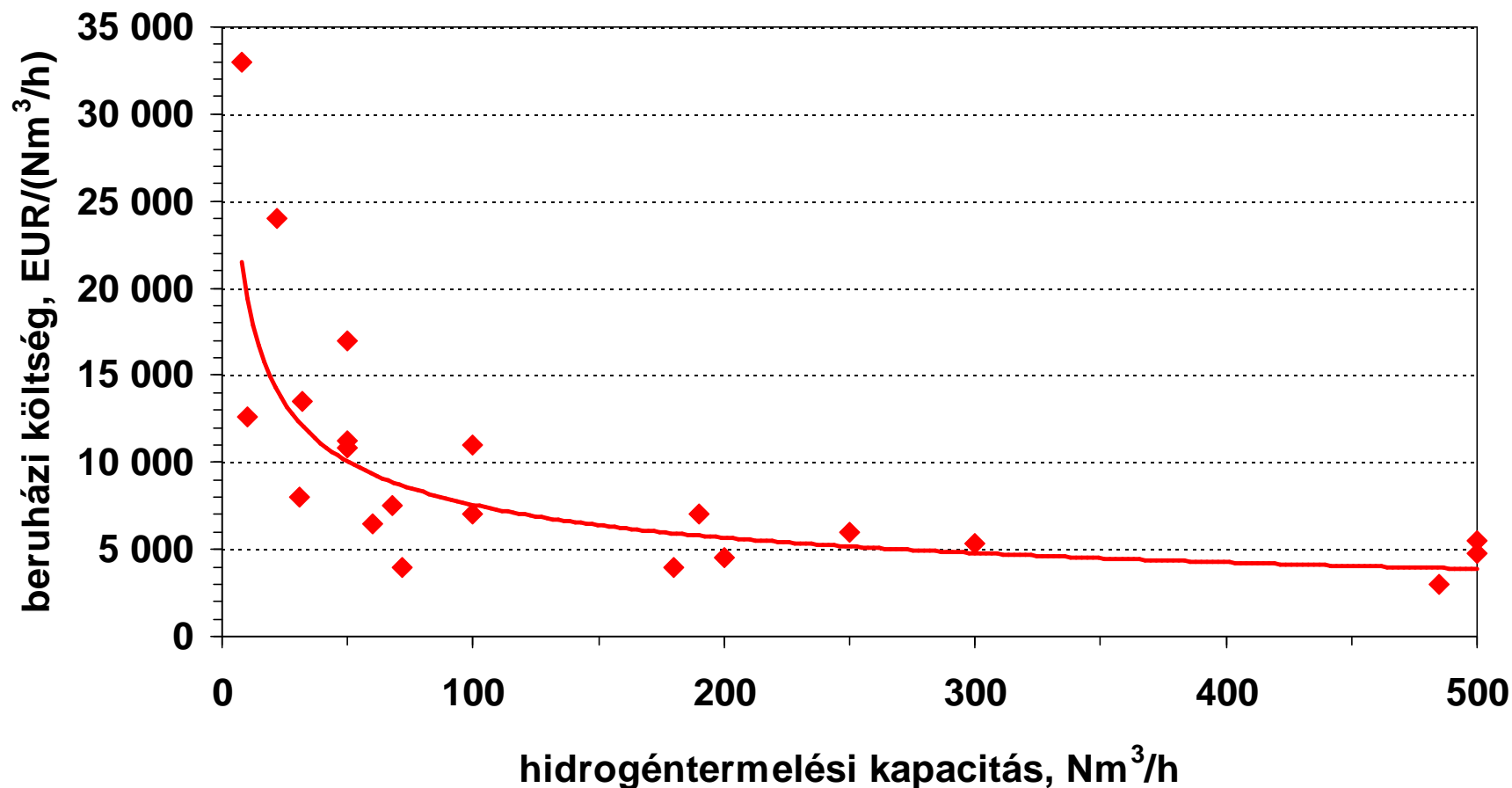
Jelenlegi nagyüzemi gyártások

Gyárak	Termelési kapacitás, Nm ³ /h
GHW, Németország	12 – 500
Hydrogen Systems, Belgium	1 – 100
Indroenergy, Olaszország	0,4 – 64
Norsk Hydro ASA, Norvégia	10 – 485
Stuart Energy Systems, Kanada	1 – 60
The Electrolyser Corporation, Kanada	0,05 – 65,7
Wasserelektrolyse Hydrotechnik, Németország	1 - 250

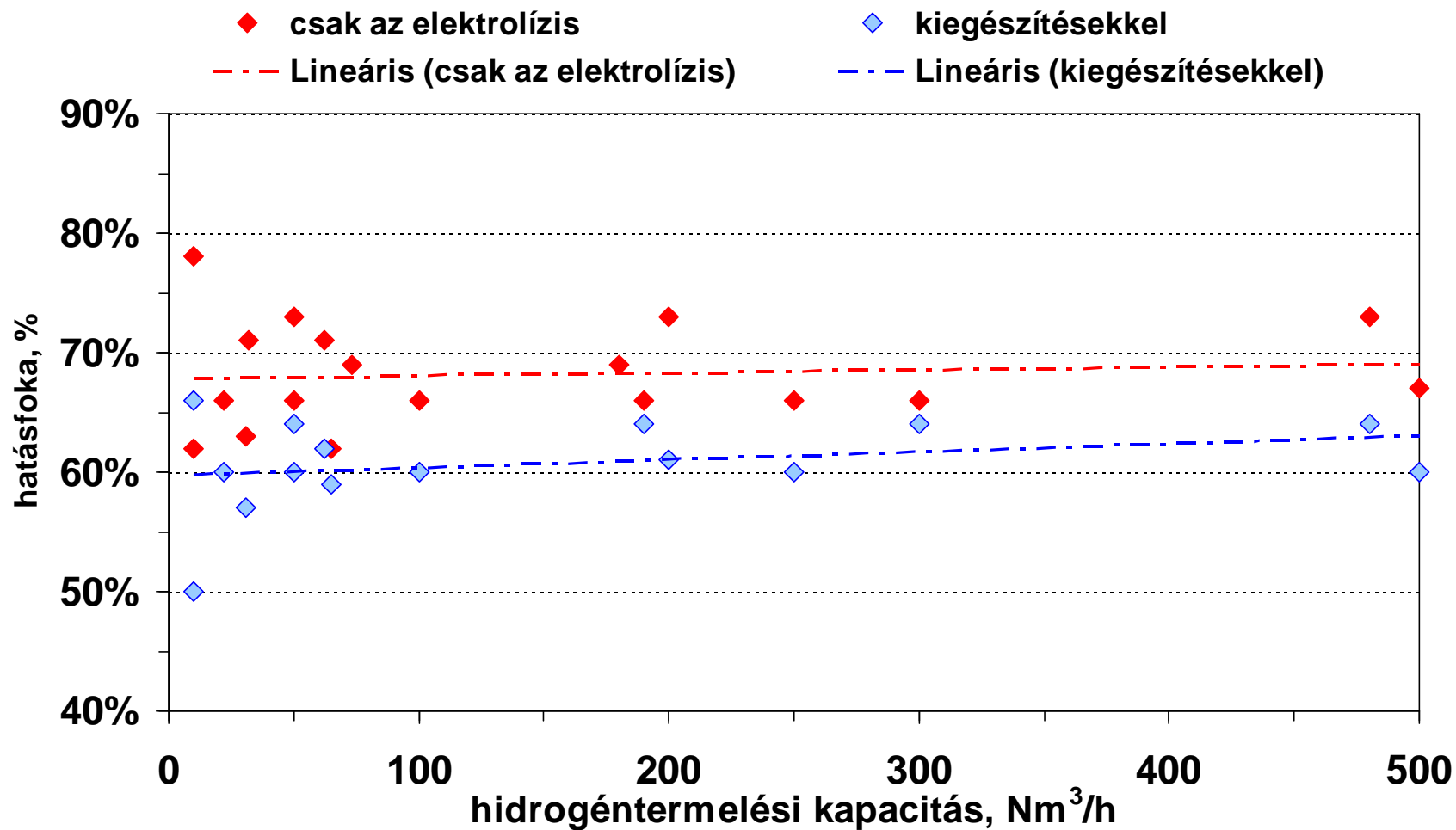
Forrás: Suresh, stb. „CEH Product Review: HYDROGEN - 2001 = Chemical Economics Handbook, SRI Consulting

Forrás: A.Züttel, stb.: Hydrogen as a Future Energy Carrier. = WILEY-VCH, 2008. p. 158.

Fajlagos beruházási költség (2002)



A hidrogéntermelés hatásfoka



Jelenlegi nagyüzemi gyártások

Gyárak	Termelési kapacitás, Nm³/h
Giner, Inc. USA	4 – 12,8
H2-interpower GmbH, Németország	0,02 – 0,04
Mitsubishi Corp. , Japán	-
Proton Energy, USA	0,5 – 1
Shinko Pantec Kobe, Japán	0,5 – 2
Space Systems International, Inc. USA	50 - 100

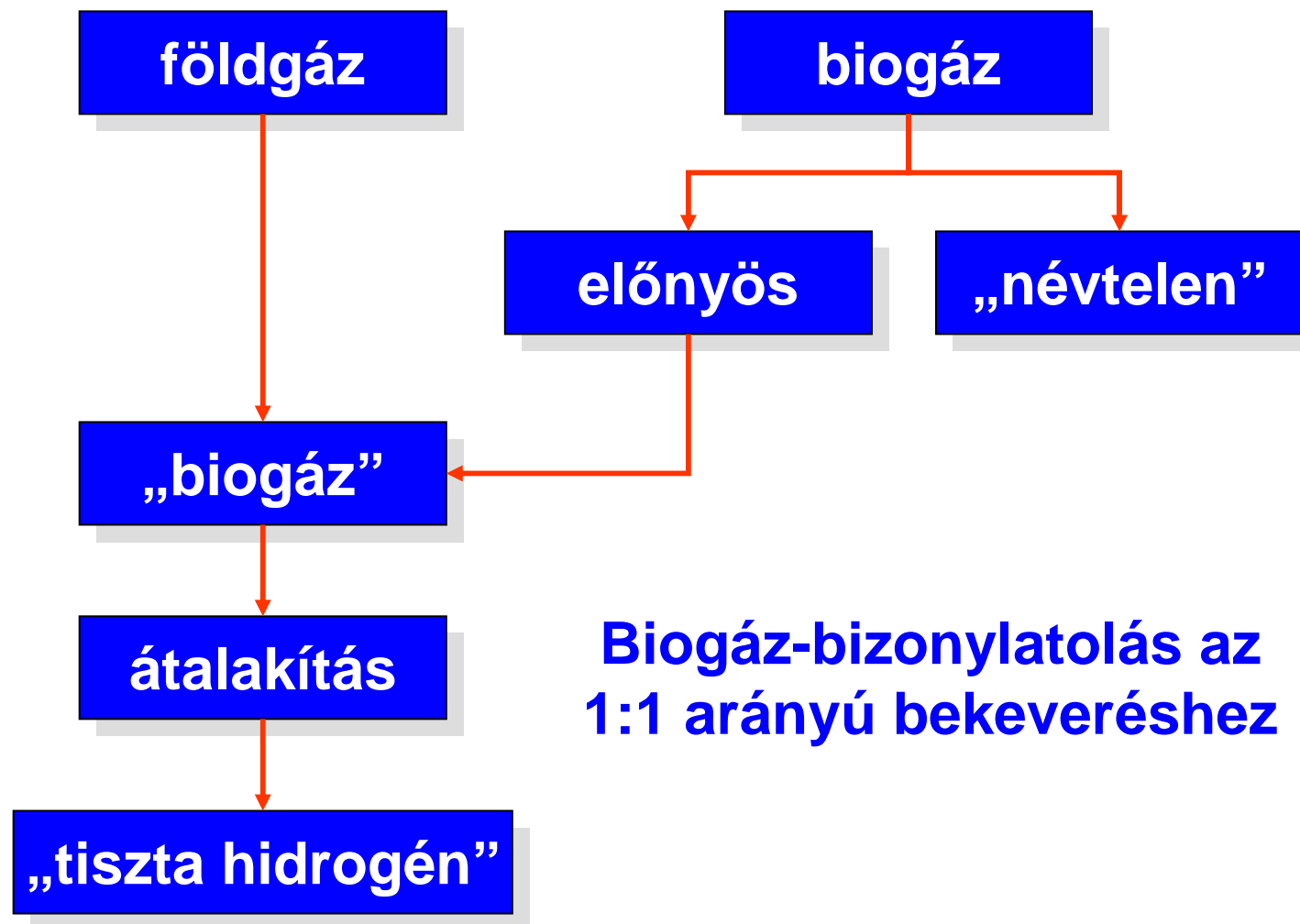
SPE = Solid-Polymer Electrolysis = Szilárd Polimer Elektrolízis

Kifejlesztette a General Electric 1967-ben

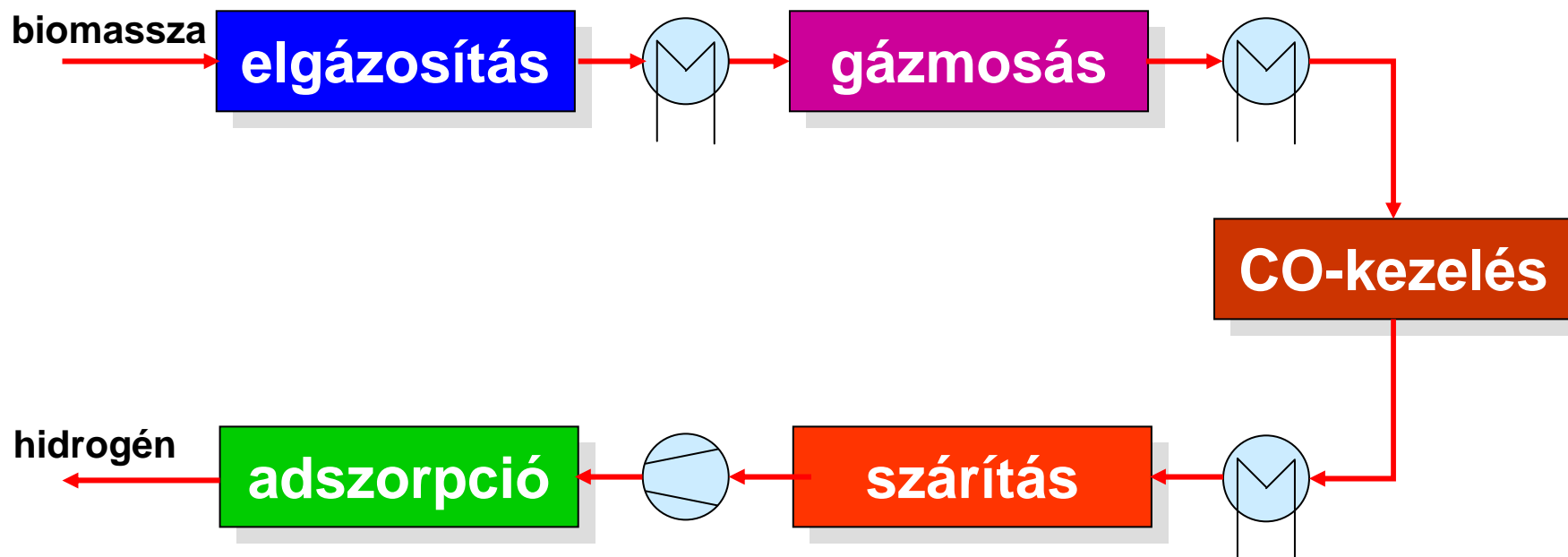
Forrás: Suresh, stb. „CEH Product Review: HYDROGEN - 2001 = Chemical Economics Handbook, SRI Consulting

Forrás: A.Züttel, stb.,: Hydrogen as a Future Energy Carrier. = WILEY-VCH, 2008. p. 160.

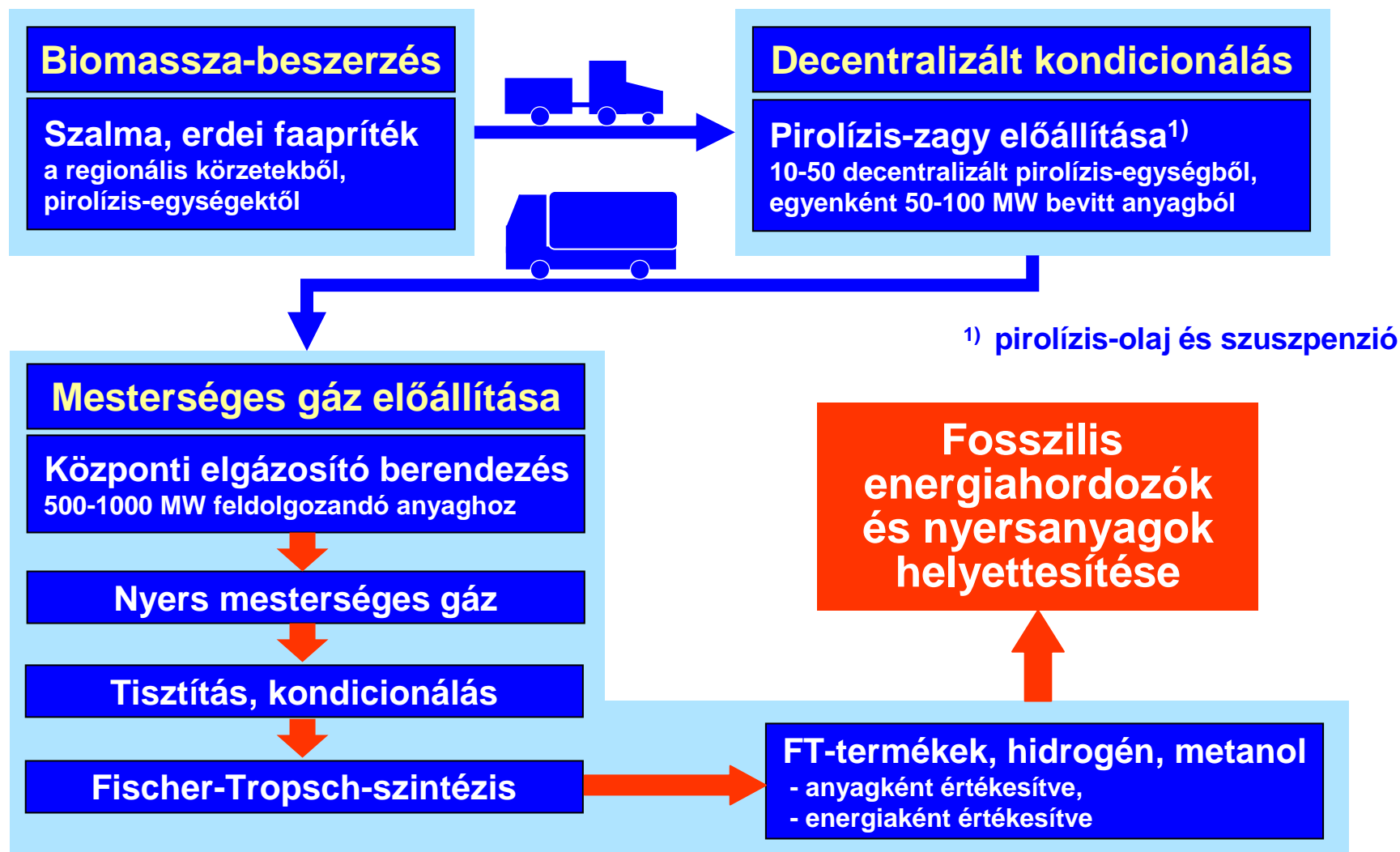
Hidrogényártás biogázból



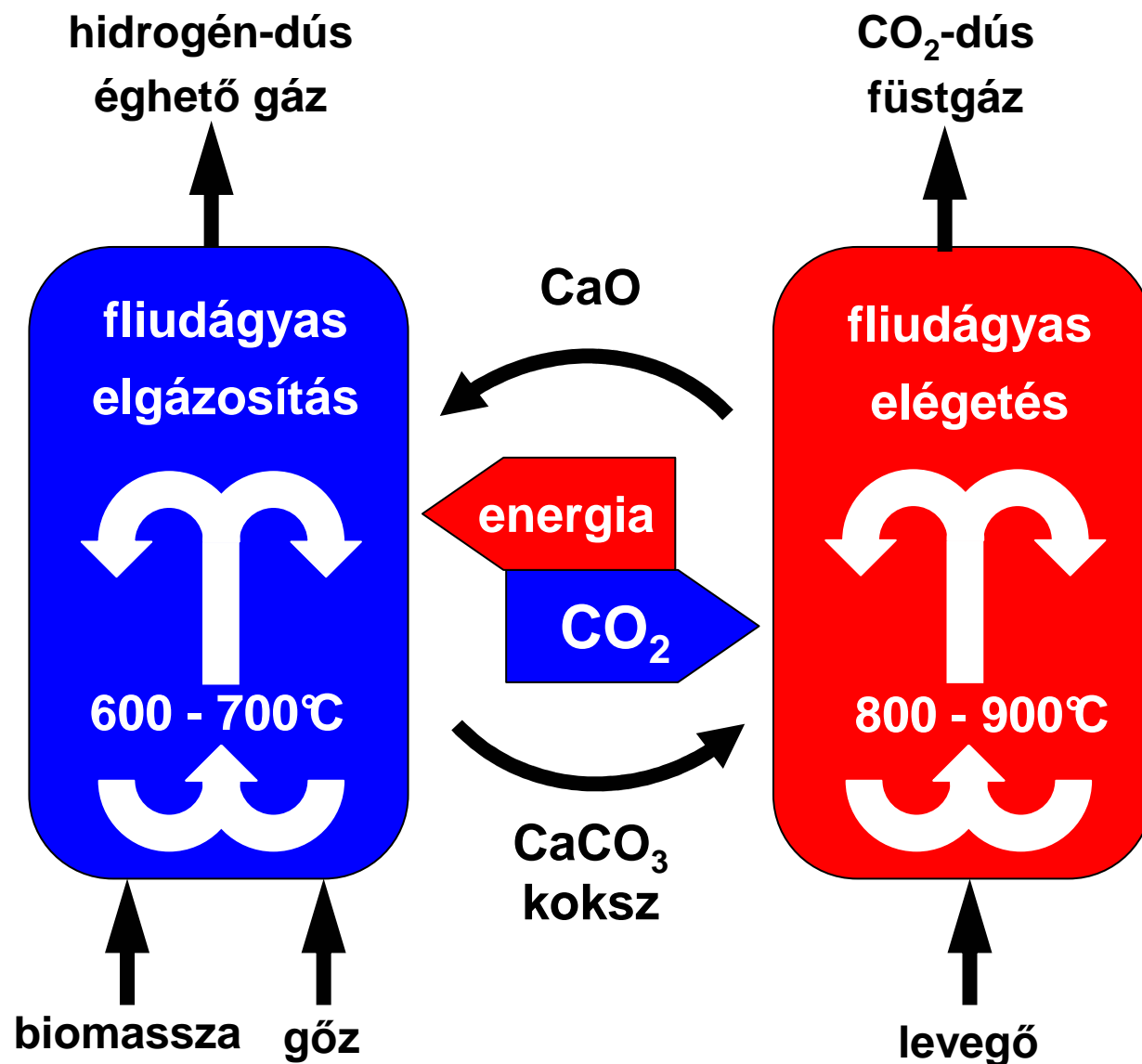
Hidrogényártás biomasszából



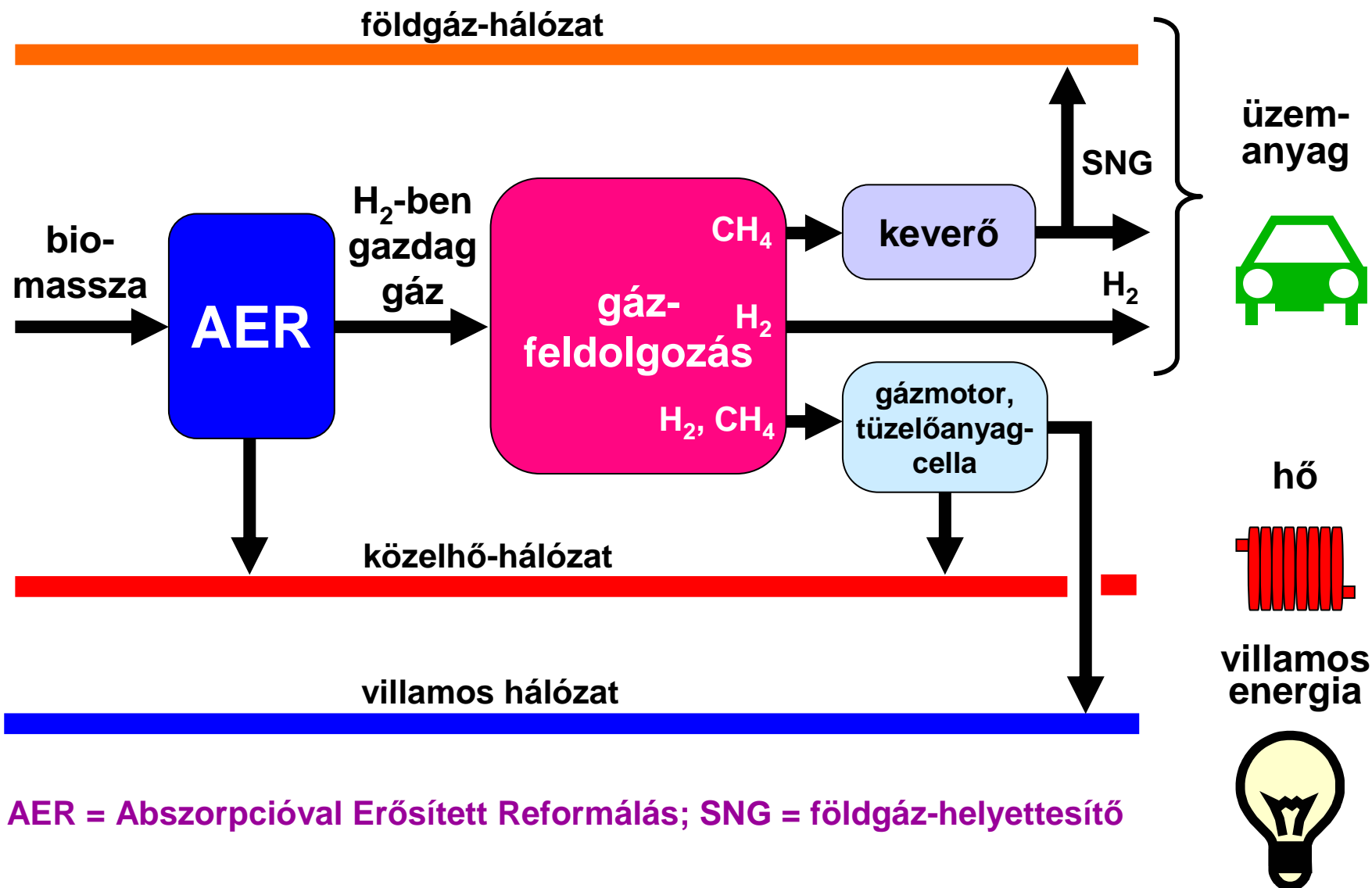
A Bioliq-eljárás összetevői



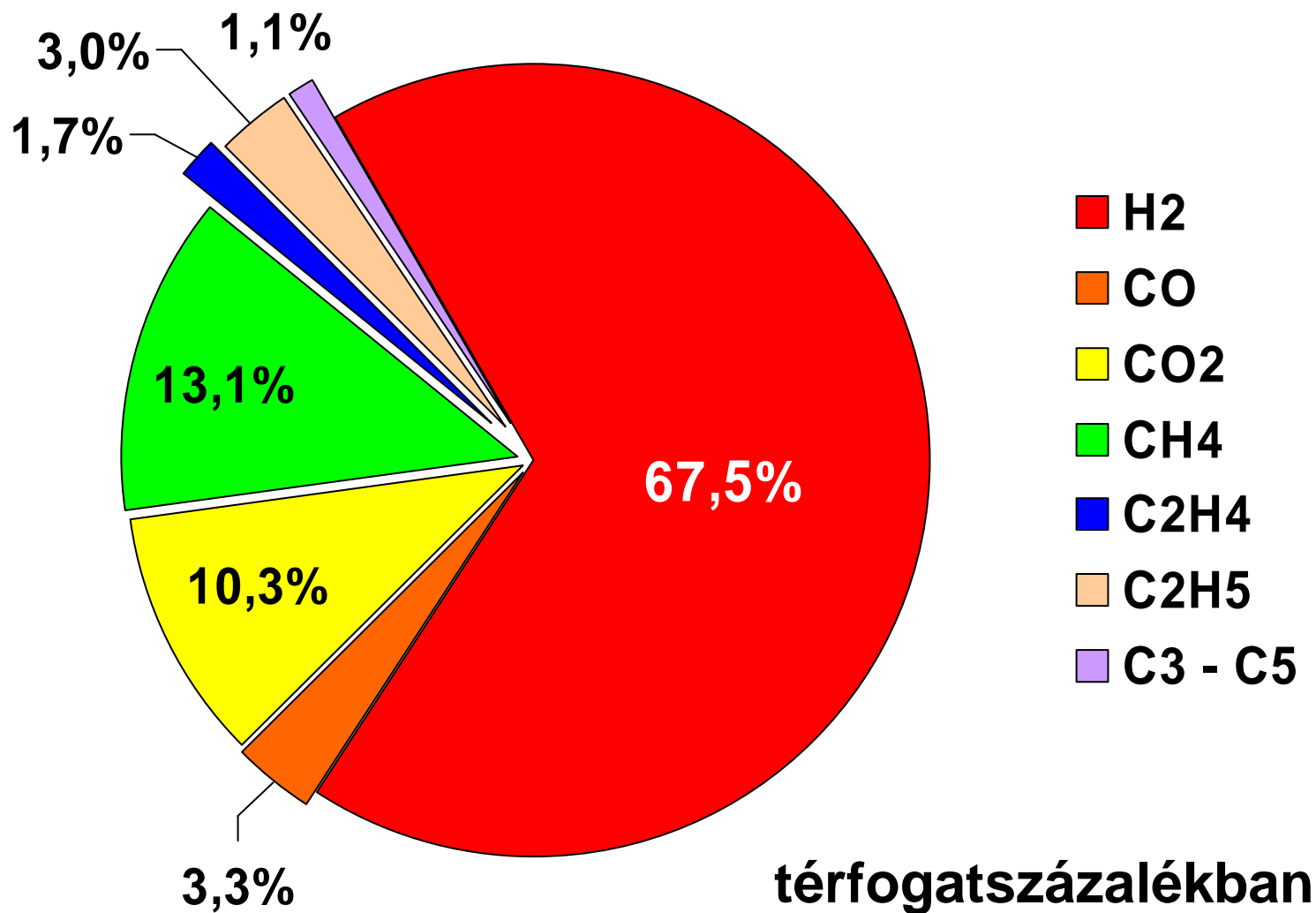
Fluid-ágyas hidrogén biomasszából



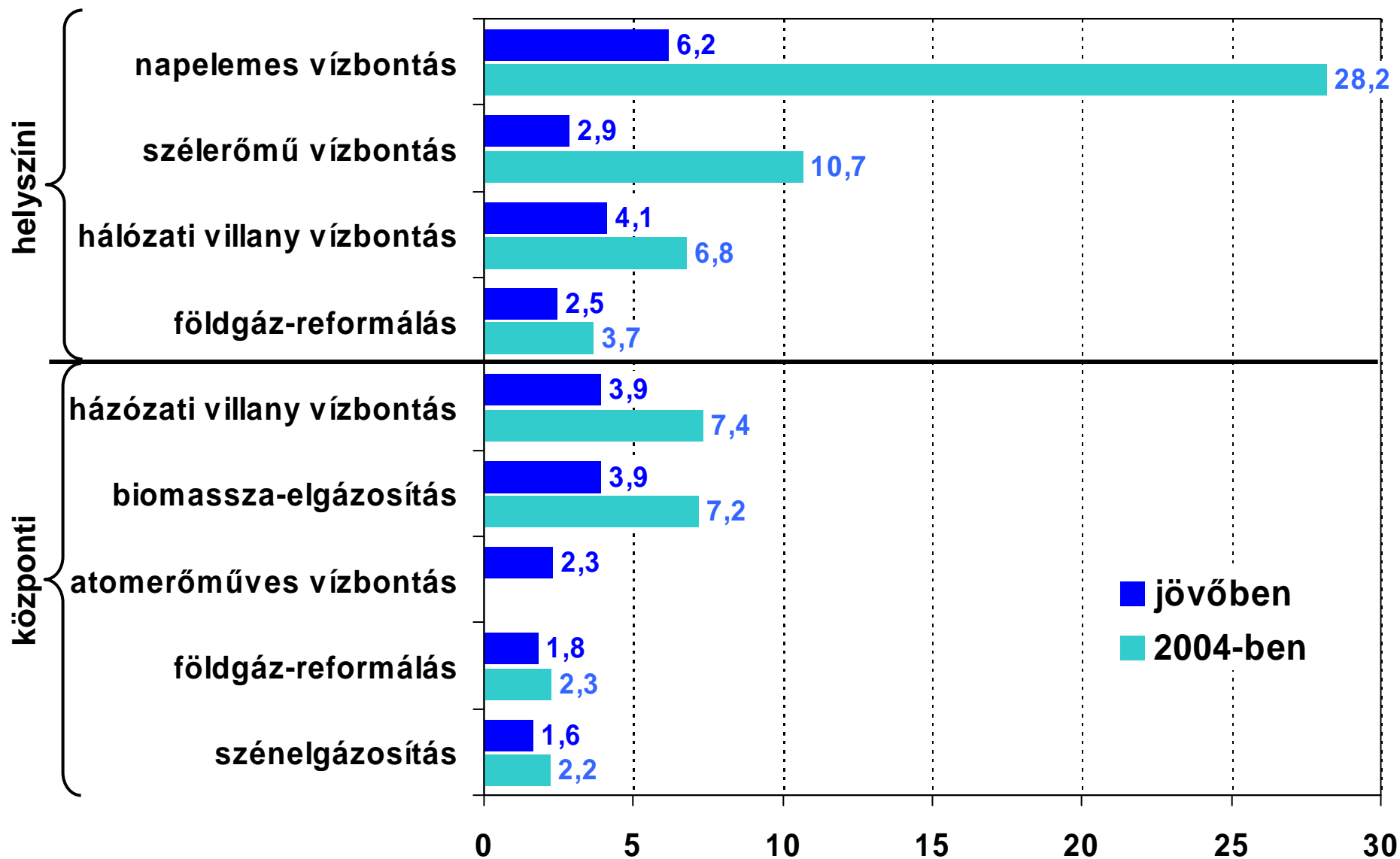
Abszorpciós reformálás (AER)



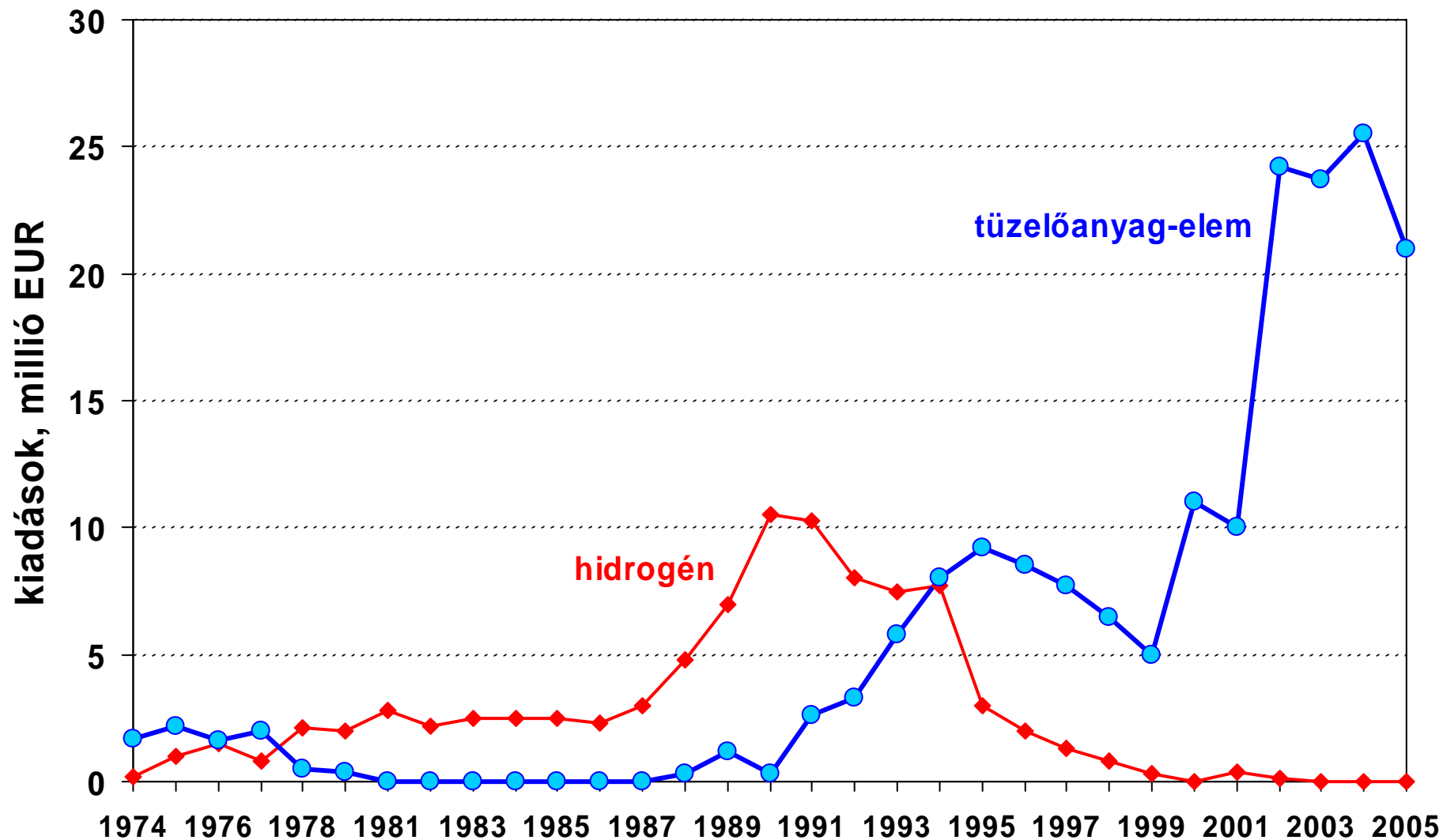
Abszorpciós reformálás (AER) terméke



A hidrogén előállítási költségeiről



Német fejlesztési támogatások



Forrás: Dóry Zsófia - BME



strobl@mavir.hu

Köszönöm a megtisztelő figyelmüket.