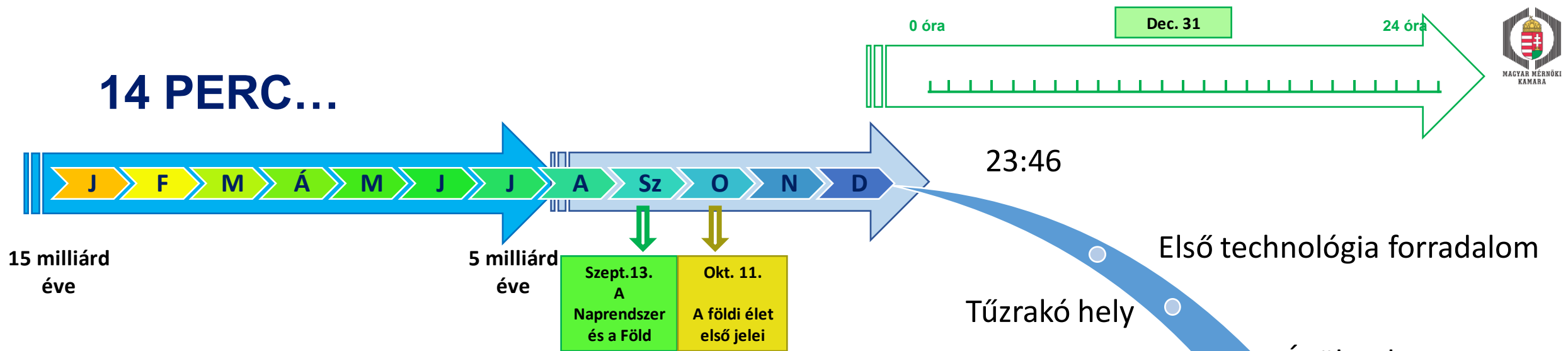


HIDROGÉN HASZNOSÍTÁS LEHETŐSÉGE AZ ERŐMŰVEKBEN

AVAGY

*14 PERC FELELŐSSÉGE:
MEGOLDÁS VAGY IDŐHÚZÁS*

14 PERC...

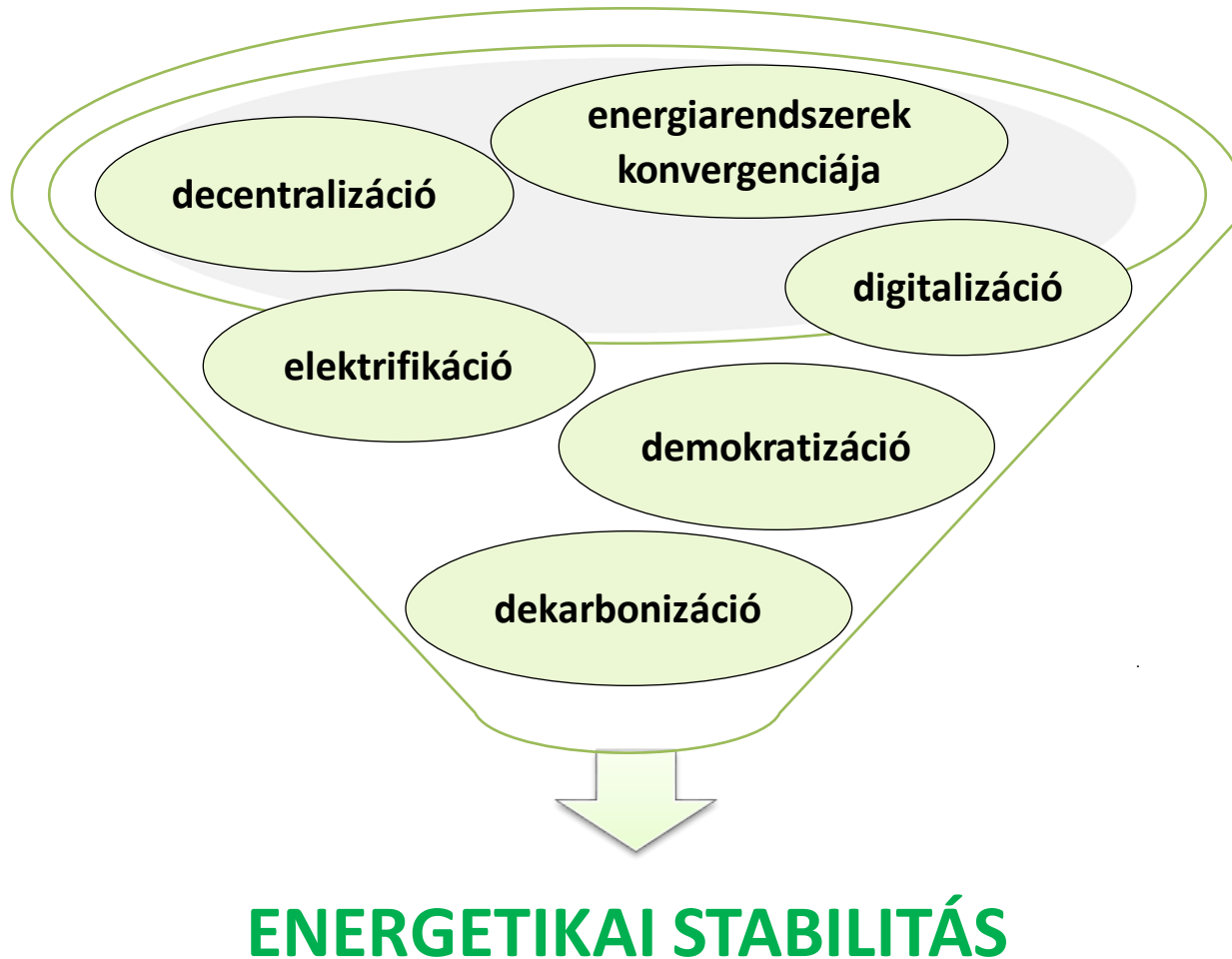


A tűz feletti uralom univerzális és egyben kizárólagos jellemzője az emberiségnek!



20 energiarabszolga szolgál minket

ENERGETIKAI – IPARÁGI MEGATRENDEK



- Átmenet a tisztaenergia-rendszerbe (Cél)
- DE! Ez nem úgy fog megvalósulni, hogy minden eszközt lecserélünk egy hasonló emissziómentesre, hanem egy nagyon mély átalakulás fog végbemenni
- A közlekedés és szállítás villamosítása a legígéretesebb lehetőség
- Az épületállomány energiahatékonyságának fontossága
- Nehézipar, amely a világ szén-dioxid-kibocsátásának egyharmadát adja

A VILÁG ENERGIAFOGYASZTÁSA ERŐTELJESEN NÖVEKSZIK

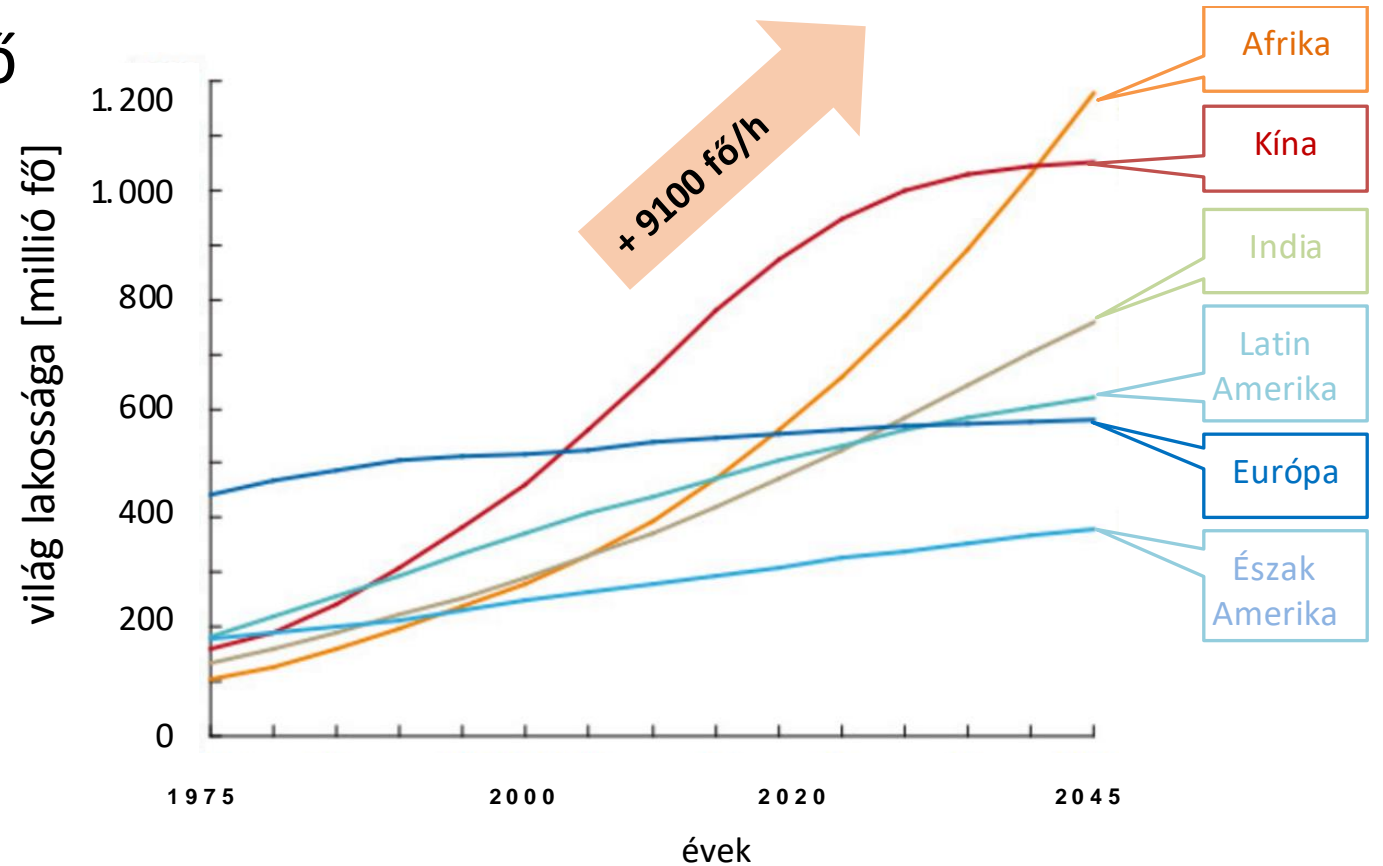
Alapvetően két okra vezethető vissza:

1. A fejlődő országok

Energia: 20-25%

Népesség: 75-80%

2. Népesség növekedés



TAXONÓMIA I.

- Fő cél: Az EU 2050-re elérje a szén-dioxid-semlegességet
- A taxonómia (=rendszer) az európai zöld megállapodás (az EU Green Deal) politikájának egyik eszköze
- Matematikai értelemben a taxonómia a dolgok egy halmazának faszerkezetű osztálybesorolásai vagy kategorizálása
- A szerkezet csúcsán egy osztály van, a csúcs alá besorolt minden dologra a csúcson lévő osztály tulajdonsága érvényes

2015 szeptember: Az ENSZ közgyűlésén a világ országai elfogadták a **Fenntartható Fejlesztési Menetrendet**, mely 17 fenntartható fejlődési célt tartalmaz. (Ezek közül az **energetika** szempontjából kiemelendő a **megfizethető és tiszta energia és az éghajlat-változási célok**.)

2016. október: Az Európai Unió ratifikálta ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezménye keretében létrejött **Párizsi Egyezményt**

2018. január: Megjelenik az EU szakértői csoportjának jelentése, melyben javaslatot tesznek egy uniós szintű **osztályozási rendszerre "tanra"** (taxonómia)

2018. március: Az Európai Bizottság elfogadta a **Fenntartható Finanszírozási Stratégiát**, melyben már megtalálható a **Taxonómia rendelet**

2020. június: Az Európai Tanács és az Európai Parlament elfogadta az egységes uniós osztályozási rendszert

TAXONÓMIA II.

Az EU taxonómia értelmezése alapján azokat a tevékenységeket nevezhetjük majd a jövőben fenntarthatónak, amelyek jelentős mértékben hozzájárulnak legalább 1 uniós környezetvédelmi célkitűzés eléréséhez, emellett nem sértik nagymértékben a másik 5 környezeti célkitűzést

Az EU taxonómiának való megfelelés szempontjából 6 környezeti célnak kell eleget tenni:

1. éghajlatváltozás mérséklése
2. éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás
3. vízi és tengeri erőforrások fenntartható használata és védelme
4. körforgásos gazdaságra való átállás
5. környezetszennyezés megelőzése és csökkentése
6. biodiverzitás és az ökoszisztéma védelme és helyreállítása

A fosszilis gáznemű tüzelőanyagok felhasználásával történő villamosenergia-termelésből származó, az életciklus során keletkező üvegházhatású gázok kibocsátása kevesebb, mint 100 g CO₂e/kWh.

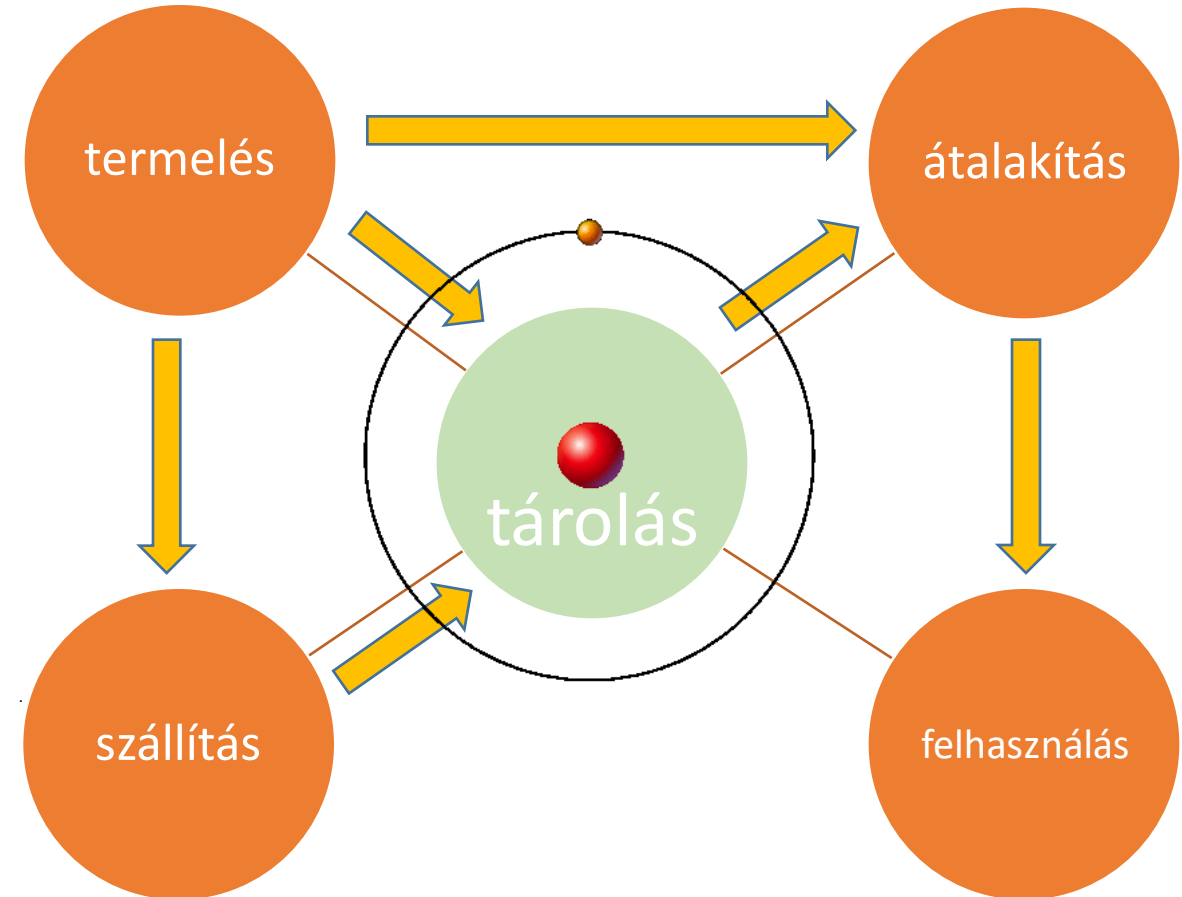
VAGY

azok a létesítmények, amelyekre **az építési engedélyt 2030. december 31-ig megadták**, és megfelelnek a következők mindegyikének:

a tevékenység közvetlen **ÜHG-kibocsátása alacsonyabb, mint 270 g CO₂e/kWh** vagy a tevékenység éves közvetlen ÜHG-kibocsátása nem haladja meg a létesítmény kapacitásának 20 éves átlagában az 550 kg CO₂e/kW-ot

HIDROGÉN-ENERGETIKA

- Bőségesen rendelkezésre áll:
 - víz, földgáz (CH_4)
- Többféle módon előállítható
 - Szénelgázosítás ($\text{C}+\text{H}_2\text{O}$)
 - Földgáz reformálás ($\text{CH}_4+\text{H}_2\text{O}$)
 - Vízelektrolízis
 - Fotolízis napenergia felhasználásával
 - H_2 termelő mikrobákkal
- Energetikailag többféle módon hasznosítható
 - Termikus égetés – hőerőmű
 - Belsőégésű motor – motorhajtóanyag
 - Üzemanyagcella – villamos energia, gépjárműhajtás



HIDROGÉN - FELHASZNÁLÁSI TÉRKÉP

Elektrolízis

H₂ előállítás elektrolízissel

Tárolás, csővezetéki tárolás

Garantált termelési arány

A teljesítménysűrűség növekedése

Életciklus- és anyag optimalizáció a magas hőmérsékletű elektrolízisnél

A katalízisek optimalizációja

Ipar

H₂ alkalmazása a gyártási folyamatokban

A szükséges mennyiségek becslése

A metán pirolízis folyamatainak fejlesztése

Logisztikai megoldások a hidrogén szállításában

A nagy térfogatú tárolási kapacitások fejlesztése

Közlekedés

H₂ tárolás a közlekedésben

Nemzeti és nemzetközi tárolási megoldások

Önálló (saját) hidrogén termelés

Tárolási hűtési technikák

A tüzelőanyag cellák optimalizációja

Tüzelőanyag cella előállítási sorok

Energetika

Az energiatárolás egy formája a hidrogénben

A hidrogén tárolás integrálása a nemzeti energetikai hálózathoz

A megújuló energetikai stratégiákhoz történő összekapcsolása

Önálló (saját), helyi előállítási lehetőség

HIDROGÉN ÉS A FÖLDGÁZ TÜZELÉSTECHNIKAI JELLEMZŐI

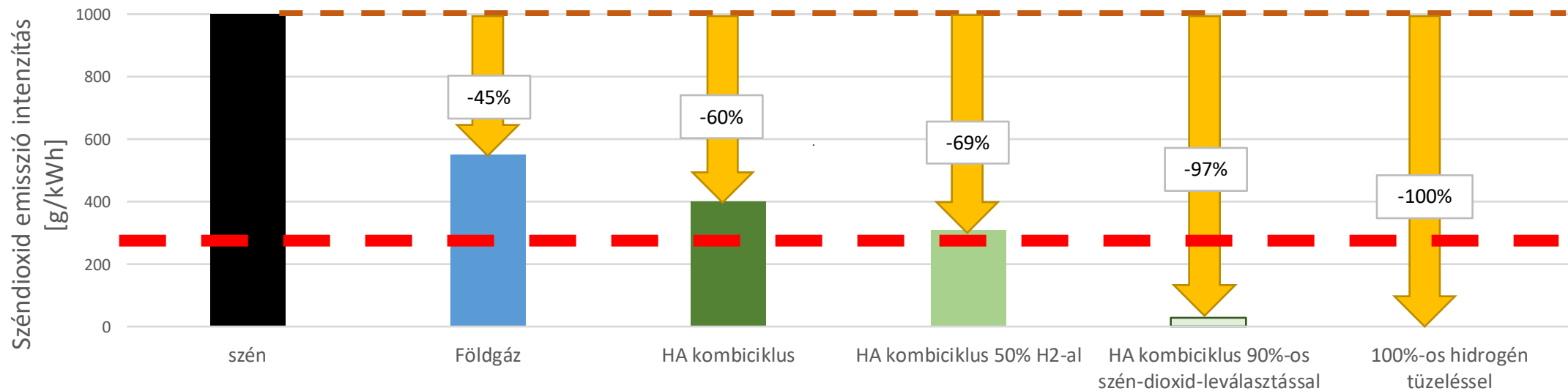
Tulajdonság / paraméter	Hidrogén (H ₂)	Földgáz (2H)
Sűrűség (15 °C, p _n) [kg/m ³]	0,090	0,695
Alsó hőérték (15/15 °C) [MJ/m ³]	10,223	34,205
Felső hőérték (15/15 °C) [MJ/m ³]	12,102	37,973
Alsó Wobbe-szám [MJ/m ³]	38,758	45,406
Felső Wobbe-szám [MJ/m ³]	45,880	50,407
Lángterjedési sebesség [cm/s]	~267	~34
Gyulladási határkoncentráció (20 °C) [tf%]	4,0 – 77,0	4,3 – 15,6
Fajlagos elméleti oxigénszükséglet [m ³ /m ³]	0,499	2,014
Fajlagos elméleti levegőszükséglet [m ³ /m ³]	2,383	9,614
Keletkező CO ₂ [m ³ /m ³]	0,001	1,009

A hidrogén és a földgáz tüzeléstechnikai jellemzőinek összehasonlítása

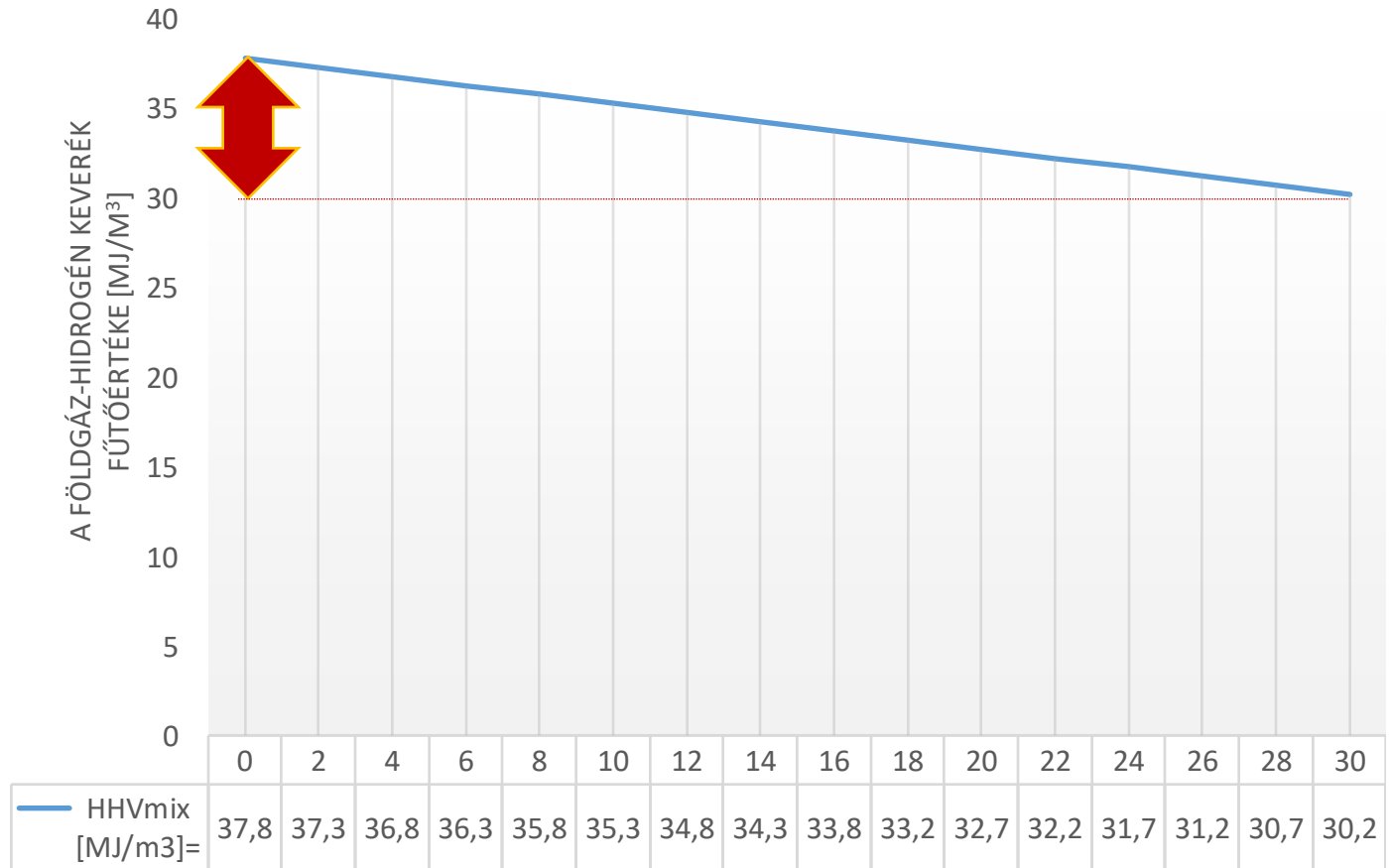
- **Sűrűség:** A hidrogén sűrűsége jelentősen kisebb a földgázhoz (2H) képest
- **Energiatartalom:** A hidrogén energiatartalma jelentősen elmarad a földgázhoz (2H) képest, hiszen a hőértéke (a belőle felszabaduló energia mennyisége) kevesebb mint egyharmada a földgáz hőértékének
- **Wobbe-számok:** A hidrogén nagyon kis sűrűségének következtében az alsó és felső Wobbe-számok (gázok egyenértékűségének, cserélhetőségének legfontosabb paramétere), viszonylag közel helyezkednek el egymáshoz képest. Ez a tulajdonság alátámasztja azt, hogy a földgázhoz lehetséges hozzákeverni hidrogént.
- **Lángterjedési sebesség:** A hidrogén és a földgáz lángterjedési sebessége között jelentős eltérés van, mert a hidrogén lángterjedési sebessége közel 8-szorosa a földgázénak
- **Gyulladás határkoncentráció:** Mind az alsó, mind a felső gyulladási határkoncentrációban jelentős eltérések vannak. Míg a földgáz (2H) 4,3 – 15,6 tf% között gyullad meg, a hidrogén sokkal szélesebb tartományban 4,0 – 77,0 tf% közötti tartományban. Itt megjegyzendő, hogy a földgázhoz jelentős mértékű hidrogén bekeverése a felső gyulladási határkoncentráció kismértékű eltolódását, így a tartomány kiszélesedését eredményezi.
- **Szükséges fajlagos elméleti levegőszükséglet:** A hidrogén eltüzeléséhez jelentősen kisebb mennyiségű oxigén, illetve az azt tartalmazó levegő szükséges. A földgáz (2H) sztöchiometrikus elégetéséhez szükséges mennyiségek kb. 25%-a.
- **CO₂-tartalom:** A légszerű nélküli sztöchiometrikus eltüzelés esetén jelentkező fajlagos füstgáztérfogatban lévő CO₂-tartalom jóval kedvezőbb hidrogén esetén, amely gyakorlatilag megegyezik az eltüzeléshez használt levegő szén-dioxid tartalmával. Ezzel szemben a földgáz (2H) tüzelés során keletkező CO₂ tartalom 1,009 m³/m³.

HIDROGÉN, MINT TÜZELŐANYAG

- A hidrogén elégetése egy lehetséges út a dekarbonizációhoz
- Gázturbinák képesek a földgáz üzemanyag hidrogénnel való kiegészítésére (helyettesítésére)
- Mivel a hidrogénben nincs szén, ezért nincs CO₂ kibocsátás
- A ma termelt hidrogén nagy része (~95%) földgáz felhasználásával történik
- Reformálási folyamat során a keletkező CO₂-ot légkörbe emittálják, melyet „szürke” hidrogénnek hívnak
- Egy szén-dioxid-leválasztó rendszer hozzáadása ehhez a folyamathoz „kék” hidrogént eredményez
- A „zöld” hidrogénhez a víz elektrolizálását használják, és energiaforrásként megújuló energiát használnak
- Egy gázturbinának nem számít, melyik „színű” hidrogént használják üzemanyagként

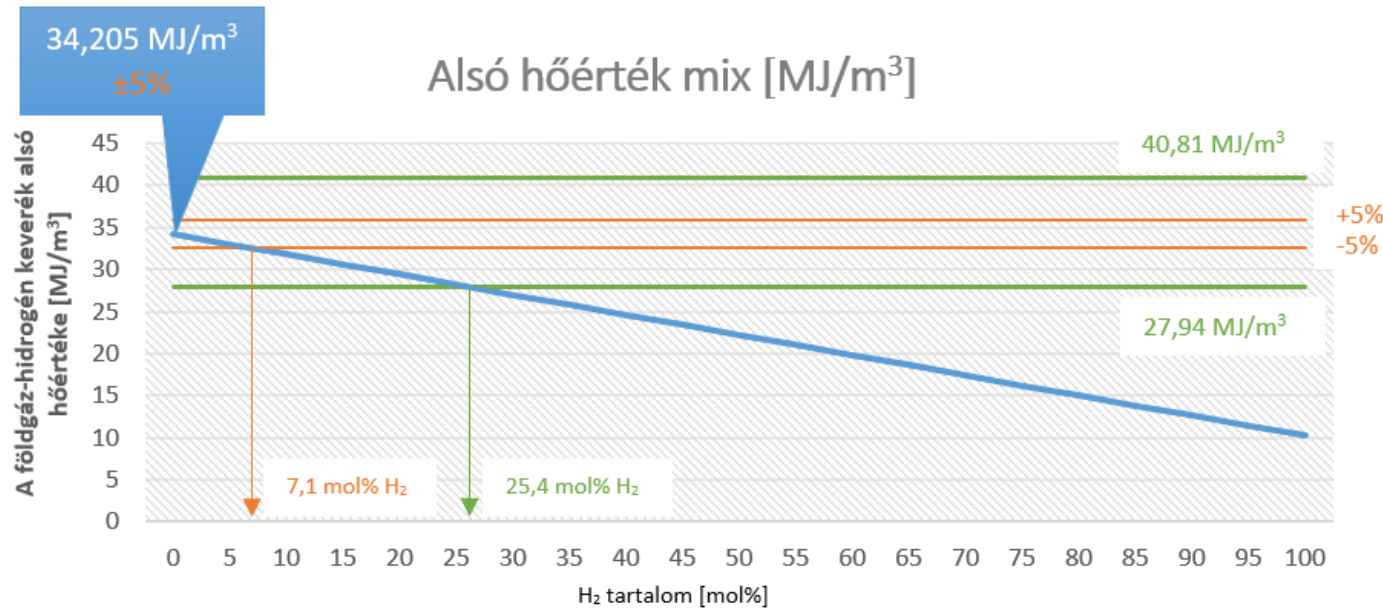


A HIDROGÉN HATÁSA A FÖLDGÁZKEVERÉK JELLEMZŐIRE FŰTŐÉRTÉK



- Nagyon fontos annak a vizsgálata, hogy a földgázhoz (2H) hozzákevert hidrogén jelentős hatással van a földgáz-hidrogén mix fűtőértékére
- A hidrogén egyre nagyobb mértékű hozzákeverése a földgázhoz csökkenő fűtőértékű elegyet jelent
- Ezt azt jelenti, hogy a hidrogén-földgáz keverék esetén nagyobb gáztérfogat szükséges ugyanazon hőmennyiség eléréséhez, mint 100 tf% földgáz esetében

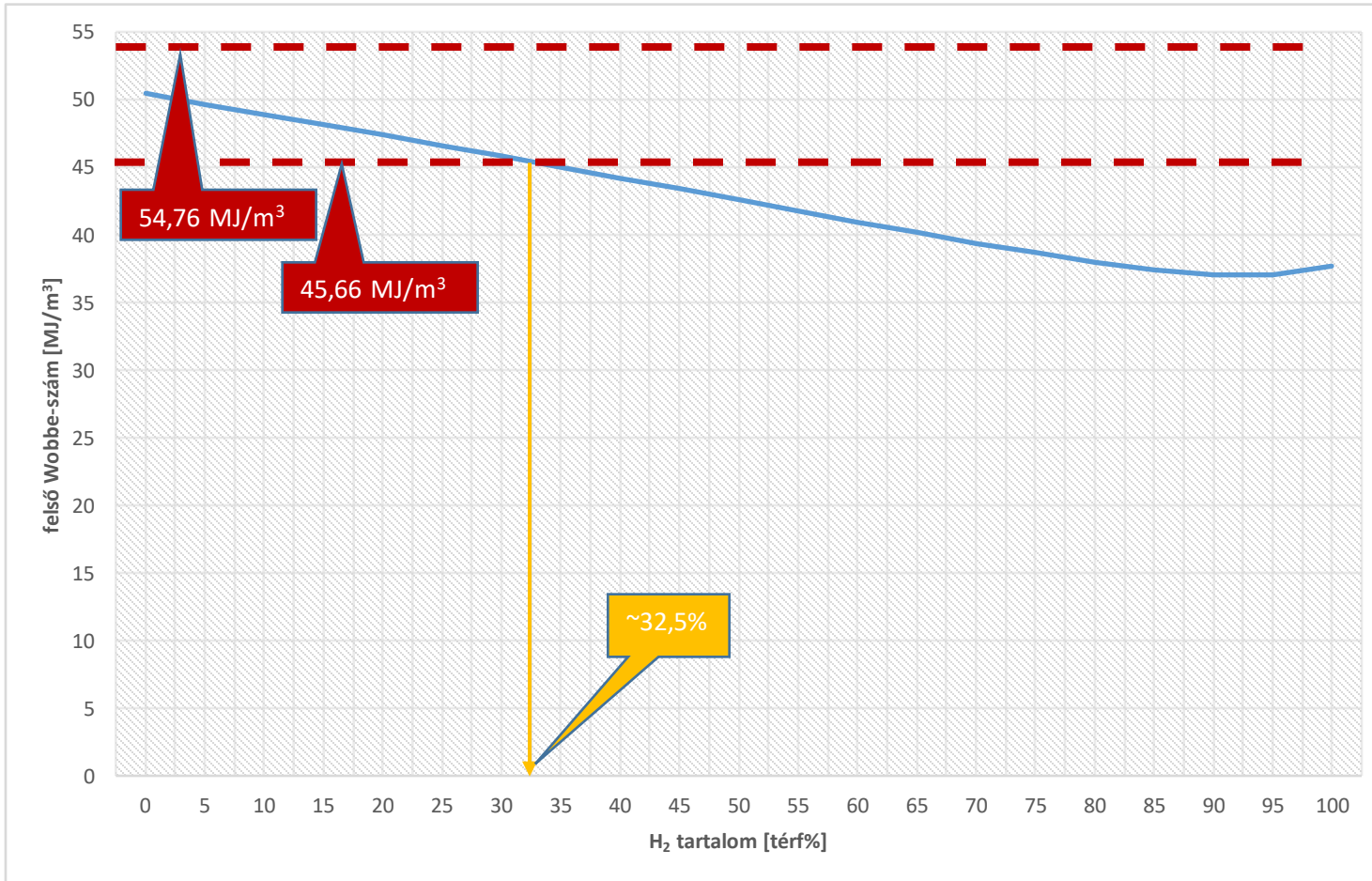
A HIDROGÉN HATÁSA A FÖLDGÁZKEVERÉK JELLEMZŐIRE JOGSZABÁLYI MEGFELELÉS



- A GET VHR 11. számú mellékletében (földgázellátási törvény végrehajtási rendelete – 19/2009. (I.30.) Korm. rendelet a földgázellátásról szóló 2008. évi XL. törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról, található alsó hőértékre előírányzott határértékek (**narancssárga vonalak**) vannak feltüntetve
- **Kék vonallal** látható a 2H minőségű szolgáltatott gáz alsó hőértéke, amelynél legfeljebb ±5% eltérés engedhető meg
- A H₂ tartalom értékének növekedésével látható, hogy már 7,1 mol% hidrogéntartalomnál eléri a szerződött értékre vonatkozó 5%-os eltérés alsó határát (34,205 MJ/m³)
- A nemzeti gázszolgáltatási szabvány alsó határát (27,94 MJ/m³) a gázkeverék 25,4 mol% hidrogéntartalom mellett éri el

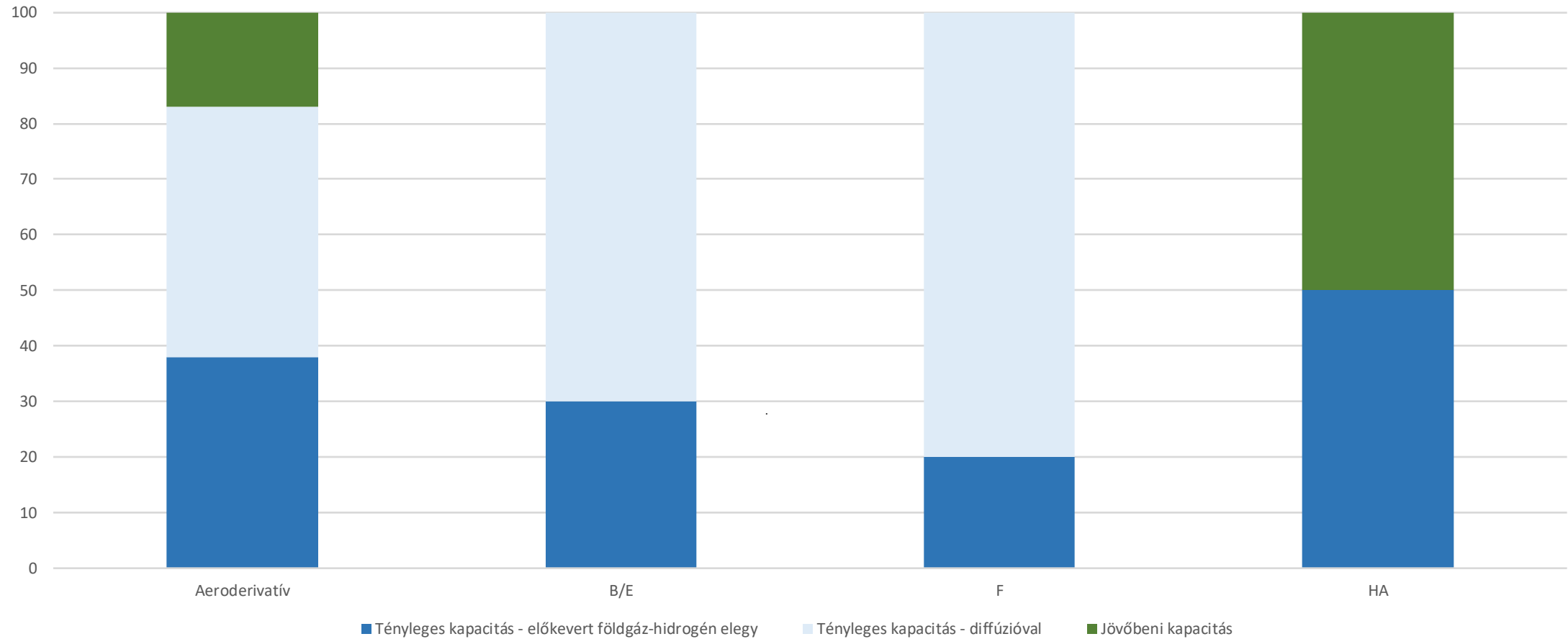
¹elérés: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900019.kor>

A HIDROGÉN HATÁSA A FÖLDGÁZKEVERÉK JELLEMZŐIRE WOBBE-SZÁM VIZSGÁLATA



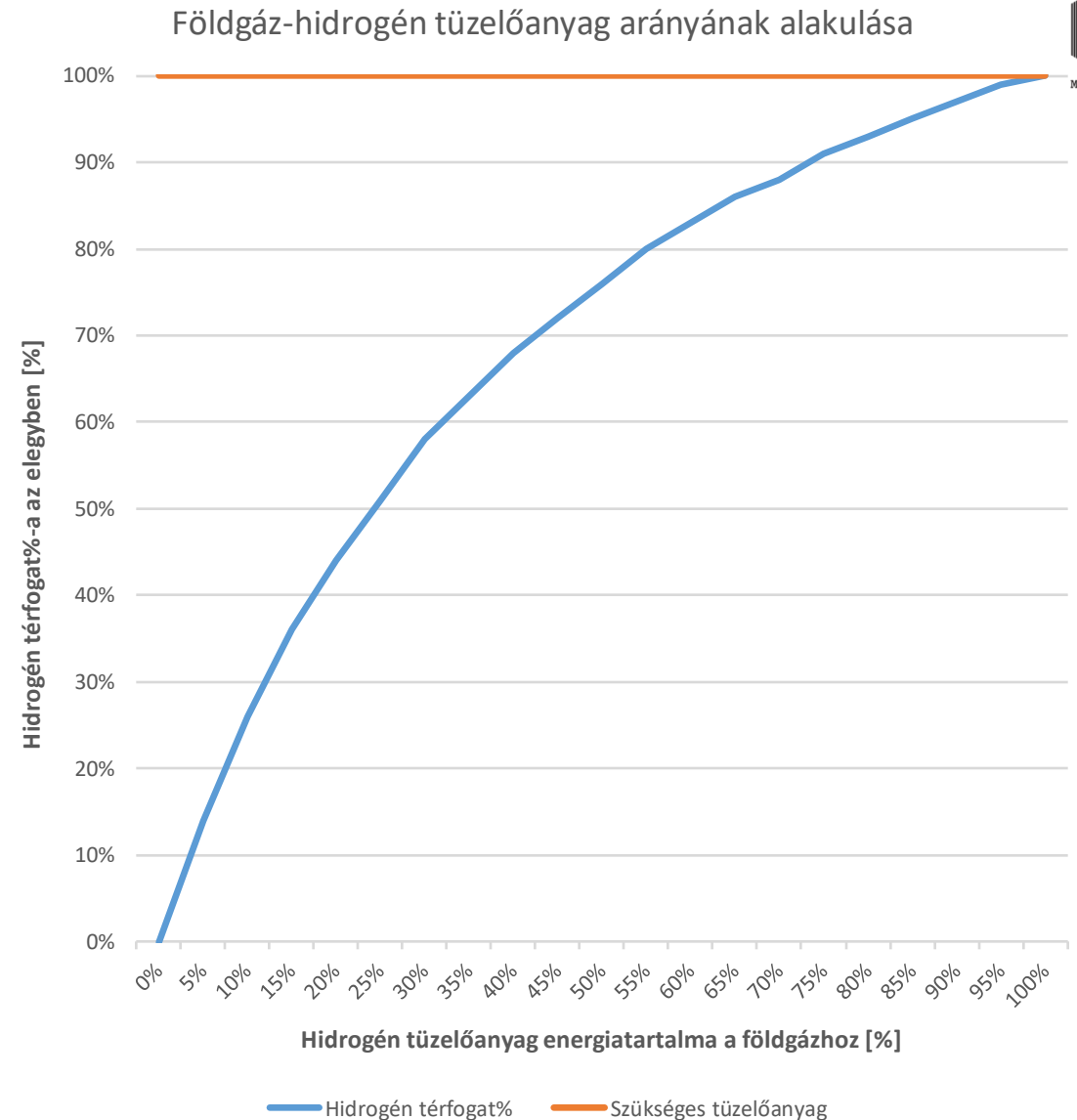
- A Wobbe-szám vizsgálata is meghatároz egy elméleti határt a H₂ tartalom vonatkozásában
- Az ábra a felső Wobbe-szám változását mutatja be a 2H minőségi földgázhoz kevert, egyre növekvő mennyiségű hidrogéntartalom mellett
- A **bordó színű vonallal** látható a GET VHR 11. számú mellékletében található 2H gázminőségére vonatkozó felső Wobbe-szám tartomány határértékek
- Ez 2H minőségű földgáz esetén 32,5 térf% hidrogéntartalom mellett éri el a felső Wobbe-szám tartományának alsó határértékét

GÁZTURBINÁK HIDROGÉN ÉGETÉSI KAPACITÁSA



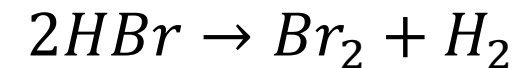
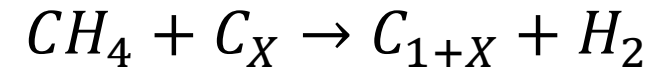
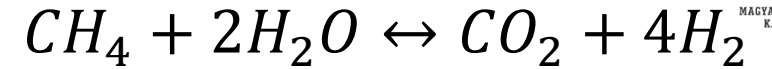
MENNYISÉGI KÉRDÉSEK

- Gyártóktól függően **5-10 térfogat%** hidrogén hozzákeverés a földgázhoz a gázturbinás egységek átalakítása nélkül lehetséges
- A földgáz tüzelőanyaghoz **10-30% térfogat%-nyi** hidrogén hozzákeverés, a főbb berendezések cseréje esetén valósítható meg

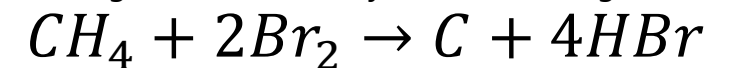


HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁSI LEHETŐSÉGEK

- **Gőz-metán átrendeződés**
 - Földgázt a tisztítása után a gázt túlhevített gőzzel együtt egy katalizátor felületén mentén engedik át
 - 850-900 °C hőmérséklet
- **Szén és olaj részleges oxidációja**
 - Még magasabb hőmérséklet, 1400 °C
 - Katalizátor nélkül is végezhető, de tiszta oxigén kell hozzá
- **Pirolízis**
 - Magas hőmérsékleten, oxigénmentes körülmények közötti bomlás
 - Nem jár nettó CO₂ kibocsátással, nem igényel tiszta oxigént, ill. a képződő aktív szén értékes melléktermék
- **Vegyipari melléktermékek**
 - Különböző vegyipari lépésekben jelentős mennyiségű hidrogén keletkezik, de sok esetben tisztítani kell a keletkező H₂-t
- **Vízelektrolízis**
 - Elektrokémiaailag stabil elektródát kell kifejleszteni a költségek csökkentése miatt
 - Ígéretes megoldás a hidrogén bromid használata (fele annyi villamos energia)
- **Biotechnológiai rendszerek**
 - Zöld növények és algák jó része a megkötött fényenergiát első lépésben vízbontásra használja fel
 - A vízből oxigéngáz, valamint kémiai energiát hordozó elektronok és protonok keletkeznek



A HBr regenerálás metán jelenlétében végezhető

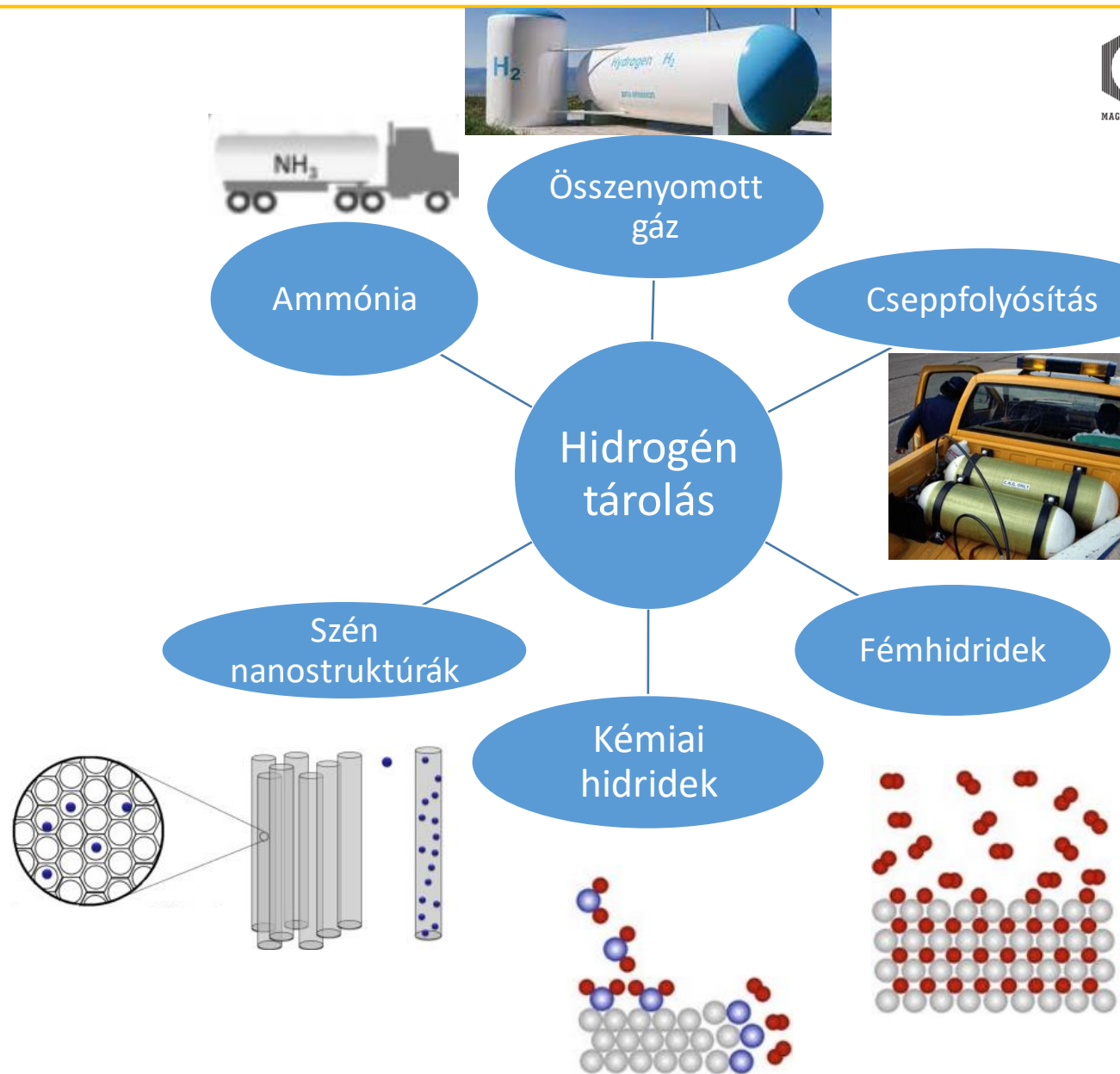


HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁS - TÉNYEK

- A hidrogén a természetben nagy mennyiségben áll rendelkezésre, így a különböző előállítási módok közül lehet válogatni
- A hidrogént centralizált, nagy termelőkapacitásokban és kisebb méretű, decentralizált rendszerekben is elő lehet állítani
- A hidrogén jelenlegi előállítási módjai közül a fosszilis energiahordozókból (főként metánból) történő előállítás terjedt el leginkább, ez jelenleg még a legolcsóbb módszer, viszont az így nyert hidrogén ára függ a fosszilis energiahordozók árától (fosszilis készletek jelentős része politikailag instabil országban van)
- A fosszilis alapú előállítási módok jelentős mértékben környezetterhelők, nagy CO₂-kibocsátással járnak
- Számos alternatív hidrogén-előállítási mód ismert jelenleg is, ezek jóval kisebb mértékben környezetterhelők, viszont a rendszer kiépítése költséges vagy a technológiák nem elég érettek
- A szélenergia felhasználásával történő elektrolízis jelenleg a leginkább ismert - külföldön, sőt már alkalmazott eljárás, középtávon elfogadható költségekkel, és az ehhez már a szükséges technológia is kereskedelmi forgalomban van
- A kevésbé ismert alternatív előállítási módok esetében pedig folyamatosan folynak a kutatások

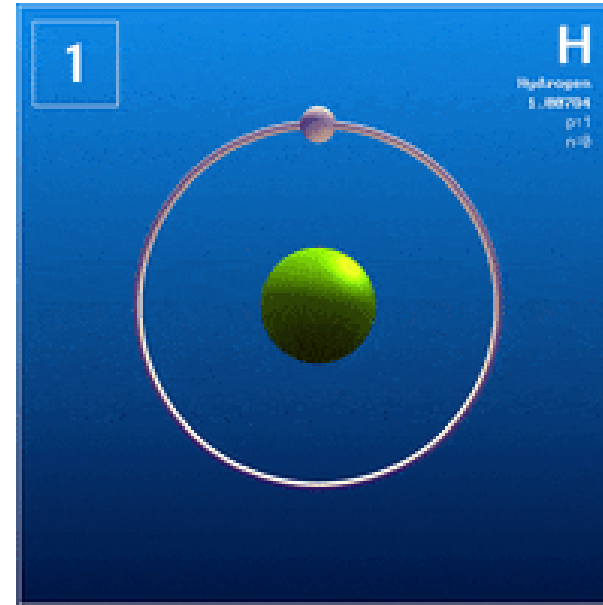
HIDROGÉN TÁROLÁS

- A hidrogén az egyik legkönnyebb gáz, tehát a térfogategységre vonatkoztatott energiataralma kicsi
- Ma ismert technológiák
 - **Összenyomott gáz**
 - **Cseppfolyósítás**
 - **Fémhidridek:** H_2 -t szelektíven tudják megkötni, speciális fémötvözetek a fém kristályrács „lyukaiba” kötik be a H_2 -molekulákat
 - **Kémiai hidridek:** A hidrogén kémiai reakcióba lép a fémekkel, így tárolódik, és víz jelenlétében hidrolízissel szabadul fel
 - **Szén nanostruktúrák:** Amorf szén kezelés hatására csövecskéket és lapocskákat képez. A rendezett szénatomok közé ékelődik be a hidrogén
 - **Ammóniává történő átalakítás:** NH_3 alacsony nyomáson cseppfolyósodik, jól tárolható



HIDROGÉN HASZNOSÍTÁS LEHETŐSÉGE AZ ERŐMŰVEKBEN: *MEGOLDÁS VAGY IDŐHÚZÁS?*





**KÖSZÖNÖM SZÉPEN
MEGTISZTELŐ FIGYELMÜKET!**

Molnár Szabolcs
szabolcsmo@gmail.com
+36 20 439 83 51