

ÉPÜLETEK, LÉTESÍTMÉNYEK KOMPLEX ENERGIAELLÁTÁSA HIDROGÉN TÜZELŐANYAG-CELLA TECHNOLÓGIÁVAL

**COMPLEX ENERGY SUPPLY FOR BUILDINGS, FACILITIES
BY HYDROGEN FUEL CELL TECHNOLOGY**

Dr. EMHŐ LÁSZLÓ

emho@mti.bme.hu

c. egyetemi docens, BME Mérnöktovábbképző Intézet
ügyvezető igazgató, EMTECH-S Kft.

**Hidrogéngazdaság: Lehetőségek és kihívások
Magyarország és az EU számára – Workshop**

Budapest, 2011. szeptember 29.

TARTALOM

- A) BEVEZETÉS
- B) ALAP MEGOLDÁSOK
RÉSZÖSSZEFOGLALÁSSAL
- C) KÜLÖNLEGES
RENDSZEREK,
TAPASZTALATOK
- D) ÖSSZEFOGLALÁS

CONTENT

- A) INTRODUCTION
- B) BASE SOLUTIONS
PARTIAL SUMMARY
- C) SPECIAL SYSTEMS,
EXPERIENCES
- D) SUMMARY

**MOTTO FROM THE INVITATION OF
DEVELOPING GRID STORAGE PROJECT
2011 CONFERENCE-NETWORK WITH
POTENTIAL BUISESS PARTNERS
(October 5-6, Sheraton Dallas Hotel, TX):**

„Driven by the proliferation of intermittent renewable energy sources such as wind and solar the onset of the smart grid and a shift to electric and plug-in vehicles, energy storage will play a large role in the electricity grid of the future. With annualized growth estimated to be over 25 % the combination of state and federal incentives and regulations, combined with energy business models, are driving exponential growth and attracting intense excitement.”

A) BEVEZETÉS/ÁTTEKINTÉS

Hagyományos energiaellátás

- fosszilis (Büki Gergely: „kimerülő”)
- megújuló (Oláh György: „4,5 milliárd évre, de tárolni kell!”)
- nukleáris (150 évre elegendő urán készlet!)

A LEGFONTOSABB SARKANTYÚK:

- A hagyományos jól tárolható fosszilis energiahordozó készletek kimerülőben vannak
- Az olcsó olaj és földgáz 35-45 éven belül elfogy
- Kína és India nemzeti összterméke 10 %-kal nő évente
- Ott is mindenki autóval kíván közlekedni, jogosan
- Kínában 4 naponta 1000 (!) MW új széntüzelésű erőmű teljesítmény lép be
- Következmény: Malthust meghaladó világvilágháború az energiaforrásokért
- **Hacsak ...**

Hacsak, többek között

- Energiahatékonysággal
- Megújuló és nukleáris energiákkal
- Köztük a – villamosenergia tárolását megoldó hidrogén technológiákkal
- Benne az üzemanyag/tüzelőanyag-cella felhasználással
- Nem vágunk elébe kitörésének
- *Ez mindnyájunk felelőssége!*

Történetükről, alapjaikról, fajtáikról nemzetközi hidrogén konferenciáinkon többször, és részletesen is foglalkoztunk már.

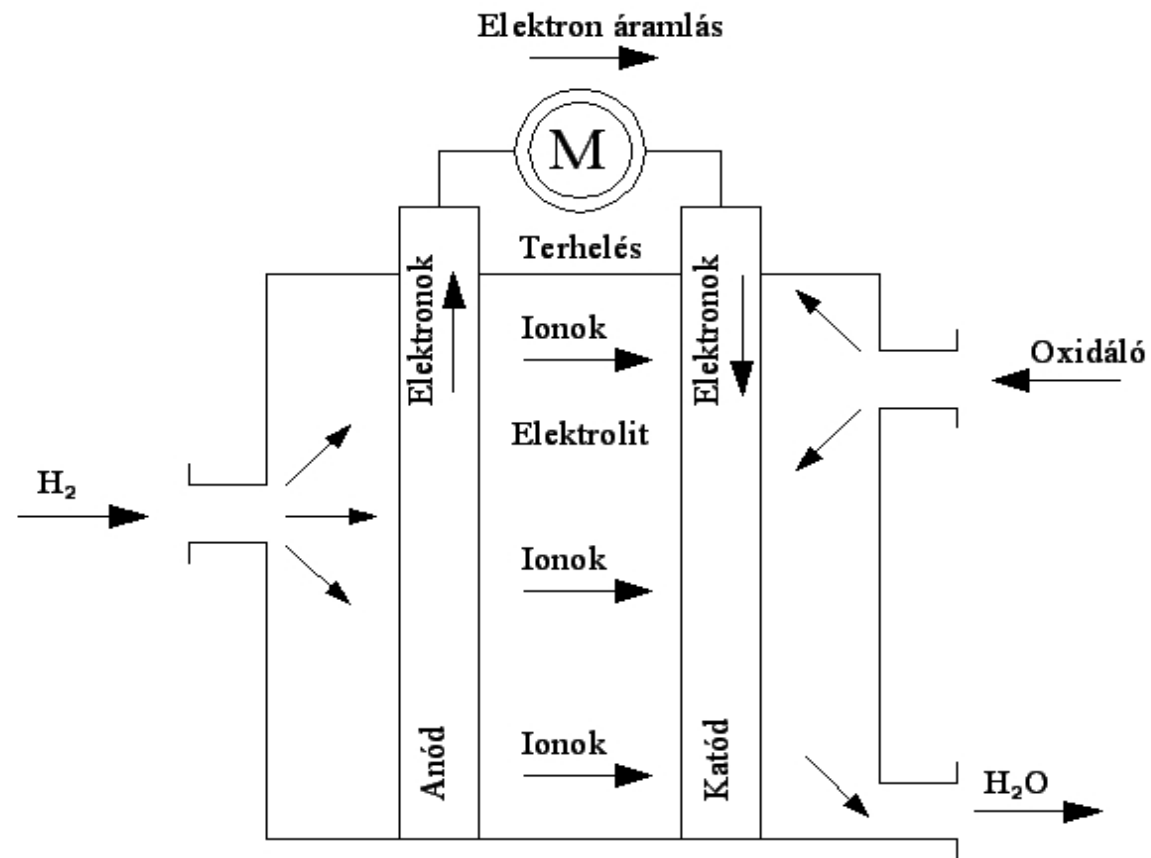
Most csak röviden:

- 16.század: Paracelsus: fémoldás savban
- 1766: Cavendish: „éghető levegő”
- 1781: Lavoisier: „a víz alkotója”
- 1838-39: Schönbein: Philosophical Magazine
- 1843: Grove gyakorlati kísérletek
- 1865: Verne Gyula: víz → hidrogén → fűtés
- 1880: Az olajbirodalom 100+ évre visszavág
- 1959: Bacon: első használható tüzelőanyag-cella, hegesztő berendezés
Ihrig: 15 kW-os traktor
- 1960-tól: Gemini, Apollo, Space Shuttle: 1; 2,3; 12 kW
- Ma: 2000 telepített rendszer, több mint 2500 járműben: vízben, talajon, levegőben és az űrben

ESZKÖZÜNK, A HIDROGÉN KIVONÁSA A MAI NAGYVILÁGBAN:

- Jelenleg: földgázból: 48 %
 olajból: 30 %
 szénből: 18 %
 vízbontással: 4 %
- Az első három kimerülő, a vegyiparban is jól használható szénhidrogén készleteinket pazarolja (*zabla*)
- A víz bőségben áll rendelkezésre, de hagyományos fosszilis energiaforrással előállított villamosenergia felhasználása háromszoros CO₂ kibocsátást és rendkívül alacsony hatásfokot jelent – a közvetlen megújulók felhasználásához képest (*sarkantyú*)

- Így energia-, és környezettudatos megoldásként maradnak a megújulók,
- Másodlagosan a kockázatosabb hagyományos nukleáris energia felhasználása
- Illetve később negyedik generációs nukleáris reaktorban a közvetlen hidrogén-kinyerés
- Ezért tekintjük kétszeresen: „előállításában” és felhasználásában is optimális, jövőbemutató, szinergikus megoldásnak a hidrogéntechnológiát és kiszolgálására a nukleáris energiát, illetve a megújulók igénybevételét.



1. ábra. PAFC üzemanyagcella működési vázlat

1. ábra: Üzemanyagcella működési vázlat

B) ALAP MEGOLDÁSOK

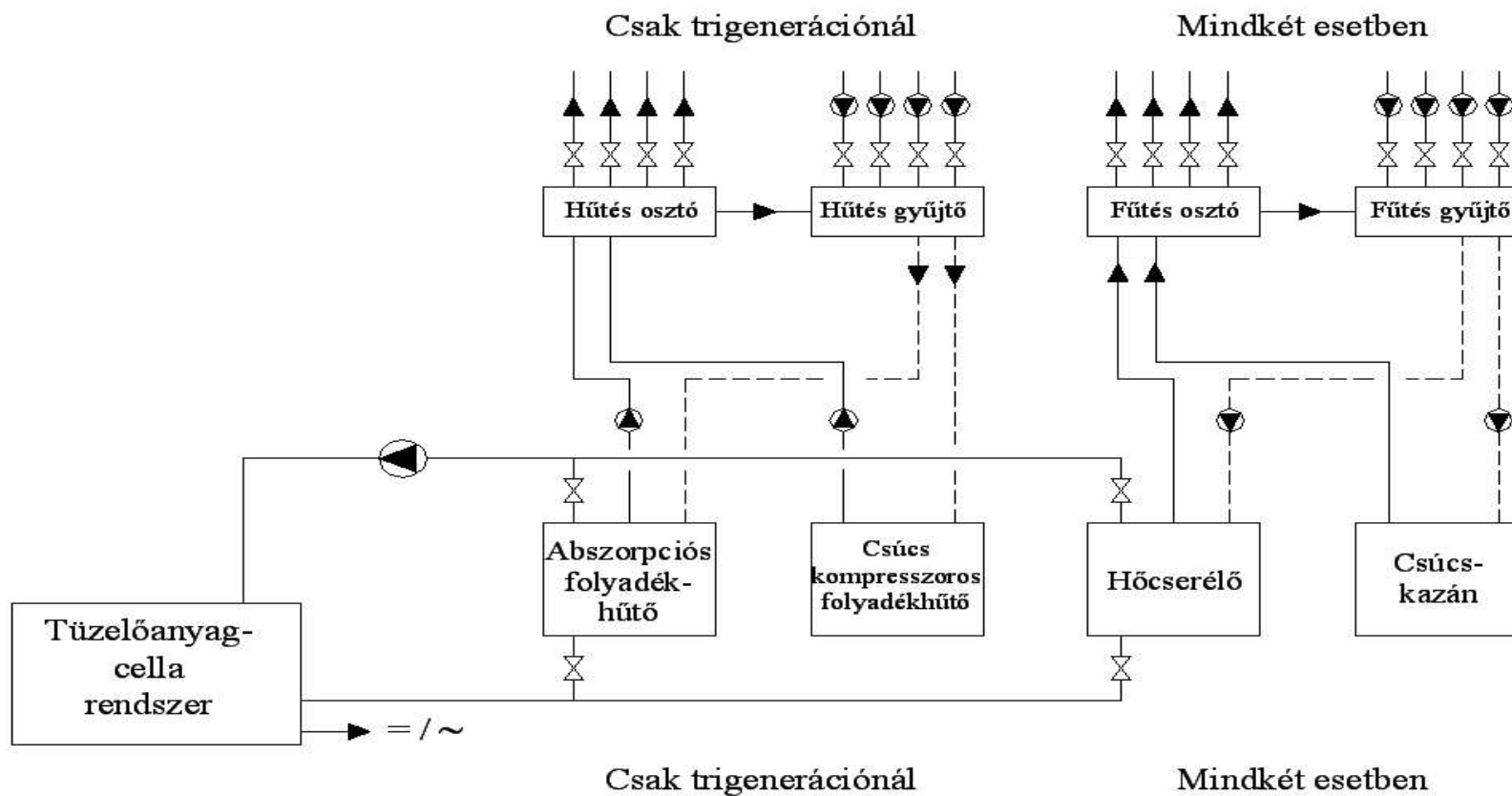
A HIDROGÉN ÉS TÜZELŐANYAG-CELLA

JÓL ISMERTEK:

- villamosenergia előállítás, tárolási, közvetlen felhasználási,
- közlekedési,
- és egyéb alkalmazásai

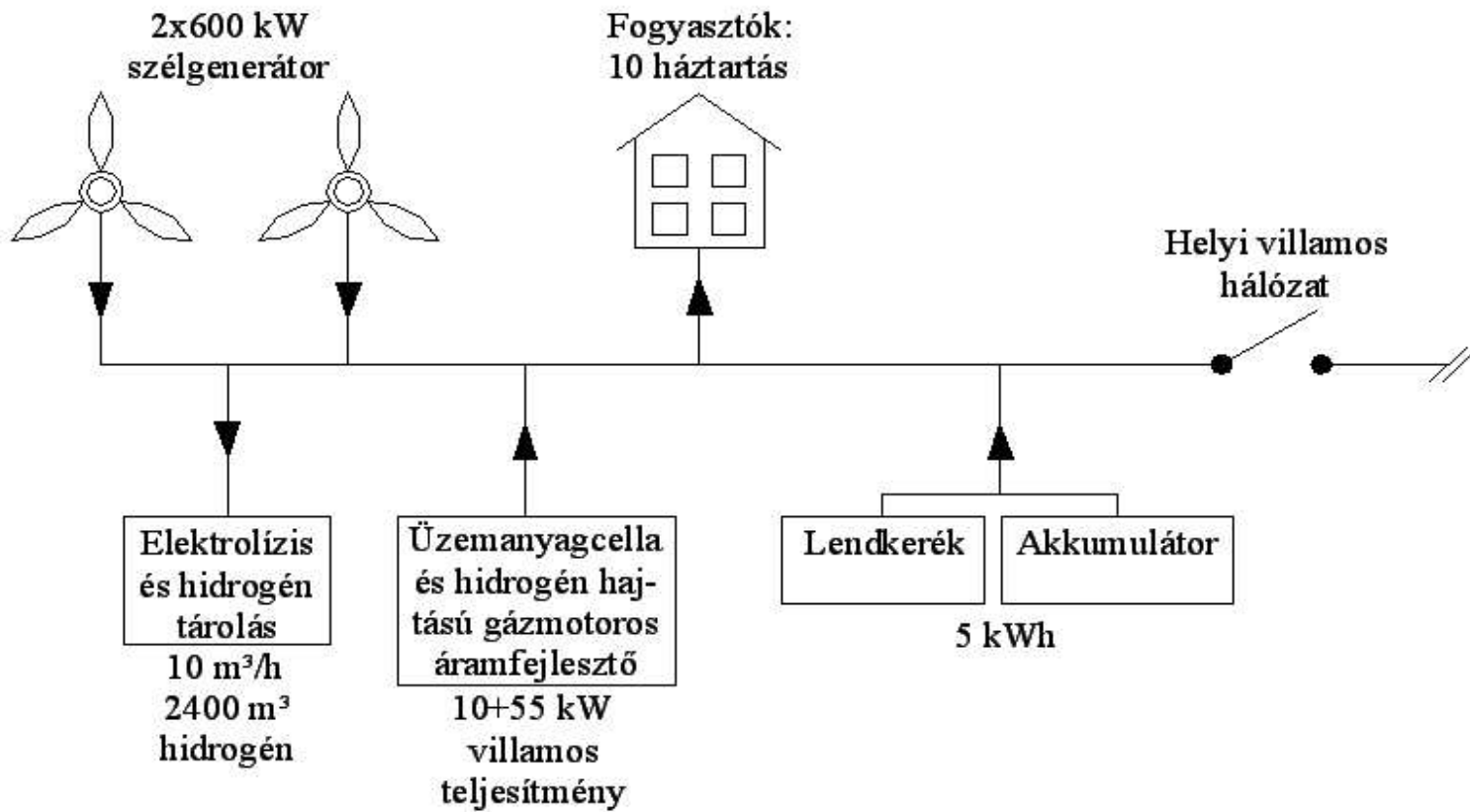
IGEN KEVÉSSÉ ISMERTEK:

- a vonatkozó épület energiaellátási megoldások, szempontok (pl. fűtés, hűtés, kogén, trigén, quadgen)
- nézzük meg ezek főbb lehetőségeit:



1. ábra. Tüzelőanyagrendszer kogen/trigen elrendezéshez, a disszipációs hő felhasználásával.

2. ábra: A felhasználási lehetőségek alap tárháza hő-, és villamosenergiára



2. ábra. Megújuló energia és hidrogéntechnológia együttműködése

3. ábra: Megújuló energia és hidrogéntechnológia teljes körű együttműködése villamosenergia-, és hő-, fogyasztók kiszolgálása (Utsira-sziget, Norvégia)

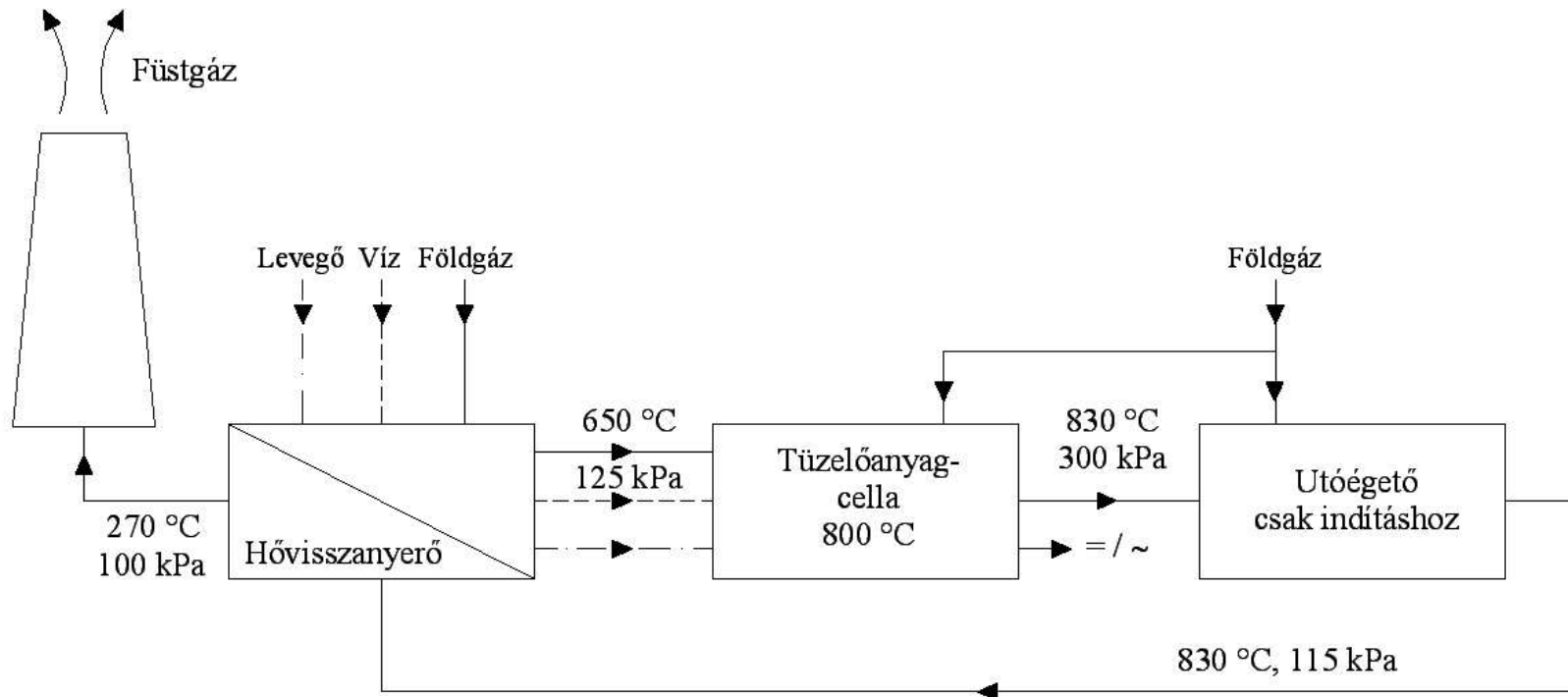
ILLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK ÁTTEKINTÉSE ÜZEMI HŐMÉRSÉKLET SZERINT:

A. POLIMER ELEKTROLIT MEMBRÁN tüzelőanyag-cella

- Anód katód: platina alapú szén részecskékkel
- Elektrolit: proton vezető polimer membrán
- Üzemi hőmérséklet 60-90°C – ez alacsonyabb, mint a többinél szokásos 200-1000°C
- Ez kevés kogen, illetve trigen alkalmazásokhoz, „beágyazott” sugárzó fűtésekhez viszont jól illeszthető!

B. SZILÁRD OXID TÜZELŐANYAG-CELLA

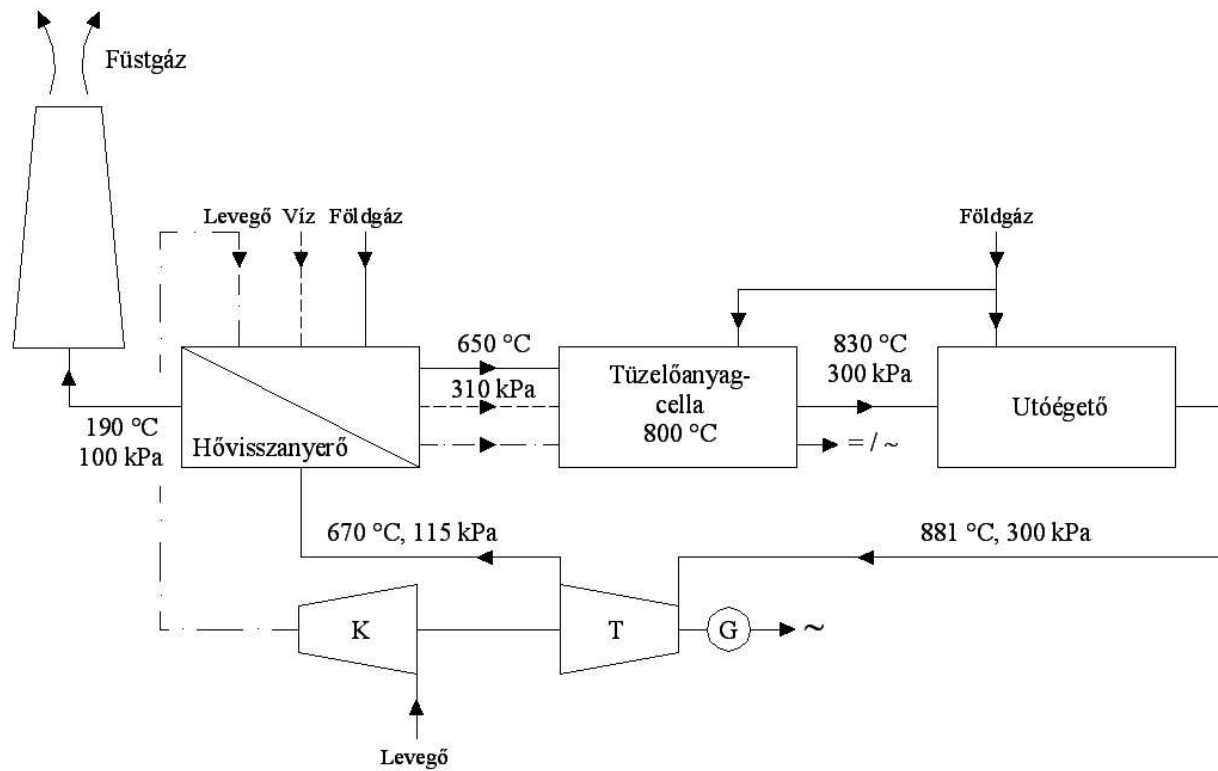
- Magasabb üzemi hőmérséklet: 750-1000°C
- Céljainkhoz kiválóan illeszkedik
- Esetleg 600°C alsó határ
- Kerámia oxid vezetők, oxid katódok, kerámia/fém („cermet”) anódok
- Szendvics-szerkezetű torony kivitel
- „Csöves-lap” formáció: robosztus, egyszerű tömítés
- „Sík-lap” formáció: tömör, nem anyag-igényes, az alacsony hőmérséklet miatt igénytelenebb, költséghatékonyabb anyagfelhasználás
- Kompresszoros, abszorpciós folyadékhűtőhöz, kogenerációhoz, trigenerációhoz optimálisan illeszthető!



Megjegyzés: utóégetés csak beindításnál és más különleges esetben szükséges és működik.

2. ábra. Egyszerű szilárd oxid tüzelőanyagcella rendszer

4. ábra: Egyszerű szilárd oxid tüzelőanyag-cella rendszer jellemző hőmérsékleti-, és nyomás-viszonyai



Megjegyzés: utóégetés folyamatosan szükséges a tüzelőanyagcellába belépő gázok 650 °C-on tartásához.

3. ábra. Hibrid szilárd oxid tüzelőanyagcella rendszer

**5. ábra: Hibrid szilárd oxid tüzelőanyag-cella rendszer
turbókompresszor kiegészítéssel, jellemző hőmérsékleti-, és nyomás-viszonyai**

C. FOSZFORSAVAS TÜZELŐANYAG-CELLA

- Az elektrolit foszforsav pl. szilikon karbid rácsban
- Max. 220°C-on üzemelnek
- Fűtési célra megfelelő
- Kevésbé érzékeny CO „mérgezésre” a PEM egységekhez képest
- Széleskörű alkalmazás: több, mint 300 rendszer világszerte, 100-200 kW teljesítmény-tartományban
- Legtöbb: Japán, USA
- 95+ % rendelkezésre állási gyakorlat
- Elsősorban radiátoros és sugárzó fűtéshez, kogenerációhoz, kisebb mértékben trigenerációhoz

D. OLVASZTOTT KARBONÁT TÜZELŐANYAG-CELLA

- 600-700°C üzemi hőmérséklet
- Olvasztott karbonát só kerámia kötőanyagban
- A földgáz itt magában a cellában reformálható (költségcsökkentés, egyszerű felépítés)
- „Érzéketlen” CO-ra, CO₂-re, ezért a jövőben széngázzal is üzemelhet – egy vagy kétlépcsős reformálással
- Kompresszoros, abszorpciós
folyadékűtőkhöz, kogenerációhoz,
trigenerációhoz illeszthető!

RÉSZ ÖSSZEFOGLALÁS: A FŐBB TÜZELŐANYAG-CELLA TÍPUSOK KOGENERÁCIÓHOZ, TRIGENERÁCIÓHOZ TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLHATÓSÁGÁRÓL

- Az alacsony hőmérsékletű polimer elektrolit membrán és közepes hőmérsékletű foszforsavas tüzelőanyag-cella elsősorban fűtési célra jön számításba, „beágyazott” sugárzó rendszereknél, a villamosenergia ellátáson túl (kogeneráció)
- A szilárd oxid, az és olvasztott karbonátos tüzelőanyag cellák 600-700-1000°C üzemi hőmérsékletükkel már nemcsak kompresszoros, hanem abszorpciós folyadékhűtő működtetését is lehetővé teszik, hőcserélőn keresztül, így ezek segítségével épületek fűtése, villamosenergia ellátása mellett azok hűtését, klimatizálását is komplex módon, gazdaságosan megoldhatjuk (trigeneráció)

- Ezzel az össz energiafogyasztásunk 35-40 %-át képviselő épületeink belső rendszereihez hozzáilleszthetjük megfelelő tüzelőanyag-cella párját
- Fokozatos széleskörű kiépítésükkel erőteljesen függetleníteni tudjuk magunkat a kimerülő olaj-, és földgáz készletektől, azok CO₂ és más káros gáz szennyező kibocsátásától
- Optimális megoldásként szél-, vagy napenergiával vízbontásból kinyert majd eltárolt hidrogén felhasználásával a szükségletek szerinti időben tudjuk kielégíteni épületeink villamos-, és hőenergia-igényét
- Hozzájárulhatunk a világ-világháború elkerülésének lehetőségéhez. (Malthus: An Essay on the Principle of Population (1798): Population is prevented from increasing beyond limits by the positive checks of war, famine and pestilence and by the influence of misery and vice.)

C) ÚJ KÜLÖNLEGES RENDSZEREK, TAPASZTALATOK

A legutóbbi időben ezek főbb szempontjait Yun Wang és társai (University of California, Irvine)* illetve Whitney Colella és társa (Sandia National Laboratories)** dolgozták fel.

* A Review of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: Technology, Applications, and Needs on Fundamental Research

** Reducing Building Energy Costs and Carbon Dioxide (CO₂) Emissions by Operating Stationary Co-Generative Fuel Cell Systems (FCS) with Novel Strategies

Wang szerint:

- A letelepített erőművi rendszerek eddig 1-50 MW teljesítménytartományban valósultak meg, nagy részük kapcsolt energiatermelésre (kogen)
- Távközlési, kereskedelmi épület és lakóház ellátására mintegy 15.500 db 1-10 kW-os rendszer épült ki, főleg Észak-Amerikában, Indiában, Japánban, nagyrésztük kapcsolt energiatermelésre
- Hazánkban a Magyar Telekom jár élen távközlési épületekben, míg a BÜKK-MAK LEADER MIKROVIRKA komplex falu energiaellátásban
- A gyártás 2/3-a az Egyesült Államokban valósult meg (Ballard, stb.)
- Az amerikai Energiaügyi Minisztérium élettartam elvárása 2011-re 40.000 óra volt, 2010-ben még csak 10.000 óránál tartottak
- A fajlagos ár 2009-re \$ 61/kW-ra csökkent, a 2010-es \$ 45/kW volt, 2015-re \$ 30 kW az elvárt

Collela alapgondolatai szerint:

- Az Egyesült Államok energiateljesítményének 20 %-át (21 EJ) elveszti az erőművi előállítás, a szállítás és a végfelhasználás során
- A hűtési-fűtési igény sokszor átfedi egymást, így ko-, és trigenerációs rendszerekkel hatékonyabban kielégíthetőek
- Ha ezt reformerben fosszilis földgázból, propánból, vagy megújulónak tekintett biogázból történő hidrogén előállítással is kiegészítjük (ezt nevezzük quadgenerációnak az előbbiektől mintájára, Emhő L.), akkor a ma széles körben használt módszerek, infrastruktúra ellátottság egyik legoptimálisabb összetételű rendszerét kapjuk meg
- Kezdve azon, hogy itt nem kell távolról szállítani a helyszínre a H₂-t, ahhoz nem kell külön infrastruktúrát kiépíteni, működtetni (meglévő földgáz infrastruktúra, helyi biogáz előállítás rendelkezésre áll, vagy kedvező körülmények között létesíthető, vagy az utóbbit kedvező körülmények között létre lehet hozni.)

SZINERGIÁK:

- A hidrogén tüzelőanyag-cella 19 %-kal kevesebb energiát használ fel villamosenergia termeléshez a kapcsolt rendszerben, mivel a keletkező hőt a folyamaton belül hasznosítani tudjuk és kisebb kiegészítő terhelés fog előállni
- Ugyanez a megtakarítás H_2 termelésnél 16 %, a gőzüzemű metán reformerhez képest, mivel ez utóbbinál többlet-hőt kell bevezetnünk. Az átlagos tüzelőanyag megtakarítás ~ 17 %
- A H_2 reformáláshoz 600°C hőmérséklet szükséges, az abszorpciós hűtéshez, fűtéshez és villamosenergia előállításához $100\text{-}300^\circ\text{C}$ hőmérsékletű közeget tudunk gazdaságosan felhasználni, így reformert elhagyó fűtőközeg az utóbbiakat optimálisan el tudja látni

A programban vizsgált esetek az alábbiak voltak:

- CHP: kapcsolt hő- és villamosenergia termelés
 - CHHP: kapcsolt hő-, villamosenergia és hidrogén termelés
 - CCHP: kapcsolt hő-, hűtés és villamosenergia
 - CCHHP: kapcsolt hő-, hűtés-, tüzelőanyagcellás-, villamosenergia-, és hidrogén termelés
- A vizsgálatokhoz a Stanford Egyetem 20 legnagyobb épületét vették figyelembe

- Az egyes rendszereken belül
 - hő- villamos- és hűtési együttműködést
 - változtatható hő-villamosenergia arányt
 - változtatható hő-hidrogén arányt
 - állítható hűtés-hő arányt
 - villamos, hidrogén hűtés vagy fűtés követést vettek figyelembe
- A modellekkel optimalizálták az előző dián jelzett esetek beépítési %-át, vagy ezek kombinációját,
 - minimális CO₂ kibocsátás,
 - maximális kapcsolt energia megtakarítás
 - vagy legalább minimális légszennyezést csökkentő egészségügyi hatás elérésére

- Nagy rendszereknél 10 éves idő intervallumra, élelciklusra számítva C_{CH}HP FCs esetén a nagyobb rendszer a gazdaságosabb, költségoptimalizálás esetén viszont emelkedhet a CO₂ kibocsátás
- CO₂ kibocsátásra optimalizálás esetén az alapesethez képest 41 % CO₂ elkerülés adódik
- Mindegyik stratégia jelentős levegőtisztasági javulást hoz, az un. „egészségfenntartási-költség” csökkenésével.

- Vizsgálat tárgya volt a kompresszoros vagy abszorpciós folyadékűtők használatának kihatása is a quadgenerációs rendszerekben, ezek szerint:
 - mind az abszorpciós, mind a kompresszoros folyadékűtőknél változik a hatásfok a tüzelőanyag-mennyiség függvényében, de a kompresszorosból több hőt nyerhetünk vissza a kondenzációs oldalon

- ez a fűtéshez jól felhasználható
- abszorpciós folyadékűtővel
 - a.) több villamos- és hűtőenergiát kapunk, mivel a villamosenergiát nem csökkenti a kompresszor fogyasztása
 - b.) magasabb villamos- és hűtési hatásfokot kapunk
 - c.) kevesebb hőenergiát kapunk
- a villamos-hajtású folyadékűtőnek magasabb összhatásfoka van

Táblázatban:

quadgeneráció tüzelőanyag cellával	magasabb villamos hatásfok	magasabb hűtési hatásfok	magasabb hővisszanyerési hatásfok	magasabb összeszerű hatásfok
abszorpciós folyadékűtővel	✓	✓		
villamos kompresszoros folyadékűtővel			✓	✓

- **Hatásfok összehasonlítás:**
 - Quadgenerációs tüzelőanyagcellával, abszorpciós folyadékűtővel: közelíti a 100 %-ot
 - Ugyanez villamos kompresszoros folyadékűtővel: 125-145 %
 - Mindkét körfolyamat korlátai miatt adott alkalmazásnál bármelyik választható lehet!
 - A fenti vizsgálat-sorozat a mai, még fosszilis domináciájú korra vonatkozik! Ennek utolsó, kimerülő szakaszában járunk!

Hagyományos és hidrogén/tüzelőanyag cellás energia-termelés/átalakítás összehasonlítása CO₂ kibocsátás szempontjából, 2 MWh villamosenergia + 1 MWh hőenergia termeléssel:

	Rendszer	Rendszer	CO ₂ kibocsátás kg
1.	Hagyományos	Széntüzelésű erőmű gázturbinával, szenes kiegészítő kazánnal	2130 kg ↓
2.	Átlagos	Átlagos amerikai erőmű, 72 % hatásfokú kiegészítő kazánnal	1479 kg ↓
3.	Fejlett	Kogenerációs kombinált ciklusú gázturbinás, 92 % hatásfokú kiegészítő kazánnal	824 kg ↓
4.	Tüzelőanyag-cellás	Kogenerációs, pl. olvasztott karbonátos tüzelőanyag-cellás	746 kg ↓
5.	Tüzelőanyag-cellás, megújuló alapú H ₂ előállítás/leválasztás	Kogenerációs, pl. olvasztott karbonátos tüzelőanyag-cellás	0 kg (!)

D) ÖSSZEFOGLALÁS

Épületek és létesítmények komplex energiaellátására világszerte évtizedek óta, hazánkban mintegy másfél évtizede létesülnek ko-, és trigenerációs rendszerek. Ezek kiegészítése helyi, meglévő vagy új, föld-, vagy biogázellátásra épülő hidrogéntermeléssel (quadgeneráció) tovább növeli hatékonyságukat, teljesítőképességüket, sokoldalúságukat, és lehetővé teszi épületek energiatároló rendszereként való üzemelésüket.

A H_2 előállítás itt jelenleg még szénhidrogén alapon is történhet, de a jövő egyik legígéretesebb, optimálisabb megoldása a megújuló alapú vízbontásos rendszer, elvezetve a világot a káros szén (szénhidrogén, azaz CO_2 kibocsátással és globális felmelegedéssel terhelt) alapú gazdaságból, társadalomból a tiszta víz (hidrogén) alapú gazdaságba, társadalomba – Ken-ichiro OTA valóban „Szép Új Világába”!

D) SUMMARY

Co-, and trigeneration systems were built all over the world in several decades, while in Hungary and during the last one and a half decades for complex energy supply of buildings and facilities. Adding existing or new natural-, or bio-gas based local hydrogen production to these systems (quadgeneration), one can improve their efficiency, capacity, versatility, making possible to operate as energy storage systems of buildings.

Hydrogen production can happen here nowadays on hydrocarbon base, but one of the most promising and optimal solution of the future is water electrolysis, leading the world from the harmful carbon (hydrocarbon, with CO₂ emission and global warming overloaded) economy, society, to the pure water (hydrogen, – the really „Nice New World” of Ken-ichiro OTA) economy, society!

Köszönöm a figyelmet!

Thanks for your attention!

