

**TERVEZET!**



**Hidrogén és Tüzelőanyag-cella  
Nemzeti Technológiai Platform**

# **STRATÉGIAI KUTATÁSI TERV**

**2.0 verzió**

**A tanulmány a  
Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal  
támogatásával készült**

**Projekt azonosító: JÁP-B3-2006-0016**

**2010. április**



Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Nemzeti Technológiai Platform  
STRATÉGIAI KUTATÁSI TERV

**Szerkesztő, kutatási koordinátor:**

**Mészáros Géza**

**Tudományos koordinátor:**

**Prof. Dr. Jászay Tamás**

**Szerzőként közreműködtek:**

**Antal Dániel**

**Balogh Ernő**

**Dr. Bogányi György**

**Dr. Erdőhelyi András, egyetemi tanár**

**Felsmann Balázs**

**Dr. Göbölös Sándor PhD**

**Hirth Ferenc**

**Dr. Horváth Zsolt E., PhD**

**Dr. Kovács Antal Ferenc PhD**

**Dr. Kovács Kornél, egyetemi tanár**

**Dr. Kulcsár Sándor. PhD**

**Dr. Margitfalvi József, MTA doktora**

**Mayer Zoltán**

**Dr. Révész Ádám, PhD**

**Tófalvy Zsolt**

**Dr. Tompos András, PhD**



## Tartalomjegyzék

1	Bevezetés .....	5
2	Hidrogénalkalmazások.....	8
2.1	A hidrogénalkalmazások jelene .....	8
2.2	A tüzelőanyag-cellák általános ismertetése .....	8
2.3	Tüzelőanyag-cellák alkalmazási területei .....	9
2.3.1	Telepített alkalmazások .....	10
2.3.2	Közlekedési alkalmazások.....	11
2.3.3	Hordozható alkalmazások .....	12
2.4	Hazai tapasztalatok .....	13
2.4.1	Hidrogén használata tároló erőműben – hatásvizsgálat .....	13
2.4.2	Közlekedési célú alkalmazások .....	13
2.4.3	Telekommunikációs célú alkalmazások .....	13
2.5	A jövőképet befolyásoló kihívások.....	14
2.6	Javasolt stratégiai kutatási témák 2020-ig .....	14
2.7	Kutatási és fejlesztési feladatok a hidrogéngazdaság egyéb területeire. ....	17
3	Szocio-ökonomiai megközelítés és a stratégia megvalósulásának feltételrendszere.....	18
3.1	A hidrogéngazdaság kialakulását meghatározó szocio-ökonomiai tényezők azonosítása, jelenlegi helyzetük és kapcsolatrendszerük bemutatása .....	18
3.2	A gazdasági és társadalmi hatótényezők azonosítása .....	19
3.3	A hosszú távú jövőkép jellemzői (2009-2050) .....	20
3.4	A középtávú kutatási feladatok (2009-2020) .....	20
3.4.1	Gazdasági és társadalmi kutatási feladatok .....	20
3.4.2	Szakmapolitikai kutatási feladatok .....	21
3.4.3	Szabályozáspolitikai feladatok .....	23
4	A hidrogéngazdaság jövőjét befolyásoló hatótényezők azonosítása .....	24
4.1	Általános szempontok.....	24
4.1.1	A hidrogéngazdaság kialakulása .....	24
4.1.2	Politikai tényezők .....	24
4.1.3	Törvények és szabványok.....	24
4.1.4	Társadalmi hatások.....	24
4.1.5	Hidrogén és a biztonság.....	25
4.1.6	Ipari háttér .....	25
4.1.7	Gazdasági megfontolások.....	26
4.1.8	Kutatás-fejlesztés.....	27
4.2	A hidrogéntermelés jövőképét befolyásoló hatótényezők, jövőképi jellemzők .....	27
4.2.1	Alapanyag ellátás .....	27
4.2.2	Ipari háttér .....	28
4.3	A különböző hidrogén előállítási technológiákhoz kapcsolódó közép- és hosszú távú stratégiai kutatási feladatok .....	28
4.4	Hidrogén tárolás és szállítás jövőképét befolyásoló hatótényezők, jövőképi jellemzők.....	29
4.4.1	Általános megfontolások .....	29
4.4.2	Jövőkép Magyarországon .....	30
4.5	A tüzelőanyag-cella gyártásának jövőképét befolyásoló hatótényezők .....	31
4.5.1	A tüzelőanyag-cellás alkalmazások elterjedésének mértéke .....	31



4.5.2	A tüzelőanyag rendelkezésre állása .....	31
4.5.3	A tüzelőanyag minőségének kérdése.....	31
4.5.4	Tudományos-műszaki áttörések .....	31
4.6	Tüzelőanyag-cellák közép- és hosszú távú stratégiai kutatási feladatai.....	31
4.6.1	A PEMFC-k kutatási feladatai.....	31
4.6.2	DMFC-k és DEFC-k kutatási feladatai.....	32
4.6.3	MCFC-k kutatási feladatai .....	32
4.6.4	Kutatási feladatok minden technológia számára .....	32
5	A stratégiai kutatási feladatok horizontális áttekintése.....	33
5.1	Bevezetés .....	33
5.2	Tüzelőanyag-termelés .....	33
5.2.1	Hidrogéntermelés .....	34
5.2.2	Etanol- és metanoltermelés.....	35
5.3	Tüzelőanyag-tárolás és szállítás.....	35
5.3.1	Hidrogéntárolás és szállítás .....	35
5.3.2	Etanol- és metanol tárolás és szállítás .....	35
5.4	Tüzelőanyag-cellák .....	36
5.5	Értéklánc-képzések .....	37
5.6	Alkalmazás-orientált értékláncok .....	39
5.6.1	PEMFC-re épülő értékláncok .....	39
5.6.2	DMFC-re épülő értékláncok.....	40
5.6.3	DEFC-re épülő értékláncok .....	40
5.6.4	MCFC-re épülő értékláncok .....	41
5.7	„Iskolateremtő” demonstrációs-projekt javaslatok .....	41
5.7.1	Közlekedési alkalmazások.....	41
5.7.2	Hordozható és fix telepítésű tartalékforrások .....	42
5.7.3	Mikro-kogenerációs rendszerek .....	42
5.7.4	Kogenerációs rendszerek.....	43
5.8	Összefoglalás .....	43

Annex - I.

Annex - II.



## 1 Bevezetés

A világ meghatározó gazdaságaiban a hidrogén tüzelő- és/vagy üzemanyagként való felhasználását az egyik legígéretesebb lehetőségnek tekintik az energiapiac és a környezetvédelem problémáinak hosszú távú megoldásában. A hidrogén másodlagos energiahordozó, amely szinte bármilyen elsődleges energiaforrásból előállítható. Hozzájárulhat a közlekedési üzemanyagok forrásainak diverzifikálásához, hosszú távon lehetőséget nyújt a kizárólag megújuló energiaforrásokból történő előállításra és megteremti a biomasszán kívül más megújuló energiaforrások üzemanyag-piacra történő belépését is.

A Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Nemzeti Technológiai Platform által készített Stratégiai Kutatási Terv (SKT) egy lehetséges utat jelöl ki a magyar gazdaság számára a hidrogén energetikában rejlő lehetőségek jövőbeni kiaknázására, elsősorban a nemzetközi fejlesztési és piaci irányokhoz illeszkedve.

A hidrogénenergetika a hidrogén és tüzelőanyag-cella technológiák összességét jelenti a hidrogén előállítását, szállítását, tárolását és felhasználását magában foglaló teljes értéklánc mentén. A témakör áttekintéséhez szükséges a nemzetközi szakirodalomban használt néhány alapvető fogalom meghatározása.

A **hidrogéngazdaság** az energetika és a közlekedés hidrogén alapú rendszerek irányába történő határozott orientációját jelenti, amelyben a gazdaság fogyasztási és szállítási szükségleteinek kielégítéséhez és a társadalom számára hasznos új alkalmazásokban a felhasznált energiát jelentős részben a hidrogén fogja szolgáltatni. Az EU, az Amerikai Egyesült Államok, Japán és számos más fejlett ország is a 2000-es évek elejétől már jelentős, a hidrogéngazdaságot célzó programokat indított. Az elmúlt hat évben megvalósult műszaki, gazdaságossági és társadalmi kutatások a „hidrogéngazdaság” fogalmát pontosították és árnyalták. Várhatóan a hidrogén mint energiatároló közeg és tüzelőanyag mellett egyre nagyobb szerepet fognak kapni azok a tüzelő-anyagcellák is, amelyek tüzelőanyaga a hidrogén mellett más anyag is lehet, például metanol vagy etanol.

A **hidrogéninfrastruktúra** alatt az OECD mellett működő Nemzetközi Energiaügynökség definíciója szerint azokat a fizikai, pénzügyi, és tudásban megtestesülő eszközöket értjük, amelyek ahhoz szükségesek, hogy a hidrogénenergetikai szolgáltatások eljussanak a termelőktől a felhasználókig. A hidrogéngazdaság legfontosabb infrastrukturális beruházásai a hidrogén termeléséhez, szállításához, tárolásához és biztonságos felhasználásához, valamint a felhasznált berendezések és segédanyagok környezetkímélő visszagyűjtéséhez kapcsolódnak. A lenti ábra a hidrogéninfrastruktúra, illetve az ahhoz kapcsolódó technológiák fejlődési irányait mutatja be.



	Jelen	Rövid táv	Középtáv	Hosszútáv
<b>Közpolitikai keret/ HTC technológia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A hidrogén mint vegyipari hulladék hasznosítása</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Szervezett részvétel az EU K+F programjaiban</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Az energia-, közlekedés és környezetpolitika gazdagítása</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A magyar jármű- és gyártóipar magas hozzáadottértékű marad</li> </ul>
<b>Termelés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Támogatás-, adó- és közbeszerzési politika</li> <li>Földgáz reformálás</li> <li>Parciális oxidáció</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biomassza és szén elgázosítása</li> <li>Elektrolízis megújuló és nukleáris energiával</li> <li>Decentralizált bio-üzemanyag reformálás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Olcsóbb, hatékonyabb energiarendszer</li> <li>CO2 megkötési technológiák</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tisztább levegő, kevés zaj</li> <li>Fotovoltaikus vízbontás és katalitikus fotolízis</li> <li>Biológiai hidrogén előállítás</li> <li>Termokémiai vízbontás nukleáris energiával</li> <li>Decentralizált földgáz reformálás</li> </ul>
<b>Szállítás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nagyméretű palackokban komprimálva</li> <li>Tartálykocsikban cseppfolyós állapotban</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decentralizált helyszíni termelés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Új szállítási módok (?)</li> <li>Csővezetékes szállítás → Csővezetékes elosztás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Töltőállomások</li> </ul>
<b>Tárolás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nyomás alatti tárolás</li> <li>Cseppfolyós hidrogéntárolás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Szilárdfázisú hidrogéntárolás (hidridek)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kémiai hidrogén tárolás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fejlett szilárdfázisú vagy kémiai tárolás</li> </ul>
<b>Átalakítás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Égetés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tüzelőanyag-cella</li> <li>Emisszió szegény égetés technikák</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tömegtermelésre alkalmas, érett technológiák</li> </ul>	
<b>Alkalmazások</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Üzemanyag finomítás</li> <li>Hordozható eszközök</li> <li>Helyhez kötött eszközök és flották</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decentralizált energia ellátás</li> <li>Busz- és taxi flották</li> <li>Járműparkok</li> <li>Hadiipar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kereskedelmi flották</li> <li>Lokális kobinált ciklusú energia ellátás</li> <li>Személygépjárművek piacra vezetése</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Közmű rendszerek (tömegközlekedés, energia)</li> <li>Hidrogén integrálása erőművi rendszerekbe</li> </ul>

A hidrogéntechnológiák fejlődése és Magyarország bekapcsolódása az értékláncba

A hidrogénenergetika a kutatási eredmények alapján várhatóan először a járműgyártást és az energetikai gépipart alakítja át gyökeresen. Különösen a tömegközlekedés területén a 2010-es évek elejétől kezdve már megfigyelhető a hidrogén és tüzelőanyag-cella meghajtású járművek demonstrációs célú bemutatkozása, de az évtized második felétől várhatóan már a személygépkocsik piacán is erősödő jelenlétet prognosztizálunk. Ezzel párhuzamosan a közeljövőben várható a hidrogén és tüzelőanyag-cellák speciális piacokon történő tömeges megjelenése, mint a tartalék energiaforrások, vagy mobil energiaellátó rendszerek. A szakirodalom a 2030-as évekre jelzi a hidrogénenergetika és a hidrogéngazdaság látható és érdemleges nemzetközi térnyerését.

Magyarországon léteznek hidrogén technológiákhoz kapcsolódó alap kutatások, technológiai fejlesztések, mégis e technológiák piaci megjelenése hozzávetőleg egy évtizedes lemaradást mutat a fejlett ipari országokhoz képest, beleértve Csehországot is. A közép-európai országok közül egyedül hazánk nem vesz részt az FCH Közös Vállalkozás Ipari, Kutatási és Tagállami Képviselők Csoportjában.

Ha Magyarország aktív szereplőként kíván részt venni a hidrogén energetika terjedésében és a hidrogén gazdaság kialakításában, akkor alapvetően három kérdésben kell döntést hozni: (1) a hazai kutató-fejlesztő kapacitásokat mely technológiai fejlesztési területekre kell koncentrálni; (2) mely lehetséges hidrogénenergetikai piacok fejlődését kell elősegíteni és (3) milyen forrásokat lehet a hazai kutatásfejlesztésre és piacépítésre fordítani. Az SKT elemzéseivel, megállapításaival és javaslataival ezekhez a döntésekhez szolgálhat támpontként a szakpolitika részére.

A Stratégiai Kutatási Terv 2. fejezete a hidrogéntechnológiák alkalmazásainak témakörét írja le. Bemutatja a legfontosabb felhasználási területeket és a tüzelőanyag-cellák fő típusait. Ezt követően röviden bemutatja a hazai tapasztalatokat. Tárgyalja a hidrogén alkalmazások



jövőképét befolyásoló tényezőket és stratégiai kutatási tervre tesz javaslatot egy évtizedes időtávra.

A 3. fejezet a hidrogéngazdaság kialakulásának szocio-ökonómiai kérdéseivel foglalkozik. Az európai kutatások tükrében elemzi az új technológiai kör fogadásának magyarországi társadalmi- és gazdasági környezetét, továbbá feladatokat jelöl ki a jelenleg létező akadályok leküzdésére.

A 4. fejezet a hidrogénenergetika és gazdaság jövőképét befolyásoló hatótényezők azonosításával foglalkozik, mint az általános energiapolitika, az ellátásbiztonság és a környezeti, fenntarthatósági kérdések. Ezt követően a hidrogénteknológiákhoz, különösen az előállítás, tárolás és a tüzelőanyag-cellákhoz kapcsolódó kutatás-fejlesztés területeit írja le, továbbá bemutatja, hogy a kutatás-fejlesztés eredményei milyen hatással lehetnek a hidrogénenergetika jövőbeni fejlődésére.

Az 5. fejezet a stratégiai kutatási feladatok horizontális áttekintése. Összefoglalja az értéklánc alapú fejlesztési lehetőségeket, elemzi a tüzelőanyagok és a különböző típusú tüzelőanyag-cellák kapcsolatát. Alkalmazás orientált értékláncok szakmai összefoglalását adja meg, továbbá „iskolateremtő” demonstrációs projektek megvalósítására tesz javaslatot.

A Platform tevékenysége további nemzeti platformok munkáját is befolyásolja, azokkal szervesen összefügg, hiszen az ott megfogalmazott stratégiai kutatási feladatok az általunk bemutatott teljes értékláncok belső szakmai tartalmával harmonizál.

#### **Integrált Mikro/Nanorendszerek Nemzeti Technológiai Platform:**

- Hidrogén megkötése nano-strukturált anyagokon (aktívszén, szén nanocsövek fémhidridek, kémiai hidridek)
- Nanoszerkezetű elektrokatalizátorok PEMFC, DMFC és DMFC típusú fűtőanyag cellákhoz.
- Nanoszerkezetű heterogén katalizátorok hidrogén előállítására és tisztítására.
- Nanoszerkezetű anyagok vizsgálata nagyfelbontású elektron mikroszkópiával.
- Katalizátorok víz fotokatalitikus bontásához.

#### **Biotechnológiai Platform:**

Fehér biotechnológiai ágazat: megújuló energia termelés biotechnológiai módszerekkel.

#### **Genomikai Platform:**

Energiatermelő mikroorganizmusok genetikai módosítása.

#### **ENTRAC Hungary Nemzeti Közúti Közlekedési Platform:**

Tüzelőanyag-cellák alkalmazása a közlekedésben

#### **Magyar Építésügyi Technológiai Platform:**

Tüzelőanyag-cellás kogenerációs berendezések alkalmazása

Az Annex-I. a hidrogéngazdaság alapjainak általános ismertetésével foglalkozik, amelynek tartalma a fő fejezetek értelmezését segíti elő. Az Annex-II. az anyagban használt rövidítések magyarázatát adja meg.



## 2 Hidrogénalkalmazások

A hidrogén kétségkívül a jövő egyik kiemelkedő fontosságú szekunder energiahordozójává válhat. Arra a kérdésre, hogy mikor, hogyan, milyen gazdasági és környezetvédelmi feltételek mellett várhatjuk a hidrogén nagyobb mértékű felhasználását, a feleletet csak stratégiai elemzések adhatják meg. Ehhez kapcsolódóan az alábbi megállapítások tehetők:

- A hidrogénbázisú energiagazdálkodáshoz („hidrogéngazdaság”-hoz) vezető út csak hosszabb távon tehető meg. Ez az út egyre jobban összekapcsolódik a megújuló energiaforrások használatával.
- Az energiapiacra a hidrogén csak akkor vezethető be hosszú távon, ha idejekorán megtalálják az első piacokat, amelyen a fejlesztések elindulhatnak.
- A piaci bevezetéshez tervek szükségesek, kitűzött célok megfogalmazásával. Bizonyítani kell a műszaki megvalósíthatóságot, a távlati versenyképességet, a társadalmi elfogadtatást, a nemzetközi együttműködést, és ki kell építeni a területi súlypontokat a fejlesztésben.
- A hidrogénbázisú energiagazdálkodás kialakítása kiterjedt, rendszerszemléletű K + F tevékenységet igényel a hidrogéngazdaság teljes vertikumára.

### 2.1 A hidrogénalkalmazások jelene

A szénhidrogénekkal kapcsolatos globális környezeti, politikai és gazdasági problémák következtében az 1990-es évektől felfokozódott az érdeklődés a hidrogén- és tüzelőanyag-cella alkalmazások iránt. A hidrogént tüzelőanyag-cellákban, gázturbinákban és gázmotorokban lehet energia-termelésre felhasználni. Gázturbinákban jelenleg még csak földgáz bekeverésével alkalmazzák, a rendkívül magas égőkamrai hőfok miatt, de folynak kísérletek a tiszta hidrogén felhasználási lehetőségének megteremtésére is. Lényegében hasonló a helyzet a gázmotoroknál is. Ezen a területen eddig csak tanulmányok jelentek meg. Az energiatermelés szempontjából a fő felhasználási területet így a tüzelőanyag-cellák jelentik.

Az energiatermelés (villamos energia és hőtermelés) céljából telepített tüzelőanyag-cellákkal kapcsolatos gyakorlati tapasztalatok megszerzésére számos kísérleti, lokális rendszert alakítottak ki Japánban, az Egyesült Államokban és Európában egyaránt, ahol tüzelőanyag-cellával biztosítják lakások, irodaházak vagy középületek fűtését, villamos energia és melegvíz ellátását. Ez utóbbi tekinthető a kapcsolt hő-és villamos-energia termelés alapkövének.

A tüzelőanyag-cellás berendezések létesítési költsége ma még, a típustól függően akár nagyságrenddel is nagyobb, mint a gázmotorok és kombinált gáz/gőzerőművek fajlagos beruházási költsége, valamint a háztartási alkalmazásokhoz méretcsökkentésre is szükség van. A fejlesztésnek egyrészt a költségek csökkentésére (nincs sorozatgyártás, túl bonyolult, sok elemből álló készülékek), másrészt az üzemi alkalmasságra (elsősorban terhelésváltoztatási képesség javítása, eltérő működési feltételekhez való illeszthetőség) kell irányulnia.

### 2.2 A tüzelőanyag-cellák általános ismertetése

Korunk energetikai és környezetvédelmi problémáinak kezelésére igen ígéretes lehetőséget nyújtanak a hidrogénüzemű tüzelőanyag-cellák. Fejlesztésük, sorozatgyártásuk mielőbbi



beindítása, és a berendezések, valamint a HFC technológia széleskörű elterjesztése az előttünk álló évtized aktuális feladata. A VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) kiadványa szerint 2006. évben Németország 70 Millió Eurót, az EU 69 millió Eurót, az USA 270 millió Eurót, míg Japán: 260 millió Eurót költött a tüzelőanyag-cellás technológiák fejlesztésének támogatására. Magyarországot nem említi ez a statisztika.

Fontos tény, hogy a tüzelőanyag-cellák fejlesztése több évtizedes múltra tekint vissza. Világviszonylatban a fejlesztésre befektetett összegek dollár milliárdokat emésztettek fel, jelentős állami támogatások mellett. Nemzetközi példák bizonyítják, hogy a piacba vezetés is specifikus állami támogatással történik. A nemzetközi statisztikai adatok alapján megállapítható, hogy a tüzelőanyag-cella gyártásban és fejlesztésben az élen az Amerikai Egyesült Államok, Németország, Kanada, Japán, Kína, és Dél-Korea áll. Jelen tanulmány fő célja a hidrogéngazdaság kialakításának elősegítése hazánkban. Ennek a célkitűzésnek lényeges eleme a tüzelőanyag-cellák gyártásával és elterjesztésével kapcsolatos általános, politikai, szocio-ökonomiai és K+F feladatok megfogalmazása

Az elmúlt évtizedekben az alábbi tüzelőanyag-cella típusokat fejlesztették ki:

- **PEMFC** (proton cserélő tüzelőanyag-cella)
- **DMFC** (direkt metanol tüzelőanyag-cella) (ennek analógja a direkt etanol tüzelőanyag cella (DEFC))
- **AFC** (alkáli tüzelőanyag-cella)
- **PAFC** (foszforsavas tüzelőanyag-cella)
- **MCFC** (olvasztott karbonátos tüzelőanyag-cella)
- **SOFC** (szilárd oxid alapú tüzelőanyag-cella)

Ezen tüzelőanyag-cellák fő jellemzőit az 1. Táblázatban mutatjuk be. A státusz – és célértékeket a 2. Táblázat tartalmazza.

1. Táblázat, Tüzelőanyag-cellák fő jellemzői

	PEMFC	DMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Villamos hatásfok DC, %	40-50	45-50	60-70	45-50	50-75	50-60
Villamos hatásfok AC, %	30-40	40-45		38-40	45-70	45-55
Termikus hatásfok, %				36		
Teljesítmény, kW	1-100	1-800	2-25	200	250-2800	1-200
Felfűtési idő, perc	2-5	2-5	2-5	20-30	3-4 nap	3-4nap
Élettartam, üzemóra	10000-20000	8-10000	10000	40000-50000	25000-30000	10000-15000
Lokális emisszió	víz	CO <sub>2</sub> , víz	Víz	víz, CO, CO <sub>2</sub>	víz, NO <sub>x</sub> , CO, CO <sub>2</sub>	víz, NO <sub>x</sub> , CO, CO <sub>2</sub>

### 2.3 Tüzelőanyag-cellák alkalmazási területei

A területen folyó kutatások alapvetően két tématerületre – telepített (helyhez kötött) és mobil alkalmazások – oszthatók. A mobil alkalmazásokon belül külön csoportot képeznek a közlekedési tárgyú alkalmazási lehetőségek.



2. táblázat: státusz és célértékek a tüzelőanyag-cellák egyes típusaira

		PEM		PAFC		MCFC		SOFC	
		Státusz	Cél	Státusz	Cél	Státusz	Cél	Státusz	Cél
Háztartási	Cella oszlop élettartam [h]	>5000	40000					12000	40000
	Villamos hatásfok [%]	27-31	>33-35					25-30	>30
	Beruházási költség [€/kW <sub>el</sub> ]		1250						1250
Ipari	Cella oszlop élettartam [h]	20000		40000		30000	40000	20000	40000
	Villamos hatásfok [%]	35		40		47	50	46	50
	Beruházási költség [€/kW <sub>el</sub> ]	2500		4000		6670	1250	11000	1250

### 2.3.1 Telepített alkalmazások

A magas hőmérsékletű TC-k és a magas hőmérsékleten működő polimer membránt tartalmazó PEMFC-k alkalmazásnak biztató távlatai vannak a kapcsolt hő- és villamos energia előállítására a telepített alkalmazásokban. Jellemzőik: (i) nagy rugalmasság a tüzelőanyagot illetően, (ii) kis érzékenység a szennyezőkre, (iii) nincsenek szigorú követelmények a széntartalmú tüzelőanyagok feldolgozását illetően, és (iv) a nagy átalakítási hatásfok. Az idevonatkozó K+F tevékenységnek az MCFC-k és SOFC-k alkalmazási lehetőségeinek feltárására kell irányulnia. Esetleg az ebből adódó sajtósági problémákra lehet K+ F feladatokat tervezni.

**Kis teljesítményű rendszerek a háztartásokban (1-50 kW).** Ezekben az alkalmazásokban a PEMFC technológiának van jelentős szerepe. Különösen a magas hőmérsékleten működőképes szennyezés-tűrő polimer membránok kifejlesztése kap hangsúlyos szerepet.

**Középletek, és ipari létesítmények energiaellátása (50 -500 kW).** Nagy hatásfok és alternatív tüzelőanyagok felhasználása – mint pl. ipari hulladékgázok, biogáz, fermentációs gázok – válhat fontossá ezekben az alkalmazásokban. Minden bizonnyal a magas hőmérsékletű cellák (MCFC, SOFC) lesznek a versenyképesek a nagy hatásfokuk következtében különösen az ipar területén. Ebben a teljesítménytartományban kezd ígéretessé válni a tüzelőanyag-cellák kombinálása hőhasznosító gázturbinákkal.

Az állattartó telepeken, szennyvíztelepeken, személtlerakó telepeken, stb. képződő biogázok általában magas metán-tartalmúak. Európában, az USA-ban, és Japánban már több gyártó foglalkozik a biogázok reformer nélküli tüzelőanyag cellás hasznosításával, megfelelő előtisztítást követően.

A biogáz hasznosítására alkalmas tüzelőanyag cella típusok: SOFC, MCFC, (és PAFC). A területen aktív cégek: Sulzer HEXIS, Vaillant, MTU Friedrichshafen, Shmack Biogas GmbH, ONSI Corp, Siemens. Keresni kell ez együttműködést a fenti cégekkel, önálló kutatást legfeljebb a biogázok gazdaságos előállítása, tisztítása, tárolása témában érdemes elkezdni.



**Nagy-kapacitású erőművek (1 MW felett).** Az 1 MW-ot meghaladó nagykapacitású üzemek megvalósítása még nagyon távoli célnak tekinthető csak. Rendkívül fontos illetve elengedhetetlen lehet kombinálásuk gázturbinákkal vagy más berendezésekkel, hogy a mai, kombinált ciklusú erőművek hatásfokát meghaladják. Azonban ez is olyan feladat, amely jelentősen meghaladná az erőnket. Bármilyen fejlesztést csak a külföldi partnerekkel együttműködve célszerű elkezdni.

### 2.3.2 Közlekedési alkalmazások

A hidrogén felhasználásának legnagyobb jelentősége környezetünk védelme és a fenntartható fejlődés szempontjából a közlekedésben van. Az egyik legnagyobb és legdinamikusabban fejlődő energia-felhasználó (és ezáltal egyben az egyik legnagyobb károsanyag-kibocsátó) ágazat a közlekedés. A legfrissebb nemzetközi adatok szerint a közlekedési szektor használja fel a fosszilis energiahordozók 26%-át és így az összes CO<sub>2</sub> kibocsátás ugyanilyen (sőt, az energia-termelésben tért nyerő CO<sub>2</sub>-megkötésből következően még nagyobb) mértékéért felelős. Bár a gépjárművek üzemeltetésére jelenleg alkalmazott technológiák és üzemanyag árak még jelentősen kisebb fajlagos költséget eredményeznek, mint egy hidrogénnel üzemeltetett tüzelőanyag-cellás gépjárműhajtás, várható, hogy a folyékony, gáz halmazállapotú fosszilis üzemanyag források kimerülésével, jelentős árnövekedésével, a megújuló technológiák fajlagos költségcsökkenésével a versenyhátrány lényegesen csökken. A technológiai, logisztikai rendszerek fejlesztését mindenképpen folytatni kell, hogy a megfelelő időben már érett, kereskedelmileg is alkalmazható megoldások álljanak rendelkezésre.

Az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírásokkal és a feltörekvő piacok hatalmas járműigényével az elkövetkező néhány évtizedben a teljes ma használt járműpark technológiai cseréjével számolnak a szakértők. Jelenleg az elektromos, tüzelőanyag-cellás és bio-üzemanyaggal hajtott modellek, valamint ezek hibrid változatai állnak a verseny élén. A technológiák közötti verseny várható kimenetelét ma még nehéz megjósolni, de bizonyos, hogy a tüzelőanyag-cellás alkalmazásoknak fontos helye lehet a jövő közlekedési rendszereiben. Mind az alacsony, mind a magas hőmérsékletű PEMFC-k tűnnek a legmegfelelőbbnek erre az alkalmazásra.

A legtöbb meghajtás esetén a nagy teljesítménysűrűség, a gyors dinamikus reagálás és a rövid indítási idő a leglényegesebb szempont. Napjainkban, a TC meghajtású személygépkocsik jellemző értékei: több mint 4000 €/kW költség, 2000 óra alatti élettartam és 3 kW/l alatti teljesítménysűrűség. A sorozatgyártás céljából a MEA anyagainak költségét egy nagyságrenddel kell csökkenteni, ami a tömegtermelési eljárásnak köszönhetően további egy nagyságrend csökkenést generál a köteg költségeiben.

A városi közösségi közlekedési alkalmazások úttörő szerepet játszhatnak a technológia elterjesztésében (mind a levegőszennyezés okozta szükségszerűségből, mind a hidrogén-logisztikájuk kevésbé nehézkes kiépítési lehetőségéből). Ma már a világ több tucat városában futnak hidrogén tüzelőanyag-cellás buszok, összesen több millió km-es és több százezer órás üzemtapasztalattal. Ezek közül az egyik legjelentősebb a CUTE program (2001-2006), ill. folytatása, a HyFleet:CUTE (2006-2009), amelynek keretében 12 városban 47 hidrogénbuszt tesztelnek 8 hidrogénes töltőállomással.

A világ több pontján folytatnak kísérleteket a hidrogén használatával kapcsolatosan más közlekedési alágazatokban is. Magyarország számára ezek közül földrajzi adottságaink és a magyar vasúthálózat szerkezeti jellemzői miatt a vasúti célú alkalmazásokat érdemes kiemelten nyomon követni. 2005-ben az EU Leader programja és a Dán Gazdasági Minisztérium valamint több dániai szervezet közös finanszírozásában megvalósíthatósági tanulmány készült egy dániai vasútvonal hidrogénhajtású szerelvényekkel történő



működtetéséről. Tekintettel arra, hogy a magyar vasúthálózat jelentős része (közel 70%-a) nem villamosított, a dán projekt sikere esetén a hidrogénmeghajtás használata nálunk is kedvező alternatívát kínálhat környezeti oldalról azon vonalakon, ahol a vasútvonal forgalmi számai alapján nem indokolható a villamosítással járó jelentős beruházás.

### 2.3.3 Hordozható alkalmazások

A tüzelőanyag-cellák első alkalmazására a rés piacokon (niche markets) – mint pl. a katonai-védelmi és vészhelyzeti szolgáltatások, valamint luxus készülékek – kerülhet sor. A rövidtávú kutatási stratégiának meg kell teremtenie a hordozható TC-k piaci bevezetésének feltételeit. A K+F egy részét a TC rendszerekbe integrálandó komponensekre és alrendszerekre kell összpontosítani. Fontos szempontok a (i) miniatürizálás, (ii) a kompatibilitás, (iii) az egyszerűség és a (iv) költséghatékonyság. A szabványosítási szabályozásokat és vásárlói biztonságot is figyelembe kell venni. Két különböző TC rendszerre kell koncentrálni: (i) hidrogénüzemű PEMFC-k, és a (ii) direkt metanol (DMFC) és/vagy direkt etanol (DEFC) tüzelőanyag-cellák.

**Mobil alkalmazások.** A villamosenergia-termelésben és az erőművi méretű energiatároló rendszerekben való felhasználhatóság vizsgálata mellett rövid- és középtávon talán még inkább lényeges a hidrogén mobil alkalmazásokban való használata. A hordozható tüzelőanyag-celláknak több fontos felvevő piaca lehet, így valamennyi olyan iparág, amely jelenleg nagy számban használ mobil energiatároló rendszereket (akkumulátorokat). E tekintetben a hidrogén bázisú tüzelőanyag-cellák elterjedése kellő háttérrel adhat ahhoz, hogy a tömegessé váló használat során az tüzelőanyag-cellák alkalmazhatóságával kapcsolatos műszaki és gazdasági típusú kérdőjelek csökkenjenek.

Bár általánosságban elmondható, hogy a következő néhány évben a tüzelőanyag-cellák nem törnek meg a Li-ion elemek dominanciáját e piacon, a hordozható alkalmazások tekinthetők a hidrogéngazdaság „kiskapujának”. A széleskörű elfogadottságot, az „áttörést” is ezektől várják, pl. a mobil telefonok vagy a laptopok akkumulátorait kiváltó tüzelőanyag-celláktól. Ezek újgenerációs (3G, 4G) alkalmazásainál jelentkező növekvő terhelési igények miatt az akkumulátor-gyártókra nagy nyomás nehezedik az energia-sűrűség növelése kérdésében (a tüzelőanyag-cellák alkalmazásával a jelenlegi Li-ion elemek energiasűrűségének 3-10-szeresére van lehetőség e kategóriában).

**Szünetmentes tápegységek.** Ezek a berendezések a néhány száz W és a pár kW közötti teljesítménytartományban működnek. Fontos a nagy energia és teljesítménysűrűség és a gyors indulási idő. Hibrid konfigurációk is megfelelőek lehetnek, amennyiben a cella önmagában nem képes követni a terhelést. A fő feladatok egyike a gyors rendszerindítást és dinamikus működést lehetővé tevő üzemegyensúlyi komponensek (Balance of Plant – BOP) vizsgálata (pl. elemek és szuperkapacitorok alkalmazása).

**Elektronikai eszközök áramellátása.** Többek között az akkumulátortöltők, mobil telefonok és notebook-ok tartoznak ehhez az alkalmazáshoz. A súly- és térfogatkorlátok jelentik a legnagyobb fejlesztési kihívásokat. A K+F tevékenységeket így elsősorban a miniatürizálásra kell fordítani. A kulcsszavak a rendszeregyszerűsítés, a vízgazdálkodás és a tüzelőanyag-kezelés. A levegőellátást ventilátorok nélkül kell biztosítani. Műszaki áttörést kell elérni a vízgazdálkodás tökéletesítésében, ami magába foglalja a koncentráció szabályozását, a membrán nedvesítését valamint a víz visszanyerését. A végső cél a tüzelőanyag-cella passzív működésének megteremtése, ami növeli a rendszer megbízhatóságát, és költségcsökkentést tesz lehetővé.



## 2.4 Hazai tapasztalatok

Magyarországon a hidrogén és tüzelőanyag-cella kutatások jelentős elmaradásban vannak a világ vezető gazdaságaival, térségeivel összehasonlítva. Különösen szembetűnő ez a lemaradás az alkalmazások területén. Magyarország egyetlen programmal sincs jelen az EU demonstrációs célú projektjeiben (HyLights, HyFleet) és egyetlen magyarországi régió sem került be az EU „Hidrogén-régióinak” sorába. Ugyanakkor az utóbbi időben néhány szakmai területen változás kezdődött. A 2009 elején megalakult Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Nemzeti Technológiai Platform fontos célkitűzéseként nevesítette a hidrogén alkalmazások hazai fejlesztését. Néhány megvalósult alkalmazás is van már; utóbbira példa a mobiltelefonhálózat-bázisállomás szünetmentes áramforrása, amely ráadásul már jelenleg is rentábilis beruházásnak bizonyult. Az alábbiakban a hazai alkalmazások néhány kiemelt területét mutatjuk be részletesebben. A K+F területén is értek el jelentős sikereket, ezekről a továbbiakban teszünk említést (lásd Annex I.)

### 2.4.1 Hidrogén használata tároló erőműben – hatásvizsgálat

2006 februárjában a MAVIR megbízására készült tanulmány e kérdésben. Az energiatárolási koncepció alap gondolata, hogy az éjszakai mélyvölgy időszakban az olcsó villamos energia felhasználásával vízbontó berendezésben hidrogént állít elő, a hidrogént tárolja, majd csúcsidőben a hidrogénből ismét villamos energiát állít elő gázturbina vagy tüzelőanyag-cella segítségével. A megvalósíthatósági tanulmány arra irányult, hogy az energia-tároló rendszer olyan berendezésekből álljon össze, amelyek kipróbált technológián alapulnak és a piacon kaphatók.

### 2.4.2 Közlekedési célú alkalmazások

A Közlekedéstudományi Intézetben (KTI) munkacsoportri szinten foglalkoznak a hidrogén közlekedési célú alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatával. Közelmúltban készült elemzésük szerint a hidrogénüzemű személygépjárművek tömeges elterjedése hazánkban, a közeljövőben nem várható. Ez – az egyelőre még – a rövid hatótávolsággal és a töltőállomások hiányával magyarázható. A hidrogéntechnológia előnyei elsősorban a városi tömegközlekedésben (autóbuszok) és a kommunális feladatokat ellátó járműveknél mutatkoznak meg. Várható, hogy Magyarországon is ez lesz az első alkalmazási területe a hidrogénnek, mint üzemanyagnak.

A HY-GO fantázianevű Magyarország első hidrogénnel működő tüzelőanyag-cellás járműve az ELTE-TTK keretein belül, a Kémiai Intézet és a Matematikai Intézet Alkalmazott Analízis és Számításmatematikai Tanszéke, és ipari szereplők támogatásával és együttműködésével készült. A fejlesztés egy több éve folyó kutatás része, amely az tüzelőanyag-cellás rendszerek nemlineáris csatolásainak a felderítését tűzte ki célul. A projekten több különböző szakterületet képviselő kutatók és mérnökök dolgoznak együtt a közös cél érdekében.

### 2.4.3 Telekommunikációs célú alkalmazások

A Magyar Telekomnak Gyömrőn van egy kísérleti bázisállomása, melyen teszteli a PEM tüzelőanyag-cellás megoldást. A rendszerrel kapcsolatos elvárás, hogy kb. 4 óra időtartamban legyen képes backup szolgáltatás nyújtására áramszünet esetén alacsony működési hőmérséklet (60 °C) mellett.



## 2.5 A jövőképet befolyásoló kihívások

A hidrogén és tüzelőanyag-cella alkalmazások elterjedése érdekében a jövőbeli kutatások az alábbi kihívásokra adott hatékony válaszokkal segíthetik a hidrogén-technológia fejlődését:

- általánosságban az árak (költségek) nagymértékű csökkentése (más-más fajlagos árak elfogadhatóak és kifizetődőek a különböző alkalmazásoknál) – ez elsősorban a sorozatgyártás elindulásától remélhető, de jelentős lépéseket kell még tenni az új anyagok (katalizátorok, adszorbensek, membránok, stb.) kutatásában, fejlesztésében is.
- Megfelelő élettartam elérése - kapcsolt hő- és villamos energia szolgáltatás esetében 40,000 óra. Jelenleg ennek – különösen a PEM cellák esetében – töredéke (kb. 10,000 óra) az általános, ami folyamatos/állandó üzemet nem tesz lehetővé.
- Elektromos járművek térhódítása – a (főként Li-ion) akkumulátorok igen gyors fejlődés mellett is még jóval elmaradnak a mai belsőégésű motoros járművek főbb paramétereitől (pl. töltési sebesség, utazási távolság). E versenyt az a technológia fogja megnyerni, amely a gyorsabban és költséghatékonyabban zárkózik fel a mai járművekhez a műszaki és kényelmi adatok tekintetében.
- Az előző pontból következően a tüzelőanyag-cellás járműveknél a legsürgetőbb probléma a tüzelőanyag megfelelő fedélzeti tárolása az elvárt távolság megtételére, ill. a megfelelő árszint elérése mind a járművek, mind az üzemanyag-logisztika területén. Ezen a téren 30-70€/kW lenne kívánatos, ami kevesebb, mint tizede a mai tüzelőanyag-cella áraknak.
- A 'tank-to-wheel' hatásfoknak el kell érnie a 40%-ot (jelenleg 35% körüli).
- Jelenleg a Li-ionos akkumulátorok 120-150 Wh/kg energia-sűrűségével szemben a hidrogénes járművek 300-500 Wh/kg tárolását biztosítják. Viszont ez még így sem versenyképes a mai járművekkel – ehhez az 500-1000 Wh/kg energia-, ill. 500-1000 W/kg teljesítmény-sűrűséget kell elérni.
- Megfelelő élettartam és utazótávolság elérése: autók esetében 5,000 üzemóra (kb. 250-300 ezer km), ill. min. 500 km egy feltöltéssel - autóbuszoknál ez a kérdés már megoldottnak tűnik (részben a tetőre szerelhető tartályoknak köszönhetően).
- A hordozható tüzelőanyag-cellás egységeknél a kis méret okozta vezérlési nehézségeket kell megoldani.

**2.6 Javasolt stratégiai kutatási témák 2020-ig** Az alkalmazási területnek nevéből eredően is elsődlegesen ténylegesen a piaci alkalmazásra esélyes technológiai megoldások kutatására kell fókuszálni.

A hidrogén hazai alkalmazásának eddigi eredményei alapján a rendelkezésre álló kutatási-fejlesztési programokat négy témacsoport köré javasoljuk csoportosítani. Fontosnak tartjuk, hogy a tématerületen elsődlegesen a demonstrációs célú alkalmazásokat támogató alkalmazott kutatási-fejlesztési programok kapjanak prioritást. A programok jellege szerint elsődlegesen a vállalati szektor és a kutatóhelyek (egyetemek, kutatóközpontok, non-profit szervezetek) együttműködése révén kialakítandó konzorciumokat javasoljuk támogatni konkrét projektötletek versenyeztetése alapján.

A négy kiemelt kutatási tématerület az alábbi:

- Közlekedési célú alkalmazások
- Hidrogén használata energiatárolási célú alkalmazásokban („hidrogéntárolós erőmű”)
- Szükségáramforrások, mobil rendszerek alkalmazásai



- Tüzelőanyag-cellák gyártásához kapcsolódó K+F feladatok

A demonstrációs célú alkalmazásoknak célul kell kitűzniük, hogy minél nagyobb arányban támaszkodjanak a hazai kutatási és fejlesztési eredményekre valamint azon ágazati szakmai műhelyekre, amelyek hozzájárulhatnak a megvalósuló beruházások hazai ipari hátterének fejlesztéséhez. Így például az SKT-nak nem lehet kiemelt célja egy külföldön gyártott hidrogénhajtású autóbusz magyarországi alkalmazási feltételeinek megteremtése, ha egy ilyen projekt nem párosul széles körben hasznosítható tapasztalatokkal a járműtechnológia, a hidrogén biztonságos tárolási és töltési infrastruktúrájának fejlesztése tekintetében vagy a hazai szakember képzésében és az ipari infrastruktúra kialakításában.

Különös figyelmet érdemes fordítani azon vegyipari üzemek bekapcsolására a hidrogénalapú alkalmazások kutatás-fejlesztési programjaiba, ahol már ma is gyártanak hidrogént. Célszerű lehet az ilyen üzemek (pl. MOL, BorsodChem, Hunstman Hungaria) közvetlen környezetében az előállított hidrogén hasznosítása közlekedési (töltési és tárolási infrastruktúra) vagy energiatermelési céllal.

### **Közlekedési kutatási témák**

- Externális hatások (pl. környezeti, városi életminőség, kényelmi és használati jellemzők) internalizálása a technológia közlekedési alkalmazásához kapcsolódóan.
- Hidrogénhajtású járművek városi használatával összefüggő társadalmi hatású kérdések vizsgálata (pl. meglévő parkolási infrastruktúra és töltési lehetőségek mennyiben befolyásolhatják a technológia elterjedését).
- Hidrogénüzemű járművek (közúti és vasúti) típusjövőahagyó vizsgálati technológiájának beillesztése a hazai gyakorlatba, a hazai alkalmazás bevezetése.
- Biztonságos tárolási-töltési infrastruktúra kialakításának műszaki-technológiai háttere.
- Járműtechnológia kutatások a 'tank-to-wheel' hatásfok javítására. A hatásfoknak el kell érnie a 40%-ot.
- Biztonsági vizsgálatok a hidrogénhajtású járművek városi használatával összefüggésben (pl. ütközés, parkolóházak biztonságos használata).
- Teljes élettartam-költség összehasonlítások más járműtípusokkal.
- A vasútvillamosítás és a hidrogénhajtású vasúti járművek használatának gazdasági összehasonlító vizsgálata a szükséges beruházások figyelembevételével.
- Üvegházhatású gáz kibocsátás vizsgálata városi környezetben hidrogénhajtás és hagyományos járműhajtások összehasonlításával.
- Kísérleti vasúti alkalmazás rendező-pályaudvari használatra.

### **Kutatási-fejlesztési feladatok a villamosenergia-termelési és tárolási alkalmazások területén**

- Az olajkorszak után kialakuló járműipari technológiák – így kiemelten a hidrogénteknológia széleskörű elterjedésének társadalmi hatásai és összefüggései a villamos-energia rendszerrel (kereslet alakulása, rendszerszabályozás, infrastruktúra)
- Hidrogén tározós erőmű alkalmazási lehetőségei a villamos energia rendszer szabályozásában.
- A lehetséges szabályozó erőművi technológiai megoldások műszaki-gazdasági összehasonlító vizsgálata.
- Vegyipari üzemekben melléktermékként keletkező hidrogén hasznosításának vizsgálata.
- Az erőművi kiépítés legfontosabb paramétereinek (műszaki, energetikai, gazdaságossági) komplex vizsgálata a teljes élettartam költségei alapján.



- Hidrogén tározós erőmű alkalmazásának hatása a villamos energia rendszer emisszió-csökkentésében.

### **Kutatási-fejlesztési feladatok a mobil alkalmazásoknál**

- Oktatási-demonstrációs projektek a technológia társadalmi ismertségének, elfogadottságának növelése érdekében.
- Alkalmazásfejlesztések a mérés technológia, szünetmentes áramforrások, elektronikai és számítástechnikai alkalmazások terén.
- Vezérlési nehézségek megoldása

A hazai javasolt kutatási programok teljes mértékben követik az EU vonatkozó programjainak ajánlásait és belső arányait. Különösen fontosnak tartjuk kiemelni az FCH JU MAIP programjában szereplő kutatási és fejlesztési támogatások tervezett belső arányait. A program tervei szerint a költségvetés közel 40%-a demonstrációs célú alkalmazási projektek megvalósítását célozza meg.

### **Kutatási és fejlesztési feladatok tüzelőanyag-cella gyártás területén**

A tüzelőanyag-cellák különböző fő részegységekből állnak. Ezen részegységekre vonatkozó K + F feladatokat az alábbiakban foglalmaztuk meg:

#### ***I. Elektro-katalizátorok***

- Alacsony platina tartalmú vagy platina mentes katalizátorok fejlesztése különös tekintettel a CO és kéntűrő képesség növelésére.

#### ***II. Polimer membránok***

- Magas hőmérsékleten működő, szennyezés-tűrő, vízmentes közegben is működőképes polimer membránok kifejlesztése.
- A membránok metanol és etanol áteresztőképességének csökkentése.
- Hatékony katalizátor felvitel a polimer membránokra tintasugaras nyomtatással.

#### ***III. MEA***

- Egyszerű víz- és hő-gazdálkodású MEA-k fejlesztése.
- Új típusú tökéletesebben nedvesíthető, kisebb metanol vagy etanol áteresztőképességű membránok,
- Hatékony katalizátor felvitel a kialakított MEA-ra tintasugaras nyomtatással

A MEA gyártásában forradalmi változást jelenthet az ipari tintasugaras nyomtatók alkalmazása mind a polimer membrán módosítására, mind a katalizátor rétegek felvitelére. A módszert intenzíven tanulmányozzák az USA-ban (Cabot Carbon, Pacific Northwest National Laboratories, EoPlex Technologies), Dél-Koreában (LG) és Európában (Johnson Matthey).

Ezen tématerületen a Kémiai Kutatóközpont érdekelt lehet.

#### ***IV. Kötegek***

- A PEMFC kötegek fejlesztéseinek fő kihívásai: (i) költségcsökkentés, (ii) hatásfok-növelés, (iii) megbízhatóság és élettartam növelés, (iv) működési hőmérséklettartomány kiterjesztése, (v) a rendszer egyszerűsítése a folyékony víz alkalmazásának elkerülésével.
- A megfelelő villamos hatásfok elérése érdekében a membrán működési hőmérsékletét legalább 120 oC-ra kell emelni, további víz hozzáadása nélkül. Ez a feltétel legalább 100 mS/cm protonvezető-képességet követel meg a membrántól 120 oC-on, ami lehetővé teszi a relatív nedvességtartalom 10 % alatt tartását. Ugyanakkor, a membránnak folyékony víz jelenlétében is működni kell az indításkor, illetve a városi



közlekedésben. Napjainkban nincsen ilyen membrán, ami teljesítené ezeket a követelményeket.

- A bipoláris lemezeknek és a tömítési technológiának is alkalmasnak kell lennie a 25 °C – 120 °C közötti hőmérséklettartományban történő működésre.

**V. Üzemelés megbízhatóságát javító tényezők**

- Üzemegyensúlyi komponensek (Balance of Plant – BOP), amelyek gyors rendszerindítást és dinamikus működést tesznek lehetővé, mint pl. elemek és szuperkapacitorok.

**2.7 Kutatási és fejlesztési feladatok a hidrogéngazdaság egyéb területeire.**

A hidrogén termelés, tárolás és szállítás K+F feladatait az Annex - I. tartalmazza.



### **3 Szocio-ökonomiai megközelítés és a stratégia megvalósulásának feltételrendszere**

#### **3.1 A hidrogéngazdaság kialakulását meghatározó szocio-ökonomiai tényezők azonosítása, jelenlegi helyzetük és kapcsolatrendszerük bemutatása**

Magyarország középtávú jövőképét a szocio-ökonomiai kutatási területen az európai SKT keretében megalkotottak szerint képzeljük el. Az Európai SKT társadalmi-gazdasági fejezete alapján megvalósult legfontosabb szocio-ökonomiai felmérés, a HYWAYS-kutatás. Ennek értelmében a tapasztalati számok az EU kezdeti elképzeléseihez képest legfeljebb 1-2 éves lemaradást mutatnak, így a hidrogéntechnológia érzékelhető piacra lépése 2017 körül várható. Magyarországon a lemaradás azonban az EU vezető országaihoz képest közel 10 évre becsülhető, amit mihamarabb le kell dolgozni.

A hidrogéngazdaság kapcsolódása a legfontosabb társadalmi-gazdasági folyamatokhoz. A HYWAYS-kutatás kiemelkedő gazdaságpolitikai megállapítása, hogy 2020-ig a hidrogéntechnológia a gépkocsigyártás és az energetikai gépgyártás terén fog a legnagyobb mértékben hatni az EU gazdaságára. A HYWAYS európai szinten legfeljebb minimális növekedést prognosztizál ezen a területen, de tekintettel arra, hogy a japán és az amerikai autóipar is jelentős erőfeszítéseket tesz a hidrogéntechnológia piacképesé tétele érdekében, a technológiai versenyben való lemaradás jelentős növekedési is foglalkoztatottsági áldozatokat jelenthet. A kutatás emellett a jövőbeli olajsokkok esetén további 0,2-0,4 százalékos extra recessziós kockázatot számszerűsít. Magyarország legfontosabb exportcikke a gépkocsi és egyéb szállítóeszköz (9,1 billió forint/év). Részesedése a világ személy- és haszonjárműgyártásában 0,49%, az Unióéban 2,27%, miközben a világ GDP-jének 0,24%-át, az EU GDP-jének pedig 0,8%-át állítja elő. A szocio-ökonomiai kutatás keretében a HYWAYS-kutatás eredményeit Magyarországra is ki kell terjeszteni. Azonosítani kell azokat a befektetési, beruházási és foglalkoztatási csatornákat (akár olyan rés piacokon is, mint a hajó- vagy vasúti járműgyártás), amelyek növelhetik a magyarországi exportpotenciált, illetve csökkenhetik a negatív foglalkoztatottsági és gazdasági kockázatokat.

A hidrogéninfrastruktúra alatt azokat a fizikai, pénzügyi, és tudásban megtestesülő eszközöket értjük, amelyek ahhoz szükségesek, hogy a hidrogénenergetikai szolgáltatások eljussanak a termelőktől a felhasználókig. A hidrogéngazdaságra való áttérés beruházási költségei igen magasak. A HYWAYS becslése szerint a hidrogéngazdaság működtetése 2025-2033-tól, az infrastruktúra kiépítése pedig 2028-2040-től kezdhet megtérülni. Ezeket a becsléseket Magyarország esetében is el kell végezni, figyelembe véve a hazai szocio-ökonomiai folyamatokat (népsűrűség növekedése, településszám-csökkenés) és a hazai infrastrukturális adottságokat (igen fejlett csővezetékes infrastruktúra, a nyugati EU országokétól jelentősen eltérő szállítási infrastrukturális adottságok).

Magyarországon különösen nagy, mintegy 8% a szállítás aránya a GDP-n belül, aminek egyrészt gazdaságföldrajzi, másrészt gazdaságszerkezeti okai vannak. Magyarország egy olyan tengerpart nélküli ipari ország (jelentős mezőgazdasági termeléssel), ahol a szállítási kereslet mind a nemzetgazdasághoz kötődően, mind az európai gazdaság súlypontjának áthelyeződése miatt - a tranzit következtében - folyamatosan kiemelkedő lesz. A magyar gazdaság közlekedés-intenzitása az EU ezzel ellentétes közlekedéspolitikai célkitűzései ellenére mind a személyforgalom, mint az áruforgalom tekintetében folyamatosan nő, ezért Magyarország közép- és hosszútávon is az EU kiemelkedően fontos üzemanyag és tüzelőanyag felvevő piaca és elosztási pontja marad. A hazai hidrogén- és tüzelőanyag-cella



fejlesztés politikát ezért az alternatív tüzelőanyagokra vonatkozó fejlesztési politikával összhangban, kiemelten kell megalkotni. A magyar GDP mintegy 3,5%-a kötődik a bányászathoz és az energetikához. Az ország versenyképességi akadályainak, külgazdasági sebezhetőségének egyik legfontosabb tényezője ma a fosszilis energiahordozók importja. A HTC technológia energetikai felhasználási módjai ezért külön szempontként veendő figyelembe a szocio-ökonómiai kutatások során.

A magyar társadalom kifejezetten nyitottnak mutatkozik a technológiai újdonságok befogadására. Magyarországon a motorizáció vagy a távközlési eszközök elterjedése is sokkal gyorsabb volt, mint a legtöbb fejlett országban. A gyorsított alkalmazkodás anyagi, személyi, képzettségbeli, iparszerkezeti adottságairól kevés megalapozott kutatási adat áll rendelkezésre, márpedig ezeket a tényezőket a hidrogéngazdaságra való átmenet elősegítése érdekében célszerű mélyen és kielégítő pontossággal feltárni. A hidrogénnel és a tüzelőanyag-cellákkal kapcsolatos ismeretekről és e technológiák társadalmi elfogadottságáról egyelőre nem készült széleskörű magyarországi felmérés. Azt javasoljuk, hogy az egyes technológiai területek demonstrációs projektjeit az SKT úgy tervezze meg, hogy azokhoz kapcsolódóan megalapozott felhasználói attitűdelemzést lehessen végezni (horizontális kutatási feladat).

### **3.2 A gazdasági és társadalmi hatótényezők azonosítása**

A hidrogén, mint másodlagos energiaforrás, és mint energiahordozó iránti hosszú távú kereslet az energiakereslet része, illetve energiahordozóként az energiakereslet részeként értelmezhető. A hidrogéngazdasággal kapcsolatos publikációk – hasonlóan az EU közpolitikai publikációihoz – az EU megrendelésére készült ún. McKinsey-Ecofys tanulmányt tekintik irányadónak, ami a növekvő energia-kereslethez középtávon rugalmatlanul alkalmazkodó kínálattal számol. Az európai hidrogéngazdaságra vonatkozó kutatások – összhangban a McKinsey-Ecofys tanulmánnyal, illetve a Nemzetközi Energiaügynökség ezzel konzisztens becsléseivel a kőszén és földgáz közötti váltás mértékét tekintik energetikai kulcsváltozónak. Ebben a tekintetben az egyik legfontosabb segédváltozónak a szén-dioxid kibocsátás korlátozásának hatását (a szén-dioxid kvóták mennyiségét, árát, volatilitását) tekintik. Mivel a 2009-es világgazdasági válságot megelőzően a földgázárakat jellemzően a kőolajárakhoz kötötték, a hidrogéntermelés és felhasználás megtérülésére vonatkozó árak mind a kőolaj- és széndioxid árakhoz kötve voltak értelmezhetőek. A nem-konvencionális földgázbányászat terjedése, a földgáz szállításának (a hidrogén szállításához hasonló) újdonságai, valamint Magyarország kimagasló földgáz-függősége miatt a kőolaj és a széndioxid ára mellett a földgáz ára is kritikus exogén változó. A legfontosabb endogén változónak pedig a különféle módon előállított hidrogén teljes életciklusra kiterjedő költségét tekintjük.

Magyarországnak nincsen hivatalosnak tekinthető keresleti vagy kínálati becslése, ezért a gazdasági hatótényezők vizsgálatát lehetőleg a magyar energiakereslet és kínálat (lehetőleg hivatalos) becsléséhez kapcsolódóan, a magyar energia-mix sajátosságait figyelembe véve kell becsülni. Önálló kutatási feladatnak tekintjük, hogy a tüzelőanyag-cellák, vagy a különböző alkalmazásokban használt új anyagok összetevőinek lehetséges szűk keresztmetszeteit, vagy prohibítív költségeit, például a platina esetében, előre tudjuk jellemezni, illetve megtaláljuk azokat a magyar kutatási területeket, amelyek azért válhatnak nemzetközi viszonylatban is értékesé, mert szűk keresztmetszeteket oldanak fel.

A technológiai tanulási görbe azt mutatja meg, hogy a már legyártott hidrogén-meghajtású autók darabszámának megduplázódásával mennyire csökkenthetők a technológia költségei (gyártás közbeni innovációk, tapasztalat, skáláhozadék és más tényezők által). A különböző autógyártási szempontból lényeges részkomponensek fejlődési potenciálját az európai autógyártók az eddigi tényadatok alapján 0-20%-ra teszik. Horizontális kutatási célként



jelöljük meg a demonstrációs projektek, illetve 1. ágazati kutatási feladatokhoz kapcsolódóan a tanulási görbék folyamatos becslését.

### 3.3 A hosszú távú jövőkép jellemzői (2009-2050)

Egy ország gazdasági és társadalmi szerkezetének átalakulását rövid távon a tőke egyenlege, hosszú távon a humántőke és a munkaerő, illetve a lakosság száma és összetétele határozza meg. A hivatalos magyar és európai demográfiai és migrációs előrejelzések alapján Magyarországnak 2050-ben 8,5-9 millió lakosa lesz, és 34%-uk lesz 60 évnél idősebb. A jelenlegi településfejlődési és urbanizációs folyamatok alapján ez a népesség a jelenleginél lényegesen koncentráltabban, döntően a fővárosi agglomeráció területén, illetve a magyar városokban fog élni. Mindez továbbra is felértékeli az exportra termelő részegység-gyártás, valamint a gép- és járműgyártás fontosságát, amit a hidrogéngazdaság tervezésekor figyelembe kell venni.

A hidrogéngazdaság infrastruktúrájának kialakítása során nem csak Magyarország jelenleg meglévő infrastrukturális adottságaival kell számolni, hanem a tervezés folyamatában figyelembe kell venni a hazai település-szerkezet és demográfiai jellemzők változását.

A magyar energetikai rendszernek jelenleg nincsen érvényes hosszú távú jövőképe. Várható azonban, hogy a 2035-ig leálló atomerőművi blokkokat pótolni fogják, sőt, ideiglenesen nőhet is az ország nukleáris bázison kialakított termelőkapacitása. A jelenlegi becslések szerint a 2020-as években szükség lesz egy átmeneti tároló erőmű kiépítésére, ami szivattyús-gravitációs vízi erőmű vagy a technológia érettsége esetén a hidrogéntároló-közeg szerepére épülő megoldás lehet.

### 3.4 A középtávú kutatási feladatok (2009-2020)

Az Európai SKT 2015-ben a hidrogén 2%-os, 2020-ban 5%-os részesedésével számol az tüzelőanyag- és/vagy üzemanyag- piacon. Magyarországot az európai jövőkép keretein belül elképzelve a középtávú jövőkép optimista változata a már meglévő 3-5 éves lemaradás ledolgozását, a pesszimista változat az eddigi folyamatok alapján Magyarország kimaradását jelenti a hidrogéngazdaság korai szakaszából. A lemaradás eddig nem vizsgált, tehát fel nem tárt gazdasági- és társadalmi feszültségekhez vezethet.

#### 3.4.1 Gazdasági és társadalmi kutatási feladatok

A legfontosabb önálló szocio-ökonómiai kutatási feladat az európai SKT keretében megvalósult kutatások összegzése, módszertanának átvétele, és a magyar gazdaságra történő újrabecslés megvalósítása. Ezzel megállapítható volna, hogy hol, mikor, milyen feltételekkel jelenhet meg a hidrogén, vagy a hidrogéntechnológiához kapcsolódó gyártás a magyar gazdaság szerkezetében.

- A hidrogéngazdaság szerkezetére vonatkozó kutatás keretében meg kell vizsgálni, hogy a magyar gazdaságra miként hat a hidrogéntechnológia terjedése, illetve a hidrogéngazdaság kialakulása mely ágazatokban, milyen befektetések és foglalkoztatottsági hatások mellett érvényesül különféle szcenáriók esetén.
- Meg kell határozni a Magyarországra nézve kritikus változókat, illetve azokat a szűk keresztmetszeteket, amelyek feloldásában az SKT többi fejezete alapján Magyarország versenyelőnyre tehet szert.
- Magyarországra is el kell végezni a gazdaság szerkezetére és a hidrogén-infrastruktúra lehetséges kialakulására vonatkozó modellezést.



- Meg kell vizsgálni, hogy hogyan válhat Magyarország az alternatív tüzelőanyagok, és a hidrogéntechnológiai gép- és alkatrészgyártás kedvező befogadó országává.

### 3.4.2 Szakmapolitikai kutatási feladatok

Magyarországon az egyes szakmapolitikák még nem tesznek eleget a hidrogéngazdaság és a hidrogéntechnológia kihívásainak, és ebből következően a gazdasági és műszaki jogszabályok és a hatósági gyakorlat sem teszi lehetővé a hidrogénalkalmazások elterjedését. Ennek a problémának a megoldása érdekében olyan középtávú kutatásokat javasolunk, amelyek lehetővé teszik a szakmapolitikák hidrogén- és tüzelőanyag-cella-barát megváltoztatását, majd ennek alapján az állami szervezeteknél és hatóságoknál a hidrogéngazdaságot segítő programok és gyakorlat meghonosítását.

**Gazdaságpolitika.** A magyar SKT-nak gazdaságpolitikai szempontból a hidrogéngazdaság azon előnyeit kell számszerűsíteni és demonstrálnia, amelyek a lisszaboni és koppenhágai célok elérését, illetve a maastrichti kritériumok teljesítését segíthetik. Folyamatosan arra kell törekedni, és felmérésekkel igazolni, hogy Magyarországon a hidrogéntechnológia alkalmazásához az európai átlagnak megfelelő, vagy annál kedvezőbb bürokratikus akadály és költség hátráltassa. Az európai energiapolitika tételesen felsorolja azokat a támogatáspolitikai eszközöket, amelyeket a tagállamok saját területükön alkalmazhatnak az európai célok megvalósítása érdekében, ide értve a strukturális alapok közvetlen támogatásait és az adótámogatásokat is. A jelenleg érvényes Új Magyarország Fejlesztési Terv azonban legfeljebb elméleti szinten teszi lehetővé a hidrogéntechnológia meghonosodásának elterjedését. Annak érdekében, hogy a strukturális alapok 2014-2020 között, a középtávú jövőkép szempontjából kritikus időszakban támogassák a hidrogéngazdaság kialakulását, azonnal és szakszerűen kell beavatkozni a jelenlegi központi és regionális OP-k köztes és végső értékelésébe, illetve az akciótervek kialakításába. Magyarországon a hidrogéntechnológia adóügyi szempontból versenyhátrányban van a legtöbb fejlett országgal szemben, mivel hazánk szinte az egyetlen tagállam, amely nem él a 2003/96/EK tanácsi irányelv tüzelőanyag-cellából származó energiára vonatkozó adókedvezményezési lehetőségével. A jövedéki adótörvény jelenleg alkalmazott hatósági jogértelmezése pedig – jogilag meglehetősen vitatható módon – a hidrogént jövedéki terméként adóztatja. A metanol és az etanol is hasonló elbírálás alá esik, amely energiahordozók szintén relevánsak lehetnek.

Az olyan még nem, vagy csak nagyon kismértékben piacképes technológiák esetében, mint amilyen a hidrogéntechnológia, a megfelelő szintű állami kereslet megteremtése különösen fontos annak érdekében, hogy a termelés és alkalmazás területén elég tapasztalati tudás gyűljön össze a költségcsökkentéshez. Az állami kereslet megteremtésének eszköze a támogatáspolitikai és az adókedvezmények biztosítása mellett a nemzeti ipar- és környezetpolitikát segítő közbeszerzési gyakorlat. Emellett a szabályozott költségbázisú energia- és közlekedési társaságok esetében a hidrogéntechnológia integrálása a költségbázisba jelenthet megoldást. Magyarország a Világgazdasági Fórum felmérése szerint regionális összehasonlításban is különösen kedvezőtlen közbeszerzési gyakorlatot folytat a legfejlettebb technológiák beszerzése terén.

- A gazdaságpolitikai kutatás keretében meg kell vizsgálni, hogy mi akadályozza Magyarországon korai, magas hozzáadott értéket valószínűsítő bekapcsolódását a hidrogéngazdaságba.
- Számszerűsíteni kell a magyar adópolitika diszkriminatív hatását a magyar hidrogéniparra.



- Be kell mutatni, hogy az EU más tagállamai milyen támogatáspolitikai eszközökkel versenyeznek azokért a kutató- és gyártókapacitásokért, amelyekért Magyarország is eséllyel küzdhetne meg regionális versenytársaival.
- Fel kell tárni a magyar közbeszerzési gyakorlat hidrogéntechnológiára káros hatásait, és szakszerű javaslatokat kell megfogalmazni a változtatás érdekében.
- Meg kell vizsgálni, hogy milyen szabályozott közművek infrastrukturális- vagy alkalmazás-beszerzéseinél kell olyan piacsabályozást elősegítő alkalmazott kutatást végezni, ami elősegítheti a hidrogéntechnológia integrálódását az érintett cégek költségbázisába, mert ez garantálná a legnagyobb piacot a kezdeti alkalmazásoknak.

**Energia- és közlekedéspolitikai.** A Lisszaboni Szerződés az EKSZ 176A cikkeként először ad kifejezett energiapolitikai feladatokat az Uniónak. Ez a tény tovább emeli a hidrogéntechnológiával kapcsolatban a magyar energiapolitikával szembeni konkrét elvárásokat is megfogalmazó európai energiapolitika és az annak részét képező Stratégiai Energetikatechnológiai Tervének jelentőségét. Az Európai Unió 2001-2010 közötti közlekedéspolitikája többek között a várható klíma- és energiaválság miatt az európai gazdaságban a személyközlekedés 13%-os és az áruszállítás 10%-os csökkenését irányozta elő. A magyar közlekedéspolitikai ezzel ellentétben a közlekedési, szállítási tranzitszerepének növelésére és erre épülő logisztikai fejlesztésekre épít. Bár a hidrogén-infrastruktúra beruházási költségei igen magasak, a legversenyképesebb EU-országokban már megkezdődtek az ilyen irányú fejlesztések. Tekintettel arra, hogy Magyarországon a köz- és magántulajdonú infrastrukturális, de egyes esetekben az eszközbeszerzések is már érintik ezeket az időszakokat, a HYWAY módszerét adaptálva haladéktalanul meg kell vizsgálni, hogy az országos energetikai rendszer, a közlekedési és csővezetékes szállítási infrastruktúra, illetve a magán- és középület-állomány terén hol, és milyen szabályok mentén kezdődhet meg a hidrogén-infrastruktúra kiépítése.

- Olyan energiapolitikai kutatásokat kell végezni, amelyek segítségével az energiapolitikára vonatkozó 40/2008. (IV. 17.) országgyűlési határozat alapján a Kormány által megalkotandó hazai energiapolitika elismeri és adaptálja az európai energiapolitika és a SET-terv célkitűzéseit. Értékelni kell a Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervet a hidrogéntechnológia szempontjából és meg kell határozni azokat a hidrogéntechnológiai lehetőségeket, amelyek összhangba hozhatók a Terv célkitűzéseivel. A Terv interim értékelésekor kész anyagokkal kell igazolni annak hidrogénbarát változtatási szükségességét.
- Olyan közlekedéspolitikai kutatásokat kell végezni, amelyek lehetővé teszik a közlekedési infrastruktúra, illetve a műszaki és piacsabályozás számára a hidrogéntechnológia beszerzését (pl. a közszolgáltató vasút- és buszszolgáltatóknál hidrogén-meghajtású járművek flottába illesztését), illetve lehetővé teszik a magyar közlekedéspolitikáról szóló 19/2004. (III. 26.) OGY határozat, és az Egységes Közlekedésfejlesztési Stratégia (EKFS) időszaki felülvizsgálatát. A kutatások keretében meg kell vizsgálni a hidrogéntechnológia beépülési feltételeit a szállítási infrastruktúrába.

**Környezet- és klímapolitika.** A magyar környezetpolitika alapvető dokumentumai (a tervezeti fázisban lévő 3. Nemzeti Környezetvédelmi Program (NKP) és az elvileg 2008-2025 között érvényes Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia) jelenleg nem fogadják be és nem támogatják a HTC technológiát. A hidrogéngazdasággal kapcsolatos átfogó szocio-ökonómiai kutatások egyik akadályja, hogy az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer, és annak alapját alkotó hatósági információs rendszerek, illetve az Országos Statisztikai



Adatgyűjtési Program nem tartalmazza a hidrogéngazdaság szempontjából fontos kulcsváltozókat és indikátorokat. Ezeket be kell építeni a rendszerekbe.

- Olyan környezetvédelmi- és klímapolitikai kutatásokat kell folytatni, amelyek értékelik és támogatják a hidrogéntechnológiát. Az NKP és az EU előírásainak megfelelően a teljes környezeti hatás alapján vizsgálni kell a gyártás és hulladékká válás folyamatát, továbbá az üzemeltetés fázisát. Az egész kutatási terv végrehajtása során az úgynevezett életciklus-elemzés megvalósításához szükséges méréseket el kell végezni, a vonatkozó adatokat össze kell gyűjteni és ezek alapján meg kell valósítani a kutatásokra vonatkozó demonstrációs projektek horizontális értékelését.

### 3.4.3 Szabályozáspolitikai feladatok

Magyarország rendszeresen rossz minőségben és késve ülteti át az EU szakpolitikai rendelkezéseit, és ezért az egységes piac innovációi is késéssel jelennek meg. Az új szabályozás a közigazgatás bevételi szempontjai miatt a 27 fejlett OECD ország közül a 25. legbürokratikusabb. A Magyar SKT keretében ezért különösen nagy figyelmet kell fordítani a jó szabályozási gyakorlat átvételére, illetve a jogalkotó és a jogszabályok előkészítését végző minisztériumok és közigazgatási szervek, illetve a jogalkalmazó hatóságok megfelelő információkkal, közpolitikai anyagokkal, mérési eredményekkel való ellátására. A hidrogéntechnológiai alkalmazásokat, elsősorban a tüzelőanyag-cellákat illetően már több olyan jogszabály van hatályban, amiknek az eddig ismert műszaki-technikai és üzleti megoldásokkal nem lehet megfelelni. Annak érdekében, hogy a hazai jogi megfelelés hiánya ne legyen az alkalmazott műszaki kutatási, a demonstrációs, vagy korai piaci alkalmazások akadálya, olyan kutatásokat kell folytatni, amelyek ezeket az „akadályokat” feltérképezik, és a jogalkotó valamint a hatóságok számára is megnyugtató válaszokat adnak. Különösen fontos a hivatásos önkormányzati tűzoltóságok, a környezetvédelmi hatóságok és a katasztrófavédelmi szervek ellátása megfelelő mérési eredményekkel és kutatási anyagokkal. A típusengedélyezéshez megfelelő, gyakran a hatóság előtt végzendő próbaüzemre van szükség, aminek az időben és pénzben felmerülő költségeivel a piacra vezetés fázisa előtt kell számolni. A nem a hidrogén alkalmazása miatt veszélyes üzemekben – például vasúti közlekedésben – pedig olyan, az üzem szervezésére vonatkozó biztonsági tanúsítványokat kell megszerezni, amelyekben a hidrogén alkalmazását különös gondossággal kell kidolgozni. Magyarország EU-csatlakozásakor megszüntette a nemzeti szabványok kötelező alkalmazását; a magyar szabványok megléte azonban a jogalkotás pontosságában, a hatósági jogalkalmazói tevékenység minőségében, a jogkövetés előmozdításában, illetve a közbeszerzések és a szerződéskötések során sok gyakorlati előnnyel járna, ezért törekedni kell a hidrogénnel kapcsolatos első Magyar Szabványok (pl. MSZ EN 62282-1 - 62282-5) körének bővítésére.

- Szabályozási és jogalkalmazási akadálymentesítési kutatásokat kell végezni annak érdekében, hogy a hidrogéntechnológia előtt álló bürokratikus, hatósági, jogszabályi és jogalkalmazói akadályok pontosan ismertek legyenek.
- El kell készíteni a hazai jogszabályok „hidrogéntérképét” és fel kell térképezni a hidrogéntechnológiát akadályozó hiányosságokat, ellentmondásokat.
- Megfelelő kutatási, mérési, oktatási anyagokkal kell ellátni a jogalkalmazó szerveket.



## 4 A hidrogéngazdaság jövőjét befolyásoló hatótényezők azonosítása

### 4.1 Általános szempontok

#### 4.1.1 A hidrogéngazdaság kialakulása

Általános az egyetértés, hogy belátható időn belül a globális energia ellátásnak át kell térni a fosszilis energiahordozókról a megújulóakra, ill. ezek átalakításával nyerhető szekunder energiahordozókra. Ezen belül a hidrogén és a villamos áram preferálható, mint a legkevésbé környezetszennyező energiahordozó. Az elektromos áram szállításához vezetékek kellenek, ráadásul nagy távolságokra a szállítási veszteség igen jelentős lehet. Az elektromos áram tárolása problémát jelent, mert csak komoly veszteségekkel oldható meg. A hidrogén kisebb veszteségekkel szállítható a jelenlegi földgáz vezetékek átalakítása után. A H<sub>2</sub> tárolható, igaz ez a folyamat is energia veszteséggel jár. A H<sub>2</sub> és elektromosság egymásba tüzelőanyag-cellákkal jó hatásfokkal átalakítható. Vélhetően a jövő egyik másodlagos energiahordozója a H<sub>2</sub> és a felhasználása során előállított villamos energia lesz.

#### 4.1.2 Politikai tényezők

A hidrogéngazdaság kialakítása megköveteli a döntéshozók, a politikusok, a parlamenti képviselők tudatformálását, a megfelelő törvények, szabályozók kidolgozását. Alapvetően fontos a szakirányú témavezető intézmény kijelölése, amelynek fő feladata egyrészt az átfogó kutatási programok kialakítása, másrészt a környezettudatosság és az új technológiák befogadási hatékonyságának növelése. Ebben nagy szerepe van az oktatási politikának, az állami támogatással indított mintaprojektek létrehozásának és azok széleskörű bemutatásának. Szükség van olyan adózási szabályok – pl. jövedéki adó könnyítések – megalkotására, amelyek legalább a kezdeti időszakban megkönnyítik az új technológiák bevezetését.

#### 4.1.3 Törvények és szabványok

Napjainkban számos törvényi szabályozást kell figyelembe venni a hidrogén üzemű járművek esetén. Ezek érintik a tartály méreteit, a hidakon és alagutakban történő közlekedést, parkolási szerkezetet, garázkialakítást, és a közlekedési eszközökön történő szállítást. A kormányzati törvényhozás részéről politikai akaratot igényel, hogy a jövőbeni törvényeket és szabványokat az energiatermelők igényeihez igazítsák, ezáltal elősegítve a hidrogéngazdaság megteremtésének alapjait.

#### 4.1.4 Társadalmi hatások

**Az energiaellátás biztonsága.** Az EU az importból származó fosszilis energiahordozók aránya tekintetében egyre nagyobb függésbe fog kerülni az EU-n kívüli országoktól, ami 2030-ra elérheti a 70%-ot. Magyarország helyzete még kiszolgáltatottabb, már most is közel 70%-ban importra szorulunk. Ily módon a megújuló források felhasználásával előállított hidrogén csökkentheti az energiatülszórásunkat.

**A levegő tisztaságának védelme.** A “hidrogén technológiák” gyors elterjedése alapvető feladat világszerte. Mint minden országban, így hazánkban is egyre sürgetőbbé válik a levegő tisztaságának védelme. A közlekedés, valamint az ipar által kibocsátott levegőszennyezés radikális csökkentése napjaink aktuális és egyre sürgetőbbé váló állami és társadalmi feladata



lett. Ezek a tényezők biztosítják, illetve teszik lehetővé a hidrogéntüzelésű tüzelőanyag-cellás technológiák viszonylag gyors és széleskörű elterjedését.

A jövőben az üvegházhatású gázok kibocsáthatóságának feltételei várhatóan szigorodni fognak, ezért egyrészt a fosszilis tüzelőanyagokon alapuló reformálási technológiák hosszútávon visszaszorulhatnak, másrészt hatékony CO<sub>2</sub> megkötő eljárások kidolgozása válik szükségessé.

A hidrogén szállításához és tárolásához kapcsolódó infrastruktúra kifejlesztése nem okoz környezetvédelmi problémát abban az esetben, ha a hidrogén előállításakor a keletkező CO<sub>2</sub> nem jut az atmoszférába, illetve ha az előállításához újrahasznosítható nyersanyagokat és megújuló energiát használunk. Fontos feladat a környezetvédelmi előírások szigorítása, továbbá azok betartásának ellenőrzése és a szankcionálás.

#### 4.1.5 Hidrogén és a biztonság

A közhiedelem a H<sub>2</sub>-t rendkívül veszélyes anyagnak tekinti. A használattal járó veszélyt komolyan kell venni, ugyanúgy, mint például a benzin használatát, azzal a különbséggel, hogy meg kell tanulnunk a hidrogéngáz felhasználására vonatkozó speciális előírásokat, azaz a biztonság kérdése kezelhető. A mindennapi életben megszokott benzinnel összehasonlítva a következő megállapításokat tehetjük:

- A H<sub>2</sub> kevésbé gyúlékony, mint a benzin. Öngyulladás hőmérséklete 550 °C, míg a benziné típusától függően 228-501 °C között változik.
- A H<sub>2</sub> a legkönnyebb elem lévén a levegőbe jutva igen gyorsan felhígul, és nem tud meggyulladni. Ezzel szemben a benzingőz nehezebb a levegőnél, tovább tartózkodik a kiömlés helyén, azaz hosszabb ideig jelent tűz- és robbanás veszélyt.
- A H<sub>2</sub> nem toxikus. Ezzel szemben minden benzin alapú termék, különböző mértékben ugyan, de mérgező.
- A H<sub>2</sub> elégetésekor csak víz keletkezik. A hagyományos üzemanyagok elégetésekor a CO<sub>2</sub> mellett jelentős mennyiségű CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> keletkezik, amelyek mérgezőek és jelentősen hozzájárulnak a globális felmelegedéshez.

A hidrogéngáz veszélyessége szinte mindenki előtt ismert. A hidrogén biztonságos szállítása, tárolása és alkalmazása megköveteli az idevonatkozó szigorú biztonságtechnikai előírások betartását. Mind a nagynyomású 350 és 700 bar gáztároló palackok, mind a cseppfolyós kriogén tartályok megfelelnek az ipari, illetve a legszigorúbb járműipari követelményeknek. A még kevésbé ismert fém-hidrid gáztároló palackok üzemi nyomása 2-10 bar között alakul. A hidrogén gázt szabályozó, szállító, és elzáró szerelvények több mint 50 éves fejlődés során érték el a mai fokozottan biztonságos szintet. Bármilyen szivárgást, gázrendszeri meghibásodást azonnal jeleznek az erre a célra kifejlesztett érzékelők.

#### 4.1.6 Ipari háttér

A hidrogéngazdaság evolúciója új szemléletet, új technológiákat, új és folyamatos fejlesztéseket, hatalmas beruházásokat, igen sok munkahelyet, folyamatos tanulást és képzőhelyeket generál. Mint tudásigényes iparág vonzani fogja az innovatív szakembereket és vállalkozásokat. Tipikusan olyan kihívás, ahol a szellemi erőforrásokat hasznosítani kívánó innovatív kis és közepes vállalkozások megtalálhatják számításukat és érvényesülésüket.

A tüzelőanyag-cella kötegének gyártásán kívül a gázszerelvényeket, pneumatika fittingeket gyártók mellett a kompresszorok, fúvók, szivattyúgyártók mellett a különféle elektronikus, elektromechanikus egységeket, vezérléseket gyártók jutnak jelentős szerephez.



#### 4.1.7 Gazdasági megfontolások

Amennyiben csak a hidrogénre van szükség a gazdaságossági összehasonlítás során csupán a hidrogén termelés egységárát kell figyelembe venni, ami az előállítási módszerektől függően 1-3 \$/kg. Ha a felhasználónak oxigénre is szüksége van, abban az esetben egy oxigén üzem költségét is figyelembe kell venni. Kriogénes elválasztás technológiájával az oxigén előállítása költsége levegőből 0.176\$/kg.

Várható, hogy az üvegház hatású gázok kibocsátását a jövőben szigorú előírások korlátozzák, ezért a CO<sub>2</sub> megkötés, tárolás költségeit vagy a „szén-adót” is hozzá kell adni a hidrogén árához, ha azt fosszilis forrásokból állítják elő. Egy elemzés szerint a CO<sub>2</sub> tárolási költsége 0.63\$/kg H<sub>2</sub>, amennyiben a hidrogént kőszénből állítják elő.

A hidrogén árát szállítási költségek alapvetően meghatározzák. Ez fontos azokban az esetekben, amikor a termelés és a felhasználás helyszíne jelentős távolságra van egymástól. A hidrogén árához átlagosan legalább 1\$/kg H<sub>2</sub> szállítási többletköltséget lehet számolni vezetékes szállítás esetén.

A hidrogénszállítás magas költségei miatt, az üvegházhatású gázokra bevezetett korlátozások jelentősen megváltoztathatják a fosszilis forrásokból történő hidrogén előállítás költségeit a többi primer forráshoz viszonyítva. Számos projekt irányul a CO<sub>2</sub> megkötés megoldására, mint például a felszín alatti mélyebb rétegekbe való beszajtolás. Azonban geológiailag a Föld csak igen kis része alkalmas az ilyen jellegű CO<sub>2</sub> elnyelésre. Ha a fosszilis készletek és az elnyelési helyszínek egymás közelében találhatók, jelenleg úgy tűnik a fosszilis forrásokból történő hidrogéntermelés költsége lehet a legalacsonyabb. Azonban, ha hidrogént szállítani kell, az jelentősen megnöveli a hidrogén árát. Hasonló földrajzi problémákkal kell szembenézni a megújuló energiaforrások esetén is. A nukleáris energiától eltérően a megújuló energiaforrások költsége nagymértékben függ a helyi adottságoktól.

A hidrogén tárolása nagyméretű földalatti tárolókban, napjainkban az egyetlen, kis költségű hidrogén-tárolási technológia (0.1-1.2\$/kg H<sub>2</sub>), de a tároló-berendezéshez történő szállítás költségeit is figyelembe kell venni. Ez rendkívül nagy lehet a decentralizált hidrogéntermelés esetén. Ráadásul egyelőre még nem nyert bizonyosságot, hogy minden egyes hajdani földalatti földgáztározó alkalmas lenne hidrogén tárolására is.

Amennyiben a hidrogén mellett hőre is szükségünk van, a hő előállításának költségeit is figyelembe kell venni. Atomerőművek kisebb költséggel biztosítják a hőt, mint a földgáztüzelésű fűtőberendezések. Jelenleg tehát, a hidrogén és hő egyidejűleg az atomerőműi előállítás során nyerhető ki a leggazdaságosabban.

A biotechnológiai H<sub>2</sub> termelés csak akkor tud versenyezni a földgázreformálással, ha az alapanyag biomassa ára 0 Euro/GJ vagy ez alatt van. Tehát egyelőre csak a hulladékokból illetve veszélyes hulladékokból (ahol bevétel származik az anyag átvételéből is) érdemes a mai technológiákkal hidrogént előállítani. A technológiai fejlesztések célja, hogy az előállított hidrogén árát csökkentse. Ebben az esetben – a földgáz addig prognosztizálható áremelkedését is figyelembe véve – a biotechnológiai eljárás önmagában is versenyképes lehet a többi technológiákkal.

Alapvetően elmondható, hogy a felhasználók igényei fogják meghatározni, hogy mely hidrogén előállítási technológiát kell/lehet gazdasági szempontból előnybe részesíteni. Mivel a felhasználói követelmények igen változatosak, várható, hogy más és más hidrogén előállítási módszerek válhatnak gazdaságossá a különböző felhasználók számára. Ez azzal is jár, hogy bármely új hidrogén-előállítási technológiának lehet speciális piaca, ahol versenyképessé válhat a többi módszerrel szemben.



#### 4.1.8 Kutatás-fejlesztés

A hidrogéngazdaságot érintő új technológiák kidolgozása innovatív hozzáállást követel meg. Alapvető cél Magyarország versenyképességének és a tudásalapú társadalom megeremtésének igénye, a magas hozzáadott értéket képviselő innovatív energetikai termékek gyártásának elősegítése és a termékek integrálása a hazai energetikai rendszerekbe. Ez az igény összhangban van az Innovációs törvénnyel is. Ösztönözni kell a területen megjelenni kívánó vállalatokat, hogy K+F tevékenységüket minél nagyobb mértékben fordítsák a hidrogén gazdaságot érintő új műszaki feladatok megoldására, beleértve a rendszerintegrációt is. Össze kell hangolni az alap-és alkalmazott kutatásokban résztvevő kutatóhelyek munkáját. Az erőforrások koncentrációjával lehetőség nyílik arra, hogy a közép-kelet európai térségben Magyarország vezető szerephez jusson a tüzelőanyag-cella és részegység gyártás egyes specifikus területein a legkülönbözőbb alkalmazásokban.

Ki kell kialakítani a hidrogén technológiák teljes vertikumára (elállítás, tárolás, szállítás, alkalmazás) az alapkutatással foglalkozók kritikus tömegét, akik célzott K+F tevékenységgel közvetlenül segítik az ipari résztvevők innovációs tevékenységét. Meg kell teremteni a kutatócsoportok műszerezettségét, a nagy-áteresztőképességű kísérleti módszerek alkalmazását, a kapcsolódó szakirodalom folyamatos bővítését és naprakészen tartását.

Az Európai Unió illetékes szervei döntést hoztak a tüzelőanyag-cellás technológiák, valamint a hidrogéngazdaság fejlesztési programjainak felgyorsítására. A 2009.07.02-án megjelent felhívás: A Tüzelőanyag-cellás és Hidrogénalapú Közös Technológiai Kezdeményezés (FCH-JTI) 140 millió Eurós pályázati felhívást tett közzé. A 29 projekt célja, hogy a tervezettnél 2-5 évvel korábban vigye piacra a tüzelőanyag-cellás és hidrogén-üzemanyag technológiákat. A mostani, immár második felhívás legfontosabb területei: járműgyártás, tárolás, és szállítás, helyszínen telepített áramellátó berendezések, a tüzelőanyag-cellák hatásfokának és élettartamának növelése, ezáltal a beruházási és üzemeltetési költségek csökkentése, széleskörű felhasználás az erőművektől a laptopokig. A fejlesztési program költségelőirányzata 2014-ig 1 milliárd Euró! A Tüzelőanyag-cellás és Hidrogénalapú Közös Technológiai Kezdeményezés (FCH-JTI) 2008.10.14-én jött létre. Az Európai Közösségen belül 64 vállalkozás, multinacionális konszernek, valamint kis-és közepes vállalkozások képviseltetik magukat a „European Industry Grouping for the FCH-JTI” (NEWIG) csoportosulásban. Ezen kívül 54 egyetem és kutatóhely képviselteti magát a N.ERGHY kutatási szervezet keretében. A programban kb. 2000 kutató vesz részt. Sajnálatosan a visegrádi országok közül egyedülként hazánk ezen szervezetek munkájában nem vesz részt.

A hazai K+F tevékenység fő feladatai közül az alábbiakat kell kiemelni: (i) az eljárások hatékonyságának és gazdaságosságának növelése új anyagok kifejlesztésével, (ii) a tüzelőanyag-cellák energiasűrűségének növelése, (iii) a legfontosabb műszaki jellemzők (élettartam, térfogat, teljesítmény) növelése. A fejlesztés eredményessége egyrészt a K+F feladatok számára rendelkezésre álló pénzüsszegektől, másrészt a kialakítandó K+F infrastruktúra hatékonyságától függ. Törekedni kell az EU idevonatkozó K+F programjaihoz való csatlakozáshoz mind intézményi, mind kutatóhelyi szinten egyaránt.

## 4.2 A hidrogéntermelés jövőképét befolyásoló hatótényezők, jövőképi jellemzők

### 4.2.1 Alapanyag ellátás

Magyarország mind a fosszilis, mind a nukleáris primer energiaforrások tekintetében importra szorul. A teljes energiaigény (2005-ben 1040 PJ/év) mintegy 70%-a import, amelynek aránya várhatóan évről-évre tovább növekedik. Napjainkban Magyarország energiaigényének csak



alig 4% a megújuló energiahordozók aránya. A villamosenergia-termelésen belül ez utóbbi értéke 4.5%.

Azt, hogy van-e, lesz-e elegendő biomassza a biohidrogén gyártáshoz, a biomassza reformálásához vagy az etanol előállításához nehéz megmondani, mert a különböző technológiák ugyanazért a biomassza alapanyagért versengenek. Az energia növények termőterületét alapvetően az határozza meg, hogy mekkora terület marad az élelmiszer ellátás biztosítása után ezekre a növényfélésekre.

A számítások szerint a biomassza termelés a 2004 évi 72 Mtoe-ről (millió tonna olajegyenérték) 2020-ra minden nehézség nélkül felfuthat a jelenleginek mintegy háromszorosára. A növekedés legnagyobb lehetősége a mezőgazdaságban rejlik, az EU 27 országában a becslések szerint 20-40 millió hektár vetésterületet lehet energetikai célú növény termelésre fordítani az európai élelmiszer ellátás veszélyeztetése nélkül.

#### 4.2.2 Ipari háttér

Magyarországon jelenleg csak a MOL Százhalombattai finomítójában adott a hidrogén előállítás infrastruktúrája a nehézolajok parciális oxidációja révén. A többi előállító (Borsodchem, Huntsman) gyártókapacitása kicsi. Nagyobb mennyiségű hidrogén felhasználás esetén további üzemek telepítése szükséges. Ahhoz, hogy a megtérülési idő 5 éves legyen a termelt hidrogént ~1.5 €/kg áron kell eladni, ami jelenleg tükrözi is a világszintű realitásokat. A paksi atomerőmű révén a nukleáris alapú hidrogéntermelés lehetősége is nyitott. A hidrogéntermelés beindításának előfeltétele a hidrogénre alapuló technológiák, alkalmazások elterjedése és fejlődése. Helyesebben, a hidrogén termelés kapacitásának bővítése, valamint a felhasználás mértékének növekedése egymást kölcsönösen elősegítő folyamat.

Kétségtelen tény, hogy a mai megújuló forrásokon alapuló hidrogéntermelő eljárások nem érik el a hagyományos földgáz alapú reformálás hatékonyságát, ami 80% körül van. A biológiai eljárásokat a termokémiai biomassza átalakítási eljárással összehasonlítva az utóbbi a hatékonyabb (70%). Ez elsősorban annak tudható be, hogy a biotechnológiai eljárásokban csak a biomassza egy része alakul át H<sub>2</sub>-vé, a termokémiai eljárásnál viszont a teljes biomassza tömeg energetikailag hasznosítható.

A "hidrogén technológiák" folyamatos fejlesztése lehetőséget nyújt a technikailag legmegfelelőbb szállítási és tárolási infrastruktúra kialakítására. Ma még nem rendelkezünk kellő ismeretekkel ahhoz, hogy a lehetséges technológiai variációk közül választani lehessen. Következésképp a gazdaságosság kérdése teljes mértékben nyitott.

A technológia folyamatos fejlesztésével, valamint a tömeggyártás beindulásával 5-10 éven belül a tüzelőanyag-cellás energiatermelés várhatóan szinte minden területen gazdaságossá válik. Már napjainkban is léteznek olyan példák a telekommunikáció területén alkalmazott szünetmentes tápegységeknél, ahol a gazdaságossági megtérülés a beruházási érték után 1-3 év!

#### 4.3 A különböző hidrogén előállítási technológiákhoz kapcsolódó közép- és hosszú távú stratégiai kutatási feladatok

##### Kémiai átalakítások

- Katalizátorok, adszorbensek, és membrán reaktorok fejlesztése a hidrogén előállítási és tisztítási eljárásokhoz;
- A hidrogéntermelő eljárások irányítás- és biztonságtechnikai kérdései, szabványok és műszaki ajánlások, előírások kidolgozása;



- A telepített alkalmazásokban a hőmérséklet-kompatibilis tüzelőanyag tisztítás, különösen az elgázosításból és fermentációból származó biogázokkal kapcsolatban;
- Napenergiát illetve nukleáris energiát alkalmazó eljárások fejlesztése.

#### **Biológiai hidrogén előállítás**

- Sötét fermentációs technológiák fejlesztése
- Foto-fermentáció, közvetett és közvetlen vízbontás fejlesztése
- Biomimetikus vagy bio-inspirált megközelítések fejlesztése

#### **Elektrolízissel történő hidrogén előállítás**

- Membránok ionos ellenállásának csökkentése
- Elektrolizáló rendszerek fejlesztése
- Anyagkutatás magas hőmérsékletű és nagynyomású elektrolizálókhoz
- Váltóáram alkalmazása víz elektrolízisére

#### **Fotovoltaikus és fotokatalitikus hidrogén előállítás**

- Fotodegradációra nem érzékeny, kis tiltott sáv szélességű fotokatalizátorok fejlesztése

### **4.4 Hidrogén tárolás és szállítás jövőképét befolyásoló hatótényezők, jövőképi jellemzők**

#### **4.4.1 Általános megfontolások**

Az Európai Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Platform (HFP) hosszú távú jövőképe szerint 2030. és 2050. között a hidrogén növekedő piaci részesedése speciális infrastruktúra kialakítását kívánja meg mind az előállítás, mind a tárolás és szállítás számára. Mind a központosított, mind a helyben telepített metán gőzreformáló egységek létesítésével lehet számolni. Nagykapacitású, azaz 100 tonna/nap mennyiséget meghaladó cseppfolyósító egységek elterjedése várható. A tömegigények kielégítésére csővezeték hálózat és az ahhoz kapcsolódó infrastrukturális eszközök kerülnek kiépítésre, amelyek összeköttetésben lesznek az új, nagykapacitású hidrogéntermelő üzemekkel. A nagykiterjedésű csővezeték hálózatokba csatlakoznak a megújuló energiaforrásokon alapuló decentralizált hidrogéntermelő egységek is, a nagyobb helyhez kötött felhasználók, töltő központok és üzemanyag-töltő állomások valamint a háztartási, kereskedelmi és ipari végfelhasználók. A vezetékhálózat a jelenlegi földgázhálózat infrastruktúráját fogja kihasználni, amelyet a hidrogén számára megfelelően átalakítanak. Európa-szerte néhány száz nagynyomású, gázhalmazállapotú hidrogén (CGH<sub>2</sub>) és cseppfolyós hidrogén (LH<sub>2</sub>) üzemanyag-töltő állomás kialakítása várható, főként a városi területeken. A töltőállomásokon kialakított infrastruktúra biztosítani fogja a rövid idő alatti „tankolást” hidrogénnel.

A hidrogén újszerű anyagokban történő tárolására gazdaságos és technikailag kiforrott eljárások és megoldások születnek. Az új anyagok előállítására, forgalmazására és újrahasznosítására új, speciális iparág fog születni. A vezetékek, tartályok és tároló közegek anyagaival kapcsolatos főbb kérdéseket megoldják. A szabványosított műszaki eszközök (hidrogén szenzorok, nyomásmérők, nagynyomású szelepek, mikro szivattyúk, stb.) széles körben elterjednek, aminek következtében a kutatási erőfeszítéseket a szállítási és tárolási rendszerekben használt anyagok tömegtermelésének korszerűsítésére és folyamatos fejlesztésére lehet fordítani.

A 2015 előtti járműflották tapasztalataiból kiindulva megvalósítják a 700 bar nyomáson történő hidrogéntárolást kompozit üzemanyag-tartályokban, amelyekben a hidrogén



tömegaránya eléri a 4-6 %-ot. A nyomás alatti hidrogéntárolás mellett a fedélzeti kriogén folyékony hidrogéntárolás is szóba kerülhet, feltéve hogy a biztonsági, a hidrogénkiforrással valamint a megfelelő tank lehetséges tömegtermelésével kapcsolatos kérdéseket megnyugtatóan megoldották. A hidrogéntank ára a benzintartály árához viszonyítva egy nagyságrenddel lesz nagyobb (€125/tank).

A helyhez kötött és mozgatható alkalmazásokban az első generációs fém-hidrid tartályt – amely már a 2000-es évek elejétől áll rendelkezésre – felváltják a második generációs tartályok vagy patronok, amelyek kifejlesztése az újszerű hidrogéntároló anyagok megjelenésének köszönhető. A legutóbbi laboratóriumi eredmények alapján 9 %-os hidrogén tömegarány elérése jósolható 2015-re. Jelenleg is léteznek olyan többkomponensű kémiai hidrid rendszerek, amelyekben hidrogén tömegaránya meghaladja a 10 %-ot.

A biztonságos hidrogén felhasználást lehetővé tevő kiegészítő eszközök rendelkezésre fognak állni, amelyek használatára az elosztási csomópontokban, az üzemanyagtöltő állomásokon és végfelhasználóknál kerül sor. Azonban a hidrogénszenzorok, nagynyomású szelepek, folyékony hidrogén kezeléséhez szükséges mikroszivattyúk további fejlesztést igényelnek

#### 4.4.2 Jövőkép Magyarországon

A hidrogéntárolás és hidrogénszállítás magyarországi jövőjét befolyásoló tényezőket tekintve az alábbiakat kell kiemelni:

- A gáznemű és cseppfolyós tárolási és szállítási technológiák adottak, ezek továbbfejlesztése – főként az új szerkezeti anyagok kidolgozása tekintetében - a nagy nemzetközi kutatóintézetek feladata. A magyarországi cél viszont az, hogy figyelemmel kísérjük az ezen a területen elért és elérendő külföldi eredményeket. A vonatkozó szabványok és biztonsági előírások megalkotása és betartása is komoly hazai feladatot jelent.
- A szilárd hidrogéntárolás területén elért eredmények tükrében célszerű a megkezdett kutatásokat folytatni bevonva ezen K+F tevékenységekbe mind az akadémiai kutatóintézeteket mind a hazai KKV-et.
- A hazai akadémiai kutató intézetekben nagy hagyománya van az új vegyületek szintézisének. Ezt a háttérrel fel lehet használni új anyagok előállítására, illetve a meglévő anyagok továbbfejlesztésére.

#### **A hidrogéntárolás és hidrogénszállítás tématerület közép- és hosszú távú stratégiai kutatási feladatai:**

- Az Accusealed Kft. által kidolgozott hidrogéntermelő - tároló berendezés továbbfejlesztése;
- Szénalapú nano-struktúrált anyagok hidrogén-megkötőképességének vizsgálata különös tekintettel az adalékok hatásának tanulmányozására (kapcsolódva az Accusealed Kft. Kutatási témájához);
- A hidrogén kimutatására alkalmas nagy-érzékenységű szenzorok fejlesztése;
- Hidrogén diffúzió vizsgálata különböző anyagokban különös tekintettel a csővezetékek, tárolók, tömítések anyagaira;
- A nagynyomású hidrogén atmoszféra hatásának vizsgálata az alkalmazott anyagok öregedésére;
- Új szintézismódszerek kidolgozása a legalkalmasabb kémiai hidridek előállítására;
- Kombinatorikus és nagyátersztő-képességű módszerek kidolgozása a fenti feladatok elvégzésére.



#### 4.5 A tüzelőanyag-cella gyártásának jövőképét befolyásoló hatótényezők

##### 4.5.1 A tüzelőanyag-cellás alkalmazások elterjedésének mértéke

A közlekedési alkalmazás, azaz tüzelőanyag-cellával működő járművek terén állami kézben levő vállalatok járműflottái jelenthetik ezen alkalmazás bevezetését. Ehhez jelentős politikai akarat és kormányzati támogatás szükséges. Meg kell vizsgálni a magánkézben lévő magyarországi nagyvállalatok hajlandóságát is a tüzelőanyag-cellás alkalmazások bevezetésére. A tüzelőanyag-cellák elterjedése természetesen pozitív visszacsatolás révén tovább fogja erősíteni a további innováció és K+F tevékenység szükségességét.

##### 4.5.2 A tüzelőanyag rendelkezésre állása

Ez elsősorban a hidrogén infrastruktúrával, a tárolással és szállítással kapcsolatos hatótényező. Azaz, amint ezek a problémák megoldódni látszanak, az erős pozitív visszacsatolással fog hatni a tüzelőanyag-cellák és a hozzájuk kapcsolódó alkalmazások elterjedésére. A járműiparban küszöbértéknek lehet tekinteni, hogy az üzemanyag-töltő-állomások kb. 1/3-ánál lehessen hidrogént is tankolni.

##### 4.5.3 A tüzelőanyag minőségének kérdése

Célul tűzhető ki a szennyezőkre kevésbé érzékeny tüzelőanyag-cella típusok kifejlesztése. Az ilyen típusú magas hőmérsékletű PMFC-k megjelenése jelentősen felgyorsítaná a hidrogéngazdaság előretörését.

##### 4.5.4 Tudományos-műszaki áttörések

Az alábbi műszaki feladatok megoldása ugrásszerűen elősegíthetik a tüzelőanyag-cellák elterjedését.

- A PEMFC kötegek anyagainak részvételével végbemenő nemkívánatos mellékreakciók visszaszorítása és a mellékreakciókból származó szennyezők hatékonyság csökkentő hatásának vizsgálata.
- A cellaköteg vízgazdálkodásának hibájából eredő teljesítménycsökkenés megoldása.
- Légköri szennyezők negatív hatása, a tüzelőanyag-cella degradációja.
- A platina magas ára és a belőle rendelkezésre álló szűk készletek. A tüzelőanyag-cellák költségeinek 40%-a platina katalizátorhoz köthető. Szükségszerűen csökkenteni kell a katalizátorok platina tartalmát, továbbá platina-mentes katalizátorokat kell kidolgozni.
- Ritkaföldfém elemek szűk készletei. Az új hatékony elektromotoros motormeghajtások, amelyeket a tüzelőanyag-cellás járművekhez terveznek, igénylik a ritkaföldfémeket. A ritkaföldfémek szükségesek a szupererős mágnesek kialakításához, amelyeket a miniatürizált mechanikai komponensekben, az elektronikus eszközökben, nano-anyagokban és katalitikus átalakítóknak használnak.

#### 4.6 Tüzelőanyag-cellák közép- és hosszú távú stratégiai kutatási feladatai

##### 4.6.1 A PEMFC-k kutatási feladatai

- Magas hőmérsékleten (120 °C felett) működő, megnövelt CO ellenálló-képességű, nagy aktivitású és hosszú élettartamú, olcsó, kis platina tartalmú illetve platina-mentes katalizátorok fejlesztése;



- Új, olcsó, tartós, kiváló vezetőképességű magas hőmérsékleten és csökkentett mennyiségű víz jelenlétében működő membránok fejlesztése.

#### 4.6.2 DMFC-k és DEFC-k kutatási feladatai

- Nagy aktivitású és hosszú élettartamú, olcsó, kis Pt tartalmú illetve Pt-mentes katalizátorok fejlesztése;
- A tüzelőanyag-cella komponensek miniatürizálása;
- Metanol és etanol mérgezésre kevésbé érzékeny katód katalizátorok;
- Tökéletesebb folyadék/gázkezelés és elválasztás;
- Csökkentett metanol és etanol áteresztőképességű új membránok.

#### 4.6.3 MCFC-k kutatási feladatai

- Csökkentett degradáció és karbonát kiürülés;
- MCFC-hibrid rendszerek fejlesztése;
- Etanol pre-reformálása.

#### 4.6.4 Kutatási feladatok minden technológia számára

- Miniatűr szenzorok és szabályozók;
- A rendszerkomponensek integrálása és egyszerűsítése;
- A kötegek komponenseinek újrafelhasználása;
- Magas teljesítménysűrűség biztosítása adott környezeti körülmények között;
- Hő-gazdálkodás javítása;
- Transzportfolyamatok tanulmányozása a tüzelőanyag-cellákban;
- Tintasugaras nyomtatási technológia kidolgozása MEA, illetve katalizátorral módosított gáz-diffúziós réteg előállítására;
- A bipoláris lemezek, a diffúziós rétegek és tömítések anyagainak fejlesztése. A fejlesztések során javítandó a bipoláris lemezek elektromos vezetőképessége, árammal való terhelhetősége, hővezető képessége, elektrokorrózióval szembeni ellenálló képessége, növelendő az élettartama;
- A kötegek minőségbiztosítására szolgáló új analitikai módszerek fejlesztése, a degradáció és a meghibásodási mechanizmusok modellezése a kritikus pontok azonosítása céljából. Működési hibák vizsgálata. Élettartam vizsgálatok.



## 5 A stratégiai kutatási feladatok horizontális áttekintése

### 5.1 Bevezetés

A tanulmány egyes fejezetei önálló egységeket alkotnak. A továbbiakban, a vonatkozó belső tartalom összefoglalása egységes rendező elvek szerint történik, amelyek az alábbiak:

- a kutatások jelenlegi állapotának összefoglalása,
- a jelenleg rendelkezésre álló kapacitások bemutatása, továbbá
- piacorientált, alkalmazás specifikus kutatási javaslatok megfogalmazása, amelyek egyértelműen az eddig elért eredményekre épülnek.

Az egyes önálló fejezetekhez tartozó kutatási eredmények vagy termékek a vonatkozó értéklánc elemét képezik. Szükségszerű, hogy a teljes értéklánc egy adott technológiai vertikumot testesítsen meg.

Az egyedi szakterületek egymásra épülésének bemutatása a horizontális áttekintés, amelynek keretén belül teljes értéklánccokat kívánunk megfogalmazni, vagyis azon átfogó íveket mutatjuk be, amelyeknek végeredménye magas hozzáadott értékű termékeket testesít meg. Adott értékláncon belül előfordulhatnak hiányzó elemek, hiszen a feladatok komplexek, a speciális szakterület műveléséhez szükséges kapacitásokkal és forrásokkal jelenleg nem rendelkezünk. Megítélésünk szerint ezen elemek pótlása vagy új létesítésű, jelentős ráfordításokat igénylő hazai K+F tevékenység megszervezésével és működtetésével, vagy a nemzetközi kooperációs lehetőségek kihasználásával lefedhető. Az említett elemek célorientált kombinációjának alkalmazása is számottevő előnyökkel járhat.

Jelen fejezetben a FAFC és SOFC típusokhoz kapcsolódó kutatási feladatok vizsgálatával nem foglalkozunk, hiszen megítélésünk és piaci ismereteink alapján az FAFC esetében a feladatok egy jelentős részét már megoldották, a vonatkozó külföldi gyártók a fejlesztéseket szigorúan saját kezükben tartják. Szakirodalmi ismereteinkből adódóan a SOFC-hez köthető kutatási feladatok minden tekintetben túlnyúlnak a hazai lehetőségek keretein. Mindkét tüzelőanyag-cella típus esetében igaz, hogy adott készüléktípus alkalmazásának fogadása, a berendezés üzemeltetése lehet a mi feladatunk. Ez utóbbi eset megvalósítása speciális szakképesítéssel rendelkező, üzemeltetői mérnöki szintet feltételez.

### 5.2 Tüzelőanyag-termelés

A centralizált hidrogéntermelés esetében a fosszilis eredetű hidrogén előállításának és tisztításának témakörével jelen tanulmány keretében nem foglalkoztunk, azt az ipar által lefedett, meglévő tényként kezeljük, megjegyezvén, hogy adott esetben az így előállított hidrogént az alkalmazások szempontjából figyelembe kell venni, hiszen meglévő, részben kihasználatlan kapacitásokról van szó.

A tüzelőanyag-cella típusok változatosságából adódóan a tüzelőanyag-termelés témakör értelemszerűen magába foglalja a metanol és az etanol előállításának technológiáját is.

A fenntarthatósági kritériumok figyelembe vétele mellett alapvetően a megújuló bázison alapuló tüzelőanyag-termelő eljárásokra célszerű koncentrálni. Az értéklánc-képzés szempontjából konkrét kutatási javaslataink erre a témakörre is kiterjednek.



### 5.2.1 Hidrogéntermelés

A hidrogéntermelés kutatásával jelenleg több hazai kutatócsoport is foglalkozik. Biomasszából speciális, a kutatás tárgyát képző fermentációs technológia alkalmazásával hidrogénben gazdag gázelegy is előállítható. A folyamat melléktermékeket is produkál, tehát a tüzelőanyag-cellák alkalmazásának szempontjait figyelembe véve a gázelegy tisztításáról és kondicionálásáról is gondoskodni kell. Ezen feladatok megoldására irányuló kutatások biológiai, fizikai és kémiai elveket használnak fel. Az említett szakterületeken folyamatban levő kutatási és demonstrációs projektekkel rendelkezünk.

Hidrogéntermelés a víz biofotolízise alapján is történhet. Ez a témakör az alap kutatások fázisában van. Sikeres megoldása a PEMFC típusú tüzelőanyag-cellák gyakorlati elterjedését is pozitívan befolyásolhatja.

Adott technológiai körülmények között a víz elektrolízise során nagynyomású hidrogén nyerhető. Ebben az esetben adott, piacérett, kereskedelmi forgalomban már kapható készülékről van szó. Jelenleg az ezzel a módszerrel termelhető hidrogén mennyisége laboratóriumi igények kiszolgálására alkalmas.

A hidrogéntermelés nukleáris módszerrel történő megvalósítására irányuló kutatások jelenleg is folynak.

Figyelemre méltó, hogy jelentős, nemzetközileg is elismert eredményeket hozó kutatási kapacitásokkal rendelkezünk, amelyek a mérnöki tudományokat művelők körét is lefedik.

Kiemelt jelentőségű lehet a kombinált biokémiai és kémiai eljárások adta lehetőségek kihasználása, hiszen egy adott technológiai láncban mindkét alapvető módszer alkalmazása segítségünkre lehet, továbbá így lehetőség nyílik különböző tüzelőanyag-termékek szelektív előállítására is. Ilyen jellegű projektek szervezése esetén a kutató műhelyek projektorientált együttműködésének elősegítése döntő fontosságú.

Egyes adott témakörökhöz rendelhető rendszerintegrációs kapacitásokkal jelenleg nem rendelkezünk, de várhatóan az alap kutatások előrehaladásával párhuzamosan ezek szükségszerűen kialakulnak, de az is előfordulhat, hogy a kutatócsoportok létrehozásáról külön kell gondoskodni.

A hidrogéntermelésre vonatkozó, értéklánc szemléletű kutatási javaslatunk az alábbiak:

- A hidrogéntermelés esetében alapvető cél a PEMFC-k működtetéséhez szükséges mennyiségű és minőségű tüzelőanyag előállítása. A felhasználás orientált értéklánc-képzés alapján csak a személyi feltételek szempontjából rendelkezünk kiterjedt és adott kutatási kapacitásokkal. Ez azt jelenti, hogy a tüzelőanyag előállítását, tisztítását, a vonatkozó rendszerintegrációs feladatokat kutatóink elvileg meg tudják oldani és egyben rendelkeznek a demonstrációs projektek kivitelezéséhez szükséges elvi ismeretekkel is.
- Az MCFC-k alkalmazása esetén a tüzelőanyag-tisztítás specifikációs körülményei lényegesen eltérnek az előbbi esettől. A vonatkozó személyi feltételek alapvetően adottak.



### 5.2.2 Etanol- és metanoltermelés

A teljesség figyelembe vétele mellett az etanol- és a metanol termelésre vonatkozó, értéklánc szemléletű kutatási javaslatunkat is összefoglaljuk:

- Az előzőekben megfogalmazott alapvető megállapításaink ebben az esetben is helytállóak, miszerint rendelkezünk a szükséges elvi ismereteket megtestesítő kapacitásokkal. Meg kívánjuk jegyezni azokat a kiegészítő tényeket, hogy az MCFC-k alkalmazásához szükséges metanol- reformer már kereskedelmi termék, míg az etanol-reformer fejlesztése ismereteink szerint még a megoldandó feladatok körébe tartozik. A megújuló bázison alapuló energiatermelés szempontjából ez utóbbi megközelítésnek kiemelkedő perspektivikus szerepe lehet.

## 5.3 Tüzelőanyag-tárolás és szállítás

Egyértelmű tény, hogy a megtermelt tüzelőanyagot annak halmazállapotától és egyéb kémiai és fizikai tulajdonságaitól független módon kell tárolni és szállítani. A továbbiakban a témakörhöz kapcsolódó technológiák jelenlegi állapotát tekintjük át.

### 5.3.1 Hidrogéntárolás és szállítás

A hidrogén gáz és cseppfolyós halmazállapotú tárolásának és szállításának kutatásával jelenleg hazánkban nem foglalkoznak. A gáz halmazállapotú, palackban vagy tartályban történő szállítás ipari méretekben már megoldott, a cseppfolyós formában tárolt termék szállításának megoldása pedig már folyamatban van. A csővezetékben történő szállítás kérdése gázhalmazállapotban már részben megoldott, a cseppfolyós halmazállapotban történő szállítás kérdése kutatások tárgyát képezi. Megítélésünk szerint az utóbb említett témakörre kutatási kapacitásokat koncentrálni nem érdemes, hiszen nálunk sokkal tökélesebb országok – USA, Kanada – a hiányzó láncszemek alap- és alkalmazott kutatására jelentős pénzeszközöket fektettek be, és folyamatosan finanszírozzák a futó projekteket.

Kiemelkedő tény, hogy manapság Magyarországon a fémhidridekben történő tárolási és szállítási lehetőség kutatása az alkalmazott kutatások fázisában van. A hazai fejlesztések eredményeit különböző kapacitású, működőképes modellek bizonyítják. A technológia alkalmazásában rejlő lehetőségek a gyakorlat számára is igen értékesek.

Az előző gondolatsorban leírt eredményeket adekvát kutatások és felszerelt kutatóhelyek nélkül nem lehetett volna elérni. Kiemelendő, a hazai anyagkutatások fejlett volta, mind a személyi, mind a tárgyi feltételek vonatkozásában.

Egyértelmű, hogy kutatási javaslatunk alapvetően a meglévő eredményekre építenek, tehát a hidrogén fémhidridekben történő tárolása és szállítása a további kutatások elsődleges célja.

A kémiai hidridekben történő tárolás és szállítás kérdéskörének kutatása is stratégiai cél lehet, hiszen az ehhez szükséges szellemi kapacitásokkal kutatóhelyeink személyi állománya rendelkezik.

### 5.3.2 Etanol- és metanol tárolás és szállítás

Az etanol- és a metanol tárolás és szállítás kérdéskörével jelen tanulmányban külön nem foglalkozunk, mivel ezt a feladatot - egy adott technológiai szinten - műszaki szempontból már megoldottnak tekintjük.



#### 5.4 Tüzelőanyag-cellák

A tüzelőanyag, azaz a hidrogén, az etanol és metanol energetikai hasznosítása különböző típusú tüzelőanyag-cellákban történik. A tanulmány egyértelműen rámutatott arra a tényre, hogy tüzelőanyag-cella katalizátorok alkalmazása nélkül nem létezik, hiszen mind az anód, mind a katód folyamat katalitikus reakciókra épül. Meg kell említeni, hogy egyes esetekben a tüzelőanyag processzálás is csak specifikus katalizátorok jelenlétében zajlik le. Általánosságban is kijelenthetjük, hogy a tüzelőanyag-cellák működésének hatékonyságát és élettartamát az abban alkalmazott katalizátorok anyagjellemzői döntően befolyásolják.

A tüzelőanyag-cellák és azok részegységeinek kutatásában hazai eredményeink vannak. Az egyes PEMFC és DMFC típusok esetében az elemi cellákban alkalmazható katalizátor-kutatás eredményeinek háttérében egy hazai fejlesztésű, kombinatorikus és egyben nagy áteresztő képességű módszer alkalmazása áll. Fontos tény, hogy ez a módszer egyéb célfüggvények kielégítésének érdekében is sikeresen alkalmazható, tehát további cellatípusok fejlesztésének az első, és talán legfontosabb lépéséhez hatékony kutatási módszerrel, azaz technológiai háttérrel rendelkezünk.

Az elemi cellák fejlesztésével eddig hazánkban egyetlen kutatócsoport sem foglalkozott, tehát a témakör művelése – cellatípustól függetlenül – hiányzó láncszemet alkot. Beszállítótól származó PEMFC elemi cellákból építhető cella-köteg, azaz stack konstrukcióval, annak tüzelőanyag ellátásával, továbbá a hozzá kapcsolódó mérés- és irányítástechnikai feladatok megvalósításával egy mérnökcsoporthoz foglalkozott, és jelenleg is eredményesen foglalkozik az országban.

PEMFC-re épülő szünetmentes tápegységek fejlesztése esetén a rendszerintegráció a stack tulajdonságainak és az adott felhasználói környezet specifikációs igényeinek megfelelő DC/DC vagy DC/AC inverter tervezését és kivitelezést jelenti. Fix telepítésű szünetmentes tápegység esetében rendszerintegrált, kereskedelmi célú projekt jelenleg is fut, további demonstrációs projektek pedig az előkészítés fázisában vannak. Közlekedési alkalmazás esetében is működőképes demonstrációs projektről beszélhetünk.

PEMFC esetében a kutatási kapacitások meglétét az előzőekben ismertetett eredmények egyértelműen alátámasztják.

A katalizátorfejlesztési technológia a DMFC és a DEFC esetében is adott, hiszen PEMFC-hez hasonló jellegű problémahalmaz megoldásáról van szó.

Az előzőekben leírtakhoz képest új elem az MCFC esete, hiszen egyes megújuló energiaforrások alkalmazásához szükséges katalizátortípusok kifejlesztéséhez a kutatási kapacitás adott. Továbbá az MCFC esetében a kereskedelmi forgalomban már kapható stack-konstrukció villamos valamint hőtechnikai rendszerintegrációs feladatainak megoldása – adott specifikációs környezetnek megfelelő – mérnöki tevékenységet igényel. A vonatkozó kapacitással rendelkezünk. Fix telepítésű demonstrációs projekt létrehozásához és annak üzemeltetéséhez szükséges elvi ismeretekkel és külföldön szerzett gyakorlati tapasztalatokkal egy adott mérnökcsoporthoz már rendelkezik.

A PEMFC-k esetében a hidrogén eredetétől függetlenül a kutatási feladatok adottak, a jelenlegi szűk keresztmetszetet az elemi cella konstrukciója és előállítási módja jelenti. Ezen kérdéskör részleges megoldása adott teljesítménytartományban licencvásárlással már megtörtént.

Megújuló tüzelőanyagok, azaz a biogáz vagy az etanol alkalmazása a tüzelőanyag-tisztítás, kondicionálás és processzálás kutatásának lehetőségét veti fel.

Az említett feladatok megoldása alapvetően stratégiai kutatásokat lefedő értékláncokat testesít meg.



A DMFC-re épülő rendszerintegrált stack korlátozott teljesítménytartományban már kereskedelmi termék. Nagyobb teljesítménytartományokban az elért eredményekre támaszkodó alkalmazásorientált készülékfejlesztés várhatólag már rövidtávon is kereskedelmi forgalomba hozható terméket eredményezhet.

Megújuló energiaforrás alkalmazása esetében a DEFC kutatásának és fejlesztésének kiemelkedő piaci szerep juthat, hiszen a berendezés folyékony halmazállapotú etanolt fogyaszt. Ebben az esetben a teljes értéklánc mentén a K+F folyamatokat kell megvalósítani.

Az MCFC-re vonatkozó kutatási feladatok megoldása kizárólag egy adott stack-gyártóval való kooperáció esetén lehet sikeres, hiszen egy meglévő stack specifikációs környezete egyértelműen definiálja a fejlesztés tárgyát képző etanol-reformerrel szemben támasztott műszaki követelményeket. A cellatípusból adódóan nagy hatásfokú, fix telepítésű CHP alkalmazásokra lehet koncentrálni a fejlesztési kapacitásokat. Ezek a berendezések már középtávon a decentralizált energiatermelés alapberendezései lehetnek.

Továbbá a tüzelőanyag flexibilitás kihasználása is célfüggvényként szerepelhet, hiszen a geotermikus források feltárása közben jelentős metántartalmú kísérőgáz is felszabadul. Megfelelő gáztisztítási és kondicionálási technológiát alkalmazva a metán energiataralma az MCFC-technológia segítségével hasznosítható. A bio- és a depóniagáz energetikai hasznosítása saját fejlesztésű tisztító- és kondicionáló rendszer alkalmazásával megoldható.

A rendszerintegrációs feladatokat a tüzelőanyag fajtájától függetlenül, az adott CHP alkalmazás igényeihez illesztve lehet és kell megoldani.

## 5.5 Értéklánc-képzések

Értéklánc-képzés alatt a magas hozzáadott értéket megtestesítő, a teljes technológiai folyamat megvalósításához szükséges elemek halmazát értjük. A tanulmány esszenciális mondanivalóját, azaz a különböző egyedi kutatási folyamatok átfogó összefüggéseit két különálló, és egymással szoros logikai kapcsolatot mutató táblázatban foglaltuk össze. A két táblázat együttes vizsgálata rámutat az értéklánc-képzés összetevő elemeire, hiszen egyértelmű tény, hogy adott tüzelőanyag, és annak előállítási, tárolási, valamint szállítási módja az alkalmazható tüzelőanyag-cella típusal szoros kölcsönhatást mutat.

Az 5.5-1 táblázat üzenetének kiinduló állapota, a gyakorlati alkalmazások szempontjait szem előtt tartó, belépő anyagáramok színes palettája. A tüzelőanyag-termelés és előkészítés a vonatkozó kondicionálási és irányítástechnikai folyamatok alapján valósul meg, amelyek alatt a táblázatban szereplő alaptudományok specifikus alkalmazásait értjük. Az adott technológiai folyamat végterméke a kondicionált tüzelőanyag, amelynek szállításáról és tárolásáról is gondoskodnunk kell. A táblázaton belül alkalmazott szimbolikus jelölésrendszer a reális és a tanulmány releváns fejezeteiben részletesen bemutatott technológiai kapcsolatokat rendeli egymáshoz.



Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Nemzeti Technológiai Platform  
STRATÉGIAI KUTATÁSI TERV

KUTATÁS-FEJLESZTÉSI ÉRTÉKLÁNCOK

5.5-1 táblázat

		TÜZELŐANYAG TERMELÉS ÉS ELŐKÉSZÍTÉS				TÜZELŐANYAG TÁROLÁS ÉS SZÁLLÍTÁS						TÜZELŐANYAG-CELLA FEJLESZTÉS ÉS ALKALMAZÁS						
		KONDICIONÁLÁSI ÉS IRÁNYÍTÁSTECHNIKAI FOLYAMATOK				ANYAGTUDOMÁNY ÉS IRÁNYÍTÁSTECHNIKAI FOLYAMATOK						KÖZLEKEDÉS			HORDOZHATÓ	FIX TELEPÍTÉSŰ		
TÜZELŐANYAG ELLÁTÁS, BELEPŐ ANYAGÁRAMOK		BIOLOGIAI	BIOKÉMIAI	FIZIKAI	KÉMIAI	TÜZELŐANYAG ELLÁTÁS KILÉPŐ ANYAGÁRAMOK						TELEPÍTÉMÉNY TARTOMÁNY			néhány Watt-tól a kW-os nagyságrendig			
						GÁZ HALMAZÁLLAPOTBAN NYOMÁS ALATT	CSEPPFOLYÓS HALMAZÁLLAPOTBAN	KÖTÖTT FORMÁBAN, FÉM-HIDRIDKÉRBEN	KÖTÖTT FORMÁBAN KÉMIAI HIDRIDKÉRBEN	KÖTÖTT FORMÁBAN FOLYADÉKOKBAN	P<25 kW	25<P<100 kW	P>100 kW	P<5 kW		5<P<50 kW	P>50 kW	
FOSSZILIS	FÖLDGÁZ				F1,F2													
	PROPÁN				F1			F1	F1									
	KISÉRŐGÁZ				F1													
	IPARIGÁZ				F1													
	GÁZOLAJ				F1													
	LOG. TÜZELŐA.				F1													
MEGÚJULÓ	BIOMASSZA	M1				M1: BIOHIDROGÉN			M1									
		M2				M2: BIOGÁZ	M2											
		M3				M3: DEPÓNIAIGÁZ	M3											
		M4				M4: METANOL		M4										
		M5				M5: ETANOL		M5										
	VÍZ	V1			V1	V1: HIDROGÉN			V1	V1							M5	
ÉLETCIKLUS ANALÍZIS																		
RENDSZERINTEGRÁCIÓ: MŰSZAKI, GAZDASÁGI, TÁRSADALMI, JOGI, PÉNZÜGYI, LOGISZTIKAI, OKTATÁSI																		

KUTATÁSA NEM JAVASOLT  
 ÉRTÉKLÁNC KÉPZÉS, KUTATÁSA JAVASOLT  
 NEM ÉRTELMEZHETŐ



A táblázat második egységében a tüzelőanyagcella-típusokat, a nemzetközi nomenklatúrának megfelelő alkalmazási módokat, továbbá az említett elemekhez tartozó teljesítménytartományokat mutatja be.

A közlekedési alkalmazások esetében a megadott teljesítménytartományokat önkényesen választottuk ki, mivel úgy ítéljük meg, hogy a kiválasztott teljesítménytartomány az alkalmazás körét jól és egyértelműen definiálja, hiszen egy átlagos méretű személygépkocsit egy 100 kW teljesítményű erőforrás rugalmasan kiszolgál. A közlekedési alkalmazások esetében fontos megemlíteni a flexibilis tüzelőanyag-ellátáshoz tartozó tüzelőanyagcella-típusokat, hiszen vízióink szerint a jövő „benzinkútjánál” nem csak hidrogént, hanem metanolt és etanolt is tankolhatunk majd.

A hordozható alkalmazás teljesítménytartományait konkrétan nem fogalmaztuk meg, hiszen a piaci igények palettája szinte a végtelenhez tart. A széles skálát két egyszerű gyakorlati példával kívánjuk illusztrálni. Ehhez elég csak a mobil telefonokra és a katasztrófavédelemben használatos mobil áramfejlesztő berendezésekre gondolni. Nem célja a táblázatnak az ilyen jellegű részletek kiemelése, hiszen az említett két esethez tartozó specifikációs környezet merőben eltér egymástól, de mindkét készülék a „hordozható” kategóriába tartozik.

A fix telepítésű alkalmazások egyrészt a szünetmentes tápegységeket, másrészt a kogenerációs egységeket reprezentálják.

A szünetmentes tápegységek esetében a klasszifikáció önkényes, de várhatólag a gyakorlati alkalmazásoknak megfelelő csoportosítást alkot.

A CHP alkalmazások teljesítménytartományainak kijelölése illeszkedik a várható felhasználási formák villamos és hőenergia igényeihez, továbbá a kapcsolt termelésre vonatkozó EU direktíva klasszifikációs módszeréhez is. Tehát az első két kategória a mikro-kogeneráció esetét, a harmadik a kiserőművek kategóriáját jelenti.

A két táblázatrész között a logikai és egyben a fejlesztés stratégiáját meghatározó kapcsolatot a tüzelőanyag fajtájára utaló szimbólumok teremtik meg. Az alkalmazás orientált értékláncokat a fejezet alpontjaiban mutatjuk be.

A fejlesztések teljes vertikumát egységes rendezőelv alapján, azaz az életciklus analízis eredményeire építve célszerű és kell értékelni. Megítélésünk szerint az analízist és annak végeredményét a vonatkozó fejlesztési folyamatok mérföldköveihez kell kötni. A tanulási görbe elemzése az a szisztematikus módszer, amely az esetleges „zsákutcák” felismerését és adott esetben a szükséges korrekciók megtételét lehetővé teszi.

Ezen filozófiai megközelítés értelmében a rendszerintegrációt komplex módon kezeljük, amelynek legfontosabb – műszaki, gazdasági, társadalmi, jogi, pénzügyi, logisztikai, oktatási – elemeit kiemeltük.

## 5.6 Alkalmazás-orientált értékláncok

A tanulmány egyik, de talán legfontosabb célja a reális és egyben piacorientált stratégiai fejlesztési lehetőségek megfogalmazása és bemutatása. A további alfejezetekben konkrét fejlesztési javaslatainkat mutatjuk be.

### 5.6.1 PEMFC-re épülő értékláncok

- I. értéklánc
  - tüzelőanyag: hidrogén, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
    - fosszilis eredetű hidrogén
    - hidrogéntermelés vízbontással



- biohidrogén, tisztítva, kondicionálva
- tüzelőanyag-tárolás és szállítás
  - fémhidrid
- tüzelőanyag-hasznosítás
  - PEMFC
- teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
  - közlekedés:  $25 < P < 100$  kW
  - hordozható:  $P < 5$  kW
  - fix telepítésű:  $P < 5$  kW,  $5 < P < 50$  kW
- II. értéklánc
  - tüzelőanyag: biogáz
  - tüzelőanyag-tárolás: gázhalmazállapotban
  - tüzelőanyag tisztítás és kondicionálás on-board
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - PEMFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - fix telepítésű:  $P < 5$  kW,  $5 < P < 50$  kW
- III. értéklánc
  - tüzelőanyag: hidrogén etanolból előállítva, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás folyékony halmazállapotban
  - tüzelőanyag előállítás és tisztítás: on-board
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - PEMFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - közlekedés:  $25 < P < 100$  kW
    - fix telepítésű:  $P < 5$  kW,  $5 < P < 50$  kW

#### 5.6.2 DMFC-re épülő értékláncok

- IV. értéklánc
  - tüzelőanyag: metanol, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás folyékony halmazállapotban
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - DMFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - közlekedés:  $25 < P < 100$  kW
    - hordozható:  $P < 5$  kW
    - fix telepítésű:  $P < 5$  kW,  $5 < P < 50$  kW

#### 5.6.3 DEFC-re épülő értékláncok

- V. értéklánc
  - tüzelőanyag: etanol, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás folyékony halmazállapotban
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - DEFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - közlekedés:  $25 < P < 100$  kW



- hordozható:  $P < 5$  kW
- fix telepítésű:  $P < 5$  kW,  $5 < P < 50$  kW

#### 5.6.4 MCFC-re épülő értékláncok

- VI. értéklánc
  - tüzelőanyag: etanol, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás folyékony halmazállapotban
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - MCFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - fix telepítésű,  $P > 250$  kW

### 5.7 „Iskolateremtő” demonstrációs-projekt javaslatok

A tanulmány fejezeteiből egyértelműen kiderült, hogy a tüzelőanyagcella-hatásra épülő energiatermelő berendezésekből hazánkban csak néhány példány működik. Mind a futó demonstrációs projektek száma, mind az azokban megtestesülő tüzelőanyag-cella típusok megjelenési formája erősen korlátozott. A mai nemzetközi piaci viszonyok lehetőséget nyújtanak a felzárkózásra, hiszen több gyártó már piacérett berendezések forgalmazásával foglalkozik. Egy új technológiát, azaz a tüzelőanyag-cellát alkalmazó berendezések műszaki tulajdonságait csak akkor lehet érdemben megismerni, ha azokat a mindennapok gyakorlatában széles körben alkalmazzák és használják. Az így gyűjtött tapasztalatok a meglévő és tervezett fejlesztési folyamatokra is jótékony hatást gyakorolnak, hiszen azok műszaki-gazdasági eredményeit részletesen elemezni lehet, továbbá a pozitív tulajdonságokat célszerű a hazai fejlesztési folyamatokba integrálni.

A fejezetben néhány olyan szakterületre szeretnénk felhívni a figyelmet, amelyek esetében önálló demonstrációs projektek szervezése jelentősen elősegítené, és egyes szakterületeken megalapozná a hazai fejlesztések hatékonyságát, továbbá növelné az új technológia bevezetésének társadalmi elfogadottságát, azaz megerősítené a vonatkozó „iskolateremtő” tevékenységet mind az egyetemi oktatásban, mind a társadalom széles vertikumában.

#### 5.7.1 Közlekedési alkalmazások

A demonstrációs projektek célja a hidrogén tüzelőanyagot felhasználó közlekedési eszközök hazai elterjedésének elősegítése mind a tömegközlekedésben, mind a különböző tulajdonban lévő személygépkocsi flották kialakításában.

- I. demonstrációs project
  - tüzelőanyag: sűrített hidrogén szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás: sűrített gáz formában
  - tüzelőanyag-hasznosítás: PEMFC
  - teljesítménytartományok:  $P < 30-100$  kW
  - Beszállítói kör: EU tagországok (magyarországi gyártóbázissal rendelkezők)
- II. demonstrációs project
  - tüzelőanyag: sűrített hidrogén szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás: sűrített gáz formában
  - tüzelőanyag-hasznosítás: PEMFC
  - teljesítménytartományok:  $P < 100-300$  kW
  - Beszállítói kör: EU tagországok (magyarországi gyártóbázissal rendelkezők)



### 5.7.2 Hordozható és fix telepítésű tartalékforrások

A demonstrációs projektek célja a metanol tüzelőanyagot felhasználó tartalékforrások gyakorlati alkalmazásának bemutatása, a műszaki tulajdonságok hosszú idejű vizsgálata, a metanol tüzelőanyag felhasználásához szükséges alkalmazástechnikai tapasztalatok összegyűjtése és integrálása a vonatkozó fejlesztési folyamatokba.

- I. demonstrációs projekt
  - tüzelőanyag: metanol, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás folyékony halmazállapotban
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - DMFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - hordozható:  $P < 5$  kW
    - fix telepítésű:  $P < 5$  kW
  - Egységek minimális száma: 20 db
  - Beszállítói kör: EU tagországok

### 5.7.3 Mikro-kogenerációs rendszerek

A demonstrációs projektek célja a földgáz tüzelőanyagot felhasználó mikro-kogenerációs egységek gyakorlati alkalmazásának bemutatása, a műszaki tulajdonságok hosszú idejű vizsgálata, továbbá a rendszerintegrációs körülmények tanulmányozása mind műszaki, mind jogi szempontból.

- I. demonstrációs projekt
  - tüzelőanyag: földgáz, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás és szállítás
    - meglévő szolgáltatói rendszerek
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - PEMFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - fix telepítésű:  $P < 5$  kW
  - Egységek minimális száma: 10 db
  - Beszállítói kör: EU tagországok
- II. demonstrációs projekt
  - tüzelőanyag: földgáz, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
  - tüzelőanyag-tárolás és szállítás
    - meglévő szolgáltatói rendszerek
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - SOFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - fix telepítésű:  $P < 5$  kW
  - Egységek minimális száma: 10 db
  - Beszállítói kör: EU tagországok



#### 5.7.4 Kogenerációs rendszerek

A demonstrációs projektek célja egyrészt a földgáz, másrészt a bio- és/vagy depóniai gáz tüzelőanyagot felhasználó kogenerációs egységek gyakorlati alkalmazásának bemutatása, úgy, hogy a vonatkozó alaptervezéshez kapcsolódó gáztisztítási technológia hazai fejlesztési tevékenységre támaszkodjon. További cél az etanol reformer fejlesztéséhez szükséges szakmai tapasztalatok összegyűjtése és a vonatkozó nemzetközi kutatási kooperációs kapcsolat alapjainak megteremtése.

- I. demonstrációs projekt
  - tüzelőanyag:
    - földgáz, szabványi előírásoknak megfelelő minőségben
    - biogáz, stack gyártó által specifikált
    - depóniagáz
  - gáztisztítási technológia: saját fejlesztésű, stack-gyártó által specifikált
  - tüzelőanyag-tárolás és szállítás
    - földgáz esetén: meglévő szolgáltatói rendszerek
    - nyers bio- és depóniagáz esetén: helyi szinten
  - tüzelőanyag-hasznosítás
    - MCFC
  - teljesítménytartományok, alkalmazások és demonstrációs projektek
    - fix telepítésű: P>200 kW
  - Egységek minimális száma: 1 db
  - Beszállítói kör: EU tagországok

### 5.8 Összefoglalás

Úgy érezzük, hogy jelen fejezetben sikerült a vizsgálat tárgyát képező technológiai szegmensekről összefoglaló helyzetelemzést adnunk, továbbá az általunk javasolt átfogó jövőképet is megfogalmaztuk. Az egyes szakterületekre vonatkozó üzleti tervek elkészítése, azaz a javasolt kutatási és fejlesztési projektek részletes kifejtése, azok térben és időben történő elhelyezése, továbbá a pénzügyi vonzatok kidolgozása a második munkafázisban történik meg.



## Tartalomjegyzék

1	Bevezetés .....	2
2	Hidrogéntermelés technológiáinak rövid összefoglalása.....	2
2.1	A hagyományos hidrogéntermelési technológiák .....	2
2.2	Hidrogéntermelés elektrolízissel.....	2
2.3	A jövőbeni lehetséges hidrogéntermelési eljárások .....	2
2.4	Hidrogén előállítása biomassából kémiai módszerekkel.....	2
2.5	Biológiai eljárások .....	3
2.6	Hidrogén előállítás víz fotokatalitikus bontásával .....	4
3	A hidrogéntárolási és hidrogénszállítási szakterületet rövid összefoglalása .....	4
3.1	Általános helyzetkép.....	4
3.2	A hidrogéntárolási technológiák helyzetének bemutatása .....	5
3.2.1	Nyomás alatti hidrogéntárolás .....	5
3.2.2	Cseppfolyós hidrogéntárolása .....	6
3.2.3	Hidrogén tárolása kötött állapotban.....	6
3.3	A hidrogénszállítási technológiák helyzetének bemutatása .....	6
3.3.1	Hidrogénszállítás közúton és vasúton.....	6
3.3.2	Hidrogénszállítás csővezetéken.....	7
3.3.3	Hidrogénszállítás vízen .....	7
3.4	Hidrogén töltőállomások.....	7
3.5	A hidrogéntárolás- és szállítás kihívásai és akadályai .....	8



## A hidrogéngazdaság alapjai

### 6 Bevezetés

A hidrogéngazdaság alapját az alábbi tématerületek alkotják: (1) hidrogéntermelés, (2) hidrogén tárolás és szállítás, (3) hidrogén felhasználása tüzelőanyag-cellákban. Ezen tématerületek sajátosságait az alábbiakban röviden ismertetjük

### 7 Hidrogéntermelés technológiáinak rövid összefoglalása

#### 7.1 A hagyományos hidrogéntermelési technológiák

A hagyományosnak mondható technológiák, mint például a *földgázreformálás*, a *nehézolaj parciális oxidációja*, a *szén elgázosítása*, a *szénhidrogének pirolízise* már jól kidolgozott ipari eljárásnak tekinthetők a hidrogén nagy volumenű előállítására. A nagykapacitású gőzreformálók 100.000 m<sup>3</sup>/h (~1.000 GJ/h) mennyiségű H<sub>2</sub>-t termelnek. Mindegyik folyamatban fosszilis energiahordozókat alakítanak át víz, vagy oxigén segítségével elviekben hidrogénné és szén-dioxiddá. Ezért e technológiák jövőbeli alkalmazhatósága nagymértékben függ a szén-dioxid megkötésére és tárolására irányuló eljárások kifejlesztésének sikerétől. A CCS (CO<sub>2</sub> capture and storage) technológiáknak számos kihívással kell megküzdeniük: kevésbé energiaigényesnek, és sokkal költséghatékonyabbnak kell lenniük. Ráadásul elég hiányos még a műszaki tudás a különböző tározók tárolási potenciáljáról, szivárgási jellemzőiről és az azokkal kapcsolatos kockázati tényezőkről és költségekről.

#### 7.2 Hidrogéntermelés elektrolízissel

Az elektrolízis is már jól bevált folyamat, de energiaigénye lényegesen magasabb, mint a földgázból reformálás útján nyert hidrogéné, így kb. 3-4-szer drágább. Ennek ellenére, vagy éppen ezért jelentős forrásokat fordítanak e technológia továbbfejlesztésére. Az elektrolízis módot teremthet olcsóbb energiaforrások (szén, nukleáris) jóval értékesebb energiává való átalakítására. Az elektrolízis egyelőre a kisebb volumenű/elosztott hidrogéntermelés terén versenyképes a reformáló eljárásokkal. A megújuló energiaforrások (szél és napenergia) segítségével történő elektrolízis tipikusan ilyen elosztott hidrogéntermelést tesz lehetővé. Mindez elősegítheti a hidrogéngazdaság elterjedésének korai szakaszában az infrastruktúra megteremtését, valamint az energiatárolását, hiszen ki kell építeni a megújuló energiát felhasználó erőművek, valamint a hidrogén töltőállomások közötti csővezetékrendszert és a hidrogéntárolókat a töltőállomásokon.

#### 7.3 A jövőbeni lehetséges hidrogéntermelési eljárások

Ezen eljárások mindegyike még fejlesztés alatt áll, de várható ezek közül több is rövidesen a gyakorlatban is bevezetésre kerül. Jellemzője még ezen eljárásoknak, hogy általában nem fosszilis energiaforrást használ fel.

#### 7.4 Hidrogén előállítása biomasszából kémiai módszerekkel

Az EU Gazdasági és Szociális Bizottságának a véleménye szerint hosszú távon ígéretesnek tűnik a biomassza pirolízise, amely során az alapanyagot magas hőmérsékleten levegővel,

vízzel, vagy inert atmoszférában esetleg ezek kombinációjával alakítják át túlnyomórészt hidrogénné és szén-dioxiddá.

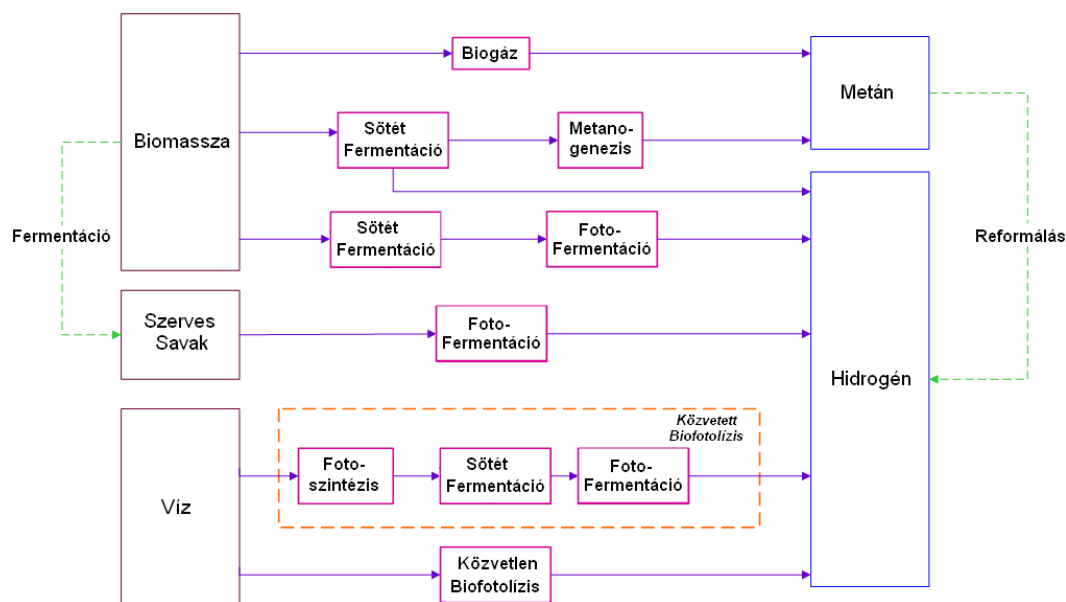
A biogáz reformálásával hasonló úton tudunk hidrogént előállítani, ahogyan azt a földgázból teszik, de ez esetben a száraz reformálás (azaz a metánt nem vízzel, hanem a biogáz másik fő komponensével, a szén-dioxiddal reagáltatják) is gazdaságos lehet. Szerteágazóan vizsgálják a biomasszából előállítható metanol és etanol átalakítását is hidrogénné.

Egy vonzónak tűnő jövőbeni technológia a *termokémiai vízbontási ciklusok*, melyekben kémiai reakciók eredménye a  $H_2$ . Az energia-bemenet hő formájában történik (esetleg plusz kis mennyiségű elektromos áram hibrid ciklusok esetében) és az eredmény  $H_2$  és  $O_2$ . A folyamat kémiai reagensei teljes mértékben visszaforgathatók.

## 7.5 Biológiai eljárások

A biológiai hidrogén termelés élő mikroorganizmusok segítségével, vagy belőlük kinyert enzimek használatával történik. Az élő szervezetek bevonásának előnye, hogy ezek általában sokkal olcsóbban fenntarthatók, stabilabbak, tovább működnek, mint a belőlük tisztított enzimek. Hátránya azonban ezeknek az eljárásoknak az, hogy a mikrobák az anyagcsere folyamataik fő termékeként csak nagyon ritkán és speciális körülmények között termelnek  $H_2$ -t. Ezért ezeknek az eljárásoknak a hatásfoka alacsony. A biohidrogén termelési technológiák fejlesztése nagyon ígéretes terület mert folyamatos forrongásban, fejlődésben van, nincs egyetlen "üdvözítő" megoldás sem. Ez természetesen a széleskörű üzemi termelés szempontjából nem előnyös, kevés eljárásról mondható el, hogy készen vagy közel készen áll az ipari megvalósításra.

A biológiai rendszerek sokfélesége számtalan lehetőséget kínál potenciális megoldásként. Ezeket foglalja össze az 1. ábra.



1. ábra A hidrogén előállításának lehetőségei biológiai rendszerekkel



## 7.6 Hidrogén előállítás víz fotokatalitikus bontásával

Talán a legkíméletesebb technológia lesz a fotokatalitikus vízbontás, amely során megfelelő katalizátorok segítségével a napfény energiájának a felhasználásával állíthatunk elő vízből hidrogént. A fotokatalizátorok fejlesztése új típusú félvezető anyagok előállítását jelenti. Hosszú távú cél, az olyan tulajdonságokkal rendelkező félvezetők fejlesztése, amelyek tiltott sáv szélessége lehetővé teszi a látható fénnel történő gerjeszthetőségüket. További kritikus feltétel a fotokatalitikus vízbontásban a töltéshordozók szétválásának hatékonyabbá tétele, azaz az elektron-lyuk rekombináció-gátlása.

Új típusú nano-strukturált anyagok kifejlesztése jelentősen megnövelheti a fotokatalitikus hatékonyságot. A nanoszerkezetnek köszönhetően egyrészt megnő a fajlagos felület, ami az aktív helyek számának növelését jelenti másrészt az úgynevezett kvantumméret hatásnak köszönhetően megnő a fény elnyelésének mértéke is. A különböző félvezetők nanoszerkezete nagy morfológiai változatosságot mutathat: nanoszálak, nanocsövek, gömbök, habok és filmek előállítására találhatunk példákat. A különböző összetételeknek és változatos szerkezeteknek köszönhetően a lehetséges anyagok szinte végtelen spektrumát lehet előállítani. Itt is célszerű a kombinatorikus anyagkönyvtár tervezés és a nagyátersztő módszerek eszköztárát a tervezéshez felhasználni.

## 8 A hidrogéntárolási és hidrogénszállítási szakterületet rövid összefoglalása

### 8.1 Általános helyzetkép

Amennyiben rendelkezésre áll az előállított, megfelelő tisztaságú hidrogén, a következő feladat a hidrogén tárolása és szállítása oly módon, hogy az új technológiák minden tekintetben versenyképesek legyenek a jelenlegi műszaki megoldásokkal. A hidrogént szállíthatóságának és tárolhatóságának érdekében szükséges sűríteni, cseppfolyósítani illetve különböző szorpciós vagy kémiai eljárásokban megkötni. A hidrogén tárolhatóságának körülményei jelentős mértékben függnnek attól, hogy milyen alkalmazásról van-e szó. A telepített esetében (pl. helyi áramtermelés, fűtés/hűtés) többnyire megengedhető a nagyobb térigény, járműipari és mobil alkalmazásoknál viszont mind az osztérfogat mind az osztömeg (hidrogén + tárolóeszköz) tekintetében a minimumra kell törekedni.

A hidrogénnel kapcsolatban gyakorta merülnek fel a biztonsággal kapcsolatos aggályok. Az Európai Bizottság által a 6. Keretprogramban (FP6) támogatott HyApproval projekt egy Kézikönyvet adott ki, amelyben részletezik a biztonsággal kapcsolatos kérdéseket.

Az elkövetkező évtizedek technológiai kihívása tehát megtalálni a hidrogén szállítására és tárolására alkalmas gazdaságos és biztonságos módszereket és ezekre építve kialakítani a „hidrogéngazdaság” jövőbeli infrastruktúráját. Hidrogéntárolási eljárások fő jellemzőit az alábbi táblázat mutatja (EU adatok)



## Hidrogéntárolási eljárások fő jellemzői (EU adatok)

A hidrogéntárolás módja	saját térfogati energiasűrűség g kWh/l	A tartály térfogati energiasűrűsége (2003-as helyzet) kWh/l	saját hidrogén tömegarány %	hasznos hidrogén tömegarány (2003-as helyzet) %	hasznos hidrogén tömegarány (2015-ös becslés) %
folyékony H <sub>2</sub> , 1 bar 20 K	2.4	1.2	100.0	6.0	12.0
Komprimált H <sub>2</sub> gáz 700 bar, 300 K	1.3	1.1	100.0	4.0	9.0
Nanopórusos 300 K aktív szén 100 bar	0.6	0.2	2.5	1.0	2.0
	77 K	0.5	8.0	4.0	6.0
Intersticiális fémhidridek (AB <sub>2</sub> , AB <sub>5</sub> )	4.2	1.8	2.5	1.5	2.0
Komplex fémhidridek	4.2	0.7	9.5	5.0	7.0
Hidrid vegyületek (pl. NaBH <sub>4</sub> )	3.7	1.4	10.8	6.0	9.0

Az USA Energiaügyi Minisztériuma (Department of Energy, DOE) által megfogalmazott célok az alábbiak:

- 2014-re el kell érni a központi egység és a töltőállomás közötti szállítási költség tekintetében a 0.90 \$/gge értéket\*, amit 2019-ig 0.6\$/gge értékre kell csökkenteni,
- 2014-re el kell érni a komprimálás, a tárolás és a töltéssel kapcsolatos költségeknek a 0.80 \$/gge értéket\*, amit 2019-ig 0.4\$/gge értékre kell csökkenteni,
- 2017-re a termelőtől a végfelhasználóig terjedő szállítás költség kevesebb kell, hogy legyen, mint a 1.0 \$/gge érték.

\*gge=gasoline gallon equivalent, azaz egy gallon benzin energiatartalmának megfelelő energiatartalmú hidrogén mennyisége a hidrogén alsó fűtőértékével számolva: 1 GJ= 8.3 kg H<sub>2</sub>, 1 kg H<sub>2</sub> = 1gge

## 8.2 A hidrogéntárolási technológiák helyzetének bemutatása

A hidrogén tárolására az alábbi négy lehetőség kínálkozik: (i) nyomás alatti tárolás, (ii) tárolás cseppfolyós halmazállapotban, (iii) tárolás kötött formában szilárd anyagokon és (iv) tárolás kötött formában folyadékokban. Az idevonatkozó K+F tevékenységek fő célja a hidrogén tömegarányos energia-tartalmának növelése. Az elektromos meghajtású gépkocsikban a megfelelő utazótávolság (500 km) eléréséhez ugyanis legalább 7-8 tömeg % H<sub>2</sub> megkötése szükséges, hogy az üzemanyagtank méretét lényegesen ne kelljen növelni.

### 8.2.1 Nyomás alatti hidrogéntárolás

A mai gépkocsi prototípusok többségénél főként a 350 bar nyomású tárolótartályt alkalmazzák, de az újabb fejlesztések már a 700 bar nyomású könnyű, szénszálak kompozit anyagokra irányulnak. Megjegyzendő, hogy a hidrogén komprimálásakor elvész a hidrogén energiatartalmának 10-15 %-a. Diffúziós tulajdonságai miatt a hidrogén a legtöbb anyagot rideggé tesz. Ez anyagfáradást eredményez, ami biztonsági aggályokat vethet fel. A komprimált hidrogén nagy mennyiségben tárolható zárt-rendszerű földalatti üregekben (barlangrendszerek, bezárt bányák, stb.) is. Ennek különösebb technológiai kihívása nincs, amennyiben a szükséges geológiai adottságok rendelkezésre állnak.



### 8.2.2 Cseppfolyós hidrogéntárolása

A hidrogén cseppfolyósítása világszerte rutineljárásnak számít, de ennek energia fogyasztása jelentős, azaz az energia-felvétele 12,5-15 kWh/kg között van. További hátrány az alapberuházás magas összege (százmillió USD-s nagyságrend). Pillanatnyilag még jelentős problémát jelent a cseppfolyós hidrogén tárolása a gépjárművekben. Mindazonáltal jelenlegi ismereteink szerint a közlekedési alkalmazásokat tekintve ez a tárolási mód tekinthető a legkedvezőbbnek, amennyiben a technológiai és a gazdaságossági akadályokat sikerül leküzdeni. A cseppfolyós hidrogén nagy volumenű tárolása hengeres vagy gömb alakú vákuumszigetelt kriogén tartályokban a leghatékonyabb.

### 8.2.3 Hidrogén tárolása kötött állapotban

Mivel a hidrogén rendkívül hajlamos kötődésre, tárolása mind szilárd, mind folyadék formában lehetséges. Ezekben a területeken igen intenzív kutatások folynak világszerte. A kutatások célja a hasznos hidrogén tömegarány növelése. A jövő a kötött állapotú hidrogén tárolásé. Ezen belül az alábbi eljárások ismertek: (i) fiziszorpció, (ii) kemiszorpció, (iii) fémhidridek (iv) kémiai hidridek, (v) hidrogén megkötése folyadékfázisban.

A DOE kutatási programjaiban nemcsak a hidrogén megkötő képesség növelése a cél, hanem az adszorpció, illetve a deszorpció hőmérsékletének növelése, illetve csökkentése valamint az adszorpció/deszorpció sebességének növelése is. Kimutatták, hogy amennyiben a  $\text{LiBH}_4$ -et nanoméretű (10-15 nm) pórusokat tartalmazó szénre viszik fel a deszorpció sebessége 60 szorosára nő. A  $\text{LiBH}_4 + \text{MgH}_2$  rendszer hidrogénmegkötő képességét jelentősen javították nanoméretű  $\text{LiBH}_4$  előállításával (8.3 t %  $\text{H}_2$ , 250 °C deszorpciós hőmérséklet).

Általános trend a többkomponensű rendszerek fejlesztése, illetve a fémhidridek stabilitását csökkentő adalékok alkalmazása. Ezek modellezésére elméleti számításokat is végeznek. Egy-egy számítás során több millió kompozíciót modelleztek különböző hőmérsékleten. Ezen megközelítések eredményeként sikerült kísérletileg is bizonyítani a  $\text{LiMgN}$  jó hidrogén megkötő képességét (6.6 t % ) és kedvező deszorpciós tulajdonságát (200 °C).

## 8.3 A hidrogénszállítási technológiák helyzetének bemutatása

Ahhoz, hogy a hidrogén a jövő egyik alapvető energiaforrásává váljon, ki kell alakítani a szükséges infrastruktúrát annak érdekében, hogy a hidrogén bárhol rendelkezésre álljon. A jövő egyik alapkérdése, hogy a hidrogén elosztása központi vagy helyi legyen. Földrajzi elhelyezkedéstől függően egyes alkalmazásoknál a helyi termelés és elosztás célszerűbb. Ilyen lehet pl. az ipari hidrogén-beszerezési lehetőségtől távol eső töltőállomás vagy szünetmentes áramforrás (UPS). Egyelőre a hidrogén központi beszállítása a felhasználás helyszínére reálisabb megoldásnak tűnik az alacsonyabb előállítási költségek és a magasabb hatékonyság miatt. Jelenleg a hidrogént komprimált gáz- vagy cseppfolyós halmazállapotban szállítják többféle szállítási mód alkalmazásával. Nagyobb mennyiségek szállítására alkalmasabb a csővezetéken, illetve - a cseppfolyósított metán analógiája alapján - a vízi úton történő szállítás, kisebb mennyiségek esetén a közúti és vasúti szállítás tűnik előnyösebbnek.

### 8.3.1 Hidrogénszállítás közúton és vasúton

A hidrogén közúti szállításának két lehetősége van: nagyméretű palackokban komprimálva vagy tartálykocsikban cseppfolyós állapotban. A komprimált hidrogéngáz előállítása és tárolása egyszerűbb és hatékonyabb a cseppfolyósításnál. Viszont szállításkor a kisebb energiasűrűségének megvannak a hátrányai. Egy teherautóval egyszerre kb. 500 kg hidrogént



lehet szállítani 200 bar-os palackokban. Cseppfolyós hidrogén szállításához duplafalú, vákuum szigetelt tartálykocsikat használnak, amelyeket kamionokkal vagy vasúton juttatnak a fogyasztóhoz. Ezekkel jelenleg egyszerre mindössze 4000 kg hidrogén szállítása lehetséges. Egységnyi térfogatra vonatkoztatva 20-szor annyi hidrogént lehet szállítani cseppfolyós állapotban, mint komprimálva. A közúti hidrogénszállítással kapcsolatban ma a legnagyobb aggályokat a biztonsági kérdések jelentik.

### 8.3.2 Hidrogénszállítás csővezetéken

A nagy mennyiségű hidrogént igénylő fogyasztók ellátása optimálisan csővezetéken történik 10-70 bar nyomáson. Az ipari fogyasztók megnövekedett kereslete miatt az elmúlt években dinamikusán bővítették a hidrogén-csővezeték kapacitásokat, mivel ez a nagy mennyiségű szállítás leggazdaságosabb módja. Ma már számos hidrogén csővezetékrendszer létezik világszerte. Európában a hidrogén csővezetékek összesített hossza kb. 1600 km (ennek fele Belgiumban és Hollandiában található). Észak-Amerikában kb. 1000 km hidrogén csővezeték létezik – főleg a Mexikói öböl térségében, de a Csendes-óceán menti 'Hydrogen Hyway' kezdeményezés folytán ez hamarosan megnövekszik.

Egyes vélemények szerint a legmodernebb földgázvezetékek alkalmassá tehetők majd hidrogén szállítására is. Az EU 1,9 millió, ill. az USA 2,8 millió km földgázvezetékébe egyelőre csak a 10-15% hidrogéntartalom keverhető a technológia jelenlegi szintjén. Ezen vezetékek cseréje kb. 100 ezer USD/km költséget fog jelenteni.

### 8.3.3 Hidrogénszállítás vízben

Amint a HG olyan szintre jut, hogy a hidrogén előállítását és –felhasználást jelentős távolságok választják el, megnyílik a hidrogén tengeri szállításának lehetősége. Magyarország földrajzi adottságainál fogva közvetlenül nem érdekelt az ezzel kapcsolatos fejlesztésekben.

## 8.4 Hidrogén töltőállomások

Már ma is több száz hidrogén-üzemű jármű közlekedik a világ útjain demonstrációs és kísérleti célokkal, illetve a városi tömegközlekedés szerves részeként. Ennek megfelelően a hidrogén töltőállomásokkal kapcsolatban már jelentős tapasztalat áll rendelkezésre. Ma kb. 350 üzemelő vagy tervezett hidrogénkút van világszerte, ebből több mint 60 üzemel Európában. A meglévő töltőállomások kb. fele használ helyben termelt hidrogént, ill. harmaduk megújulókból állítja elő. Ma még legtöbbjük 350 bar nyomású hidrogéngázt szolgáltat, de az új fejlesztésekben már a 700 bar-os megoldásokat alkalmazzák. A hidrogénalapú közlekedés fő kérdése hogy hogyan és milyen költséggel lehet ellátni hidrogénnel a járműveket, illetve a hidrogént felhasználó infrastruktúrát. A ma alkalmazott technológiában tartályautók szállítják az üzemanyagot a töltőállomások földalatti tartályaiba, majd ott néhány perc alatt gyorsan feltölthető a jármű. Ezzel kell versenyezni és hasonló hidrogén-infrastruktúrát kell létrehozni a biztonság, a költségek és a kényelem tekintetében is.

A hidrogén töltőállomások ellátására három lehetőség kínálkozik:

- Teherautóval beszállított cseppfolyós vagy komprimált hidrogén.
- Helyi hidrogén előállítás vízbontóval vagy gőzreformálóval.
- Csővezetéken (ennek hazai infrastruktúrája még jó ideig nem lehet aktuális),

Európai tapasztalatok szerint egy mai meglévő töltőállomás átalakítása úgy, hogy hidrogéntöltésre is alkalmas legyen, kb. félmillió €-ba kerül. Egy új töltőállomás létesítése kb. 2 millió €, éves karbantartása kb. 50 ezer €. Egy saját hidrogén-termelési kapacitással



(vízbontó) rendelkező új töltőállomás létrehozása kb. 2.5-4 millió €-ba kerülne. Ennek éves üzem- és karbantartási költsége kb. 100-200 ezer €. A jelenlegi vízbontókban az előállított hidrogén energiaigénye 4-6 kWh/Nm<sup>3</sup>. A DOE 2017- re vonatkozó célkitűzése, hogy a hidrogén \$1/kg alatti kiszállított áron jusson a végfogyasztóhoz, ami kb. 60-80%-os csökkentést feltételez a mai árszintekhez viszonyítva

### **8.5 A hidrogéntárolás- és szállítás kihívásai és akadályai**

Mivel a közlekedési alkalmazásoknál valószínűsítik a hidrogéngazdaság világméretű áttörését, ennek jelenlegi kihívásai is a legnagyobbak a biztonság, súly/méret, költségek és kényelem tekintetében. Ezeket a mai benzin-, dízel- és LNG-infrastruktúrához hasonló szintekre kell fejleszteni. Ennek elsődleges akadályai a következők:

- A tárolóedények és –tartályok műszaki és anyagi jellemzői még távol vannak a széleskörű elterjedéshez szükséges szintektől;
- Technológiai áttörésre van szükség a komprimálás és a cseppfolyósítás energiaigényének és költségeinek csökkentésére, valamint a párolgási veszteség csökkentésére;
- A csővezetékknél meg kell oldani a földgázhoz hasonló energia-felhasználást, azaz szükséges a nyomás és/vagy a csövek átmérőjének optimalizálása;
- A fém-hidrides tárolásnál a fajlagos súly csökkentése (ill. ezzel együtt az energiasűrűség növelése) a legnagyobb technikai kihívás;
- A töltőállomásoknál a töltéskor keletkező hő elvezetésére kell megfelelő megoldást találni, csökkenteni kell a „tankolás” idejét;
- A nemzetközi szabványosítást végérvényesen meg kell oldani.
- A cseppfolyós hidrogén technológiája már biztonságos, megbízható és nagy mennyiségben megoldható, de alacsony hatásfokú. Ennek megoldására elsősorban kis energiafogyasztású, nagy kapacitású berendezések (kompresszor, expanziós turbina és hőcserélő komponensek) fejlesztésére összpontosítanak.
- A fém-hidrides megközelítés nagy előnye, hogy viszonylag kis méretben tárol nagy mennyiségű hidrogént, ráadásul a közlekedésben további előnye a biztonság. Mindazonáltal az eddigi jelentős erőfeszítések ellenére sem találtak még meg a minden követelménynek megfelelő anyagot, ezért az ilyen irányú anyagkutatásra nagy forrásokat kell összpontosítani.



### Rövidítések:

AFC	alkáli tüzelőanyag-cella
BME	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
BOP	Balance of Plant
CHP	Combined Heat and Power (kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés)
CNG	Komprimált földgáz
CCS	Carbon Capture and Sequestration: CO <sub>2</sub> leválasztás és zárolás
DMFC	direkt metanol tüzelőanyag-cella
DOE	Department of Energy: USA Energiaügyi Minisztériuma
DWV	Deutscher Wasserstoff und Brennstoffzellen Verband (Német Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Szövetség)
EHA	European Hydrogen Association: Európai Hidrogén Szövetség
EHFC TP	European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform
ELTE	Eötvös Loránd Tudományegyetem
EPA	Energy Policy Act: Energiapolitikai törvény
ERA	European Research Area (Európai Kutatási Térség)
EU	Európai Unió
FAFC	Foszforsavas tüzelőanyag-cella
FCH	Fuel Cell and Hydrogen (tüzelőanyag-cella és hidrogén)
FP6	Sixth Framework Programme, az Európai Unió 6. kutatás-fejlesztési keretprogramja
GDP	bruttó hazai termék
HEFOP	Humán erőforrás-fejlesztési Operatív Program
HFC	hidrogén és tüzelőanyag-cella rendszer
FCH-JTI	Fuel Cells and Hydrogen Joint Technology Initiative: Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Közös Technológiai Kezdeményezés
FCH-JU	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking: Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Közös Vállalkozás
HFI	Hydrogen Fuel Initiative: Hidrogén Üzemanyag Kezdeményezés program
HFP	Európai hidrogén és tüzelőanyag-cella platform
HG	Hidrogén gazdaság
HPP	Hydrogen Posture Plan: Hidrogénnel kapcsolatos nemzeti terv
HPT	High pressure torsion: nagy nyomású csavarás
HTC-Platform	Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Nemzeti Technológiai Platform
IEA	International Energy Agency: Nemzetközi Energia Ügynökség
IGCC	integrated gasification combined cycles: integrált szénlégzősítő kombinált (gáz-gőz) ciklusú erőművek
K+F	Kutatás + fejlesztés
KHEM	Közlekedési, Hírközlési és Energetikai Minisztérium
KKV	kis- és középvállalkozás
KTD	kutatási, technológiafejlesztési és demonstrációs keretprogram
KTI	Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.
KVVM	Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium



LNG	cseppfolyós földgáz
MAIP	Multi-Annual Investment Plan: többéves megvalósítási terv
MAVIR	Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.
MCFC	olvasztott karbonát üzemanyag cella
MEA	Membrane Electrode Assembly: A katalizátor rétegekből illetve a protoncserélő membránból álló egység (membrán elektród együttes).
MET	Magyar Energetikai Társaság
MOL	Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt.
MTA-MFA	Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete
MTA-KFKI	Magyar Tudományos Akadémia, Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet
MToe	millió tonna olajegyenérték
NASA	National Aeronautics and Space Administration: Az USA Nemzeti Légügyi és Űrhajózási Hivatala
NÉS	Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia
NKP	Nemzeti Környezetvédelmi Program
NKTH	Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal
OECD	Nemzetközi Gazdasági és Fejlesztési Szervezet
OGY	Országgyűlés
PAFC	foszforsavas tüzelőanyag-cella
PEMFC	polimer elektrolit membrán tüzelőanyag-cella
ppm	part per million: milliomodnyi rész
PPP	public-private partnership
R+D&D	kutatás, fejlesztés és demonstráció
SET-terv	Stratégiai Energetikatechnológiai Terv
SKT	Stratégiai Kutatási Terv
SOFC	szilárd oxidos tüzelőanyag-cella
TC	tüzelőanyag-cella
ÚMFT	Új Magyarország Fejlesztési Terv
UPS	Uninterruptible Power Supply: szünetmentes áramforrás
ÜHG	Üvegházhatású gáz
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VGB	Verband der Großkessel- Besitzer e. V.,
VPOP	Vám-és Pénzügyőrség Országos Parancsnokság