



Belépő a hidrogénkorszakba

A tüzelőanyag-cellás villanyautó



DR. NAGYSZOKOLYAI IVÁN

Talán 200 év is kell ahhoz, hogy egy felfedezésből, esetünkben a „galvanikus gázelemből”, automobil hajtására alkalmas, szériaérett energiaforrás legyen. Ez a tüzelőanyag-cella, vagy egyszerűbben tüzelőcella (TC). William Robert Grove fizikus 1839-ben elsőként írt „galvanikus gázelemről”. A hidrogén és az oxigén „hideg elégsével” közel 100%-os hatásfokkal villamos áram előállításáról számol be. Korának fizikusai ebben a jövőt sejtették! Alkalmazásához azonban be kell köszöntenie a hidrogénkorszaknak. Vagy éppen a tüzelőcella lesz az, ami a hidrogénkorszakot megnyitja?

Évnyitó témánk messze előrenéző, olyannyira, hogy talán egy évtizedig sincs semmi esély arra, hogy egy olyan villanyautóval, melynek áramforrása tüzelőanyag-cella és hidrogént tankol, egy külön milliárdos hazánkba eljusszon. Pedig nem a bizonytalan jövőről van szó! Az elmúlt év december 15-én megkezdődött a világ első tüzelőcellás autójának a kereskedelmi forgalmazása: a Toyota Mirai FC (Fuel Cell) Japánban került piacra. Az európai kínálatban is hamarosan megjelenik. A japán Mirai típusnév magyarul jövőt jelent. A jövő tehát cikkünk megírása előtt alig két hónappal elkezdődött! Ajánlott fogyasztói ára Japánban 7 millió 236 ezer jen (több mint 15,1 millió forint), a japán kormány azonban 2,02 millió jennel (több mint 4,2 millió forinttal) támogatja az autó vásárlását, így a végső ár 5,2 millió jen. A Toyota annyit közölt, hogy az eredetileg kitűzött értékesítési célszámot, a négy százalék meghaladja az előrendelések száma. Más hírforrások 1000 darab előrendelésről szólnak. A Mirai USA ára 57 500 dollár, ezt csökkenti a kaliforniai szubvenció 13 ezer dollárral, az autó hosszú távra lízingelhető is. A Toyota Mirai tulajdonosainak a kezdetekben, Japánban és Kaliforniában ingyen hidrogéntankolás jár. Az autóra 8 év, illetve 100 ezer mérföld garanciát adnak.



ESÉLYLATOLGATÁS

Az, hogy a világ autóparkjának egy része, egyre nagyobb része villamos hajtású lesz, ma már az elektroszkeptikusok számára sem kérdés. A „mikor lesz?” kérdésben és az átállás üteméről az elemzők véleménye ma még nagyon különböző.

Kezdjük egy sokak által ellenérdekeltnek mondott csoport véleményével, az OPEC, a kőolaj-exportáló országok szervezetének jövőjével. Véleményük szerint, ezt terjedelmes tanulmányban tették közzé a közelmúltban, a belső égésű motor még nagyon sokáig a vezető erőforrás marad. A hagyományos dízel- és Otto-motor a

következő évtizedekben domináns szerepet fog betölteni, 2040-ben még 92% lesz. A dízel az össz. erőforrás (szgk.+ haszongépjármű) mennyiségén belül 14%-ról 21%-re növekszik, a benzines 82%-ról 71%-ra csökken. A földgáz motorhajtó anyag, a CNG (kevésbé az LNG) mutatja a legnagyobb növekedési ütemet, főleg az USA-ban és a haszongépjárműveknél. A kőolaj-kitermelő államokban, az OPEC-országokban van a villanyhajtás elterjedésének a legkisebb esélye. A tüzelőcella pedig 2030-ig még nem lesz versenyképes. Az OPEC-országok felelős vezetői, gazdasági csoportjai már ma készülnek a kőolajon túli korszakra, mert mai élet-színvonalukat később is meg akarják tartani. Az átállásban is az első helyek egyikén akarnak lenni, és ezt hatalmas tőkéjükkel el is érik. Gondoljunk csak a katarai állammal közös Shell GTL üzemre, annak világméretben is meghatározó kapacitására. Más, olajérdekeltségtől független elemzők szerint is a fejlett motorizációjú országokban ahhoz, hogy a személygépkocsi-állomány fele tisztán elektromos hajtású legyen, tehát akkumulátoros energiatárolású vagy tüzelőcellás, legalább még 50 év kell. A rövid távon az önálló villamos hajtásra

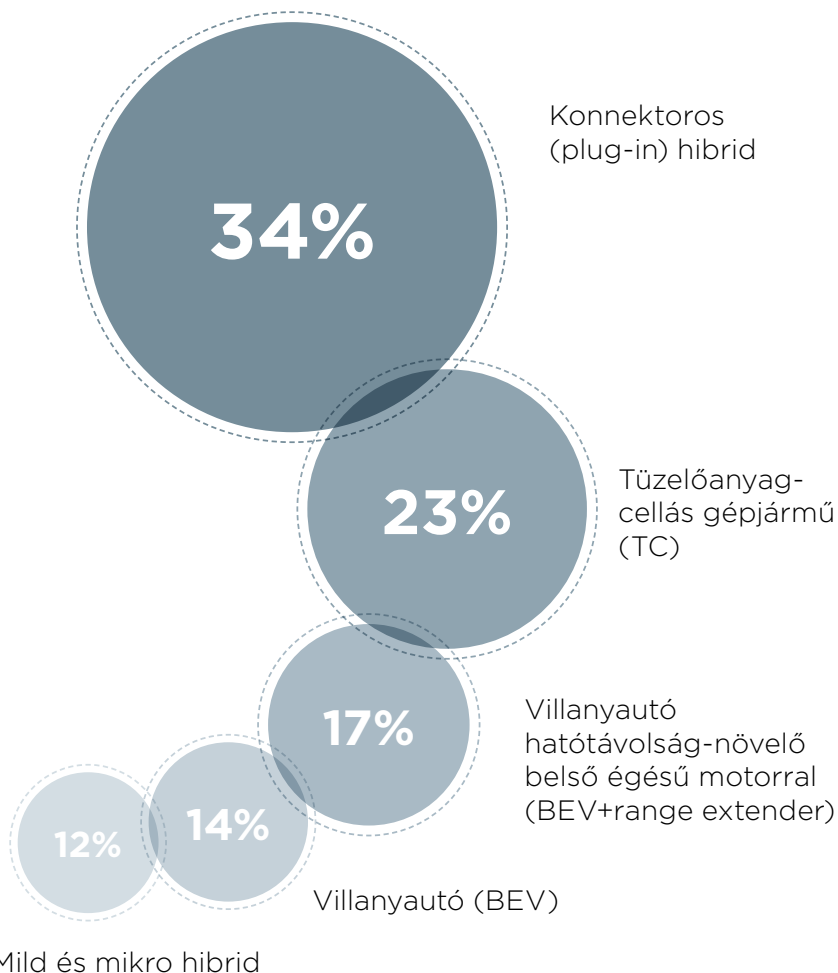


képes full-hibrid vagy plug-in hibrid autók részaránya azonban jelentős lesz (kb. 10% körüli) már az elkövetkező 10 évben is. Elemzők egy csoportja szerint mind a belső égésű motoros hibrid, mind a tisztán akkumulátoros energiatárolású villanyautó (Battery Electric Vehicle – BEV) átmeneti, köz-benső megoldás a tüzelőcellás autóhoz vezető úton.

A KPMG International 2014-es összefoglaló jelentése a globális autóipar jelenlegi és a jövőben várható trendjeit vizsgálta (Global Automotive Executive Survey – Strategies for a fast-evolving market). A felmérés autóiipari vezetők körében történt, világ vezető autóiipari vállalatainál dolgozó, 200 felsővezetővel folytatott interjú alapján készült, amelyek között autógyártók, beszállítók, kereskedők, finanszírozók, bérbeadással foglalkozó szervezetek egyaránt szerepeltek. E jelentésből emelünk ki az alábbiakban néhány, a tüzelőanyag-cella járműhajtással kapcsolatos részletet a Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület „H₂ – Hidrogén hírlevele” alapján.

A megkérdezettek tervei szerint a következő 5 éves periódusban az akkumulátoros technológiák fejlesztésébe fektetnek majd be nagyobb összegeket. Néhány további megállapítás a jelentésből:

- a hajtásláncok viszonylag tág portfóliója verseng majd a „dominanciáért”,
- 76% gondolja úgy, hogy a belső égésű motorok méretcsökkenése (downsizing) a fő hangsúly az autóiparban,
- 69% gondolja úgy, hogy a tüzelőanyag-cellás meghajtás kritikus terület a jövőbeni növekedés eléréséhez,
- 46% nyilatkozott úgy, hogy 2019-ig a legnagyobb mértékű beruházások a belső égésű motorok optimalizációjában fognak történni,
- 52% gondolta úgy, hogy 6–10 évbe telik, mire az elektromos járművek jelentik majd a legtisztább és leghatékonyabb hajtásláncot.



2019-ben a hibrid és tisztán elektromos hajtású gépjárművek %-os megoszlása (forrás: KPMG Global Automotive Executive Survey, 2014)

A belső égésű motorok dominanciája tehát még legalább öt évig (2019) megmarad a fejlesztés területén is, már ami a kutatásokba investált összegeket illeti.

A villanyautó áramforrásának elégtelensége ma a villanyautózás legnagyobb hátráltatója. Lesz-e áttörés évtizeden belül a fajlagos (tömegre, térfogatra vetített) tárolókapacitás növelésében és a töltési idő nagymértékű csökkentésében? Ez ugyan nem hit kérdése, erre a tudományos (alap) kutatás ad(hat) majd választ, de én nem hiszem, hogy nanotechnológia ide vagy oda, nagyságrendű áttörés lehetséges. Húsz éve folyik intenzív kutatás eredményel, de nem áttöréssel.

A mai értékek megduplázása, a töltési idő megfelelése nagy dolog lenne, de ez még nem nagyságrendi változás. Keresni kell a gyakorlati felhasználás számára új fedélzeti áramforrást.

A HAJTÁSLEHETŐSÉGEK TÉRKÉPÉT A TÜZELŐCELLA GAZDAGÍTTJA, EGYESEK SZERINT „ÁTRAJZOLJA”

A tüzelőcella lényege, hogy az elektromos áramot a fedélzeten állítja elő, oxidációs folyamatban. Minden olyan folyamatot, amelyben atomok, molekulák vagy ionok elektront adnak le, oxidációnak nevezünk (az elektronfelvétel a redukció). Ha az elektronleadás útja (az áram) kivezethető, akkor

munkára, azaz villanymotor hajtására is fogható!

Sok anyag jön szóba a fedélzeti oxidációhoz: lehet fedélzeten tárolt, majd a folyamatba bevezetett gázhalmazállapotú anyag, ez a hidrogén. Lehet a „cellában” elhelyezett fém, például alumínium vagy cink, amelyek ilyen körülmények között oxidálhatóak. Ezek a fémbázisú tüzelőcellák. Ezekhez természetesen speciális elektrolit (pl. KOH) is szükséges. (Lásd az Autótechnika 2014/12. számában az Al-levegő cella elemző cikket!) Az oxidációhoz szükséges oxigént mind a hidrogénüzemű, mind a fémbázisú cellák esetében célszerű a környezeti levegőből kinyerni.

A tüzelőanyag-cellák, a galvánelemekhez hasonlóan, vegyi reakciókkal közvetlenül elektromosságot állítanak elő, a különbség az, hogy míg az elemeket kifogytuk után el kell dobni, a tüzelőanyag-cella mindaddig üzemel, amíg tüzelőanyagot töltünk bele. (Ha tölthető az elem, így már megkaphatja az akkumulátor nevet, akkor többször felhasználható, árammal töltött

közbenső kémiai elektromos energia-tároló.)

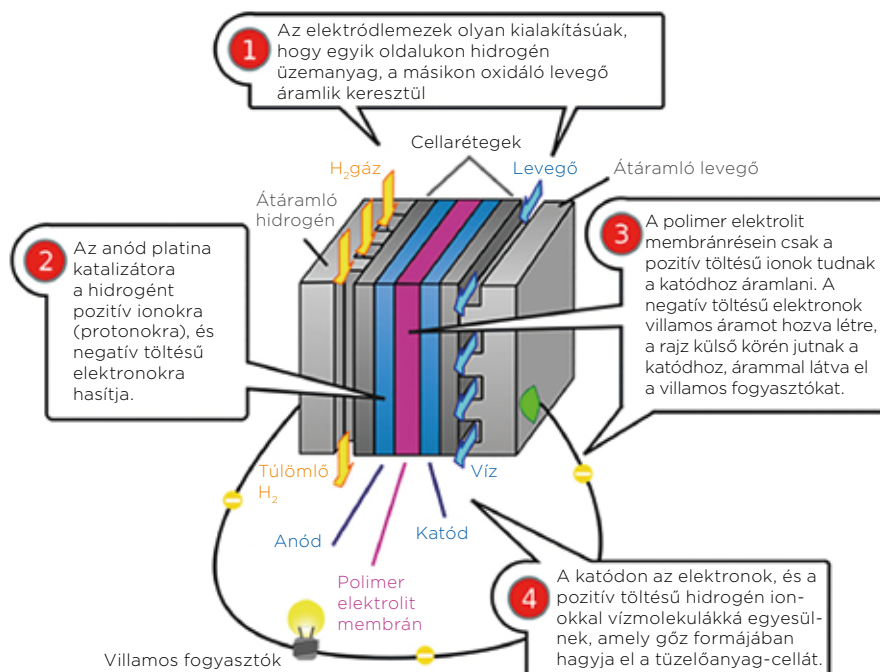
A tüzelőcella szerkezet alapegysége két elektródából áll, egy elektrolit köré szendvicsszerűen préselve. Az anódon hidrogén, míg a katódon oxigén – környezeti levegő – halad át. A katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra bomlanak. A protonok keresztüláramlanak az elektroliton. Az elektrolit az elektronokat viszont nem engedi át, azok csak kerülő úton, külső vezetéken jutnak el a katódra. Az elektronáram mielőtt elérné a katódot, felhasználhatóak elektromos fogyasztók működtetésére. A katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal, vizet hozva létre. A folyamat során hő is termelődik. Egy közbevetett „színes” hír. A Toyota Mirai fejlesztésében részt vett egyik mérnök, Mizuno Szejdzsi azt vizsgálta, hogy milyen kockázatokkal járna, ha valaki meginná a tüzelőcellás autó kipufogón át távozott vizet. Az eredmények szerint a kipufogóvíz kevesebb szerves szennyeződést tartalmaz, így

bizonyos értelemben biztonságosabb, mint a tehéntej.

Sokféle tüzelőcella fizikai megoldás és konstrukció született az elmúlt 50 évben, sokak közülük eljutottak üzemi tesztekig. Az úrhajózásban, műholdak energiaellátására vagy földi alkalmazásban tartalék, ma már több helyen elsődleges áramszolgáltatóként bizonyítanak. Az első járműben való alkalmazásra 1959-ben került sor: az Allis-Chalmers amerikai mezőgazdasági gépeket gyártó cég bemutatta első tüzelőanyag-cellás traktorját, 1008 db cellát kötöttek össze, mellyel 15 kWh villamos energiát szolgáltatottak.

A PEM CELLA

Ma már letisztultnak látszik (ilyet a műszaki életben csak nagy valószínűségűnek mondunk), melyik cella-fizika lesz általánosan alkalmazott. A PEM tüzelőanyag-cella tiszta hidrogénnel működik. A PEM az angol proton exchange membrane és egyben a polymer electrolyte membrane kifejezések rövidítése, mely magyarul protonáteresztő vagy protoncserélő membránt, illetve polimer elektrolit membránt jelent. A PEM anyaga a Nafion (fluorpolimer változat – PFSA), melyet Walther Grot fejlesztett ki a DuPont cégnél az 1960-as években. Ma a leginkább használt membránfajta a DuPont™ Nafion® XL. Vastagsága 50...200 µm. Jellemző tulajdonsága, hogy a hidrogénatom pozitív töltésű atommagját (a protont) jól vezeti, de az elektronokat nem engedi át. Üzemi hőmérséklete 80 °C. A hidrogén tisztaságára nagyon kényes. Egy cella feszültsége kb. 1 volt, a gyakorlatban a szükséges teljesítmény eléréséhez több száz cella sorba kapcsolásával alakítanak ki tüzelőanyag-cella telepet (angol megnevezés szerint stack-eket). Egy membrán-elektrod egység (cellaegység) a MEA (membrane electrode assembly), mely a PEM-et, a katalizátort (általában platina) és a sík elektródákat tartalmazza.



A polimer elektrolit membrános tüzelőanyag-cella működése

A Német Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Szövetség (DWV) 2014 év elején érdekes cikket jelentetett meg, a tüzelőanyag-cellás járművekhez oly fontos katalizátorokkal kapcsolatban. E katalizátorok nemesfémek, amelyek között a platinának (Pt) kitüntetett szerepe van, mivel igen különleges elektrokémiai tulajdonságokkal rendelkezik. Emiatt katalizátorként kulcsszerepet játszik számos kémiai reakcióban; többek között a (PEM) tüzelőanyag-cellában lejátszódó reakciókban is (mindkét elektródába szükséges, de nem azonos mennyiségben), és jelenleg nincs megfelelő helyettesítője. Nemesfém jellegének megfelelően drága (kb. 34 €/g), és részben ennek köszönhetően a platinatartalmat tartják felelősnek a TC-k magas áráért.

A TÜZELŐANYAG-CELLÁS ÁRAMTERMELÉS ELŐNYEI

- a tüzelőanyag hasznosítása lényegesen jobb hatásfokkal történik (nagyobb, mint 60%), mint belső égésű motorban,
- a károsanyag-kibocsátás vagy megszűnik (hidrogén üzemanyag esetén), vagy jelentős mértékben csökken,
- az egyszerű mechanikai szerkezetből adódóan kisebb a karbantartási költség,
- a cella gyakorlatilag zajtalanul működik,
- a tüzelőanyag-cellák a teljesítmény nagyságától függően moduláris felépítést tesznek lehetővé.

HATÁSFOK

A tüzelőanyag-cella nem hőerőgép, ezért nincs benne az a veszteség, ami a belső égésű motorokban a tüzelőanyag kémiaailag kötött energiájának mechanikai munkává történő átalakulásakor és a motormechanizmus súrlódásakor jelentkezik. További előnyük, hogy részterheléskor hatásfokuk javul. Így

JELLEMZŐ	2010	2015	2035
Hajtóanyag-fogyasztás (kg H ₂ /100 km)	1,0	0,8	0,6
Fogyasztás benzinegyenértékben (liter/100 km)	3,8	3,0	2,3
Hatótávolság (km)	400	500-600	700-800

a tüzelőanyag-cellás hajtás átlagos hatásfoka ma a 60%-ot is meghaladja, ami több mint háromszorosa az Otto-motorénak, ha az részterheléssel üzemel. A tüzelőcella (PEM) elméleti maximális hatásfoka 83%. A tüzelőanyag-cellás hajtás veszteségei egyrészt a működtetési energiaszükségletből (szivattyúk, kompresszorok, hűtőventilátor hajtása), másrészt a villamos motor veszteségeiből tevődnek össze. Egy korábbi elemzés alapján napjainkra igazolódni látszik az alábbi fejlesztési trend:

HIDROGÉN, VAGY AMIT AKARTOK...

A technikai megoldás megvan arra is, hogy a fedélzeten állítsanak elő hidrogént a tüzelőcella elé illesztett reformer berendezés segítségével. Így szinte bármely szénhidrogén tüzelőanyagot fel lehet használni, a földgáztól kezdve a metanolon át a gázolajig. A reformer ezekből az anyagokból hidrogént állít elő, miközben kis mennyiségű CO₂, CO és HC is keletkezik. Mivel a tüzelőanyag-cella nem égésen, hanem elektrokémiai reakción alapul, az emissziója mindig jóval kisebb lesz, mint a legtisztább égési folyamatoké. Ma már eldöntöttnek látszik, hogy a tüzelőcella primer tüzelőanyaga a tankolt, nagy nyomáson (500 vagy 700 bar) tárolt, gáz halmazállapotú hidrogén. Azonban azokon a piacokon, ahol a hidrogén kúti ellátását nem építik ki, primer tüzelőanyagként a legnagyobb esélye a földgáznak és a bioetanolnak van. Természetesen a reformerrel kiegészített TC-autó ára valószínűsíthetően nagyobb lesz.

CO₂-MENTESEN?

Ha a primer energia hidrogént, a TC-autó kipufogógáza csak vizet (vízgőzt) tartalmaz. Azért, hogy a TC-autó valóban CO₂-mentes legyen, sok kapcsolódó járulékos folyamatnak is CO₂-mentesnek kell lennie. Ha az autó gyártását nem tekintjük, akkor a hidrogén előállítását és a kapcsolódó logisztikai folyamatokat kell vizsgálnunk. Kedvezőnek tűnik a szélkerekek, vízenergiával, napelemmel termelte árammal a vízbontás hidrogénje, de ma még nem ez az elsődleges hidrogéntermelési technológia, többnyire földgázból, biometánból állítják elő. Van azonban a hidrogén-előállításnak egy másik forrása is: egyes technológiai folyamatok a hasznos céltermék mellett olyan mellékterméket is létrehozhatnak, melynek felhasználása, tárolása gondot jelent. Ha ebből hidrogén állítható elő, például melléktermék glicerinnél, a haszon kettős.

A HIDROGÉN FEDÉLZETI TÁROLÁSA

A hidrogén tárolható tartályban, nagy nyomáson, a mai gyakorlat szerint 350 (35 MPa) vagy 700 bar-on (70 MPa).





A hidrogén cseppfolyósítható, 20 K hőmérsékleten sűrűsége 71 g/liter. A cseppfolyósított hidrogén (LH2 vagy LHG) tárolására hőszigetelt tárolóedényt ún. kriogén tartályt használnak. A BMW készített gépjárműbe építhető kriogén tartályt.

A TOYOTA MIRAI PIACRA LÉP

Mint oly sokszor a japán technikában, a forradalmian új modelleket először otthon próbálják ki, utána az első külföldi tesztpiac a gazdag Kalifornia. A Toyota 2015-ben 700 TC járművet tervez értékesíteni, 2017-ig

pedig legalább 3000-et.

A Toyota elnökének, Takechi Uchiyamadanak, a Prius atyjának nyilatkozatából idézünk: „Az automobil első száz évét a benzin határozta meg, a jövő száz évekre a hidrogén fogja, de ennek még idő kell. Az első millió hibridautó

olcsóbbak, mint a Highlanderé voltak! A fejlődés sebességére jellemző, hogy a most beépítésre kerülő tüzelőanyag-cella a 2008-as modellben alkalmazott verzióhoz képest 2,2-szeres(!) energiasűrűséget (kW/dm³) ért el. A TC tömege közel felére(!), a térfogata (helyfoglalása) 57%-ra csökkent. A Toyota elnöke szerint a TC-elemek árának csökkenése sokkal nagyobb mértékű lesz mint az akkumulátoroké, így a tüzelőcellás autó ára közel fog kerülni a mai belső égésű motorral hajtott autók árához. A valódi bekerülési költségeket a gyártók nem teszik közzé, de azt sejtetik, hogy a saját erőssé dotálás az első időkben még jelentős. Így volt ez a Priusnál is.

A Toyota Mirai sorozatgyártása mostanában kezdődik a Toyota City-ben lévő



A BMW 7-es 12 hengerű, hidrogén-levegő keverékével üzemelő belső égésű motorjának hidrogéntartálya. A rozsdamentes acél anyagú, kettősfalú, hőszigetelt tartályban a hidrogén -253 °C hőmérsékleten, folyékony halmazállapotban van, a hidrogéntöltet tömege 9 kg. A gépjármű hatótávolsága 300 km. A hidrogén BMW-motorja és tartálya ma már múzeumi kiállítási tárgy, melyet a müncheni Deutsches Museumban is megtekinthetünk.

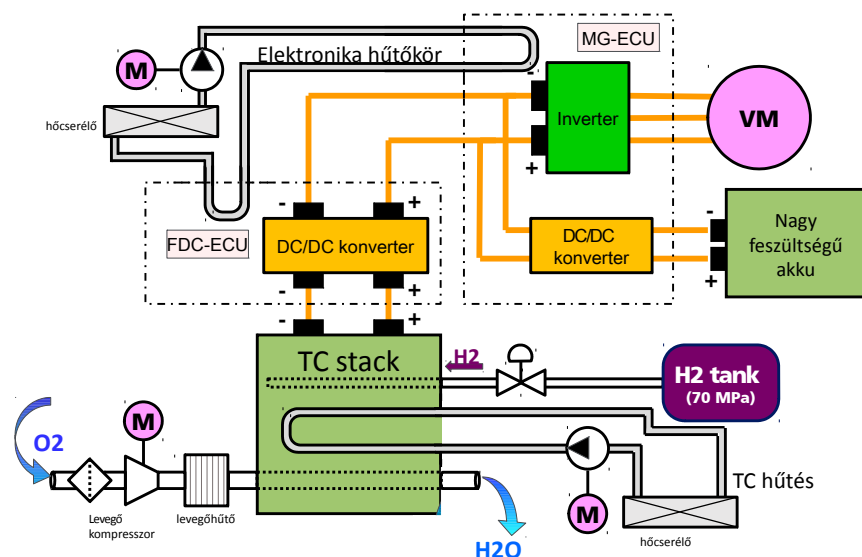
A hidrogént belső égésű motorban, levegővel keverve égették el. A hidrogén továbbá valamilyen anyagban – például fémek kristályrácsában, ezek a fémhidridek – elnyelve is tárolható. Ez utóbbi kettőnek azonban ma nincs gyakorlati jelentősége.

értékesítéséhez nekünk is tíz évre volt szükségünk, de az azt követő hetedik évben meghétszereztük az eladásokat.” A Toyota első piaci flotta próbára bocsátott TC autója a Highlander FCV volt 2008-ban. A Mirai TC komponensei ma már jelentősen, akár 90%-kal

Motomachi gyáregységben. Az autó először Japánban került 2014 decemberében piacra, majd Kaliforniában, és már 2015-ben eljut Észak-Amerikába és Európába is.

A Mirai is hibridautó! Hibrid abban az értelemben, hogy két energiaforrása





A Toyota Mirai hajtásának főegységei: a VM jelű trakciós villanymotor a fékezési energia visszanyerése végett generátor üzemben is működik, a DC/DC konverterek egyrészt a tüzelőanyag-cella egyenfeszültségét növelik, másrészt az akkumulátorfeszültséget transzformálják. Az inverter a háromfázisú, váltakozó áramot állítja elő. Valamennyi egységet hűteni, illetve temperálni kell.



van: a tüzelőanyag-cella és van akkumulátora is, némi szakmai meglepetésre nikkel-fémhidrid. A trakciós villanymotorok (állandó mágnesű forgórészes, 3-fázisú, szinkron motor vízhűtéssel) generátor üzemben is működnek: a fékezési mozgási energiát felvéve töltik az akkut. A tüzelőcella is töltheti az akkut. Az akkuban tárolt energia ellátja a fedélzeti fogyasztókat, és besegíthet a trakciós villanymotoroknak is. Az áramnemek és feszültségek váltása az inverter(ek), konverter(ek) dolga.

A hideg körülmények között végzett tesztek alapján $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig biztosított a hidegindítás, és a tüzelőanyag-cella viszonylag gyorsan tud ilyen hidegben is teljesítményt leadni. A TC teljesítményének 60%-át az indítástól számított 35 másodperc után, és 100%-át 70 másodperc után éri el.

Fontos újdonság, hogy a tüzelőanyag-cellás modell – lévén elektromos autó – álló helyzetben külső áramforrásként is funkcionálhat, a tüzelőanyag-cella nem az autó akkumulátorát tölti, hanem a csomagterben lévő csatlakozóra adja a feszültséget. Így akár a tulajdonos lakásának ideiglenes villamos energia ellátására is lehetőséget ad, pl. áramszünet esetén. Az USA és Japán háztartási hálózathoz igazítva a feszültség 100 V. A jármű kb. 60 kWh villamos energia leadására képes teljes hidrogénfeltöltéssel. Legfeljebb 9 kW teljesítménnyel, azaz egy átlagos lakás vagy ház elektromos berendezéseit ideiglenesen nagyjából normál módon lehet üzemeltetni az autóról. (Japánban, a gyakori természeti katasztrófák miatt, ennek különösen nagy jelentősége van! Egyre fontosabb szempont, hogy az e-járművek a háztartásokat el tudják látni – legalább ideiglenesen – villamos energiával, vagy szükség esetén akár visszatápláljanak az országos hálózatba, csúcsgények idején.) A járművön található DC-kimenet, és egy



A Toyota Mirai külső fogyasztók ellátására szolgáló elektromos csatlakozója

külön vásárolható DC/AC átalakító segítségével valósítható meg a háztartás elektromos csatlakoztatása az autóhoz. Ez természetesen feláras.

A japán kormány nemrégiben bejelentette, hogy minden miniszterének – és egyes más magas szintű hivatali tisztségviselőknek – kötelezően tüzelőanyag-cellás gépkocsit kell használni szolgálati autóként, mielőtt azok elérhetővé válnak. A kormányzat már dolgozik egy támogatási programon, amelyet a következő generációs „zöld” (kiemelten környezetkímélő) autók vásárlásához lehetne igénybe venni.

A HIDROGÉN TANKOLÁSA

A SAE International (Society of Automotive Engineers) 2014 nyár folyamán publikálta J2601 számú szabványát, amely a hidrogén üzemű személygépjárművek tankolására vonatkozik. (A szabvány pontos címe: „J2601 – Fuelling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles”.) A szabvány egyaránt lefedi a 350 és 700 bar-os nyomáson történő hidrogéntankolást. Megjelenését 13 évi tesztelés és fejlesztés (!) előzte meg. A szabvány alapján, illetve annak alkalmazásával a felhasználók biztosak

lehetnek abban, hogy a hidrogén üzemű járműveket teljesen biztonságosan és gyorsan megtankolhatják, mint azt a „H₂ – Hidrogén Hírlevél” 2014/3. számában olvashatjuk. A hírlevelet a Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület (Budapest, Magyar Jakobinusok tere 7. www.hfc-hungary.org, info@hfc-hungary.org) adja ki.



H₂-tankolás. A betöltőnyílás fedél felirata: csak sűrített hidrogéngáz (tölthető be), névleges üzemi nyomás: 70 MPa @ 15 °C, max. megengedett üzemi nyomás: 87,5 MPa @ 85 °C, H₂-minőség: SAE J2719 vagy ISO 14687 szabványnak megfelelő, a karbantartásra és az élettartamra vonatkozó utasítást lásd a tartályon lévő feliraton

Az egyesület a tüzelőcellás hajtás elkötelezett híve, hazai előkészítésének tevékeny kezdeményezője.

EGYMÁST FIGYELVE

Az tudott, hogy a piacvezető autógyártók árgus szemekkel figyelik egymás munkáját, e tekintetben legalább 20 éve (talán ipari kémkednek is?), bizonyítja ezt az is, hogy a TC-járművekkel, szériagyártás előttiekkel és prototípusokkal a közelmúltban – hosszú kutató-fejlesztő munka után – szinte egyszerre jelentek meg. Most a Toyota Mirai „robbantott”, és mint láttuk, erre a Honda, a Hyundai, a NISSAN kis késedelemmel válaszolt, nem maradt le a Mercedes (ezeknek a márkáknak már közel 30 éves munkájuk fekszik a TC-ben!), de a VW és az Audi sem, a GM és a BMW (a Toyotával együttműködve) is engedett bepillantani néhány TC-projektbe. Van, aki maga fejleszti a TC központi elemét, a stack-et, például a Toyota, VW (akiről tudunk), és vannak, akik erre spe-

cializálódott cégekkel kooperálnak, ilyen cég például a kanadai Ballard. A Mercedes a B osztály TC-változatának piaci megjelenését 2017-re prognosztizálja, és mint mondják, az ára sem fog egy dízelautótól nagyon különbözni. Reméljük, erről is hamarosan megtudunk technikai részleteket.

A Toyotával párhuzamosan a Hyundai és a Honda is két éven belül tervezi a tüzelőcellás autót nagy sorozatban piacra hozni. Először a Hyundai jelent meg a piacon egy előszériás TC-modellel. A Honda FCX Clarity tesztflottája már 2008 óta fut, de az első szériagyártású modellnek, a Honda FCV-nek a piaci megjelenését Japánban csak 2016 márciusára ígérik. Később az USA-ban és Európában is piacra hozzák a 100 kW teljesítményű, 700 km hatótávolságú modellt.

A 2014. ÉVI LOS ANGELES-I AUTÓSZALON

A 2014. évi Los Angeles-i Autószalon a tüzelőcellás koncepció autók, prototípusok bemutatásának is színtere volt. A Toyota Mirai mellett a VW-csoport több TC autóval, a HyMotion, illetve a h-tron jelű modelljeivel találkozhattak az érdeklődők, az újságírók ki is próbálhatták. A VW kutatás-fejlesztési tanácsának tagja, dr. Heinz-Jakob Neusser a kiállításon nyilatkozta: elsősorban nem műszaki problémák miatt halasztják a TC-modellek piacra hozatalát. Először a hidrogén kúthálózatnak kell egy elfogadható szintre kiépülnie egy-egy országban, régióban ahhoz, hogy ott kereskedelmi forgalomba hozzák TC-modelljeiket. Igaz, hogy műszaki problémák megoldásán is kell még dolgozniuk, mert a PEM cella még sok platina katalizátort igényel, mely meglehetősen drágává teszi. Ennek mérséklésére, kiváltására intenzív kutatómunka folyik. A Los Angelesben bemutatott VW és Audi TC-modellekben közös a



tüzelőanyag-cella típusa és az, hogy számos elemet a konszern más villanyautóiból vettek át, mégis nagyon különböznek egymástól.

AUDI H-TRON

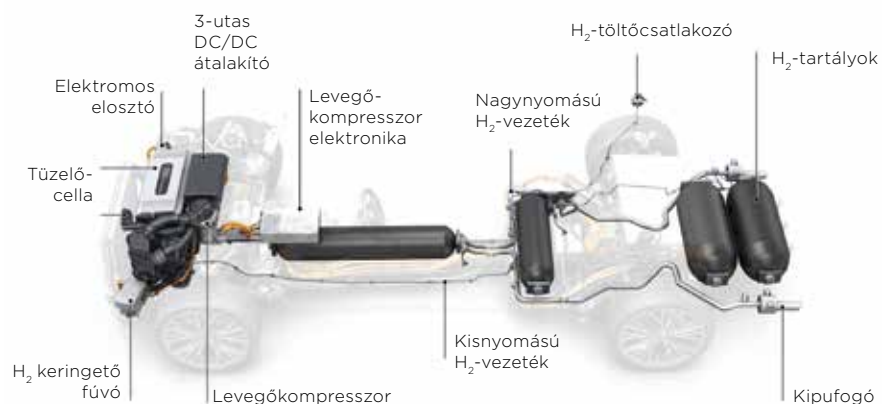
A 2014. év, különösen az utolsó néhány hónapjának TC híradatában talán a meglepetés erejével hatott az Audi A7 Sportback h-tron quattro prototípus bemutatása. A „h-tron” névben a „h” a hidrogénre utal. Az összkerek-hajtású (!), 1950 kg tömegű sportkocsi tisztán elektromos hajtású, a villanymotorokat tüzelőcella és akkumulátorok árama hajtja. Villanymotorjainak összteljesítménye 170 kW. Gyorsulása: 7,9 másodperc alatt éri el álló helyzetből a 100 km/h-t, végsebessége 180

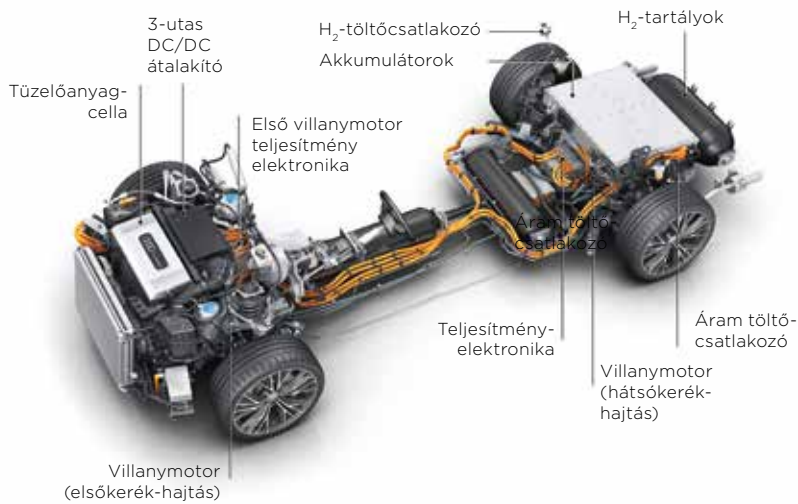
km/h. Hatósugara 500 km. Műanyagból (!) készült kipufogócsövén csak vízgőz távozik.

A konstrukció BEV (Battery Electric Vehicle), tehát akkumulátoros villanyautó is. Ennek motorja a hátsó kerekeket hajtja. Az akkumulátoros kombinációra több szempontból is szükség van, mert:

- a fékezési energiát hasznosítani kell, azt pedig a TC nem tudja,
- szükség volt a „booster” funkcióra a rövid idejű hajtónyomaték-növelés miatt,
- a TC hidegindítása utáni teljes terhelhetősége időt vesz igénybe, ennek áthidalására is kell az akkumulátoros áramellátás.

A TC több mint 300 cellából áll, egy stack-et képezve, a cellafeszültsé-





ség a terheléstől függően átlagban 0,6–0,8 V között van. A teljes stack feszültség 230 és 360 V. A TC-t hűteni kell, ennek hűtőköre szolgál az utastér fűtésére.

A tüzelőcellák optimális üzeme megkívánja, hogy hőmérséklete 80 °C környezetében legyen. Ekkor éri el hatásfoka a 60%-nál nagyobb értéket. Hűtése – mondják a gyártók – nagyobb műszaki feladat, mint a belső égésű motoré. A tüzelőcellás autó –28 °C-ig üzembiztos.

Az Audi h-tron plug-in-hibrid. A plug-in-hibrid, azaz a konnektoros hibrid azt jelenti, hogy az akkumulátorok töltése három módon lehetséges:

- belső forrásból (belső égésű motorral rendelkező hibrid esetben azáltal forgatott generátor termelte árammal, TC esetében a tüzelőanyag-cella szolgáltatja árammal),
- motorféküzemben a mozgási energia átalakításával (generátoros visszatáplálás – rekuperáció) és
- külső áramforrásból (plug-in).

Az Audi h-tron lítium-ion akkumulátora 8,8 kWh energia tárolására alkalmas. Külső forrásból való töltése 230 V-os hálózatról 4 órát, ipari áramforrásból 2 órát vesz igénybe. Az

akkusomagot és töltőrendszerét az A3 Sportback e-trontól vették át. Az Audi h-tron akkumulátorának áramával 50 km-t tud megtenni. Az akkufeszültség és a tüzelőcella feszültsége eltérő, ezért összekapcsolásukhoz DC/DC átalakító kell. Az akkumulátorokat a tüzelőcella is tudja tölteni. Az állandómágneses szinkron villanymotorok működéséhez változó feszültség kell, ezt az ún. Triport átalakító hozza létre. A motorok névleges teljesítménye egyenként 85 kW, de rövid időig 114 kW-ig terhelhetőek. A motorok maximális nyomatéka egyenként 270 Nm. A trakciós motorok

hatásfoka 95%. A villanymotorokat és a feszültségátalakítókat ún. kis hőmérsékletű hűtőkör hűti.

A hidrogéntankolás a 700 bar nyomású rendszerben kb. 3 percig tart. A tartályban mintegy 5 kg hidrogén tárolható. Az autó gáztöltési rendszerre vezeték nélküli kommunikációval kerül a kút töltőrendszerével kapcsolatba, a tartály hőmérsékletéről és az aktuális tartálygáznyomásról ad információt. A tartály anyaga alumínium, melyet szénszál-erősítésű műanyag (CFK) héj borít. Az Audi h-tron fogyasztása NEDC-ciklusban 1 kg hidrogén/100 km, ami kb. 3,7 liter/100 km benzinfoasztásnak felel meg.

VW GOLF SPORTWAGEN HYMOTION ÉS A PASSAT HYMOTION

A VW az MQB építési struktúrában tüzelőanyag-cellás hajtás koncepció modelljét is bemutatta a Los Angeles-i autósalonon, nem tagadva, hogy a szériagyártáshoz még sok problémát kell megoldaniuk. Ebben az évtizedben a sorozatgyártást még nem tervezik.

A Volkswagen Golf SportWagen HyMotion az e-Golf számos elemét alkalmazza, így például a hátul elhelyezett 1,1 kWh lítium-ion akkumulátoregységet





és a 12 V-os akkumulátort. A TC és az akkumulátorok áramával a villanymotor maximálisan 100 kW teljesítményt ér el. A PEM tüzelőanyag-cella 4 szén-szál-erősítésű műanyaggal burkolt alumínium gáztartályból kapja a hidrogént, a tárolt max. mennyiség 4,22 kg. Az autó hatótávolsága 500 km. Gyorsulása 0–100 km/h sebességre 10 másodperc. Az autó indulásakor és intenzív gyorsítási igényénél az akkumulátorból kapja az áramot. A tüzelőcella terhelhetősége minimális időt igényel, ezért szükséges az akkumulátoros indítás.

A gépkocsi vezetője kapcsolóval választhat, hogy

- a TC csak az akkumulátorokat töltsé,
- a hajtás csak az akkumulátor áramával történjen, vagy
- a rendszerirányítás az optimális energetikai viszonyokat állítsa be.

Minden autóleállítás – azaz rendszerleállítás – után a TC addig üzemel, míg az akkumulátorokat fel nem tölti. A működés szinte hangtalan, csak a szivattyúk sustorgása hallatszik.

VW TC FEJLESZTÉS

A VW-konzern a TC főegységeit a 2001-ben, a Wolfsburghoz közeli Isenbüttelben létrehozott Volkswagen Technologiezentrum Volkswagen Technologiezentrum für Brennstoffzellen- und Elektrofahrzeugtechnologie kutatóintézetében (tüzelőanyag-cella

és villamos hajtás témáival foglalkozó kutatóbázis) fejlesztette ki. A VW már az 1990-es évek óta foglalkozik tüzelőanyag-cella fejlesztéssel, de a K+F munka komolyabb lendületet csak az elmúlt jó tíz évben kapott. Itt született meg a világújdonságnak számító LT PEM (Low Temperature PEM) cella, melyről először 2006-ban számoltak be. A Volkswagen AG és a Ballard Power System 2013 márciusában kötöttek 4 éves, 100 millió dolláros K+F mérnöki szolgáltató szerződést a tüzelőanyag-cella folyamatos fejlesztésére, ennek keretében készült el a 2014. évi Los Angeles-i Autószalonra az LT PEM cella negyedik generációjával a Golf SportWagen HyMotion, a Passat HyMotion és az Audi h-tron.

A Volkswagen Golf konstrukció annyiban új, hogy a TC-hajtást egy meglévő széria gépjárműbe tervezték, ez az MQB platform (moduláris matrix építőszerkevény). A Golf MQB alkalmas benzines (TSI), földgáz (TGI) és dízel (TDI) változatok befogadására, valamint elektromos hajtású kialakításokhoz, így az e-Golf és a konnektoros GOLF GTE hajtásmódokhoz is. A VW ezzel kívánja jelentősen csökkenteni a jövőben a Golf HyMotion árát.

TÜZELŐCELLÁS ANYAGMOZGATÓ GÉPEK

A tüzelőcella számára egy igazán „eltalált” alkalmazás az anyagmozgató gépek, például villástargoncák tüzelőanyag-cellás áramforrású villanymotoros hajtása. Ma már legalább 1000 db üzemel a világban. A Toyota már régebben gyárt tüzelőcellás járműveket, a kisebb cellák villástargoncába kerülnek, a nagyobbakat autóbuszba építik be. A tüzelőcella ma repülőgépekben az akkumulátorokat váltja ki.

A BMW számol be arról, hogy az egyik amerikai üzemében TC villástargoncákat üzemeltet. Egy feltöltéssel 2 kg hidrogént tankolnak, ezzel 8–10 órai üzemre képesek. A tankolás





csak 3 percet vesz igénybe, míg az akkumulátoros targoncák töltése ennek a sokszorososa. A targonca teljesítőképessége az üzemidő alatt nem csökken. Az áramtöltés elmaradásával jelentősen kisebb az üzem áramigénye, és a használt akkumulátorok, illetve az akku elektrolit, mint veszélyes hulladékok kezelése is szükségtelenné válik. Az előnyök kézenfekvőek, de részletes költség-elemzésről nem szólnak a hírek.

A HIDROGÉNELLÁTÓ RENDSZER

Természetesen a TC-technika elterjedése a hidrogéntankolás lehetőségén áll vagy bukik. Ezzel a kérdéssel részleteiben most nem foglalkozunk, ez megér egy külön cikket. Látjuk, hogy a nagynyomású tárolás a logisztikában, a kúton és a fedélzeten műszakilag megoldott, mint ahogy az átfertés (töltés) is. Halljuk a híreket, hogy óriási erők mozognak már ma is, hogy kiépítsék a töltési infrastruktúrát Japánban, az USA-ban és Európa egyes államaiban, például Norvégiában, Németországban és Angliában. Több országban az állami támogatás is komoly mértékű. A hidrogénkorszakra való átállás számos energia-

ellátási területen megkezdődött.

Unokáink meg fogják látni!

A Linde cég közleményeiből tudjuk, hogy a megvalósuló félben lévő hidrogénkutakhoz, ahol nagynyomású hidrogéngázt tankolhatunk, a tartályautók a hidrogént kb. 200 bar nyomáson szállítják. A jövőben ezt 350 bar-ra kívánják növelni, így a kutakon kisebb lesz a kompresszor energiafelvétele. A tartályokat a kúton, cseretartályos rendszerben, lerakják.

A HIDROGÉN A KUTAKRA 200 BAR NYOMÁSÚ TARTÁLYOKBAN SZÁLLÍTJÁK

A kúton lévő nagynyomású kompresszor állítja elő a 350 vagy a 700 bar nyomású, autóba betöltésre kész hidrogént. A hagyományos, dugattyús kompresszorokkal szemben a Linde (IC 90) ionos folyadékot használ, és maga a folyadék nyomja össze a gázt. Az IC 90 energiahatékonyabb működést, azaz kisebb energiaigénnyel megvalósítható hidrogénkompressziót tesz lehetővé. Halkan üzemel és – szükség esetén – akár 1000 bar maximális töltőnyomás is elérhető vele. A kompresszor 5 lépcsős, igazi high-tech megoldás: ez az ún. ionkompresszor.

Az ionkompresszor meglehetősen pontatlan megnevezés, angolul ionic liquid piston compressor, ionic compressor vagy ionic liquid piston pump. A hagyományos kompresszorokhoz képest 40%-kal kisebb energiafelhasználással. Az ionkompresszor után a gázt kb. 40 °C hőmérsékletre visszahűtik.

A Linde Csoport 2014-ben, Bécsben megnyitotta a hidrogéntöltő állomások előállítását szolgáló, kis szériás gyártóüzemét, amely a világ első ilyen jellegű létesítménye. Az üzem a Linde bécsi Alkalmazástechnológiai Központjának modernizálásával és bővítésével jött létre. A töltőállomás egy 4,2 m-es konténerben kerül elhelyezésre, hogy a teljes rendszer szállítása és helyszíni installálása (akár meglévő töltőállomásokhoz) könnyen megvalósítható legyen. A bécsi gyártókapacitás évi 50 berendezésre történő megemlése is lehetséges. Bécsben nyilvános hidrogénkút is van.

Egy videó (lásd a QR-kódját) betekintést ad a hidrogén kúti kezelésének folyamatába és az ionkompresszor működésébe (<https://www.youtube.com/watch?v=usaQrCDORFY>).

Európában az első, lakossági fogyasztók számára is hozzáférhető töltőállomást a stuttgarti repülőtéren, 2009. június 17-én adták át. (Tudjuk, hogy korábban is volt hidrogénkút Németországban. A BMW-nek volt hidrogén/levegő keverékkel működő belső égésű motorja, ehhez lehetett itt hidrogént tankolni. Ez azonban folyékony halmazállapotú hidrogén volt.) A stuttgarti töltőállomást az OMV működteti, a Linde és a Daimler együttműködésében. A projekt Baden-Württemberg tartomány támogatásával valósult meg. A töltőállomás a sűrítéshez a Linde ionkompresszor technológiáját alkalmazza.

Illik megemlíteni, hogy a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar „Pollack Eco Team” csapata hidrogén tüzelőanyagú

AZ ALÁBBIKBAN NÉZZÜK A MIRAI NÉHÁNY MŰSZAKI ADATÁT:

jármű teljes hossza	4890 mm
tengelytáv	2780 mm
szélesség	1815 mm
végsebesség	175 km/h (165 km/h más forrás szerint)
hajtáslánc	állandó, fogaskerekes redukciós áttételű hajtás (nincs tengelykapcsoló és sebességváltó!),
tüzelőanyag-cella (PEM) max. teljesítménye	114 kW
tüzelőanyag-cella teljesítménysűrűsége	3,1 kW/dm ³
max. kimenő feszültség	650 V
max. forgatónyomaték	335 Nm
hidrogéntárolás	2 db, 700 bar-os tankban; -5 kg, tartályterefogat: 60 és 62,4 liter
akkumulátor	1,6 kWh, nikkel-fémhidrid, 245 V
jármű saját tömege	1850 kg
hatótáv	650 km, a Toyota saját mérése alapján, melyet a Japán Infrastruktúra és Közlekedési Minisztérium JC08 teszt-ciklusa szerint végeztek; más mérési feltételek mellett 482 km
feltöltési idő	-3-5 perc (tankolási nyomástól, ez 875 bar és külső hőmérséklettől függően).

AJÁNLÁS

Ajánlom ezt a cikket Petrók János úr emlékére. Ő már több mint két évtizede hozta szóba a hidrogénjövőt, és gyakran foglalkozott az Autótechnikában is a műszaki problémákkal, a tüzelőcellás áramforrásokkal és autókkal, tudományos fejlesztési konferenciák anyagait, USA és Japán kormányzati anyagokat áttanulmányozva a korai időktől kezdve. Aki ezt a témakört kívánja áttekinteni, cikkeket ezen a területen sem nélkülözheti. ■



tüzelőanyag-cellás járművet épített és folyamatosan fejleszti, Háber István vezetésével. Szép sikereket értek el a Cartagena-i Solar Race, valamint a Shell Eco-Marathon versenyeken. A 2014-es Shell Eco-Marathonon, Rotterdamban a HI-ORCA tüzelőanyag-cellás autójukkal újra egyéni rekordot döntöttek, 144 km/kWh fogyasztással a 7. helyet szerezték meg az európai mezőnyben.

ZÁRSZÓ

A kételkedőknek csak annyit, hogy a leghosszabb út is az első, általában apró lépéssel kezdődik. Így van ez a hidrogénkorszakra való áttéréssel, ebben a tüzelőanyag-cellás fedélzeti áramforrású közúti járművekkel is. Az első lépéseket 20 vagy akár 40 évvel ezelőtt tették meg a kutatók, majd később a mérnökök. Ma már nagyobbak a lépések, és az is látszik némileg homályosan, hova akarunk eljutni. Ezzel együtt több ma még a nyitott kérdés, mint a megválaszolt. De haladunk!

Forrás:

Dr. Emőd István (BME Gépjárművek és Járműgyártás tanszék) előadás anyagai,
 Petrók János Autótechnikában megjelent cikkei,
www.hfc-hungary.org
www.facebook.com/PollackEcoTeam?pnref=story
www.toyota.com/fuelcell/fcv.html
www.toyota-global.com/innovation/environmental_tech
www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/news/2014/11/hymotion.html
www.fuelcell.hu
www.hfc-hungary.org/H2_Hirlevel_2014_3_december.pdf
www.audi-mediaservices.com/publish/ms/content/en/public/pressemitteilungen/2014/11/19/audi_a7_sportback.html
www.audi.co.uk/about-audi/latest-news/a7-sportback-h-tron-quattro-showcases-audi-fuel-cell-technology-expertise-at-la-auto-show.html
www.hydrogenfuelnews.com/
www.linde-gas.com/en/innovations/hydrogen_energy/fuelling_technologies/index
www2.dupont.com/FuelCells/en_US/products/na_fion_xl_membrane.html
www.greencarreports.com/news/1092925_toyotafuel-cell-sedan-final-design-price-revealed-for-japan
www.toyota-global.com/innovation/environmentaltechnology/fuelcell_vehicle/
<http://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/4198334/>
www.japantimes.co.jp/news/2014/07/25/business/japanese-government-to-make-fuel-cell-cars-the-official-vehicle-for-all-ministries/
<http://newsroom.toyota.co.jp/en/download/4224903>
<http://www.kpmg.com/global/en/issuesandinsights/articlespublications/global-automotive-executive-survey/pages/default.aspx>