

Új tendenciák a környezetbarát gépjárművek meghajtásában

Szabó Loránd

Kolozsvári Műszaki Egyetem, 400750 Cluj, P.O. Box 358, Románia

e-mail: Lorand.Szabo@mae.utcluj.ro

1. Bevezetés

Sok szakértő szemében a jelenlegi energiarendszer szilárdnak és változtathatatatlannak tűnik. A belsőégésű motor az uralkodó a szállításban az ipari országokban közel egy évszázada. A villanyáramot pedig jelenleg olyannyira természetesnek vesszük, hogy a szolgáltatás bármiféle megszakadását vészhelyzetnek tekintjük. A 2003. augusztusi észak-amerikai villamosenergia rendszer összeomlása pedig megmutatta mekkora káoszhoz vezethet egy huzamosabb áramszünet. Az új, a fosszilis tüzelőanyagoknál alkalmasabb, megbízhatóbb és olcsóbb energiaforrások keresése sok szakértő képzeletében fel sem merül.

Ha a fejlődő világ növekvő szükségleteit a fejlett ipari országok igényeinek mai szintjén akarnák kielégíteni, akkor a világ olajtermelését meg kellene háromszorozni, még ha a fejlett ipari országok fogyasztásában nem is tételeznénk fel semmiféle növekedést. Viszont jóval a fosszilis tüzelőanyagok teljes kifogyása előtt a használatukkal járó környezeti és egészségügyi terhek egy tisztább energiarendszer felé kényszeríthetnek bennünket [1].

A fosszilis tüzelőanyagok égetése és a robbanómotorok gázkibocsátása a légszennyezés fő forrásai, valamint a víz és a talaj minőségromlásának egyik vezető okai. A szennyezés-szabályozás az utóbbi évtizedekben a legtöbb ipari országban javította a levegő minőségét, viszont a fejlődő világ országaiban a növekvő szénfogyasztás miatt a levegő minősége igencsak romlott. Így összesítve a Föld levegőminősége erőteljesen tovább romlik.

Mindezek miatt az ún. alternatív energiaforrások (szél-, napenergia, stb.) felhasználása, az elektromos- vagy hibrid gépkocsik elterjedése kiemelkedő szerepet játszhat századunk új energiarendszerének kialakulásában, életminőségünk javulásában.

A gépkocsi-közlekedés félelmetes dimenziókat ért el: 2030-ra előreláthatólag 2,3 milliárd autó fog Földünk útjain közlekedni [2]. Jelenleg az Egyesült Államokban, a világ "legmotorizáltabb" országában közel 900 gépkocsi jut ezer lakosra [3]! Az ország autóparkja három állam (Ohio, Indiana és Pennsylvania) szántóföldjeit be tudná fedni. E hatalmas gépkocsipark előállításához és kiszolgálásához kapcsolódik az ország ipari tevékenységének 14 százaléka. Az Egyesült Államok iparának egyik vezető ágazata az autóipar, több millió embernek ad munkát és minden két másodpercben eladják valamelyik termékét. Az ország hét legnagyobb vállalata közül öt gépkocsit gyárt, vagy az ehhez szükséges üzemanyagot állítja elő [4]. Az Egyesült Államokban egyetlen év alatt 42.000 ezren haltak meg autóbalesetek következtében, a sebesültek száma pedig meghaladta a 4 milliót. A gépkocsik további, felbecsülhetetlen számú közvetett áldozatai azok, akik a károsanyagok kibocsátása miatt betegedtek meg. Emiatt a gépkocsik bármilyen minőségi javítása nagyon nagy horderejű az egész emberiségre nézve [5].

A következő évtizedekben az egyik legjelentősebb változást a közlekedésben valószínűsíthetően a robbanómotorok területveszése és az elektromos meghajtású gépjárművek térhódítása fogja okozni [6]. Gyakorlatilag négy autótípus járhatja majd századunkban az utakat:

a klasszikus belsőégésű motorral rendelkező (*ICEV – Internal Combustion Engine Vehicle*), az elektromos gépkocsi (*EV – Electric Vehicle*), a hibrid meghajtású autó (*HEV – Hybrid Electric Vehicle*) és az üzemanyagcellás gépkocsi (*FCV – Fuel Cell Vehicles*) [7].

Mivel ez a tudományterület nagyon átfogó, csak a legkülönbözőbb szakmákban járatos kutatók összefogásával lehet számottevő eredményt elérni.

Az ez irányú kutatásokat valamennyi fejlett ország kormánya támogatja. Egyedül az Egyesült Államok energiaügyi minisztériuma (a *Department of Energy*) az elkövetkező években 100 millió dollárt biztosít az ezen a téren folyó kutatások finanszírozására [8]. Az Egyesült Államok kormányzata kiemelten támogatja a gépkocsikban is használatos üzemanyagcellák területén végzett általános kutatásokat [9]: Bush elnök 2003 elején jelentette be, hogy pótlólagosan 1,2 milliárd dollárt különítettek el erre a célra [19]. A japán kormány az idei pénzügyi évben 32 milliárd jent (több mint 25 millió dollárt) áldoz az üzemanyagcellákkal és a hidrogén üzemanyaggal kapcsolatos kutatások támogatására [10]. Az ipar óriásai, az autógyártók ezeknek többszörösét fektetik be annak reményében, hogy komoly piaci részesedéshez jutnak majd a távolabbi jövő autópiacon. Mindemellett számos más ágazatban folyó kutatást is katalizálnak az ezen a téren futó projektek.

Azonban az autóiipar fő mozgatórugója a fogyasztói kereslet marad: amennyiben a felhasználók hajlandók lesznek többet áldozni olyan gépkocsira, amelyik kevesebbet fogyaszt és kisebb a károsanyag kibocsátása, akkor egészen biztosan felgyorsulnak az autógyárak ez irányú fejlesztései.

2. A belsőégésű motorok továbbfejlesztése

A belsőégésű motorokat még túl korai lenne leírni. Még nem érték el hatásfokuknak a maximumát, annak ellenére, hogy a Carnot-ciklusra alapulván a hatásfokukat csak akkor lehet növelni, ha belsejükben növeljük a hőmérsékletet. Ám ennek természetesen fizikai korlátjai vannak [11]. Katalizátor beépítése, a számítógép vezérelte befecskendezés, valamint a "tisztább" üzemanyagok kifejlesztése számottevően csökkentette levegőszennyeződésüket. Mindaddig versenyképesek maradhatnak, amíg törvény elő nem írja, hogy az autók nem szennyezhetik a környezetet (teljes károsanyag-kibocsátás mentesség) [2]. Ennek politikai okokból kevés a valószínűsége, mivel a kőolaj lobby az egyik legmeghatározóbb politikai erő szerte a világon.

A közvetlen benzinbefecskendezés (*GDI – Gasoline Direct Injection*) napjainkban bizonyítja, hogy úgy valósítható meg további teljesítménynövekedés (kb. +20%), hogy emellett csökkenthető a károsanyag-kibocsátás (körülbelül 10 százalékkal) és az energiafelhasználás, vagyis a fogyasztás (ugyancsak körülbelül 10 százalékkal) [6].

Sok más apró újítás, javítás magán a motoron, az áttételeken és az autó többi alkatrészén kis mértékben (pár százalékkal) mind hozzájárulhat a fogyasztás, és ez által a légszennyezés csökkentéséhez [12].

A belsőégésű motorok terén is próbálkoznak alternatív üzemanyagok használatával, mint például a kénmentes szintetikus üzemanyag. A Volkswagen csoport komoly erőfeszítéseket tesz a környezetbarát szintetikus üzemanyag kidolgozására. A *SunFuel* kísérlet keretében olyan, biomasszából nyert üzemanyaggal kísérleteznek, amelyeknek a károsanyag kibocsátása igen alacsony [13].

Ugyancsak próbálkoznak a földgáz hajtotta gépkocsikkal is. Ez utóbbiak fő előnye, hogy közel 20%-al kevesebb mérgező anyagot bocsátanak ki, mint a hagyományos belsőégésű motorok.

Több kutatóközpontban foglalkoznak hidrogéntüzelésű motorok hajtotta gépkocsikkal [14]. Az ötlet nem új. Már közel kétszáz éve, 1809-ben szabadalmaztattak hidrogén hajtotta járművet. A feltaláló megálmodta jármű rajza az 1. ábrán látható [15].

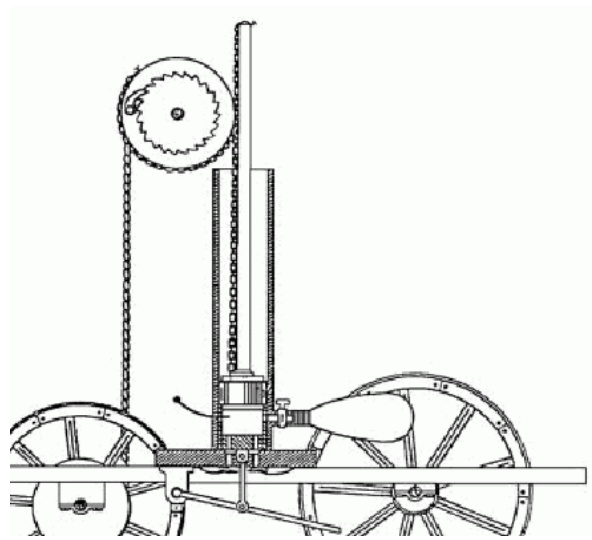
A hidrogén meghajtású járművek fő előnye, hogy csak vízgőzt bocsátanak ki. Az összes üzemanyag közül a hidrogénnek a legnagyobb a fajlagos energiataralma (120,7 kJ/g). Sok szakember a hidrogénben látja az emberiség megszabadulását a kőolajfüggőségtől és a légszennyezéstől [16].

A szükséges hidrogént leggyakrabban a víz elektrolízisével állítják elő, ehhez pedig villamos energiára van szükség. Bár a korszerű berendezésekben a befektetett energia 80 százaléka a víz szétbontására fordítódik, a teljes – az elektromos áram termeléséhez szükséges, a primer energiából kiinduló – folyamatnak a hatásfoka csupán 25 százalékot tesz ki.

Hidrogén ma legolcsóbban földgázból nyerhető, mivel e folyamatnak az összhatásfoka nagyobb lehet, mint a vízbontásé [17]. A hidrogénüzemű belsőégésű motor energetikailag és a globális éghajlatváltozás szempontjából akkor a legelőnyösebb, ha a hidrogént megújuló energiaforrásból állítjuk elő: vízből, napenergiából származó villamos energiával, vagy biológiai reaktorokban baktériumok és algák közreműködésével termelve.

Ahhoz, hogy a gépkocsi hidrogént vihessen magával, különféle tartályokat fejlesztettek ki. A hidrogént nagy nyomású gázként való szállítása viszonylag nagy térfogatú tárolóra van szükség. Egy 50 literes tartályba 1 kg 220 bar nyomású hidrogéngáz tölthető, ezzel egy középosztályú gépkocsi csak körülbelül 100 kilométert tehet meg. A folyékony és mélyhűtésű hidrogént ún. kriogéntárolóban hordozó autó jóval messzebbre juthat. Ám a hidrogén cseppfolyósítására kell fordítani a hidrogénben tárolt energiának a 30 százalékát, s ehhez még a napi 2 százaléknyi párolgási veszteség is hozzászámítandó. Másik megoldás alapja, hogy a fémhidrid tárolóban a hidrogén fémmel alkotott vegyületében tárolódik. Maga a tároló – más rendszerekkel összehasonlítva – kicsi térfogatú, de nehéz. A hidrogén tankolása hosszan tartó és nem tetszés szerinti gyakorisággal végezhető folyamat [17].

Mindezek ellenére a gépkocsigyártók egy része folyamatosan kísérletezik a hidrogénüzemű motorok hajtotta gépkocsikkal. Élenjáró a BMW gyár [18], ahol a szakemberek bebizonyították, hogy a hidrogén akár a nagy, V12-es motorú luxuslimuzinok hajtására is alkalmas lehet, megépítve a közkedvelt 7-es BMW limuzin hidrogénüzemű változatát. A hidrogént folyékony állapotban (mínusz 250 Celsius-fokra lehűtve) egy 140 literes hőszigetelt tartályban helyezték el a gépkocsi hátsó ülése mögött. Ezzel a gépkocsival mintegy 350 kilométert lehet megtenni újabb tankolás nélkül [7]. Valamivel hétköznapibb újdonságnak számít a Mini hidrogéntüzelésű variánsa, amelynél a tartályokat az első ülések alá építették be.



1. ábra. Az első hidrogén hajtotta jármű [15]

Azonban olcsó és nagy mennyiségű hidrogén egyelőre nem áll rendelkezésünkre. Továbbá hiányzik a hidrogén elosztási hálózata is. Mindezeket figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a hidrogénüzemű autó sikere elsősorban a hidrogén gyártásának és tárolásának módjától és az elosztási rendszer infrastruktúrája kiépítésének ütemétől függ [2]. A szakértők becslése szerint a hidrogén töltőállomások infrastruktúrájának kiépítésének költsége meghaladhatja a 40 milliárd dollárt [19]!

Biztosra vehető, hogy a belsőégésű motor hajtotta gépkocsik nem fognak eltűnni a közeljövőben az utakról, számottevő térvessztésük csak a távoli jövőben valósulhat meg. Mindezek ellenére hatalmas erővel folynak a kutatások másféle meghajtást biztosítani a gépkocsiknak. A belsőégésű motorok lecserélését egyébként a politika is igyekszik ösztönözni, hiszen az olajtól való függés megszüntetése alapvető nemzetbiztonsági érdek is egyben [6].

3. Az elektromos autó

Az elektromos autókat villanymotor hajtja, amelynek hatásfoka jóval magasabb, mint a belsőégésű motoroké. Fő előnyük emellett, hogy semmilyen károsanyagot nem bocsátanak ki működésükkor.

Ezeknek az autóknak is hosszú történelme van. Az 1800-as évek végén a szakemberek úgy vélték, hogy ez lesz a jövő gépkocsija. Egyik korabeli példány a 2. ábrán látható.

A villamosság hajtotta autók tiszták és szagtalanok voltak és nagy volt a hatásfokuk. Emiatt gyorsan fejlődtek, sorra döntve meg a gépkocsik rekordjait. Az első autó, amelyik túllépte a 100 km/órás sebességi rekordot szintén villamos meghajtású volt. A belga Camille Janetzy vezette,



2. ábra. Villanyautó az 1890-es évekből

Jamais Contente nevű áramvonalas, két villamosmotor hajtotta gépkocsi a franciaországi Achèresben 1899. április 24.-én 105,882 km/h rekordsebességet ért el. Azonban 1905 után, párhuzamosan a hatalmas kőolajmezők felfedezésével a villamos autók tért veszítettek a robbanómotoros gépkocsikkal szemben. Míg az Egyesült Államokban 1900-ban 1575 villamos autót gyártottak és csak 936 belsőégésűt, a villanymotor hajtotta autók aránya 1925-re 4 százalékra esett vissza [20].

Az 1970-es évek kőolajválsága hatására élénkült fel a kísérletezések az elektromos autóval. A kutatók megpróbálták csökkenteni az elektromos autóknak azt a hátrányát, hogy a meghajtásukhoz szükséges akkumulátorok terjedelmesek és súlyosak, valamint csak hosszú idő alatt tölthetők újra. Egyszeri töltéssel kevesebb mint 200 km megtételére képesek csak, míg egy belsőégésű motorral meghajtott személyautó két tankolás között akár több mint 600 kilométert is tud haladni. Ahhoz, hogy egyszeri feltöltéssel megtehető távolságot növelni lehessen, nagyobb és nehezebb akkumulátorokra van szükség, ami megnöveli a gépkocsi súlyát, csökkenti hatásfokát és az utasok kényelmi szintjét. Az akkumulátorok drágák és emiatt az elektromos gépkocsik ára is számottevő. Nyilvánvaló, hogy az elektromos gépkocsik elterjedésének a kulcsa az akkumulátorok fejlesztése. Az ideális tápforrás nagy kapacitású, gyorsan feltölthető, kicsi és könnyű kell legyen, és természetesen az ára is legyen alacsony. Az új, és ma még nagyon drága akkumulátorok (mint a nikkelfémhibrid, vagy a lítium ionos) használata is csak 30-50

százalékkal növelné a hatósugarat. Elterjedésüket az is akadályozza, hogy nincs még kiépített infrastruktúrális bázisuk (töltőállomások, akkumulátor cseretelepek, stb.). Annak ellenére, hogy a vezető autógyárak ezen a téren a kutatás-fejlesztésre százmillió dollárokat költöttek, csak a General Motors EV1 és a Toyota RAV4 típusa jutott el addig, hogy néhány száz darabot legyártottak és értékesítettek belőle [21]. Jelenleg csak kisméretű, kimondottan városi közlekedésre alkalmas példányai kecsegtetnek esetleges szélesebb körű alkalmazási lehetőséggel, különösképpen ott, ahol a légszennyezés mértéke nagyon magas (például Japánban).

A magas áron és a kis hatósugáron túl még egy környezetvédelmi megfontolás is az akkumulátoros gépkocsi abszolút jónak kikiáltása ellen szól. Károsanyag-kibocsátása valóban nulla, de a feltöltéséhez szükséges áram előállítása légszennyező országokban az országokban, ahol a széntüzeléses hőerőművek vannak túlsúlyban (például az Egyesült Államokban) [21].

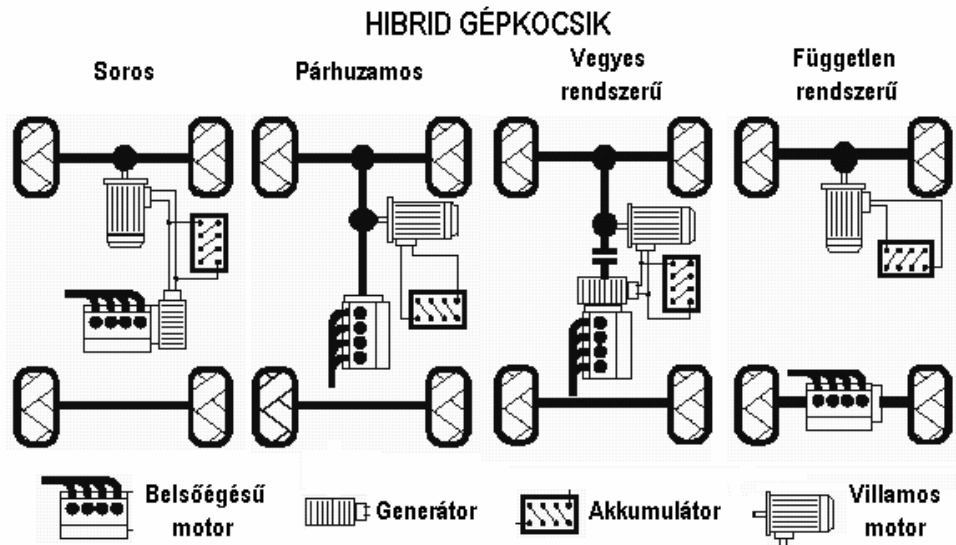
Ugyancsak itt kell szóltunk a napelemes autókról, amelyek sajnos nem tűnnek túlzottan kecsegtető alternatívának, még akkor sem, ha a napelemek hatásfoknövelésének forradalmát éljük napjainkban (már a 30%-os hatásfokkal működő napelemek kifejlesztésénél tartanak a szakemberek). Azon túlmenően, hogy a jövőben is izgalmas, Ausztráliában évről-évre megrendezésre kerülő versenyeken lehet őket megcsodálni, a napelemes autókból az utakon nem valószínű, hogy sokat láthatunk majd. Talán, ha sikerül használható és olcsó napkollektorokat építeni, de akkor is csak alternatív megoldásként (például akkumulátoros táplálással párhuzamosan), mivel árnyékban, illetve borult idő estén komoly gondban lehetnek a gépkocsivezetők.

4. A hibrid gépjárművek

Nagyobb reményekkel kecsegtetnek a hibrid gépjárművek, amelyek keverik a hagyományos és az elektromos meghajtást (van bennük egy-egy belsőégésű- és villanymotor). A nagy erő kifejtésre a benzines motort, hosszú forgalmi dugókban várakozáskor pedig az elektromos motort használják. Így a bennük lévő belsőégésű motor állandóan a kedvező hatásfokú fordulatszám-tartományban működik és ezáltal, különösen a városi közlekedésben, jelentékenyen csökken az üzemanyag fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás [21].

Érdekes összevetni a hagyományos és a hibrid gépjárművek fajlagos energiafogyasztását. Energetikai szempontból a teljes energialáncot kell tanulmányozni a kőolaj kitermeléstől a gépkocsiban elfogyasztott benzinig (*well to wheel*). Ebben az esetben a hagyományos belsőégésű motor hajtotta gépkocsi fajlagos fogyasztása 9,37 l/100 km benzin egyenérték. Ugyanez a hibrid gépkocsiknál csak 6,25 l/100 km, azaz egyharmaddal kisebb, mint az előző esetben [22].

Az erőátvitel módja szerint a hibrid autók négyféle változatával kísérleteznek (lásd a 3. ábrát). A soros hibrid gépkocsiban a benzinmotor csak az akkumulátort tölti a vele összekapcsolt generátor segítségével, a kocsit kizárólag az elektromos meghajtás mozgatja. A másik, a párhuzamos, megoldás szerint hol az egyik, hol a másik motor hajtja a járművet, mindig a kiválasztva a legmegfelelőbb hajtásmódot az adott közlekedési viszonyoknak. Továbbá kísérleteznek a két alapvető konfiguráció keverékével is (vegyes rendszerű hibrid), ahol a belsőégésű motor nyomatékát egy differenciálváltón keresztül vezetik a kerékre [2], valamint a két motor független rendszerével ahol mindegyik motor külön tengelyt hajt meg.



3. ábra. A hibrid gépkocsik típusai

A hibrid gépkocsik előnye leginkább a zsúfolt nagyvárosokban érezhető, ahol a közlekedési dugók eszméletlen pocskékolást eredményeznek, mind idő, energia és egészségünk tekintetében. Az álló (illetve igen lassan haladó) gépkocsik elektromos hajtását a szakemberek az egyik legbriliánsabb ötletnek tartják, amit valaha is kitaláltak a légszennyezettség visszaszorítása terén [3].

Emiatt nem véletlen, hogy a hibrid meghajtású gépkocsikat már sorozatban is gyártják (például forgalmazzák a Toyota Prius és Previa nevű modelljeit, vagy a Honda Insight-ot). Ezek a gépkocsik drágábbak, mint hasonló teljesítményű társaik, mivel a hajtóműrendszer kiegészítő elemeit szintén bele kell építeni a hagyományos kocsiába. Ez megnöveli a gyártás költségeit, és persze a kicsi eladási árát is. Ám kényelemben, felszereltségben meghaladják a hagyományos gépkocsik szintjét. Arról nem is beszélve, hogy kevesebbet fogyasztanak és környezetkímélőbbek [23].

Az egyik legelterjedtebb hibrid gépkocsinak, a Toyota Priusnak hat fő része van: egy 58 lóerős (≈ 43 kW), másfél literes benzinmotor, egy 41 lóerős ($\approx 31,5$ kW) villamosmotor, egy áramfejlesztő, egy számítógépes egység, egy nikkel-fémhidrides akkumulátor és egy mechanikus osztómű [6].

Különös élmény ezt a hibrid gépkocsit vezetni. Annak ellenére, hogy ez a párhuzamos felépítésű hibrid autó műszaki szempontból sok mindenben különbözik a hagyományos belsőégésű gépkocsitól, a tervezőknek sikerült olyanná tenni, hogy a vezetőnek ne kelljen különlegesen új dolgokat megtanulni, tehát egy hagyományos autóból átülve probléma nélkül tudjon vezetni. Amennyiben meleg a motor, a slusszkulcs elfordítására csak a menetkész állapotot kijelző felirat jelenik meg a műszerfalon. Az automata sebességváltóra hasonlító váltókart (előválasztókart) megfelelő állásba húzva kell indulni. Kisebb gázadásra csendben, kizárólag a villanymotor használatával indul meg az autó. Teljes gázt adva halkán, rángatás nélkül beindul a benzinmotor is. Hátramenetben csak a villanymotor működik. Lassításnál, illetve enyhe fékezésnél, az energia jelentős részét a generátor az akkumulátorok töltésére hasznosítja. Erős fékezéskor is működik ez a visszatáplálás, de ilyenkor a tárcsafékek is részt vállalnak a lassításból, az elektronikus blokkolásgátló (ABS) felügyelete mellett. Amennyiben hideg a benzinmotor, avagy az akkuk töltése kicsi, a szabályozó számítógép emberi beavatkozás

nélkül addig nem állítja le a motort, amíg erre szükség van. És ami igazán figyelemre méltó: 50 literes tartályát telitöltve 95-ös ólmozatlan benzinnel, normális használat mellett 900-1000 kilométert lehet vele megtenni [24].

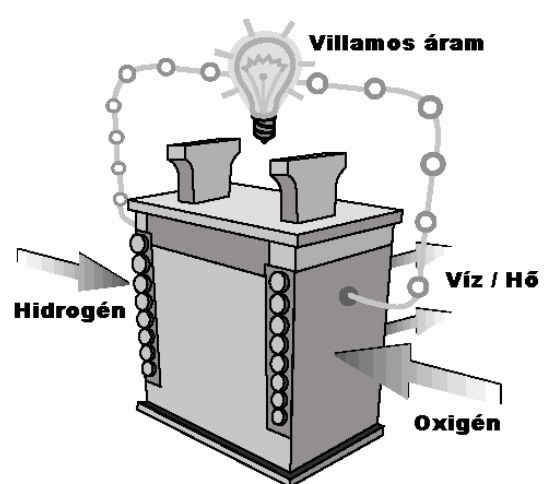
5. Az üzemanyagcellás gépkocsik

Másik ígéretes alternatív megoldásnak az üzemanyagcellás gépkocsik tűnnek [14]. Az üzemanyagcellákat (*fuel cells*) már több mint 160 éve ismerik [25]. Gyakorlati alkalmazásuk az 1970-es évek végéig magas árak miatt kizárólag katonai- és űrfelhasználásokra korlátozódott, jobbra űrhajók és tengeralattjárók energiaellátására [26]. De az akkori olajválság kirobbanása felvetette az üzemanyagcellák gépkocsiban való alkalmazását is.

Az üzemanyagcellák az elemekhez hasonlóan vegyi reakciókkal közvetlenül elektromosságot állítanak elő, azzal a különbséggel, hogy míg az elemeket kifogytuk után el kell dobni, az üzemanyagcella mindaddig üzemel, amíg üzemanyagot (hidrogén, metanol, földgáz, stb.) töltünk bele.

Az üzemanyagcella legegyszerűbb változata (4. ábra) két elektródából áll, egy elektrolit köré szendvicsszerűen préselve. Az anódon hidrogén, míg a katódon oxigén halad át. A katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra bomlanak. A protonok keresztüláramlanak az elektroliton. Az elektronok áramlása mielőtt elérné a katódot, felhasználható elektromos fogyasztók által. A katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal, vizet hozva létre. A folyamat során hő is termelődik [27].

Az utóbbi évek technikai fejlődése lehetővé tette, hogy sok más területre is sikerüljön az üzemanyagcelláknak betörniük, áramforrásként elemet, akkumulátort, vagy áramfejlesztőt helyettesítenek. Különböző teljesítményű változataik használatosak a mobil telefonok vagy a hordozható számítógépek (*laptop*) áramellátását biztosító üzemanyagcelláktól az épületek fűtését ellátó hatalmas berendezésekig.



4. ábra. Az üzemanyagcella felépítése

A hidrogénnel üzemeltetett üzemanyagcella a lehető legegyszerűbb ilyen rendszer (5. ábra). A nyomás alatt tárolt hidrogén és oxigén közvetlenül a tartályokból adagolható. A rendszerhez ezen kívül szükség van nyomásszabályozókra, s gondoskodnunk kell a gázok recirkulációjáról, illetőleg a végtermékek (vízgőznek) a kondenzálásáról és a víz hűtéséről.

Mivel az üzemanyagcella nem egészen alapul, hanem elektrokémiai reakción, az emissziója mindig jóval kisebb lesz, mint a legtisztább égési folyamatoknak. Mindemellett működése alacsony üzemi hőmérsékletű (60-80 °C) és viszonylag nagy hatásfokú (40-50%, de akár 60% is lehet, ami sokkal nagyobb a belsőégésű motorok 20% körüli hatásfokánál).

Az üzemanyagcellák többféle típusát különböztethetjük meg. Osztályozásuk gyakorlatilag a felhasznált elektrolit függvényében történik. A használatos típusok különböző működési hőmérsékleten dolgoznak, más-más üzemanyaggal táplálhatók és elektromos hatásfokuk is különbözik [25].

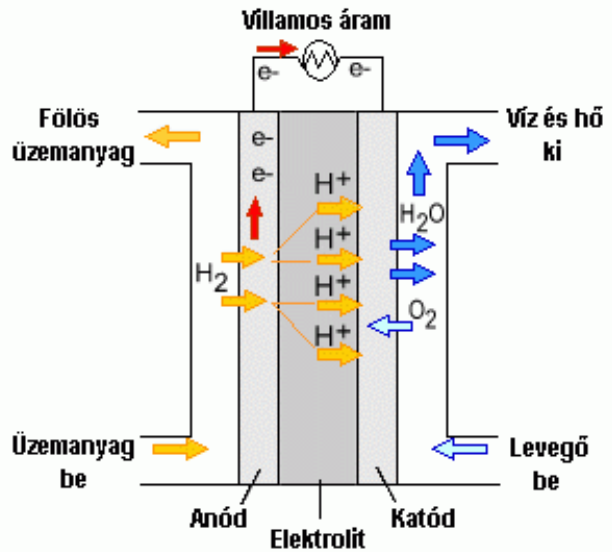
Az üzemanyagcellában nagy hatásfokkal "hidegen elégetett" hidrogén végterméke a villamos energia, ami a gépkocsi villanymotorjának meghajtására szolgál [28].

A vezető autókonszernek a PEM (*Protone Exchange Membrane* – protoncserélő membrán) alapú üzemanyagcellát alkalmazzák, mivel ennek a legnagyobb az energiasűrűsége alacsony hőmérsékleten [29]. Továbbá viszonylag egyszerű a felépítése, hamar beindul és könnyen szabályozható a leadott teljesítménye [30]. Másfelől az eddig kifejlesztett konstrukciók nagyon költségesek és élettartamuk rövid, alig 5000 óra [21].

Az ilyen típusú üzemanyagcella központi része egy olyan protont vezető, elektrolitikus membrán, amelynek a két oldalán, a platinával bevont felületeken (katalizátorokon) megy végbe a hidrogén és az oxigén kémiai reakciója [17]. A felhasznált elektrolit szilárd szerves polimer, aminek előnye, hogy csökkenti a korróziót és könnyen rögzíthető. A membrán a hidrogént protonokká és elektronokká választja szét, és a levegőből vett oxigénnel keveri, melynek terméke víz lesz. Az elektronok és protonok pozitív és negatív csatlakozóinak összekapcsolásával az elektromos áramot a jármű meghajtásához használják fel.

A gépkocsikban használatos üzemanyagcellás áramtermelő egyedi cellák összekapcsolt csoportjából áll. Ezek rendszerint tartalmazzák a tüzelőanyag-feldolgozó (reformáló) részt, amely hidrogént nyer olyan hagyományos tüzelőanyagokból, mint a földgáz, de arra is lehetőség van, hogy egy tartályból hidrogént vezessenek be. Mivel a cellák egyenáramot termelnek, feltétlenül szükség van áramátalakítóra (*inverterre*) is a váltakozó áram előállításához [26].

A klasszikus villamos autóval szemben tehát ebben az esetben a villanymotort nem akkumulátorból származó árammal táplálják, hanem az áramot magában a gépkocsiban állítják elő. E folyamatban, mivel alacsony hőmérsékleten zajlik le, csak kevés károsanyag keletkezik, a



5. ábra. Az üzemanyagcella működési elve [17]

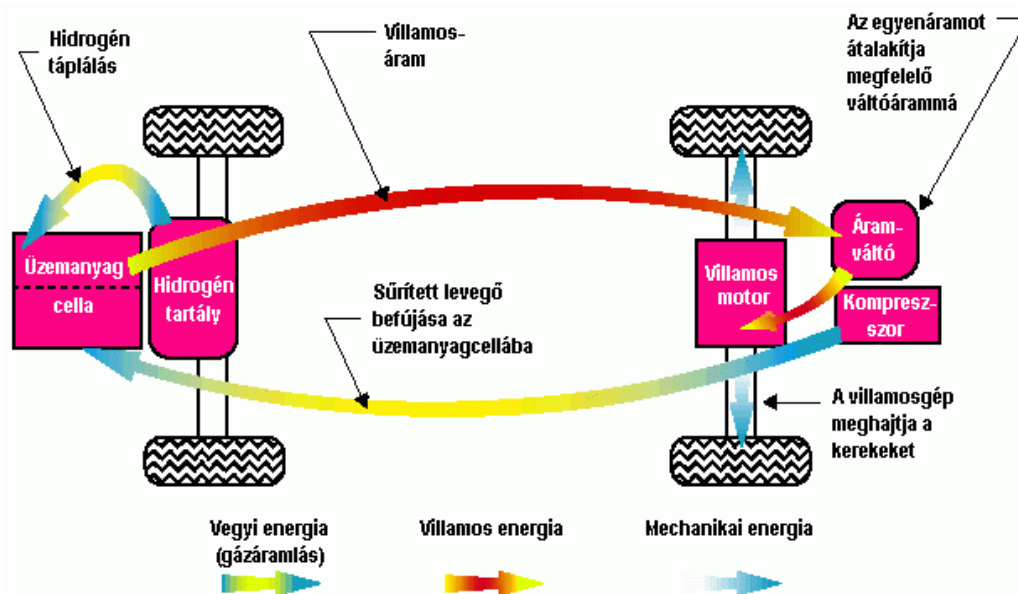
cella hangtalanul üzemel, s több cellából mindig az éppen szükséges teljesítményű "erőmű" rakható össze [17].

Az üzemanyagcellák táplálhatók közvetlenül hidrogénnel, vagy üzemanyag-feldolgozót (*reformer*) közbeiktatva bármely szénhidrogén tüzelőanyaggal, a földgáztól kezdve a metanolon át a gázolajig [31]. A hidrogén üzemanyagként való alkalmazásának nehézségeit az előzőekben ismertettük. A közvetlenül hidrogén táplált üzemanyagcella előnyei a jóval egyszerűbb felépítés, nincs károsanyag kibocsátása, és gyorsan reagál a gépkocsi menetviszonyainak változására.

A metanol könnyen szállítható, a hagyományos benzinkutaknál - a kutak bizonyos módosítása után - tankolható, biológiailag leépül és minden fosszilis energiahordozóból (szénből, földgázból, kőolajból), illetőleg minden organikus nyersanyagból létrehozható. Metanol oxidációján alapuló cellát már ki is próbáltak többféle gépkocsiban, ám még nem teljesen felel meg a célnak, mivel egyelőre "túlsúlyos".

A benzinnel működő üzemanyagcella fejlesztése ugyancsak napirenden van. Addig azonban, amíg az ilyen cella mindennapi használatra is alkalmassá válik, még sok műszaki akadályt kell leküzdeni. Különösen a benzin átalakítása okoz problémát, mert ahhoz nagy hőmérsékletre és bonyolult rendszerekre van szükség. Ez pedig csökkenti a meghajtórendszer hatásfokát és növeli a káros anyagok kibocsátását. Egyelőre teljesen nyitott az a kérdés, hogy a benzinüzemű üzemanyagcella egyáltalán előnyösebb-e, mint a hagyományos belsőégésű motor. Az azonban bizonyos, hogy ezen az úton a kőolajtól való függetlenség nem érhető el [17].

Az üzemanyagcellás gépkocsi főbb alkatrészeit a 6. ábrán láthatjuk. A cella által termelt egyenáramot egy áramváltó alakítja megfelelő paraméterű váltóárammá. Az üzemanyagcellának szükséges levegőt egy turbokompresszor biztosítja [15].



6. ábra. Az üzemanyagcellás gépkocsi főbb alkotóelemeinek vázlata [15]

Az üzemanyagcella meghajtású gépkocsik 1,2 és 1,7 MJ/km közötti fajlagos energiafogyasztása messze elmarad a belsőégésű gépkocsik 8,15 l/100 km átlagos üzemanyagfogyasztás mellett számított fajlagos energiafogyasztásához (1,8÷2,4 MJ/km) képest. Itt jegyezzük meg, hogy a hibrid meghajtású járművek fajlagos energiafogyasztása (1,6÷1,75 MJ/km) megközelíti a belsőégésű gépkocsit [32].

Érdeemes összehasonlítani az üzemanyagcellás gépkocsik és a hagyományos belsőégésű motoros autók fajlagos üzemanyag fogyasztását, a teljes energialáncot véve figyelembe a kitermeléstől a gépkocsiban elfogyasztott benzinig (*well to wheel*). A benzinnel táplált üzemanyagcellás gépkocsik fajlagos üzemanyag fogyasztása 5,31 l/100 km benzin egyenérték, míg a közvetlen hidrogén táplálta üzemanyagcellásoké valamivel kisebb, 4,68 l/100 km, azaz közel a fele a hagyományos gépkocsikénál [9].

Mindezek miatt egyes piacelemzők szerint a 2025-ben az eladott üzemanyagcellás személygépkocsik piaci részesedése eléri az 50 százalékot, majd gyors növekedés nyomán 2040-re teljesen kiszorítják a hagyományos belsőégésű motor hajtotta autókat. Ekkora az üzemanyagcellás személygépkocsik részesedése a teljes autópark 80 százalékát teszi ki. Természetesen az ilyen hosszú távú előrejelzések mindig bizonytalanok és nagyban függenek a figyelembe vett mutatóktól. De mindenesetre figyelemreméltó ez a prognózis [3].

A világ szinte mindegyik nagy autógyártója kísérletezik üzemanyagcellás gépkocsikkal [33]. A sikeres kísérletek egyik legjobb példája az egyik legnagyobb gépkocsigyártónak, a DaimlerChryslernek a nevéhez fűződik. A kilencvenes évek elejétől dolgoznak ezen a megoldáson. A NECAR-1 (*New Electric Car* – Új Elektromos Autó) kísérleti gépkocsi, mint "guruló laboratórium" már 1994-ben bebizonyította, hogy az elképzelés megvalósítható [34]. A NECAR-2 1996-ban, a NECAR-3 1997-ben, a NECAR-4 1999-ben és a NECAR-5 2000-ben lépésről lépésre vezetett a sorozatgyártás felé [2]. A két legutolsó típus a Mercedes-Benz A-osztályos autóján alapul, és 90 mérföld/órás (145 km/óra) sebességre képes. Egy feltöltéssel 450 km-t tud megtenni. A mérnököknek sikerült a padlózatra beszűfolni az üzemanyagcellát, lehetővé téve így öt utas szállítását és tágas raktér kialakítását. Ezt a technikai bravúrt a szakemberek ahhoz hasonlítják, amikor a számítástechnikában a tranzisztorokat mikrochipek váltották fel. Eddig az üzemanyagcellák nagy terjedelme miatt csak nagyobb méretű gépkocsikba (például buszokba) próbálkozhattak beépíteni őket. A NECAR 4-et folyékony hidrogénnel üzemeltetik, míg újabb változatát, a NECAR 5-öt metanollal. Mindkét esetben az üzemanyagot a gépkocsi hátuljában tárolják, és egy protoncsere membrános üzemanyagcellán (lásd részletesebben a következő fejezetben) vezetik át. Az üzemanyagcella a hagyományos járművek hatótávolságát és az elektromos járművek károsanyag-mentességét biztosítja. Utántöltése gyors, nem úgy, mint az elektromos autóké. Mivel csak néhány mozgó alkatrészt tartalmaz, olyan csendes, akár az elektromos autók. A DaimlerChrysler 2004-ig csak korlátozott sorozatban gyártja majd az autót. Addig is, amíg a piacon is megjelenik, a cég 1,4 milliárd dollárt kíván befektetni a fejlesztésekbe, ami megegyezik egy teljes autósorozat átlagos piaci bevezetési költségével [6]. A technikai siker titka az, hogy a Mercedes cég már rég ráértett arra, hogy e területen csak az üzemanyagcellák nagyméretű fejlesztése által várható számottevő eredmény. Emiatt partnerségi kapcsolatot alakított ki és igen jelentős összegeket fektetett egy kis kanadai vállalatba, a Ballard Power Corporationba, amely az élen jár a hidrogénüzemű üzemanyagcella gyártásában és fejlesztésében. A méretbeli problémák megoldásával és a versenyképes teljesítmény elérése után már csak az ár csökkentésére kell koncentrálniuk a mérnököknek. Az előrejelzések szerint a gépkocsikban használható üzemanyagcellák fajlagos ára 2010-ben 45 \$/kW, amit 2015-re le fognak szorítani 30 \$/kW-ra [35].

Ugyancsak e két cég közreműködésével valósítják meg az európai üzemanyagcellás buszok programját (*European Fuel Cell Bus Project*), aminek keretében földrészünk 10 jelentős

városában 2003 végéig működésbe helyeznek 30 darab 205 kW-os Mercedes-Benz Citaro típusú hidrogén táplálta üzemanyagcellás autóbust [36].

Külön említést érdemel a Hypercar Inc. úttörő tevékenysége ezen a területen. A céget a környezetkímélő energiagazdálkodás atyja, Amory Lovins [37], vezette Rocky Mountain Institute alapította azzal a szándékkal, hogy minél több energiatakarékos és környezetkímélő megoldást dolgozzon ki az autóipar számára, ez által lépésre kényszerítve a változtatásokra nehezen hajló autógyártó óriásokat [38]. Az általuk kifejlesztett modell értékű prototípus, a Revolution, egy 35 kW-os közvetlen hidrogéntáplálású üzemanyagcella meghajtotta luxus kategóriájú hibrid gépkocsi, amelyiknek nem csak a meghajtása újszerű. Az egész autót úgy tervezték meg, hogy maximálisan szolgálja az utasok kényelmét, de ugyanakkor alacsony legyen a fogyasztása és minimális a károsanyag kibocsátása. Kompozit alapanyagú váza nagyon könnyű, de ugyanakkor magas fokú biztonságot nyújt a szállítható öt felnőtt utas számára. A gépkocsi felfüggesztése is újszerű: a rugók mellett lineáris motor alapú aktív lengéscsillapítók is fokozzák az utasok kényelmét. Fogyasztása autópályán 2,38 liter/100 km. 3,4 kg sűrített hidrogén egyszeri tankolásával 560 kilométert képes megtenni és 100 km/órás sebességre 8,3 másodperc alatt tud felgyorsulni. Ára verseng a hasonló más, hasonló kategóriájú gépkocsi (Lexus RX300, Mercedes M320, vagy a BMW X5 3.0.) árával [39].

Az Egyesült Államok legnagyobb államában, Kaliforniában kiemelt figyelmet szentelnek az üzemanyagcellás gépkocsik fejlesztésére. Több éve fut a *California Fuel Cell Partnership* (CaFCP) nevű program, amiben vezető gépkocsi- és üzemanyagcella-gyártók, állami intézmények és egyetemi kutatóközpontok vesznek részt. A fő cél minél több üzemanyagcellás gépkocsit megalkotni és a mindennapos valós körülmények között tesztelni. 2003-ban 60 ilyen jármű járja minden nap az állam útjait.

Az üzemanyagcellás gépkocsik rekordjaitól hangos a sajtó. Egy NECAR típusú autó volt az első üzemanyagcellás gépkocsi, amely először szelte át az Egyesült Államokat San Franciscótól Washingtonig. 15 nap alatt sikerült megtennie az 5251 kilométeres távolságot [40].

Természetesen az üzemanyagcellás autók fejlesztésében a japánok sem maradnak le vetélytársaik mögött. A Honda, Mazda és a Toyota után a Nissan is bejelentette, hogy energiacellás szériamodellt dob a piacra [23].

A Honda FCX sorozatú hidrogén táplálta üzemanyagcellás gépkocsijait 1999 óta tesztelik. Ez a cég is a Ballardal működik közre. A legfrissebb prototípusba 85 kW-os sűrített hidrogénnel táplált protoncserélő membránú üzemanyagcellát építettek bele. Maximális sebessége 150 km/h és két feltöltés között 355 kilométert tud megtenni. A kíváncsi felhasználók az idei év elejétől már bérelhetik is [41]. A Mazda a Premacy típusú autójával tört be erre a még csak kialakulófélben levő piacra. A 75 kW-os gépkocsi energiaellátását szintén a Ballard metanol-üzemű üzemanyagcellái biztosítják.

A Nissan is partnerségi kapcsolatot ápol a cél érdekében egy másik jelentős üzemanyagcellát gyártó vállalattal, az UTC Fuel Cells-el. Közös termékük, a Nissan X-TRAIL, szintén protoncsere membrános üzemanyagcellával működik.

A Toyota első üzemanyagcellás gépkocsijai is nagy érdeklődést váltott ki a szakemberek körében. Az FCHV sorozatjelű gépkocsik legújabbika (az ötödik ebben a sorozatban) 2002-ben készült el, és a Highlander SUV alapautóra épül. Akárcsak a többi prototípus esetében ebből a sorozatból, itt is egy hibrid megoldást választottak, azaz a meghajtó villanymotor táplálható egyaránt üzemanyagcelláról vagy akkuról. Jellemzői nagyban hasonlítanak a Honda FCX 2002-

es kiadású prototípusához, csak az egy utántöltéssel megtehető távolság kisebb ennél a típusnál (290 km) [41].

Az európai autógyártók is kísérleteznek üzemanyagcellás gépkocsikkal. A Renault a Nissannal karöltve a Laguna alapkocsiba épített be egy 30 kW-os benzin táplálta protoncsere membrános üzemanyagcellát. A Volkswagen 1999 és 2003 között öt különböző kategóriájú és táplálású üzemanyagcellás gépkocsi prototípusát mutatta be. A BMW a müncheni repülőtér számára fejlesztett ki egy Sedan kategóriájú benzin táplálta üzemanyagcellás autót. A kisautók kategóriájában a Fiat jelentkezett a Saicento Elettra H2 Fuel Cell típusú gépkocsival. A 100 km/órás maximális sebességre képes autót egy 7 kW-os, sűrített hidrogénnel működő üzemanyagcellával látták el [41].

A nagyszámú kísérleti gépkocsi létezése ellenére (2003 végére valószínűleg 300 példányuk fog üzemelni [42]) egyes marketing szakértők úgy tartják, hogy elsöre csak egy-két gyártó üzemanyagcellás gépkocsi modellje lesz piacképes, a többi gyártó egy pár éves lemaradással fogja csak követni tudni őket. Mindez azzal magyarázható, hogy az gépkocsik piaca nagyon jól meghatározható szegmensekre és árkategóriákra tagolódik, és ezek mindegyikében külön kell előtérbe hozni az üzemanyagcellás autókat [43].

Érdeemes megjegyezni, hogy több cég, mint például a BMW, foglalkozik a gépkocsik akkumulátorának felváltására üzemanyagcellákkal. Ebben az esetben az üzemanyagcella feladata csak a fedélzeti elektromos rendszerek árammal való ellátása. Az elgondolás egyik előnye például az, hogy független légkondicionálót lehet ekképp működtetni, amely meleg vagy hideg levegőt biztosít, nulla károsanyag kibocsátás mellett akkor is, ha a motor áll. Mint már említettük, a gépjármű hajtására a BMW továbbra is a belsőégésű motorokat tartja a legtöbb előnyt nyújtónak, akár hidrogénhajtással is [44].

Az üzemanyagcellák magas hatásfokának ismeretében az energetikusok érdekes alkalmazást találtak a parkoló üzemanyagcellás gépkocsiknak: villamos energiát termelhetnek az autón kívüli fogyasztók számára. A termelt villamos energiát használhatják helyi fogyasztók a parkoló gépkocsi közvetlen közelében, vagy a villamos hálózatba táplálhatják. Ezáltal tehermentesíteni lehetne a csúcsidőkből az erőműveket, annál is inkább, hogy a villamos energiafogyasztás csúcsidőit nem esnek egybe a közlekedési csúcsidőkkel. Talán nincs messze az idő, amikor munkába- vagy hazaérve a gépkocsi tulajdonosok a hálózatra kapcsolják üzemanyagcellás gépkocsijukat, és energiát adnak át a villamos hálózatnak, akár több ezer dolláros haszonra is téve szert. A termelhető energia hatalmas: amennyiben az Egyesült Államok teljes gépkocsiflottája üzemanyagcellás lenne, akkor az ezek által termelhető villamos energia 14-szer több lenne, mint amennyit most az összes erőmű termelni tud! [45].

6. Következtetések

Az előbbieken ismertetett különféle gépkocsi meghajtási rendszerek további műszaki fejlődése valószínűleg együttélésükre fog vezetni. A kikísérletezett változatok piaci részesedését egyrészt a primer energiaforrások kínálata, másrészt a piaci meg az ökológiai követelmények határozzák majd meg [46].

Sorozatgyártásuk egészen biztosan le fogja egyelőre magas árakat törni, mint ahogy annak idején a Ford T-modelljének ára is rohamosan csökkent az eladott példányok számával. Ugyancsak számítani lehet a kormányzati támogatásukra, főleg környezetvédelmi

megfontolásokból. Azonban egy új technológia sikere egyértelműen a fogyasztók fogadtatásától függ, amit legnagyobbbrészt az árak határoznak meg.

A kormányzati szabályozások szerepe szintén nem elhanyagolható a jövő gépkocsi iparának kialakulásában, mivel a vásárlókat nem annyira érdekeli autójuk károsanyag kibocsátása, mint ára, teljesítménye és kényelme. A szabályozások megkövetelhetik az autók biztonságát, csökkentett légszennyeződésüket, üzemanyag takarékoságukat, stb. Biztató jelnek tekinthetjük, hogy az ez irányú kutatásokat egyelőre nem a piaci igények diktálják, hanem a kormányzati szabályozások [5].

Mindenesetre biztosan állíthatjuk, hogy az átmenet a hagyományos belsőégésű motor teljes uralmától a jövő hajtóműveinek elterjedéséig nem ugrásszerű, hanem még évtizedekig elhúzódó hosszú folyamat lesz [2].

7. Irodalomjegyzék

- [1] Lukács G.: **A napenergia a környezetvédelem szolgálatában**, <http://www.csoma.elte.hu/~qji/nap/nap.html>.
- [2] Anisits F.: **Az új évszázad hajtóművei – Az esélyesek**, Élet és tudomány 2001/38. <http://www.sulinet.hu/eletstudomany/archiv/2001/0138/04.html>.
- [3] *****: Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program. Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan. Planned program activities for 2003-2010.** US Department of Energy, June 2003. <http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/index.html>.
- [4] Hawken, P. – Lovins, A.B. – Lovins, L.H.: **Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution**, Rocky Mountain Institute, 1999.
- [5] MacLean, H.L. – Lave, L.B.: **Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies.** Progress in Energy and Combustion Science, vol. 29 (2003), pp. 1-69.
- [6] Farkas R.: **A közlekedés eddigi és a jövőben várható fejlődése.** <http://www.inco.hu/inco1/innova/cikk5.htm>.
- [7] Morita, K.: **Automotive Power Source in 21st Century**, JSAE Review, Society of Automotive Engineers of Japan, vol. 24 (2003), pp. 3-7.
- [8] Abraham, S.: **Healthy Future Requires a Cleaner Energy Policy**, Detroit Free Press, April 14, 2003. http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/news_abraham.html.
- [9] Purdum, T.: **Our fuel-cell future: after more than 50 years of mostly government-backed research, pioneering companies will bring fuel cells to the masses--once they hurdle a few obstacles. (Energy).** Industry Week, April, 2003.
- [10] Meakin, I.: **Fuel Cell Development in Japan. An Outline of Public & Private Sector Activities**, April, 2003. <http://fuelcellnetwork.bham.ac.uk/articles/FCJapan04-2003.doc>.
- [11] Gács J.: **Az ember megalkotja magának a megoldásokat. Beszélgetés Oláh György Nobel-díjas professzorral.** Természet Világa, 133. évfolyam, 8. szám (2002. augusztus). <http://www.kfki.hu/chemonet/TermVil/tv2002/tv0208/olah.html>.
- [12] Ogando, J.: **Fuel economy can still grow—for a price**, Design News, October 1, 2001.
- [13] Mitchell, M.: **A versatile low-CO₂ fuel**, The International Herald Tribune, May 27, 2002.

- [14]***: **Progress Report for Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies Program – FY 2002**, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy Office of Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies, Washington D.C., November, 2002 http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/pdfs/fuelcell_and_h2_report2002.pdf.
- [15] Thomas, S. – Zalowitz, M.: **Fuel Cells – Green Power**, Los Alamos National Laboratory, 2002. <http://education.lanl.gov/resources/fuelcells/fuelcells.pdf>.
- [16]***: **A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy – to 2030 and Beyond**, National Hydrogen Vision Meeting, Washington, 2001. http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/vision_doc.pdf.
- [17] Anisits F.: **Századunk hajtóművei – Új energiaforrások**, Élet és tudomány 2001/37. <http://www.sulinet.hu/eletstudomany/archiv/2001/0137/07.html>.
- [18] Frank, D.: **Visions Come True – BMW Hydrogen Vehicles Lead the Way**, The International Hydrogen Energy Forum. Policy – Business – Technology, München, 2000.
- [19] Benson, A. et al.: **Powering the Future – Fuel Cell Technology**. Harvard Business School Cyberposium. 2003.
- [20] Driesen, J.: **Electrical Vehicles**.
- [21] Wolfner A.: **Elektromos autók – Melyik lesz a nyerő?** Természet Világa, 132. évfolyam, 10. szám (2001. Október). <http://www.sulinet.hu/termesztvilaga/archiv/2001/0110/16.html>.
- [22]***: **Fuel Cell Report to Congress**, US Department of Energy, February 2003.
- [23]***: **Környezetkímélő és alacsony fogyasztású**, Kelet-Magyarország, 2002. aug. 23. <http://www.haon.hu/auto/auto-motor-34272.shtm>.
- [24]***: **Toyota Prius: jókor, jó helyen**. Heti Válasz, I. évf., 30.szám (2001. nov. 2), <http://www.hetivalasz.hu/cikk.php?id=1708>.
- [25] Szabó, L. – Szabó, G.S.: **Üzemanyagcellák gépjárművek számára**, ENELKO '2003, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Energetikai és Elektrotechnikai Konferenciája, Kolozsvár, pp. 197-208.
- [26] Wolfner A.: **Tüzelőanyag-cellák lakások és kórházak áramellátására**, Természet Világa, 2000. szeptember. <http://www.kornyezetunk.hu/belso/mg14.html>.
- [27] Zielinski B. – Jároli J.: **Üzemanyagcella**. Független Ökológiai Központ, Környezetkímélőbb Építés Adatbázisa, 2002. <http://www.foek.hu/korkep/enhat/uzemanyagcella/uzemanyagcella.html>.
- [28] Fontes, E. – Nilsson, Eva: **Fuel Cells in the Automotive Industry. White Paper on Chemical Engineering**, COMSOL Inc., Burlington, MA, 2001.
- [29] Yamada, K. – Asazawa, K. – Yasuda, K. – Ioroi, T. – Tanaka, H. – Miyazaki, Y. – Kobayashi, T.: **Investigation of PEM type direct hydrazine fuel cell**, Journal of Power Sources, vol. 115 (2003), pp. 236-242.
- [30] Mehta, V. – Cooper, J.S.: **Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing**, Journal of Power Sources, vol. 114 (2003), pp. 32-53.
- [31] Oláh Gy. - Ánizsfeld R.: **Új generációjú üzemanyagcellák**. Magyar Tudomány, 2002/12. <http://www.matud.iif.hu/02dec/olah.html>.
- [32] Choudhury, R.: **Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study**, Hart World Conference, Brussels, 2002. http://www.lbst.de/gm-wtw/Hart_GM-WTW_Europe_21MAY2002.pdf.

- [33] Walsh, B. – Mooress, P.: **Auto Companies on Fuel Cells**.
<http://www.fuelcells.org/AutoCompaniesonFuelCells.pdf>.
- [34] Panik, F. – Beck, D.: **Joining Forces to Sustain Mobility**, The International Hydrogen Energy Forum. Policy – Business – Technology, München, 2000.
ftp://ftp.cordis.lu/pub/eesd/docs/fcc_paper_panik.doc.
- [35] Garland, N. et al.: **Cost Analyses of Fuel Cell Stacks/Systems**, Hydrogen and Fuel Cells Merit Review Meeting 2002, Berkeley, CA.
http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/hydrogen/pdfs/103_tiax_eric_carlson.pdf.
- [36] ***: **European Fuel Cell Bus Project**, Ballard Power Systems Inc., 2003.
<http://www.ballard.com/tD.asp?pgid=30&dbid=0>.
- [37] ***: **Amory Lovins**, <http://www.meta-library.net/bio/lovins-body.html>.
- [38] Ray, M.: **Hypercar News**, Buckminster Fuller Institute, 2001.
<http://www.bfi.org/Trintab/summer01/hypercar.htm>
- [39] ***: **Case Studies**, HyperCar Inc., 2000. <http://www.hypercar.com/pages/casestudies.php>.
- [40] ***: **Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program – Transportation. Potential Applications**, US Department of Energy, 2002.
http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/transportation_inuse.html.
- [41] Walsh, B.: **Fuel Cell Vehicles (From Auto Manufacturers)**,
<http://www.fuelcells.org/fct/carchart.pdf>.
- [42] Cropper, M.: **Fuel Cell Market Survey: Light Duty Vehicles**, Fuel Cell Today, 15 January 2003.
- [43] ***: **Bringing Fuel Cell Vehicles to Market: Scenarios and Challenges with Fuel Alternatives**, Consultant Study Report, Bevilacqua-Knight Inc., Hayward, CA, October 2001. http://www.opr.ca.gov/energy/PDFs/Fuel_Cell_ScenarioStudy.pdf.
- [44] ***: **A BMW készíti a világ első sorozatgyártású tüzelőanyagcellás autóját**, BMW Tudomány, 2002. <http://www.gjt.bme.hu/sajtotaj/bmw/cella/cella.html>.
- [45] Lipman, T.E. – Edwards, J.L. – Kammen, D.M.: **Fuel cell system economics: comparing the costs of generating power with stationary and motor vehicle PEM fuel cell systems**, Energy Policy, vol. 32 (2004), pp. 101 –125.
- [46] MacLean, H.L. – Lave, L.B.: **Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies**, Progress in Energy and Combustion Science, vol. 29 (2003), pp. 1-69.