

A hidrogén alkalmazása belső égésű motorok tüzelőanyagaként

2. rész

A hidrogén-belsőégésű motor folyamata a hagyományos belső égésű motorok folyamatán alapszik (legtöbbször az Otto-folyamat szerint), azonban a keverékképző rendszeren, az égésfolyamaton átalakítást végeznek a kizárólag hidrogénnel vagy a kettős üzemben való működtethetőség céljából, és így hidrogénnel vagy hidrogént tartalmazó gázokkal (hidrogén-földgáz) mint tüzelőanyagokkal képesek üzemelni.

A hidrogén-belsőégésű motorok csoportosítási lehetőségei különböző szempontok szerint

Keverékképzés helye, illetve időpontja szerint

Alapvetően egy felosztást lehet tenni a keverékképzési eljárásra vonatkozóan, a keverékképzés helye és időpontja szerint. Ellentétben a külső keverékképzéssel (H_2 -AGB, Äussere Gemischbildung), amelynél a hidrogént szívócsőbe adagolják, belső keverékképzésnél (H_2 -IGB, Innere Gemischbildung) a befúvás közvetlenül a

motor égésterébe történik. Egy kombinált keverékképzési eljárás az előzőekben említett variánsok összetételéből áll. A keverékképzés helye és időpontja szerinti lehetséges felosztásokat a 2. táblázat tartalmazza.

Felosztás a hajtómű építési módja szerint

Ugyanúgy, mint azoknál a motoroknál, amelyek hagyományos tüzelőanyagokat használnak, a hajtómű szempontjából löketdugattyús és forgódugattyús motorokat különböztetünk meg.

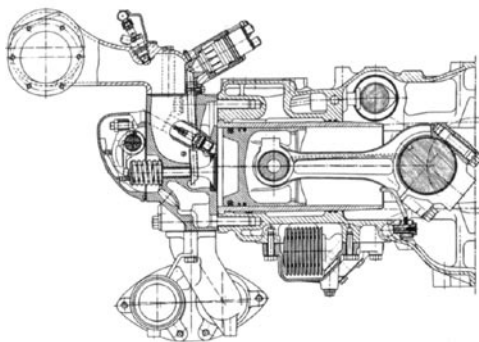
A 3-1. és 3-2. képek mutatnak egy kisszeriában gyártott MAN hidrogénbuszmotort, amelyet szívómotorként és feltöltő alkalmazásával is autóbuszokba építettek be.



4-2. ábra (Forrás: Mazda)

A 4-1. és 4-2. képen ábrázolt motorkivitelekig, amelyek a Mazda H2-Wankel nevet kapták, a hidrogén hajtóanyagú motorok csak löketdugattyús kivitelben készültek.

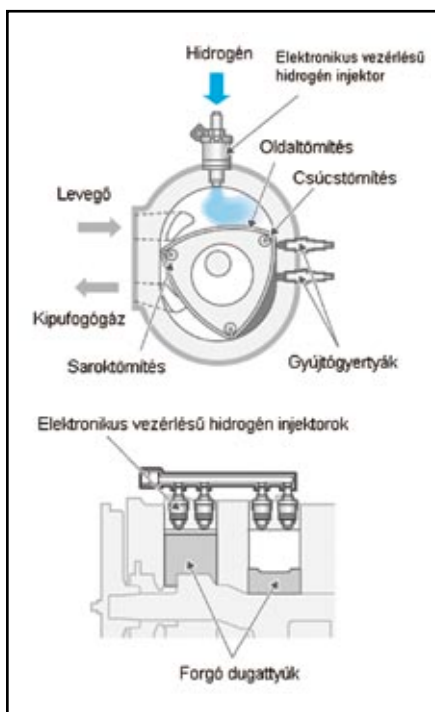
A H2-Wankelmotor működési folyamata, amely löketdugattyú helyett forgódugattyúval rendelkezik, a 4-1. ábrán látható. A Wankel-féle forgódugattyús építési mód, és az ehhez kapcsolódó égésterforma a hidrogén anyagtulajdonságának, mint a nagy égési sebesség, egy kedvező feltételt biztosít. Ahogy a képen látható, a felső kamrába beszívott levegő egy elektronikusan vezérelt befúvószelepen keresztül bejuttatott hidrogénnel keveredik. A rotor forgása által a tüzelőanyag-levegő keveréket komprimálja, és végül gyújtógyertyák segítségével gyújtják. Az égés által előidézett nyomásnövekedés a rotort tovább forgatja, és a kipufogógáz a kiömlőcsatornán keresztül a motort elhagyja.



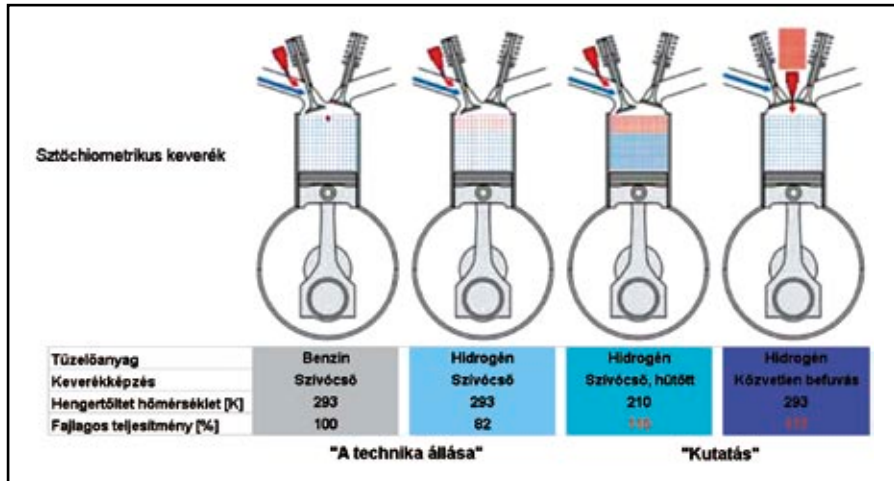
3-1. ábra (Forrás: [1], MAN)



3-2. ábra (Forrás: [1], MAN)



4-1. ábra (Forrás: Mazda)



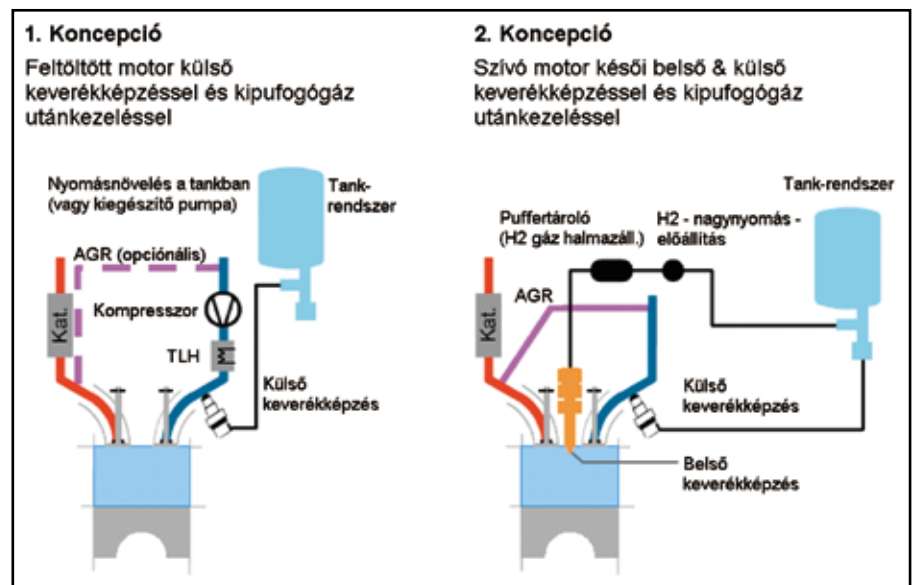
5. ábra (Forrás: [1])

További felosztási szempontok

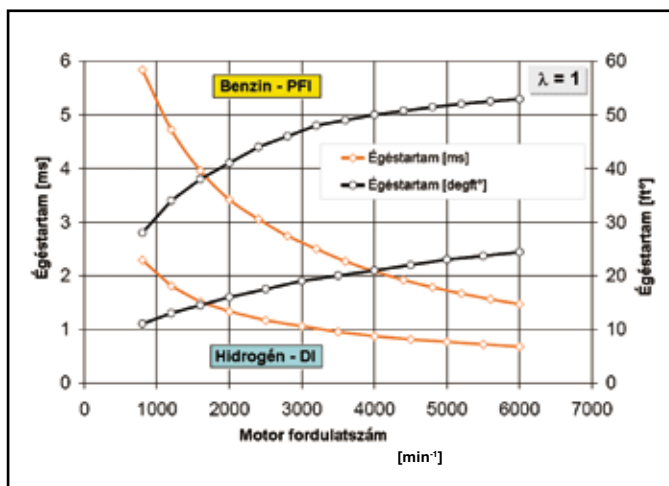
A keverékképzési eljárás helye és a tüzelőanyag-befúvás időpontja szerinti megkülönböztetés mellett további felosztásokat lehet alkalmazni a következő szempontok alapján:

- A bevezetett hidrogén hőmérséklete (környezeti hőm./extrém alacsony hőm.)
- A gyújtásbevezetés módja (idegengyújtás/kompressziógyújtás)
- Részterhelés-szabályozás (fojtás → mennyiség-szabályozás/fojtás nélkül → minőség-szabályozás)
- A hengertöltés állapota szerint (szívó/feltöltött)
- A keverék kialakítása szerint (homogén/rétegezett)

A járműben széles határok között variálódó és dinamikus üzem megvalósíthatósága számára a fenti felosztási szempontok szerint megkülönböztetett eljárások kombinációja gyakran célszerű. Külső keverék-



7. ábra (Forrás: [1])



6. ábra (Forrás: [1])

képzésnél folyékony állapotban tárolt hidrogén esetében a mélyhűtött hidrogén befúvásával jelentős javulásokat lehet elérni a környezeti hőmérsékletű hidrogénnel szemben. Az előny azzal a hatással magyarázható, hogy a hideg hidrogén a szívócsőben az egész töltetösszeg lehűléséhez vezet. A redukált hőmér-

A gyújtásbevezetés módja szerint a hidrogénmotoroknál is, ugyanúgy, mint a szokásos módon, idegen- és kompressziógyújtás üzemet különböztetnek meg. A hidrogénnek a dízel tüzelőanyaghoz képesti nagy öngyulladás hőmérséklete miatt, amely kb. 585 °C, egy stabil öngyulladás üzeme csak nagy sűrítési viszonytal és részben kiegészítő levegő-előmelegítéssel realizálható. A H₂-tüzelőanyagú, belső égésű motorok aktuális felhasználási területére személyautó hajtására ma már nem kizárólag Otto-motorikus koncepcióval történik, és természetesen a múltban sem hiányoztak a vizsgálatok és a koncepciók a hidrogénnel működő személyautó-dízelmotorok és a kétütemű Otto-motorok vonatkozásában sem.



8. ábra (Forrás: BMW)



10-1. ábra (Forrás: [1], BMW)



10-2. ábra (Forrás: [1], BMW)

A jármű technikai adatai

Gyártó	BMW
Modell	760 h
Összlökettérfogat	5972 cm ³
Üzem	kettős (benzin és hidrogén)
Motorteljesítmény, hidrogénüzem	191 kW (260 LE)
Motorteljesítmény, benzinüzem	191 kW (260 LE)
Hidrogénfogyasztás	4 kg / 100 km
Hidrogénnel megtehető úthossz	200 km
Hidrogén-tanktartalom	8 kg folyékony
Benzinfogyasztás	14,8 l / 100 km
Benzinnel megtehető úthossz	500 km
Benzintanktérfogat	74 l
Gyorsulás 0-100 km/h H ₂	9,5 s
Gyorsulás 0-100 km/h benzin	9,5 s
Maximális sebesség H ₂	230 km/h
Maximális sebesség benzin	230 km/h

4. táblázat: BMW Hydrogen 7 műszaki adatai (Forrás: [1])

Már a különböző tüzelőanyag-tulajdonságokból - különösen a lamináris lángsebesség tekintetében - levezethető különbségek miatt a motorikus égésnél különböző égéssébségeket lehet megfigyelni. A 6. ábrán feltüntetett diagramok az égéstartam jellemző értékeit mutatják benzin- és hidrogénüzem esetén, $\lambda=1$ mint állandó paraméter mellett, a fordulatszám függvényében.

A részterhelés-szabályozásra vonatkozóan a hidrogén újra egy más megközelítést von maga után, mert a széles gyújtáshatárok miatt a minőségszabályozott üzem az egész terheléstartományban lehetséges. Az elérhető legnagyobb határfokra való tekintettel a minőségszabályozott üzemet a mennyiség-szabályozáshoz képest, minden esetben előnyben kell részesíteni.

Előnyös lehet egy fojtás (fojtószelep) alkal-

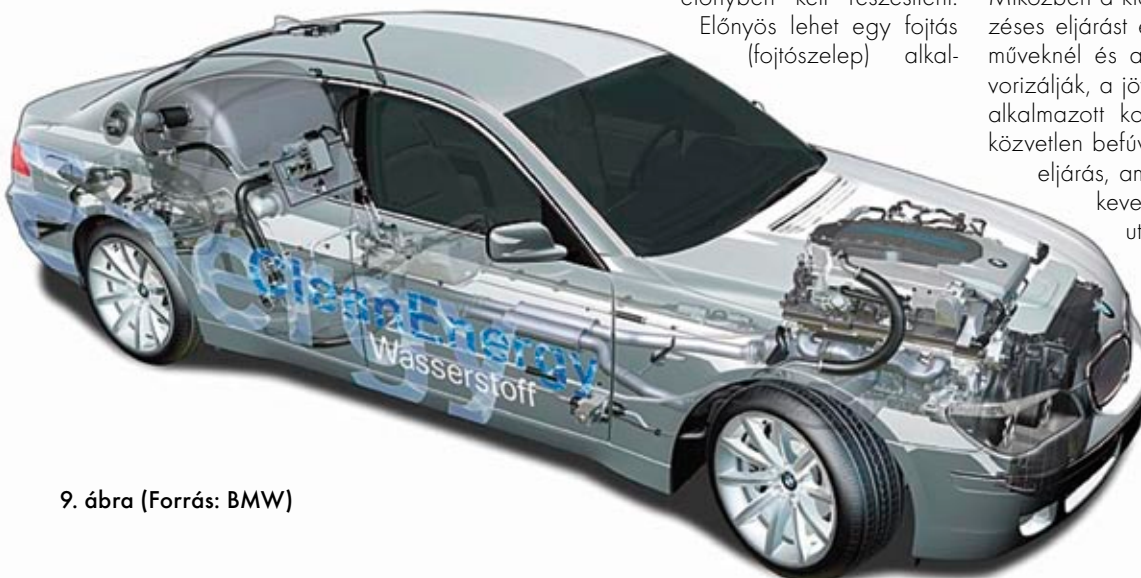
mazása az egyenletes alpjáratati futás és az égéstartamoknak az alsó részterhelési tartományban való optimalizálásához, valamint a kipufogógáz-utánkezeléshez a $\lambda=1$ keverékszabályozás eszközének egy hármas hatású katalizátorral való kombinációja révén.

A motorkoncepciók tagolását végül a hengertöltés kialakítása alapján lehet végrehajtani. A hidrogénmotorok elvben, mind a szívó-, mind a feltöltéses üzemhez megfelelnek. Ellentétben a benzinmotorokkal, amelyeknek a szűk gyújtáshatárok miatt szegénykeverékű üzemben tüzelőanyag-rétegezéssel kell üzemelniük, a hidrogén a széles gyújtáshatárai révén mind homogén, mind rétegzett szegényüzemhez megfelel.

A különböző koncepciók értékelése azt is mutatja, hogy a környezeti hőmérsékletű hidrogén külső keverékképzésű eljárását összehasonlítva, mind a közvetlen befúvási eljárással, mind az extrém alacsony hőmérsékletű (kryogen) hidrogén külső keverékképzési eljárásával, utóbbiakkal mindenkor nagyobb fejlesztési potenciált lehet elérni a teljesítményre, a határfokra és a nyeresémszóra való tekintettel.

Miközben a kidolgozott külső keverékképzéses eljárást elsősorban a koncepciójárműveknél és a kisszériás járműveknél favorizálják, a jövőben feltehetően többször alkalmazott koncepciók lesznek a korai közvetlen befúvás, valamint egy kombinált eljárás, amelyekben a külső és belső keverékképzést kombinálják. Az utóbb leírtakra mutat egy példát a 7. ábra.

Az alacsony hőmérsékletű hidrogén külső keverékképzési koncepcióját folyékony halmazállapotú tárolással egybekötve belátható időn belül lehetne szériafejlesztésbe átvinni. Az olyan koncepci-



9. ábra (Forrás: BMW)



11. ábra (Forrás: [1])

ók, mint a késői közvetlen befúvás vagy az égésvezérlés, ma még csak a kutatás stádiumában vannak.

A következő részben konkrét járműgyártmányokat is bemutatunk, amelyekbe épített motorok hidrogént használnak tüzelőanyagként.

üzemről benzinüzemre, amelyet automatikusan menet közben tudnak végrehajtani. A tankrendszer az extrém alacsony hőmérsékletű folyékony hidrogén számára a csomagtérben a hátsó ülések mögött van elhelyezve. A tank elhelyezése a 10-1. és 10-2. ábrán látható.

2007-ben prezentálta BMW Hydrogen 7-ként az első személyautót hidrogén-belsőégésű motor hajtással, amelyet már szériafejlesztésre szánt állapotban mutattak be (9. ábra).

A BMW Hydrogen 7 egy kettős motorüzemet valósít meg, ugyanis hidrogénnel és benzinnel is üzemel. Ez lehetővé teszi a megfigyelhető átmenet nélküli átállást hidrogén-

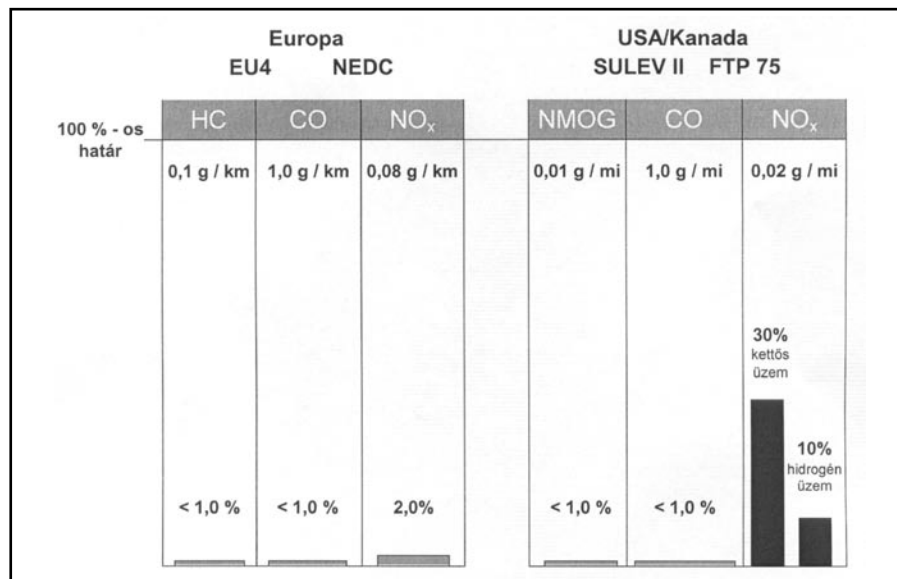
ria) tesztelte. A motor keverékképzésének sémája a 11. ábrán látható.

Hengerenként egy hidrogénbefúvó van a motoron elhelyezve, amelyet az osztrák Hörbiger cég készít. A BMW Hydrogen 7 műszaki adatai a 4. táblázatban vannak összefoglalva.

Az elektronikus motorszabályozás segítségével a benzinüzemben elért motorteljesítmény egyenlő a hidrogénüzemmel, azért, hogy lehetővé tegyenek egy rántásmentes átkapcsolást a két üzem között. Az emissziós értékek a különböző menetciklusok során mérve alacsonyabb szinten vannak. Az EURO 4-es értékekhez képest 2% alatt, és az amerikai SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) határértékeihez képest is. Egyedül a nitrogén-oxid jelentős, amely a ciklus alatt a határérték kb. 30%-át eléri. Monovalens hidrogénüzem megvalósításával további nitrogén-oxid-csökkentés lehetséges, a határértékhez képest 10%-ra. A 12. ábrán láthatóak a különböző menetciklusok során felvett emissziós értékek a határértékek vonatkozásában.

A legújabb fejlesztések eredményei a BMW-től

A „BMW hidrogénmotor csúcshatásfokot ér el” címmel a BMW közös munkával grazi és bécsi kutatókkal, a H2BR Plus Projekt keretében egy monovalens hidrogénmotort dízelmotorra vonatkozó geometriával és előrehaladott nagynyomású, közvetlen befúvatási technológiával fejlesztettek. Ennek a hatásfoka a legjobb turbó dízelmotorok hatásfokának a szintjén fekszik, kereken 42%-on. Ebben a programban, amely az osztrák Közlekedési Innovációs és Technológiai Minisztérium által támogatott, partnerek a Grazi Műszaki Egyetem Belső Égésű Erőgépek és Termodinamika Intézete (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz), a HyCentA Research GmbH (Graz), valamint a HÖRBIGER ValveTec GmbH (Bécs). A BMW mérnökei egy széria dí-

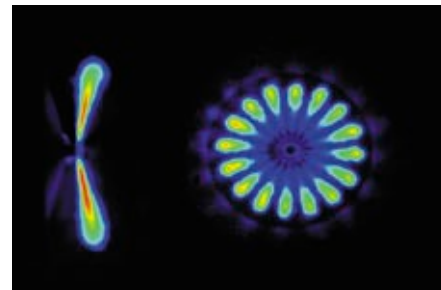
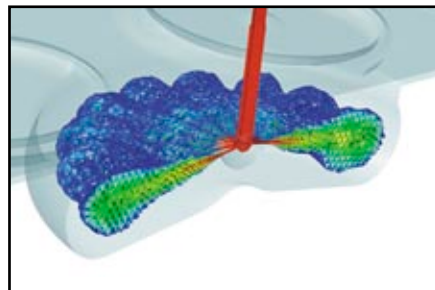


12. ábra: a menetciklusok során mért emissziós értékek (Forrás: [1])

BMW Hydrogen 7

Néhány gépjárműgyártó, úgy mint a BMW, az MAN, a Mazda és a Toyota, hidrogénnel üzemelő belső égésű motort realizált és kisszériában gyártott. A következőkben röviden bemutatjuk a BMW ez irányú fejlesztéseit. A BMW több mint két évtized óta foglalkozik a hidrogén használatával belső égésű motorokban. 2000 májusában az EXPO 2000 világkiállítás alkalmával prezentált egy 15 db BMW 750 hl-járműből álló hidrogénflottát, folyékony halmazállapotú hidrogént tartalmazó tartállyal és tüzelőanyag-cellával (8. ábra).

A tankot a grazi MAGNA STEYR cég készítette és a HyCentA (Hydrogen Center Aust-



13-1. és 13-2. ábrák (Forrás: [2])



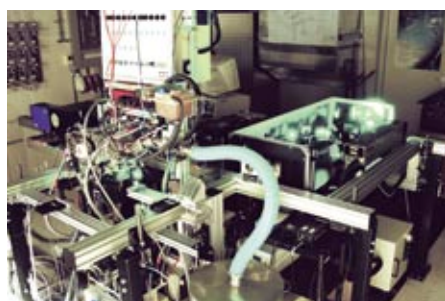
14. ábra (Forrás: [2])

zelmotort alapul véve fejlesztettek egy új hengerfejet a hidrogénüzem számára. A motor égésterét közösen a Grazi Műszaki Egyetem mérnökeivel numerikus áramlásszimulációs program eszközével képezték ki. Az áramlásszimuláció során és a valóságban felvett befúvási képet mutatnak a 13-1. és a 13-2. ábrák.

A HÖRBIKER ValveTec GmbH nagy nyomást (300 bar) előállító injektorokat konstruált a hidrogén égéstérbe történő közvetlen befúvásához. Az injektor a 14. ábrán látható.

Ezeket az injektorokat a Hydrogen Center Austria (HyCentA) - amely egyébként a

hidrogénhez kapcsolódó infrastruktúrát is készítette -, tesztelte és mérte. A kiadós tesztek eredményéből az tűnik ki, hogy az Otto- és dízel égésfolyamat kombinációja hőmérsékletvezérelt felszíni gyújtás (Oberflächenzündung, Surface Ignition) és a hozzá kapcsolódó diffúziós égés által a hatásfok tekintetében az ideális megoldás. A próbapadon elhelyezett motorról mutat képet a 15. ábra.



15. ábra (Forrás: [2])

Következésképpen az egész jellegző-tartományát egy tipikus személygépjármű-motornak lefedik, és a legmagasabb szintű hatásfok elérése mellett. Ezzel együtt jár a fajlagos teljesítmény növelése, és egyidejűleg a tüzelőanyag-fogyasztás csökkenése. Az égési eljárással a motor hatásfoka már ebben a korai kutatási fázisban eléri az aktuálisan legjobb feltöltött dízel-motoroknak megfelelő 42%-os értékét.

A belső égésű motoroknál a nagy kipufogógáz-hőmérsékletek miatt fennálló kipufogógáz hőmennyiségének jó kihasználásával a jövőben további hatásfoknövelés lehetséges.

SZABADOS GYÖRGY
TUDOMÁNYOS S. MUNKATÁRS
KTI JÁRMŰTECHNIKAI, KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS
ENERGETIKAI TAGOZAT

Forrás:

- [1] Helmut Eichlseder, Manfred Klell: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik
- [2] BMW Wasserstoffmotor erreicht Spitzenwirkungsgrad. 12.03.2009
- [3] Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz (<http://fvkma.tu-graz.ac.at/>)

EQUIP AUTO

2009



Párizs, október 13-18.
Parc d'expositions Paris-Nord • France

Gépjárműipari szakiállítás

- ✓ KONCEPCIÓ
- ✓ FORGALMAZÁS
- ✓ JAVÍTÁS

Információ : Promosalons Képviselet
Tel. : (1) 266 13 18 – Fax : (1) 266 35 28
E-mail : hungary@promosalons.com,
gyorki@hu.inter.net
www.promosalons.com

Kérje belépőjét a
www.equipauto.com

A LEGJOBB MEGOLDÁSOK A VÁLSÁG ELLEN