

Nyári autós szabadegyetem

A hidrogén felhasználása belső égésű motorokban

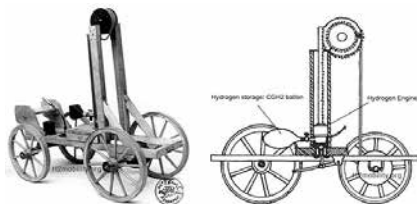


DR. EMÖD ISTVÁN

A cikkben a szerzők szakirodalmi források alapján foglalják össze a hidrogénüzemű belső égésű motor működését, összefoglalják előnyeit és hátrányait.

A legkorábbi hidrogénmotort 1807-ben Francois Isac de Rivaz fejlesztette ki. Maga a motor ún. atmoszférikus szabaddugattyús gázgép volt, a hidrogén meggyújtása okozta terjeszkedés szabadon röpitette a dugattyút felfelé. A munkavégzés akkor történt, amikor a dugattyút a reá ható gravitációs erő és a külső levegő nyomása a kezdeti, alsó állásába nyomta vissza. A mozgást a dugattyúrúdon lévő fogasléc és a kilincsműves fogaskerék alakították forgó mozgássá. Ezzel a motorral 1813-ban több mint 100 métert tett meg egy jármű, ez volt az első, belső égésű motorral hajtott jármű.

Hatvan évvel később, az 1860-as és az 1870-es években N. A. Otto, az Otto-motorok feltalálója elsőként szintézisgázt használt tüzelőanyagként, melynek hidrogéntartalma meghaladta az 50%-ot. Benzinnel is kísérletezett, de a használatát veszélyesnek találta, ezért visszatért a gáz halmazállapotú motorhajtó anyagokhoz. A karburátor kifejlesztése azonban új korszak hajnalát jelentette, melyben már biztonságosan felhasználhatták a benzint. Ez a gázok használatát teljesen kiszorította.



A különböző űrprogramokban széles körben alkalmazzák a hidrogént, mivel energia/tömeg aránya kiemelkedően jó. Folyékony hidrogén a rakétamotorok hajtóanyaga is. A Holdon végzett Apolló-programban, a Marsra irányuló Viking-programban vagy a Szaturnusz kutató Voyager-programban is alkalmazták.

A HIDROGÉN ÉGÉSI TULAJDONSÁGAI

A hidrogén fontosabb fizikai tulajdonságai:

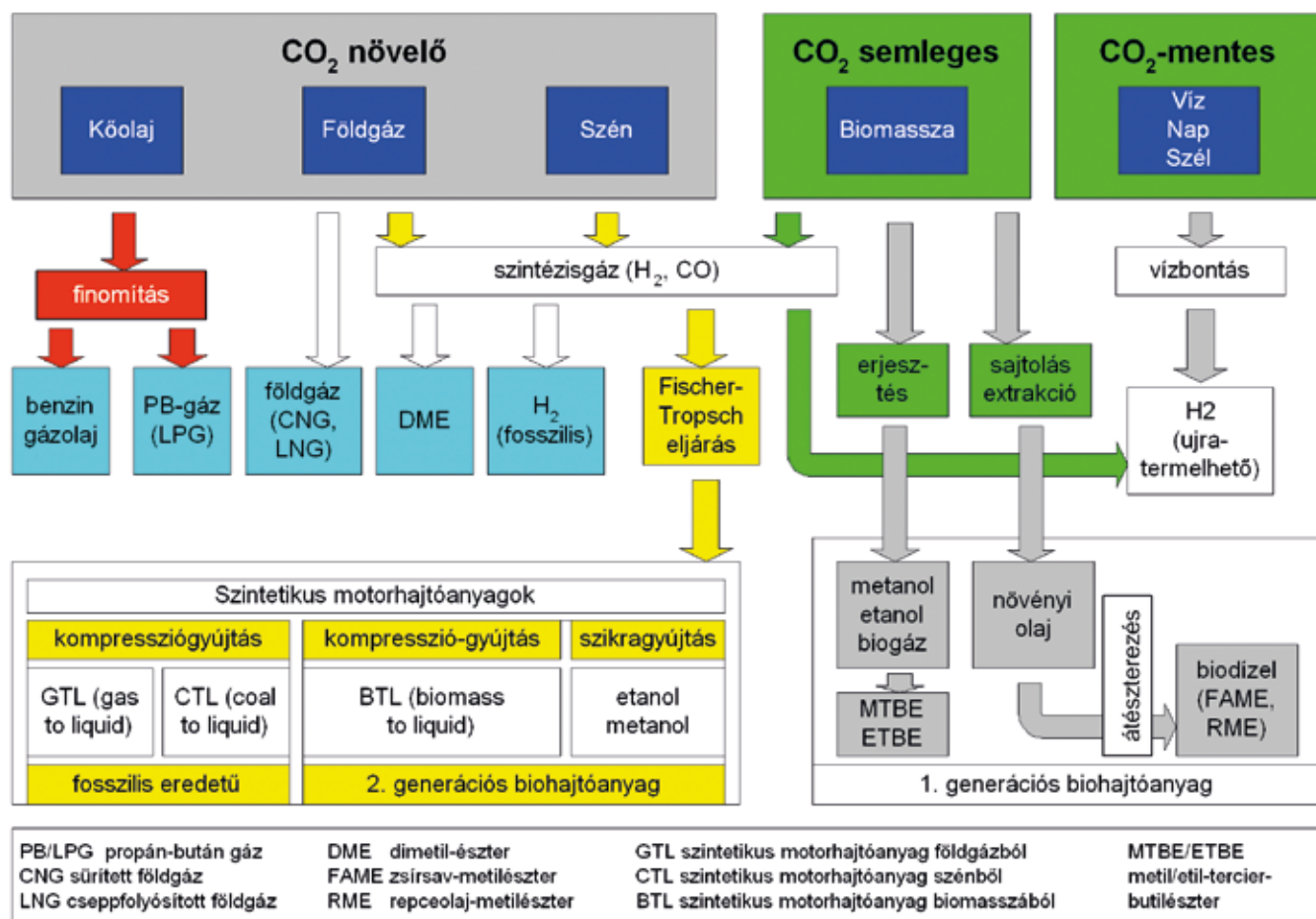
- Színtelen, szagtalan, íztelen.
- Normál állapotban gáz halmazállapotú.
- A legkönnyebb gáz, sűrűsége a levegőnél 14,4-szer kisebb.
- Olvadás- és forráspontja igen kicsi. Környezeti hőmérsékleten a többi gázzal ellentétben kiterjedéskor felmelegszik, ezért a legnehezebb

ben cseppfolyósítható gázok közé tartozik.

- Minthogy molekulái igen kis tömegűek, ezért hőmozgásuk sebessége igen nagy (0 °C-on 1845 m/s). Ezzel magyarázható a nagy diffúziósebesség, valamint a nagyon jó hővezető képesség.
- Fajhője igen nagy (minden anyag fajhőjénél nagyobb), ez a kis atom-, ill. molekulatömegek következménye.
- Vízben igen kis mértékben – gyakorlatilag nem – oldódik, melynek oka az apoláros molekul szerkezet.
- Egyes fémekben, elsősorban a platinafémekben nagymértékben oldódik. Fémekben való oldódása azonban nem csupán fizikai, hanem kémiai folyamat is, mert ún. fémhidridek keletkezésével jár.
- Más gázokhoz hasonlítva sokkal nagyobb az elektromos vezetőképessége (ez a fémekre hasonlító tulajdonsága).

Motorhajtó anyagként alkalmazva, a következő tulajdonságai is fontosak:

- A levegő-hidrogén keverék széles tartományban gyúlékony.
- Meggyújtásához kis energia szükséges.



- Hidegebb falhoz közelítve a hidrogénláng a falhoz közelebb érve alszik el (vékonyabb határréteg).
- Jó kompressziótűrés.
- Nagy lángsebesség.

A LEVEGŐ-HIDROGÉN KEVERÉK SZÉLES TARTOMÁNYBAN GYÚLÉKONY

A hidrogén-levegő keverék sokkal szélesebb tartományban gyúlékony, mint az összes többi hajtóanyag. Ezért a hidrogén-levegő keverék szegény keveréke is elégethető a belső égésű motorokban. (A szegény keverék azt jelenti, hogy a hidrogén mennyisége az adott levegőmennyiséghez képest jóval kevesebb, mint amennyi elméletileg az elégetéshez szükséges lenne.) Ezért könnyű a hidrogénmotorokat indítani. Általánosságban szegény keverékkel a motorüzem gazdaságosabb és az égés

tökéletesebb. Ezen kívül kisebb az égés hőmérséklete, ez kedvező a nitrogén-oxid-kibocsátás szempontjából. A keverék szegényítése viszont csökkenti a motor teljesítményét a szegény keverék kisebb energiataralma miatt.

KIS GYÚJTÁSI ENERGIA

A hidrogén meggyújtásához nagyon kis energia kell, egy nagyságrenddel kisebb, mint a benzin meggyújtásához. Ez teszi lehetővé a hidrogénmotorokban a sovány keverék meggyújtását, a könnyű motorindítást. A kis gyújtási energia sajnos azt is okozhatja, hogy a hengerekben lévő forró gázok vagy forró részek idő előtt meggyújtják a hengerben lévő hidrogént (amikor még nyitva van a szívószelep), és a szívószelebe „visszaég” a hidrogén-levegő keverék. Ez a keveréket beszívó (nem

közvetlen befecskendezésű) hidrogénmotorok egyik nagy problémája. A hidrogén széles skálán mozgó gyúlékonysága azt is jelenti, hogy szinte minden keverék begyulladhat a forró részekről.

VÉKONYABB HATÁRRÉTEG

Hidegebb falhoz közelítve, a hidrogénláng a falhoz közelebb érve alszik el (vékonyabb határréteg). A hidrogénláng csak a falhoz közelebb érve alszik el, mint a benzin lángja. Következésképpen a hidrogén lángnyelvei közelebb vannak a henger falához, mint más motorhajtó anyagoké. Ez is növelheti a visszaégési hajlamot.

JÓ KOMPRESSZIÓTŰRÉS

A hidrogénnek viszonylag nagy az oktánszáma. Ennek az a jelentése, hogy

a hidrogént jobban össze lehet sűríteni anélkül, hogy öngyulladás következne be. A sűrítés okozta hőmérséklet-növekedést a következő összefüggés határozza meg:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

ahol:

V_1/V_2 = sűrítési arány

T_1 = kezdő hőmérséklet

T_2 = véghőmérséklet

γ = politrópusos kitevő

A hőmérséklet nem lehet nagyobb mint a hidrogén öngyulladás hőmérséklete, mert az korai gyulladást okozna. Ezért a véghőmérséklet (T_2) korlátozza a sűrítési arányt. A hidrogén jó kompressziótűrése nagyobb sűrítési arányt tesz lehetővé a hidrogénmotorban, mint a hagyományos motorokban szokásos érték. Ez a nagyobb sűrítési arány azért fontos, mert ez a rendszer termikus hatásfokával áll kapcsolatban. A nagy oktánszám miatt a hidrogén a szikragyújtású motorok hajtóanyagának felel meg.

NAGY LÁNGSEBESSÉG

A hidrogén lángja gyorsan terjed. Azonos feltételek mellett a hidrogénláng sebessége egy nagyságrenddel nagyobb a benzín lángénál. Ez azt jelenti, hogy a hidrogénmotorban lejátszódó folyamat jobban megközelíti a termodinamikai körfolyamatot. A hidrogén-levegő keverék szegényítésével azonban az égési sebesség jelentősen csökken.

NAGY DIFFÚZIÓSEBESSÉG

A hidrogén diffúziósebessége nagy. A levegővel gyorsabban keveredik mint pl. a benzingőzök, ami két okból is előnyös: egyrészt a hidrogén-levegő keverék egyenletesebb, mint pl. a benzingőz-levegő keverék (jobb égés),

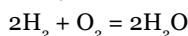
másrészt, ha a hidrogéntartály megsérül, a kiszabaduló hidrogén gyorsan széteszik a környező levegőben, ezáltal kisebb a robbanásveszély.

KIS SŰRŰSÉG

A hidrogén nagyon könnyű. Ezért: adott út megtételéhez nagyméretű tartályra van szükség.

LEVEGŐ-HIDROGÉN ARÁNY

A hidrogén égését a következőképpen írhatjuk le:



A teljes égéshez szükséges $H_2 = 2$ mol

A teljes égéshez szükséges $O_2 = 1$ mol

Mivel az égéshez a levegőt használjuk az oxigén helyett, a számításoknál a levegő nitrogéntartalmát is figyelembe kell vennünk:

A levegő N_2 -tartalma

A levegő összetétele 79% N_2 és 21% O_2 . 1 mol O_2 -höz tartozik $79/21 = 3,762$ mol N_2

A levegő molszáma = O_2 mol + N_2 mol = $1 + 3,762 = 4,762$ mol

Az O_2 tömege = 1 mol O_2 * 32 g/mol = 32 g

Az N_2 tömege = $3,762$ mol N_2 * 28 g/mol = $105,33$ g

A levegő tömege = O_2 tömeg + N_2 tömeg = 32 g + $105,33$ g = $137,33$ g

A H_2 tömege = 2 mol H_2 * 2 g/mol = 4 g

A levegő és a hidrogén sztöchiometrikus aránya (L/H):

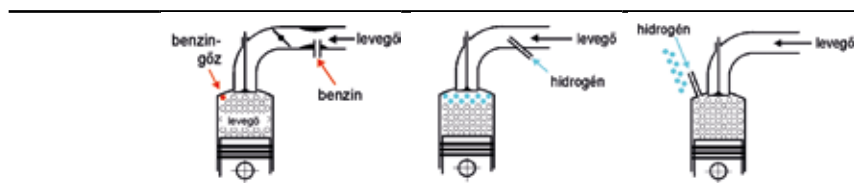
(L/H) tömegarány = levegő tömege / hidrogén tömege = $137,33$ g / 4 g = $34,33$

(L/H) térfogatarány = levegő térfogata / hidrogén térfogata = $4,762$ mol / 2 mol = $2,4$

Sztöchiometrikus keverék esetén a hidrogén égéstérben elfoglalt térfogataránya:

H_2 v/v % = H_2 térfogata / teljes térfogat = H_2 térfogat / (levegő + H_2 térfogat) = $2 / (4,762 + 2) = 29,6\%$

Mint a számítások is mutatják, a hidrogén elégetésének elméleti (sztöchiometrikus) L/H tömegaránya körülbelül 34:1. Ez azt jelenti, hogy elméletileg minden kilogramm hidrogénhez 34 kg levegő szükséges. Ez jóval nagyobb, mint a benzinnél szükséges 14,7 arány. Ha a hidrogén gáz halmazállapotban, a szívócsövön át kerül az égéstérbe, ott több helyet foglal el, mint a folyékony tüzelőanyag; következésképpen a levegő részére kevesebb hely marad. Sztöchiometrikus keverék esetén a hidrogén a lökettérfogat 30%-át foglalja el, míg a benzín kevesebb, mint 2%-át. A következő táblázatban 1 liter lökettérfo-



Tüzelőanyag	benzín	hidrogén, gáz vagy cseppfolyós	hidrogén, nagy nyomású gáz vagy cseppfolyós
Keverékképzés	karburátor vagy szívócső-befecskendezés	szívócsőbeszívás vagy fecskendezés	közvetlen befecskendezés
	(külső keverékképzés)		(belső keverékképzés)
Tüzelőanyag	17 cm ³	300 cm ³	420 cm ³
Levegő	983 cm ³	700 cm ³	1000 cm ³
Energia	3,8 kJ 100%	3,2 kJ 85%	4,5 kJ 120%

gató benzin- és hidrogén-tüzelőanyagú motor teljesítményét hasonlítjuk össze. A táblázatból kiolvasható, hogy a szívómotor esetén a hidrogén hengerbe juttatásától függően a hidrogénmotor teljesítménye a benzinmotorokhoz képest 85% (egyszerű bevezetés) és 120% (nagynyomású befecskendezés) között változik. Feltöltött motor teljesítménye mindhárom esetben a feltöltés mértékével ($p_{\text{töltő}}/p_o$) arányosan nagyobb lehet.

Mivel a hidrogén-levegő keverék gyúlékonysága széles skálán mozog, a hidrogénmotorok L/H aránya 34:1 (sztöchiometrikus) és 180:1 között lehet.

A KORAI GYULLADÁS PROBLÉMÁJA ÉS ANNAK MEGOLDÁSA

A működőképes hidrogénmotorok fejlesztésénél elsődlegesen jelentkező probléma a hidrogén korai gyulladása, mert a hidrogén meggyújtásához kis energia is elegendő, a keverék gyúlékonysága széles skálán mozog és a láng csak a falhoz közelebb alszik el. Az öngyulladás azt jelenti, hogy a hidrogén-levegő keverék az égéstérben már a gyújtószikra megjelenése előtt meggyullad, ez rossz hatásfokú, egyetlen járású motorüzemet okoz. Visszaégés is létrejöhet, ha a korai gyulladás a hidrogénbevezető szelep közelében jön létre, és így az égő hidrogénláng a tüzelőanyag-rendszerbe visszajuthat.

Számos tanulmány vizsgálja a hidrogénmotorok korai gyújtásának okait. Az elemzések némelyike azt mutatja, hogy a korai gyújtást az égéstérben, a gyújtógyertyán vagy a kipufogószelepen lévő forró lerakódások okozzák.

TÜZELŐANYAG-ELLÁTÓ RENDSZER

A tüzelőanyag-ellátó rendszer megfelelő kialakításával csökkenthető – vagy akár teljesen meg is szüntethető – az idő előtti gyulladás gyakorisága. A

hidrogénelátó rendszereknek három fő típusa van:

központi befecskendezés (vagy karburátoros),

szívócső-befecskendező és közvetlen befecskendezésű.

A központi és szívócső-befecskendező rendszerek a hidrogént a szívóütemben juttatják a hengerbe. A központi befecskendezésű és a karburátoros keverékképzésnél a hidrogén a közös szívócsőbe áramlik, a szívócső-befecskendező rendszerek a hidrogént az adott henger szívószelepehez juttatják. A közvetlen befecskendezés az előbbieknél kifinomultabb módszer, a levegő-hidrogén keverék a sűrítési ütemben, az égéstérben alakul ki.

KÖZPONTI BEFECSKENDEZÉS (VAGY KARBURÁTOROS) KEVERÉKKÉPZÉS

A hidrogénmotorok tüzelőanyag-ellátásának legegyszerűbb módja. Előnyei: egyrészt a központi befecskendezés közel nem igényel akkora hidrogénnyomást, mint a többi módszer; másrészt benzinmotoros autók központi befecskendezős vagy karburátoros keverékképző rendszereit egyszerűen át lehet alakítani hidrogén/benzin vagy hidrogén üzemre.

A rendszer hátránya, hogy a motor egyenetlenebbül jár, a korai gyújtások és az esetleges visszaégések miatt. A visszaégés mértékét a szívócsőben jelen lévő nagyobb hidrogén-levegő keverékmennyiség fokozza.

SZÍVÓCSŐ-BEFECSKENDEZŐ RENDSZER

A szívócső-befecskendező rendszer a hidrogént a szívócsatornába, a szívószelep közelébe fecskendezi be. A hidrogént rendszerint a szívóütemben fecskendezik be a szívócsőbe, mivel ekkor a legkedvezőbbek a körülmények a korai gyújtás elkerülésére.

A szívócső-befecskendezésnél a hidro-

génnel együtt beszívott levegő hígítja és hűti a visszamaradt égéstermékeket, gázokat és forró részecskéket. Mivel a szívócsőben kevesebb hidrogén van, ezért a visszagyújtás lehetősége jelentősen csökken. A rendszer nyomása nagyobb, mint a központi vagy karburátoros keverékképző rendszereknél, de kisebb, mint a közvetlen befecskendezésűeknél.

KÖZVETLEN BEFECSKENDEZÉSŰ RENDSZEREK

A korszerűbb hidrogénmotorok a sűrítési ütemben közvetlenül a hengerbe fecskendezik be a hidrogént. A szívószelep a hidrogén befecskendezésekor zárva van, s ez teljesen kizárja a szívócsőben lévő keverék meggyulladását és a visszaégést.

A közvetlen befecskendezésű rendszerek teljesítménye több mint 20%-kal nagyobb mint a benzinmotoroké, és 42%-kal nagyobb, mint a központi befecskendezésű vagy a karburátoros hidrogénmotorok teljesítménye. Bár a közvetlen befecskendezés megoldja a szívócsőben létrejövő gyulladás kérdését, de nem küszöböli ki feltétlenül az égéstérben fellépő korai gyulladást.

A hidrogén és a levegő elkeveredésének ideje csökken, a keverék nem lesz teljesen homogén. Ez okozhatja, hogy a közvetlen befecskendezésű rendszerek NO_x -kibocsátása nagyobb, mint a másik két rendszeré. A közvetlen befecskendezésű rendszerek nagyobb hidrogénnyomást igényelnek, mint az előző rendszerek.

A HENGERBEN LÉVŐ GÁZOK HŐMÉRSÉKLETÉNEK CSÖKKENTÉSE (BELSŐ HENGERHŰTÉS)

A korai gyulladás valószínűsége csökkenthető, ha a hengerben lévő gázok hőmérséklete kisebb. Ez kipufogógáz-visszavezetéssel (EGR) vagy vízbe-

fecskendezéssel érhető el. Mint a neve is mutatja, az EGR-rendszer a kipufogógáz egy részét visszavezeti a szívócsőbe. Ez csökkenti az esetlegesen felizzott részek, lerakódások hőmérsékletét, ezáltal csökkentve a korai gyulladás valószínűségét, de ezen kívül a visszavezetett kipufogógázok csökkentik az égés csúcshőmérsékletét és így a NO_x -kibocsátást is. Általában a 25–30%-os kipufogógáz-visszavezetés már elegendő a visszaégés megelőzéséhez is.

A kipufogógáz-visszavezetés azonban csökkenti a motor teljesítményét, mivel a kipufogógázok jelenléte csökkenti az elégethető levegő-hidrogén keverék mennyiségét.

A belső hengerhűtés másik módszere a vízbefecskendezés. A víz hidrogéngázhoz fecskendezése – még a levegővel való elkeveredés előtt – jobb eredményeket mutatott, mint amikor a szívócsőbe – a már összekeveredett levegő-hidrogén keverékhez – fecskendeződik a víz. A vízbefecskendezésnél azonban gondosan ügyelni kell a tömítések állapotára, hogy a befecskendezett víz ne keveredhessen a motorolajjal.

A MOTOR KIALAKÍTÁSA

A korai gyulladások és a rendellenes égések elkerülésének a leghatékonyabb módja, ha a motort eleve úgy alakítják ki – különös figyelemmel az égéstérre és a hűtőrendszerre –, hogy a hidrogénhajtáshoz optimális legyen. Tárcsaformájú égéstérrel (sík dugattyútetővel és égéstértetővel) az égéstérben a turbulencia mértéke csökkenthető. Kisebbségek lesznek a sugár- és érintőirányú gázsebességek, és a beszíváskor kialakuló örvények sűrítés közben nem erősödnek fel jelentősen. Mivel hidrogénmotorban elégtelen szénhidrogének keletkezésétől nem kell tartani, nagy furat-löket arányú (rövid löketű) hengerkialakításra kell törekedni. A nagyobb égési sebesség miatt két

gyújtógyertyát célszerű alkalmazni. A hűtőrendszer kialakításakor gondot kell fordítani arra, hogy a hűtés az összes szükséges helyen megoldott legyen. A korai gyulladás elkerülését ugyan csak elősegíti, ha egy nagyobb helyett két, kisebb kipufogószelepet használunk, valamint hatékony átöblítő rendszer kialakítása, melynek célja a kipufogógázok minél teljesebb kiszorítása az égéstérből.

GYÚJTÓRENDSZER

A hidrogén meggyújtásához szükséges alacsony energiaszint miatt a hidrogén meggyújtása egyszerű, így a benzinüzemű motor gyújtórendszerét változtatás nélkül használhatjuk. Nagyon sovány levegő-üzemanyag aránynál (130:1 és 180:1 arányok között) a lángsebesség jelentősen lecsökken, ezért előnyös a kétgyertyás gyújtórendszer használata. A hidrogénmotor gyújtógyertyájának a kis hőértékű és nem platinaelektrodás típusok felelnek meg. A kis hőértékű gyertya nagyobb hőmennyiséget ad át a hengerfejnek. Ennek következtében a gyújtógyertya elektrodáinak a hőmérséklete kisebb, az elektróda felizzása okozta nemkívánatos gyulladás lehetősége csökken.

A platinaelektrodás gyújtógyertya használata azért nem ajánlott, mivel a platina a hidrogén oxidálásánál katalizátorként viselkedik.

A FORGATTYÚHÁZ HŰTÉSE

A forgattyúház hűtése a hidrogénmotoroknál még fontosabb, mint a benzinmotoroknál. Akárcsak a benzinmotoroknál, az el nem égett motorhajtó anyag a dugattyúgyűrűk mellett átkerülhet a forgattyúházba. Mivel a hidrogén meggyújtásához kisebb energia kell mint a benzinhez, a forgattyúházba bejutott el nem égett hidrogén könnyebben meggyulladhat. Ezt hűtéssel kell megakadályozni.

A hidrogén meggyulladás a forgattyúházban lehet, hogy csak ijesztő hangot ad, de a motor tüzet is okozhat. A hidrogén meggyulladás a forgattyúházban hirtelen nyomásnövekedést okoz, amit biztonsági szelepen keresztül kell kiengedni.

Égéstermékek is átkerülhetnek a forgattyúházba a dugattyúgyűrűk mellett. Mivel a hidrogén égésterméké víz, ez a motorolaj kenőképességét csökkenti. Ez a motor élettartama szempontjából hátrányos.

TERMIKUS HATÁSFOK

Az Otto-motorok termikus hatásfoka a motor sűrítési arányától és a tüzelőanyag-levegő keverék adiabatikus kitevőjétől függ, a következő egyenlet szerint:

A sűrítés okozta hőmérséklet-növekedést a következő összefüggés határozza meg:

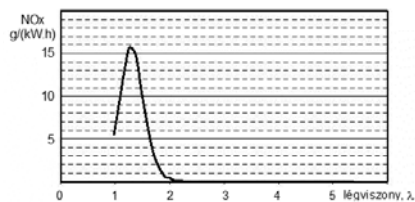
$$\eta_0 = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1}}$$

ahol:

V_1/V_2 = sűrítési arány (kompresszióviszony)

κ = adiabatikus kitevő

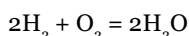
Minél nagyobb a sűrítési arány, annál jobb a motor termikus hatásfoka. Egy motor sűrítési arányának határát a tüzelőanyag-keverék kopogástűrése (oktánszáma) határozza meg. A sovány hidrogén-levegő keverék kevésbé hajlamos a kopogásra mint a benzin, ezért a hidrogénüzemű motorban nagyobb sűrítési arány valósítható meg. Az adiabatikus kitevő a tüzelőanyag molekulaszervezetével van összefüggésben. Minél egyszerűbb a tüzelőanyag molekulaszervezete, annál nagyobb az adiabatikus kitevő. A hidrogén molekulaszervezete sokkal egyszerűbb mint a benziné, adiabatikus kitevője is nagyobb ($\kappa=1,4$), mint a benziné ($\kappa=1,1$).



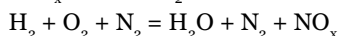
A hidrogénmotor NO_x-kibocsátása

KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS

A hidrogén elégetése az oxigénben csak vizet eredményez:



Ha azonban a hidrogén levegőben (nitrogén + oxigén) ég el, nitrogén-oxidok (NO_x = NO+NO₂) is keletkeznek:



Nitrogén-oxidok nagy hőmérsékleten keletkeznek. A hőmérséklet nagyságától függ, hogy a beszívott levegő nitrogénjének mekkora hányada oxidálódik. Az NO_x mennyisége a következő tényezőktől függ:

- a levegő/tüzelőanyag aránytól
- az égéstérnyomások nagyságától
- a motor fordulatszámától
- a gyújtás időzítésétől

- az esetlegesen alkalmazott belső hengerhűtés mértékétől.

A nitrogén-oxidokon kívül az égésterbe felkerült motorolaj elégesének következtében szén-monoxid és szén-dioxid is keletkezhet a kipufogógázban.

A motor állapotától (olajégés) és az alkalmazott működtetési stratégiától (gazdag vagy szegény keverék) függően a hidrogénmotor károsanyag-kibocsátása a majdnem nullától a nagyobb értékekig változhat. A következő ábra a hidrogénmotorok tipikus NO_x-ki-

Hidrogén és a hagyományos motorhajtó anyagok összehasonlító táblázata

TULAJDONSÁG	EGYSÉG	BENZIN Euroszuper	GÁZOLAJ	METÁN	HIDROGÉN
Sűrűség (cseppfolyós) ^[1]	kg/m ³	720...780	820...845	423	70,8
	°C	15	15	-162	-253
Sűrűség (gáznemű) ^[1,2]	kg/m ³	-	-	0,716	0,090
Moltömeg	kg/kmol	≈ 98	≈ 190	16,043	2,016
Forráspont, ill. tartomány ^[1]	°C	210...355		-161,5	-252,8
Elméleti levegőarány	kg _{lev} /kg _{tüa}		14,7	17,2	34,3
	v/v %	30...190	-	9,5	29,5
Fűtőérték	MJ/kg	43,5	42,9	50	120
Energiasűrűség	MJ/dm ³				
cseppfolyós ^[1]		31,7	35,8	21	8,5
gáz		-	-	12,63	3,03
Keverék-fűtőérték ^[1,2,4]	MJ/m ³				
(keverékbeszívás)		3,76	-	3,40	3,19
Keverék-fűtőérték ^[1,2,4]	MJ/m ³				
(levegőbeszívás)		3,83	3,77	3,76	4,52
Gyulladásí tartomány ^[1,5,7]	v/v %	1...7,6	0,6...5,5	4,4...15	4...76
	λ	1,4...0,4	1,35...0,48	2,28...0,6	10...0,13
Öngyulladásí hőmérséklet ^[1,4]	°C	230...450	250	595	585
Minimális gyújtási energia ^[3,4]	mJ	0,24	0,24	0,29	0,017
Diffúziós együttható	cm ² /s				
^[1,2]		0,05	-	0,16	0,61
^[6]		-		1,9·10 ⁻²	8,5·10 ⁻²
Lamináris lángsebesség ^[1,4,5,7]	cm/s	≈ 40	≈ 40	≈ 42	≈ 230
Kísérleti oktánszám (ROZ)	-	95	-	130	-
Motoroktánszám (MOZ)	-	85	-	100	0
Cetánszám (CZ)	-	-	52...54	-	-
Tömeghányadok					
szén C	%	85,6	86,1	74,9	0
hidrogén H	%	12,2	13,9	25,1	100
oxigén O	%	2,2	0	0	0

¹ 1,013 bar nyomás - ² 0 °C hőmérséklet - ³ 350 bar és 280 K - ⁴ λ=1 légviszony - ⁵ levegőben - ⁶ 100 bar nyomás és 1000 K - ⁷ 25 °C hőmérséklet

bocsátás diagramját mutatja a λ légviszony (beszívott levegőtömeg/az égéshez elméletileg szükséges levegőtömeg) függvényében.

TELJESÍTMÉNY

A hidrogénmotor elméleti maximális teljesítménye a levegő/hidrogén aránytól és a hidrogénbefecskendezés módjától függ.

Mint azt a 2. fejezetben már említettük, a sztöchiometrikus levegő/hidrogén arány 34:1. Ennél az L/H aránynál a hidrogén az égéstér 29%-át tölti ki, a maradék 71%-ot pedig a levegő. Ennek az a következménye, hogy a hengerterefogatot kitöltő keverék energiatartalma kevesebb, mint a benzin-levegő keverék esetében (mivel a benzin folyékony, az égéstérnek csak nagyon kis – 2% alatti – részét foglalja el, ami több levegő beszívását teszi lehetővé). Mivel mind a karburátoros, mind pedig a szívócső-befecskendezési keverékképzésnél a hidrogén és a levegő a hengerbe lépés előtt keveredik össze, a rendszer elméleti teljesítményhatára a benzinmotorokhoz csak a 85%-a. A közvetlen befecskendezésű rendszerenél, ahol a hidrogén a levegővel csak a hengerben, zárt szelepek mellett ke-

veredik el (és így a hengerben 100% a levegőtartalom), a rendszer maximális teljesítménye akár 20%-kal is nagyobb lehet, mint a benzinmotoré.

Következésképpen a keverékképző rendszertől függően a hidrogénmotor teljesítménye 20%-kal nagyobb vagy 15%-kal kisebb lehet, mint a benzinmotoré. A sztöchiometrikus levegő/hidrogén arányú keverék égési hőmérséklete azonban nagyon magas, ami nagy mennyiségű szennyező nitrogén-oxid- (NO_x) kibocsátást okoz. Mivel a hidrogénmotor használatának egyik célja a kipufogógázok légszennyezésének csökkentése, ezért a hidrogénmotorokat úgy tervezik, hogy ne sztöchiometrikus levegő/hidrogén aránnyal működjenek.

A hidrogénmotorokban a felhasznált levegő körülbelül kétszer annyi, mint amennyi a tökéletes égéshez elméletileg szükséges lenne ($\lambda = \text{kb. } 2$). Ily módon a NO_x -kibocsátás majdnem nullára csökken. Sajnos, ez a motor teljesítményét is a felére csökkenti az ugyanolyan méretű benzinmotorokhoz képest. A teljesítményvesztés kiegyenlítésére a hidrogénmotorokat nagyobb löketterefogatra tervezik mint a benzinmotorokat, és/vagy turbótöltést alkalmaznak.

A tanulmány szerzői a BME Gépár-
művek és Járműgyártás Tanszékének
munkatársai, dr. Emőd István és
Kádár Lehel irányításával.

A hidrogén a jövő motorhajtó anyaga – ez a megállapítás a jövőkutató tudósoktól, mérnököktől származik. A hidrogénkorszak jelenti az emberiség jövőjét – ezzel is egyetértenek. A belső égésű motorok közvetlen tüzelőanyagaként – hidrogén/levegő keverékének elégetése – már nemcsak vitatott, hanem jelenleg elvetett felhasználási lehetőség. Korábban számos kutatóintézeti, valamint BMW-, Mazda-kísérletekről az Autótechnika is beszámolt Petrók János és Szabados György tollából. Jelen cikkünkkel, mely a motorikus felhasználás alapjait teljes körűen tisztázza, még tartozunk. Ha nem az elégetés, akkor milyen formában lehet a hidrogén a gépjárművek hajtó energiaforrása? Első helyen a tüzelőanyag-cella tiszta hajtóanyagaként kap szerepet, de emellett van reális lehetőség arra is, hogy visszaforgatott szén-dioxiddal alkotott gáz, illetve folyékony tüzelőanyag alkotója legyen.

(NSZI)

BorgWarner feltöltő a Fordokban

A BorgWarner szállítja a Ford új dízelmotorjaiba a kétlépcsős turbófeltöltőt. Az R2S® nevet viselő, 2 szabályozott turbófeltöltőt tartalmazó egység a 2 liter löketterefogatú motorban debütált. A 450 Nm nyomaték és a 155 kW teljesítmény elegendő ahhoz, hogy a motor leváltsa a 2,2 TDCi motorcsaládot. Még idén megjelenik az új motor a Ford Mondeo, az S-Max és a Galaxy modellekben.

A feltöltő egység egy nagy-nyomású, kis inerciájú KP35-ös turbófeltöltőből és egy Ko4 kisnyomású, nagy tömegáramú turbófeltöltőből áll. Kis fordulatszám esetén csak a kisebb méretű KP35-ös feltöltő működik, majd ahogy nő a fordulatszám és a gázmennyiség, úgy kapcsol be a Ko4-es feltöltő is. Nagy fordulatszámok esetén



a KB35-ös feltöltő turbinakerekét a teljes gázmennyiség megkerüli, a kisebb kipufogógáz-ellennyomás elérése miatt. ■