

HIDROGÉN ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA FÉKTERMI MÉRÉSEKNÉL

Nagy Nóra 

tanársegéd, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet
Szerkezetintegritási Intézeti Tanszék

3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: nora.nagy@uni-miskolc.hu

Bencs Péter 

egyetemi docens, intézetigazgató, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és
Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: peter.bencs@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A Miskolci Egyetem Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszékén 2012-ben modern motorvizsgáló cella épült dízelüzemű személygépkocsik terheléses vizsgálatára és könnyű haszongépjárművek motorjainak tesztelésére. Az egyedülálló laboratórium Miskolc térségében alkalmas standard motorteljesítmény-vizsgálatok elvégzésére, továbbá speciális futásteljesítmény-vizsgálatok, ciklusvizsgálatok, dinamikai és hidegvizsgálatok, súrlódási vizsgálatok elemzésre, valamint számos környezetvédelmi mérésre és a motor teljesítményére gyakorolt hatásuk vizsgálatára. Napjainkban a különböző fejlődési irányok által kijelölt fejlesztéseket kívánjuk megtenni. Jelen kutatás során megvizsgáltuk a hidrogén és dízel együttes használatának lehetőségeit a motorvizsgáló laborban. A vizsgálatok kiterjedtek a hidrogéntárolás és -alkalmazás jogi kérdéseire zárt laboratóriumi körülmények között. A kutatás eredményei alapján további fejlesztések tervezése következik a tanszéki laboratóriumban.

Kulcsszavak: hidrogén, dízel, belsőégésű motor, fékterem

Abstract

In 2012, a modern engine test cell was built at the Department of Fluid and Heat Engineering of the University of Miskolc for the load testing of diesel passenger cars and light commercial vehicle engines. The unique laboratory in the Miskolc area is capable of performing standard engine performance tests, as well as special durability tests, cycle tests, dynamic and cold tests, friction tests, and a wide range of environmental measurements and their impact on engine performance. Today, we aim to make the improvements identified by the various development trends. In the present research, we have investigated the possibilities of using hydrogen and diesel together in the engine testing laboratory. The investigations covered the legal issues of hydrogen storage and use in a closed laboratory environment. The results of this research will be used to plan further improvements in the laboratory.

Keywords: hydrogen, diesel, internal combustion engine, engine test cell

1. Bevezetés

Napjainkban a világ energiafogyasztásának kielégítése elsősorban a fosszilis tüzelőanyagokra támaszkodik (An et al., 2013). A fosszilis energiahordozók elkerülhetetlen kimerülése; tüzelőanyagok kimerülése és használatuk hatása a globális klímaváltozásra megköveteli, hogy alternatív tüzelőanyagok felhasználásának kutatását a növekvő energiaigény kielégítésére növeljék. A kutatások az alkohol, a biogáz, a szintézisgáz felhasználását vizsgálták, termelői gáz, biodízel és hidrogén felhasználásával a hagyományos energiahordozók részleges helyettesítésére. A hidrogén a jövő egyik tüzelőanyaga az autóiparban, mivel ez a legtisztább üzemanyag, és lehet kapni megújuló forrásokból (Pana et al., 2017). Mivel a hidrogén szénmentes üzemanyag, a hidrogénnek előnyei vannak más alternatív üzemanyagokkal szemben. Például kevesebb az üzemanyagból származó részecskék (PM), szénhidrogének (HC), szén-monoxid- (CO) és szén-dioxid- (CO₂) kibocsátás (An et al., 2013). Ez az egyedülálló üzemanyag, amelyet az óceánvíz hidrolíziséből állítanak elő napenergia felhasználásával. A hidrogén felhasználható szikragyújtású belső égésű motorokban (IC) motorok üzemanyagaként. Számos vizsgálatot végeztek a motorok teljesítményére és kibocsátási jellemzőire vonatkozóan (Li és Karim, 2005; Duan et al., 2014). Kihívások, mint az alacsony térfogati hatások, a kopogásra való nagy fokú hajlam és a csökkent teljesítménysűrűség. Másrészt hidrogént fecskendeznek a szívócsőbe a kompressziós gyújtású motorokba, a dízelbefecskendezés megtartásával a levegő és a hidrogén töltetének begyűjtésére. Az ezzel a technológiával kapcsolatos vizsgálatok jó eredményekkel végeztek. Lehetséges volt több mint 90%-os hidrogénenergia-helyettesítést elérni a dízel üzemanyaggal szemben (Roy et al., 2010).

Vizsgálták, hogy milyen hatása van a hidrogénbefecskendezésnek egy közös nyomócsöves dízelmotor kibocsátására (Lilik et al., 2010). Enyhe NO_x-kibocsátás-csökkenést figyeltek meg, ami csak a befecskendezés időzítésének késleltetésével magyarázható. Később vizsgálatot végeztek a befecskendezési időzítés blokkolásával. Ebben az esetben a hidrogén hozzáadása a NO_x-kibocsátás növekedését és az NO/NO₂-arány változását eredményezte, amelyben az NO csökkent, az NO₂ pedig nőtt. Elemezték a hidrogén hozzáadásának hatásait kibocsátásra és a hidrogén elégetésének hatékonyságára gyakorolt hatását is (Gatts et al., 2010). A 68,2%-os dízel kiváltása a maximális hidrogénbefecskendezéssel történt, 10%-os motorterhelés mellett. A hidrogén égési hatásfoka 84%. Kisebb befecskendezéssel ez a hatásfok csökkent. Általánosságban elmondható, hogy a motorterhelés növekedésével a hidrogén elégetésének hatásfoka javult. A dízelmotorba befecskendezett hidrogén 14%-kal nagyobb teljesítményt adott a hagyományos dízelüzemhez képest (Gomes Antunes et al., 2009). Továbbá, egy jelentős hatásfok-növekedést tapasztaltak, amikor hidrogént használtak, szemben az üzemanyaggal szemben. Összefoglalva jól látszik, hogy a dízel és hidrogén üzemanyagok együtt alkalmazásának sok kérdése van még, mely nagy kutatási területet ölel fel.

A hidrogén-töltőállomások fontos szerepet játszanak a hidrogénalapú gazdaságra való átállásban, mivel támogatják a H₂-alapú járművek elterjedését. Azonban a jelentős növekedés elérése érdekében a feltörekvő piac bővülésének eléréséhez az üzemanyag-utántöltők hálózatát a hidrogénüzemű hasznongépjárművek bevezetésével egyidejűleg kell kiépíteni. Ebben az összefüggésben világszerte több mint 370 H₂-állomás működött 2018 végén, amelyeknek több mint fele nyilvánosan hozzáférhető. Másrészt az üzemanyagcellás elektromos járművek globális száma a becslések szerint meghaladta a 12 900-at 2018-ban, az előrejelzések szerint pedig több mint 10 millió autó és 500 000 teherautó és busz lesz hidrogénüzemű 2030-ra (Apostolou és Xydis, 2019).

A fő következtetések azt is sugallják, hogy a következőkkel kapcsolatos tényezők a hidrogénnek a közlekedésben való elterjedésével kapcsolatos tényezők két tengelyen, az FCEV-ken (Fuel Cell Electric Vehicle) és az infrastruktúrán alapulnak. Jelenleg számos ország fejleszti a HRS-hálózatot (Hydrogen

Refuelling Station) a hidrogénmobilitás elterjedésének elősegítése érdekében. A tanulmányok túlnyomó többsége alátámasztja, hogy a legtöbb forgatókönyv esetében a hidrogénalapú infrastruktúra 2025 után jelentős növekedést mutat (Apostolou és Xydis, 2019).

A hidrogéninfrastruktúra támogatása mindenesetre rendkívül előnyös lesz. Az FCEV-flotta növekedésével kapcsolatban a hidrogén-infrastruktúra támogatása azért, hogy több az olyan kutatás, amely azt vizsgálja, hogy a mobilitás „zöld” technológiai hozzájárulhatnak az alternatív közlekedési módok elterjedéséhez. A hidrogén minden bizonnyal jelentős szerepet fog játszani a jövőbeni mobilitásban, és mindenképpen támogatni fogja a kihívást jelentő vállalkozás, a közeljövőben a nem/alacsony károsanyag-kibocsátáson alapuló közlekedést (Apostolou és Xydis, 2019).

Külön alátámasztva a hidrogén jelentőségét a magyarországi hidrogén-stratégia jelenti (szén-dioxid-mentes társadalomra való áttérést és a magyar gazdaság versenyképességének megőrzését szolgálják) (Path, 2021):

1. Nagy mennyiségű, alacsony szén-dioxid-kibocsátású és decentralizált szénmentes hidrogén előállítás (a felhasználói követelményeknek megfelelő és versenyképes árú, alacsony szén-dioxid-kibocsátású és szénmentes hidrogén előállításához szükséges feltételek megteremtése).
 - a. 20 ezer tonna/év alacsony szén-dioxid-kibocsátású hidrogén.
 - b. 16 ezer tonna/év „zöld” és egyéb szénmentes hidrogén.
 - c. 240 MW elektrolízis-kapacitás.
2. Az ipari fogyasztás szén-dioxid-mentessé tétele, részben hidrogénnel (kezdetben túlnyomórészt alacsony szén-dioxid-kibocsátású hidrogént használnak, majd az ipari folyamatok és a termékfelhasználás „zöldebbé” tételére, hosszabb távon pedig a szén-dioxid-mentes hidrogénfelhasználásra való átállással).
 - a. 20 ezer tonna/év alacsony szén-dioxid-kibocsátású hidrogén.
 - b. 4 ezer tonna/év „zöld” és egyéb szénmentes hidrogén.
 - c. 95 ezer tonna CO₂-kibocsátás elkerülése.
3. **Zöldközlekedés** (A tiszta közlekedési módokra való áttérés felgyorsítása a gázolaj használatáról a tiszta alternatívákra való fokozatos áttéréssel. Ennek keretében a 2030-as időhorizonton a hidrogén elsősorban a nehézgépjármű-közlekedésben válhat reális alternatívává.)
 - a. 10 ezer tonna/év „zöld” és egyéb szénmentes hidrogén.
 - b. 20 hidrogéntöltő állomás / 40 töltőpont.
 - c. 4,8 ezer HFC- (Hydrogen Fuel Cell) jármű.
 - d. 130 ezer tonna CO₂-kibocsátás elkerülése.
4. Villamosenergia- és (föld)gáztámogató infrastruktúra (az ágazati integrációs képesség - elsősorban a szezonális energiatárolási képesség – kiépítése az ágazatközi szinergiák kihasználásával, a karbonsemlegességre való áttérést lehetővé tevő infrastruktúra létrehozása és a meglévő infrastruktúra rekonstrukciója).
 - a. 60 MW átlagos leválasztási kapacitás.
 - b. Min. évi 2%-os mennyiségi keverési arány a földgázrendszerben.

Az ipari hidrogénfelhasználás szén-dioxid-mentesítését a hidrogénvölgyek / hidrogén-klaszterek létrehozása is támogatja, amelyek egy régió teljes hidrogén-ökoszisztémájának bemutatására szolgálnak, mint egymással összekapcsolt projektek portfóliója.

Magyarország 2030-ig két új hidrogénvölgy létrehozását tervezi (1. ábra):

1. A Dunántúli hidrogén ökoszisztémája: Az ammónia- és finomítóipar (Pétfürdő, Százhalombatta) regionális szinten is kiemelkedő kapacitású, és a meglévő nagy hidrogénfelhasználók mellett több

olyan ágazat is van, amely potenciálisan új hidrogénfelhasználóvá válhat: vas- és acélművek (Dunaújváros), cementgyártás (Beremend, Királyegyháza). A paksi atomerőmű jelentős mennyiségű szénmentes villamos energiát biztosíthat a hidrogén értéklánc kialakításához.

2. **Északkeleti hidrogénvölgy:** Jól fejlett iparral rendelkező régió (Miskolc, Tiszaújváros, Kazincbarcika, robusztus vegyipar és petrokémiai ipar, jelentős meglévő hidrogénfelhasználással), ahol a hidrogén iránti jelentős kereslet koncentráltan jelentkezik. Meg kell vizsgálni a Mátrai Erőmű és térségének bevonását is.



1. ábra. Magyarország potenciális hidrogénvölgyei (Hungary's National Hydrogen Strategy, 2021)

Összesítve jól látható, hogy a hidrogén, mint belsőégésű motor üzemanyaga kiemelt fejlesztési irányként mutatkozhat a tanszéki motortesztelő egységben.

2. Motortesztelő egység

A Miskolci Egyetem Áramlás és Hőtechnikai Gépek Tanszékén személy- és kistehergépjármű-motorok egyedi vizsgálatára alkalmas komplex féktermi laboratórium került kialakításra Társadalmi Infrastruktúra Operatív Program (TIOP) keretében 2012-ben (Gábor, 2012).

A fékterem a korábról rendelkezésre álló nagy tömegű gépalap köré került kialakításra. A laboratórium és annak valamennyi részegysége biztonságtechnikai, baleset- és munkavédelmi, valamint technológiai szempontok figyelembevételével került megtervezésre és kivitelezésre. A vizsgálatokhoz a modern gépjármű-technológiában használt 2,0 TD Common Rail rendszerű dízelmotort az Audi Hungaria Motor Kft. bocsátotta az egyetem rendelkezésére. A vizsgált motor a kezelőtértől elválasztott, zajszigetelt vizsgálati helyiségbe kerül. A két helyiség között tűzgátló és zajszigetelt nyílászárók biztosítják a rálátást és a megközelíthetőséget (2. ábra).

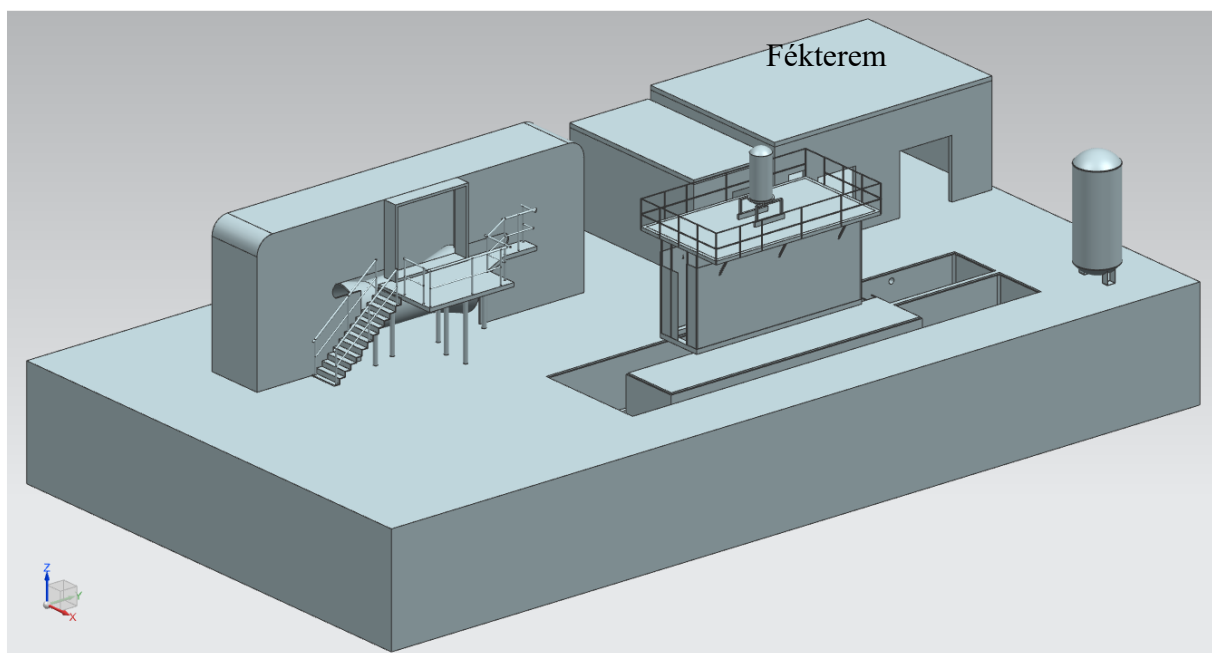
A motor és a fékgép kapcsolatát a szükséges nyomaték és fordulatszám átvitelére alkalmas biztonsági kapcsolóval ellátott burkolattal rendelkező kardántengely biztosítja, a torziós lengések elnyelésére alkalmas nagy flexibilitású gumielemmel és illesztőtárcsákkal. A fékgép 250 kW maximális teljesítményű, 1200 Nm maximális nyomatékú és 8000 1/min fordulatszámú vízhűtéses örvényáramú fékgép, impulzusmodulációs elven működő illesztett szabályzóelektronikával. A hajtáslánchoz fékgép oldalon speciális tengelykapcsoló segítségével egy további 44 kW névleges teljesítményű frekvenciaváltós fordulatszám-szabályzású aszinkronmotor csatlakozik, Energotest fejlesztésű ún. compound fékező egységet képezve. A szabályozható aszinkronmotor jelentős mértékben növeli a rendszer dinamikáját és a dinamikus vizsgálatok hatékonyságát, valamint a tesztmotor hajtására is alkalmas, ezáltal motorüzem nélküli, úgynevezett hideg tesztek is futtathatóak, így súrlódásvizsgálatok elvégzésére is alkalmassá válik a rendszer (Gábor, 2012).



2. ábra. Motorfékterem

A tesztmotor üzemeléséhez szükséges környezeti és technológiai peremfeltételeket Energotest fejlesztésű és kivitelezésű mérés-technikai előkészítő és kiszolgáló rendszer biztosítja (Gábor, 2012).

- Hűtővíz-előkészítő rendszer biztosítja vizsgálatok közben a tesztmotor hűtését víz-víz hőcserélő, kiépített csővezetékrendszer, a rendszer paramétereire illesztett szivattyú és szabályzóelemek segítségével. A hűtővíz tárolását a korábbi szivattyúlabor padlószintbe süllyesztett mintegy 100 m³ kapacitású ipari tartálya teszi lehetővé (3. ábra). Fékezés üzemmódban az aszinkron gép által megtermelt áram a hűtőrendszerbe épített fűtőbetéteken keresztül kerül disszipálásra. Ennek segítségével a felesleges hőenergia részben a motor által beszívott levegő temperálására kerülhet felhasználásra, ezáltal csökkenthetőek az üzemeltetési költségek.



3. ábra. Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék Laboratórium

- Dízel üzemanyag előkészítő rendszer a tesztmotor üzemeléséhez szükséges hajtóanyagot biztosítja. Itt gravitációs üzemanyagrendszer került kiépítésre 250 l-es duplafalú biztonsági tartály, szoftverillesztéssel rendelkező szintjelzők, csőhálózatba illesztett feltöltőszivattyú, biztonsági elzáró- és szabályzószervek, -szelepek felhasználásával. A hajtóanyag visszahűtése üzemanyag-víz hőcserélővel történik, a szükséges 6/12 °C-os hűtött vizet a tetőn elhelyezett folyadékűtő biztosítja. Ezen folyadékűtő biztosítja a beszívott levegő hűtését is. Az üzemanyag-ellátó rendszerbe nagy pontosságú (0,25%) gravimetrikus elven működő fogyasztásmérő is beépítésre került.
- A motor működéséhez szükséges levegőt – megfelelő szűréssel, állítható szívási depresszióval és 15–40 °C hőmérsékleti tartományban történő temperálással – a motor által beszívott levegőt előkészítő rendszer biztosítja. A beszívott levegő mennyiségének méréséhez szükséges mérőszakasz helye is kialakításra került.
- Kipufogórendszer a motor által kibocsátott füstgázok elvezetését teszi lehetővé rozsdamentes csőszerelvényekkel, kompenzátorral. Az emissziómérés jövőbeni biztosítására bontható mérőszakasz került kivitelezésre.

- Teremszellőző rendszer biztosítja a laboratórium folyamatos szellőztetését beszívó és elszívó ventilátorok, légtechnikai csatornák, elszívó ernyő, szűrőrendszer és esővédő végelemek segítségével. A ventilátorok szabályozása a teremhőmérséklet alapján fokozatmentesen, frekvenciaváltóval történik. Ezzel biztosítható egy állandó minimális légcsera, ami lehetővé teszi a fékteremben esetlegesen keletkező gázok külső térbe történő kijuttatását.

A féktermi paraméterek összessége jól bemutatja, hogy a rendszer alkalmas hidrogén és dízel üzemanyagok tesztelésére, illetve mérésére.

3. Hidrogéntárolás szabályozás

A Miskolci Egyetem Áramlás és Hőtechnikai Gépek Tanszékének laboratóriuma (3. ábra) egy zárt tér, ahol külön jogszabály írja elő a hidrogéntárolást és -felhasználást. Ezen jogszabályokat gyűjtjük össze és összesítjük.

Főbb jogszabályok (Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület, 2018):

- 2015. évi LXXXIX. törvény a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás „A” és „B” Melléklete kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről.
- 178/2017. (VII. 5.) Korm. rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás „A” és „B” Melléklete kihirdetéséről, valamint belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről.
- 61/2013. (X. 17.) NFM rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR) „A” és „B” Mellékletének belföldi alkalmazásáról.
- 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezéséről.
- 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról.
- 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról.
- 2/2016. (I. 5.) NGM rendelet a nyomástartó berendezések, a töltő berendezések, a kisteljesítményű sűrített gáztöltő berendezések műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről és az autógáz tartályok időszakos ellenőrzéséről.
- MSDS (Material Safety Data Sheet) Biztonságtechnikai adatlap hidrogénre vonatkozóan – magyar nyelvű MSDS lapok elérhetők több forrásból is, pl. ipari gázgyártó vállalatok honlapjáról.

A főbb jogszabályok alapján tehető megállapítások az alábbiak (Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület, 2018):

„Hidrogént tároló létesítmények létesítéséhez – bizonyos küszöbmennyiségek felett – veszélyes üzem engedélyezése (ún. »Seveso engedély«) szükséges, amelyet a Katasztrófavédelmi Igazgatóság adhat ki, majd később a használatba vételt is ez a szervezet engedélyezi. A hidrogén önállóan nevesített anyagként szerepel a katasztrófavédelmi jogszabályokban, és a vonatkozó legkisebb küszöbmennyiség 1,25 tonna, amelyet az adott telephelyen egyidejűleg tárolt maximális mennyiségként kell értelmezni. A következő mennyiségi küszöb 5 tonna, amely felett ún. »alsó küszöbértékes veszélyes üzem« engedélyezése szükséges, illetve 50 tonna, amely mennyiség felett »felső küszöbértékes veszélyes üzem« engedélyezése szükséges. Az 1,25 tonnás küszöbmennyiség magyar specialitásnak számít, mivel ezzel kapcsolatban a hazai katasztrófavédelmi szabályozás még szigorúbb is, mint az EU tagállamok általános

gyakorlata a Seveso Irányelv kapcsán. A katasztrófavédelmi jogszabályokban nincsenek hidrogéntárolásra vonatkozó specifikus előírások, ezért egyedi esetekre elvégzett modellszámítások alapján állapítható meg például az alkalmazandó védelmi- és biztonsági övezetek nagysága. Ezen övezetek mérete a kockázatelemzésekből származik, és – egyéb paraméterek mellett – a tárolt hidrogén mennyiségétől függően kerül meghatározásra. Tehát jogszabályban szereplő, mennyiség függő, konkrét számértékkel, méterben kifejezett biztonsági távolságok nem léteznek, hanem komplex kockázatelemzési számítások végeredményeként állnak elő, létesítményről-létesítményre. Ez természetesen többletmunkát, több konzultációt, egyeztetést igényel.”

„A tűzvédelem szintén alapvetően fontos témakör a hidrogén tárolása során. Erre vonatkozóan a legfontosabb szabályozó az Országos Tűzvédelmi Szabályzat [OTSz, 54/2014 (XII.5.) BM rendelet]. Az OTSz jellemzően különböző tűzveszélyes anyag osztályokkal operál, mint például »tűzveszélyes gázok«, »robbanásveszélyes gázok«, amely kategóriákba a hidrogén besorolható, és a vonatkozó követelmények így állapíthatók meg. Azonban kifejezetten hidrogénre (anyagspecifikusan) megállapított előírások nincsenek. Ilyen specifikus előírások csak a már elterjedtebb üzemanyagokra (pl. CNG, LPG), vagy tüzelőanyagokra (pl. PB gáz, földgáz) található meg az OTSZ-ben. Az anyagspecifikus előírások (pl. konkrétan hidrogénre vonatkozó tűzvédelmi távolságok megléte) megkönnyíthetnék, egyértelműbbé tehetnék, meggyorsíthatnák a tervezés és engedélyezés folyamatait.”

4. Összegzés és javaslatok

Jelen kutatásban összesítésre került az Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszékén található belsőégésű motorok mérésére alkalmas mérőcella továbbfejlesztési lehetősége. A jelenlegi ipari tendenciák alapján a hidrogén-alkalmazási lehetőségek kerültek megvizsgálásra. A mérőcella, illetve féktermi technikai paraméterek alapján a rendszer alkalmas lehet hidrogén/dízel üzemanyaggal működő belsőégésű motor vizsgálatára. A vizsgálatok kiterjednek a belsőégésű motorok energetikai vizsgálatára (mérési ciklusok vizsgálata, fogyasztásmérés, környezeti paraméterek, motorolajok, hajtóanyagok vizsgálata, motorban fellépő sűrűlódások vizsgálata), emisszió- és diagnosztikai ellenőrzési lehetőségeire. Jelenleg a mérőrendszer egyfajta üzemanyag (dízel üzemanyag) használatára alkalmas, így ez a szűk keresztmetszet a fejlesztések során.

Jövőbeli lehetőségként együttműködést mutat ilyen irányú ipari kapcsolat kialakítására. A technikai feltételek mellett nagyon fontos paraméter a hidrogéntárolás és -felhasználás jogi szabályozása zárt térben. A kutatásunk kiterjedt a jogszabályi háttér áttekintésére, illetve alkalmazási lehetőségek megvizsgálására a laboratóriumi feltételek alapján. A laboratórium zárt jellege miatt a jogszabályok egyedi vizsgálata szükséges, így mindenképp egy külön felmérést kell megrendelni a továbblépés következő szakaszához. Pénzügyi befektetés szempontjából mindenképp ezen vizsgálat elvégzése az első lépés, mely eredménye lehet negatív (vagyis a rendelkezésre álló terület nem alkalmas hidrogéntárolásra és -felhasználásra), így ezen pénzügyi tétel egy bizonytalansági faktort visz a beruházásunk támogatásában. Reális hosszú távú fejlesztésekhez szükséges lesz egy új kombinált üzemanyagrendszer kiépítése, illetve a kapcsolódó mérési/irányítási rendszerek telepítése és beüzemelése. Jelen kutatási összesítés jó alapot biztosít egy jövőbeli beruházási/fejlesztési lehetőség vizsgálatára a Miskolci Egyetemen.

Irodalom

- [1] An, H., Yang, W., Maghoul, A., Li, J., Chou, S., & Chua, K. (2013). A numerical study on a hydrogen assisted diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (6), 2919–2928. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.12.062>

- [2] Pana, C., Negurescu, N., Cernat, A., Nutu, C., Mirica, I., & Fuiiorescu, D. (2017). Experimental aspects of the hydrogen use at diesel engine. *Procedia Engineering*, 181, 649–657. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.446>
- [3] Li, H., & Karim, G. A. (2005). An experimental investigation of S.I. engine operation on gaseous fuels lean mixtures. *SAE Transactions*, 114, 1600–1608. <https://doi.org/10.4271/2005-01-3765>
- [4] Duan, J., Liu, F., & Sun, B. (2014). Backfire control and power enhancement of a hydrogen internal combustion engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (9), 4581–4589. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.12.175>
- [5] Roy, M. M., Tomita, E., Kawahara, N., Harada, Y., & Sakane, A. (2010). An experimental investigation on engine performance and emissions of a supercharged H₂-diesel dual-fuel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (2), 844–853. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.11.009>
- [6] Lilik, G. K., Zhang, H., Herreros, J. M., Haworth, D. C., & Boehman, A. L. (2010). Hydrogen assisted diesel combustion. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (9), 4382–4398. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.01.105>
- [7] Gatts, T., Li, H., Liew, C., Liu, S., Spencer, T., Wayne, S., & Clark, N. (2010). An experimental investigation of H₂ emissions of a 2004 heavy-duty diesel engine supplemented with H₂. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (20), 11349–11356. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.06.056>
- [8] Gomes Antunes, J., Mikalsen, R., & Roskilly, A. (2009). An experimental study of a direct injection compression ignition hydrogen engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (15), 6516–6522. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.05.142>
- [9] Apostolou, D., & Xydis, G. (2019). A literature review on hydrogen refuelling stations and infrastructure. Current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109292. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109292>
- [10] Path, H. I. O. G. (2021). Hungary's National Hydrogen Strategy.
- [11] Gábor, Sz. (2012). Új, kétfunkciós dinamikus vizsgálatokra is alkalmas fékterem a Miskolci Egyetemen. *GÉP*, 63 (9), 5–6.
- [12] Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület (2018). Hidrogéntárolás és szállítás. National Policy Paper – Hungary.