



**VILLAMOSENERGIA-FELHASZNÁLÁST
OPTIMALIZÁLÓ INNOVATÍV RENDSZER
FEJLESZTÉSE IPARI-, LAKOSSÁGI
FOGYASZTÓK ÉS ELEKTROMOS
JÁRMŰVEK SZÁMÁRA
2024**

**KONFERENCIA
ELŐADÁSAI**

Miskolc, 2024. április 22.

Miskolc

ISBN 978-963-358-334-0

Kiadta:

Miskolci Egyetem

Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Fizikai és Elektrotechnikai Intézet

Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

Szerkesztette:

Dr. habil. Bodnár István

egyetemi docens

Tudományos Bizottság tagjai:

Prof. Dr. Palotás Árpád Bence, Dr. habil. Bodnár István, Dr. Bencs Péter, Dr. Bölkény Ildi,
Dr. Dobó Zsolt, Dr. Garami Attila, Dr. Kozsely Gábor, Dr. Lengyel Ákos József,
Dr. Matusz-Kalász Dávid, Dr. Nagy Gábor, Dr. Olajos Péter, Dr. Pintér Judit Mária,
Dr. Rónai László, Somogyiné Dr. Molnár Judit, Dr. Szaszák Norbert

ISBN 978-963-358-334-0

Miskolc, 2024. április 22.

A kiadványban megjelenő publikációk lektoráltak!

A kiadványban megjelenő tartalomért és a forrásmegjelölésért a kiadó felelősséget nem vállal!

A teljes felelősség a szerző(ke)t terheli!

ELŐSZÓ

A Miskolci Egyetem számos közleményt jelentet meg, amelyek évtizedek óta hozzájárulnak a tudományos élet fejlődéséhez. E fejlődéshez csatlakozva a *Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára 2024* című konferencia előadásaiból készült publikációk elektronikus kiadványa a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 azonosító számú projektben folytatott kutatómunkák legújabb közleményeit tartalmazza.

A 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 azonosító számú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára” című projektben a konzorcium vezetői feladatokat a PowerQuattro Zrt. látja el. A projekt konzorciumi tagja a Ferr-Váz Kft. és a Miskolci Egyetem. A projekt legfőbb célja olyan intelligens akkumulátoros energiatároló rendszerek fejlesztése, amelyek nem csak az ipari és a lakossági fogyasztókhoz, azok hálózataikhoz illeszthetők, hanem alkalmasak elektromos járművekben történő alkalmazásra is. A projekt két fő irányvonalat definiált. Az egyik projektrészben az ipari és lakossági felhasználásra szánt rendszerek kutatása, fejlesztése és innovációja zajlik. A másik projektrész kifejezetten az elektromos járművekre, kiemelten a városi közlekedésre alkalmas buszokra koncentrál.

A projekt során célul tűztük ki, hogy kidolgozunk egy olyan koncepciót, amely a belső égésű motorral szerelt autóbuszok elektromos meghajtásúvá történő átalakításának tervét tartalmazza a műszaki és gazdasági optimum figyelembevételével. A kutatómunkánk során tanulmányoztuk a rendelkezésre álló szakirodalmakat és különböző műszaki és gazdasági számításokat, valamint környezeti hatásvizsgálatokat végeztünk, amelyek eredményeként kijelölésre kerültek a lehetséges autóbuszok köre, amelyek átalakítása megtérülő befektetés. Jelen ismeretek alapján a CNG üzemű szóló buszok elektromos meghajtásúvá történő átalakítása a legcélszerűbb a belső égésű motorral szerelt buszok közül.

Jelen kiadvány a projekt második szakaszának kutatási eredményeit mutatja be, amely eredmények nem csak szakirodalmi források tanulmányozásán és az első körös saját számítási, valamint mérési eredmények bemutatására koncentrál, hanem konkrét javaslatokat is megfogalmaz, amely a megvalósítási folyamat fontos elemeivé váltak.

A projekt vezetősége fontos feladatának tekinti a kutatómunka különböző szakágain folyó tudományos kutatási tevékenységnek színvonalas publikálási lehetőséget biztosítani. A színvonalat a szervezőbizottság azzal is biztosítani kívánja, hogy a kötetben megjelenő valamennyi cikk alapos lektorálási folyamaton és szerkesztőbizottsági értékelésen megy keresztül. A publikálásra elfogadott cikkek magas színvonalának az is záloga, hogy a cikkek lektorálásánál minden esetben törekedtünk az adott szakterületen elismert, és független kutatót, szakértőt felkérni. A lektorok észrevételeit a szerzők megkapták, ezzel is elősegítve a minőségi publikáció megjelenését. A lektorálás alapos és szakmailag igényes elvégzése nem kis feladatot ró a felkért lektorokra, amiért ezúton is köszönetünket fejezzük ki valamennyi közreműködő lektornak.

Kelt: Miskolc, 2024. április 22.

Tudományos Bizottság

TARTALOMJEGYZÉK

Ahmed Manaf Noofal Taha, Bencs Péter:

A járműfűtési és -szellőztetési rendszerek fejlesztési technikáinak áttekintése 5

Bencs Péter:

A közlekedés fejlődése során lehetséges jövő üzemanyagainak áttekintése 15

Bencs Péter, Nagy Nóra:

A hidrogénüzemű gépjárművek kockázatelemzésének áttekintése 23

Bodnár István:

Napelemes erőmű feszültségének vizsgálata 31

Bodnár István:

Használt napelemek teljesítménymérése 37

Bodnár István, Boros Rafael Ruben, Matusz-Kalász Dávid, Jobbágy Marcell:

Solar powered electric car with variable-voltage/variable frequency drive control 42

Boros Rafael Ruben, Bodnár István, Matusz-Kalász Dávid, Jobbágy Marcell:

Life cycle assessment of vehicles 51

Fekete Tamás, Tóth Dániel:

Méréstechnikák a szerszámgépiparban 59

Fekete Tamás, Tóth Dániel:

Lézeres méréstechnikák a szerszámgépiparban 63

Kovács Attila, Somogyiné Molnár Judit, Jármái Károly:

EV töltők villamos analízise 68

Kozsely Gábor:

A napelem cella p-n átmenetének modellezése 76

Matusz-Kalász Dávid, Bodnár István, Boros Rafael Ruben, Szabó Norbert:

Range-reducing effect of contaminants in case of solar vehicles 85

Matusz-Kalász Dávid, Bodnár István, Jenyó Tamás, Kozsely Gábor:

Li-ion akkumulátor cellák túltöltése 94

Rónai László, Lénárt József:

Polaritás és töltöttségi szint meghatározó rendszer fejlesztése Li-ion akkumulátorhoz 102

Szabó Norbert:

Szuperkondenzátor mérésére szolgáló LabView program megvalósítása 106

Szaszák Norbert Tibor:

Li-ion akkumulátor villamos paramétereinek hőmérséklet-függése 111

Szaszák Norbert Tibor, Lengyel Ákos József:

Li-ion akkumulátor villamos paramétereinek hőmérsékletfüggése – a mérőrendszer összeállítása 117

A HIDROGÉNÜZEMŰ GÉPJÁRMŰVEK KOCKÁZATELEMZÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE

REVIEW OF RISK ANALYSIS OF HYDROGEN POWERED CARS

BENCs Péter¹, NAGY Nóra²

¹Ph.D., egyetemi docens, peter.bencs@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

²tanársegéd, nora.nagy@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet,
Szerkezetintegritási Intézeti Tanszék

Kivonat: Ez a kutatás a hidrogénüzemű járművek kockázatértékeléséhez használt módszereket mutatja be. A hidrogénüzemű járművek tervezésénél a biztonságos hajtásláncot (legkisebb kockázat) kell előtérbe helyezni. A járműveknek a mindennapi életben szokásos körülmények között is használhatónak kell lenniük, és a felhasználóra jelentett kockázatot a lehető legkisebbre kell csökkenteni. A szakirodalmi áttekintés kimutatta, hogy a hidrogénüzemű járművek használatakor a legnagyobb kockázatot a hidrogénszivárgás jelenti. A hidrogénszivárgás az üzemanyagrendszerekben (tartályokban, csővezetékekben) fordulhat elő, és a kockázatértékelési módszereket ennek a kérdésnek a kezelésére kell alkalmazni. A jövőben a környezetbarát hidrogénüzemű járművek fontos szerepet fognak játszani az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében, de a biztonságos üzemeltetés is fontos követelmény lesz. A vizsgált kockázatértékelési eljárások támogatni fogják ennek az új technológiának a jövőbeni alkalmazását.

Kulcsszavak: Hidrogén, Kockázatértékelés, Gépjárművek

Abstract: This research presents the methods used for risk assessment of hydrogen vehicles. The design of hydrogen-powered vehicles should be prioritized to ensure a safe powertrain (lowest risk). Vehicles should be usable under normal conditions in everyday life, and the risk to the user should be minimized. A literature review has shown that the greatest risk in the use of hydrogen powered vehicles is hydrogen leakage. Hydrogen leakage can occur in fuel systems (tanks, pipings), and risk assessment methods should be applied to address this issue. In the future, green hydrogen vehicles will play an important role in reducing greenhouse gas emissions, but safe operation will also be an important requirement. The risk assessment procedures under consideration will support the future application of this new technology.

Keywords: Hydrogen, Risk analysis, Vehicles

1. BEVEZETÉS

A világ kereskedelmi célú hidrogéntermelésének 48%-át, 30%-át, 18%-át és 4%-át négy elsődleges forrás, a földgáz, a kőolaj, a szén és az elektrolízis adja. Az ipari hidrogén fő forrása a fosszilis tüzelőanyagok. Általában a hidrogént a földgáz gőzzel történő átalakításával állítják elő.

Lehetőség van a következő primer energiaforrások alkalmazására: Földgáz, napenergia, szélenergia és biogáz vagy biometán. Biogáz a földgáz vagy biometán egy termokémiai folyamaton megy keresztül, amelyet gőzzel történő metánreformálásnak neveznek, ami gőzzel történő reakciót eredményez, és egy szintetikus gázt hoz létre, amely elsősorban hidrogénből áll. A víz hidrogénre és oxigénre történő szétválasztásához az elektrolízisnek nevezett technikát alkalmazzák, amely fő energiaforrásként földgázt, napenergiát vagy szelet használhat. Mindkét módszer hidrogén előállítását eredményezi [1].

- Elsődleges energiaforrás: A következő elsődleges energiaforrások alkalmazására van lehetőség: Földgáz, napenergia, szélenergia, biogáz vagy biometán.
- Termokémiai átalakítás: A biogáz A földgáz, más néven biometán egy termokémiai folyamaton, a gőz-metán reformján megy keresztül, amely gőzzel való reakciót eredményez, és egy szintetikus gázt hoz létre, amely elsősorban hidrogénből áll.
- Elektrolízis: A víz hidrogénre és oxigénre történő szétválasztásához az elektrolízisnek nevezett technikát alkalmazzák, amelynek fő energiaforrása földgáz, napenergia vagy szél lehet.
- Végző energiahordozó: Mindkét módszer hidrogén előállítását eredményezi.

A hidrogén energiamezőkbe történő beépítésének egyik módja a hidrogén szénhidrogének üzemanyag-adalékanyagaként történő felhasználása. A szénből és szénhidrogénekből előállított városi gázokban mindig is jelentős mennyiségű hidrogén volt. Napjainkban a városi gázok többségét metán vagy földgáz teszi ki. A hidrogénnek a földgázhoz való hozzáadása előrevetíti a fokozatos átállást a hidrogénre, mint energiaforrásra. A belsőégésű motorok üzemanyagai is használhatnak hidrogént adalékként.

Kimutatták, hogy a hidrogén földgázmotorokba történő beépítése javíthatja azok égési képességeit és csökkentheti a szennyezőanyag-kibocsátást, különösen a sovány égésű üzemmódban. Ha ezt a keveréket használják üzemanyagként, az autóknak lényegesen kevesebb nitrogén-oxidot, szénmonoxidot és szénhidrogént kellene kibocsátaniuk. A hidrogéntartalmú földgázzal működő közlekedési rendszer sikeres módszer lenne a nagyvárosi területek környezeti problémáinak csökkentésére és az energiaellátás infrastruktúrájának hidrogénnel való kiegészítésére.

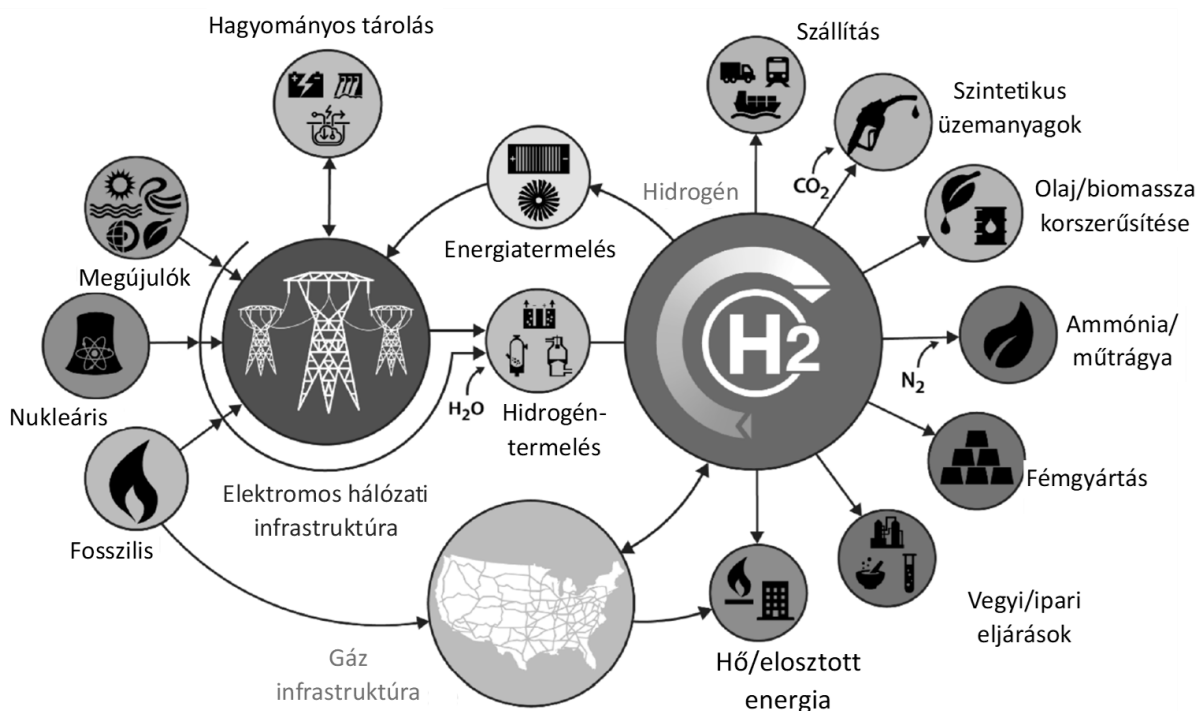
A hidrogénskála koncepcióját az 1. ábra mutatja be a hidrogén számos előállítási módszerével és felhasználási módjával együtt. A földgáz hagyományos felhasználási módjai mellett, mint például a villamos energia, hő, vegyi anyagok és ipari folyamatok előállítása, valamint fémek és műtrágyák gyártása, a hidrogén szintetikus üzemanyagok előállítására vagy közvetlenül hidrogénüzemű autók üzemanyagaként is felhasználható. [2]

A hidrogénüzemű autók üzemanyagrendszere több részből áll. A hidrogénnek a meghajtási mechanizmus energiahordozójaként való felhasználásának egyik lehetséges koncepciója a hidrogén üzemanyagcellák alkalmazása. Ezeket nagynyomású tartályokból látják el hidrogénnel, amelyek kialakítása az elmúlt évtizedekben változott. A hidrogén üzemanyagcella kimenete elektromos energia, amelyet kis akkumulátorokban tárolnak a motorvezérlő rendszer táplálására (ezek biztosítják annak üzembe helyezését, ha a reakció az üzemanyagcellában még nem aktív), a maradék energiát pedig magára az autó meghajtására használják. A mai hidrogénautók, jó közelítéssel, elektromosnak tekinthetők autóknak, csak az elektromos áram más forrásból származik - közvetlenül az autó fedélzetén nyerik. Az ilyen járművek előnye, hogy a hidrogént gyorsan lehet a tartályokba tankolni (a hidrogén normál szivattyúzása ugyanannyi ideig tart, mint a dízel vagy benzin szivattyúzása - általában percekig tart). Ennek a megoldásnak a negatív következménye, hogy a hidrogént a fedélzetén kell tartani a gépkocsiban, ami a minimális kockázat szintjével szemben támasztott követelmények növekedésével jár. Szükséges továbbá figyelembe venni, hogy még a fosszilis üzemanyaggal működő klasszikus autók is gyúlékonyak és sajátos kockázati értékekkel bírnak.

Ugyanez vonatkozik az elektromos autókra is - az autó padlójában tárolt akkumulátorok biztonsági kockázatot jelentenek. Mindegyik autóra más-más kockázati értékek jellemzőek a különböző tulajdonságaik miatt. A hidrogén hátránya, hogy a nyomástartó tartályokból vagy az elosztórendszerből történő esetleges szivárgás esetén széles körű robbanékonyssággal rendelkezik. Ezért meg kell határozni egy esetleges robbanás hatásait a környezetre, és meg kell határozni egy biztonságos zónát a tartály körül.

Több szerző is foglalkozott ezekkel a területekkel. Shen et al. [3] egy nyomás alatt álló tartály valódi robbanását végezte el. Hidrogéntartály 35 MPa nyomáson történő felrobbantását,

elemezve a nyomáshullám intenzitását, a termikus sugárzást és a repülő szilánkokat a biztonságos zóna meghatározásához. Zhang et al. [4] a hőmérsékletet elemezte, nyomás és sebesség hatásait zárt térben bekövetkező hidrogénrobbanás során numerikus szimulációval. Lidor et al. [5] a H_2 - O_2 rendszer robbanási határértékeit elemezte. Li és munkatársai [6] elemezték a metán és levegő keverékének robbanási mechanizmusát egy zárt edényben. Hasonlóképpen, Wang et al. [7] is egy épületben bekövetkező metán-robbanás numerikus szimulációját és a szerkezetre gyakorolt hatásokat vizsgálták.



1. ábra: A számítási modell geometriája [2].

2. BIZTONSÁGI ÉRTÉKELÉS [11]

A hidrogén üzemanyagként vagy energiahordozóként való használatára jellemző tulajdonságok megkövetelik, hogy olyan műszaki és üzemeltetési intézkedéseket kell alkalmazni, amelyek a meghibásodás vagy baleset kockázatát elfogadható szintre csökkentik.

A hidrogénhajtások üzemeltetésének alapvető kockázatai a következők:

1. Az égés, a gyulladás és a robbanás kockázata;
2. A nyomás túllépésének kockázata;
3. Az alacsony üzemi hőmérsékletre kapcsolódó kockázat;
4. A hidrogén ridegségből eredő kockázat;
5. A hidrogénnek az emberi testet érő expozícióból eredő kockázat [5].

2.1. Az égés, a gyulladás és a robbanás kockázata

Az égés, a gyulladás és a robbanás veszélye jelenti a hidrogénrendszer domináns kockázatát. A hidrogén nagy valószínűséggel szivárog fizikai és kémiai tulajdonságai miatt. A szivárgás közvetlenül összefügg a gyúlékony keverék kialakulásával és gyulladáshoz és robbanáshoz vezethet. Ezt az is feltételezi, hogy a hidrogén égés közben szüntelen lánggal ég, amely szabad

szemmel gyakorlatilag láthatatlan, és UV-sugárzást bocsát ki. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy a láng terjedési sebessége egy nagyságrenddel magasabb, mint a foszszilis tüzelőanyagok esetében [8].

2.2. A nyomás túllépésnek kockázata

A túlnyomás veszélye a hidrogéntechnológia működési elvén alapul. A nagy mennyiségű hidrogén nagy nyomáson történő tárolása miatt, figyelembe kell venni a hidrogéntechnológia nagynyomású részének minden alkatrészére ható megnövekedett terhelést. Az ilyen típusú kockázat meglétét és annak növekedését meghatározza az erre a típusra jellemző jelenség a hidrogén ridegség [8].

2.3. Az alacsony üzemi hőmérséklethez kapcsolódó kockázat

Az alacsony üzemi hőmérséklethez kapcsolódó kockázat a hidrogénrendszerben lévő anyagok tulajdonságainak megváltozásából adódik. A veszély a hidrogénnek a folyékony hidrogén hőmérsékletére (- 253 °C) történő lehűtése során keletkezik. Ennek következtében az anyagok lehűlése során a hidrogénrendszer szerkezeti csomópontjainak szilárdsági tulajdonságaiban változás történik.

2.4. A hidrogén ridegségéből eredő kockázat

A hidrogén ridegségből eredő kockázat a hidrogén és felhasznált anyag között sajátos kölcsönhatása miatt áll fenn. A tartályok, nyomástartó edények és egyéb berendezések anyagai elveszíthetik szilárdságukat, tulajdonságait a hidrogén hosszú távú hatása alatt. Az ezt befolyásoló tényezők közé sorolhatók, pl. az anyag típusa, a hidrogén koncentrációja, az üzemi nyomás, a hőmérséklet, az anyag típusa, a hidrogén típusa, a hidrogén koncentrációja, a hidrogéntartalom, az üzemi nyomás, a hőmérséklet, az üzemanyagrendszer alkatrészeinek igénybevétele típusa, a szemcsék átmérője, mint a mikroszerkezet részét képező anyagok és annak hőkezelésének előzményei, valamint a hidrogénben lévő nedvesség [8].

2.5. A hidrogénnek az emberi testet érő expozícióból eredő kockázat

A hidrogén emberi szervezetet érintő expozíciójának kockázata nem életveszélyes, azonban ezt a kockázatot is figyelembe kell venni. A gáznemű vagy folyékony hidrogénnel való közvetlen érintkezés helyi érzéketlenséghez és az emberi test egyes részein fagyási égési sérülésekhez vezethet. A hidrogén égése, amely magas hőmérsékletet és sajátos lángot hoz létre, szintén egészségügyi kockázatot jelent. A hidrogén nem jellemzi közvetlen mérgező hatásai. Viszont fulladást okozhat, különösen zárt helyiségekben (például autóban utastérben) [9,10].

3. KOCKÁZAT ELEMZÉS

A hidrogént vezetéken keresztül kell elosztani és szállítani ahhoz, hogy energiahordozóként lehessen használni. A meglévő vezeték és tartály alkalmazása során tisztán szállítják a hidrogént a hálózat meghatározott részein, amely néhány egyedi átmérőjű, nyomású és anyagú jellemzővel rendelkezik, és amely a tiszta hidrogénre összpontosít. A hidrogén előállításának két módszere a vízelektrolízis (szél- vagy fotovoltaiikus energiával együtt) és a gőzzel történő metánreformálás gázosítással.

3.1. Összeegyeztethetőség, életciklus-kibocsátás, műszaki-gazdasági elemzés [12]

1. A vezetékek hidrogénnel való kompatibilitása: Az SNL és a PNNL értékeléseket végez a fém és polimer csővezetékek és csővezetékek (pl. acél és polietilén) anyagainak élet-tartamának becslésére. Ezeket az információkat beépítik egy nyilvánosan elérhető model-be, amely a csővezetékek élettartamának becslésére használható a legfontosabb mér-női feltételezések mellett.
2. Életciklus-elemzés: Az ANL elemezni fogja a hidrogént használó technológiák, vala-mint az alternatív útvonalak, például a szintetikus földgáz életciklus-kibocsátását.
3. Technikai-gazdasági elemzés: Az NREL számszerűsíteni fogja a hidrogén előállításá-nak költségeit és lehetőségeit, valamint az alternatív utakat, például a szintetikus föld-gázt.
4. A hidrogén potenciáljának kiszélesítésére irányuló kutatás erőfeszítése a HFTO által vezetett, az SNL és a PNNL által vezetett Hidrogén Anyagok Kompatibilitási Konzor-cium (H-Mat), amely nemzetközileg elismert keretrendszer a hidrogén-anyagok kom-patibilitásának tanulmányozására.

4. MÉRÉSI FELADAT

Amint a 3.1 fejezetben is látható szükséges a megfelelő anyagok vizsgálata. Az egyetemi kutatóhelyen különböző vizsgálatokat végzünk az alkalmazott tartály anyagok kapcsán. A vizs-gált anyagtípus: hipoeutektoidos, szerkezeti acél, amiből a tartály készült.

A tiszta hidrogénnel való vizsgálatok esetén szükséges pontosítani, hogy mennyi ideig kell hagyni pihentetni a rendszert (hidrogénnel töltött tartályt), hogy a hidrogén hatásait vizsgálni tudjuk az anyagtulajdonságok kapcsán. Több szakirodalom foglalkozik a vizsgálati paraméte-rek pontosításával [13-16]. Az irodalmi adatok vizsgálata során arra a következtetésre jutottunk, hogy 2 mintadarab vizsgálatára lesz szükség. Első vizsgálat esetén 41 napig és 128-130 bar-on kerültek pihentetésre a mintadarabok. A hosszabb időbeli vizsgálatra is szükség lesz, így iroda-lom alapján a 3 hónapos időtartam került meghatározásra (vizsgálati nyomás hasonló, mint az előző mintadarabok esetén).

Az egyetemi kutatóhelyen lehetőség nyílik a tartályok repesztéses vizsgálatára. A biztonsá-gos vizsgálathoz egy földalatti vizsgálóhelyen van lehetőség ~300 bar maximális nyomáson repeszteni a vizsgálati darabokat. Amint a 2. ábrán is látható a repesztéses vizsgálat jól sikerült és megfelelő végállapot alakult ki.

Az alábbi két vizsgálati módszert alkalmaztuk eddig a tartályokra:

1. repesztve (H_2 nélkül, referencia darab).
2. fárasztva, repesztve, $+2\sigma$ hajlító terhelés (H_2 , 100%, 41 nap, 128-130 bar).

A repesztéses vizsgálatok után a tartályból megfelelő helyeken próbatestek kerültek kimun-kálásra (csak alapanyagban és varratrészből is).



2. ábra: Mintadarab repesztve.

A kimunkált próbatestek esetén az alábbi vizsgálatok végezzük majd el:

1. hajlító vizsgálat.
2. keménység vizsgálat.
3. szakítóvizsgálat
4. szövetszerkezet vizsgálat.

A vizsgálatok eredményei szolgáltatják majd az előző fejezetekben bemutatott kockázater-tékelési vizsgálatok adatait.

A 3. ábrán látható az egyetemi kutatólaborban található szabványos hajlítóvizsgáló beren-dezés és a vizsgált próbatesteket (4. ábra).



3. ábra: Mintadarab hajlítóvizsgálata.



4. ábra: Vizsgált mintadarabok.

Jelenleg az előzőekben bemutatott vizsgálatok zajlanak, azok eredményei a későbbiekben kerülnek bemutatásra.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Amennyiben a kocsitartályból hidrogén szivárog, és ezt követően robbanás következik be. A hidrogén nagy nyomáson történő tárolása a tartályban jelentős kockázatot jelent. Az alábbi módszerekkel nyert releváns információk szimulációval megteremtik a hidrogén-üzemű autók tervezői számára a következő alkalmazásokhoz szükséges előfeltételeket a karosszériatérben való elhelyezésük, valamint az alkalmazott technológiák kiválasztása, pl. az anyagtípus kiválasztása a felhasznált anyagtípus, a karosszéria motortérben lévő alkatrész paramétereinek megválasztása, a méretezés a csatlakoztatott alkatrészek méretezése, a hidrogénszállításhoz használt szelepek és csövek anyagának kiválasztása, valamint a szelepek és csövek méretezése. és a tartályok anyagának kiválasztása.

Nyilvánvaló, hogy az egyes hajtástípusokat eltérő jellemzők és kockázati értékek jellemzik. A hidrogénhajtások tervezésének több szempontú döntéshozatalon kell alapulnia. Feltételezhető, hogy a döntő paraméter az összes kockázattípus minimalizálása lesz.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző hálás az AVL vállalatnak a kutatás technikai (szoftver tudományos licenc) támogatásáért.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] TOPOLSKI, K., et al. *Hydrogen blending into natural gas pipeline infrastructure: review of the state of technology*. 2022.
- [2] RUTH, M. F., et al. *The technical and economic potential of the H2@ Scale hydrogen concept within the United States*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2020.
- [3] SHEN, C., et al. *Consequence assessment of high-pressure hydrogen storage tank rupture during fire test*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2018, 55: 223-231.
- [4] ZHANG, S.; ZHANG, Q. *Effect of vent size on vented hydrogen-air explosion*. International Journal of Hydrogen Energy, 2018, 43.37: 17788-17799.
- [5] LIDOR, A.; WEIHS, D.; SHER, E. *Theoretical analysis of the explosion limits of hydrogen-oxygen mixtures and their stability*. Chemical Engineering Science, 2018, 192: 591-602.

- [6] LI, M., et al. *Thermal and kinetics mechanism of explosion mitigation of methane-air mixture by N₂/CO₂ in a closed compartment*. Fuel, 2019, 255: 115747.
- [7] WANG, D., et al. *Numerical simulation analysis of explosion process and destructive effect by gas explosion accident in buildings*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2017, 49: 215-227.
- [8] Branislav, K. *Riziká pri Využívaní Vodíkových Technológií—Aplikácia pre Mobilnú Techniku*. Ph.D. Thesis, Technical university of Kosice, Košice, Slovakia, 2017.
- [9] HUDÁK, R., et al. *Material and thermal analysis of laser sintered products*. acta mechanica et automatica, 2013, 7.1: 15-19.
- [10] KURIC, I. *New Methods and Trends in Product Development and Process Planning*. Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2011, 9.1.
- [11] Allison, T. C., & SIMONS E., S. *Impacts of Hydrogen Transport in Pipelines*, 2022.
- [12] DE VRIES, H.; FLORISSON, O.; TIEKSTRA, G. C. *Safe Operation of Natural Gas Appliances Fuelled with Hydrogen & Natural Gas Mixtures* (Progress Obtained in the Naturalhy-Project). 2007.
- [13] NACE TM0284-2016. *Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking*. 2016.
- [14] MENTZ, J., et al. *Manufacturers' view on specifying linepipe requirements for hydrogen applications*, 2022.
- [15] KITTEL, J., et al. *Hydrogen induced cracking (HIC) testing of low alloy steel in sour environment: Impact of time of exposure on the extent of damage*. Corrosion Science, 2010, 52.4: 1386-1392.
- [16] MARTIN, M. L.; SOFRONIS, P. *Hydrogen-induced cracking and blistering in steels: A review*. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2022, 101: 104547.