

Hidrogén keverék szerepe tranzitvezetékek biztonságának mérlegelésében

Role of the hydrogen blending of natural gas networks

Tóth László^a, Guy Pluvinage^b, Capelle Julien^c

^aBay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos tanácsadó, laszlo.toth@bayzoltan.hu

^bEcole Nationale d'Ingénieurs de Metz, Professor Emeritus, pluvinage.guy@orange.fr

^cEcole Nationale d'Ingénieurs de Metz, kutató, julien.capelle@enim.univ.-lorraine.fr

Kulcsszavak

csővezetékek, hidrogén hozzáadás, tervezés, karbantartás, felülvizsgálat

Keywords

pipelines, hydrogen blending, periodical control, design, maintenance

Absztrakt

A hidrogéngazdaság erőteljes beindítása és megszilárdítása érdekében jelentős támogatás és befektetés valósul(t) meg mind az Európai Unióban, mind pedig az USA-ban. Az Európa számára fontos projektek közül 2022 második felében indították az IPCEI Hy2Tech és IPCEI Hy2Use programokat 10,6 mrd EURO támogatással a hidrogéngazdaság infrastrukturális hátterének és ipari alkalmazásának megteremtésére. A projektekben 13 dedikált tagország intézményei vállaltak feladatokat. A volt „szocialista országok” közül Lengyelország és Szlovákia kapcsolódott be. Az USA 7 mrd USD kezdő támogatással kívánja fellendíteni a hidrogéngazdaság térhódítását. A legkülönbözőbb területeken felhasznált anyagok és a gáz, ill. folyadék halmazállapotú hidrogén vagy a hidrogéntartalmú földgáz kölcsönhatása számos olyan károsodást, valamint gondolkodási módot iniciál, amelyet eddig figyelmen kívül hagyta a szakmai közvélemény. E közlemény ezekbe igyekszik bepillantást adni.

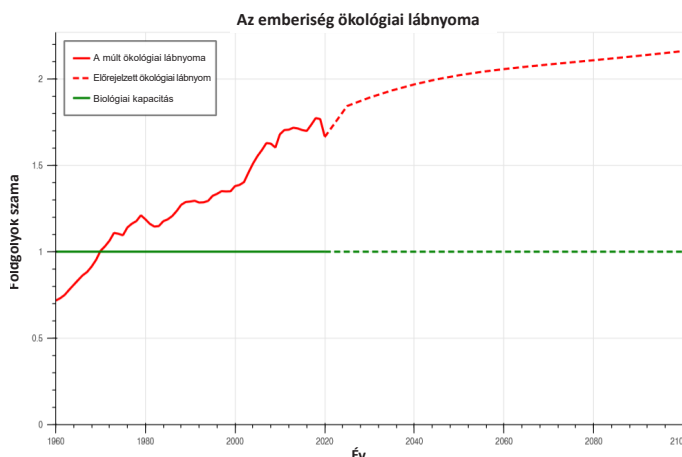
Abstract

In order to strongly launch and consolidate the hydrogen economy, significant subsidies and investments are being implemented in both the European Union and the USA. Among the projects important for Europe, the IPCEI Hy2Tech and IPCEI Hy2Use programs were launched in the second half of 2022 with 10.6 billion EURO of support to create the infrastructural background and industrial applications of the hydrogen economy. The institutions of 13 committed member countries undertook tasks in the projects. Among the former "socialist countries", Poland and Slovakia joined. The USA wants to boost the expansion of the hydrogen economy with an initial subsidy of 7 billion dollars. The interaction of materials used in a wide variety of fields with gas, liquid hydrogen or hydrogen-containing natural gas initiates several damages and ways of thinking that have so far been ignored by the professional public. The paper is going to provide insight into these problem areas.

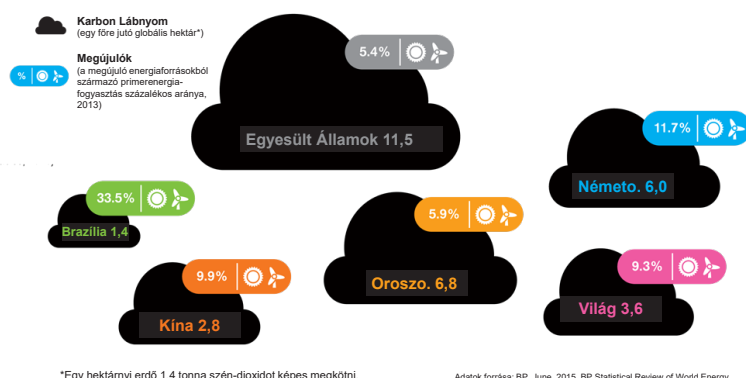
1. Bevezetés

A megújuló energiaforrások intenzív és gazdaságos kihasználását rendkívüli módon felgyorsították a következő körülmények:

- A Földünk biokapacitása és a növekvő létszámú népesség fogyasztása közötti egyre táguló különbség, amelyet az 1. ábra szemléltet [1]. Látható, hogy az egyensúly valamikor az 1970-es években bomlott meg. Mintegy 60 év alatt egy újabb „földgolyónyival” növekedett az emberiség fogyasztása. A szaggatott vonallal jelzett, 2020-2040 periódusra vonatkozó prognózis a klímaváltozás enyhítése kapcsán született nemzetközi egyezmények várható következménye. Ezt követően az alapvető emberi mentalitás (generációban és NEM generációkban való gondolkodás) által vezérelt lassú növekedés várható.



1. ábra: A mindenkori népesség igényei és az ezt kielégítő földgolyó(k) száma [1]



2. ábra: A CO₂ kibocsátás szerepe az ökológiai lábnyomban és a megújuló energiaforrás részaránya egyes országokban [2]

- A növekvő CO₂ kibocsátás az emberiség számára nehezen kezelhető, veszélyes környezetváltozást idézhet elő [2]. Ebben az USA szerepe meghatározó (2. ábra), miközben a megújuló energiák részaránya meglehetősen kicsi.
- A fosszilis energiaforrások közül az olaj és a földgáz kimerülése generációs léptékben belátható közelségbe került [3].
- Az orosz-ukrán háború felgyorsította a megújuló energiaforrások kiaknázását, alapvetően a hidrogénre koncentráva. Ennek egyik következménye, hogy csupán 2022 második felében
 - Európában meghirdetésre került az IPCEI Hy2Tech [4] (júliusban) és IPCEI Hy2Use [5] (szeptemberben) program összesen 10,6 mrd EURO támogatással a hidrogéngazdaság infrastrukturális hátterének és ipari alkalmazásának megteremtésére.
 - Az Egyesült Államokban ugyanezre a célra 7 mrd USD támogatást hirdetett meg ez év szeptemberében [6] a hidrogénhez kötődő infrastruktúra és ipari alkalmazás fejlesztésére.

- Eddig több mint 40 ország jelentette meg hidrogénhez kötődő stratégiáját [7], közöttük hazánk is.

Nem kétséges, hogy a témakör számos műszaki területet érint, így meglehetősen nehéz átfogó elemzést adni a hidrogénes rendszerek biztonságának megítéléséhez kötődő kérdésekben. Jelen közleményben csupán a mérnöki gondolkodás attribútumához kötődő

BIZTONSÁG – MEGBÍZHATÓSÁG – KOCKÁZAT

szemlélet [8] két területébe igyekszünk betekinteni abból a szempontból, hogy a hidrogén tartalmú földgáz a csővezeték anyagával kölcsönhatásba lépve LOKÁLIS károsodásokat okozhat, megváltoztatva a cső anyagának méretezés, karbantartás, felülvizsgálat szempontjából meghatározó LOKÁLIS TULAJDONSÁGAIT. A három kiragadott példa

- közül az egyik a tervezés módszertanához,
- a másik a felülvizsgálat során észlelt hibák elemzéséhez, veszélyességének mérlegeléséhez, megítéléséhez,
- a harmadik pedig periodikus felülvizsgálatok tervezéséhez kötődik.

2. Statisztikus szemlélet alapú tervezés.

A korábbi közleményben [9] kitértünk arra, hogy a csőanyag károsodása, méretezés szempontjából lényeges tulajdonságai nem egyenletesen oszlanak meg a csövek anyagának felületén és a csővezeték anyagában, hanem véletlenszerűen, így kézenfekvő a statisztikus szemlélet figyelembevétele mindjárt a legelején, azaz a tervezés, méretezés módszertánában. A csővezetékek tervezése során a maximálisan megengedhető nyomásra (p_{max} értékére) méretezünk. Egy adott vastagságú, átmérőjű és anyagminőségű csőnél a megengedhető maximális nyomás

$$p_{max} = 2(R_{eH} t / D) f_0 f_{heg} f_T f_{anyag} \quad (1)$$

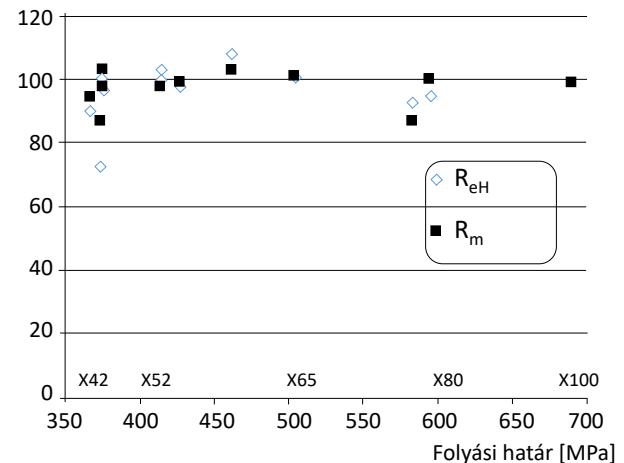
ahol:

- R_{eH} – a csőanyag kategória környezeti hőmérsékletre jellemző minimális folyási határa,
- t – a cső falvastagsága,
- D – a cső külső átmérője,
- f_0 – a tervezés környezetét figyelembe vevő tényező,
- f_{heg} – a hegesztésre vonatkozó tényező (jóság fok),
- f_T – az üzemeltetés hőmérsékletét figyelembe vevő tényező,
- f_{anyag} – az anyagtulajdonságra vonatkozó biztonsági tényező.

Az (1) összefüggésben szereplő mind a négy „f” tényező értéke általában kisebb 1-nél, azaz $f \leq 1$. A tervezési környezetet figyelembe vevő f_0 tervezési tényező nagyságát a népsűrűség határozza meg, ilyen pl.: a város, átmeneti vagy gyér lakosság. Franciaországban az $f_{0,város} = 0,4$, $f_{0,átmenet} = 0,6$ és $f_{0,gyérlakosság} = 0,73$ [9-11].

Ahhoz, hogy a csőanyagok hidrogénre jellemző érzékenységét össze lehessen hasonlítani, és egy általános képet kaphassunk, célszerű szilárdsági jellemzők

Hidrogén / Földgáz arány [-]



3. ábra: A földgázban keveredett hidrogéntartalom hatása a csőanyagok folyási határa és szakítószilárdság arányára különböző szilárdságú csöveknél

hidrogénezett és nem hidrogénezett állapotú folyási határainak és szakítószilárdságainak arányát venni, majd ezen értékeket a cső anyagminőségét jellemző szilárdsági kategória függvényében ábrázolni. Ezt szemlélteti a 3. ábra.

A 3. ábra alapján első közelítésben azt lehet mondani, hogy a hidrogén bekeverése a földgázba nem gyakorol jelentős hatást sem a csőanyag folyási határára (R_{eH}) sem pedig szakítószilárdságára (R_m). Ezen állítás ellenőrzése, megerősítése vagy korlátjainak meghatározása azonban egy javasolt kutatási tématerület. A 3. ábrából az is következik, hogy a f_0 tényező értéke azonos lehet mind a hidrogénes, mind pedig a hidrogént nem tartalmazó hálózat esetében! Az ASME B31.12- 2004 [12] az f_0 értékére négy tartományt definiál oly módon, hogy a tartomány határértékeit megtartja (szinte változatlanul), jobban definiálva a „gyéren lakott terület”, azt kettéosztva. Így az f_0 értékei a következők: $f_{0,város} = 0,4$ (4 osztály, erősen urbanizált terület) $f_{0,átmenet1} = 0,5$, (3 osztály, város környéki terület), $f_{0,átmenet2} = 0,5$ (2 osztály, város környéki terület) (és $f_{0,gyérlakosság} = 0,72$ (1 osztály, nagyon kicsi népsűrűség).

Jogos kérdésként merül fel, hogy az f_0 értéke miért éppen annyi, mint akár az ASME vagy a francia előírásokban megfogalmazottak? Ennek megválaszolásához induljunk ki a kockázatalapú szemléletből, amelyet a következőképpen értelmezhetünk:

Kockázat =

Meghibásodás valószínűsége x meghibásodás következménye. (2)

Mind a meghibásodás valószínűségét, mind pedig annak következményét számos objektív (eleve adott környezet, geometriai, üzemi, környezeti) valamint szubjektív tényező befolyásolja. Ezek általában nem azonos súllyal vehetők számításba, így egymástól elkülöníthetők, szétválaszthatók. A kérdés tehát úgy tehető fel, hogy milyen nagyságú kockázata annak, hogy a vezetéktől egységnyi/ adott távolságra levő pontnak mekkora a kockázata (évenként). Ez az egyes kockázati tényezők szorzata, amely a következő módon vehető figyelembe:

$$P_r(\text{kockázat}) = P_r(F) C_{rr} P_r(Q) P_r(I) P_r(EF) L C_{ev} P_r(\text{person}) \quad (3)$$

ahol:

- $P_r(F)$ – annak valószínűsége, hogy a cső tömörtelen lesz,
- C_{rr} – a tömörtelenség bekövetkezésének megakadályozására hozott intézkedések, lépések várható hatása,
- $P_r(Q)$ – annak a valószínűsége, hogy egy kritikus mennyiségnél nagyobb mennyiségű anyag kerül a csővezetékbe kiömlésre,
- $P_r(I)$ – a kiáramlott közeg meggyulladásának valószínűsége,
- $P_r(EF)$ – annak a valószínűsége, hogy halálos következménnyel járó hatások száma meghalad egy küszöbértéket (nyilvánvalóan a csővezetékben levő közeget veszi figyelembe),
- L – a vezeték hossza,
- C_{ev} – a csővezeték környezeti körülményei súlyozza,
- $P_r(\text{person})$ – egyetlen személy érintettségének valószínűsége.

A fenti elvek alapján az f_0 értéke kiszámítható a különböző csőanyagok és geometriák figyelembevételével (f_0 , adott valószínűséggel) és összehasonlítható a korábban említett előírásokban használt f_0 , determinisztikus értékekkel. Erre nézve találhatók példák, további megfontolások [9, [11-13].

3. A hidrogén szerepe a felülvizsgálat során észlelt hibák elemzésében

A csővezetékek leggyakoribb meghibásodási oka az ún. „harmadik fél okozta meghibásodás”. A földgázvezetésekre vonatkozó statisztikát az 1. táblázat és a 4. ábra szemlélteti [14, 15].

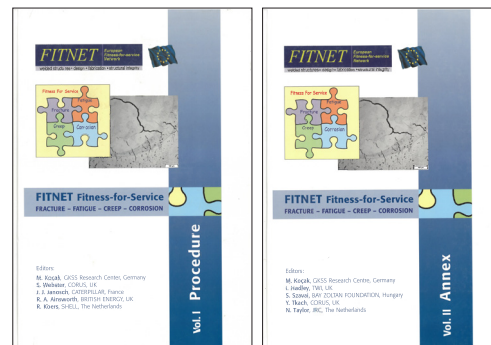
1. táblázat: Gázvezetékek meghibásodásának okai [14, 15]

Meghibásodási ok	Gyakorisága %-ban
Harmadik fél okozta meghibásodás	49,6
Tervezési hiba, anyaghiba	16,5
Korrózió	15,4
Talajmozgás	7,3
Csőcsonkok meghibásodása	4,7
Más, ismeretlen meghibásodások	6,7



4. ábra: A 2011 db meghibásodás okainak megoszlása [14, 15]

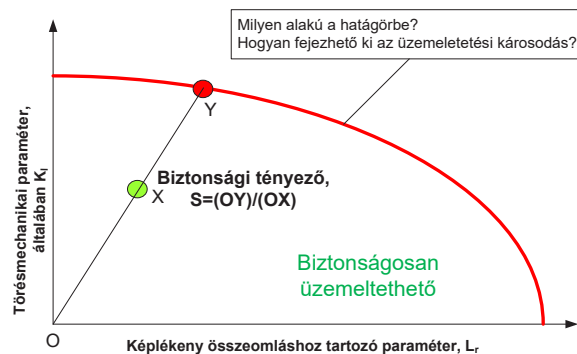
A csővezetékek felülvizsgálata során észlelt hibáknak a biztonság szintjére gyakorolt hatásbecslésére számos, fokozatosan egyszerűsödő elemzési módszereit dolgozták



5. ábra: A FITNET projekt keretében kidolgozott hibahatás becslési eljárások módszertana

ki a szakemberek nemzetközi együttműködés formájában. Ilyenek voltak, melyek léteznek napjainkban is, mint az R6 [16], SINTAP [17], FITNET [18] stb. Ezek lényege az INTERNET-es kereséseket követően viszonylag egyszerűen megérthető. Napjainkban leginkább a FITNET módszert alkalmazzák. Ennek kidolgozásában a Bay Zolán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Mérnöki Divíziójának (BAY-ENG) munkatársai is részt vettek egy EU által finanszírozott program keretében. Az elkészült 2 kötetes kiadvány címlapja az 5. ábrán látható.

A hibáknak a csővezeték biztonságára gyakorolt hatását általában „biztonsági diagram” típusú módszerekkel elemzik, ugyanis egy esetleges törés két határeset között következhet be. Az egyik szerint a hiba repedésnek tekinthető és a törést megelőzően semmilyen képlékeny alakváltozás nem játszódik le, azaz a vezetékben a terhelés hatására felhalmozódott energia teljes mértékben a repedésfelületek növekedésére fordítódik. A másik határeset pedig az, hogy a hiba ugyancsak repedésnek tekinthető, viszont a vezeték képlékenyen megfolyik mielőtt a repedés megindul. Ezt szemlélteti a 6. ábra. A vezetéken regisztrált hibaméretek és terhelések segítségével mind a repedéscsúcs törésmechanikai feszültségintenzitási tényező – K_I –, mind pedig a képlékeny összeomláshoz tartozó L_r értékek számíthatók. Ezek ismeretében, pl. az x pontot eredményező hiba esetén a biztonsági tényező nagysága értékelhető (lásd. a 6. ábrán).

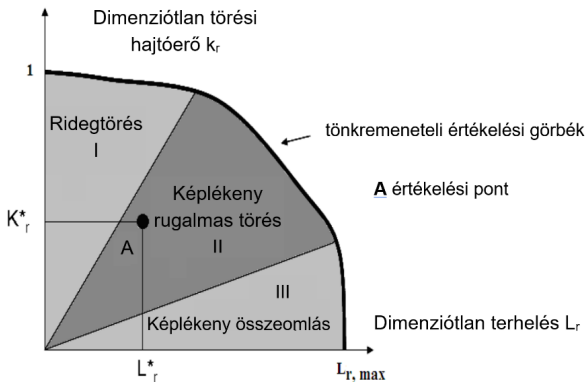


6. ábra: A hibák hatásának értékelése a két szélsőséges törési lehetőség figyelembevételével (Failure Assessment Diagram)

Az általánosíthatóságot lényegesen növeli az, ha mindkét tengelyen relatív értékeket alkalmazunk, azaz a függőleges tengelyen a $k_r = K_I / K_{Ic}$ és a vízszintes tengelyen

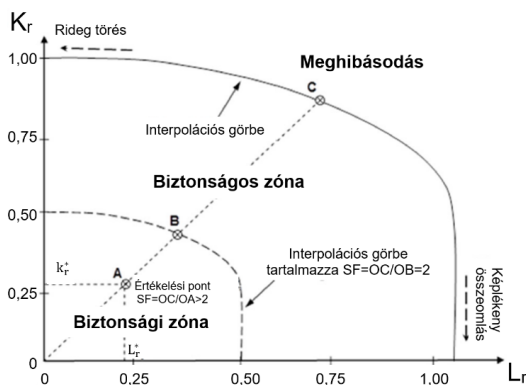
pedig a $S_r = \sigma / R_m$ vagy $S_r = \sigma / (R_{eH} + R_{eH})$ hányadost, ahol σ a terhelő feszültség. Az anyagra jellemző határgörbe leírásánál még a Poisson számot (ν), rugalmassági moduluszt (E) és alakítási keményedés jellemzőit veszik figyelembe. Így alakul ki az irodalomban található számtalan kontúrral (lásd a 6. ábrán „interpolációs görbe”) rendelkező FAD halmaz, amelynek két közös sajátossága van. Az egyiket a 7. ábra szemlélteti, azaz jellemzően 3 tartományt definiál:

- a ridegtörést,
- a rugalmas-képlékeny törést (pl. az A- értékelési pontnak megfelelő feltételek esetén) és
- a képlékeny összeomlást.



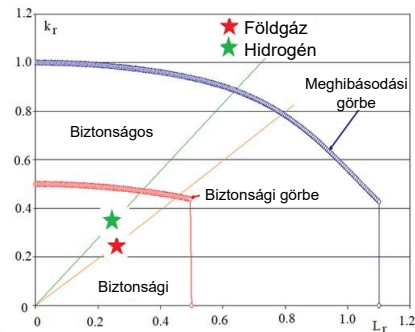
7. ábra: Az adott hibageometria és terelési körülmények között bekövetkező törés

A másik közös jellemzője a FAD eljárásnak, hogy definiál egy olyan zónát is, amelyen belülre eső paraméterekkel jellemzett hiba hatásával nem kell foglalkozni. Ezt „biztonsági zónának” (security zone) nevezzük. E zónán kívüli, de a határgörbét el nem érő területre eső hibák hatása a „biztonságos zóna” (safe zone). Ezt szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra: A „biztonsági” és „biztonságos” zónákat megkülönböztető területek a FAD diagramon belül

A FAD diagramok csak megfelelő anyagtulajdonságok (repedés terjedéssel szembeni ellenállás, szilárdsági és képlékenységi anyagjellemzők) ismeretében hozhatók létre. Ezen tulajdonságok pedig eltérő módon változhatnak abban az esetben, ha hidrogént keverünk a földgázba. A hatás mértéke pedig függ nem csupán a hidrogén mennyiségétől, hanem a csőanyagok vegyi összetételétől, szilárdságától, szennyezőitől. Erre nézve megindultak már nemzetközi szinten is a vizsgálatok, de az korántsem mondható, hogy olyan adathalmaz állna rendelkezésre,



9. ábra: Az adott hibageometria és terelési körülmények között bekövetkező törés

amely az általánosítást, pláne szabványosítást lehetővé tenné mind a vizsgálati módszerek, mind pedig a kapott eredmények tekintetében. Egy ilyen kezdeti eredményt szemléltet a 9. ábra. Ezen jól látható, hogy a hidrogén hatása az adott méretű hiba veszélyességét növeli.

Azt azonban ki kell hangsúlyozni, hogy az elmúlt évtizedben számos, a nemzetközi szakmai területeken is jelentős előrelépés történt [19-27]. Az egyik ilyen – hazánkhoz földrajzilag legközelebbi – centrum Ukrajnában, Lvivben található Fiziko-mekhanichesky institut im. G. V. Karpenko Nan Ukrainy. Munkásságuk világviszonylatban is igazán jelentős.

4. Csőanyagok öregedési folyamatának monitorozási lehetőségei

Tekintettel arra, hogy a hidrogén bekeverése és meglevő földgázhálózatba juttatása történelmi léptékkal mérve egy „újkeletű” megoldás, még nem alakult ki és nem erősödött meg (nem csontosodott meg) olyan vizsgálati eljárásrendszer, amely monitorozhatná a csővezeték méretezés szempontjából meghatározó tulajdonságainak változását az üzemeltetés különböző periódusában. Ez természetesnek is tekinthető. Ennek alátámasztására történelmi példák sorolhatók akár az ipari forradalomtól indulva. Gondolhatunk a vasúti tengelyek és a kifáradás, a gőzkazánok és a kúszás, a Liberty hajók és a ridegtörés jelenségére, nukleáris berendezések és sugárkárosodás, valamint ezen kárestek csökkentésre kidolgozott szakmai előírások megjelenésére. Az azonban kétségtelen tény, hogy mind a földgáz, mind pedig a földgázba adagolt különböző mennyiségű hidrogén a cső anyagával valamilyen módon kölcsönhatásba lép és megváltoztathatja annak – akár a méretezés, a biztonság szempontjából – meghatározó tulajdonságait is. Egy 30 éve üzemelő gázvezeték károsodási folyamatát vizsgálta részletesen egy ukrán-lengyel és olasz csoport [28]. A csőanyag X52 minőségű acél. A kapott eredmények egyértelműen azt támasztják alá, hogy nem létezik egyetlen olyan vizsgálati módszer, amely önmagában eldönthetné azt, hogy a csővezeték anyagának károsodása milyen mértékű. Ez csak komplex vizsgálati eljárások kombinációjával mérhető fel. Az olajvezetékek károsodásának monitorozása tekintetében is ugyanezre a következtetésre lehet jutni [29]. Ha figyelembe vesszük azt is, hogy „egy vizsgálat-sorozat” – nem VIZSGÁLATSOROZAT –, akkor nem ezek

eredményeire kell tekinteni, hanem inkább arra kell a fő hangsúlyt fektetni, hogy milyen módszerekkel lehet közelebb jutni a károsodások mértékének követésére.

Ebben mindenképpen meghatározó szerephez jutnak a periodikus roncsolásmentes vizsgálatok, amelyek egyre kisebb és kisebb anyagfolytonossági hiányok egyre kisebb méretét, egyre nagyobb reprodukálhatósággal képesek kimutatni.

Jogos követelmény az, hogy mi az a legkisebb hibaméret, amelyet már detektálni kell, amely már mérnöki szemmel is csökkenti a rendszer biztonságát? Erre alkalmasak a törésmechanikai elemzések. A legkonzervatívabb módszerek alkalmazásával e hibák számíthatók. Ennél kisebb méretű hibák detektálása nem csupán szükségtelen, hanem felesleges „pénzkidobás”. Ahhoz, hogy a törésmechanikai elemzés korrekt módon elvégezhető legyen szükség van anyag repedésterjedéssel szemben ellenállására az adott üzemi körülmények és terhelési feltételek (kvázistatikus, ismétlődő, kúszási stb.) között. Tekintettel arra, hogy a csővezetékek (tranzitvezetékek) falvastagsága általában 10 mm alatti, a vizsgálati eredmények értékelése kapcsán általában felmerül a mérhető (próbatest geometriai hatása a mért anyagtulajdonságban) kérdésköre is. Éppen a Liberty hajók ridegtörése kapcsán indult nemzetközi együttműködések vezettek ahhoz, hogy az anyag ridegtörési hajlamát a G. Charpy által 1901-ben Budapesten bemutatott vizsgálatának eredményeivel jellemezzék [30]. Ezért mindenképpen ugyanúgy nemzetközi egyetértést kell kialakítani a hidrogén hatásának értékelésére, mint ahogyan ez megtörtént pl. a nukleáris területeken is. Ez utóbbi iparágban alapvető igényként merült fel a próbatestek méretének csökkentése éppen a reaktortartály legveszélyesebb helyének környezetében elhelyezhető próbatestek mérete miatt. Ezért alakultak ki az ún. „Mini-Charpy” próbatestek (általában a szokásos 10x10 mm helyett az 5x10 mm méretűek), vagy az oldalt bemetszettek. Ezeken és a normál, 10x10 mm keresztmetszetű próbatesteken mért anyagjellemzők kapcsolatának feltárása újabb kutatások elindítását indította. Ezek eredményeinek összefoglalása is megtalálható a Charpy-vizsgálat centenáriuma 2001-ben szervezett konferencia kiadványában [31] és válogatott előadásait tartalmazó könyvben [32]. Azt azonban mindenképpen ki kell emelni, hogy a konferencia megrendezésének időpontjától számítva már újabb két évtized telt el, következésképpen a mikroelektronikai eszközök, a mérési, érzékelési és értékelési módszerek fejlődtek. Az eddigi tapasztalatok alapján azonban tényként kell kezelni, hogy a földgázba kevert hidrogén a csőanyagok repedésterjedéssel szembeni ellenállását csökkentik, azaz a legveszélyesebb anyagfolytonossági hiányok, a repedések az üzemeltetés során egyre jobban csökkentik a biztonságot. Ebből egyértelműen következik az, hogy egyrészt nemzetközi együttműködésben célszerű rögzíteni, hogy

- milyen típusú vizsgálatokkal és hogyan mérhető fel a csővezetékek károsodási folyamatainak jellemzői abban az esetben, ha a földgázba hidrogént is kevernek,

- milyen kialakítású próbatesteken, milyen anyagjellemzők és hogyan határozandók meg annak érdekében, hogy a legkülönbözőbb helyeken és csőanyagokon elvégzett mérések közös adathalmazt képezhessenek,
- miképpen választhatók le a vizsgálati eredmények közös adathalmazából a mérhető hatások, azaz hogyan választható szét az anyagtulajdonság és geometriai hatás, milyen korrelációs kapcsolatok építhetők fel az egyes anyagtulajdonságok kapcsolatrendszerére.

A fenti szempontok megalapozott nemzetközi javaslatának kidolgozására hazai vizsgálatosorozatot célszerű indítani.

5. Összefoglalás

A tranzit gázvezetékekbe kevert hidrogén és a cső anyagának kölcsönhatása olyan kölcsönhatásokat is eredményezhet, amelyek kezelése az eddigiektől eltérő szemléletet igényelhet. Erre nézve három példa került bemutatásra.

1. A hidrogén lokális hatása, valamint gyúlékonysága és a vezetéknek egy esetleges meghibásodása során bekövetkező gyorsabb ürülése miatt a tervezés statisztikus szemléletének alkalmazása alkalmasabb gondolkodási mód a biztonság megítélésére.
2. A periodikus felmérések során észlelt anyagfolytonossági hiányok értékelésénél alkalmazott FAD diagramok az „interpolációs görbe” tartományában esetlegesen korrigálásra szorulnak, mert ebben a tartományban a lokálisan ható hidrogén megváltoztatja a kialakításnál figyelembe vett anyagjellemzőket, másrészt egyértelműen csökkenti az anyag repedésterjedéssel szembeni ellenállását.
3. A cső anyagának és a földgázba kevert hidrogén kölcsönhatásának következtében fellépő lokális károsodásoknak a csővezeték biztonságára gyakorolt befolyása rendkívül összetett folyamat. Ennek jellemzésére egységes, nemzetközileg elfogadott paraméter-rendszerre van szükség ugyanúgy, mint ezek vizsgálatára, beleértve a próbatest típusától, méreteitől, vizsgálati körülményeitől kezdve a kiértékelés módszertanáig annak érdekében, hogy a különböző helyeken mért jellemzők egységes adathalmazt alkothassanak. Erre nézve egyrészt célszerű a THyGA eredményeinek részletesebb elemzése, esetlegesen a projektbe való bekapcsolódás megfigyelőként, ill. a közlemény 4. pontjában kifejtett koncepcióval egy hazai alprojekt indítása.

Irodalomjegyzék

- [1] Global Footprint Network honlapja: Ecological Footprint: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [2] Global Footprint Network honlapja: Climate Change: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/climate-change/> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [3] Worldometers honlapja: <https://www.worldometers.info/hu/> (Megtekintve: 2022.09.27.)

- [4] European Commission honlapja: State Aid: Commission approves up to €5.4 billion of public support by fifteen Member States for an Important Project of Common European Interest in the hydrogen technology value chain, Brussels, 15 July 2022: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en%5E/ip_22_4544 (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [5] European Commission honlapja: Statement by Executive Vice-President Vestager on the second Important Project of Common European Interest in the hydrogen value chain, Brussels, 21 September 2022: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_5677 (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [6] Energy.gov honlapja: Biden-Harris Administration Announces Historic \$7 Billion Funding Opportunity to Jump-Start America's Clean Hydrogen Economy, September 22, 2022: <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-historic-7-billion-funding-opportunity-jump-start> (Megtekintve: 2022.09.30.)
- [7] CSIRO, HyResource honlapja: International: <https://research.csiro.au/hyresource/policy/international/> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [8] Tóth L. Biztonság-Megbízhatóság-Kockázat. Debrecen, 2021. p.104. <https://mecheng.unideb.hu/hu/node/218>
- [9] Tóth L., G. Pluvinage, J. Capelle: A hidrogén szerepe a földgázhálózatok tervezésében, üzemeltetésében és karbantartásában. Anyagvizsgálók Lapja. 2022/III. p. 10-15.
- [10] Abe, J. O.; Popoola, A. P. I.; Ajenifuja, E.; Popoola, O. M.: Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. *Int. J. Hydrogen Energy* 2019, 44, 15072–15086.
- [11] Kuk Mijim, J.; Pluvinage, G.; Capelle, J.; Azari, Z.; Benamara, M. Probabilistic design factors for pipes used for hydrogen transport. *Int. J. Hydrogen Energy* 2020, 45, 33860–33870.
- [12] ASME B31.12 standard: American Society of Mechanical Engineers. Hydrogen Piping and Pipelines; American Society of Mechanical Engineers: New York, NY, USA, 2015.
- [13] Melaina M.W., Antonia O., Penev M.: Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks. A Review of Key Issues. California Energy Commission. 2020. Oct.1.
- [14] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika – Húzott csövek biztonságának megítélése. Anyagvizsgáló Lapja. 2020/II-III. p.5-13.
- [15] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/source-data> (Megtekintés dátuma: 2015.05.)
- [16] R6Assesment: I. Milne; R. A. Ainsworth; A. R. Dowling; A. T. Stewart: Assessment of the integrity of structures containing defects, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Volume 32, Issues 1–4, 1988, pp 3-104. [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(88\)90071-3](https://doi.org/10.1016/0308-0161(88)90071-3)
- [17] SINTAP: Structural Integrity Assessment Procedure for European Industry, http://www.eurofitnet.org/sintap_index.html (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [18] FITNET, Fitness-for-Service, Fracture-Fatigue-Creep-Corrosion, Vol. I Procedure, Vol. II Annex, <http://www.eurofitnet.org/index.html> (Megtekintve: 2022.09.27.)
- [19] S. Montassir, K. Yakoubi. H. Moustabchir, Elkhafi, Dipar Kumar Rajak, Catalin I. Pruncu: Analysis of crack Behaviour in Pipeline System Using FAD Diagram Based on Numerical Situation under XFEM. *MDPI, App.Sci.* 2020. 6129. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/6129> (Letöltve: 2022.10.02.)
- [20] Testing Hydrogen admixture for Gas Applications. THyGA-projekt honlapja: <https://thyga-project.eu/>
- [21] Allfeld K., Pinchbeck D.: Admissible hydrogen concentrations in natural gas systems. *Gas for Energy*.2013/3. www.gas-for-energy.com
- [22] G. Pluvinage, J. Capelle: Risk Associated with the Use of Hydrogen as an Energy Carrier or Source, *Journal of Energy and Power Technology*. 2022. Vol. 4. Issue 3. doi:10.21926/jept.2203029 (Letöltve: 2022.10.02.)
- [23] G. Pluvinage, O. Bouledrou, M. Hadj Meliani, Rami Suleiman, Corrosion defect analysis using domain failure assessment diagram, *International Journal Pressure Vessels and Pipeline*. August 2018;165:126e34,
- [24] I. M. Dmyktrakh, R. L. Leshchak, A. M. Syrothyuk, R. A. Barna: Effect of hydrogen concentration on fatigue crack growth behaviour in pipeline steels. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42 (2017) 6401-408.
- [25] I. M. Dmyktrakh, R. L. Leshchak, A. M. Syrothyuk: Effect of hydrogen concentration on strain behaviour of pipeline steel. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40 (2015) 4011-4018.
- [26] I. M. Dmyktrakh, O. D. Smiyan, A. M. Syrothyuk, O. L. Bilyy: Relationship between fatigue crack growth behaviour and local hydrogen concentration near crack tip in pipeline steel. *International Journal of Fatigue*. 50. (2014) 26-32.
- [27] J. Capelle, I. Dmyktrakh, G. Pluvinage: Comparative assessment of electrochemical hydrogen absorption by pipeline steels with different strength. *Corrosion Science*. 52 (2010) 1554-1559. <https://doi.org/10.1016/j.ijcvp.2018.06.005>
- [28] H. Nykyforchin, O. Zvirko, M. Hredil, H. Krechkovska, O. Tsyrunyk, O. Student: Methodology of hydrogen embrittlement study of long-term operated natural gas distribution pipeline steels caused by hydrogen transport. *Fratture ed Integrità Strutturale*, 59 (2022) p.396-404. doi: 10.3221/IGF-ESIS.59.26
- [29] A. J. Krasowsky, A. Dolgiy, V. Torop: Eds. D. Francois, A. Pineau: Proc. of the the Charpy Centenary Conference, Poitiers, 2011. 38. 489-495.
- [30] L. Tóth, P. Rossmanith, T. A. Siewart: Historical Background and Development of the Charpy Test. Edit. D. Francois, A. Pineau. ESIS Publication 30. Elsevier. 2002.
- [31] Charpy Centenary Conference. Poitiers. 2-5 October, 2011. Eds. D. Francois, A. Pineau.
- [32] From Charpy to Present Impact Testing. Edit. D. Francois, A. Pineau. ESIS Publication 30. Elsevier. 2002.



Digitális megoldások alkalmazása

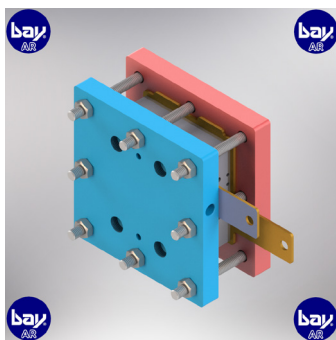


„A lap életre kel”

Hogyan használja?

- Az okoskészülék kameráját egy markerre irányítjuk,
- A képernyőn a kép helyén megjelenik egy hozzá kapcsolódó (2D) 3D modell,
- Térben mozgatva a készüléket a modell (megtekinthető) körbejárható,
- Annotációkkal hívjuk fel a figyelmet a tárgy fontosabb részleteire,
- Az annotációkra kattintva a modell elfordul, a részlet jobban láthatóvá válik,
- Videó és hang is társítható a tárgyakhoz vagy egyes részleteikhez.

Hidrogéncella modell



**IRÁNYÍTSA A TELEFON
KIJELZŐJÉT A KÉPRE!**

A Kiterjesztett Valóság (AR - Augmented Reality) a valós térbe építi bele a digitális tartalmakat. Ezzel egy olyan innovatív, meggyőző eszközt eredményez, melyet előszeretettel alkalmaznak oktatás-, tréning-, munkavégzés támogatása, ipari és orvosi környezetek virtualizációja céljából, de térhódítása a szórakoztatóipar, marketing és értékesítés területén is szembetűnő.

A cégek, melyek felfedezik a lehetőséget a kiterjesztett valóságban, versenyelőnyre tehetnek szert, hiszen mindenki nyit az újdonságok felé. Tehát érdemes ezt a lehetőséget kihasználni, mind a tervezés és az értékesítés során.

Hydrogen AR



**KATTINTSON ÉS TÖLTSE
LE AZ ALKALMAZÁST!**



**ANDROID VAGY IOS
MOBILALKALMAZÁS VAGY
WEBAR**

AR előnyei

- hatásos, kiváltja a „woow” érzést
- izgalmas és trendi
- látványos és szórakoztató
- maradandóbb információt nyújt