

# A hidrogén szerepe a földgázhálózatok tervezésében, üzemeltetésében és karbantartásában

Role of hydrogen addition on design, operation and maintenance of gas networks

Tóth László<sup>a</sup>, Guy Pluvinage<sup>b</sup>, Capelle Julien<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., tudományos tanácsadó, laszlo.toth@bayzoltan.hu

<sup>b</sup>Laboratoire de Fiabilité Mécanique, Université de Lorraine, Professor Emeritus, pluvinage.guy@orange.fr

<sup>c</sup>Laboratoire de Fiabilité Mécanique, Université de Lorraine, julien.capelle@enim.univ-lorraine.fr

## Kulcsszavak

hidrogénes elrűdegedés,  
gázvezetékek,  
tervezés,  
üzemeltetés,  
felügyelet

## Absztrakt

A hidrogénnel kevert földgáz a szállító vezetékek károsodását idézheti elő. Ennek mértékét azonban számos paraméter befolyásolhatja. Néhány ezek közül: a csővezeték anyaga, a szállított földgáz összetétele, a bekevert hidrogén mennyisége, a vezeték üzemi paramétereit és az üzemeltetési környezetet, beleértve a vezetékek társadalmi és geográfiai sajátosságait. Ez utóbbiakat elsősorban a hálózat tervezése, és karbantartási stratégiájának kialakítása során kell figyelembe venni, az előbbieket pedig a már üzemelő gázhálózat alkalmazhatósága kapcsán kell mérlegelni. E témakör részletes vizsgálatára indította az európai szakmai közösség a 2004. január 5-én 39 partnerrel, 11 MEuro támogatással, 17.3 MEuro befektetéssel az FP6 keretprogramban a „NATURALHY” projektet.

## Keywords

hydrogen embrittlement,  
gas pipelines,  
design,  
surveillances,  
maintenance

## Abstract

Hydrogen when is blended with natural gas over time different kinds of degradations may cause in the pipeline materials. The level of these possible degradation processes is influenced by many parameters. Some of them relate to the following: pipeline materials, composition of the natural gas, blended ratio of hydrogen, operating parameters of the pipelines, environmental parameters of the pipeline, including both geographical and social issues as well. The last-mentioned issue basically needs to be considered in design periods and formulation of the maintenance strategy that type of gas networks which is going to be used for transport of hydrogen blended natural gas. The European technical society has launched a large common research project for explore the necessary knowledge in the mentioned fields within the 6FP under the title of "NATURALHY" with 39 EU partners with 11 MEuro EC-grant and 17.3 MEuro support in 05.01.2004.

## 1. Bevezetés

Az emberi élet fenntarthatóságát bolygónkon a következő három tényező határozza meg: **ÉTEL (ITAL) – ANYAG – ENERGIA**. Ha ezek bármelyike is hiányzik, az emberi élet nem tartható fenn. Az „ételre” vonatkozóan azt mondhatjuk, hogy a termelési technológiák fejlődésével nagy valószínűséggel biztosítható az alapvetően szükséges mennyiségű és minőségű táplálék az emberiség számára még hosszú ideig akkor is, ha a népszaporulat a jelenlegi szinten is marad. Az „ivóvíz” kérdésével azonban már most is küzd az emberiség. Vannak olyan felmérések, amelyek szerint az emberiség mintegy 10%-a [1] nem jut megbízható minőségű ivóvízhez! Az „anyag” tekintetében nyugodtan használhatjuk a „volt-van-lesz” szókapcsolatot. Az ok egyszerű. Az ember, mint a legfejlettebb élőlény attribútuma, azt az anyagot használja mindennapjaiban, amelyet ismer, és amelyet gazdaságosan kitermelhet, feldolgozhat létének adott technikai szintjén. Az ismeretek pedig folyamatosan bővülnek, az eszközök egyre szofisztikáltabbak, így az emberiségnek korlátokkal nem kell számolnia. Komoly gondot jelent már a közeljövőben is az „energia”. A fosszilis alapenergia-hordozók közül az olajkincs 40-50 év múlva kimerül, a gáz mintegy 3-4-szer hosszabb ideig áll rendelkezésre. Egyedül a föld szénkészlete biztosítható most belátható ideig. Gondjaink forrása az, hogy az első gőzturbinát az 1800-as évek végén, az 1900-as évek elején állították üzembe [2], azaz a villamosenergia, mint könnyen konvertálható energiaforrás előállítására előbb szenet, majd olajat és az 1950-es évektől gázt égettek el, azaz olyan alapenergia-forrásokat használtak, amelyeket a természet évezredek alatt hoz létre! Az emberiség mindezt 1-2 évszázad alatt elfogyasztja! Következésképpen az „energia” az emberiség létének alapkérdése és nem zszurnalisztikai probléma! A fosszilis

energiahordozók korlátozottak, következésképpen megnyugtató jövőkép csak a megújuló forrásokkal biztosítható. Ezek a következők:

- nukleáris vagy fűziós,
- hidrogén,
- geotermikus energia,
- bármilyen mozgási energia (levegő, víz) felhasználása, átalakítása,
- sugárzási energia (nap) felhasználása, átalakítása.

A felsorolt alapenergia – források közül a nukleáris energia a „politika – legkézenfekvőbb játékszere” (van, volt és lesz is). Ennek hangoztatására pedig nem a „szakmai tudásra”, hanem a „beszédkészségre” van csupán szüksége az emberiségnek. A „mozgási energiákhoz (víz, szél, ozmózis)”, a geotermikus adottságok és a (nap)sugárzás-hoz kötődő források kihasználását a földrajzi környezet eleve szabályozza, így a hidrogén szerepe folyamatosan növekszik. E tény kézenfekvően tükröződik abban is, hogy hidrogénnel üzemelő járművek sokasága található azon országokban, amelyek kellő időben álltak a „megújuló energiaforrások hasznosítása” rajtvonalánál. Az is tényként kezelhető, hogy a Nap szolgáltatja energiamennyiségéből csupán néhány nap alatt megkapja az emberiség az egész éves szükségletét. Igaz, ehhez a tárolás és szállítás kérdése még a sürgősen megoldandó problémák halmazában szerepel annak ellenére, hogy már napjainkban is számos kecsegtető megoldási lehetőségeket tárt fel a fizika tudománya különösen a szállításhoz kötődően [3].

## 2. A hidrogén gazdaság sajátosságai

A fenti alcímet „hidrogén gazdaság”, avagy „hidrogéngazdaság” kifejezésként is lehetett volna írni, azt hangsúlyozva, hogy a hidrogén alapenergia-forrás, azaz minden más típusú energia igény kielégítése ezen

anyagból származik, méghozzá a hidrogén átalakításával, elégetésével [4]. Hogy miért is indokolt a hidrogénre, mint alapenergia-forrásra gondolni, azt számos előnye indokolja. Ezek közül kiemelendők a következők:

- Égése során keletkező nagy mennyiségű energia keletkezik. A különböző energia-forrásokban rejlő lehetőségek számszerűleg is összehasonlíthatók a fűtőértékek (MJ/kg) alapján is [5]. A hozzávetőleges értékek szárított fa 15, kőszén 30, földgáz 40, propán 46, metán 50, hidrogén 120.
- Bőségesen rendelkezésre áll földünkön.
- Égése szénmentes, következésképpen nincs hatása klímánk változására.
- Tárolható, szállítása a jelenleg alkalmazott technológiákkal megoldható.
- Közvetlen energiaforrása lehet a közlekedési eszközöknek.
- A különböző lokális megújuló energiaforrások felhasználhatók hidrogén előállítására.

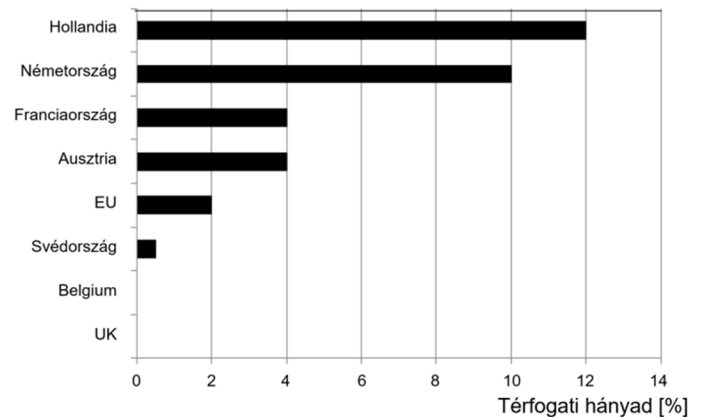
Mint minden energiaforrásnak, a hidrogénnek is számos hátránya is jelentkezik. Ezek közül napjaink technológiai színvonalát tekintve a következők emelhetők ki:

- Tárolásának költségintéje magas mind a folyadék, mind pedig fémhidrid formában a nagy energiaigény miatt.
- Szállítása kevésbé költséghatékony, mint az olaj vagy földgáz nagy távolságra történő elszállítása.
- Előállítási, gyártási folyamata meglehetősen költségigényes.
- Levegővel érintkezve robbanás- és gyulladásveszélyes.

Azt azonban tényként kell kezelniük az energiaszektorral foglalkozó szakembereknek, hogy csak folyamatos átmenetekkel lehet felhagyni a fosszilis energiaforrások felhasználásával. Az okok nagyon is kézenfekvők:

- Meglevő szállítási infrastruktúrák (csővezetékek, tömítések, feldolgozási technológiák stb.)
- Meglevő felhasználói berendezések (bojlerek, tűzhelyek, kazánok stb.)
- Meglevő tervezési, működési és szabályozási rendszerek mind az irányítástechnika, mind pedig a hatósági eljárásrend tekintetében.

A fentiek mindegyike olyan, hogy egyik pillanatról a másikra „csettintéssel” nem változtatható meg. Éppen ezért indult újtára az a gondolatkör, hogy a meglévő földgázvezetéseket használják fel különböző mennyiségű, arányú hidrogén bekeverésével. Ezen gondolatkör indította el a NaturalHy-projektet 2004. május 1-vel 5 éves újtára a norvég Gasuine Engineering & Technology vezetésével 39 partner részvételével a 6. Keretprogramban [6]. A közlemény szerzői direkt vagy indirekt módon (korábbi vendégprofesszori meghívással) az ENIM (Ecole Nationale d'ingénieur de Metz) vettek részt a programban. A projekt általános bemutatása, a partnerek szerepe, tevékenysége több anyagban megtalálható, pl. [7], de az egyik legfontosabb eleme „milyen lehet a legmagasabb részarány” máig is nyitott kérdés és részleteiben is elemzik a szakemberek szerte a világon [8].



1. ábra: A földgázba keverhető maximális mennyiségű hidrogén térfogathányada. (az ábra kiegészíthető Svájc 4%-os, és Anglia 0%-os értékeivel) [14]

### 3. A hidrogén lehetséges részaránya meglévő gázvezetékben

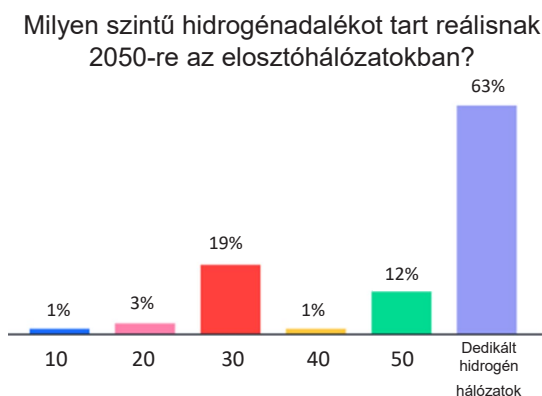
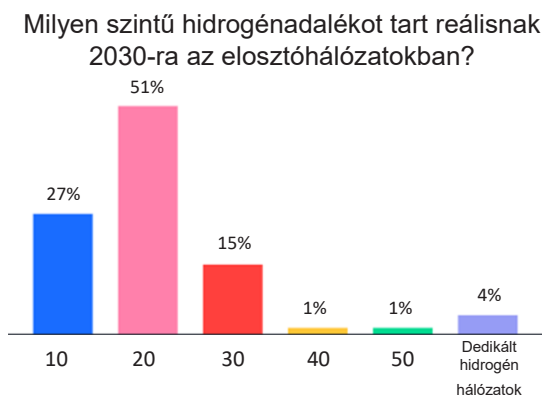
Természetes igényként jelenhet meg a szakemberek körében, hogy a meglévő és kellően definiált gázvezeték-hálózatokat [9] használhassák fel a hidrogén szállítására is. Ezen igény azonban biztosan nem elégíthető ki maradéktalanul, mert a különböző gázvezetékek:

- anyagának minősége és gyártási technológiájuk eltérők;
- geometriai jellemzőik (átmérő, falvastagság) számottevően különbözőek;
- üzemi paramétereik (nyomás, földrajzi környezet) jelentősen különböznek;
- a szállított gáz összetétele nem azonos;
- építésének időpontjaiban alkalmazott szerelési és hegesztési technológiájuk nem azonos.

Csupán a kiragadott felsorolások alapján is törvényszerű, hogy a különböző országok eltérő térfogathányadú hidrogén bekeverését tartják biztonságosnak. A jelenlegi helyzetet szemlélteti az 1. ábra.

Azt azonban nyomatékosan hangsúlyozni kell, hogy az Európában indított NaturalHy-projekt eredményeinek összefoglalása, szintetizálása is megszületett az USA-ban is 2020-ban [10]. Közben Európában tovább „izzott a NaturalHy-projekt parazsa” számos újabb projektet, közleményt és elgondolást generálva [11]-[14]. Jelen közleménynek nem célja a futó és különböző forrásokból támogatott projektek céljainak, eddig elért eredményeinek összefoglalása, a partnerek bemutatása. Ennek ellenére egyetlen projektet és annak egyetlen részeredményét szeretnénk kiemelni. A ThyGA projekt keretében az első Workshop mintegy 100 résztvevőjét megkérdezték, hogy milyen részarányt prognosztizál a gáz elosztóhálózatban 2030-ban és 2050-ben. A válaszok megoszlását szemlélteti a 2. ábra

A 2. ábra mindenképpen elgondolkodtató a jövő tekintetében. Egyik oldalról azt tükrözheti, hogy 2030 körül a meglévő elosztó vezeték 93%-ában 10-30% hidrogéntartalmú földgáz szolgáltatása várható és mindössze 4%-ot képvisel az új, kizárólagosan hidrogén szállítására épített vezeték. A másik értelmezése az, hogy az évszázad közepén a kifejezetten hidrogén szállítására épített új vezeték részaránya már 63% lesz, míg a most meglévő vezeték mintegy ötödében 30%, ill. tizedében 50%



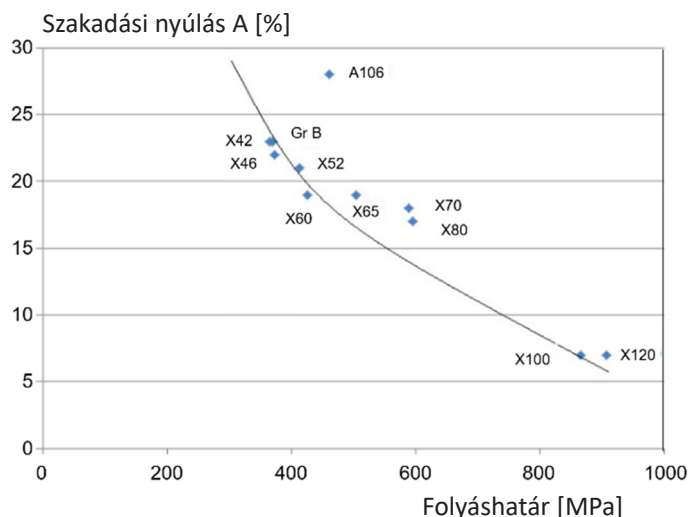
2. ábra: A 2030-ra és 2050-re prognosztizált hidrogénkoncentráció a földgáz elosztóhálózatában a THyGA projekt első Workshopjának (2020.06.05) résztvevői szerint [11]

hidrogéntartalmú földgáz szolgáltatása várható. A jelenlegi ismereteink szerint e prognózisnak lehet esetlegesen műszaki háttere (az üzemelő vezetékek anyagának és hidrogén kölcsönhatásának), de ugyanígy a vezetéképítők lobby érdeke is.

#### 4. A hidrogén és a csővezeték anyagának kölcsönhatása és ennek következményei

A hidrogén szerepét az acél tulajdonságainak megváltozása kapcsán már a XIX. század végén megfigyelték. Jelen közleményben nem kívánunk a részletekkel foglalkozni, hiszen mindezt megtettük egy korábbi közleményben [14], amelyben bőséges irodalmi hivatkozás segíti az elsődleges eligazodást azok számára, akik bővebb és részletesebb tájékozódásra tartanak igényt. A már említett ThyGA projekt keretében is részletes áttekintés készült a hidrogén okozta elridegedés témaköréből, annak mechanizmusairól, valamint a folyamatot befolyásoló anyagi tulajdonságokról, terhelési feltételekről és hidrogénnel való feltöltődést befolyásoló egyéb körülményekről [15]. Az anyagok tekintetében a szénacélok, ausztenites acélok, a réz és ötvözetek, alumíniumötvözetek és a szerelvények csapok, szelepek (fittingek) hidrogénes elridegedésének hajlamát jellemző adatok kerültek feldolgozásra [15]. Az irodalmi adatok alapján azonban egyértelmű, hogy a **hidrogén hatást gyakorol** a csövek anyagainak

- képlékenységre (kontrakciójára vagy szakadási nyúlására), ami az alakváltozásra történő méretezés szempontjából lehet fontos;



3. ábra: A különböző szilárdságú csőanyagok szakadási nyúlása folyási határak függvényében [14], [16]

- törési szívósságára;
- átmeneti hőmérsékletére;
- ismétlődő terhelésnél a töréshez tartozó ciklusok számára;
- a fáradásos repedés terjedésével szembeni ellenállására;
- az anyagtulajdonságok szórását növeli, éppen a hidrogén okozta lokális hatások miatt.

Az is majdnem egyértelműnek tűnik, hogy a hidrogén **nem gyakorol számottevő hatást** a csőanyagok szilárdsági jellemzőire (folyási határára és szakító szilárdságára).

A következő részben az előzők BIZONYÍTÁSÁRA bemutatásra kerül néhány olyan példa, amelyek az egyértelmű megállapításokat alátámasztják. Ezzel kapcsolatban azonban hangsúlyozni kell, hogy a bemutatott példák

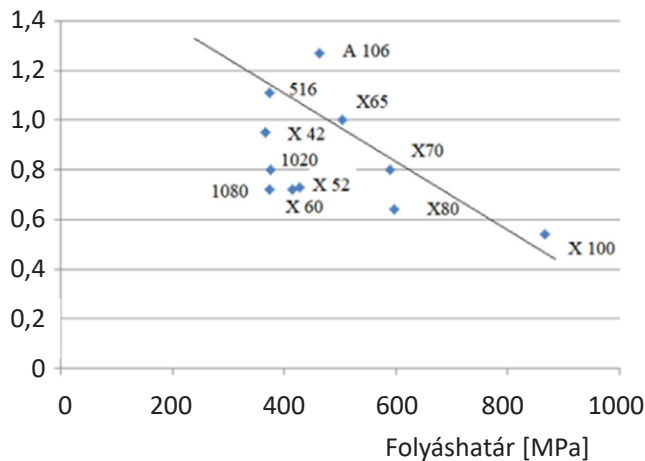
- számszerű adatai hazánkban nem alkalmazhatók, mert:
- a vezetéképítésben alkalmazott hazai acélok még kémiai összetételének megfelelősége esetén is eltérő kohászati és kikészítési technológiával készülhettek, ill. az
- olyan vizsgálati körülmények alapján készültek, amelyekre nézve nem állnak rendelkezésünkre megbízható információk.

A 3. ábra szemlélteti a különböző folyási határu csőanyagok szakadási nyúlását.

A 3. ábrával kapcsolatban a következő megjegyzések tehetők:

- természetes az, hogy a szilárdság növekedésével a szakadási nyúlás csökken, azaz a csővezeték anyaga egyre ridegebbé válik és a hidrogén jelenléte a ridegséget csak tovább növeli, ill. a lokális bemetszések, feszültséggyűjtő helyek (hibák) hatása egyre veszélyesebb;
- arra nézve nincsenek adatok, hogy a szakadási nyúlás vagy, következésképpen a hazai csőanyagok beilleszthetősége jogos kérdéseket vethet fel abból eredően, hogy  $A_5 > A_{10}$ .

a H<sub>2</sub>-ben és levegőn mért szakadási nyúlások hányadosai



**4. ábra:** A különböző szilárdságú csőanyagok hidrogén közegben és levegőn mért szakadási nyúlásainak hányadosa a folyási határjuk függvényében [16]

A 3. ábrán szemléltetett eredményeknél többet mutat a 4. ábra, ahol ugyanezen acéltípusokra a H<sub>2</sub>-ben és levegőn mért szakadási nyúlások hányadosai láthatók az anyagok folyási határának függvényében.

A 4. ábra kapcsán is kiemelhetők ugyanazon megjegyzések, amelyeket már a 3. ábránál jeleztünk, de ez még kiegészíthető a H<sub>2</sub>-közegre jellemző paraméterek hiányával!

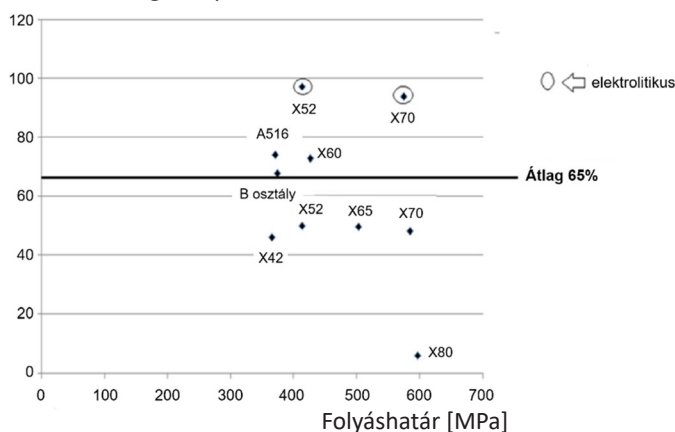
Azt evidenciának kell tekinteni, hogy a csőanyagok repedésterjedéssel szembeni ellenállását (K<sub>IC</sub> vagy J<sub>IC</sub> értékét) a H<sub>2</sub> jelenléte radikálisan csökkenti. Ezt meggyőzően támasztja alá az 5. ábra.

Ha az 5. ábrán érzékeltetett csökkenés hatását kívánjuk érzékeltetni, akkor tekintsük a „törésmechanika alapképletét”, amely az alábbi formában teremt kapcsolatot a terhelő feszültség (σ), az a hosszúságú repedés és a repedés-csúcsban ébredő feszültségintenzitási tényező K<sub>I</sub> között.

$$K_I = f(\text{geometria})\sigma\sqrt{\pi a} . \quad (1)$$

A fenti kifejezésből következik, hogy adott terhelés (σ) és geometria mellett a repedés akkor terjed, ha a K<sub>I</sub>

Törési szívósság aránya HE-sel és anélkül



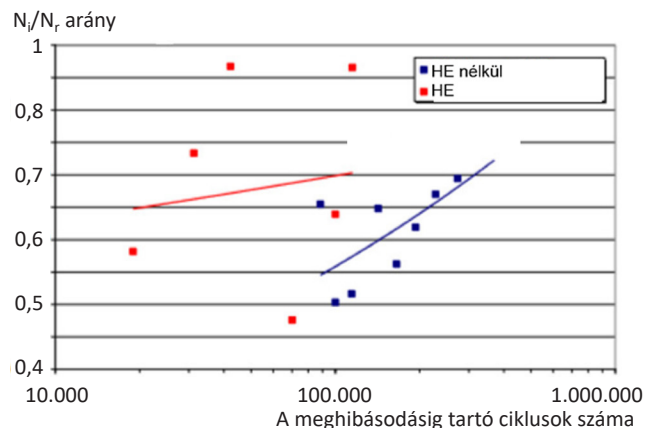
**5. ábra:** A H<sub>2</sub> közegben és levegőn mért törési szívósság aránya a folyáshatár függvényében [14]

eléri a K<sub>IC</sub>, a törési szívósság értékét. Ha a H<sub>2</sub> hatására a törési szívósság 1/0,65=1,54-edszer csökken, akkor a kritikus repedéshossz ennek négyzetével, azaz 2,37-szer lesz kisebb!! Még kézenfekvőbben megfogalmazva, ha a szívósság (a repedés terjedésével szembeni ellenállást tükröző anyagjellemző) felére csökken, akkor már az 1/4 hosszúságú repedés terjedőképes lesz! A gondolatmenetet folytatva azt mondhatjuk a H<sub>2</sub> ridegítő hatása miatt az egyre kisebb méretű „repedésszerű” hibák is törési veszélyt hordoznak magukban! Ugyanezt mondhatjuk az éles bemetszésű karcokra vagy korróziós nyomokra is. E tényeket pedig messzemenően figyelembe kell venni mind a karbantartás, mind pedig a periodikus felülvizsgálatok tervezésénél és az észlelt hibák értékelésénél is.

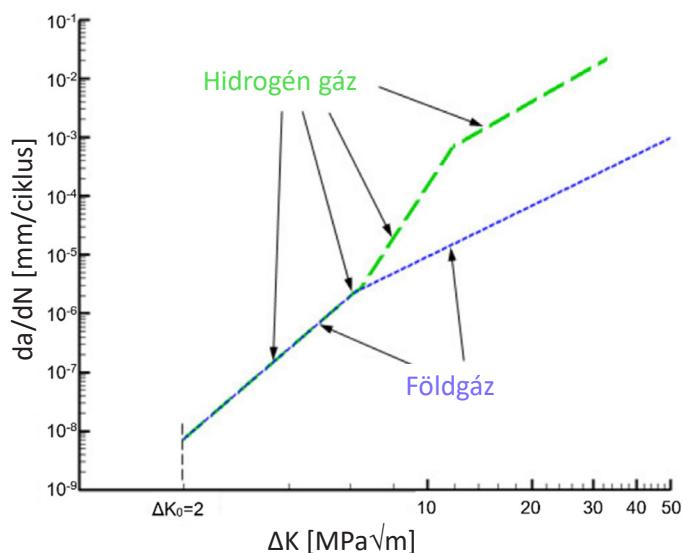
A hidrogén hatása jelentkezik a csőanyagok kifáradási tulajdonságainak változásában is. Noha nem jelenthető ki egyértelműen, hogy vizsgálati eredmények tucatjai állnak a szakemberek rendelkezésére, mégis található néhány elgondolkodtató eredmény. A 6. ábra a fáradásos repedés keletkezéséhez (N<sub>i</sub>) és a teljes töréshez (N<sub>r</sub>) tartozó igénybevételi szám arányát szemlélteti levegőn és hidrogénben.

A 6. ábrán feltüntetett eredményekkel kapcsolatban a következő megjegyzések tehetők:

- A hidrogén hatására rendkívül erősen növekszik a vizsgálati eredmények szórása, azaz a fáradásos károsodás lokális jellege erőteljesen jelentkezik.
- Kisebbs terheléseknél (amikor a töréshez tartozó igénybevételi szám nagy), akkor az N<sub>i</sub>/N<sub>r</sub> értéke közelíti az 1-et, azaz a hidrogénes közegben nehezen keletkezik repedés, de ha egyszer megjelent, nagyon gyorsan terjed. De ennek fordítottja is előfordulhat (lásd a legfelső és legalsó piros színű pontokat), következésképpen az előző francia bekezdés teljes mértékben igazoltnak tekinthető.
- A hazánkban felhasznált csőanyagok viselkedésére nézve egyrészt nincs semmilyen tapasztalat, másrészt nem áll rendelkezésre olyan mennyiségű és minőségű információ a vizsgálatok körülményeiről, amely lehetővé tenné a hazai acélminőségek várható viselkedésének becslését ismétlődő terhelés esetén. A hidrogén közegben és földgázban végzett



**6. ábra:** A fáradásos repedés keletkezéséhez és a teljes töréshez tartozó igénybevételi szám aránya a törési ciklusszám függvényében API 5L X52-es acélnál [14]



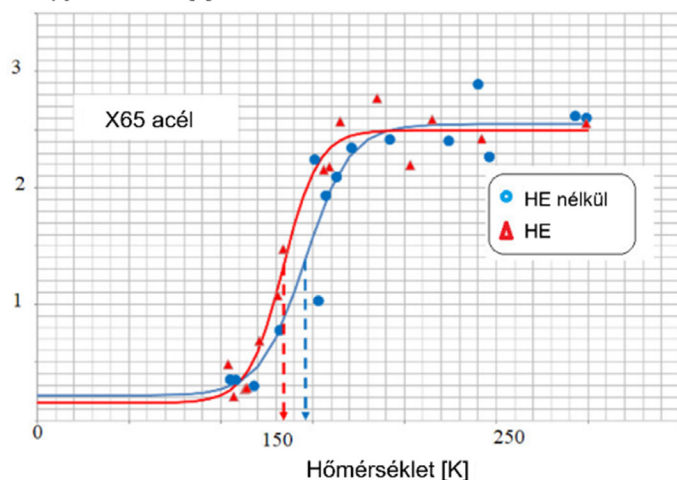
7. ábra: A fáradásos repedésterjedés jellege hidrogén és földgáz közegben [14]

fáradásos repedésterjedés vizsgálatok eredményei (7. ábra) jellegében alátámasztják a 6. ábrán látható szórást.

A 7. ábra ugyanis eklatánsan azt szemlélteti, hogy a viszonylag kisméretű repedések ( $\Delta K \leq 10 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ) földgázban és hidrogénes közegben egyformán terjednek, de egy bizonyos méretet elérve a hidrogén ridegítő hatása jelentős szerephez jut és a repedésterjedés felgyorsul.

Tekintettel arra, hogy a csővezetékek zöme ferrites szénacél és a térközepes köbös rácsú fémek ridegedésre hajlamosak, elvileg felmerülhet a ridegtörés lehetősége is. A ridegedési hajlamot általában a különböző hőmérsékleteken elvégzett Charpy-féle ütővizsgálat eredményei alapján kijelölt átmeneti hőmérséklettel jellemzik. Amennyiben földgázhoz hidrogént is adagolnak, döntő kérdés ennek ridegítő hatása, azaz a csővezeték anyagának hogyan változik az átmeneti hőmérséklete. Erre nézve szemléltet eredményeket a 8. ábra X65 minőségű csőanyagra.

Charpy ütőmunka [J]



8. ábra: X65 minőségű csőanyag Charpy-próbatesteken különböző hőmérsékleteken mért ütőmunkája hidrogénben kezelve és anélkül [14]

Az ábrát szemlélve a következő megállapításokat tehetjük:

- A hidrogénben való kezelés nem tekinthető ridegítő hatásúnak (sőt némileg még csökkenti is azt, hiszen az átmeneti hőmérséklet még csökken is), hiszen az átmeneti hőmérséklet nem emelkedik.
- A ütőmunka értékek legnagyobb és legkisebb értékeit a hidrogénben történő kezelés nem módosítja. Ez összhangban van azokkal a tapasztalatokkal, hogy a hidrogén nem módosítja számottevő mértékben a csőanyagok szilárdsági jellemzőit.
- Az ábra függőleges tengelyén szereplő ütőmunka-értékek szokatlanul kicsik. Ennek oka az, hogy a vizsgálatokat ún. „mini-próbatesteken” végezték. A nukleáris iparban a neutronbesugárzás hatására bekövetkező elridegedési folyamat monitorozására már kiterjedten alkalmazott mini-próbatestek széleskörben teret hódítottak, így célszerű lenne ennek értelemszerű áttemelése a csőanyagok különböző közegekben bekövetkező öregedési folyamatainak elemzésére.
- A hazánkban felhasznált csőanyagok viselkedésére nézve egyrészt nincs semmilyen tapasztalat, másrészt nem áll rendelkezésre olyan mennyiségű és minőségű információ a vizsgálatok körülményeiről, amely lehetővé tenné a hazai acélminőségek várható viselkedésének becslését.

A hazai energetikai rendszer jövőjét tekintve [17] úgy tűnik, hogy a „zöld-hidrogén termelés” (megújuló energiaforrásokkal előállított) meghonosítása irányában célszerű elgondolkozni, és e területhez kötődő fejlesztések gazdasági feltételeinek elemzésében kell elmélyedni a közeljövőben. Az így előállított hidrogén szállítása, tárolása a meglévő földgázhálózatba történő bekeveréssel gazdaságosan megvalósítható. Azt azonban nem szabad elfeledni, hogy a hidrogéntartalmú földgáz a szállítóvezeték és az elégetésre használt égőfejek anyagára hatást gyakorol. A különböző hatások mechanizmusainak megismerése, számszerű jellemzésére kiterjedt és elméletileg is megalapozott, összehangolt anyagvizsgálatokra van szükség. A szükséges ismeretek egyrészt a világszerte e témakörben futó projektek eredményeinek szintetizálásával, a hazai tapasztalatok és részeredmények [18] ellenőrzésével, felhasználásával, másrészt olyan anyagvizsgálati centrum (csoport) létrehozásával valósítható meg, amely hosszú távon felvállalja e témakör nemzetközi szintű gondozását.

## 5. Összefoglalás

A közlemény célkitűzését és az áttekintett irodalmi adatokat tekintve az alábbi megállapítások tehetők

1. A fosszilis energiaforrások korlátozott volta, a periodikus árobbanása, az erőteljes politikai energiafüggetlenség, a jövő generációinak „karbonsemlegessége” miatt hazánkban is indokolt a megújuló energiaforrások egyre nagyobb részarányának elérése.
2. A kimeríthetetlen szolár-energiaforrás gazdaságos szállítási és tárolási technológiai jelenlegi ismereteink szintjén nem megoldottak, így alapenergia forrásnak még nem tekinthető.

3. Jelenleg világszerte a **hidrogén** részarányának növelésére törekszenek az alapenergiaforrás biztosításában oly módon, hogy annak termelésére megújuló energiaforrásokat használnak fel.
  4. Az így előállított ún. „**zöld-hidrogén**” szállítása, tárolása elvileg megoldható a földgázhoz keverve.
  5. A kizárólagosan földgázra tervezett jelenlegi szállító és tároló rendszerek biztonságos üzemeltethetősége a hidrogén adagolás miatt azonban számos megválaszolendő műszaki problémát vet fel.
  6. Hidrogénnel kevert földgáz és a szerkezeti anyagok kölcsönhatásának lehetséges következményeit irodalmi adatok alapján áttekintve egyrészt az mondható, hogy világszerte erősen kutatott terület, amely nemzetközi forrásokkal is támogatott, másrészt eddigi eredményei kecsesgetők, noha időnként ellentmondások.
  7. Magyarországon is szükséges a szakemberek olyan csoportjának kialakítása, amely nemzetközi téren is értékelhető szakmai kompetenciát képvisel.
  8. Tekintettel arra, hogy a hazai gázvezetékek zömének üzemeltetési ideje meghaladja a 40 évet és a csövek eltérő kohászati technológiákkal készülhettek, célszerű a csőanyagok egy reprezentatív adatbázisát összeállítani a vegyi összetétel és mechanikai tulajdonságai tekintetében. Ennek alapján pedig reprezentatív vizsgálatokkal ellenőrizni, hogy a hazai csőanyagok milyen mértékben kompatibilisek a nemzetközi szakirodalomban közölt vizsgálati megállapításokkal a hidrogén várható hatását tekintve.
- Irodalomjegyzék**
- [1] Worldometers honlapja: <https://www.worldometers.info/hu/> (Megtekintés dátuma: 2022.06.18.)
  - [2] Termuehle H.: 100 years of power plant developmet. ASME Press, New York, 2001.
  - [3] R.B. Service: After decades, room temperature superconductivity achieved. Science. 14. oct. 2020. <https://doi:10.1126/science.abf2621>
  - [4] Oláh Gy., Goeppert A., Prakash G. K. S.: Kőolaj és földgáz után: A metanolgazdaság. Better Kiadó, Budapest, 2007.
  - [5] Wikipédia: A szabad enciklopédia: Fűtőérték: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Fűtőérték> (Letöltve 2022.06.05.)
  - [6] Florisson, O., Huizing R.R.: The safe use of the existing natural gas system for hydrogen (Overview of the NATURALHY-project). Lásd: Naturalhy\_Partnerek\_WP-k.pdf <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/downloads/naturalhy-project-overview> (Letöltve: 2022.06.05.)
  - [7] Naturalhy\_Brochure.pdf <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/downloads/naturalhy-project-overview> (Letöltve: 2022.06.05.)
  - [8] Ronevich J., Marchi S.: Hydrogen Blending into Natural Gas. Study Group on Materials Testing and Qualification for Hydrogen service. 2019. July 19.
  - [9] List\_of\_natural\_gas\_pipelines.pdf [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_natural\\_gas\\_pipelines](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_gas_pipelines) (Letöltve:2022.06.16.)
  - [10] 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.
  - [11] Testing Hydrogen admixture for Gas Applications. THyGA-projekt honlapja: <https://thyga-project.eu/> (Megtekintés dátuma: 2022.06.05.)
  - [12] Allfeld K., Pinchbeck D.: Adminissible hydrogen concentratorations in natural gas systems. Gas for Energy.2013/3. [www.gas-for-energy.com](http://www.gas-for-energy.com)
  - [13] Putting Science into Standards: Power-to-Hydrogen and HCNG. ERATO, the European Standards Organisations and European Commission's Joint Research Centre. JRC Petten, 21-22 October, 2014
  - [14] Pluinage G., Tóth L., Capelle J.: Effects of Hydrogen Addition on Design, Maintenance and Surveillance of Gas Networks. Processes 2021,9 p.1-25. <https://doi.org/10.3390/pr9071219>
  - [15] THyGA: Deliverable D2.4: Non-combustion related impact of hydrogen admixture – material compatibility: <https://thyga-project.eu/deliverable-d2-4-non-combustion-related-impact-of-hydrogen-admixture-material-compatibility/> (Letöltve: 2022.06.16.)
  - [16] G. Pluinage: Mechanical properties of a wide range of pipe steels under influence of pure hydrogen or hydrogen blended with natural gas. International Journal of Pressure Vessels and Piping. 190. 2021. 104293 <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104293>
  - [17] Tanulmányok a magyarországi energetikáról. Magyar Tudományos Akadémia. Budapest, 2008. ISBN 978-963-508-573-6.
  - [18] Magyar Földgáztároló Zrt. honlapja: 2021. február 1-jén elstartolt a Magyar Földgáztároló Zrt. Akvamarin projektje: <https://mfgt.hu/hu-HU/Akvamarin> (Letöltés: 2022.06.17.)