

# KÉRDÉSEK A HIDROGÉN FÖLDGÁZ INFRASTRUKTÚRÁBA TÖRTÉNŐ BEKEVERÉSÉRŐL

Vadászi Marianna – Tomkóné Nyiri Katalin

**Absztrakt:** Világszerte egyre nagyobb az érdeklődés a hidrogén iránt, hiszen kiváló hő- és villamosenergia termelő alternatív energiaforrást jelenthet az ipar, a közlekedés és egyéb, alacsony szén-dioxid-kibocsátású felhasználási területeken. A hidrogénnel kapcsolatban hosszútávú célként említhető a dedikált hidrogén infrastruktúra kiépítése, azonban rövidtávú megoldásként a hidrogén földgázhálózatba történő bekeverése is ígéretesnek bizonyul. A meglévő földgázgázhálózatba történő hidrogén betáplálása azonban számos kérdést vet fel azzal kapcsolatban, hogy a jelenlegi gázinfrastruktúra képes-e hidrogénnel kevert földgázzal üzembiztosan működni. A cikk legfőbb célkitűzése annak bemutatása, hogy mennyi hidrogén integrálható a gázhálózatba, valamint azonosítani azokat a területeket, ahol további kutatásokra van szükség. A hidrogén bekeverésének technikai korlátait mind a szállító-, mind az elosztóhálózatok tekintetében érdemes megvizsgálni, mégpedig olyan kritikus működési paraméterek alapján, mint az energiasűrűség csökkenése, a megnövekedett áramlási sebesség és a nyomásvesztés. A biztonságos üzemeltetéssel kapcsolatban is felmerülnek kérdések, melyek közül a legfontosabbak a rideg töréssel, az esetleges szivárgással és a keverék gyulladásával/égésével kapcsolatban merülnek fel.

**Abstract:** There is a rising interest all around the world in the use of hydrogen for the provision of electricity or heat to industry, transport, and other applications in low-carbon energy systems. While there is attention to build out dedicated hydrogen infrastructure in the long-term, blending hydrogen into the existing natural gas pipeline network is also thought to be a promising strategy for incorporating hydrogen in the near-term. However, hydrogen injection into the existing gas grid poses additional challenges and considerations related to the ability of current gas infrastructure to operate with blended hydrogen levels. This study focuses on analysing the current understanding of how much hydrogen can be integrated into the gas grid from an operational perspective and identifies areas where more research is needed. The review discusses the technical limits in hydrogen blending for both transmission and distribution networks; facilities in both systems are analysed with respect to critical operational parameters, such as decrease in energy density, increased flow speed and pressure losses. Safety related challenges such as, embrittlement, leakage and combustion are also discussed.

*Kulcsszavak:* hidrogén, hidrogén földgáz elegy, gázhálózat

*Keywords:* hydrogen, hydrogen-natural gas blend, gas network

## 1. Bevezetés

A hidrogén lehet energiahordozó, tüzelőanyag, ipari alapanyag, éppen ezért nem meglepő, hogy a hidrogén és a földgáz keverésének koncepciója nem újkeletű. A közelmúlt technikai fejlesztései, valamint a zöldenergia és a karbonsemlegesség felé való törekvés ismét az érdeklődés központjába helyezte a témát. A hidrogén és a metán (a földgáz elsődleges összetevője) keverékének csővezetéken történő szállítása szintén hosszú múltra tekint vissza, hiszen már az 1800-as évek elején épültek ki ilyen céllal csővezeték hálózatok. Ekkor azonban még nem a mai értelemben vett keveréket alkalmazták az utcai lámpák, kereskedelmi épületek és háztartások világítására, hanem egy jellemzően 30-40% hidrogéntartalmú, szénből előállított gázkeveréket, az úgynevezett „városi gázt”. Ezek a rendszerek szolgáltak előfutárként a mai modern földgázhálózatok megteremtéséhez. (Franklin-Mann–

Kutka, 2022) Ahhoz, hogy a ma üzembiztosan működő hálózatok technikai szintjéhez eljuthassunk, az elmúlt több, mint 200 év során számos kérdésre és kihívásra kellett már megoldást, illetve választ találni. A soron következő kihívást pedig éppen a hidrogén vezeti fel a földgázra specializálódott infrastruktúra számára.

## 2. A hidrogén előnyei

A hidrogén földgázhálózatba történő bekeverésének folyamata során egyre nagyobb koncentrációban kerül hidrogén a már korábban kiépült földgáz szállító és elosztó infrastruktúrába. Ez történhet gazdasági vagy környezetvédelmi megfontolás alapján. A gazdasági megfontolás alapja tulajdonképpen az, hogy a hidrogén már meglévő gázhálózatba történő betáplálása gyors és költséghatékony átmeneti megoldást kínálhat az azonnal rendelkezésre álló dedikált hidrogéninfrastruktúra hiányának kezelésére. Továbbá, úgy lehet profitálni a hidrogén által nyújtott előnyökből, hogy nincsenek jelen a vezetékeképítéssel járó terhek és kötelezettségek. Ezáltal a hidrogén bekeverése arra is lehetőséget biztosít, hogy a felhasználók bizonyos szintig megújuló és alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiához férjenek hozzá, mely előnyök éppen a bekeverés környezetvédelmi aspektusának felelnek meg (Melaina et al., 2013). A hidrogénstratégiájával, a RepowerEU projekttel, illetve egyéb programjaival az Európai Unió legújabb irányelvei megcélazzák a földgáz égése során, annak szénhidrogén tartalmához kapcsolódó széntartalmú égéstermékek, továbbá az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését. A környezetünk terhelésének csökkentése felé vezető hosszú úton első lépésként tarthatjuk számon a hidrogén bekeverését a földgázelosztó és -szállító rendszerekbe, ezáltal teremtve lehetőséget a felhasználók számára a hidrogénnel dúsított gázkeverék elégetésére. Minél nagyobb arányban van jelen a földgáz-hidrogén gázkeverékben az utóbbi komponens, annál alacsonyabb az égés során keletkező károsanyag kibocsátás mértéke, mégpedig a hidrogén égése során keletkező termékeknek köszönhetően (Topolski et al., 2022).

Az 1. számú táblázatban láthatók a földgáz-hidrogén keverék egyes összetevőinek égési tulajdonságai, melyek segítségével összehasonlíthatjuk a hidrogén és metán égése során keletkező termékeket. Különbséget kell tennünk a tökéletes és tökéletlen égés során keletkező termékek között is.

Tökéletes égés során az oxigénnel reakcióba lépő tüzelőanyag a reakció során maradéktalanul elég. A folyamat sikerének feltétele, hogy az égés során megfelelő mennyiségű oxigén álljon rendelkezésre. Amennyiben ez adott, a reakció meghatározott mennyiségű égéstermék képződését eredményezi.

A földgáz fő összetevőjét alkotó szénhidrogének tökéletes égése során ezek az égéstermékek az erősen üvegházhatású szén-dioxid ( $\text{CO}_2$ ) és az emberi szervezetre ártalmatlan vízgőz ( $\text{H}_2\text{O}$ ), mivel ezek keletkeznek a szén (C) és hidrogén ( $\text{H}_2$ ) levegő oxigénjével történő egyesülésekor. A földgáz azonban nem csak szénhidrogéneket tartalmaz, továbbá a levegő sem csak oxigénből áll, emiatt fontos azt is megemlíteni, hogy az egyéb, égés során jelenlévő vegyületek, pontosabban a vegyületeket alkotó elemek égetésekor mi történik. A földgázban nyomösszetevőként előforduló kéntartalmú vegyületekben található kén (S) égetésekor inert gáz, kén-dioxid ( $\text{SO}_2$ )

keletkezik, mely közvetve felelős a kénsav (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kialakulásáért. A leggyakoribb kéntartalmú komponens a hidrogén-szulfid (H<sub>2</sub>S) (Vida, 1991).

A földgázban elenyésző mennyiségben jelenlévő, viszont a levegő több, mint 2/3-át kitevő nitrogén ugyan jelen van az égés lejátszódása során, abban azonban közvetlenül nem vesz részt. Elegendően magas láng hőmérséklet esetén azonban egyesül a levegő oxigénjével, és különböző összetételű nitrogén-oxidokat hoz létre (NO<sub>x</sub>). Ezek összekapcsolhatók a globális felmelegedéssel, mivel indirekt üvegházhatású gázok. Ezenfelül jelentős mértékben hozzájárulnak a savas esők kialakulásához.

**1. táblázat: A földgáz-hidrogén keverék egyes összetevőinek égési egyenletei**

A földgáz-hidrogén keverék egyes összetevőinek égési egyenletei	
Hidrogén	Metán
Sztöchiometrikus égési egyenlet	
$2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2 = 2 \text{ H}_2\text{O}$	$\text{ CH}_4 + 2 \text{ O}_2 = \text{ CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$
Tökéletes égés során keletkező termékek	
Víz	Szén-dioxid Víz
Tökéletlen égés során keletkező termékek	
Hidrogén Nitrogén-oxidok	Szén-monoxid Kén-dioxid Nitrogén-oxidok Visszamaradó szénhidrogének

Forrás: Vida (1991), kutatásai alapján a szerzők szerkesztése.

A gyakorlatban sohasem valósul meg teljesen tökéletes égés, ezért részben számolni kell a tökéletlen égés következményeivel is. Tökéletlen égés lejátszódásakor nincs jelen elég oxigén az égés során ahhoz, hogy a tüzelőanyag és az oxigén maradéktalanul reagáljanak, esetleg az égési folyamattól elvonja valami a hőt, például egy szilárd felület. Ezeket az eseteket összefoglalhatjuk úgy, mint nem megfelelően irányított tüzelési folyamat. A potenciális veszélyforrás pedig abban rejlik, hogy ezen folyamatok során nem kívánt termékek keletkeznek földgáz égetésekor, úgy, mint szénmonoxid (CO), nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>) vagy szénhidrogének (Vida, 1991).

A hidrogén égése során, ahogy az az 1. számú táblázatban látható, nem keletkezik sem szén, sem kén alapú égéstermék. A keletkező vízgőz és a visszamaradó hidrogén ártalmatlan anyagok, viszont a hidrogén égése során szintén keletkező nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>) nagyobb problémát jelenthetnek, hiszen erősen üvegházhatású gázok. Ahogy néhány bekezdéssel feljebb kifejtettük, elegendően magas láng hőmérséklet szükséges ahhoz, hogy NO<sub>x</sub> alakulhasson ki. A hidrogén

égetése során a lángsebesség (amely többszöröse a metán égése során mérhető lángsebességnek) lokálisan olyannyira megemeli a lánghőmérsékletet, hogy elegendően magas hőmérséklet tud kialakulni a folyamat lejátszódásához. Speciális égő segítségével lehet csökkenteni a lánghőmérsékletet, így meggátolva az  $\text{NO}_x$  képződés lehetőségét (Menziés, 2019).

Tehát ahhoz, hogy a hidrogén égetése során keletkező termékek között ne legyen a környezetre káros anyag, mindenképpen szabályozni kell a lánghőmérsékletet, például diffúziós kialakítású égő segítségével. Ez máris követelményként jelenik meg a hidrogén földgázhálózatba történő bekeverése során, hiszen ilyen feltétellel érdemes végezni a műveletet az optimális égési tulajdonságok elérése érdekében. A földgázszállító és -elosztóhálózatba történő hidrogén bekeverés további kritériumai és kritikus pontjai mind a hidrogén és a metán (földgáz) eltérő tulajdonságaiból adódnak, így érdemes ezeket is megvizsgálni.

### 3. Eltérő tulajdonságok

A 2. számú táblázat adatai alapján levonhatjuk a következtetést, hogy a hidrogén és a metán jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezek a különbségek pedig kihívást állítanak mind a földgáz infrastruktúra, mind a bekeveréssel foglalkozó szakemberek elé, hiszen az üzembiztos működés feltételeit a már működő földgáz-infrastruktúrába injektált hidrogén jelentősen felülírja. A következő bekezdésekben az említett kihívások közül mutatjuk be a jelentősebbeket.

### 4. Alacsonyabb energiasűrűség

Először is, a hidrogén kétatomos molekula, tehát egy hidrogén pár alkot egységet, míg a metán esetében egy szénatomhoz kapcsolódik 4 hidrogén atom. A hidrogén a periódusos rendszer legelső eleme, ebből kifolyólag ez a legkisebb relatív atomtömegű elem (1,008 u). A szén viszont a hatodik helyet foglalja el a rendszerben, ebből adódik, hogy egy nagyságrenddel nagyobb a relatív atomtömege (12,0107 u). Tehát a két molekula moláris tömege, ennél fogva sűrűsége lényegesen különbözik, a hidrogén jelentősen kisebb értékekkel rendelkezik. Továbbá, a 2. számú táblázat alapján azt is kijelenthetjük, hogy a hidrogén tömegegységre vonatkoztatott fűtőértéke több, mint kétszerese a metánénak. Azonban a hidrogén alacsony sűrűsége miatt a térfogategységre vonatkozatható energiatartalma (fűtőértéke) rendkívül alacsony. Következésképpen a földgázhoz hasonló mértékű energiaáramlás elérése érdekében a hidrogén nagyobb térfogatáramát kell biztosítani, ehhez pedig a hidrogénszállításhoz nagyobb sűrítőteljesítményre van szükség a földgázhoz képest, hozzávetőlegesen háromszoros értékre (ACER, 2019). A megnövekedett sűrítőteljesítmény mindenképpen a csővezetékben uralkodó nyomás emelkedéséhez vezet, ezt az emelkedett üzemi nyomást pedig bírnia kell az adott hálózatban található minden szerelvénynek és csővezeték típusnak. Továbbá, a hidrogén földgázhálózatba történő betáplálásának modellezési eredményei alapján a hosszú csővezeték szakaszokban a nagyobb gáznyomás fenntartása érdekében több

kompresszorállomás elhelyezésére van szükség, ezzel is csökkentve a sűrűdésből adódó nyomásvesztés hatását (Mahajan et al., 2022).

2. táblázat: A hidrogén és a metán tulajdonságai

Tulajdonság	Hidrogén	Metán
Sűrűség (gáz halmazállapotban) [kg/m <sup>3</sup> ]	0,09	0,716
Moláris tömeg [kg/kmol]	2,016	16,043
Moláris térfogat [m <sup>3</sup> /kmol]	22,436	22,360
Sztöchiometrikus égéshez szükséges oxigén-tüzelőanyag arány [m <sup>3</sup> tüzelőanyag/ m <sup>3</sup> tüzelőanyag]	0,4990	2,0028
Égéshő [MJ/m <sup>3</sup> ]	12,102	37,706
Fűtőérték [MJ/m <sup>3</sup> ]	10,223	33,948
Fűtőérték [MJ/kg]	119,6	49,9
Energia sűrűség (gázhalmazállapotban) [MJ/dm <sup>3</sup> ]	3,0	12,6
Alsó gyulladási koncentráció levegőben [m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> ]	0,0400	0,0436
Alsó gyulladási koncentráció levegőben [tf%]	4,00	4,36
Felső gyulladási koncentráció levegőben [m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> ]	0,8000	0,1553
Felső gyulladási koncentráció levegőben [tf%]	80,00	15,53
Max. normál lángterjedési sebesség [cm/s]	267	35

Forrás: Szunyog (2016), Ball (2009), Hydrogen Tools (2022) kutatásai alapján a szerzők szerkesztése.

## 5. Az acél ridegedése

A hidrogén felgyorsíthatja az acél anyagú csővezetékek állagromlását, mégpedig ridegedés formájában. A hidrogén molekulák miniatűr méretükből adódóan könnyen diffundálhatnak a fémek rácsszerkezetébe, ez alól pedig a földgázszállítás és elosztás során alkalmazott, acélból és annak ötvözetéből készített csővezetékek falai sem jelentenek kivételt (ACER, 2019) A jelenség különösen nagy nyomáson és hőmérsékleten figyelhető meg. A bediffundált hidrogén molekulák által okozott lyukak és repedések a csővezeték anyagának elvékonyodásához, repedéséhez vagy ridegedéséhez, végül teljes tönkremenetelhez vezethetnek (Melaina et al., 2013).

A jelenség az acélcsöveket érinti elsősorban, de a körülményektől függően fejti ki hatását. A fém ridegedésre való hajlamát több tényező határozza meg, melyek a következők lehetnek:

A csővezeték

- átmérője,
- gyártási éve,
- gyártási módja
- Az acél folyáshatára,
- A kén/foszforvegyületeket tartalmazó acélok tisztasága,
- A hegesztési eljárás és az abból származó jellemzők,
- A szállított gáz összetétele,
- Működési paraméterek

A ridegedés megelőzésére különböző műszaki megoldások merülhetnek fel, mint például a cső belső felületének kémiai védelme bevonat alkalmazásával, vagy a monitorozás intelligens csőgörény segítségével, esetleg a nagy nyomásváltozásokat elkerülendő, üzemi nyomáskezelés (Erdener et al., 2023). Fontos azt is megjegyezni, hogy nincs egységes megoldás, melyet alkalmazva bármely rendszeren elkerülhetővé válik a ridegedés folyamata. Az alkalmazásra kerülő műszaki megoldás mindig több tényezőtől függ, például a szállítási kapacitás igényektől, a gázhálózat műszaki állapotától, a gazdasági lehetőségektől. A kulcs az, hogy a megoldási lehetőségek rendelkezésre álljanak, a szállító és elosztó engedélyesek pedig a rendszereikre szabva alkalmazzák ezeket.

## 6. Biztonsági megfontolások

Ahogy azt korábban említettük, a hidrogén molekula sokkal kisebb, mint a földgáz fő összetevőjét adó metán molekula. Ez a méretkülönbség pedig nagyobb esélyt biztosít a periódusos rendszer első elemének a szivárgásra, ami gazdasági, illetve biztonsági kérdéseket is felvethet.

A jelenleg is működő földgáz-hálózat a nagyobb molekulával bíró szénhidrogén szállítására és elosztására van berendezkedve. Ennél fogva a hálózat és annak szerelvényei gáztömörek, de csak földgázra. A szivárgáskutatás és elhárítás, továbbá a kiáramló gáz észlelése is a földgázra van kalibrálva. Koncentrációtól függően ugyan, de a hidrogén földgáz-hálózatba történő bekeverése nagyobb üzemi nyomáshoz, a rideg törésből eredő repedésekhez, ebből fakadóan szivárgáshoz, gyújtóforrás és elegendő szivárgó gáz jelenlétében pedig robbanáshoz vezethet. Égési tulajdonságaiból fakadóan a hidrogén betáplálás növelheti a robbanások súlyosságát is. A 2. táblázatban láthatóak a metánra és hidrogénre vonatkoztatott alsó és felső gyulladási határtértékek, Ezen értékek alapján egyértelműen kijelenthetjük, hogy a hidrogén (4%-80%) esetén sokkal tágabb az a tartomány, melyben égés tud ki tud alakulni, mint a metán (4,36%-15,56%) esetén. A tágabb gyulladási határok miatt könnyebb az égést fenntartani is. Ezeken felül, a hidrogén lángterjedési sebessége (267 cm/s) több, mint hétszerese a metánra vonatkozó értéknek (35 cm/s), ami a lángstabilizálást nagymértékben elősegíti. Tehát ha szivárog a hidrogén, sokkal nagyobb esélye van a kialakuló gáz-levegő elegynek a robbanásra, mint ha csak földgáz lenne a rendszerben. A hidrogén betáplálás a beinjektált mennyiségtől függő mértékben ugyan, de mindenképpen növeli a gázszállítás biztonsági kockázatát. Ennélfogva kiemelt fontosságú a hidrogén-

földgáz keverékkel táplált hálózat tömörségének, integritásának biztosítása az új körülményeknek megfelelően. Továbbá a rendszer biztonságos üzemeltetéséhez szükséges ráadás elzárók, nyomásszabályozók, kompresszorok, monitor funkciót betöltő szerelvények beépítése elengedhetetlen a potenciális veszélyforrások megszüntetéséhez (Erdener et al., 2023).

## 7. A bekeverhető hidrogén mennyisége

A bekeverendő hidrogén mennyiségének részarányától függ az, hogy egy adott gázhálózatnak milyen konkrét, utólagos átalakításra lehet szüksége ahhoz, hogy üzembiztosan működhessen. Az elengedhetetlen módosítások mértéke legfőképp az adott rendszer műszaki jellemzőivel függ össze. Természetesen a beruházások szükségessége, illetve azok mértéke több tényező ismeretének függvényében határozhatók meg. Ilyen tényezők lehetnek:

- a gázhálózat topológiája,
- a szállítási távolságok,
- a hálózat berendezései, szerelvényei és anyagminőségei,
- a felhasználói berendezés és a gázkeverék kompatibilitása,
- a hálózat műszaki állapota.

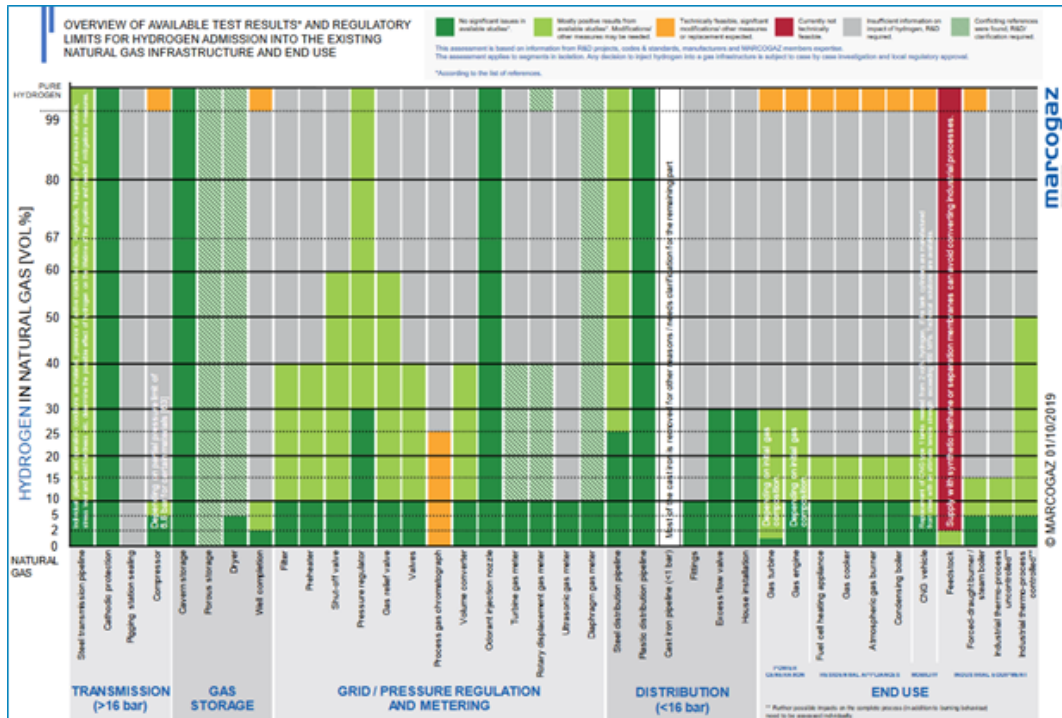
Fontos megjegyezni, hogy a földgáz-infrastruktúrába adagolható hidrogén mennyisége mindig az adott hálózat egyedi jellemzőinek függvényében változik, tehát nem lehet általánosítani. Minden rendszert külön meg kell vizsgálni a bekeverhetőségi maximumok tekintetében, majd a kapott eredmények függvényében lehet megtervezni a következő lépéseket, az átalakítási javaslatokat. Mivel a hidrogén égési tulajdonságai okot adnak fokozott biztonsági intézkedések alkalmazására, a kevert gázzal üzemelő hálózat precíz tervezése és monitorozása kritikus jelentőséggel bír (Raju et al., 2019)

A MARCOGAZ, mely egy, az európai gáziparra, és annak műszaki vonalára szakosodott nemzetközi egyesület, 64 különböző típusú, hidrogéntűrős témájú dokumentumot (K+F projektek, szabványok, gyártók leírásai) dolgozott fel, majd ezeket összegezte egy infografikán (*1. számú ábra*). A grafika segítséget nyújt a meglévő földgáz ellátó rendszer és a felhasználói berendezések különböző arányú hidrogén betáplálásra adott reakcióinak, és ezzel összefüggésben azok műszaki felkészültségének áttekintéséhez. Fontos megjegyezni, hogy a diagram készítői az anyagminőségeket és a funkcionális működés biztosíthatóságát vették alapul, a növekvő arányú hidrogén hatását a teljesítményre, hatékonyságra és kimeneti tényezőkre figyelmen kívül hagyva (MARCOGAZ, 2019).

Az *1. számú ábra* alapján általánosságban azt mondhatjuk, hogy viszonylag alacsony hidrogénkoncentrációk (akár 10% H<sub>2</sub> térfogat) mellett a kutatás alapját képező gázhálózatok nem igényelnek jelentősebb beruházásokat vagy módosításokat. Ennél magasabb hidrogénkoncentráció betáplálásának viszont már jelentős gazdasági vonzatai lehetnek. Látható, hogy esetleges módosításokkal a gázos infrastruktúra főbb elemei és a háztartási fogyasztók készülékei képesek akár 20 térfogatszázalék hidrogén betáplálása esetén is üzembiztosan működni. A földgáz-hidrogén keverék ipari felhasználásának lehetőségei már árnyaltabb képet mutatnak.

A hőleadó berendezések módosításokkal 15 térfogatszázalék hidrogént is tolerálnának, egyéb ipari folyamatok pedig legalább 5 térfogatszázalék mennyiséget, viszont az erőművi gázturbinák, a földgáz alapanyagként felhasználó iparágak és a CNG acéltartályok érzékenyek minimális hidrogéntartalomra is, így ezeken a területeken további kutatás-fejlesztési projektekre lenne szükség.

**1. ábra: A földgáz infrastruktúra és a felhasználói berendezések egyes elemeinek tűrése különböző arányú hidrogén betáplálás esetén**



Forrás: MARCOGAZ (2019)

A Kaliforniai Közüzemi Bizottság (California Public Utilities Commission) szintén készített egy tanulmányt, melynek témája a hidrogén földgáz infrastruktúrába történő bekeverése és az ezzel kapcsolatos tapasztalatok. A tanulmány eredményei alapján, a MARCOGAZ eredményeivel összhangban, maximum 5 térfogatszázalék hidrogén az a mennyiség, amivel a teljes gázellátó rendszer, beleértve a háztartási és ipari felhasználói berendezéseket is, képes üzembiztosan működni. Amint emelkedik a hidrogén térfogataránya, előfordulhat, hogy a felhasználói berendezések már bizonyos módosítások végrehajtása esetén képesek tolerálni a gázkeverék összetételének változását, a rendszer régen beépített elemei sérülékenyebbé válhatnak, továbbá növekedhet az elridegedés és a szivárgás kockázata. 20 térfogatszázalék hidrogén a földgázellátó rendszerben már a műanyag (PE; polietén) cső típusok esetén sem tekinthető maradéktalanul biztonságosnak, ugyanis a permeábilis csőfalba behatoló kétatomos molekulák erősen növelik a csővezeték kívüli gyulladás lehetőségét (Raju et al., 2019).



## 8. Konklúzió

Nagyon fontos az, hogy az energiahordozókkal kapcsolatos kockázatot perspektívába helyezzük. Minden nagyvolumenű energia-rendszer kockázatot jelent, még ha eltérő típusút is. A napjainkban üzemelő földgázzállító és elosztó rendszerek esetében a működtető engedélyesek évtizedes tapasztalatai alapján már van képünk az általános kockázatokról, ezek számszerűsíthetőek is. Ebből kifolyólag van egy kiindulási alap, mely bázisként szolgálhat a hidrogénkeverékekkel kapcsolatos kockázatok összehasonlításához

A hidrogén keverése a földgázvezetékbe a keverék koncentrációjától függően, de minden esetben nagyobb veszélyt jelent a gázvezeték-infrastruktúrára, a környezetre, továbbá az emberi életre is, mint amennyi veszélyt a földgázzállító vezeték képvisel. Ennek okán szigorúbb kockázatértékelést kell elfogadni a metán-hidrogén keverék csővezetékek tervezése során, mint a földgázvezetékek tervezése során.

## 9. Összefoglalás

A hidrogén földgázhálózatba keverése számos előnnyel jár, melyek közül az egyik legfontosabb az, hogy nagymértékben hozzájárulhat a gázrendszer dekarbonizációjához. A folyamat elősegíti a hidrogénpiacot a jövőbeli hidrogénalapú gazdaság felé is. A világ számos pontján indult már konkrét kísérleti projekt (THyGA, HyCARE, HypSter, HyNet), melyek a bekeverés nyújtotta előnyök feltérképezésén túl a megvalósítást akadályozó műszaki, jogi, gazdasági problémákat és kihívásokat is képesek felfedni. A különböző projektek és tanulmányok alapján, a hidrogénkeveréssel összefüggésben a legégetőbb problémákat a következő területek szolgáltatják:

- A hidrogén maximális térfogatszázalék aránya, amelynél a földgáz-infrastruktúra és a felhasználói rendszerek esetében nincs szükség kisebb módosításokra sem,
- A hidrogén nagyobb térfogatszázaléknak bekeverését lehetővé tevő módosítások típusai,
- A felhasználói berendezésekre gyakorolt hatások és a biztonsági következmények érvényesülése,
- A meglévő földgáz infrastruktúra tartósságára gyakorolt hatások, beleértve az állagromlást is
- A földgázvezetékek szivárgási arányára gyakorolt hatások,
- A szelepekre, szerelvényekre, anyagokra és hegesztésekre gyakorolt hatások,
- Az aktív korrózióvédelem alatt álló csővezetékekre gyakorolt hatások.

Ezen kihívások leküzdésére a megfelelő szakpolitikai, szabályozási és technikai döntéseket kell meghozni minden egyes esetben csővezetékdarab esetén. Minden hálózat egyedi paraméterekkel rendelkezik, ezért mindig a hálózatra szabottan kell a cselekvési tervet összeállítani, hogy az üzembiztos működési feltételeket garantálni lehessen.

## Köszönetnyilvánítás

A publikáció a „RRF-2.3.1-21-2022-00009, azonosítószámú, Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium megnevezésű projekt a Széchenyi Terv Plusz program keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének támogatásával valósul meg.”

## Irodalomjegyzék

- ACER (European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators) (2019): Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks – Final report. <[https://www.storengy.fr/sites/default/files/mediateque/pdf/2019-11/2019-06-28%20Measure%207%20-%20Rapport%202\\_final\\_EUK.pdf](https://www.storengy.fr/sites/default/files/mediateque/pdf/2019-11/2019-06-28%20Measure%207%20-%20Rapport%202_final_EUK.pdf)>
- ACER (European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators) (2021): Transporting Pure Hydrogen by Repurposing Existing Gas Infrastructure: Overview of existing studies and reflections on the conditions for repurposing <[https://acer.europa.eu/Official\\_documents/Acts\\_of\\_the\\_Agency/Publication/Transporting%20Pure%20Hydrogen%20by%20Repurposing%20Existing%20Gas%20Infrastructure\\_Overview%20of%20studies.pdf](https://acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/Transporting%20Pure%20Hydrogen%20by%20Repurposing%20Existing%20Gas%20Infrastructure_Overview%20of%20studies.pdf)>
- Ball, M., Wietschel, M. (2010): *The hydrogen economy – Opportunities and challenges*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511635359>
- Erdener, B. C., Sergi, B., Guerra O. J., Chueca, A. L., Pambour, K., Brancucci, C., Hodge, B.-M. (2023): A review of technical and regulatory limits for hydrogen blending in natural gas pipelines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48 (14): 5595–5617, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.254>
- Franklin-Mann, J., Kutka, D. (szerk) (2022): Hydrogen Enabling a zero-emission society. . Hydrogen Europe. <[https://hydrogen.revolve.media/2022/Hydrogen\\_Report\\_2022.pdf?utm\\_medium=email&\\_hsmi=234277674&\\_hsenc=p2ANqtz-8-SZdaHg3ineW84tEw5hSvUNQ8PdzTRvRp0EiuXQdLc7sKfLrs3QpNJAiLhxZ9WD76rwGQ8CP3B-M8t9XSOefrCX0ZvHSR0MxBr95\\_uZAvGpJT OZY&utm\\_content=234277674&utm\\_source=hs\\_automation](https://hydrogen.revolve.media/2022/Hydrogen_Report_2022.pdf?utm_medium=email&_hsmi=234277674&_hsenc=p2ANqtz-8-SZdaHg3ineW84tEw5hSvUNQ8PdzTRvRp0EiuXQdLc7sKfLrs3QpNJAiLhxZ9WD76rwGQ8CP3B-M8t9XSOefrCX0ZvHSR0MxBr95_uZAvGpJT OZY&utm_content=234277674&utm_source=hs_automation)>
- Hydrogen Tools (2022): Comparative properties of hydrogen and other fuels <<https://h2tools.org/hyarc/hydrogen-data/comparative-properties-hydrogen-and-other-fuels>>
- Mahajan, D., Tan, K., Vankatesh, T., Kileti, P., Clayton, C. R. (2022): Hydrogen Blending in Gas Pipeline Networks – A Review. *Energies*, 15 (10): 3582. <https://doi.org/10.3390/en15103582>
- MARCOGAZ (2019): Overview of available test results and regulatory limits for hydrogen admission into existing natural gas infrastructure and end use. <<https://www.marcogaz.org/wp-content/uploads/2019/09/H2-Infographic.pdf>>
- Melaina, M. W., Antonia, O., Penev, M. (2013): Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks. *A Review of Key Issues*. United States: N. p., Web. <https://doi.org/10.2172/1219920>
- Menzies, M. (2019): Hydrogen: The Burning Question. <<https://www.thechemicalengineer.com/features/hydrogen-the-burning-question/>>
- Raju, A. SK, Martinez-Morales, A., Lever, O., Penchev, M., Lim, T., Todd, M., Lever, E, Mathaudhu, S. (2019): Final report – Hydrogen Blending Impacts Study <<https://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Efile/G000/M493/K760/493760600.PDF>>
- Szunyog I. (2016): Éghető gázok tulajdonságai. Előadás.
- Topolski, K., Reznicek, E. P., Erdener, B. C., San Marchi, Ch., W., Ronevich, J. A., Fring, L., Simmons, K., Fernandez, O. J. G., Hodge, B.-M., Chung, M. (2022): Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Infrastructure: Review of the State of Technology. United States. <https://doi.org/10.2172/1893355>
- Vida M. (1991): *Gáztechnikai kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.