

A hidrogén földgázhálózatba történő bekeverése Műszaki és üzemeltetési kihívások

Blending hydrogen into the natural gas network Technical and operational challenges

VADÁSZI Marianna PhD

Miskolci Egyetem–Bányászat és Energia Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros, Magyarország;
marianna.vadaszi@uni-miskolc.hu; <http://www.bei.uni-miskolc.hu>

Abstract

In the process of decarbonization, the integration of hydrogen into the existing natural gas pipeline network attracts increasing attention. By utilizing the gas network infrastructure, the high costs of a dedicated hydrogen pipeline can be avoided. However, even with a small amount of hydrogen blending, complex changes can be achieved in both the transport and thermodynamic behaviour of the mixtures. In this article we give a concise overview of the technical challenges arising from mixing, examining the changes in the most important gas properties: viscosity, density and calorific value. To achieve higher hydrogen ratios, the compatibility of the entire system, flow profile, safety and performance must also be analysed. The publication was based on analyses and laboratory studies of previous projects.

Kulcsszavak

földgázhálózat, hidrogén gazdaság, hidrogén-betáplálás, gázmérés, hidrogén hatások,

1. BEVEZETÉS

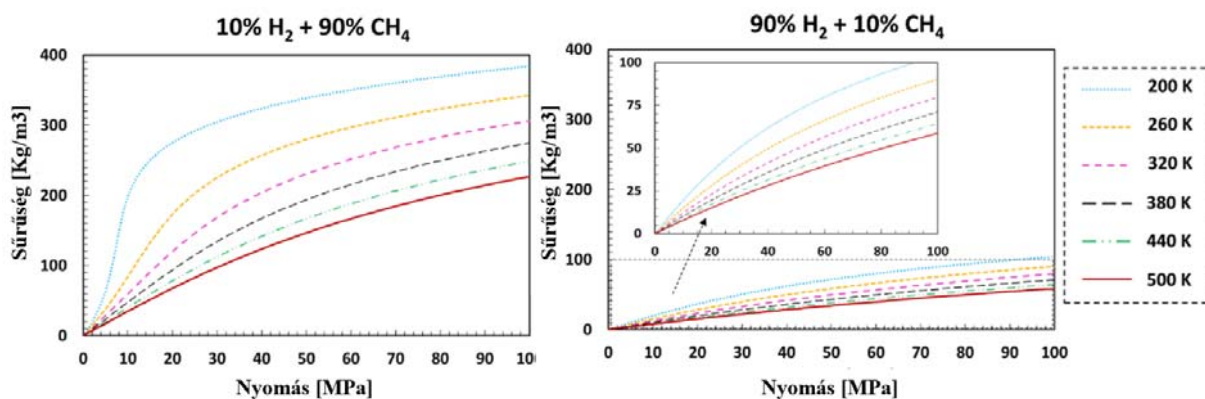
A hidrogénnek az energetikai alkalmazásokban való sokoldalú felhasználása, a meglévő földgázvezetékekbe való bekeverése, a hidrogén globális kutatását eredményezte. Legfontosabb előnyként a szénlábnyom csökkentését említhetjük. Ez a megközelítés számos kihívást von maga után. További előnyként említhetjük meg az energiahatékonyságot, a költség- és kibocsátás-csökkentést. [1] Az előnyök mellett aggályok is megjelennek, ilyen a meglévő rendszer kompatibilitása és a biztonsági kockázatok. [2] A hidrogén sajátos tulajdonságai gondos értékelést tesznek szükségessé, amely a csővezeték legkorlátozóbb összetevője alapján történik. [3] A hidrogén szállítása a csővezetékben, legyen az hozzátáplálás vagy tiszta hidrogén, kihívásokat jelent, befolyásolva a csővezetékek anyagait és a szabályozási megfelelést is. [4] Ennek az áttekintésnek az a célja, hogy felvázolja a technikai kihívásokat, figyelembe véve a hidrogén bekeverésével kapcsolatos különböző szempontokat. A cikk a jövőbeli kutatások irányába mutat azáltal, hogy rávilágít a hidrogénnek a meglévő földgázrendszerekbe való integrálásával kapcsolatos lehetőségekre és akadályokra. Végző soron a hidrogénkeverés célja az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklése.

2. A HIDROGÉN-BEKEVERÉS A SZÁLLÍTÁSI TULAJDONSÁGOKRA GYAKOROLT HATÁSA

A hidrogén a földgázhálózatba történő integrálása nagy hatással van a fluidum tulajdonságaira, befolyásolva az energiaátvitel dinamikáját. A fejezet ezeket a változásokat mutatja be, beleértve a viszkozitást, a sűrűséget, a fűtőértéket és a kritikus tulajdonságokat.

2.1. A sűrűség változása

A hidrogén betáplálása csökkenti a gázelegy sűrűségét az alacsonyabb molekulatömege miatt. Ez hatással van az áramlás viselkedésére, az áramlási sebességre és a nyomás változására. A hőmérséklet- és nyomásváltozások által befolyásolt gázsűrűség kulcsfontosságú a tervezés, az optimalizálás és a transzport folyamat értékelése szempontjából. Abd és munkatársai a sűrűség csökkenését szemléltetik növekvő hidrogén-bekeverés esetén. Az 1. ábra a GERG-2008 használatával vizuálisan mutatja be a sűrűség változásait. [5] A sűrűség értékek nagyobbak a metán nagyobb mólfrakciójának jelenlétében a vizsgált rendszerekben, mivel a metán sűrűsége lényegesen nagyobb, mint a hidrogéné. A sűrűség a nyomás növekedésével nő (Boyle-törvény), és csökken a hőmérséklet emelkedésével (Charles-törvény).

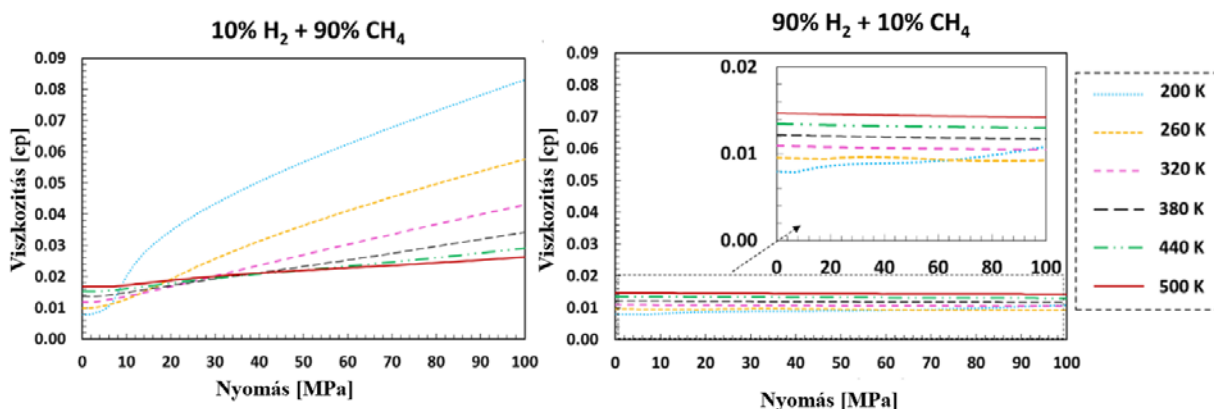


1. ábra

A sűrűség változása a nyomás függvényében 10 és 90% hidrogén koncentrációk hatására, változó hőmérsékleten [5]

2.2. A viszkozitás változása

A viszkozitás, amely kulcsfontosságú a csővezetékek nyomásvesztésének felméréséhez, a hidrogén bevezetésével szintén megváltozik. Diez és szerzőtársai a dinamikus viszkozitás kismértékű csökkenését figyelték meg földgáz-hidrogén elegyek esetében. [3] Ez a csökkenés befolyásolja az áramlás dinamikáját, a hőtadást, az áramlás tendenciáját és a turbulenciát. A viszkozitás jelentősége a szállítási értékelésekben betöltött szerepében rejlik, ahol a pontos előrejelzés olyan tényezőktől függ, mint a Reynolds-szám, amelyet a folyadék viszkozitása befolyásol. [6] A modellezett viszkozitási értékeket különböző hidrogéntartalmú metán elegyek esetén széles nyomás- és hőmérséklet-tartományban a GERG-2008 és SuperTRAPP modellel meghatározva a 2. ábra szemlélteti. [7]



2. ábra

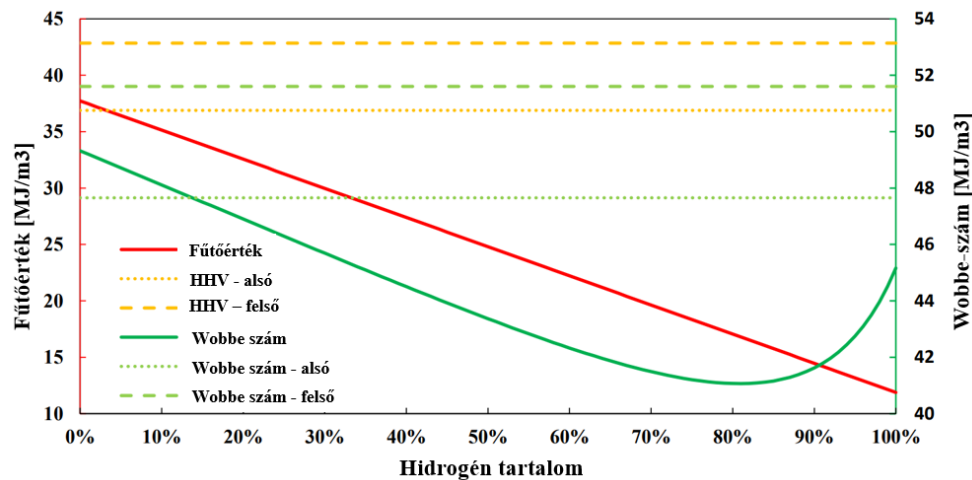
A viszkozitás változása különböző 10% és 90% hidrogéntartalmú földgáz esetén, a nyomás és a hőmérséklet függvényében [7]

A keverék viszkozitása a növekvő hidrogéntartalommal csökken, mivel a hidrogénnek lényegesen kisebb a viszkozitása, mint a metánnak, a kisebb molekulamérete miatt. A keverékek viszkozitása a nyomás és a hőmérséklet emelkedésével nő. Ez annak tudható be, hogy a nyomás vagy a hőmérséklet emelkedése megnöveli a molekulák véletlenszerű mozgásának sebességét, és így fokozódik a gázmolekulák ütközése, ami ellenáll a gáz áramlásának és növeli a viszkozitást. A metánban gazdag elegyek szokatlan viselkedése alacsonyabb hőmérsékleten a metán kritikus pontjához való közelségükből fakad. [7]

2.3. A fűtőérték alakulása

A fűtőérték fontos paraméter a tüzelőanyag energiataralmának elemzésekor. A fűtőérték (LHV Lower Heating Value - alsó fűtőérték) és a magasabb égéshő (HHV Higher Heating Value - felső fűtőérték) közötti különbséget az égéstermékben lévő víz látens hőmérséklete okozza. Bár a hidrogén energiasűrűsége tömegegységre vetítve nagyobb, mint a metáné, a metán térfogatra számított fűtőértéke több mint háromszorosa a hidrogénének. Ez azt jelenti, hogy a tüzelőanyag azonos térfogatára sokkal kevesebb hőt termel a hidrogén esetén, mint a földgáz. A gyakorlati tüzeléstechnikai alkalmazásokban azonban a fűtőérték nem a hőbevitelt befolyásoló fő paraméter. A

Wobbe-index az a tényező, amelyet általában használnak a tüzelőanyagok felcserélhetőségének értékelésére a hőleadás mértékének szempontjából. Ha két tüzelőanyagnak ugyanaz a Wobbe-indexe, akkor a hőteljesítmény állandó lesz, ha a bemeneti nyomást állandó értéken tartják a berendezés számára. [8]



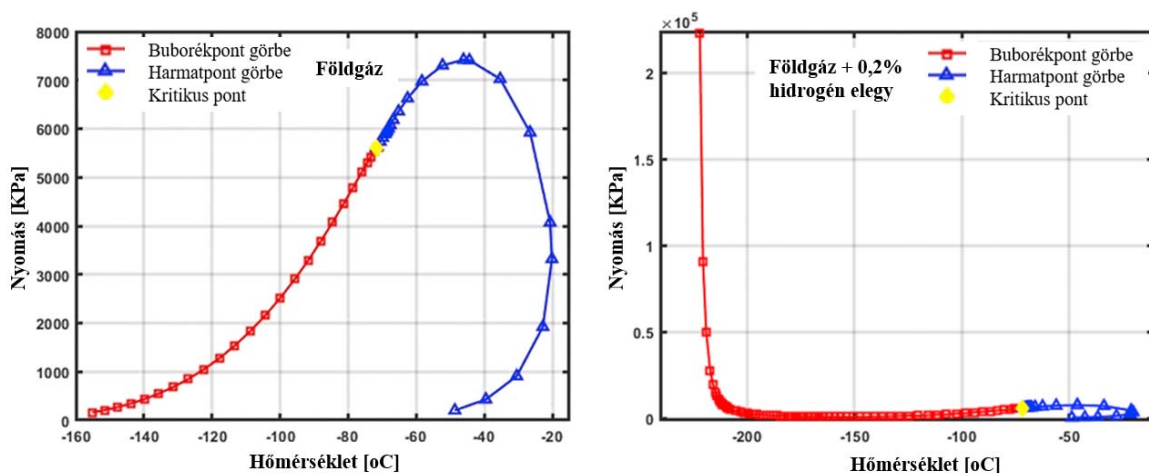
3. ábra

Hidrogén/földgáz elegyek fűtőérték és Wobbe-szám változása [8]

Az olyan tanulmányok, mint Witkowski et al. (2018) és Quintino et al. (2021), kiemelik, hogy a hidrogén vagy hidrogén-metán elegyek szállításakor a csővezetéken keresztül szállított energia alacsonyabb, mint földgáz esetén. [9] [10] Gondal (2019) esettanulmányában a Sui Northern Gas Pipelines Ltd-ben (SNGPL) tovább hangsúlyozza az átfogó szimulációs tanulmányok szükségességét a hatékony hidrogénfüggő energiarendszerek létrehozásához. [2]

2.4. A fázisgörbe változása

A hidrogén bekeverésének technikai következményei az egész gázhálózatban kiterjednek a termofizikai tulajdonságokra, a fázisegyensúlyra és a nyomás-hőmérsékleti viszonyokra. Abd és munkatársai kimutatták, hogy a hidrogéntartalom módosítja a földgázkeverékek kritikus tulajdonságait és fázisgörbéjét, amelyet a 4. ábra szemléltet. [5] Még az alacsony hidrogénkoncentráció is jelentősen megváltoztatja a fázisstartományt, befolyásolva az áramlási mechanizmust, a csővezeték kialakítását és a működési paramétereket. A vizsgálatok feltárják a hidrogén hatását az áramlás dinamikájára, a nyomáseloszlásra és a csővezeték belüli hőátadási mechanizmusokra. Ezek az összetett következmények gondos mérlegelést igényelnek a földgáz-hidrogén elegyek biztonságos és hatékony szállítása szempontjából.



4. ábra

A földgáz és 0,2% hidrogén földgáz elegy fázisdiagramja [5]

3. A HIDROGÉN HATÁSA A GÁZMÉRŐ RENDSZEREKRE

3.1. Hatás az áramlásmérőkre

A hidrogén földgázba történő bevezetése jelentős változásokat eredményez az elegy jellemzőiben, befolyásolja a mérési pontosságot és a rendszer kompatibilitását. Míg az 5-15%-os hidrogéntartalom minimális problémát jelent, a bizonytalanságok magasabb koncentrációknál nőnek, ami további kutatásokat tesz szükségessé. Dell'Isola kollégáival jelentős változásokat fogalmazott meg a fajsúly, a fűtőérték és a hangsebesség változásaiban a hidrogén akár 25% -os bekeverése esetén. [11]

Diez és szerzőtársai három fő mérőtípust (turbinás, ultrahangos és Coriolis gázmennyiség mérők) értékelték hidrogénszolgáltatás szempontjából. A turbinás gázárammérők korlátozzák a gázsebességet és a minimális áramlási követelményeket, a legtöbb gyártó legfeljebb 10% hidrogéntartalom kompatibilitást határoz meg. Az ultrahangos gázárammérők magasabb hidrogén koncentrációk esetén az áramlási sebesség korlátaival és bizonytalanságokkal szembesülnek. A folyamatos technológiai fejlesztés célja a 10% hidrogéntartalom mérésének lehetővé tétele. A Coriolis-mérők, bár teljes mértékben kompatibilisek a 100%-os hidrogén árammal, alacsonyabb sűrűséggel és eróziós kockázattal szembesülnek [3]

A különböző gázmérési technológiák eltérőek a hidrogénnel kevert földgáz áramok mérésére való alkalmasságban. Az olyan tényezők, mint hogy közvetlenül méri-e a tömegáramot, vagy ismert gáztulajdonságokat igényelnek-e a pontos térfogatáram-méréshez, befolyásolják alkalmazhatóságukat. A tömegárammérők, például az ultrahangos, a termikus tömeg és a Coriolis kompenzálhatják a gázkeverék összetételének változásait. A működési elvek, mint például a membrános és forgódugattyús gázárammérők mozgó alkatrészei kevésbé alkalmasak a nagynyomású hidrogén alkalmazásokhoz. A mérők elhelyezésével kapcsolatos megfontolások szintén befolyásolják a megfelelőséget. Egyetlen technológia sem egyértelműen jobb, és az alkalmasság olyan konkrét alkalmazási paraméterektől függ, mint az áramlási sebesség, a nyomás és a hőmérséklet.

Összefoglalva, a hidrogén betáplálás kihívások elé állítja a meglévő mérési rendszereket, mivel a kompatibilitást körülbelül 10% hidrogénnel korlátozza. A folyamatban lévő technológiai fejlődés célja e korlátok kezelése, de további kutatásokra van szükség a kevert gázáramok teljesítményének validálásához és a földgáz-hálózatokban lévő hidrogén teljes potenciáljának kiaknázásához.

3.2. A hidrogén hatása a gázminőség mérésére

A H₂NG (hidrogén földgáz elegyek) gázminőségének mérése kihívást jelent a földgázelemzésre tervezett hagyományos folyamat kromatográfok korláta miatt. A hélium vivőgázként való alkalmazása a folyamat kromatográfokban hasonló hővezető képességük miatt akadályozza a hidrogén kimutatását (151 W/mK hélium és 180 W/mK hidrogén esetében). Ennek kezeléséhez alternatív gáz halmazállapotú tüzelőanyagokhoz használt vagy egyedi iránymutatások alapján gyártott eszközökre van szükség. Az egyik ilyen megoldás egy négycsatornás kromatográf, amely hővezető detektorokkal (TCD) van felszerelve, amelyek argont és héliumot használnak vivőgázként. Ez a kromatográf képes meghatározni a földgáz-hidrogén elegyek komponenseit, beleértve a hidrogén tartalmat akár 37% mol/mol-ig, 3-5 perces elemzési ciklussal. [12] A finomítói szektorban egy másik megközelítés a háromcsatornás analizátorok alkalmazása TCD-vel és lángionizációs detektorral (FID) a hidrogéntartalom és más alapvető összetevők meghatározására a földgáz-hidrogén elegyekben 100% -ig. Ez az elemzés körülbelül 15 percet vesz igénybe, de további műszaki gázokat igényel, ami növeli a működési költségeket. Bár a hidrogén robbanásveszélyes jellege korlátozza vivőgázként való felhasználását a gázkromatográfiában, a hidrogént vivőgázként használó TCD-detektorokkal végzett kromatográfok 7,5 percre csökkenthetik az elemzési időt. [13] Ezenkívül TCD-vel ellátott egy- és kétszatornás kromatográfok is rendelkezésre állnak, amelyek megkönnyítik az olyan komponensek elemzését, mint a hidrogén, hélium, oxigén és egyébek. [14] Egy másik, földgázelemzésre szánt kromatográf a meghatározható komponensek széles skáláját kínálja, beleértve a hidrogéntartalmat akár 10%-ig, 10 és 40 perc közötti elemzési idővel. [15] Míg a finomítói gázelemzésre tervezett kromatográfok széles analitikai tartományban használhatók a hidrogén meghatározására, a metánelemzés korláta miatt bizonyos H₂NG-keverékek esetében nem alkalmasak. Következésképpen a megfelelő kromatográfok kiválasztása az adott alkalmazástól függ, figyelembe véve a hidrogénkoncentrációt és az érintett gázok elegyét.

4. A HIDROGÉN-BEKEVERÉS MEGVALÓSÍTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES KULCSFONTOSÁGÚ AJÁNLÁSOK ÉS STRATÉGIÁK

Az elvégzett szakirodalmi áttekintés alapján az alábbi javaslatokat lehet tenni a hidrogén meglévő földgázvezeték-rendszerekbe történő bekeverésének lehetséges hatásaira vonatkozó ismerethiány további pótlására:

- Kutatás, a hidrogéndiffúzió és a ridegedési folyamatok megismerésére és kezelésére fémekben, ötvözetekben és más, a földgáz-infrastruktúrában használt anyagokban.
- Az elasztomerek tanulmányozása az alkalmazási környezetükben valós működési körülmények között, hosszú távú teljesítmény vizsgálata a megfelelő rendszerirányítási stratégiák kidolgozásához szükséges adatok előállítása érdekében.
- A hidrogén polietilén csövekre gyakorolt hatásának vizsgálata.
- A fémcsővekre és alkatrészekre gyakorolt hatás elemzése nyomás alatt, feszültség és változó hidrogénkoncentráció alatt.
- Elektrokémiai töltési tanulmány készítése az elektrokémiai töltés szisztematikus módszertanának kidolgozása érdekében.
- Keverési technológiák és stratégiák kidolgozása az egységes keverés és gázösszetétel biztosítása érdekében az egész rendszerben.
- Stratégiák és technológiák értékelése (pl.: bevonatok a hidrogéndiffúzió mérséklésére, propánkeverés a Wobbe-szám követelményeinek kielégítésére stb.), A hidrogén anyagokra és az alkatrészek biztonságára és teljesítményére gyakorolt hatásainak kiküszöbölése vagy enyhítése.
- Eseti tanulmányok készítése a kulcsfontosságú alkatrészekről, berendezésekről és létesítményekről a működési kockázatok, a közbiztonság, a hálózat tartósságának és integritásának csökkentésére, valamint a készülékekre gyakorolt negatív hatások megelőzésére alkalmas megfelelő keverékszázalék meghatározása érdekében.
- Tanulmány készítése a szivárgásészlelésről, a szagosításról, a gázképződésről, a diszperziós dinamikáról és a biztonsági zónákról, figyelembe véve a gyúlékonyság, a gyulladás és a robbanás koncentráció határait. A rendszer integritására, tartósságára és biztonságára gyakorolt lehetséges hatások azonosítása különböző hidrogén-bekeverési százalékok mellett.
- Olyan stratégiák értékelése, amelyek felgyorsíthatják a hidrogén felhasználását és a földgáz-infrastruktúrába való bekeverését, beleértve a föld feletti tárolást, az elosztást, hidrogén előállítást és felhasználást, a csővezetékhez való csatlakozás kialakítását és az elektromos hálózattal való integrációt.
- A meglévő ellenőrzési, szivárgásészlelési, karbantartási és javítási eljárások aktualizálása, annak érdekében, hogy csökkentse a hidrogén szélesebb gyúlékonysági tartományából, alacsony gyulladási energiájából és nagy lángsebességéből adódó potenciális kockázati tényezőket.
- A gáz kompressziójára, minőségére, mérési pontosságára és integritására gyakorolt hatások értékelése kísérleti és modellezési vizsgálatok segítségével.
- Más nemzetközi kutatómunkák felülvizsgálata és elfogadása gyakorlati és releváns mértékben a gáztermelési, -tárolási, -szállítási, -elosztási és -végfelhasználói rendszerekben történő múltbeli és folyamatban lévő hidrogénfelhasználás alapján. [16]

5. KONKLÚZIÓ

Ez a szakirodalmi áttekintés feltárja a hidrogén földgázvezetékbe történő keverésének összetettségét és kihívásait, kiemelve a lehetséges előnyöket és a műszaki bonyolultságot. Az integráció olyan előnyökkel jár, mint a meglévő infrastruktúra kihasználása és az alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiaforrások beépítése, de a transzport folyamatok megváltozása miatt körültekintő megfontolásra van szükség.

Az összefoglaló hangsúlyozza, hogy a hidrogén-bekeverés hogyan változtatja meg a földgáz termofizikai tulajdonságait, befolyásolva az égést, a csővezetékek kialakítását és a végfelhasználás jellemzőit. A hidrogén földgázvezetékbe történő integrálása műszaki kihívásokat jelent, különösen a pontos gázmérési és -ellenőrzési infrastruktúra terén. Előfordulhat, hogy a meglévő műszerek eredendően nem alkalmasak a hidrogénnel kevert elegyekhez. Az áramlásmérő technológiák és a gázkromatográfiás rendszerek további kutatást és módosításokat igényelnek a változó hidrogénkoncentrációk függvényében, kiemelve a kalibrációs tartományok összetettségét.

A kihívások ellenére a hidrogén betáplálása lehetőséget kínál a megújuló hidrogén szállítására és a dekarbonizációra, hangsúlyozva a gondos elemzést, a regionális megfontolások és a folyamatos kutatás szükségességét. Az iparági szereplők, a tudományos élet és a politikai döntéshozók közötti együttműködés elengedhetetlen a kihívások leküzdéséhez és a meglévő gázinfrastruktúrán belüli ötvözésben rejlő lehetőségek teljes körű kiaknázásához. Az átfogó tesztelés és a folyamatos előrelépés elengedhetetlen a követelmények értékeléséhez, a biztonság biztosításához és a gazdasági megvalósíthatóság értékeléséhez különböző hidrogénkoncentrációk mellett, hozzájárulva a sikeres, alacsony szén-dioxid-kibocsátású energetikai átálláshoz.

Köszönetnyilvánítás

„A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.”

IRODALOM

- [1.] Topolski, K., Reznicek, E. P., Erdener, B. C., San Marchi, C. W., Ronevich, J. A., Fring, L., Simmons, K., Guerra Fernandez, O. J., Hodge, B.-M., & Chung, M. (2022). Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Infrastructure: Review of the State of Technology. National Renewable Energy Laboratory. Retrieved from <http://www.nrel.gov/publications>,
- [2.] Gondal, I. A. (2019). Hydrogen integration in power-to-gas networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(3), 1803-1815. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.164>
- [3.] Diez, N. G., Van der Meer, S., Bonetto, J., & Herwijn, A. (2020). Technical assessment of hydrogen transport, compression, processing offshore. *North Sea Energy*.
- [4.] Canadian Energy Research Institute. (2021) Canadian natural gas market supply and demand pathways of change. Calgary, AB: CERL.
- [5.] Abd, A. A., Naji, S. Z., & Hashim, A. S. (2019). Failure analysis of carbon dioxide corrosion through wet natural gas gathering pipelines. *Engineering Failure Analysis*, 105, 638-646.
- [6.] Heidaryan, E., Esmailzadeh, F., & Moghadasi, J. (2013). Natural gas viscosity estimation through corresponding states-based models. *Fluid Phase Equilibria*, 354, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2013.07.016>
- [7.] A. Hassanpouryouzband, E. Joonaki, K. Edlmann, N. Heinemann, J. Yang: Thermodynamic and transport properties of hydrogen containing streams, *Scientific Data*, July 2020
- [8.] Y. Z. Yan, Z. Vincent, Mcdonell Vincent, Mcdonell S. Samuelsen: Influence of hydrogen addition to pipeline natural gas on the combustion performance of a cooktop burner, April 2019 *International Journal of Hydrogen Energy* 44(23), DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.03.100
- [9.] Witkowski, A., Rusin, A., Majkut, M., & Stolecka, K. (2018). Analysis of compression and transport of the methane/hydrogen mixture in existing natural gas pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 166, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2018.08.002>
- [10.] Quintino, F. M., Nascimento, N., & Fernandes, E. C. (2021). Aspects of hydrogen and biomethane introduction in natural gas infrastructure and equipment. *Hydrogen*, 2, 301-318. <https://doi.org/10.3390/hydrogen2040022>
- [11.] Dell'Isola, M., Ficco, G., Moretti, L., Jaworski, J., Kadaga, P., & Kukulskazajac, E. (2021). Impact of hydrogen injection on natural gas measurement. *Energies*, 14 (24). <https://doi.org/10.3390/en14248461>
- [12.] www.inficon.com].
- [13.] Perkin Elmer: Transforming Together, Annual Report 2021.
- [14.] www.thermofisher.com
- [15.] Agilent: Advancing Quality of Life, Fiscal Year 2021 ESG Report
- [16.] A, Raju, A. Martinez-Morales: Hydrogen Blending Impacts Study 2022. The California Public Utilities Commission, Final Report, Riverside