

MISKOLCI EGYETEM MŰSZAKI FÖLD- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR  
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A doktori iskola vezetője:  
PROF. DR. SZÚCS PÉTER, egyetemi tanár



# **A MAGYAR FÖLDGÁZELLÁTÓ RENDSZER HIDROGÉN BEFOGADÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA**

**DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

Szerző:

SZOMBATI-GALYAS ANNA BELLA  
okl. olaj- és gázmérnök

Tudományos témavezetők:

PROF. DR. TIHANYI LÁSZLÓ, professor emeritus  
DR. SZUNYOG ISTVÁN, intézetigazgató egyetemi docens

Kutatóhely:

MISKOLCI EGYETEM MŰSZAKI FÖLD- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR  
BÁNYÁSZAT ÉS ENERGIA INTÉZET  
GÁZMÉRNÖKI INTÉZETI TANSZÉK

Miskolc, 2023.

# 1 Az értekezés célkitűzése

Napjaink egyik legsürgetőbb problémája az éghajlatváltozás megfékezése, amelynek egyik jelentős forrása az energiafelhasználáshoz köthető üvegházhatású gázok (továbbiakban ÜHG) légkörbe jutása. Európai szinten is erősödik az igény egy olyan, megújuló forrásból származó energiahordozóra, amely a hagyományos fosszilis tüzelőanyagok helyettesítésére részben, vagy teljesen alkalmas lehet. A hidrogén erre a célra megfelelőnek ígérkezik. A megújuló forrásból származó hidrogén egyik legnagyobb előnye a jelenleg alkalmazott fosszilis tüzelőanyagokkal szemben, hogy eltűzése során vízgőz keletkezik, ezzel jelentősen csökkentve a légkörbe kerülő CO<sub>2</sub>-kibocsátás mértékét.

Az Innovációs- és Technológiai Minisztérium 2020 januárjában megjelent „Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig” című tanulmánya szerint a meglévő földgáz-infrastruktúra „szezonális energiatárolóként” szolgálhat a jövőben. Ez előrevetíti azt a jövőképet, amely szerint a villamos energia- és hőtárolási megoldások egyik alternatívája lehet az energia „molekula formába” történő átalakítása, ezáltal hosszabb ideig tárolható és a felmerülő igényekhez igazodva használható fel. A már a piacokon is elérhető power-to-gas (továbbiakban P2G) technológia alkalmazásával fotovoltaiikus úton állítható elő a hidrogén, valamint szén-dioxid segítségével metán, amely így a földgázhálózatba kerülhet közvetlen betáplálásra, kiküszöbölve a napi és akár az éves szezonális kérdéseket (*Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája, 2021*).

Az éghajlatváltozás problémájának megoldása viszont nem ilyen egyszerű. A hidrogén tulajdonságai ugyanis jelentősen eltérnek a közszolgáltatásban alkalmazott földgáz tulajdonságaitól, ezzel komoly kihívás elé állítva a földgázellátó rendszer (beleértve a szállítói, tárolói, elosztói és felhasználói infrastruktúrákat is) üzemeltetőit. Emiatt számos ipari kutatás zajlik jelenleg is arra vonatkozóan, hogy meghatározzák azt a maximális hidrogéntartalmat, amelyet biztonságos üzemeltetési viszonyok mellett képesek tolerálni a földgázhálózatok, valamint a hozzá kapcsolódó gázfelhasználói berendezések.

Doktori kutatási munkám során olyan műszaki kérdéseket vizsgáltam meg, amelyek elősegíthetik a hidrogén földgázhálózaton keresztül történő hasznosíthatóságát Magyarországon. Az értekezésben megvizsgáltam a hidrogén magyar gázminőségi előírások által meghatározott paraméterekre gyakorolt hatását. A vízharmpont, illetve a szénhidrogén-harmpont változásának kérdése a magyar földgázrendszerbe történő betápláláshoz való előkészítés során jelentős, hiszen a hidrogén megjelenése akár a jelenleg alkalmazott technológia módosítását is szükségessé teheti. Megvizsgáltam a kereskedelmi minőségű propánnal történő minőségjavítás lehetőségét, amely esetében céltom egy olyan diagram

létrehozása, amellyel könnyen meghatározható a metán-hidrogén gázelegyhez keverhető propán mennyiség, megfelelően a hazai gázminőségi követelményeknek.

Emellett jelentős kérdésként vetődik fel, hogy a hidrogén földgázhoz való bekeverése milyen mértékben módosítja a gázvezetéken átvihető energiatartalmat, melynek számszerűsítésére egy egyenletet dolgoztam ki az elosztó-, valamint a szállítóhálózatra vonatkozóan, állandó nyomásvesztésű feltételezve. A vizsgált téma komplexitása érdekében célkitűzésem volt továbbá meghatározni a villamosenergiából megújuló alapon termelt hidrogénpotenciált Magyarországon, a rendelkezésre álló kapacitás források alapján. A bemutatott eredmények hozzájárulhatnak a hidrogén hazai földgázhálózati műszaki-szabályozási háttérének kidolgozásához is.

## 2 Tudományos előzmények

A hidrogén betáplálás során a már meglévő földgázhálózat alkalmazása számos előnnyel jár, melyek közül a legjelentősebb, hogy elkerülhető az új infrastruktúra kiépítése, ezzel jelentősen csökkenthetők a beruházási költségek. A klímasemlegesség elérése érdekében számos nemzetközi hidrogén-projekt indult az elmúlt években, vizsgálva a hidrogén előállításának, szállításának, elosztásának a lehetőségét, valamint a jelenleg üzemelő gázfogyasztó készülékek hidrogéntűrését. A hidrogén földgázhálózati betáplálásának vizsgálata során minden kutatás egyetért abban, hogy az üzemelő földgázhálózat alkalmas a hidrogén kismértékű befogadására, viszont számos kritikus kérdés jelentkezik a témában a hidrogén anyagminőségre és energetikai kérdésekre gyakorolt hatásai következtében (Scott és tsai, 2019; Liemberger és tsai, 2019; Quintino és tsai, 2021).

A hidrogén földgázhálózati bekeverhetőségének megengedett részarányát a világon számos helyen vizsgálják, meghatározva azt a mennyiséget, amelyet bekeverve, a földgázellátó rendszer biztonságosan üzemeltethető. Az alábbi táblázat a legjelentősebb európai földgázhálózati hidrogén betáplálási projekteket foglalja össze.

A legjelentősebb hidrogénprojektek Európában (Devinder és tsai, 2022)

Projekt neve	Ország	Év	Hidrogén részarány [V/V%]	Projekt mérettartománya
HyDeploy	Egyesült Királyság	2019	20	1500 db háztartás
East Neuk Power	Egyesült Királyság	2020	20	15 GWh/év
Aberdeen Vision	Egyesült Királyság	2020	20	300 db háztartás
HyNet Northwest	Egyesült Királyság	2021	100	30 TWh/év
HyNTS Hydrogen Flow Loop	Egyesült Királyság	2021	30	-
H21	Egyesült Királyság	2018	100	6,4 TWh/év
Hy4Heat	Egyesült Királyság	2018	100	-
HySpirit	Egyesült Királyság	2019	100	-
Zero 2050 South Wales	Egyesült Királyság	2020	100	-
Decarbonisation Pathway	Egyesült Királyság	2020	100	-
GRHYD	Franciaország	2014	20	200 db háztartás
THyGA	EU	2019	10-100	100 db háztartás és kereskedelmi ingatlan
WindGas Falkenhagen	Németország	2013	2	-
WindGas Hamburg	Németország	2015	2	-

Megjegyzés: A táblázatban feltüntetett évszám a projekt kezdetének időpontját jelöli.

Számos kutatás foglalkozik a hidrogén földgázhálózati betáplálásának hatásaival, szimulációs modellezésével. Jelentős kérdés, hogy a hidrogén földgázhálózati megjelenése milyen, a csővezetékben áramló tüzelőanyagra vonatkozó energetikai változásokat okoz, melyet már számos szerző vizsgálat alá vont a földgázellátó hálózatba történő betáplálás során jelentkező megoldandó kérdéseket elemezve. Kutatásaik alapján mindannyian arra a következtetésre jutottak, hogy a hidrogén földgázhálózati megjelenése rontja a tüzeléstechnikai jellemzőket,

emiat a tervezés során ezt a kérdést kiemelten kell kezelni (*Tabkhi és tsai, 2008; Di Lullo és tsai, 2021; Abd és tsai, 2021*).

Guandalini és tsai. egy gázvezeték szakaszra vonatkozó modellt dolgoztak ki nem állandósult állapotot feltételezve, hogy elemezzék a hidrogén fölgázhálózati betáplálásának dinamikai hatásait. Vizsgálataik során összehasonlítást végeztek egy földgázzal, majd hidrogénnel kevert földgázzal üzemelő vezetékszakasz esetében. Az elemzés során rámutattak a tüzeléstechnikai jellemzők változására, mint kiemelt értékelési szempont, valamint kimutatták, hogy a bekeverhető hidrogén részarány jelentősen korlátozott, melynek egyik oka a rendszer végpontján helyet foglaló gázfogyasztó készülékek.

Abeysekera és tsai. egy elméleti kisnyomású gázhálózatot vizsgáltak hidrogén és biometán bekeverés esetén. Az állandósult állapotot feltételező modell két megközelítést mutat be: a gázfogyasztók által igényelt gáztérfogatáramok figyelembevétele, valamint a fogyasztók energiaigényének követése, és szükség esetén a térfogatáram növelése. Az eredményeik azt mutatták, hogy a megújuló gázok jelentősen befolyásolják a gázminőséget, valamint az áramló közeg dinamikáját, különös tekintettel az áramlási sebességre és a nyomásra, viszont megfelelően szabályozva csökkentheti az importfüggőséget, valamint segítheti a villamoshálózat működését.

Cheli és tsai. egy reprezentatív városi gázhálózatot szimuláltak ipari és lakossági fogyasztókkal, valamint egy kapcsolódó P2G rendszerrel, amelyre egy állandósult állapotbeli modellt dolgoztak ki. Eredményeik alapján a bekevert hidrogén a Wobbe-szám jelentős csökkenését idézi elő. Egy algoritmust dolgoztak ki az egyes csomópontokban jelentkező nyomásvesztés és áramlási sebesség előrejelzésére.

Hafsi és tsai. tranziens hidrogén-földgáz gázelegy áramlásának numerikus szimulációját tanulmányozta hurkolt hálózatban egy olyan matematikai modell alapján, amely figyelembe veszi a gázelegy kompresszibilitási tényezőjének változását a nyomás szerint, izoterm körülmények között.

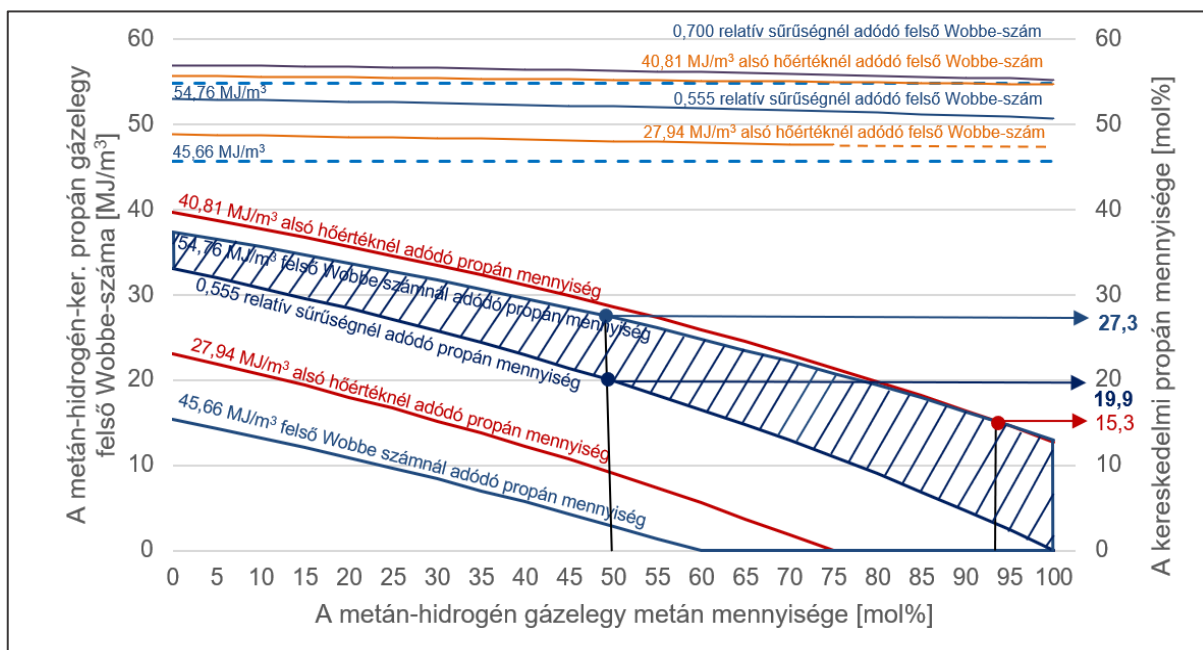
### 3 Új tudományos eredmények

#### 1. tézis

a) Kidolgoztam egy grafikus eljárást a kétkomponensű metán-hidrogén gázelegyhez hozzákeverhető, a földgázhálózati betáplálás esetén szükséges kereskedelmi propán mennyiségek meghatározásához 2H jelű gázminőség esetében.

*A tézis kifejtése:*

A határoló vonalakkal körbezárt sraffozott területen belül a metán-hidrogén-kereskedelmi propán által alkotott gázelegy kielégíti a földgázhálózati betáplálás követelményeit meghatározó MSZ 1648:2016 sz. szabvány paramétereit 2H gázminőség esetén.



A metán-hidrogén gázelegy kereskedelmi propánnal történő keverése során alkalmazható keverési határértékek az MSZ 1648:2016 szabvány által megengedett felső Wobbe-szám tartományának és relatív sűrűségének (2H) függvényében

Az ábráról bármely ismert összetételű metán-hidrogén gázelegy esetében leolvasható az a minimális és maximális kereskedelmi propán mennyiség, amelyet a kétkomponensű gázelegyhez keverve megfeleltethető a 2H gázminőségre vonatkozó, a földgázhálózati betápláláshoz szükséges gázminőségi követelményeknek.

**b) Meghatároztam azokat a peremfeltételeket, amelyekkel a kétkomponensű metán-hidrogén gázelegyhez hozzákeverhető, a földgázhálózati betáplálás esetén szükséges kereskedelmi propán mennyiséggel alkotott gázelegy megfeleltethető a magyar szabvány szerinti 2H jelű gázminőségnek.**

*A tézis kifejtése:*

Az általam elvégzett vizsgálatok eredményei alapján elmondható, hogy az ismert összetételű metán-hidrogén elegyhez legalább akkora mennyiségű kereskedelmi propán bekeverése szükséges, amellyel a keverék eléri az 0,555 relatív sűrűség értéket, ugyanis ebben az esetben elégíti ki az alsó hőértékre, felső Wobbe-számra, valamint a relatív sűrűsége vonatkozó előírásokat. Legfeljebb pedig akkora mennyiségben szükséges a minőségjavító kereskedelmi propán bekeverése, amellyel a keverék eléri a felső Wobbe-szám tartomány felső határértékét (54,76 MJ/m<sup>3</sup>). 93,0 mol% CH<sub>4</sub>-tartalmú metán-hidrogén gázelegy esetében a maximálisan bekeverhető kereskedelmi propán mennyiségének meghatározása már a felső Wobbe-szám helyett a szabvány szerinti alsó hőérték felső határa (40,81 MJ/m<sup>3</sup>) alapján történik, hiszen a gázelegy ezt a felső határértéket éri el hamarabb.

Peremfeltételek	<93,0 mol% CH <sub>4</sub>	≥93,0 mol% CH <sub>4</sub>
<b>megfeleltethetőség szerinti alsó határérték</b>	a metán-hidrogén-ker. propán gázelegy eléri a relatív sűrűsége vonatkozó szabvány szerinti alsó határértéket (0,555)	
<b>megfeleltethetőség szerinti felső határérték</b>	a metán-hidrogén-ker. propán gázelegy eléri a felső Wobbe-számra vonatkozó szabvány szerinti felső határértéket (54,76 MJ/m <sup>3</sup> )	a metán-hidrogén-ker. propán gázelegy eléri az alsó hőértékre vonatkozó szabvány szerinti felső határértéket (40,81 MJ/m <sup>3</sup> )

A metán-hidrogén-kereskedelmi propán által alkotott gázelegy magyar szabványnak való megfeleltethetőségi peremfeltételei 2H gázminőség esetében

## **2. tézis**

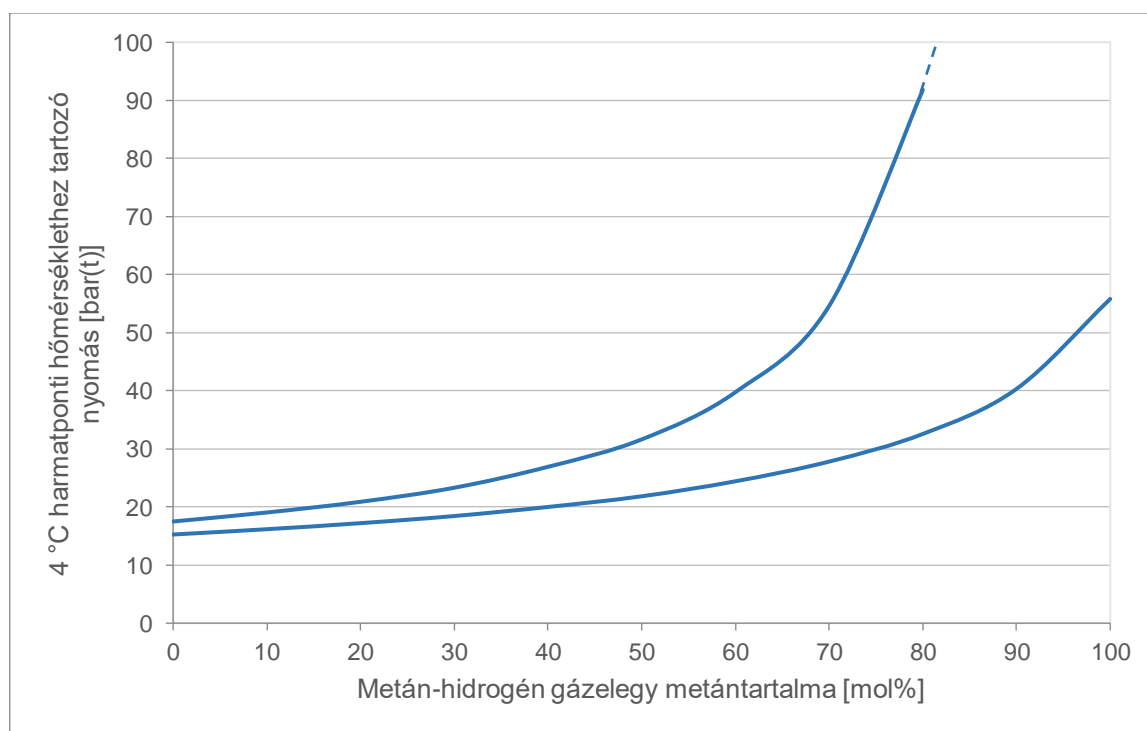
**Meghatároztam, hogy az MSZ 1648:2016 sz. szabvány értelmében, a földgázoknál használatos 4 °C-os szénhidrogén harmatponti hőmérsékleten, ismert összetételű metán-hidrogén gázelegy a szabványnak való megfeleltethetőség határértékeihez elérendő kereskedelmi propánnal történő minőségjavítása esetében mikor jelezhető előre a szénhidrogén-kondenzáció jelensége 2H gázminőség esetében.**

*A tézis kifejtése:*

A földgázrendszerben a szénhidrogén-kondenzáció jelensége nem megengedhető. A szénhidrogén kondenzáció nyomás és hőmérséklet közötti összefüggését az adott gázösszetételhez tartozó szénhidrogén-harmatponti görbe adja meg. Probléma jellemzően a magasabb szénatomszámú komponensek előfordulásakor adódik, amely kérdést kiemelten kell kezelni. A vizsgálatokat az Aspen HYSYS nevű szimulációs szoftverrel végeztem el. Az alsó görbe a relatív sűrűség alsó határához, míg a felső görbe a felső Wobbe-szám tartomány

felső határához történő, propánnal megvalósuló minőségjavítás során keletkezett metán-hidrogén-ker. propán gázelegy esetén mutatja meg (lásd az előző ábrán jelölt, sraffozott terület határoló vonalai), hogy 4 °C harmatponti hőmérsékleten mekkora nyomáson jelezhető előre a két határesetként jelentkező gázelegy esetében a szénhidrogén-kondenzáció.

Megállapításra került továbbá, hogy a hidrogén földgázhálózati megjelenése, földgázhoz való hozzákeverése kereskedelmi minőségű propán hozzákeverése nélkül nem fokozza a szénhidrogén-kondenzáció jelenségét, az eredetileg szolgáltatott földgáz adott nyomáson jelentkező szénhidrogén-harmatpontját csökkenti, hiszen – összetételéből adódóan – nem növeli meg a földgázösszetétel magasabb szénatomszámú szénhidrogén-tartalmát.



Metán-hidrogén-ker. propán alkotta gázelegy 4 °C hőmérsékleten jelentkező szénhidrogén-harmatponti görbéi az MSZ 1648:2016 sz. szabvány szerinti megfelelés alsó és felső határértékéhez beállítva 2H gázminőség esetén

### **3. tézis**

**Szimulációs vizsgálataim eredményei alapján kijelenthető, hogy 20 mol% hidrogén részarány földgázhálózati betáplálása esetében – a víztelítettség-változást figyelembe véve – nem szükséges technológiaváltás a hazai földgázrendszerben megtalálható gázminőségek vízhatárpontjának beállítása során.**

*A tézis kifejtése:*

Szimulációs vizsgálatokkal alátámasztásra került, hogy a hidrogén vízhatárpont módosító hatása a közszolgáltatásban alkalmazott 2H jelű földgázhoz keverve elhanyagolható mértékű. Az eredmények alapján légköri nyomáson a hidrogén csökkenti a földgázhoz maximálisan elegyíthető vízgőz mennyiségét, viszont magasabb nyomásokon ez a hatás megfordul, és a gázkeverék több vizet képes gőzfázisban tartani adott nyomáson és hőmérsékleten, mint a hidrogénmentes minta gázösszetétel esetében. Általánosságban elmondható, hogy a nyomás



növelésével ez az eltérés nő. Magyarországon a földgázhálózati minőségű gázok vízharmpontjának beállítása a gázelőkészítés során max. 70 bar nyomáson történik, ahol 20 mol% hidrogéntartalom jelenlétében a víztelítettség változásának értéke legfeljebb 3,09% a legkisebb vizsgált hőmérsékleten. Az eltérés értéke a hőmérséklet növelésével csökken az eredeti gázösszetételhez viszonyítva. Fontos megjegyezni, hogy jelen vizsgálat nem terjedt ki a gázelőkészítő technológiában alkalmazott anyagminőségek hidrogénállóságának meghatározására.

#### **4. tézis**

**A magyar földgázelosztó hálózaton jelentkező nyomásviszonyok mellett érvényes, a hidrogéntartalom hatására bekövetkező, a csővezetéken átszállítható energiatartalom-változást leíró összefüggést határoztam meg állandó nyomásveszteséget feltételezve.**

*A tézis kifejtése:*

A sűrűdésos Bernoulli egyenletből levezethető, a csővezeteki gázáramlás leírására szolgáló karakterisztikus egyenlet felhasználásával határoztam meg azt az összefüggést, amely megadja, hogy a tiszta metántartalomhoz viszonyítva mekkora mértékű átszállítható energiatartalombeli csökkenés jelentkezik egy szál csővezetéken a földgázelosztó-hálózaton jelentkező nyomásviszonyok mellett, állandó nyomásveszteséget feltételezve. Ennek a változásnak a kifejezésére került bevezetésre a KF konverziós faktor. Elmondható, hogy 10 bar üzemi nyomás alatt az áramló gáz közel ideálisnak tekinthető, a kompresszibilitási tényező értéke ezáltal 1-nek vehető figyelembe, vagyis nem befolyásolja a KF konverziós faktor értékének alakulását. Az általam meghatározott konverziós faktor az áramló közeg hőértéke ( $H_a$ ), valamint relatív sűrűsége ( $\rho_{rel}$ ) által meghatározott. Az egyenlet levezetése során állandó üzemi viszonyokat feltételeztem, a legfontosabb paraméter így a csővezeteki áramlás során jelentkező változatlan nyomásveszteség. Az eredmények alapján 10 mol%  $H_2$ -tartalom bekeverése esetén a tiszta metántartalomhoz viszonyított átszállítható energiatartalom 2 %-kal csökken ( $KF=0,98$ ), míg 20 mol%  $H_2$ -tartalom mellett ez az érték 5 % ( $KF=0,95$ ).

$$KF = \frac{E_{kev}}{E_{CH_4}} = \frac{H_{a_{kev}}}{H_{a_{CH_4}}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{rel_{CH_4}}}{\rho_{rel_{kev}}}} = \frac{\frac{H_{a_{kev}}}{\sqrt{\rho_{rel_{kev}}}}}{\frac{H_{a_{CH_4}}}{\sqrt{\rho_{rel_{CH_4}}}}}$$

Ahol

KF – konverziós faktor [-];

$E_{kev}$  – a gázelegy energiatartalma [kWh/m<sup>3</sup>];

$E_{CH_4}$  – a metán energiatartalma [kWh/m<sup>3</sup>];

$H_{a_{kev}}$  – a gázelegy alsó hőértéke [kWh/m<sup>3</sup>];

$H_{a_{CH_4}}$  – a metán alsó hőértéke [kWh/m<sup>3</sup>];

$\rho_{rel_{CH_4}}$  – a metán relatív sűrűsége [-];

$\rho_{rel_{kev}}$  – a gázelegy relatív sűrűsége [-].

## 5. tézis

Kidolgoztam egy olyan, a magyar földgázz szállító hálózaton jelentkező nyomásviszonyok mellett érvényes összefüggést, amellyel kiszámítható a hidrogéntartalom hatására bekövetkező átszállítható energiatartalom-változás egy állandó nyomásveszteséget feltételező csővezeték szakaszra vonatkozóan.

*A tézis kifejtése:*

Az elosztóhálózattal ellentétben, a nagy nyomású szállítóhálózat esetében nem hanyagolható el a kompresszibilitási tényező ( $z$ ) értéke a KF konverziós faktor meghatározásánál. Ennek megfelelően a KF konverziós faktor az alábbi képlet szerint számítható.

$$KF = \frac{E_{kev}}{E_{CH_4}} = \frac{H_{akev}}{H_{aCH_4}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{relCH_4} \cdot \overline{z}_{CH_4}}{\rho_{relkev} \cdot \overline{z}_{kev}}}$$

Ahol

KF – konverziós faktor [-];

$E_{kev}$  – a gázelegy energiatartalma [kWh/m<sup>3</sup>];

$E_{CH_4}$  – a metán energiatartalma [kWh/m<sup>3</sup>];

$H_{akev}$  – a gázelegy alsó hőértéke [kWh/m<sup>3</sup>];

$H_{aCH_4}$  – a metán alsó hőértéke [kWh/m<sup>3</sup>];

$\rho_{relkev}$  – a gázelegy relatív sűrűsége [-];

$\rho_{relCH_4}$  – a metán relatív sűrűsége [-];

$\overline{z}_{kev}$  – a gázelegy átlagos kompresszibilitási tényezője [-];

$\overline{z}_{CH_4}$  – a metán átlagos kompresszibilitási tényezője [-].

Szimulációs vizsgálatokkal igazolásra került továbbá, hogy amíg a metán kompresszibilitási tényezője a nyomás növekedésével csökken, addig a hidrogén esetében növekedés tapasztalható, vagyis a metán-hidrogén gázelegy kompresszibilitási tényezőjének alakulására a két komponens viselkedése ellentétesen hat. A másik jelentős eltérés, hogy a hidrogén kompresszibilitási tényezője a hőmérséklettől szinte független, a különböző hőmérsékletre tartozó görbék közel egybeesnek.

## 6. tézis

**Lineáris regresszió segítségével meghatároztam a KF konverziós faktor kiszámítására szolgáló összefüggést 20-75 bar(a) nyomás- és 0-50 °C hőmérséklettartományban, 0-100 mol% hidrogéntartalom CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub> gázelegy esetén.**

*A tézis kifejtése:*

A KF konverziós faktor meghatározása széles vizsgálati tartományban megtörtént, amely esetében a görbék lefutása egyenessel jól közelíthetőnek bizonyult. Ez alapján a vizsgált nyomás- és hőmérséklet tartományokban az eltérő összetételű metán-hidrogén gázelegyek konverziós tényezője az alábbi összefüggéssel határozható meg, amely lineáris regresszió segítségével került leírásra:

$$KF = \alpha \cdot p + \beta$$

Ahol

p – átlagnyomás [bar(a)];

$\alpha$ ,  $\beta$  – paraméterek [-].

Az egyenlet alkalmazása során célszerű a vezetéken jelentkező átlagnyomás behelyettesítése annak érdekében, hogy a vezeték hossza mentén érvényes átlagértékek kerüljenek figyelembevételre. Az egyenlet abszolút hibájának tartománya 20 mol% hidrogéntartalom esetén 0,3-0,5 % közötti, legnagyobb eltérés 50 mol% H<sub>2</sub>-tartalom mellett tapasztalható, de nem haladja meg a 0,8 % értéket.

### **a) Meghatároztam a KF konverziós faktor kiszámítására szolgáló összefüggésben szereplő $\alpha$ jelű paramétert.**

*A tézis kifejtése:*

A vizsgálatok alapján láthatóvá vált, hogy az  $\alpha$  paraméter mind a hőmérséklettől, mind pedig a hidrogéntartalomtól függ. A hőmérsékletfüggést leíró görbék egy másodfokú polinommal jól közelíthetőek, így az összefüggés az alábbiak szerint alakul:

$$\alpha = \gamma \cdot T^2 + \delta \cdot T + \varepsilon$$

Ahol

$\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\varepsilon$  – hőmérsékletfüggést kifejező paraméterek [-];

T – hőmérséklet [°C].

A hőmérsékletfüggést leíró  $\gamma$ ,  $\delta$  és  $\varepsilon$  paraméterek hidrogéntartalomtól függő viselkedés harmadfokú polinommal kellő pontossággal leírható:

$$\gamma = -2,847 \cdot 10^{-13} \cdot (H_2)^3 + 5,601 \cdot 10^{-11} \cdot (H_2)^2 - 3,576 \cdot 10^{-9} \cdot (H_2) - 7,357 \cdot 10^{-9}$$

$$\delta = 3,932 \cdot 10^{-11} \cdot (H_2)^3 - 7,951 \cdot 10^{-9} \cdot (H_2)^2 + 5,485 \cdot 10^{-7} \cdot (H_2) + 7,216 \cdot 10^{-7}$$

$$\varepsilon = -2,280 \cdot 10^{-9} \cdot (H_2)^3 + 5,003 \cdot 10^{-7} \cdot (H_2)^2 - 3,894 \cdot 10^{-5} \cdot (H_2) - 1,865 \cdot 10^{-5}$$

Ahol

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$  – hidrogéntartalmat kifejező paraméterek [-];

$H_2$  – hidrogéntartalom [mol%].

**b) Meghatároztam a KF konverziós faktor kiszámítására szolgáló összefüggésben szereplő  $\beta$  jelű paramétert.**

*A tézis kifejtése:*

A vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a  $\beta$  paraméter a hőmérséklettől indifferens, kizárólag a  $H_2$ -tartalom által befolyásolt. A paraméter lefutása harmadfokú polinommal kellő pontossággal leírható az alábbiak szerint:

$$\beta = 5,807 \cdot 10^{-7} \cdot (H_2)^3 - 6,361 \cdot 10^{-5} \cdot (H_2)^2 - 9,050 \cdot 10^{-4} \cdot (H_2) + 9,900 \cdot 10^{-1}$$

## 4 Gyakorlati hasznosíthatóság

A tudományos kutatómunkára alapozott értekezésem elkészítése során számos olyan kérdésben sikerült eredményeket felmutatnom, melyek nagymértékben hozzájárulhatnak a hazai hidrogén- és földgázipar együttműködéséhez, valamint elősegíthetik a Magyarországon termelt hidrogén földgázvezetési hálózati betáplálásához szükséges műszaki-szabályozási kérdések minél előbbi kidolgozását. Az értekezés által közvetítendő eredmények alkalmasak az ipari szakemberek számára a hidrogén földgázvezetési hálózati betáplálásra történő előkészítés során felmerülő műszaki kérdések megoldására, így megteremtve a földgázvezetési hálózat biztonságos és folyamatos üzemeltetését. Az értekezésben bemutatott kutatási eredmények alkalmasak lehetnek továbbá a magyar földgázipar hidrogénnel szemben támasztandó, jelenleg még kidolgozásra váró műszaki-szabályozási előírásainak előkészítésére.

Az értekezésem eredményei jól hasznosíthatók a gázipari szakemberek graduális és posztgraduális oktatásában, mivel a hidrogén földgázvezetési hálózati betáplálása és szállítása körül jelenleg igen hiányosak az ismeretek, jelenleg is számos kutatás alapját képezve Európában. Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája a hidrogénnel és a hidrogéntekológiával kapcsolatos ismeretek bővítése tekintetében kiemelt intézkedésként említi az oktatási programok kidolgozását, tananyagok fejlesztését és / vagy EU-s tananyagok adaptálását. Úgy gondolom, az értekezésem segítséget nyújthat ezen tananyagok kidolgozásában.

Az értekezés által bemutatott tudományos eredmények továbbfejlesztésének egyik lehetséges irányvonalaként kínálkozik egy olyan számítógépes szoftver kidolgozása, amely az adott területen szolgáltatott földgázhoz kevert hidrogén esetében megadja a maximálisan bekeverhető mennyiséget, hogy az még megfeleljen a magyar gázminőségi követelményeknek.

További céлом volt, hogy a megjelenített eredmények, és a hozzájuk tartozó elméleti, szakirodalmi példák segítségével a témakört minden érdeklődő szakember számára érthetővé tegyem. Remélem, hogy a bemutatott eredményekkel sikerült felkeltenem mind a földgáz-, és mind a hidrogénipar egyes szereplőinek érdeklődését.

## 5 A szerző témában megjelent publikációi időrendi sorrendben

**Galyas A. B.**, Szunyog I., Tihanyi L. (2017): Az egységes európai gázminőségi előírások hatása a hazai földgázellátó rendszerbe betáplált gázminőségekre, *Műszaki Földtudományi Közlemények*, (2063-5508): 86. 1 pp. 129-137.

**Galyas A. B.**, Szunyog I. (2020): A hidrogén hatása a földgázhálózati gázminőségre, *Műszaki Földtudományi Közlemények*, (2063-5508): 89 1 pp. 221-226.

**Galyas A. B.**, Szunyog I. (2020): A hidrogénnek, mint a jövő energiahordozójának tartályban való tárolási alternatívái, *Műszaki Földtudományi Közlemények*, (2063-5508): 89 1 pp. 216-220

**Galyas A. B.**, Kis L., Tihanyi L., Szunyog I. (2020): A víztelítettség vizsgálata a földgáz hidrogéntartalmának függvényében, *Magyar Épületgépészet* (1215-9913): 69 2020/9. szám pp. 10-15.

Szunyog I., **Galyas A. B.** (2020): A földgáz hidrogénnel történő helyettesítésének potenciálja Magyarországon, *Műszaki Földtudományi Közlemények* 89: 1 pp. 227–233., 7 p.

Szunyog, I., **Galyas, A. B.** (2020): Reduction of Pollutants in the Residential Sector by Mixing Hydrogen into the Natural Gas Network in Hungary, *Acta Technologia: International Scientific Journal about Technologies* 6:4 pp. 111-117.

**Galyas A. B.**, Szunyog I. (2021): A metán-hidrogén gázelegy kereskedelmi propánnal történő minőségjavításának peremfeltételei a hazai földgázellátó rendszeren, *Magyar Épületgépészet* (1215-9913): 70 3 pp. 9-16.

Kis, L., **Galyas, A. B.**, Szunyog, I., Tihanyi, L. (2021): Investigation of the water content of CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub> system, *Acta Technologia: International Scientific Journal about Technologies* (2453-675X): 7 1 pp. 1-8.

**Galyas A. B.**, Szunyog I., Kis L., Tihanyi L., Vadászi M. (2021): A hidrogén energiatartalomra gyakorolt hatásának vizsgálata a hazai földgázelosztó hálózatba történő betáplálás esetén, *Energiagazdálkodás* (0021-0757): 62. évf. 2-3. szám pp. 42-44.

Molnár Z., Lékó Cs., **Galyas A. B.**, Szunyog I. (2021): A hidrogéntartalmú földgáz hatása az expanziós gázelőkészítő technológiára, *Magyar Energetika* (1216-8599): 28 3. pp. 25-29.

**Galyas A. B.**, Szunyog I., Vadászi M. (2022): A földgázfelhasználás hidrogénnel történő helyettesítésének elméleti potenciálja Magyarországon, *Épületgépész: A Magyar Épületgépészek Szövetségének Szaklapja* (2063-5400): 11 pp. 38-41.

Lakatos I., Vadászi M., Szunyog I., **Galyas A. B.** (2022): A hidrogén porózus közegben történő tárolása, *Bányászati és Kohászati Lapok-Bányászat* (0522-3512): 155 1-2 pp. 62-69.

**Galyas, A. B.**, Kis, L., Tihanyi, L., Szunyog, I., Vadaszi, M., Koncz, A. (2023): Effect of hydrogen blending on the energy capacity of natural gas transmission networks, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 48, Issue 39, Pages 14795-14807, ISSN 0360-3199, (<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.198>)

Vadaszi, M., Szunyog, I., **Galyas, A. B.** (2023): The Role of Hydrogen Connected to the Existing Natural Gas Infrastructure in the Hungarian Energy Transition, In: *IEEE - IEEE (szerk.) 2023 19th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok: IEEE, pp. 1-5., 5 p.

## 6 A téziszűzet hivatkozásai

- Abd, A. A., Naji, S. Z., Thian, T. C., Othman, M. R. (2021): Evaluation of hydrogen concentration effect on the natural gas properties and flow performance, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (1), pp. 974-983, 10.1016/j.ijhydene.2020.09.141
- Abeysekera, M., Rees, M., Wu, J. (2014): Simulation and analysis of low pressure gas networks with decentralized fuel injection, *Energy Procedia*, 61, pp. 402-406, 10.1016/j.egypro.2014.11.1135
- Cheli, L., Guzzo, G., Adolfo, D., Carcasci, C. (2021): Steady-state analysis of a natural gas distribution network with hydrogen injection to absorb excess renewable electricity, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 46, Iss. 50, pp. 25562-25577, ISSN 0360-3199
- Devinder, M., Kun, T., Venkatesh, T., Pradheep, K., Clive, R. C. (2022): Hydrogen Blending in Gas Pipeline Networks - A Review, *Energies*, MDPI, vol. 15(10), pp. 1-32.
- Di Lullo, G., Oni, A. O., Kumar, A. (2021): Blending blue hydrogen with natural gas for direct consumption: examining the effect of hydrogen concentration on transportation and well-to-combustion greenhouse gas emissions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (36), pp. 19202-19216, 10.1016/j.ijhydene.2021.03.062
- Guandalini, G., Colbertaldo, P., Campanari, S. (2017): Dynamic modeling of natural gas quality within transport pipelines in presence of hydrogen injections, *Applied Energy*, 185, pp. 1712-1723, 10.1016/j.apenergy.2016.03.006
- Hafsi, Z., Elaoud, S., Mishra, M. (2019): A computational modelling of natural gas flow in looped network: effect of upstream hydrogen injection on the structural integrity of gas pipelines, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 64, pp. 107-117.
- Liemberger, W., Halmschlager, D., Miltner, M., Harasek, M. (2019): Efficient extraction of hydrogen transported as co-stream in the natural gas grid - the importance of process design, *Applied Energy*, 233–234, Article 747763, 10.1016/j.apenergy.2018.10.047
- Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája - Stratégia a tiszta hidrogén és hidrogéntekológiák hazai bevezetésére és a hidrogénipar háttérbázisának megteremtésére, Innovációs és Technológiai Minisztérium, (2021. május)
- Nemzeti Energia- és Klímaterv, Innovációs és Technológiai Minisztérium, (2020)
- Quintino, F. M., Nascimento, N., Fernandes, E. C. (2021): Aspects of hydrogen and biomethane introduction in natural gas infrastructure and equipment, *Hydro*, 2 (3), pp. 301-318, 10.3390/hydrogen2030016
- Scott, M., Powells, G. (2019): Blended hydrogen: the UK public's perspective, (<https://www.ncl.ac.uk/media/wwwnclacuk/geographypoliticsandsociology/files/news/blended-hydrogen-the-uk-publics-perspective.pdf>)
- Tabkhi, F., Azzaro-Pantel, C., Pibouleau, L., Domenech S. (2008): A mathematical framework for modelling and evaluating natural gas pipeline networks under hydrogen injection, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (21), pp. 6222-6231, 10.1016/j.ijhydene.2008.07.103

# Jegyzetek