

Végfelhasználói berendezések hidrogénállóságára vonatkozó műszaki ismeretek

Budapest, 2024.06.30.

Tartalom

1	BEVEZETÉS	3
2	HIDROGÉN ÉS FÖLDGÁZ FŐBB JELLEMZŐI, ÖSSZEHASONLÍTÁSUK	3
2.1	HIDROGÉN ÉS FÖLDGÁZ FIZIKAI TULAJDONSÁGAI, FŐBB ELTÉRÉSEK.....	3
2.2	HIDROGÉN ÉS FÖLDGÁZ KEVERHETŐSÉGE ÉS A GÁZELEGY VONATKOZÁSÁBAN FELMERÜLŐ MŰSZAKI KIHÍVÁSOK.....	7
3	VÉGFELHASZNÁLÓI BERENDEZÉSEK MEGHATÁROZÁSA	10
3.1	IPARI VÉGFELHASZNÁLÓI ESZKÖZÖK	10
3.2	LAKOSSÁGI ÉS KERESKEDELMI VÉGFELHASZNÁLÓI ESZKÖZÖK	11
4	NEMZETKÖZI TAPASZTALATOK, PROJEKTEK, FŐBB EREDMÉNYEIK	19
4.1	NAGY-BRITANNIA	19
4.2	NÉMETORSZÁG.....	24
4.3	UKRAJNA	26
4.4	JAPÁN.....	29
4.5	EUS/KONZORCIÁLIS TANULMÁNYOK.....	31
5	HAZAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA	32
5.1	MHTSZ TANULMÁNY	34
5.2	BME VIZSGÁLATOK	35
5.3	MISKOLCI EGYETEM VIZSGÁLATOK	36
6	BEKEVERÉS MŰSZAKI FELTÉTELRENDSZERE A VÉGFELHASZNÁLÓI BERENDEZÉSEK TEKINTETÉBEN	38
6.1	MEGLÉVŐ VÉGFELHASZNÁLÓI BERENDEZÉSEK.....	38
6.2	ÚJ BERENDEZÉSEK – MŰSZAKI ELŐÍRÁSOK	48
7	MINŐSÉG, MÉRÉS, ELSZÁMOLÁS	53
7.1	FÖLDGÁZ MINŐSÉG HARMONIZÁCIÓJA AZ EU-BAN	53
7.2	BERENDEZÉSEK MEGFELELŐSÉGE	56
7.3	ENERGIATARTALOM ALAPÚ ELSZÁMOLÁS PROBLÉMAKÖRE ÉS MŰSZAKI LEHETŐSÉGEI A VÉGFELHASZNÁLÓKNÁL.....	56
7.4	MÉRŐESZKÖZÖK MŰSZAKI LEHETŐSÉGEI	61
8	ÖSSZEFOGLALÁS	65
9	FOGALOMTÁR.....	66
10	RÖVIDÍTÉSEK.....	71
11	IRODALOMJEGYZÉK	72

1 Bevezetés

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen működő Zéró Karbon Központ abból a felismerésből született, hogy a „zöld átmenet” során olyan üzleti és technológiai újítások játszák majd a főszerepet, amelyek nem csak a kutatási és innovációs szféra számára kínálnak lehetőségeket, de a hazai háttérpar megerősítésével a gazdaságfejlesztés fontos eszközeivé is válhatnak. A dekarbonizáció és a gazdaságfejlesztés szempontjainak párhuzamos érvényesítéséhez azonban a műszaki és a társadalomtudományok szoros együttműködésére van szükség. A ZKK ehhez az együttműködéshez nyújt platformot azzal a céllal, hogy Magyarország – a hazai innovációs és tudásbázisra építve, de a nemzetközi együttműködés lehetőségeit is kihasználva – a jövő kulcstechnológiáit és piacszerkezési megoldásait a lehető leghamarabb a gyakorlatban is alkalmazhassa.

A Zéró Karbon Központ megbízást kapott a HUMDA Magyar Mobilitás-fejlesztési Ügynökség Zrt-től végfelhasználói berendezések hidrogénállóságára vonatkozó műszaki ismeretek hazai és külföldi tanulmányokon alapuló feldolgozására, szintézisére.

2 Hidrogén és földgáz főbb jellemzői, összehasonlításuk

2.1 Hidrogén és földgáz fizikai tulajdonságai, főbb eltérések

A hidrogén földgázhálózati betáplálása, bekeverése és e mentén a végfelhasználói berendezésekre gyakorolt hatása szempontjából első lépésként a gázok alapvető fizikai és kémiai tulajdonságainak vizsgálatát és összehasonlítását kell megejteni, hogy ez alapján meg tudjuk határozni a bekeveréssel felmerülő műszaki kockázatokat.

Az első táblázat a hidrogén és földgáz főbb fizikai tulajdonságait tartalmazza normálállapotban (0°C hőmérsékleten és 101 325 atmoszféra nyomáson).

2.1. táblázat: Földgáz és hidrogén főbb fizikai tulajdonságai. [1][2]

Tulajdonság	Földgáz	Hidrogén
Moláris tömeg (g/mol)	16,409	2,016
Sűrűség (kg/m ³)	0,695	0,089
Forráspont (°C)	- 162	- 253
Hőérték (LHV, MJ/m ³)	34,207	10,223
Hőérték (HHV, MJ/m ³)	37,973	12,102
Hőérték (LHV, MJ/kg)	42-55 MJ/kg	120,0
Hőérték (HHV, MJ/kg)		141,7
Fűtőérték Magyarországon (MJ/m ³)	34,00 MJ/ m ³ ± 5%	
Gyulladás hőmérséklet (°C)	595-645	500
Robbanási koncentráció (V/V%)	4,3-15,6	4,0-77,0
Legalacsonyabb gyulladási energiaigény (mJ)	0,3	0,019
Lángterjedési sebesség (m/s)	~0,34	~2,67
Alsó Wobbe-szám (MJ/m ³)	45,406	38,758
Felső Wobbe-szám (MJ/m ³)	50,407	45,880
Kinematikai gázviszkozitás (m ² /s)	0,01-0,03	0,84

A két legfontosabb eltérés a hidrogén és földgáz között a gázok energiatartalma és égési tulajdonságaik. Energiasűrűség tekintetében a hidrogén a legmagasabb energiatartalommal bíró elem, ha egységtömegre vonatkoztatunk, közel 2,5-3-szorosa a földgáznak, azonban térfogategységre vonatkoztatva a földgáz energiasűrűsége magasabb, nagyjából háromszorosa a hidrogénének. Ez utóbbit azt is jelenti, hogy egységnyi energiamennyiség szállításához közel háromszoros tárfogatáramot kell biztosítani egy adott fogyasztó berendezésen vagy csővezeték keresztmetszetén egységnyi idő alatt. Itt érdemes megjegyezni, hogy a gázok dinamikus viszkozitása is eltérő a hidrogén javára, más szóval a súrlódási nyomásvesztés kisebb mértékben növekszik a hidrogén és hidrogénben gazdag gázelegy esetében. Ez azt eredményezi, hogy a fent említett közel háromszoros anyagáram biztosításához nem szükséges az ezzel arányosan megnövekedett kezdeti nyomásszintet, vagy arányosan növelt csőátmérőt biztosítani, nagyjából 10-20%-kal magasabb kezdeti nyomással, 100%-os hidrogén estében biztosítható a közel háromszoros anyagáram és ezáltal az egyező energiaáram biztosítása. [3]

Az égési tulajdonságok közötti eltérés több tulajdonságban is jelentkezik. A fenti táblázatban az első, ami komolyabb eltérést mutat, a gyulladási határkoncentráció. Az látható, hogy a hidrogén esetében jelentősen nagyobb gáz-levegő arány intervallumon bekövetkezhet a gyulladás/robbanás, ami egy növelt kockázatot is magában hordozhat zárt térben történő szivárgás esetén. Itt azt érdemes előre vetíteni – az 5. fejezetben erről részletesebben is beszámolunk –, hogy vonatkozó brit kísérletek eredményei alapján valós lakossági körülmények között az ilyen jellegű akkumuláció valószínűsége nagyon ritka – részben a hidrogén kiemelkedően alacsony sűrűsége miatt, részben pedig mert a lakóépületek korántsem tökéletes zárt rendszerek. Hozzá kell tenni, hogy az ilyen jellegű kockázatok a

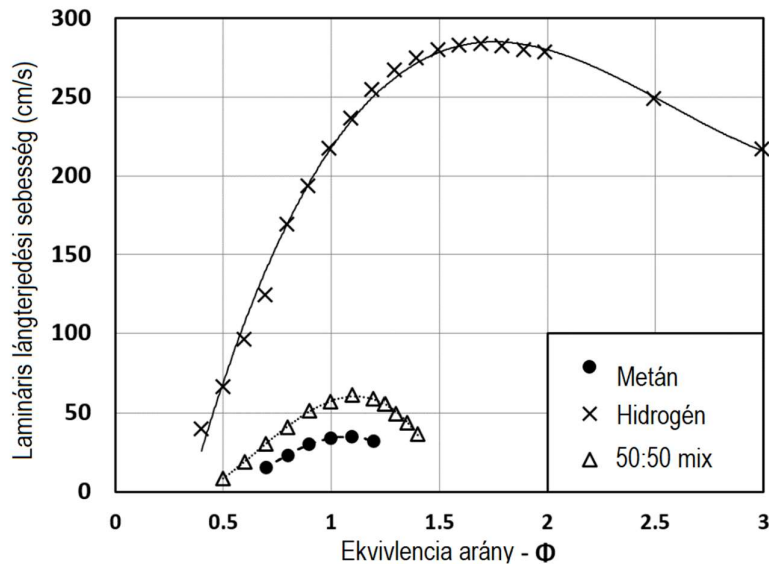
szivárgás mértékétől és az adott rendszer (pl.: épület) adottságaitól függően sokfélék lehetnek. A gyulladási határkoncentrációk különbségéből is adódik, hogy a hidrogén minél nagyobb arányú földgázhoz keverésével a gázelegy felső gyulladási határkoncentrációja is növekedni fog, tehát a gázelegy vonatkozó koncentráció intervalluma szélesedik a hidrogén térfogatarányának növekedésével.

A gyulladási energiaigény azt a minimális energiaszintet határozza meg egy ideális keverék esetében, ami az égési reakció beindításához szükséges. Itt is jelentkezik egy nagyságrendi különbség a két gáz között, ami azt jelenti, hogy a hidrogén esetében szignifikánsan alacsonyabb energiájú iniciációs esemény is elegendő egy esetleges robbanás elindításához. Itt azt érdemes kiemelni, ugyancsak külföldi vizsgálatok tapasztalatai alapján, hogy számszerűen ez bár így van, de a gyakorlatban mindkét gáz esetében olyan alacsony ez az érték, hogy nem igazán lehet olyan eseményt beazonosítani, ami a két érték közé helyezhető energia tartalomban. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy ha van egy rövid idejű ívkisülés (pl.: villanykapcsoló), szikra, vagy bármilyen hasonló jelenség, az bőven sokkal több energiát tartalmaz, tehát mindkét gázelegy esetében beindítja a reakciót, tehát ennek a jelenségnek inkább elméleti jelentősége van, mint gyakorlati.

A Lewis érték (Le) a termikus diffúziós képesség és a tüzelőanyag tömegdiffúziós képességének arányát adja meg, és a lángok zavarokra való érzékenységét mutatja. A $Le \geq 1$ értékű tüzelőanyagok várhatóan hődiffúziósan stabilak. A hidrogén Le értéke körülbelül fele a metánénak (0,45 vs. 1), ami instabilabb lángot jelez.

Fordított Joule-Thomson-hatás: Amikor gázokat fúvókákon vezetnek át vagy szivárgásokon keresztül tágnak légköri nyomáson, a földgáz lehűl, míg a hidrogén kissé szokatlan módon felmelegszik a tágnak hatására, hiszen légköri nyomáson és szobahőmérsékleten a hidrogén a Joule-Thompson inverziós pontja fölött van. A hidrogén Joule-Thomson inverziós hőmérséklete egy bar nyomáson (a normál légköri nyomáson) igen alacsony (nagyjából 200 K, azaz -73°C), így a hidrogén (és például a hélium is) felmelegszik, ha expandál szobahőmérsékleten. Alacsony nyomású rendszerekben, mint például a háztartási földgázkészülékekben, ez a jelenség elhanyagolhatónak tekinthető. [4]

A lángterjedési sebesség egy bekövetkezett égési folyamat esetében a gáztérben haladó lángfront sebességét adja meg, ennek különösen komoly jelentősége lesz, ahogy azt majd későbbi fejezetekben is látjuk. Egy szivárgás és akkumuláció esetében bekövetkező robbanás esetén ez a detonáció hatására bekövetkező lökéshullám által létrehozott nyomáskülönbségre és ezáltal a robbanás pusztító hatására lesz befolyással, illetve égők esetében (pl.: gázturbinák) a gyors lángterjedés jelentősen ronthatja a földgázra szabályozott gázfogyasztó berendezések tüzeléstechnikai értékeit, valamint visszagyulladás, lángleszakadáshoz is hozzájárulhat, ezzel egy sor nemkívánatos mellékhatást előidézve különös tekintettel a csökkent lángstabilitásra.



2.1. ábra: H₂, metán (CH₄) és 50 térfogatszázalék H₂-50 térfogatszázalék CH₄ lamináris lángsebessége levegőben 300 K-en és 1 atm-on az ekvivalenciaarány függvényében. [5]

Az adiabatikus lánghőmérséklet (AFT vagy T_{ad}) az az elméleti maximális hőmérséklet, amely egy adott ekvivalenciaarány mellett teljes égés során elérhető. Mind a szakirodalom, mind a modellezések azt jelzik, hogy az AFT a 100%-os hidrogénláng esetében körülbelül 200 K-nel magasabb, mint a 100%-os metánlángnál azonos körülmények között, minden kiindulási hőmérséklet esetén. Például $\Phi=1$ ekvivalenciaarány és 100°C-os kezdeti hőmérséklet mellett az adiabatikus láng hőmérséklete a hidrogén esetében ~2430 K (2157°C), míg a metán esetében ~2260 K (1987°C) a modellezett érték. Ez a lánghőmérséklet-növekedés hatással van a kibocsátási teljesítményre, a megfelelő anyagok kiválasztására és az égőberendezések hatékonyságára.

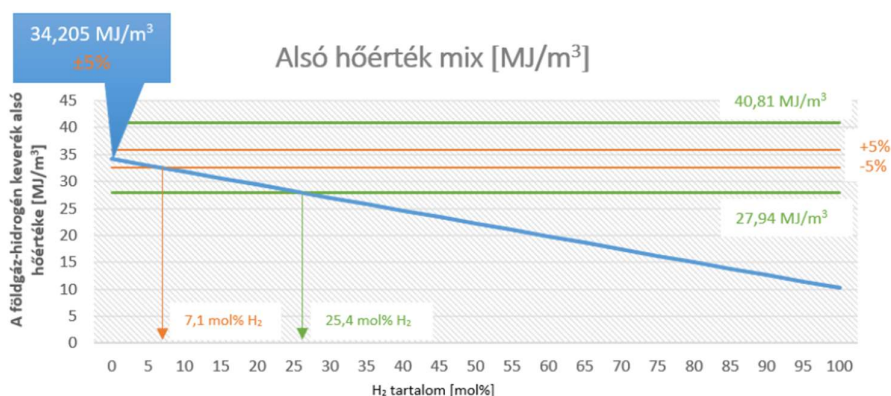
A hidrogénláng emissziós tényezője alacsonyabb, mint a metánlángé, ami a sugárzó specieszek, például a korom, a CO₂ és a szénhidrogén gyökök [6] csökkentett koncentrációjának köszönhető. Ez hatással van a láng sugárzó hőátadására, amely a lánghőmérséklet, a füstgázgázhőmérséklet és a sugárzási képesség közötti egyensúlyból fakad; ez a hőátadó képesség különösen kritikus a sugárzó hőre támaszkodó berendezésekre, például az üveg-, és egyéb direkt ipari kemencékre. Továbbá, a hidrogénláng esetében a szabványos infravörös lángérzékelés hatástalan az emissziós spektruma miatt, ami azt jelenti, hogy lángdetektálási célból ultrabolya detektorokra van szükség. Hasonlóképpen, a hidrogén tüzelésekor az alacsonyabb térfogatra vetített energiatartalom miatt több hidrogénre van szükség ugyanahhoz az energiateljesítményhez, ezzel együtt ~20%-kal kevesebb levegőre van szükség ahhoz, hogy hasonló lángot eredményezzen az égés, mint a földgáz esetében. Ez csökkenti a tüzelőberendezésen keresztülrámló tömegáramot és ezáltal a konvektív hőmennyiséget is. A füstgázok a modellezések szerint is kb. 200 K-nel melegebben hagyják el a tüzelőberendezést. Erre megoldást kínálhat a füstgáz-visszavezetés a levegő tömegáramának növelésére az égéstérbe, ami effektíve növeli a konvektív hőátadást és ezáltal csökkenti a magas lánghőmérsékletet.

Végül az úgynevezett Wobbe számokra érdemes kitérni. Ez az érték az egyes gázok egyenértékűségére, cserélhetőségére vonatkozóan ad becslést és az egyes gázok fűtőértéke (HHV) illetve specifikus sűrűségük hányadosából számítható ki. A hidrogén és földgáz esetén a Wobbe számok közötti eltérés viszonylag alacsonynak mondható (10-15%), ami azt eredményezi, hogy a gázok cserekompatibilisek. Általában elmondható, hogy 5%-os Wobbe érték eltérésig két gáz vagy gázmix cseréje esetén semmilyen végfelhasználói eszközcsere nem szükséges és a szállított energiatartalom is közel megegyezik.

2.2 Hidrogén és földgáz keverhetősége és a gázelegy vonatkozásában felmerülő műszaki kihívások

A hidrogén földgázhoz keverése által annak bizonyos tulajdonságai, mint azt fent is láthattuk, például fajlagos energiatartalma, keletkező égéstermékek koncentrációja a bekeveréssel szigorúan monoton változtathatók. Ebben a fejezetben a különböző hidrogén-földgázkeverégek tulajdonságait és az ezekből kirajzolódó tendenciákat vizsgáljuk.

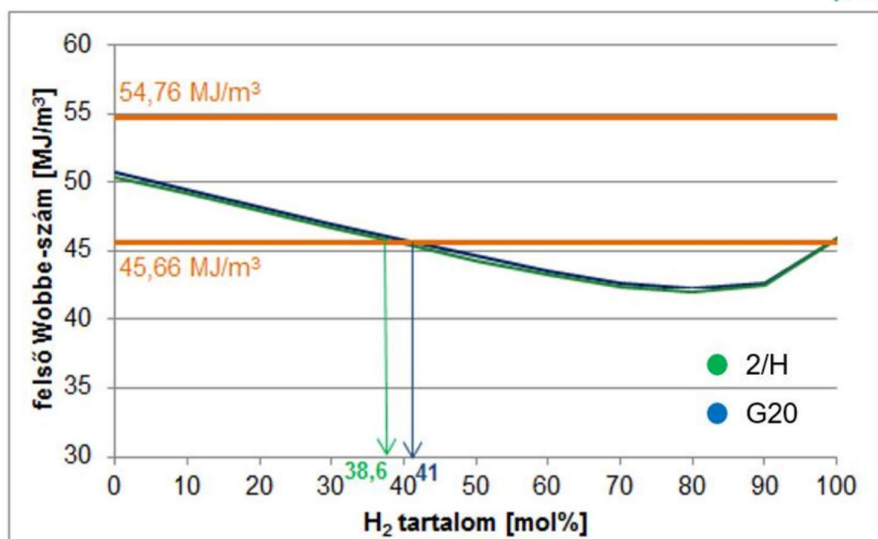
A 2.2. ábrán a földgáz (2H) energiatartalma (LHV) látható a hozzákevert hidrogén volumenének függvényében (mol%, vagy térfogat%). Az ábrán is jól látszik, hogy a hidrogén elegyek térfogat szerinti energiatartalma folyamatosan csökken a hidrogéntartalom növekedésével, ami nagyjából 7,1 V/V%-os értéknél eléri a hatályos GET Vhr 11. számú mellékletében (földgázellátási törvény végrehajtási rendelete – 19/2009. (I.30.) Korm. Rendelet a földgázellátásról szóló 2008. évi XL. törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról) található alsó hőértékre előírt határértékek alsó értékhatárát (34,205 MJ/m³). Míg további hidrogén gázelegyhez keverésével a nemzeti gázszolgáltatási szabvány alsó határát (27,94 MJ/m³) a gázkeverék 25,4 V/V%-os¹ értéknél éri el.



2.2. ábra: A hidrogén-földgáz elegy hőértékének változása a gázelegy hidrogéntartalmának függvényében. [7]

A következő 2.3. ábrán a hidrogén-földgáz gázelegyek (G20 és 2H) felső Wobbe számának változása látható a hidrogén térfogat százalékos arányának függvényében.

¹ Ideális gázelegyként kezelve a mol és térfogat% megegyezik, ezért a 2.2 ábrán feltüntetett mol% közelítésként jól használható a jogszabályi célérték vizualizálására.

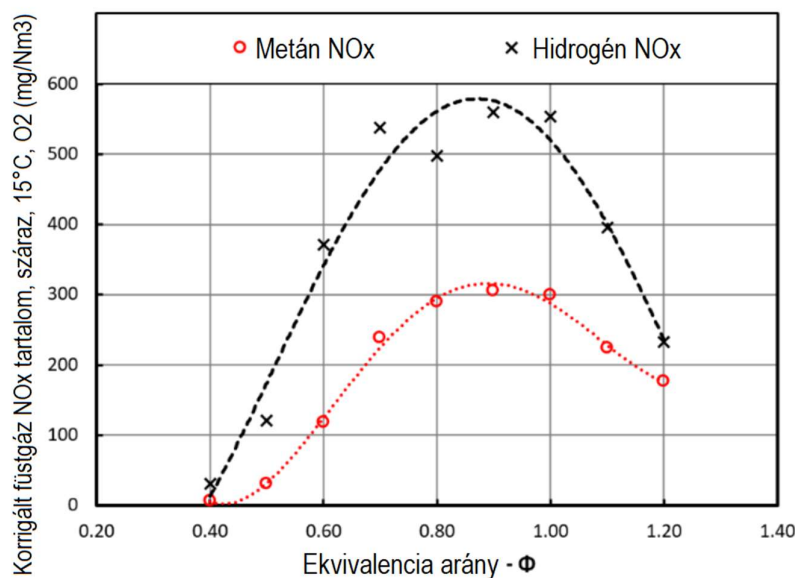


2.3. ábra: A hidrogén-földgáz elegy Wobble-értékének változása a gázelegy hidrogéntartalmának függvényében. [8]

A piros szaggatott vonallal jelölt Wobbe-szám értékek a GET Vhr 11. sz. mellékletében található, az MSZ 1648:2000 sz. szabvány értékeivel megegyező, a 2H gázminőségre vonatkozó felső Wobbe-szám tartomány határértékeket jelölik. Az ábráról az olvasható le, hogy a hidrogén arányának növelésével – az energiatartalommal megegyezően – a Wobbe-szám is csökkenő tendenciát mutat és nagyjából 38,5 V/V%-os értéknél éri a rendeleti alsó határt 2H gázminőség esetén, G20 vizsgálógáz 41,0 V/V% hidrogéntartalom mellett éri a felső Wobbe-szám tartományának alsó határértékét.

Az energiatartalmon túl kulcskérdés a lángstabilitás is. A gázelegy összetételéből adódó növekvő égési sebesség például a rövidebb és az égőfejhez közelebb elhelyezkedő lángot eredményez, mely egyre nagyobb mértékű hőelvonást is jelent. Ha az égőfejen lévő kiáramlási keresztmetszet túl nagy, akkor az visszagyulladás eredményez. Ebből következően, ha elég kicsi az átmérő, a visszagyulladás megelőzhető. A minimális „kioltási átmérő” vagy kioltási távolság a metán esetében 3,5 mm, a hidrogénnél mindössze 0,8 mm. [9] Közvetlen ipari tapasztalatok azt mutatják, hogy nagy mennyiségű víz vagy gőz tüzelőanyaghoz adásával a láng hossza lényegesen növelhető. Ez a tényező a megnövekedett lánghőmérséklettel fontos hatással van a lehetséges lángkinetikára, valamint az égő és a tüzelőberendezés anyagának kiválasztására. A lángstabilitás tehát, többek között az eltérő lángsebesség, lángkioltási távolság és diffúzivitásbeli különbségekből fakadóan is más a hidrogén-levegő, illetve hidrogén-földgáz-levegő elegyre, mint a földgáz-levegő elegy esetében. Ennek megfelelően a következő fejezetekben tárgyalt végfelhasználói eszközök esetében az egyik visszatérő kulcskérdés az eszköz biztonságos és stabil működtetése akár dinamikusán változó gázelegy összetételek mentén is.

Az alkalmazott tüzelőberendezés gázelegyében a NO_x-kibocsátás növekszik, ha a földgázt vagy a metánt hidrogénnel keverik vagy helyettesítik (azonos ekvivalenciaarányokkal), amint az a 2.4. ábrán látható. A NO_x koncentráció emelkedése a füstgázban a lánghőmérséklet növekedése miatt következik be. Ennek csökkentésére különböző technikák alkalmazhatók, mint például a sovány égés vagy a hígítás. A sovány égés a tüzelőanyag levegő- vagy oxigénfelesleggel történő elégetésére utal, csökkentve az ekvivalenciaarányt, és ezáltal csökkentve az adiabatikus lánghőmérsékletet és az NO_x-értéket. A hígítás egy inert komponens hozzáadására utal az égési keverékhez, amely szintén csökkenti az adiabatikus lánghőmérsékletet és az NO_x-kibocsátást. Ilyen módszerek lehetnek a nitrogén hozzáadása, gőz vagy füstgázok füstgáz-visszavezetésén (GDN) keresztül történő hozzáadása.



2.4. ábra: Kipufogógáz NOx-koncentrációja hidrogén és metán esetén, 15%-ra korrigálva oxigén, száraz, idealizált égéstérre.

Ahogy az előző alfejezetben is említettük, a hidrogénláng esetében jelentkező alacsonyabb emissziós tényező és a csökkentett égéstermék-áram megváltoztatja a hőátadás egyensúlyát és a hidrogénlángból származó hőmennyiséget a földgáz esetéhez képest. A hőfelvétel változása a közvetett hőátadású berendezések esetén, például gőzkazánok sugárzó/konvektív szakaszai között, amikor földgázzal hidrogénre történő váltás történik, a két szakasz közötti víz beadagolás beállításával mérsékelhető. Közvetlen tüzelésű berendezésekben füstgáz recirkulációval növelhető a tömegáram és ezáltal javítható a hőátadás.

Mivel a hidrogénnek (az alacsony viszkozitása mellett) jelentősen kisebb a kinetikus átmérője, mint a metánnak, ezért nehezebb megakadályozni, hogy a hidrogénrendszerekben szivárgás alakuljon ki, még a teszteléskor szivárgásmentesnek ítélt csővezetékben is. Ez a hegesztési varratok, kötések és karimák tekintetében szigorúbb szabványokat igényelhet, mint a földgázcsövek esetében, de ezek a szabványok a tanulmány írásának idején még nem állnak rendelkezésre. Viszont a hidrogén magas diffúziós képessége miatt egy esetleges szivárgás esetén az akkumuláció nehezen alakul ki, és hatékony szellőztetéssel párosítva a hidrogén tovább hígítható a gyúlékonysági határértéke (~4%) alá. Illetve a hidrogén kisebb energiasűrűsége miatt lényegesen kisebb anyagszivárgást okoz, ami az energiatartalom csökkenésével jár. Tüzeléstechnikai szempontból meghatározó, hogy a hidrogén egyes tároló- és csővezeték-anyagokba képes belediffundálni, ami az adott berendezés (égő, csővezeték szakasz, stb.) rugalmasság elvesztéséhez vagy ridegség kialakulásához vezethet, ez a folyamat megnövekedett hőmérsékleten és nyomáson felgyorsul. A hidrogénnel tervezett rendszereknél az üzemeltetési körülményektől és hőmérséklettől függő megfelelő anyagok alkalmazása szükséges. Ilyen lehet például az általános szénacélfajták (API 5L X52 és ASTM A 106 Grade B), az ausztenites rozsdamentes acélok (magas nyomáson és hőmérsékleten) és a polietilén csővezetékek.

A hidrogén tartalmú gázelegyek térfogatáramának és a mindenkor pontos összetétel ismeretében fellépő energiatartalomban jelentkező eltérések pontos mérése is egy olyan műszaki kihívás, amire egy karbonmentes hidrogénnel részlegesen dekarbonizált gázhálózat esetén fel kell készülni. Ezt a témakört a nyolcadik fejezetben bontjuk ki.

3 Végfelhasználói berendezések meghatározása

3.1 Ipari végfelhasználói eszközök

A hazai ipari gázfogyasztó berendezések és a hidrogén bekeverés ezekre gyakorolt hatásának vizsgálata szempontjából sajnos átfogó és pontos statisztikát nem találtunk. Ezért azt a megközelítést alkalmazzuk, hogy az elérhető információk alapján beazonosítjuk a főbb ipari szektorokat gázfogyasztás szempontjából és az adott iparágakban jellemző földgáztüzelésű eszközöket vizsgáljuk. A releváns szektorok és alszektorok beazonosítása szempontjából a REKK 2023-as "Az orosz gáz kivezetésének lehetősége Magyarországon" című vonatkozó tanulmányában összefoglalt tény adatokat vesszük alapul. A magyar ipari szektor földgázfogyasztásának 77%-át négy alszektor adja. A legnagyobb fogyasztó a vegyipar, amely 2021-ben 0,89 milliárd köbméter földgázt használt fel. Ezt követi az élelmiszeripar (0,4 milliárd köbméter), a gépgyártás (0,26 milliárd köbméter) és a nemfém ásványi termékek gyártása (0,23 milliárd köbméter). A többi alszektor gázfelhasználása összesen 0,6 milliárd köbméter volt, ami a teljes fogyasztásnak mindössze 23%-át teszi ki. A vegyiparon belül a teljes földgáz fogyasztás nagyjából 23%-a nem energiahordozóként, hanem alapanyagként történő felhasználást takar, ami természetesen nem tartozik jelen tanulmány körébe. Ennek megfelelően a másik nagyfogyasztó kőolaj finomítás is részben alapanyagként tekint a földgázra a többiek között kénmentesítésre használt hidrogén előállításához.

Az élelmiszeripar és a nemfém ásványi termékek előállítása az ipari földgázfogyasztás két jelentős szegmense Magyarországon. Az élelmiszeriparban a földgázt elsősorban a takarmányok feldolgozására, valamint villamosenergia-termelésre használják. A takarmányfeldolgozás során a földgázt a szárításhoz használják, amely egy nagy energiaigényű folyamat. Egyes élelmiszeripari vállalatok saját gázturbinákkal állítják elő a szükséges villamos energiát, hogy csökkentsék a költségeiket és növeljék az energiabiztonságukat. A nemfém ásványi termékek előállításában a földgázt elsősorban a magas hőmérsékletű kemencék fűtésére használják (900 Celsius fok vagy annál magasabb hőmérséklet). A cementipar, az égetett építőanyagok gyártása, a kerámia- és üveggyártás, valamint a csiszolótermékek előállítása mind jelentős fogyasztói a földgáznak ebben a szektorban. A technikai kerámia gyártása különösen nagy energiaigényű, mivel a termékeket gyakran 1700 Celsius fokon vagy annál magasabb hőmérsékleten égetik ki. A földgáz ideális tüzelőanyag ezekhez a folyamatokhoz, mivel hatékonyan átalakítja az energiát hővé.

Részletesebben az 5. és 7. fejezetekben térünk ki az ipari rendszerek hidrogénállóságára és az azokkal kapcsolatos nemzetközi tapasztalatokra. Az alábbi besorolás egy átfogó képet ad a főbb hazai iparágakról, amelyekben a földgáz tüzelésnek jelentős szerepe van.

1. Élelmiszeripar
 - a. Gőzfejlesztő
 - b. Kazán
2. Vegyipar
 - a. Gőzfejlesztő
 - b. Kemence (reaktorok)
3. Járműgyártás
 - a. Ipari vízmelegítő/gőzkazán
 - b. Kazán
 - c. Szárító
4. Kohászat
 - a. Kemence
5. Papíripar
 - a. Szárító
 - b. Gőzfejlesztő

6. Üveggyártás
 - a. Üvegolvastó kazán, hevítő égők
7. Kerámiaipar
 - a. Égetőkemence
8. Cementgyártás
 - a. Égetőkemence
9. Egyéb nemfémes ásványok feldolgozása
 - a. Forgó dobszáritó
10. Villamos és gépészmérnöki folyamatok
 - a. Ipari vízmelegítő
 - b. Gőzfejlesztő, gőzkazán
 - c. Kemence
11. Energetika
 - a. CHP (gázmotor, gázturbinák)
 - b. Gázmotor, gázturbinák

3.2 Lakossági és kereskedelmi végfelhasználói eszközök

Mivel a hazai földgáz felhasználó eszközparkra vonatkozóan friss statisztikai adat nem érhető el, ezért a lent tárgyalt anyag a nemzetközi THyGA projekt 2.1-es munkacsoportjának eredményeit és következtetéseit tartalmazza. A lenti felsorolás a főbb eszközkategóriákat csoportosítja:

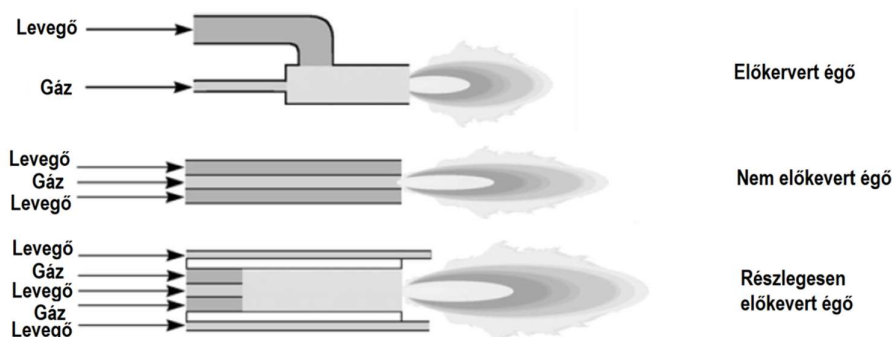
1. Fűtés
 - a. Gázkazán
 - b. Gázkonvektor (direkt, indirekt, infra)
 - c. Gáztüzelésű hőszivattyúk
2. Melegvíz
 - a. Vízmelegítő (direkt, cirkulációs, átfolyós)
3. Élelmiszer
 - a. Gázsütők (gőzsütő, pizzasütők, konvekciós sütők, stb.)
 - b. Grillek
 - c. Főzőlapok, rezsók, tűzhelyek
 - d. Kereskedelmi (nagykonyhai) fritőzök
 - e. Egyéb (tandoori kemence, kínai wok, barbeque, chapatti és burger főzőlapok)

A THyGA projekt keretében a szükséges gázüzemű flotta darabszámának megbecsléséhez irodalomkutatáson túl közvetlen adatcserére volt szükség a releváns nemzeti és nemzetközi műszaki szövetségekkel. A szükséges kiegészítő információkat, adatokat, égőtípusokat és eszköz darabszámot a szakértőkkel, partnerekkel, szövetségekkel, szabványosítási bizottságokkal és gyártókkal folytatott többkörös megbeszélések eredményeként gyűjtötték össze. A jelentés a számok megbecsléséhez figyelembe vette a már befejezett vonatkozó tanulmányok által rendelkezésre álló eszköz besorolásokat és azok népességét, a projektpartnerek és szakértők által szolgáltatott adatokat és amikor erre szükség volt, ezekre építve végeztek a készülékek populációjára vonatkozó extrapolációkat és becsléseket a reprezentatív áttekintés érdekében.

A 2020-as évet választották közös referenciaévnak a program keretében vizsgálandó valamennyi technológia számára. A 2020-as készülékállomány becslésére szolgáló számítási módszer a lehető legnagyobb mértékben a piaci fejleményeket veszi figyelembe, mint például a meglévő eladási számokról szóló kiadványok. Az egyes eszköztípusra, égőre és darabszámra alkalmazott részletes eredmények szigorúan csak becsléseknek tekinthetők, amelyek áttekintő képet adnak a gázüzemű készülékek piacáról Magyarországon. A lenti 3.1. ábra összefoglalja azokat a készülék kategóriákat, amelyeket elemezni szükséges a konkrét égetési technológiák, a hidrogén bekeverés hatása, a piac

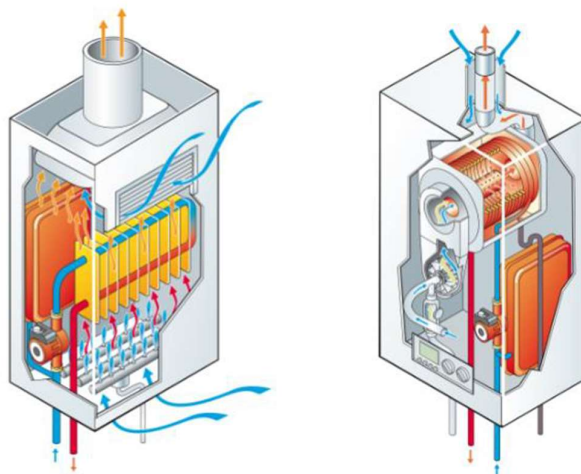
mérete és a jövőbeli piaci tendenciák tekintetében. A gáztüzelésű készülékek besorolása a vonatkozó EN-osztályozásokkal történt, viszont bizonyos esetekben az EN-osztályozások nem mindig szegmentálják a piacot megfelelő műszaki jellemzőkkel, részletességgel, ezért sok esetben volt szükség az EN-osztályozások al-szegmentálása annak érdekében, hogy a kritikus tüzeléstechnikai változókat is érdemben figyelembe lehessen venni.

Az alábbi fejezetben röviden ismertetjük a főbb hazai földgáztüzelésű végfelhasználói berendezéseket és a részlegesen hidrogén bekeverés eszközökre gyakorolt hatását. A leggyakoribb berendezések a hazai földgáztüzelésű eszközök között a bojlerok és a gázkazánok. Égőtípus tekintetében beszélhetünk nem előkevert égőkről, valamint részlegesen és teljesen előkevert égőkről (lásd 3.2 ábra). Ez a megkülönböztetés a levegő és tüzelőanyag gázbegyűjtását megelőző keverési lépésre utal, ami tüzeléstechnikai szempontból különösen meghatározza az adott égőt. Ez általában véve nem csak a bojlerok/kazánok, hanem szinte minden más eszköztípus esetén egy kiemelten fontos jellemző a hidrogénállóság vizsgálatának szempontjából.



3.1. ábra: Különböző levegő/üzemanyag keverési megoldások összehasonlítása: előkevert égés, nem előkevert égés, részben előkevert égés.

Bojlerok esetében beszélhetünk nyílt és zárt égőteres berendezésről. A nyílt égőteres berendezés esetében a készülék kialakítását leíró "nyitott füstgáz" kifejezés a füstgáz kezelésére utal, amely ebben az esetben a helyiségből származó levegővel keveredik, miközben a kéménybe kerül. A zárt kialakítású készülékek a helyiség környezeti levegőjétől függetlenül működnek, az égési levegőt külön légbeszívón keresztül szívják be.



3.2. ábra: Nyílt égésterű boiler (bal), valamint zárt (jobb) égésterű boiler illusztrációja

A hidrogén bekeverés hatására az állandó tüzelőgáz-bemeneti nyomáson működő készülékek - lényegében minden háztartási készülék - csökkentett hőteljesítményt fognak mutatni. Ezt lehet kompenzálni a tárolós rendszerek esetében a működési idő megfelelő beállításával, azonban az átfolyós működésű készülékek esetében a maximális hőteljesítmény csökkenése a komfortérzet csökkenéséhez vezethet azokban az esetekben, amikor a rendszer névleges teljesítményét a földgáz elégetésére méretezték. A földgáztól eltérő gázelegy másik hatása lehet a keverékek termoakusztikai eltérésből fakadó zajkibocsátása, ami szintén a komfortérzet csökkenését eredményezheti - a hidrogénkeverék szintjétől, a készülék egyedi kialakításától és a telepítési hely akusztikai jellemzőitől függően. A földgázba kevert hidrogén hatással van a láng helyzetére is. Ebben az összefüggésben két egymással versengő fizikai hatást kell figyelembe venni. Egy szabályozatlan rendszerben vagy olyan készülékben, amelynek égésszabályozása nem képes megfelelően reagálni a hidrogén hozzáadásra, az égési folyamat sztöchiometriája a csökkentett minimális levegőigény miatt magasabb légfelesleg-arányok felé fog változni. Magas levegőtöbblet-arányok esetén potenciálisan lángleszakadás léphet fel. Ugyanakkor a hidrogén hozzáadása megnövekedett lamináris égési sebességet eredményez, ami ellenkező hatást vált ki, azaz a láng közelebb kerül az égőhöz. Ez túlkompenzálhatja a térfogatáram növekedését, és helyi túlmelegedéshez vagy akár visszagyulladásához vezethet. Az égőanyagoknak a hidrogénnel való hosszú távú érintkezése, kitettsége következtében, illetve a magasabb hőmérséklet/túlmelegedés miatt az égő felületének romlása is megfigyelhető. Az anyagromlás az élettartam csökkenéséhez és a készülékek maradandó károsodásához is vezethet.

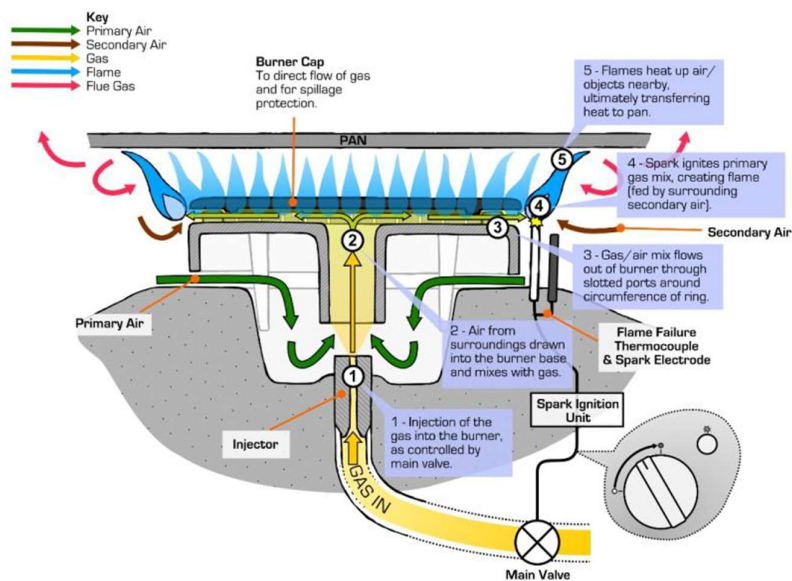
A zárt égésterű bojlerok egyik altípusa a kondenzációs kazánok, melyek a füstgázban megjelenő vízgőz látens hőjének hasznosításával jelentős hatékonyságnövekedést érnek el. A hidrogén hatása az égési körülményekre azonos a fentiekkel, azoktól eltérően ha hidrogént kevernek a földgázhoz, több kondenzátum keletkezik, amelyet ennek megfelelően kell kezelni. A készülék tényleges beépítési helyzetétől függően a felgyülemlett víz padlóösszefolyón vagy hasonló megoldáson keresztül elvezethető. Bizonyos esetekben szivattyúra van szükség, amely a vizet a következő elérhető lefolyóba pumpálja, amint a gyűjtőtartály megtelik. Hidrogénadalék esetén az ilyen igény szerinti vízszivattyú üzemideje ennek megfelelően megnő. További fontos csoportja a bojleroknak az úgynevezett kényszerített ventilációs kazánok. A ventilátoros égőkhoz hasonlóan a kényszerhajtású sugárégők is egy ventilátor segítségével kapják a szükséges levegőt, amely a környezeti levegőt az égéstérbe szállítja. A fő különbség a lakossági szektorban használt egyéb ventilátoros égőrendszerekhez képest a láng alakja. Míg a legtöbb kisüzemi kazánalkalmazáshoz használt égő nagy égőkeresztmetszetet használ, sok kis lamináris előkevert lánggal ("lángszőnyeg"), hogy rövid, kompakt lángot hozzon létre, addig a kényszeráramú sugárégőkben a tüzelőanyag-levegő keveréket (vagy a nem előkevert égők esetében a tüzelőanyagot és a levegőt) külön fúvókák segítségével fecskendezik be az égéstérbe, sugáráramot képezve. Ezek a lángok hosszabbak és általában turbulensek, de sokkal kisebb keresztmetszettel rendelkeznek, hasonlóan az ipari égőrendszerek lángjaihoz.



3.3. ábra: A GWI laboratóriumában lévő égőpróbapadon telepített ipari kényszeráramú égő

Tekintettel arra, hogy a legtöbb kényszerkeveréses égő nem előkevert égési rendszert alkalmaz, az ilyen égési folyamatokra vonatkozó elméleti megfontolások számos megállapítása itt is érvényes. A hidrogén hozzáadása a gázelegyhez általában magasabb NO_x-kibocsátást eredményez a megnövekedett helyi lánghőmérséklet miatt ebben a nem előkevert égési rendszerben. Amikor például földgázból 70 térfogatszázalék hidrogént tartalmazó földgázkeverékre váltottak, a füstgáz NO_x-koncentrációja minimális terhelésnél megduplázódott, de maximális tüzelési sebességnél "csak" 50%-kal nőtt a csak földgázzal való üzemeléshez képest. Az is kiderült [10], hogy a füstgáz-visszavezetéssel jelentősen csökkenthető az NO_x-kibocsátás, bár ezt a technológiát általában a nagyobb égőrendszerek számára tartják fenn.

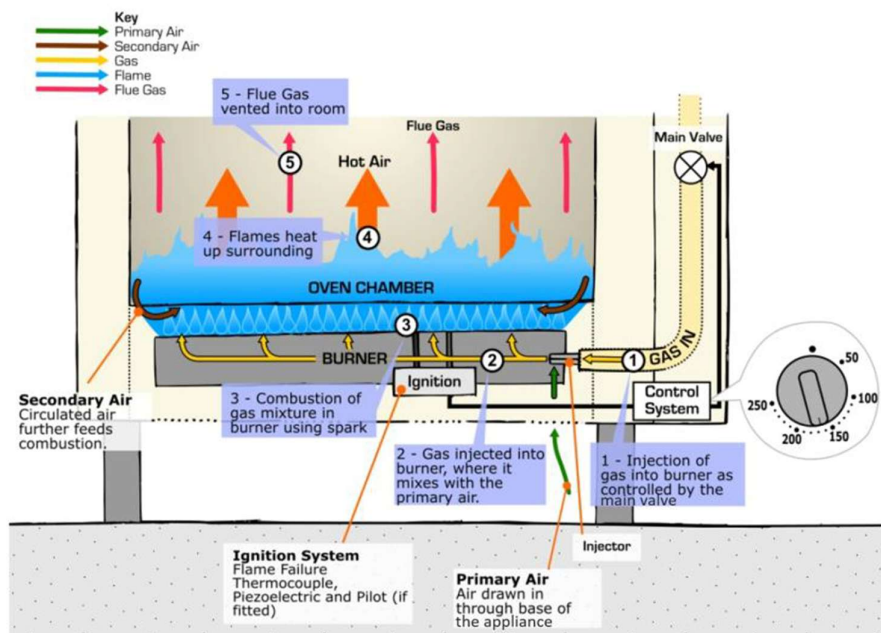
Konyhai berendezések tekintetében az egyik leggyakoribb gáztüzelésű eszközcsalád a különböző típusú főzőlapok és gázrózsás égők.



3.4. ábra: Egy általános lakossági gázégő sematikus ábrája

A háztartási tűzhelyekben a leginkább széleskörűen alkalmazott részlegesen előkevert égők esetében elmondható, hogy általában véve érzékenyebbek a visszagyulladásra (flashback), mint a teljesen

előkevert égők. A visszagyulladás jelensége akkor jelentkezik, amikor a lángfront sebessége nagyobb, mint a földgáz-levegő keverék áramlási sebessége a lángnyílásnál. A részlegesen előkevert égők esetében a lángsebesség növekedését a primer levegő/tüzelőanyag arány növekedése is fokozza. A fenti bojlerek esetében is ismertetett bizonyos kulcsfontosságú alkomponensek által elszenvedett túlmelegedési problémák (általában véve alacsonyabb hőleadási problémák) itt is érvényesek. A gáztűzhelyek esetében a leggyakoribb alkalmazott égőtípus az úgynevezett légköri égő, mint például az 3.5. ábrán is látható égő. Ezen az ábrán az látható, ahogy a tüzelőgáz átáramlik az injektoron, és a levegőztető nyíláson keresztül áramolva bekever a gázáramba környező levegőt (primer levegőt) is és ezt követően halad át végül a keverék az égőn (Venturi-hatás). A másodlagos levegő dedikált légbeömlőnyílásokon keresztül jut az égéstérbe. Itt egy megfelelően elhelyezett fémlemez választja el a lángot az ún. sütőüregtől. A sütőégők többnyire egy perforált rozsdamentes acélcsőből állnak, amelynek egyik végén injektor található.



3.5. ábra: Gázsütő sematikus ábrája

A sütőégők a részben előkevert égők típusába sorolhatók. A főzőlap-égőknél leírtakhoz hasonlóan a sütőégők is érzékenyek a visszaégésre. Ennek fő oka a lamináris lángsebesség növekedése és a primer levegőtöbblet növekedésének együttes hatása. A lángstabilitáson túl a hőteljesítmény, az eltérő kibocsátásértékek (különös tekintettel a NO_x-kibocsátásra), illetve a komponensek hőterhelése itt is releváns problémák. Általában véve a különböző gáztüzelésű lakossági vagy kereskedelmi eszközök igen nagy sokféleséget mutatnak, ennek megfelelően az égők dizájnya és teljesítménye is sokféle. A fent leírt problémák és kihívások viszont szinte minden égőtípus és eszköz esetén azonosak.



3.6. ábra: Példák a vendéglátóipari berendezésekben használt égőkre [11]

Össességében elmondható, hogy a hazai földgázszektorban kiemelkedő szerepet játszik a lakossági felhasználók csoportja, 2022-ben összesen 3,3 millió magyar háztartás nagyjából 3,46 milliárd köbméter földgázt fogyasztott.

3.1. táblázat: Magyarországon található lakossági és kereskedelmi gázüzemű eszközök bontása és darabszáma (ezer db). [24]

Eszköz	Eszköz típus	Égőtípus	Darabszám /ezer db
Bojlerek	nyílt égő	Részlegesen előkevert/konvekciós (atm. és vent.)	1026
		Alacsony NOx technológiájú égő	37
		Teljesen előkevert	5
	Zárt rendszerű	Részlegesen előkevert/konvekciós (atm. és vent.)	181
		Low NOx technology burners	7
		Teljesen előkevert	6
	kondenzációs	Részlegesen előkevert, ventilált	0
		Teljesen előkevert (CCB)	158
	Kényszerített levegő befúvásos/"Jet" égő	"Jet" égő	25

Vízmelegítők	Átfolyós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/atm.	Átfolyós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/atm.	225
	Átfolyós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/ventillációs	Átfolyós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/ventilált	96
	Tárolós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/atm.	Tárolós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/atm.	203
	Tárolós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/ventillációs	Tárolós, nyílt égésterű, részlegesen előkevert/ventilált	84
Fűtő berendezések	Szabadonálló B-típusú fűtés & dekoráció	B-típusú fűtés & dekoráció	245
	Szabadonálló C-típusú fűtés & dekoráció	C-típusú fűtés & dekoráció	192
	Dekoratív láng hatású fűtő berendezés, dekoratív fűtő	Dekoratív láng hatású fűtő	168
	Padlón álló füstmentes gázkazán & dekoráció	Padlón álló füstmentes gázkazán & dekoráció	7
CHP	Stirling motor	Hő és villamosenergia-termelés	0
	ICE		1
	Micro GT		0
	PEM TC		0
	Solid-oxid TC		0
Hőszivattyúk	Motor hőszivattyú	Fűtés	1
	Adszorpció		0
	Abszorpció		0
Egyéb	Kereskedelmi szárítógép		-
	Infravörös csöves hőszugárzó (EN 416 -1) nem lakossági	Infravörös hőszugárzó (EN 416 -1) nem lakossági	8
	Infravörös hőszugárzó (EN 419 -1) nem lakossági	Infravörös hőszugárzó (EN 419 -1) nem lakossági	8

	Infravörös hőszugárzó (EN 777 -1) nem lakossági	Infravörös hőszugárzó (EN 777 -1) nem lakossági	8
	Hőszugárzó, ventilált égőtér	Hőszugárzó, ventilált égőtér	8
	Légfűtő (EN 1020) nem lakossági, kényszerített konvekció	Légfűtő (EN 1020) nem lakossági, kényszerített konvekció	11
	Légfűtő (EN 525) nem lakossági, kényszerített konvekció	Air heaters (former EN 525) nem lakossági, kényszerített konvekció	11
	Légfűtők <70kW	hőlégbefűvős kazán; kényszerített konvekció	11
	Lakossági mosógép		0
	Lakossági szárító		0
Főzőlapok	Paella gázégő (főzőlap) atm. égő vagy vertikális "Venturi" égő	Egy fűtőlapos	359
		Egy gázrőzsás	449
		Multi főzőlapos (főleg dupla vagy tripla)	90
	Paella gázégő (főzőlap) részlegesen előkevert (venturi)	Egy fűtőlapos	15
		Egy gázrőzsás	19
		Multi főzőlapos (főleg dupla vagy tripla)	4
	"Cavity" égő (sütők, szabadonálló tűzhely)	Atmoszférikus égő	74
		"Venturi" égő	32
		Részlegesen előkevert	764
	"Cavity" égő (sütők, szabadonálló tűzhely)	Atmoszférikus égő	252
		"Venturi" égő	108
		Részlegesen előkevert	404
Étkeztetés	Nyitott égők, wok égők	Vertikális nyílású körégő	3
		Lyukas körégő	3
	Ipari tűzhely	Ventillációs gázégő	3
	Sütők	Csőves vagy körégő	3
	Főző/tésztafőző	Mikroperforált égő	3
	Olajsütő, fritőz	Előkevert	3

	Szalamander/Rotiseri e sütő	Kerámia vagy "blueflame" égő	3
	Nagykonyhai billenősütő	Többlépcsős csőégő	3
	Fedett égőlap (grill lap, palacsintafőző)	Csőégő, vagy többlépcsős csőégő	3
	Barbecue	BBQ grillégő	3

A fentiek alapján elmondható, hogy Magyarországon 2020-ban közel 1,57 millió lakossági gáztüzelésű kazán üzemelt, amelyek közül legnagyobb számban a falis és álló gázkazánok, valamint kisebb számban kondenzációs kazánok vannak jelen.

4 Nemzetközi tapasztalatok, projektek, főbb eredményeik

4.1 Nagy-Britannia

Nemzetközi viszonylatban Nagy-Britannia abszolút élenjáró a hidrogén földgázvezetési bekeverését célzó projektek tekintetében. Számos projekt keretében vizsgálják a hidrogén hatását az átviteli és elosztó hálózatra is, továbbá a végfelhasználói eszközökre is, legyen szó lakossági, kereskedelmi vagy ipari eszközökről. A következő táblázat felsorolás szintjén említi a jelentősebb projekteket és azok fő vizsgálati területeit. Lentebb a teljesség igénye nélkül a jelentősebb projektek/projektcsaládok céljait és főbb eredményeit foglaljuk össze.

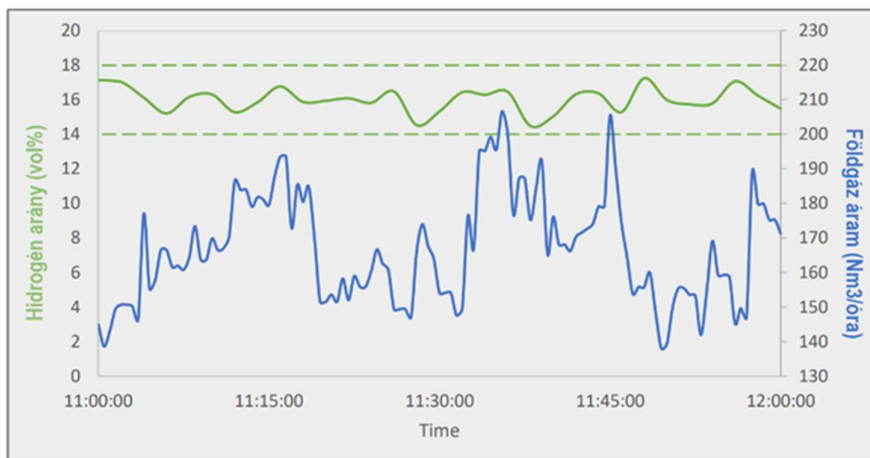
3.1. táblázat: Főbb hidrogén bekeverést célzó projektek az Egyesült Királyságból [57]

Projektnév	év	H ₂ Vol%
<i>HyDeploy</i>	2019	20
East Neuk Power	2020	20
Aberdeen Vision	2020	2-20 →100
HyNet Northwest	2021	100
HyNTS	2021	30
<i>H21</i>	2016	100
<i>Hy4Heat</i>	2018	100
HySpirit	2019	100
Zero2050 South Wales	2020	100
Decarbonization Pathway	2020	100
<i>H100 Fife</i>	2024	100

HyDeploy

A Nagy-Britannia első éles használatban lévő, privát földgázvezetési bekeverést vizsgáló HyDeploy projektet két fázisra bontották. Az első fázis 2019-ben indult és 2021. márciusáig tartott.

Ebben az időszakban a projekt keretében a Keele Egyetem privát gázhálózatába 20 térfogat százalék hidrogént kevertek és vizsgálták ennek hatását a hálózatra, valamint a végfelhasználói berendezésekre. A projektben 100 környékbeli ház és 30 egyetemi épület vett részt, valamint laboratóriumi kísérleteket is végeztek, amelyek a hálózaton fellelhető eszközöket és azok hidrogénállóságát vizsgálták. A bekeveréshez a hidrogént egy protoncsere membrános technológiájú vízbontó berendezés szolgáltatta. A 20 V/V%-os célértéket több lépcsőben érték el a projekt során miközben folyamatosan vizsgálták a hálózat összes elemét. A vizsgálat teljes időtartama alatt szükség volt a bekeverés precíz vezérlésére, hiszen ahogy az a lenti ábrán is látható, a földgázigény állandó jelleggel ingadozott, ami a betáplált hidrogén mennyiségének folyamatos kontrollját is igényelte.



4.1. ábra: A HyDeploy első fázisában gázhálózatra táplált hidrogén termelési és a hálózaton jelentkező földgáz fogyasztási profilja

A projekt sikeresen teljesítette a kitűzött céljait, a hálózaton semmilyen baleset vagy nemvárt anomália nem esett, a berendezések kivétel nélkül hibátlanul üzemeltek a 20 V/V% hidrogén földgáz eleggyel.

A HyDeploy második fázisának keretében egy nagyobb méretű demonstrációs üzemet indítottak el, amely Winlaton településen zajlott 2021. augusztusa és 2022. júniusa között. Ennek keretében 668 lakóház, iskola, több kis- és közepes vállalkozás és egy templom is részt vett a projektben. A tesztüzem keretében két ipari létesítmény tesztjét is elvégezték egy 7 MW-os ipari gőzfejlesztő (Unilever) és egy 55MW-os ipari kemence (Pilkington). A projekt keretében szolgáltatott hidrogént mind a kereskedelmi, mind pedig a lakossági partnerek, felhasználók ingyen kapták a földgáz fogyasztásuk mellett, azaz külön elszámolási megoldást nem fejlesztettek a projekt keretében. A HyDeploy második fázisa is sikeresen zárult.

H21 projekt

Hivatalosan a H21 Leeds City Gate projekttel vette kezdetét a H21 projekt család 2016-ban [45]. Célkitűzése, hogy egy roadmap kialakításán keresztül megvizsgálja, miként valósítható meg egy viszonylag nagy város (Leeds) lakossági és ipari hőigényének dekarbonizálása hidrogén segítségével. A 2016-os projekt Leeds példáján keresztül megerősítette, hogy az Egyesült Királyság gázhálózatainak 100%-ban hidrogénre való átállítása műszakilag lehetséges és gazdaságilag is életképes. A jelentés az alábbi pontok mentén bizonyította, hogy az Egyesült Királyság gázhálózatai alkalmasak a hidrogénre való átállásra:

- A komplett gázelosztói rendszer áteresztő képessége elégséges-e a 100%-os hidrogénre való áttéréshez.

- Az alacsony szén-dioxid-kibocsátású hidrogén előállítható gigawattos volumenben.
- Az Egyesült Királyság városainak fokozatos átváltása földgázzal hidrogénre megvalósítható.
- Az összes vizsgált készüléket át lehet alakítani 100%-os hidrogénnel való működésre.
- A hidrogén tárolható a napközbeni és szezonális keresletingadozások kezelésére.

Leeds városának 100% hidrogénre alakítása közel 2 milliárd fontba kerülne, aminek nagyjából fele a városi infrastruktúra és eszközök átalakítása, másik fele a kék hidrogén előállító és CO₂ lesajtoló infrastruktúra kiépítése lenne.

A H21 Leeds City Gate eredményeire építve a projektcsalád számos elemmel, vizsgálati eredménnyel bővült. Ezek között kiemelten fontos jelen tanulmány szempontjából a HyStreet, ami egy komplett lakóház felépítését, az összes lakossági berendezés átalakítását, vezetékek átalakítását és mindezek szivárgás- és üzemi tesztjét foglalta magába. Az elvégzett tesztek rávilágítottak többek között arra, hogy hidrogén csak ott fog szivárogni, ahol a földgáz is szivárog, nincsenek olyan góc- vagy gyenge pontok, amelyek szivárgás szempontjából szelektívek lennének hidrogénre. A 100% hidrogéngázzal működő lakossági berendezések árban közel megegyeznek az inkumbens földgáz alapú berendezésekkel, beüzemelésük teljesen azonos a már megismert és meglévő gázszerelői eljárással. Szivárgás esetén a hidrogén extrém alacsony sűrűsége és extrém magas felhajtó ereje, illetve magas diffúzitása révén komoly kockázatot jelentő akkumuláció jellemzően nem történik meg lakossági környezetben. Ez azonban csak egy empirikus eredményterméke a projektnek, nem jelenti, hogy a hidrogéngáz használata és esetleges szivárgása ne járna balesetveszéllyel.

Hy4Heat

A 2018-ban indult projekt célkitűzése annak megállapítása volt, hogy műszakilag lehetséges-e, biztonságos és kényelmes-e a földgáz (metán) hidrogénnel való helyettesítése a lakó- és kereskedelmi épületekben és gázkészülékekben. A projekt eredménytermékei lehetővé tették a brit kormány számára annak eldöntését, hogy folytassák-e a kezdeményezést egy közösségi szintű bevezetésig. A projekt 2022. áprilisában ért véget. A projekt 10 munkacsoportra (workpackage) bontva számos területen sikeresen abszolválta a kitűzött célokat. Többek között a lakossági, kereskedelmi és ipari fogyasztók 100%-os hidrogénre váltásának témakörét (lehetőségek, kihívások, kockázatok) vizsgálta. Továbbá, ugyanezen szegmensek esetében konzorciumi partnerekkel TRL8-9-es szintű piackész prototípusokat is fejlesztettek, mint például:

- 13 különböző lakossági végfelhasználói eszköz (pl.: bojler, sütők, főzőlapok, grillek, stb.)
- Egy sor üzemegyensúlyi komponens (pl.: szelepek, fittingek, csatlakozók, stb.)
- 12 kereskedelmi eszköz (pl.: kereskedelmi fritőzök, grillek, fűtő berendezések, bojler kaszkád több száz megawattig, solid-oxid üzemanyagcella, stb.)
- 3 különböző smart meter típus (kettő lakossági és egy kereskedelmi)

Mindezekon túl továbbá tiszta hidrogénre vonatkozó szabványokat, biztonsági specifikációkat, új típusú berendezések teszt metodikáját és jogalkotási javaslatokat is kidolgoztak a projekt a keretében. A projekt keretében végzett kísérletek rávilágítottak arra, hogy a jelenlegi kénatomot tartalmazó merkaptán alapú gáz szagosítók („odorant NB”, 78 mol% 2-metil-propanetil, 22 mol% dimetil-szulfid; ez az Egyesült Királyságban alkalmazott szagosítóanyag) már rövidtávon is igen komoly cellafeszültség esést eredményeznek üzemanyagcellákon, azaz a kén katalizátor méregként drasztikusan csökkenti az üzemanyagcellák élettartamát. Alternatívaként vizsgáltak bizonyos akrilát és norbornén vegyületeket, amelyek kompatibilisek üzemanyagcellákkal, de kevésbé gazdaságosak. Tehát a vizsgálatok végső konklúziója az volt, hogy 100%-os hidrogén bekeverés esetén is maradjon az eddigi megszokott szagosító, viszont ebben az esetben, ha a gázhálózatra közvetlenül egy olyan cella kapcsolódik, amelyre a kén tartalmú szagosító káros lehet, egy dedikált tisztítóelemet be kell építeni a cella elé. Továbbá, mivel a hidrogénláng színtelen, felmerül, hogy a szagosításon túl a hidrogéngáz színezésére is szükség

lehet a könnyű detektálás és balesetek elkerülése végett. Ezt az opciót azonban a mérések és vizsgálatok során a DNV elvetette, megállapításuk szerint a csővezeték-hálózat színezőanyaggal való ellátása magas CAPEX és OPEX költségekhez, valamint egyéb működtetési nehézségekhez vezethet. Ehelyett a vonatkozó vizsgálatokat végző műszaki tanácsadó cég a készülék üzemképességének és a forró felületek/zónák helyének azonosítására szolgáló eszköz, felgyulladó LED ikon, stb. beépítését javasolta.

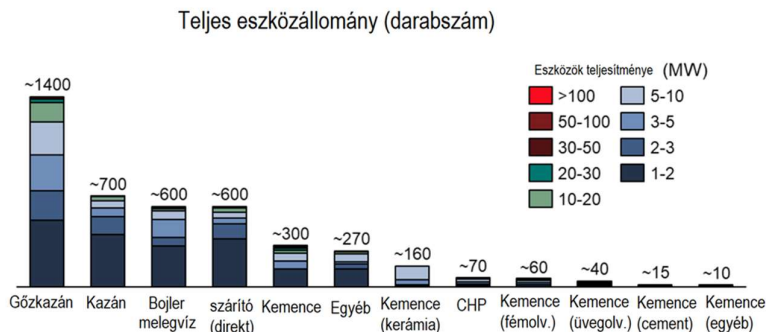


4.2. ábra: A Hy4Heat projekt keretében fejlesztettek olyan speciális égőrozsákat, amelyek a hidrogén közel szintelen lángját szabad szemmel látható sárgás színre festik

A projekt keretében a végfelhasználási alkalmazások többségére alkalmas új hidrogéntisztasági előírás-tervezet is meghatározásra került, amely a minimum hidrogéntisztasági paramétereket és azok előállítási technológiától függő egységköltségeit is meghatározta. Ennek eredményeképp a hagyományos vízbontási technológiák által előállított hidrogén tisztasága bármilyen tisztítás nélkül pusztán szárítással elegendően tiszta a gázhálózati betáplálásra. Ezzel szemben a szürke vagy kék hidrogén előállításához használt SMR (Steam methane reforming, gőz reformálás) és ATR (Autothermal reforming) eljárások technológiai láncába be kell illeszteni egy PSA (Pressure Swing Adsorption) tisztítási lépést, hogy a maximum 1 ppm-es szén-monoxid szintet ne lépje át a betáplált gáz.

Ipari berendezések

A Hy4Heat projekt keretében végeztek egy teljes iparági felmérést az egyes szektorokban használt földgáztüzelésű berendezésekről. Összességében mintegy 4300 releváns ipari fűtőberendezést azonosítottak (<7 bar hálózat, >1 MWth), amelyek földgázzal működnek és az ipari gázfűtés ~70%-át teszik ki.



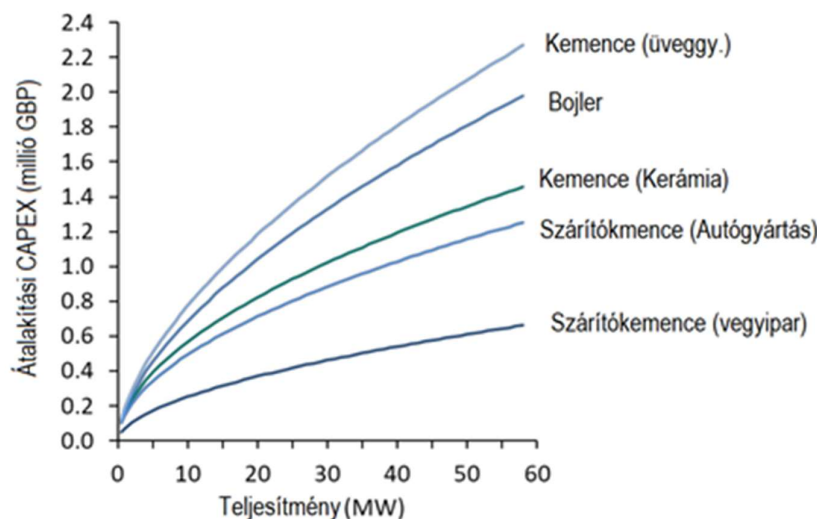
4.3. ábra: A jelenleg a földgázzal működő ipari fűtőberendezések becsült mennyisége

A hidrogéngázzal való működésre való átalakítással kapcsolatos legfontosabb kihívások közé tartoznak a hőátadási jellemzők mentén bekövetkező változások, a megnövekedett NO_x-kibocsátás és a füstgáz összetételének megváltozása. Többféle eltérő típusú/hatású megoldás létezik ezekre a kihívásokra, és a projekt keretében nem azonosítottak olyan akadályt, amely megkerülhetetlen lett volna.

Megállapítást nyert, hogy az ipari gázfűtő berendezések többsége utólagosan átállítható úgy, hogy működjön hidrogénnel is. Általában véve a közvetlen fűtőberendezések a termékre gyakorolt lehetséges hatások miatt nagyobb kihívást jelentenek az átalakítás szempontjából, míg a közvetett fűtőberendezéseknél, például a kazánoknál, az átalakítási szempontrendszer és ennek megfelelően a vonatkozó műszaki kihívás is egyszerűbb. Néhány konkrét berendezéstípus és kihívás:

- Gázmotoros kapcsolt energiatermelés, ahol a "derating" és a nem megfelelő égés („kopogás”) problémakörei merülnek fel, az átalakítás helyett inkább cserét tehetnek szükségessé.
- Üvegkemencék, amelyek esetében közvetlen hőátadással működik a rendszer, a láng hőátadó karakterisztikája és a füstgáz összetétele miatt hatással lehet a termék minőségére.
- Élelmiszeripari kemencék. Ezek általában egyedi berendezések, amelyek kimondottan szigorú követelményeknek kell, hogy megfeleljenek.
- Kemencék, ahol a füstgáz összetételének változásaira az adott folyamat érzékeny lehet és e mentén aggályok merülnek fel a termelés során.

A tanulmány becslést ad arra, hogy az egyes ipari berendezések hidrogénes üzeműre történő átalakítása milyen hozzávetőleges beruházás igényel bírna. Erre jellemzően 200 000 – 1 000 000 GBP-s összeg adódott a vizsgálatok során, a teljes brit ipari tüzelőberendezés flotta cseréjét megközelítőleg 2,7 milliárd fontra becsülték a tanulmány készítői.



4.4. ábra: Költséggörbék egyes ipari ágazatokban használt berendezéstípusok cseréjére

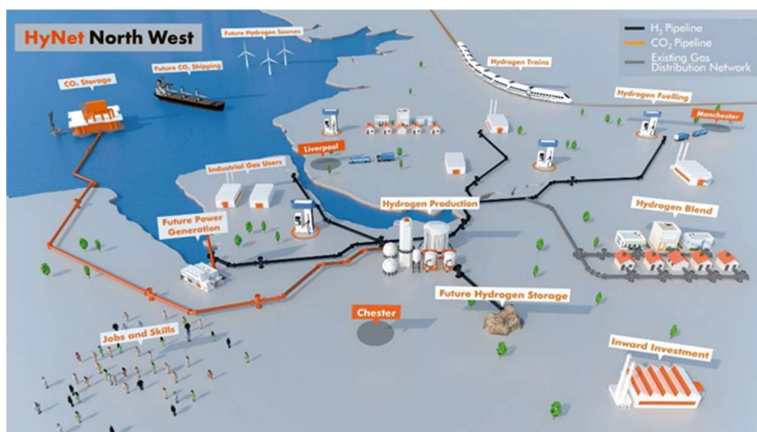
H100 Fife

A skóciai Levenmouth településén tervezik kialakítani a világon az első, 100%-ban hidrogénből lakossági felhasználókhoz szállított, nulla szén-dioxid-kibocsátású zöld hidrogén ellátást. A programban – amelynek az úgynevezett East Neuk Power projekt volt az elődje – 300 háztartás vesz részt az első hullámban és tervezik a következő lépést további 1000 háztartás bevonásával. A zöld hidrogént egy 7 MW-os off-shore szélerőmű parkban 100% megújuló energiával elektrolízissel állítják elő a projektben. A hidrogént ideiglenesen földfelszín feletti acél tartályokban tárolják, hogy a megújuló alapú

villamosenergia-termelés és a felhasználás közötti eltérést át tudják hidalni. A hidrogén elosztóhálózatot a projekt keretében építik ki, tehát nem meglévő elosztói infrastruktúrát alakítanak hidrogénállóvá. Továbbá a projekt keretében az új, 100% hidrogén tüzelésre képes eszközök beszerzését – és azok fenntartását is – térítésmentesen szolgáltatják a programban résztvevők számára. A projekt 2023 tavaszával indult és 15 hónapos kiépítést követően lesz kész mind a 300 résztvevő számára.

HyNET projekt

A HyNet North West Anglia észak-keleti és Wales északi tartományaiban egy komplex alacsony és zöld hidrogén értékláncot megvalósító projektcsalád, melynek méretét jól demonstrálja, hogy ez a projektcsalád egymagában teljesíti az Egyesült Királyság 2030-ra vállalt közlekedési, ipari és lakossági kibocsátás csökkentési céljainak 80%-át. A projekt tervei szerint kék hidrogént állítanak elő, amelyet részben ipari partnereknek adnak át a működésük dekarbonizációja céljából, részben pedig bekeverik földgázba és így biztosítanak részben dekarbonizált gázt a lakosság számára. Időközben több új partnerrel is megegyeztek, hogy a kék mellett off-shore szélenergia alapú zöld hidrogént is termelnek majd, amit az újonnan regionálisan kiépített tisztán hidrogén hálózatba injektálnak. A hidrogént ott helyben sókavernákban tervezik tárolni az előállítás ingadozásának áthidalása érdekében. Termelői és felhasználói oldalon a projektnek már több, mint 40 piaci partnere van, akik különböző támogatási forrásokból tervezik megvalósítani az adott ipari eljárás földgázzal 100%-os hidrogénre váltáshoz szükséges technológiaváltást/fejlesztést.



4.5. ábra: A HyNET projekt aktuális infrastruktúra tervei

4.2 Németország

A közelmúltban Németország ambiciózus lépéseket tett a hidrogéntechnológia területén számos projektet indítva (pl.: Eftstadt, H2Pioneer, H2Herten, Oehringen hydrogen island, Westküste 100, stb.), melyek középpontjában többek között a hidrogén meglévő földgázhálózatba történő bekeverése állt. A gázhálózat stabilitása és hidrogénállóságának vizsgálata mellett a lakossági és ipari felhasználók eszközeire gyakorolt hatások elemzése is előtérbe került.

A kutatások főként a hidrogén bekeverés arányának hatását vizsgálták, utóbbi jellemzően 10 és 20 V/V% között adódott és az eredmények alapján ezen intervallumban nem tapasztaltak jelentős degradációt sem a gázvezetékekben, sem a lakossági készülékeken. Az eredmények azt mutatják, hogy a gázinfrastruktúra és a felhasználói berendezések működése hatékony marad ezen hidrogén bekeverési arányok mellett, ami azt mutatja, hogy nincs szükség a jelenlegi eszközök cseréjére.

Ezen eredmények összehasonlítása más európai uniós országok, például a brit vizsgálatok eredményeivel, szintén megerősíti a hidrogén bekeverés dekarbonizációs hatásait a gázinfrastruktúra elemei esetében. Ezek az eredmények jelentős lépést jelenthetnek a fenntartható hidrogéngazdaság kialakításában és az alternatív energiahordozók szélesebb körű felhasználásában. Az alábbiakban a fent felsorol projektek közül néhány esetében összefoglaljuk a főbb eredményeket.

Erftstadt projekt

A regionális német gáz TSO (Rheinische NETZgesellschaft, röviden RNG) által 2022. októberében indított projekt keretében 100 háztartás számára hat hónapig 20 V/V%-os hidrogén bekeverési kísérlet "teljesen problémamentes"-en zajlott. Az Erftstadt városában zajló teszt során nem tapasztaltak semmilyen technikai problémát a felhasználók gázkészülékeinél, amelyeket előzetesen bevizsgáltak a kompatibilitás biztosítása érdekében. A kísérlet azt vizsgálta, hogy a német gáztörvény által engedélyezett hidrogénkoncentrációt (10 V/V%) növelhetik-e 20 V/V%-ra, amely egyszerre jelentene megoldást a megújuló energia felesleg tárolására és a földgáz felhasználás csökkentésére is. A projekt konzorciumban szereplő három cég (TÜV Rheinland, GVG Rhein-Erft és RNG) véleménye, hogy a 20 V/V%-os hidrogén keverék mindössze 7%-kal csökkentené az eszközök károsanyag-kibocsátását a földgázhoz képest. A résztvevők a készülékeiket a hat hónap alatt "szokásos módon" használhatták, bárminemű átalakítás nélkül, bár a projekt helyszínéül azért is Erftstadt várost választották, mivel viszonylag új gázvezeték hálózattal rendelkezik (2007), ami lehetővé teszi az optimális elosztást és ellenőrzést. A hasonló brit projektekkel megegyezően a résztvevő háztartásoknál nem jelentkezett extra költség a projekt keretében, a hidrogént ingyen kapták és esetleges karbantartási munkákat is ingyen végeztek az eszközökön a projekt keretében. A kísérlet során a háztartásokat felszerelték hidrogén-koncentráció mérő berendezésekkel, amelyek esetleges akkumulációt riasztottak a felhasználókkal, de erre nem volt precedens a projekt során. A tesztben felhasznált hidrogént helyben állítják elő, a klór-alkáli elektrolízis melléktermékeként, ami a sóból klórt és lúgot termel. A német parlament jelenleg tárgyal egy tervezetet, amely 2023-tól betiltaná az új fosszilis tüzelőanyagú fűtési rendszerek telepítését, kivéve a "hidrogénkész" gázkazánokat, feltéve, hogy a helyi elosztási hálózatok részére 2035 kezdetére kiépítik a H₂ infrastruktúrát. A projekt keretében igazolták, hogy 23 V/V%-ig a meglévő földgáz végfelhasználói berendezések bárminemű átalakítás nélkül is „hidrogénálló”, így a következő lépés a projekt keretében a 30 V/V%-os hidrogén bekeverés és annak hatásainak vizsgálata lesz a közeljövőben.

The Öhringen Hydrogen Island projekt

Németország délnyugati részén, Heilbronn-tól keletre eső kisvárosában, Öhringenben a Netze BW elosztóhálózat-üzemeltető a gázellátás tesztelésének céljából, növekvő mennyiségű hidrogént kevert a földgázhálózatba és tesztelte annak hatását az elosztói és végfelhasználói infrastruktúrára. A „Hydrogen Island” projekt keretében BW-NETZlabor első fázisában, 2020. októbertől az Öhringeni Netze BW létesítményeit már földgáz-hidrogén keverékkel látták el. Jelenleg a hidrogént külső forrásból vásárolják, de hamarosan saját megújuló villamosenergia-alapú vízbontással helyben előállított hidrogént fognak használni a tesztekhez. 2022. júliusa óta a Netze BW 30 szomszédos háztartást is ellát a földgáz-hidrogén keverékkel. A tesztet a biztonság kedvéért egy leválasztott szigetüzemű hálózatot kialakítva végzik. A hidrogén arányát fokozatosan 30 térfogat százalékra tervezik emelni, ez lesz az eddigi legmagasabb hidrogén bekeverési arány a meglévő német földgázvezetékben, ennek ellenére a projektvezetők előzetes tesztek alapján nem várnak komplikációt. Ebben az esetben azonban a 30 V/V% hidrogénarányú gázbefogadásához már terveznek kisebb módosításokat a végfelhasználói berendezéseken, azonban ezek főleg szivárgás megelőző intézkedések, nem az égők átalakítását vagy módosítását jelentik. Megjegyzendő, hogy a hidrogén jelenléte a városi gázvezetékben nem szokatlan, hosszú hagyománnyal rendelkezik ebben a régióban

is, hiszen Németország első gázelosztó rendszereiben, Hannoverben és Berlinben nem természetes földgáz, hanem városi gáz volt, melyet kőszén elgázosításból nyertek, és akár 50 százalékos hidrogéntartalommal is rendelkezhetett. Ilyen városigáz a hazai földgázelosztói hálózatban is jelen volt, Sopronban például 1969 utáni időszakban 55 V/V% hidrogéntartalmú városigáz is volt.

H2Pioneer projekt

2022-ben indult a H2Pioneer projekt az Infineon Austria, Linde, Verbund, HyCentA Research GmbH és az Energy Institute Johannes Kepler University Linz részvevőkkel. A projekt keretében egy 2 MW-os PEM típusú vízbontóból állítanak elő megújuló hidrogént, amelyet helyben az Infineon villami mikroelektronikai gyárában fognak felhasználni technológiai célra. A projekt arra is rávilágít, hogy a hidrogén ipari végfelhasználói között a chipgyártás is megjelenik, mint jelentős felvevő. A projekt külön érdekessége, hogy a szilikonlapok előkészítési fázisában megmaradó hidrogén a folyamatból kilépve egy tisztítási fázis után felhasználható például mobilitási célra. Ez utóbbit is demonstrálja a projekt, hiszen több hidrogén üzemanyagcellás buszt is üzembeállítottak a villami telephelyen, amelyek ezt az „újrahasznosított” üzemi hidrogént használják üzemanyagként. Ipari végfelhasználói eszközök esetében hidrogén bekeverhetőség tekintetében a német fejlesztések között kiemelkedő a Siemens, különös tekintettel a gázturbinákon végzett fejlesztései terén.

Ipari égők tekintetében nagyobb szereplők, de kisebb KKV-k fejlesztései is komoly eredményeket értek el. Utóbbira példa a dortmundi Kueppers Solutions megoldása, amely egyike annak a három vállalatnak, amelyet jelöltek a 2023-as Német Jövő Díjra. Ennek oka az új "iRecu®" kettős tüzelőanyagú égőjük, amely rugalmasan üzemeltethető földgázzal és hidrogénnel is. Akár 100%-os hidrogénfelhasználás is lehetséges, így az égő potenciálisan emissziómentes termelést is lehetővé tehet. A fejlesztők állítása szerint a hidrogén és a földgáz közötti váltás az üzem további utólagos átalakítása nélkül lehetséges, így a rendelkezésre állás a kereslet függvényében valósítható meg, azaz a még a kezdetben alacsony és nem folyamatosan rendelkezésre álló hidrogénmennyiségek is azonnal felhasználhatók ipari célokra. Továbbá az innovatív hőcserélőnek köszönhetően a gyártó szerint az égő 12% és 50% közötti azonnali üzemanyag-megtakarítást is lehetővé tesz. A kettős tüzelőanyag-keverő égőt kifejezetten a megrendelő üzemi igényeit szem előtt tartva gyártják 3D nyomtatással. A Kueppers Solutions 2022 végén dobta piacra a kettős tüzelőanyaggal működő égőjét, amelyből az első felhasználó a Thyssenkrupp Rasselstein volt Andernachban. A vállalat szerint az itteni mérések azt mutatták, hogy a készülék beépítése után akár 12,9%-os üzemanyag-megtakarítást is elértek a kibocsátás csökkentési potenciálon túl. [12]

Emellett más gyártók, például a BMW és a Saacke közös munkája révén is fejlesztettek új típusú kis hidrogén-földgáz égetésre képes ipari égőfejeket, többek között a BMW autógyárainak festőüzemeiben keletkező melléktermékek megsemmisítése céljából. [13]

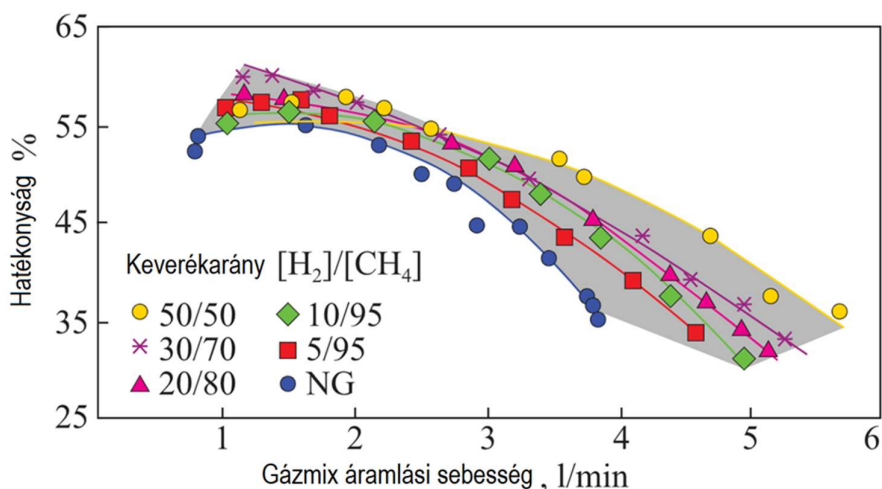
A Siemens Energy lekövetve az ipari trendeket fejleszti a meglévő kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésre képes termékeit, hogy azok minél nagyobb üzemanyag flexibilitással tudják kezelni a hidrogén várhatóan növekvő arányát az tüzelőanyag mixben. Jelenlegi információk alapján a Siemens kisméretű (SGT-400, 12MWe) berendezései már tudnak üzemelni 100% hidrogénnel. [14] Közepes (SGT-800) gázturbinák esetében indikatív a 75 V/V%-ot adják meg mint felső hidrogén bekeverési arány, míg nagyobb méretű GT-k esetében (SGT5-9000HL, SGT6-9000HL, SCC5/6-9000HL) ez az indikatív érték 50 V/V%. A Siemensen kívül természetesen más német OEM is fejleszt hidrogénüzemre is képes CHP berendezéseket (2G Energy, MTU Friedrichshafen GmbH, MAN Engines, MWM Gas Engines, stb.).

4.3 Ukrajna

Ukrajna igen komoly potenciális hidrogénexportőrként tekint magára - leginkább az EU irányába, ennek ellenére szűkös az online – angol nyelven is – elérhető szakmai tartalom a vonatkozó ukrán szakmai kutatás-fejlesztési és innovációs/demonstrációs projektek eredményeiről. Irodalomkutatásunk során azonban két olyan munkát is sikerült feltárni, amelyek kimondottan releváns műszaki tapasztalatokkal bírnak a végfelhasználói berendezések hidrogénállósága tekintetében. Az elsőben Soroka és társai végeztek részletes vizsgálatokat [15]. Az eredmények részletezése előtt azonban itt ki kell emelni, hogy az eredmények egy alacsony impakt faktorú folyóiratban jelentek csak meg. A kutatás céljai és eredményei a következők voltak:

- A hagyományos háztartási készülékek (gáztűzhelyek, bojlerok, vízmelegítők stb.) hidrogénkeverékkel, mint üzemanyaggázzal történő használhatóságának meghatározása.
- Az ésszerű, megengedett hidrogénkoncentráció tartományának meghatározása, amellyel a vizsgálat tárgyát képező végfelhasználói berendezések működhethetnek.
- Illetve, a földgáz-hidrogén gázmixben a hidrogén koncentráció azon határértékének meghatározása, amely megfelel a biztonsági, műszaki-technológiai, energetika és környezetvédelmi korlátozások szempontjából a tüzelőanyagra vonatkozó megfelelő ukrán előírásoknak.

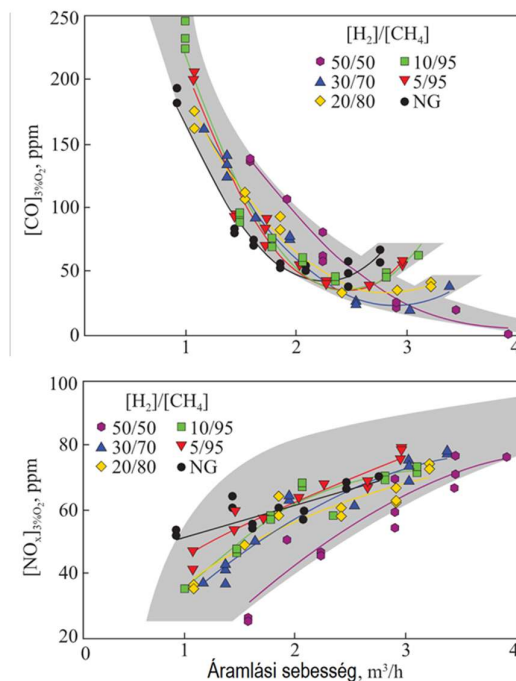
A munka egyik jelentős eredményterméke a vizsgált eszközök gázmix anyagáramának és összetételének függvényében eredményezett hatékonyságának feltérképezése volt. Például a GRETA gáztűzhelyen a tüzelőanyag-felhasználás hatékonyságának függése (4.5. ábra) tipikusan szélsőséges jellegűnek adódott, a maximális hatékonyság jelentősen csökken (a hőteljesítmények széles tartományában), ahogy a tűzhely kimenő teljesítménye (a tüzelőanyag-fogyasztás) növekszik. A hidrogén frakció részarányának növelése a tüzelőanyagban a tűzhely hatásfokának 59%-ra történő emelkedéséhez vezet, ahogyan azt a DSTU (vonatkozó ukrán állami szabvány) szabályozza.



4.6. ábra: A hatásfok (%) függése a tüzelőanyag-áramlási sebességtől (fogyasztás), l/min a GRETA gázfűző esetében

A gáztűzhelyek légköri égőinek környezeti hatásai hasonlóak a háztartási kazánokéhoz. A tüzelőanyag-fogyasztás növekedésével a CO kibocsátás csökken a tanulmány eredményei alapján, míg a nitrogén-oxidok NO_x koncentrációja emelkedik. A termodinamikai előrejelzés alapján a metán-hidrogén keverékben lévő H₂ arányának növekedésével a CO kibocsátás közel nullává válik. A NO_x-kibocsátás nő a tüzelőanyag-áram növekedésével, de a H₂-tartalom emelkedésével a NO_x-kibocsátás az egész hőteljesítmény-tartományban jelentősen csökken. A maximális H₂ tartalomnál a NO_x-kibocsátás 5-10 ppm-re esik, míg az alacsony hidrogéntartalmú tüzelőanyagoknál 140 ppm is több. Az NO_x-kibocsátás csökkentése a gőzképződés fokozásával függhet össze a tanulmány készítői szerint és

ez magyarázza a magasabb hidrogéntartalom mellett kapott alacsonyabb a NO_x koncentrációt az égéstermék füstgázában.



4.7. ábra: A károsanyag kibocsátások koncentrációjának gázmix áramlási és gázelegy összetételüffüggése RÖDA háztartási kétkörös kazán esetében

Az alacsony nyomású vezetékhálózatok alkalmasak hidrogén szállítására. Ugyanakkor a közepes nyomású vezetékeknél problémák merülnek fel, például szivárgás a csatlakozási pontokon. A közepes nyomású vezetékekben a nyomáscsökkenés 0,24-0,4%/óra között változott, ami a norma 2,5-4 szerese. Az alacsony nyomású vezetékek esetében viszont a nyomáscsökkenés minimális volt.

A második munka pedig a hidrogén vezetékes szállításában érdekelt RGK Regional Gas Company (DSO) projektje, amelyről egy szakmai rendezvény keretében osztotta meg saját hálózatán folytatott teszteléseinek tapasztalatait. Megállapításai az alábbiak voltak:

Robbanásveszély: A hőmérsékletváltozás és a hidrogén koncentrációja közötti kapcsolatot is megvizsgálták – megállapításra került, hogy hőmérsékletváltozás hatása meghaladhatja a nyomásváltozás hatását, ami nem várt kihívást jelent.

Háztartási készülékek: A kutatás a hidrogén és metán keverékek égési tulajdonságait is vizsgálta háztartási bojleren és tűzhelyeken. A metán-hidrogén keverék szennyező tényezőjével kapcsolatban a kísérletek azt mutatták, hogy minél magasabb a hidrogéntartalom a keverékben, annál alacsonyabb a szén-monoxid képződés. Ezenkívül a hidrogénkeverék égetése során a kutatók alacsonyabb nitrogén-oxid képződési szintet értek el, mint a tiszta földgáz elégetésekor. Sőt, minél magasabb a hidrogénkoncentráció, annál kevesebb nitrogén-oxid képződik. A kutatók ezt a hatást a hidrogén elégetésének és a vízgőz képződésének tulajdonították.

Hidrogén szállítás és vezetékhálózat rongálódásának kockázata: A hidrogén szállítás során egyrészt a vízgőzkondenzáció okozhat korróziót a csövekben, illetve a kondenzált víz mentén atomos hidrogén diffundálhat a fémrácsba, ezáltal ridegítve azt. A hidrogén molekuláris és atomi állapotban is

károsíthatja a vezetékeket. A szakértők számításai szerint 53 éves működés után válik nagymértékben törékennyé a vezeték.

Végezetül a beszámoló során rámutattak a hidrogén használatával kapcsolatos ukrán szabályozási keret hiányára, különösen a földgázszállító hálózatok terén. Azt is kihangsúlyozza, hogy további kutatásokra van szükség ezen a területen.

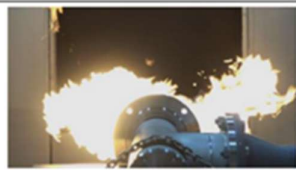
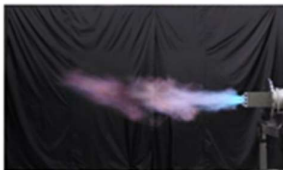
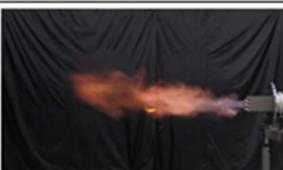
4.4 Japán

Japánban a gázhálózatok meglehetősen széttagoltak az egyes városi gázterületek köré történő történelmi fejlődésük miatt. Japán hegyvidéki domborzata is megnehezíti a széttagolt hálózatok összekapcsolását, ennek is köszönhetően Japánban viszonylag magas azon lakossági végfelhasználók aránya, akik nem csővezetékes elosztóhálózaton keresztül kapják földgázt (vagy LPG-t), hanem acéltartályos disztribúció keretében. Az ország teljes gázvezeték-hálózata 261 167 km hosszú, ennek mintegy 86%-a helyi elosztásra szolgáló kisnyomású hálózat, míg mindössze 0,9%-a nagynyomású. Bár vannak összekapcsolási pontok a területek között, a törzshálózatok nem feltétlenül kapcsolódnak egymáshoz, mivel külön-külön alakultak ki az LNG-terminálok körül. Ennek eredményeképpen nincs egyetlen országos átviteli rendszerirányító sem.

Az előbbi azért fontos megérteni, mert ebből is következik, hogy Japánnak alapvetően más a megközelítése a hidrogén és hidrogéntechnológiák által elérhető dekarbonizációs potenciál kiaknázása terén. Japánban a hidrogéntechnológián keresztüli dekarbonizációra jellemzőbb, hogy decentralizáltan előállított megújulóalapú hidrogént 200 bar-os acéltartályokba töltve, azokat a környékbeli kis és közepes vállalkozások, üzletek, és egyéb kisebb ipari létesítmények számára biztosítják. Ilyenre példa a Namie városában található FH2R létesítmény, vagy a Yamanashi prefektúrában található Power to Gas (P2G) rendszer, amely nem csak környékbeli kereskedelmi partnereknek biztosít hidrogént és oxigént, hanem például a Tokyo Big Sight-hoz is onnan szállítják a hidrogént. A lakossági felhasználók esetében az EneFarmokon alkalmazása jellemzőbb, ami a hidrogéntechnológián keresztüli végfelhasználói dekarbonizációt illeti. Ez a berendezés lényegében egy 5 literes PET palack méretű gőz reformerből áll, ami az alkalmazott fosszilis gázt bontja katalitikus körülmények között ott helyben hidrogénné és szén-dioxidra, majd ezt a hidrogént, ugyanazon készüléken belül egy PEM cella alakítja hasznosítható hővé és villamosenergiává a háztartás számára. Tehát a meglévő lakossági végfelhasználói eszközök direkt hidrogénállósága nem egy olyan irány, amit a japán állam központi stratégiájának zászlajára tűzött volna.

Ennek ellenére vannak ilyen irányú tevékenységek. Például a Kitakyushui hidrogén falu, amelyben egy 1,2 km hosszú dedikált vezetéken keresztül juttatják a 100% hidrogént lakossági felhasználók számára. A felhasználási mód vegyesen lakossági üzemanyagcellákban, illetve dedikáltan kifejlesztett 100% tüzelésre képes melegvízes bojlerekben történik majd. Japán esetében nagyobb jelentőséggel bír az ipari eszközök fejlesztése hidrogénállóság szempontjából. Itt kiemelten fontos azoknak az OEM-eknek a munkája, mint a Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Kawasaki Heavy Industries (KHI), Hitachi (Mitsubishi Hitachi Power Systems, MHPS), amelyek globális szinten meghatározó roadmap mentén fejlesztik a nagyméretű kombinált ciklusú villamosenergia-termelésre képes gázturbináikat, hogy a 100%-os hidrogénégetésre is képes berendezések 2030-as évek elejére piacérettek legyenek. Jelenlegi tervek szerint a MHI például pusztán az égők (combustor) cseréjével képes lesz a régi turbinák „retrofit”-jére, azaz földgázüzemről akár 100%-os hidrogénüzeműre alakítására.

Az ipar számára fontos, magas hőmérsékletű hő előállítására képes hidrogénégők fejlesztésében is releváns tapasztattal bír a távolkeleti ország. A lenti képen a Taiyo Nippon Sanso Corporation által kifejlesztett ipari oxigén-hidrogén/földgáz égők láthatók.

[100% Földgáz] Földgáz 35 Nm ³ /h Oxigén 50 Nm ³ /h Levegő 160 Nm ³ /h		
[50% Hidrogén, 50% Földgáz] Földgáz 17.5 Nm ³ /h Hidrogén 65 Nm ³ /h Oxigén 50 Nm ³ /h Levegő 160 Nm ³ /h		
[100% Hidrogén] Hidrogén 130 Nm ³ /h Oxigén 50 Nm ³ /h Levegő 160 Nm ³ /h		

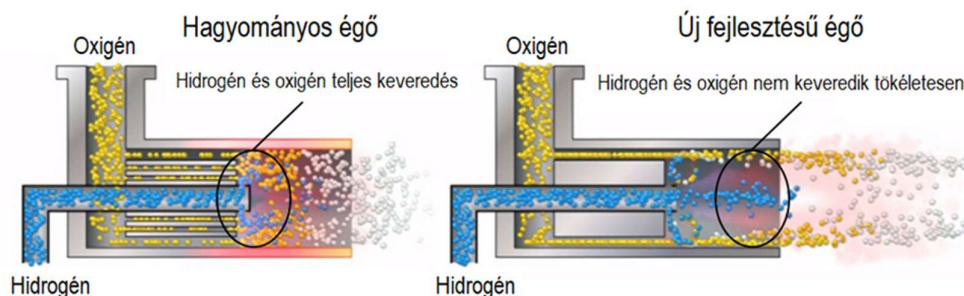
4.8. ábra: A Nippon Sanso által kifejlesztett Innova-Jet® lángja [16]

A cég egyik fejlesztése olyan speciális fúvókák kialakítása volt, amelyek segítségével olyan lángtest (jet) alakítható ki, amely csökkenti az égő hőterhelését, amely a hidrogénláng magasabb hőmérsékletéből fakad.

[Lance mode] Földgáz 80 Nm ³ /h Oxigén 800 Nm ³ /h	
[Lance mode] Hidrogén 400 Nm ³ /h Oxigén 800 Nm ³ /h	
[Burner mode] Hidrogén 500 Nm ³ /h Oxigén 800 Nm ³ /h	

4.9. ábra: A Nippon Sanso által kifejlesztett SCOPE-JET® lángja [16]

A keletkező nemkívánatos NO_x-kibocsátás arányának csökkentése érdekében kifejlesztett többlépcsős égők EU-s szabványoknak való megfelelési céllal Európai Unió ipari szereplők különböző kazánjaiban folytatott tesztjei jelenleg is zajlanak. A lenti ábrán a Toyota és a Chugai Ro Co. ipari kazánspecialista cégek kollaborációjában kifejlesztett általános felhasználásra szánt kazán (General-Purpose Industrial Hydrogen Burner) sematikus ábrája látható. A megoldás egyik kulcs eleme, az olyan előkeverési szekció az égőfejen belül, ami megakadályozza az oxigén és hidrogén teljes és tökéletes keveredését, ezzel limitálva a kialakuló láng hőmérsékletét, így csökkentve a nitrogén-oxidok képződésének arányát, valamint az égő hőterhelését.



4.10. Ábra: Toyota hidrogén égő sematikus ábrája [17]

4.5 EUs/konzorciális tanulmányok

THyGA

A Horizont 2020 "THyGA – Testing Hydrogen for Gas Applications" elnevezésű projektje keretében kilenc uniós székhelyű kutatószervezet és vállalat azt vizsgálta, hogy a hidrogén földgázzal való keveredése milyen hatással lehet a lakossági és kereskedelmi szektor készülékeire, legfeljebb 60 térfogat% H_2 -t tartalmazó földgázkeverékeket (H_2NG) vizsgálva. A méréseket legfeljebb 100 különböző típusú és technológiájú készüléken végezték. A méréseket piacelemzés, elméleti vizsgálatok kísérték a hidrogén égési folyamatokra gyakorolt hatásáról ezekbe a készülékekbe – szakirodalmi áttekintést, valamint elemzéseket is végeztek annak felmérésére, hogy a H_2 hatással lehet-e a csövekben és szerelvényekben lévő anyagokra. Továbbá vizsgálták azt, hogyan lehet enyhíteni a H_2 keverék lehetséges negatív hatásait, és hogyan kell a tanúsítási és szabványosítási folyamatokat a magas hidrogénkeverék-szintekhez igazítani.

A projekt fő célja a H_2NG (hidrogén a földgázban) keverékek széles körű elterjedésének lehetővé tétele a lakossági és kereskedelmi gázkészülékekre gyakorolt műszaki hatásokkal kapcsolatos tudásbeli hiányosságok megszüntetésével. A projekt konzorciuma azonosította a főbb hiányosságokat és ezek alapján javaslatokat tett a megfelelő előírásokra és szabványokra, amelyeket az igényeknek megfelelően kell kiigazítani, valamint a projekt stratégiát is kidolgozott az új és meglévő készülékekre vonatkozó kihívások kezelésére. Ezen célokat a következők révén javasolja elérni:

- Átvilágítja és szegmentálja a háztartási és kereskedelmi szektorban használt készüléktechnológiák portfólióját, és értékeli a hidrogén bekeverés hatását azok üzemvitelére.
- 100 lakossági és kereskedelmi gázkészülék tesztelése, hogy egy általános protokollt lehessen kidolgozni, amely gyakorlatilag bármilyen készülékhez igazítható.
- Hitelesített tanúsítási protokoll kidolgozása a földgázban lévő hidrogén különböző szintjeihez.
- Ajánlások megfogalmazása a gyártók, döntéshozók és végfelhasználók számára a gázértéklánc mentén a készülékek tervezésével, gyártásával és tanúsításával kapcsolatban.

A projekt során hat workpackage keretében vizsgálták a fenti kérdésköröket. Az elméleti megfontolások és a mérések azt mutatták, hogy a hidrogén hozzáadásának az égési hőmérsékletre (ami az alkatrészek esetleges termikus túlmelegedése és az NOX-kibocsátás szempontjából is fontos) és a lamináris égési sebességre (ami a láng stabilizálása szempontjából fontos) gyakorolt hatásai a leginkább kardinálisak. Ezeket gyakran nagymértékben enyhíti a nagyobb légfeszültség arányok felé való elmozdulás, legalábbis a lakossági előkevert gázkészülékek esetében. Ez az eltolódás akkor következik be, amikor az égési folyamatot egy adott tüzelőgázra állították be, majd egy másik, alacsonyabb Wobbe-indexű tüzelőgázzal látják el. A lakossági készülékekben alkalmazott jelenlegi mérési technológia gyakran nem képes megfelelően érzékelni a hidrogén hozzáadása által okozott

változásokat, így a szabályozó rendszerek nem tudnak megfelelően reagálni. Általában véve a projekt eredményei arra világítottak rá, hogy nagyjából maximum 20 V/V%-ig a hidrogén bekeverésnek nincsen az eszköz stabil működése szempontjából negatív hatása.

5 Hazai vizsgálatok eredményeinek összefoglalása

Az elmúlt időszakban számos cikk jelent meg hidrogén témában annak körüljárására, hogy mennyi hidrogén előállítása lenne szükséges a hazai földgázfogyasztás kiváltásához [18]. Az elsődleges szempont a hidrogén tárolási megoldásainak elemzése. Kisüzemi méretekben hidrogént lehet tisztán gáz és folyékony halmazállapotban tárolni és szállítani, emellett adszorpciós és abszorpciós módszerek is alkalmazhatók. A cikk kiemeli, hogy a meglévő földgázhálózati infrastruktúra használata kiváló alternatívát nyújthat a hidrogén tárolására, különféle kapacitások esetén. A hidrogént közvetlenül betáplálhatják az elosztó hálózatba kisebb kapacitások esetén, valamint a földgázszállító rendszeren keresztül a földalatti gáztárolókba is. Ugyanakkor megjegyzi, hogy a jogszabályi keretrendszer ezen alkalmazási területre vonatkozóan még nem áll rendelkezésre.

A hazai földgázfelhasználás hidrogénnel való helyettesítésének potenciálját a MEKH által közölt statisztikai adatok alapján számolták ki. A 2016 és 2021 között átadott földgáz energiatartalma évente átlagosan 89,9 és 103,2 TWh között változott. A teljes hazai felhasznált földgázmennyiség energiatartalmának hidrogénnel történő kiváltása 26,7-30,7 milliárd m³ hidrogén előállításával lett volna megvalósítható ezen időszak alatt. Fontos megjegyezni, hogy a számítások során nem vették figyelembe a hidrogén és a földgáz eltérő tulajdonságainak hatását a jelenlegi földgázrendszerre. A magyar földgázrendszer a hidrogén szállítására a legjobb esetben is csak a szükséges kapacitás 50%-áig lenne alkalmas.

A jelenlegi földgázinfrastruktúra kapacitásának növelése további technikai korlátokkal és műszaki paraméterekkel szembesül, beleértve a szállítóvezetési nyomások és az áramlási sebességek kérdéseit is. A hazai földalatti gáztároló kapacitása jelenleg 6,3 milliárd m³, és ha teljesen hidrogénnel feltöltenék, csak a tárolt energia 30%-a lenne hasznosítható a hidrogén alacsonyabb hőértéke miatt. Ez az arány nem elfogadható nemzeti energiabiztonsági szempontból, és további üzemeltetési problémákat vet fel. Így világosan látható, hogy a jelenlegi földgázinfrastruktúra csak bizonyos mértékű hidrogénkeverék lehetőségét kínálja.

Más megközelítésből vizsgálva azt a kérdést, hogy mekkora földgáz mennyiség kiváltására lennének képesek a jelenleg működő hazai megújuló energiával működő erőművek, ha a megtermelt villamosenergiából teljes egészében zöld hidrogént állítanánk elő, érdekes eredményekre jutottak. A maximális elméleti hidrogénpotenciál jelentős mértékben elmaradhat a ténylegesen felhasználható hidrogénmennyiségtől, mivel az erőművek által megtermelt villamosenergia jelentős része már felhasználásra kerül.

A számítások alapján megállapítható, hogy a jelenleg rendelkezésre álló beépített megújuló alapú villamosenergia-kapacitás Magyarországon nagyjából 48-68 millió kg hidrogént, vagyis gáztechnikai normálállapotban 577-808 millió m³ hidrogéngázt állítana elő, a felhasznált elektrolizátor típusától függően. Ez az elméleti mennyiség a teljes 2021-es éves földgázfogyasztásunk 1,9-2,6%-át fedezné, amennyiben ténylegesen az összes megújuló forrásból termelt villamos energia kizárólag hidrogéntermelésre kerülne felhasználásra.

Bár jelenleg még távol áll a realitásoktól a földgáz teljes kiváltása hidrogénnel Magyarországon, a hidrogénnek, mint tiszta és környezetbarát energiahordozónak kiemelt szerepet kell kapnia a jövő energetikájában. Fontos figyelmet fordítani a hidrogén részarányának vizsgálatokor a lakossági és kommunális szektorra, különös tekintettel a végfelhasználói berendezésekre. Összességében a hidrogénnek fontos szerepe lehet a fenntartható energetikai jövőkép kialakításában.

Egy másik cikkben a szerzők a hidrogén hatását vizsgálták a földgázhálózatban történő szállítás és tárolás szempontjából [19], kiemelve a betáplálhatóság szempontjából legfontosabb tüzeléstechnikai jellemzőket. A hidrogént és a metánt, mint a földgáz fő alkotóelemét, tüzeléstechnikai szempontból hasonlították össze, és néhány jellemző különbséget emeltek ki:

- A hidrogén jelentősen kisebb sűrűséggel rendelkezik a metánhoz viszonyítva, egynolcad részarányban gáztechnikai normálállapotban.
- A hidrogén energiatartalma jelentősen alacsonyabb a metánénál, hőértéke kevesebb mint egyharmada a metán hőértékének. Az alsó és felső Wobbe-számok azonban közelebbi helyzetet mutatnak, 10-15%-os eltérést mutatva.
- A lángterjedési sebességek között számottevő különbség van, a hidrogén lángterjedési sebessége közel 8-szorosa a földgázénak, ami tüzeléstechnikai problémákat, lángviszagyulladás okozhat.
- A földgázhoz jelentős hidrogén keverése a felső gyulladási koncentrációhatár enyhe eltolódását, így a tartomány kiszélesedését eredményezi 100% földgázhoz viszonyítva.
- A hidrogén eltüzeléséhez jóval kevesebb oxigénre, illetve levegőre van szükség, mint a metán esetében, kb. ennek 25%-ára.
- A levegőfelesleg nélküli sztöchiometrikus eltüzelés esetén a hidrogén esetében a fajlagos füstgáztérfogatban lévő CO_2 -tartalom kedvezőbb ($0,001 \text{ m}^3/\text{m}^3$), amely gyakorlatilag megegyezik az eltüzeléshez használt levegő szén-dioxid tartalmával.
- A hidrogén-földgáz keverék esetén nagyobb gáztérfogat szükséges ugyanazon hőmennyiség eléréséhez, mint 100% földgáz esetében.

A hidrogén bevezetésének első lépései közé tartozik annak kivizsgálása, hogy a jelenleg működő gázkészülékek milyen mértékű hidrogéntartalommal képesek elbírní, miközben az üzemeltetés továbbra is jogilag rendezett és biztonságos marad. A szerző megállapítja, hogy a jelenleg üzemelő 2H csoportú gázfogyasztó készülékeket legfeljebb 23 V/V% hidrogéntartalmú földgázzal lehet üzemeltetni. 23 V/V% hidrogén tartalom felett a meglévő gázfogyasztó készülékparkot cserélni kell.

Az időjárásfüggő megújulóenergia-termelés növelésének feltétele a gyorsan kiváltható energiatermelők alkalmazása a biztonságos ellátás érdekében. A gázerőművek és a gázfogyasztó készülékek a legalkalmasabbak a váratlanul kieső megújuló energiatermelés pótlására. Bár a tiszta földgázhasználat kivezetése lehetséges, a gázüzemű energiatermelők még mindig szerepet játszanak az ellátásbiztonság fenntartásában. A megújuló energiatermelés túltermelésének vagy hirtelen kiesésének kezelése érdekében szükség van mind az olaj-, mind a gázfogyasztó készülékekre. A hidrogén földgázhoz keverése átmeneti megoldás lehet a tiszta hidrogén felhasználásához vezető úton. Az első lépések egyike lehet a megújuló energiával előállított, vagyis zöld hidrogén elégetése a meglévő gázfogyasztó készülékekben.

A megújuló energiával előállítható hidrogén mennyiségét úgy becsülik, hogy az EU-ban 2024-ben várhatóan előállított hidrogén mennyisége az európai földgázrendszerben csak 5 V/V% hidrogéntartalmat eredményezne. A földgázhoz kevert zöld hidrogén tárolható, szállítható, és mintegy 20 V/V% H_2 tartalomig a meglévő gázfogyasztó készülékekben is eltüzelhető. Ezért a meglévő gázfogyasztó készülékek legalább két évtizedig használhatók maradnak, feltételezve, hogy a szolgáltatott gáz hidrogéntartalma addigra eléri a 20 V/V%-ot. Az így biztosított két évtizedre szükség is lesz annak érdekében, hogy a tiszta hidrogén használatra felkészüljünk.

Az előírások szerint a gázfogyasztó készülékek biztonságosan üzemeltethetők maximum 23 V/V% hidrogén tartalmú földgáz-hidrogén keverékkel. A felhasználó és az ingatlantulajdonos felelőssége, hogy a 23 V/V% hidrogén tartalmú gáz eltüzelésére alkalmas minősítéssel rendelkező gázfogyasztó készülék műszaki állapotát a létesítéskor hatályos előírásoknak megfelelően fenntartsa. Magyarországon a gyártási, forgalomba hozatali engedéllyel vagy EU-típusvizsgálati tanúsítvánnyal igazolt megfelelőség alapján használatba vett gázfogyasztó készülékek esetében fél évszázadnál is

régebbi gyakorlat a határgázokkal történő vizsgálatokkal bizonyítani a gázfogyasztó készülékek biztonságos üzemét.

A gázminőségre alkalmazott sávszélesség a szolgáltatott gáz felső Wobbe-számának legnagyobb és legkisebb értéke közötti tartomány szélességét jelenti. A felső Wobbe-számot a gáz égéshőjének a levegőhöz viszonyított relatív sűrűségének négyzetgyökével történő osztásával kapjuk. Az azonos Wobbe-számú, de eltérő összetételű gázokkal a gázfogyasztó készülék hőterhelése azonos. Ezért a Wobbe-szám a gázellátás legfontosabb minőségi paramétere. A hidrogén hozzáadása a földgázhoz, a földgáztól eltérő egyéb paraméterei ellenére, a Wobbe-száma nincs jelentős hatással. [8]

5.1 MHTSZ tanulmány

A Magyar Hidrogéntekológiai Szövetség és a Miskolci Egyetem közös tanulmányában – Hazai és nemzetközi irodalomkutatás a hidrogén földgázhoz keveréséről, a felmerült problémákról és megoldásairól [20] – többek között kitér a hidrogén lakossági gázfogyasztó készülékek üzemére gyakorolt hatásának témájára is. A lakossági szektor 3,3 millió magyar lakossági fogyasztót jelent, melyet 2022-ban 3,46 Mrd m³ földgázzal láttak el. A szektor lényeges a hidrogén földgázhoz keverése tekintetében, hiszen lakosságnál üzemelő gázfogyasztó készülékek igen jelentős számban vannak, és csak jelentős gazdasági beruházás mellett állíthatók át más gázminőségű gáz eltüzelésére.

A tanulmányban a szakirodalom elemzése alapján az alábbi megállapításokat, következtetéseket tették a lakossági fogyasztók vonatkozásában:

- A lakossági szektorban nagyszámú, inhomogén eloszlású, típusú, korú és műszaki állapotú készülék található;
- A lakossági fogyasztói körben üzemeltetett gázfogyasztó készülékek nagy része *vélhetően* probléma nélkül képes kezelni a földgáz-hidrogén gázkeveréket minimális (5-10 %) bekeverési arány esetében;
- Külön kell vizsgálni az atmoszférikus levegő előkeveréses, valamint a ventillációs égők és gázfogyasztó készülékek üzemét;
- Megállapítható, hogy a 10 mol% hidrogéntartalmú földgáz gázfogyasztó készülékekre vonatkozó kockázata két tényezőtől függ alapvetően: a primer levegőmennyiségtől, valamint a földgáz Wobbe-számától;
- A legérzékenyebbek a hidrogén tartalom változására az atmoszférikus égők;
- Az eddigi nemzetközi vizsgálati eredmények alapján nem tehető általános érvényű megállapítás a maximálisan megengedhető hidrogéntartalomra vonatkozóan!

Az egyre növekvő hidrogén részarány egyre növekvő tüzeléstechnikai eltéréseket jelent a G20 vizsgálógázhoz képest (100 mol% metán, mellyel a készülékeket vizsgálják a tanúsítás során). Jelentősen módosul a keverék gyulladási koncentrációhatára, változik a levegőszükséglet, a lángterjedési sebességek, és az elméleti lánghőmérsékletek is. A gyulladási koncentrációhatár a hidrogén arányának növelésével lényegesen kiszélesedik. A hidrogén minimális gyújtási energiája körülbelül tízszer alacsonyabb, mint a metáné, azaz sokkal könnyebben meggyújtható, azonban az öngyulladás hőmérsékletük meglehetősen hasonló (H₂: 530 °C; CH₄: 645 °C). Ennek következtében a metán-hidrogén keverékek könnyebben begyulladhatnak, mint a tiszta metán, tehát robbanásveszély szempontjából nagyobb kockázatot jelentenek. A gázkeverék eltüzeléséhez szükséges elméleti sztöchiometrikus levegőmennyiség, és az elméleti égési levegő index (CARI) is csökkenő tendenciát mutat.

A tanulmány kiemeli, hogy a lakossági gázfogyasztó készülékek kapcsán lényeges kérdés, hogy ezekben a készülékekben jellemzően kis sebességgel áramlik a gáz az égőkiömlő felülethez, ezáltal lamináris égési sebességről kell beszélni. Az égőhöz hozzávezetett gáz sebességének egybe kell esnie az adott gázra jellemző lamináris égési sebességgel, ellenkező esetben a láng leszakad, vagy

visszagyullad az égőbe, károsítva annak szerkezetét. Nem szabad továbbá arról a határról sem megfeledkezni, amit ún. „kioltási átmérőnek” neveznek. Az előkeveréses (injektoros) égőknél az égési reakciózóna viszonylag közel helyezkedik el az égő kiömlő felületéhez, mely egyben hőt is von el a lángtól. A gáz összetételéből adódó növekvő égési sebesség a lángot egyre jobban közelíti az égőfejhez, mely egyre nagyobb mértékű hőelvonást is jelent. Ha az égőfejen lévő kiáramlási keresztmetszet túl nagy, akkor az visszagyulladást eredményez. Ennek megfelelően, ha elég kicsi az átmérő, a visszagyulladás megelőzhető. A minimális „kioltási átmérő” a metán esetében 3,5 mm, a hidrogénél mindössze 0,8 mm.

5.2 BME vizsgálatok

A növekvő időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés kapacitásai miatt szükség van és lesz jelentős mennyiségű villamosenergia tárolására. Ennek érdekében a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem vizsgálatokat végez a hidrogén bekeverésének hatásairól a földgáz tüzelőanyagú berendezések üzemére. [21]

A hidrogén gázhálózatba keverését számos országban engedélyezik, például Németországban bizonyos feltételek mellett 10%-os arányban, Franciaországban 6%-ban, Ausztriában 4%-ban, míg Finnországban 1%-ban. A közeljövőben várhatóan Magyarországon is lehetséges lesz a hidrogén betáplálása a gázhálózatba, kezdetben 5-10%-os mennyiségig, anélkül, hogy jelentős átalakításokra lenne szükség az átviteli infrastruktúrában és a végfelhasználói berendezésekben. Az évtized végére ez az arány tovább növekedhet 15-20%-ra, miután az infrastruktúrán és a berendezéseken szükséges módosításokat végrehajtják.

Az Egyetemen elvégezték a hidrogén és a metán tüzelési paramétereinek összehasonlítását, ami az alábbi táblázatban látható.

Jellemző	Mértékegység	Hidrogén	Metán	Változás (H ₂ /CH ₄)
Molekulatömeg	kg/kmol	2,0159	16,043	12,57%
Specifikus gázállandó	J/(kgK)	4124,47	518,26	795,83%
Reálgáz tényező, normál állapotban	-	1,0006	0,9976	100,30%
Sűrűség, normál állapotban	kg/m ³	0,08989	0,7175	12,53%
Relatív sűrűség, normál állapotban	-	0,0695	0,555	12,52%
Elméleti égési levegő igény [V/V (m/m)]	-	2,39 (34,3)	9,7 (17,2)	24,64%
Égéshő	MJ/m ³	12,745	39,831	32,00%
Fűtőérték	MJ/m ³	10,782	35,894	30,04%
	MJ/kg	119,947	50,026	239,77%
Alsó Wobbe szám	MJ/m ³	40,892	48,184	84,87%
	kWh/m ³	11,359	13,384	84,87%
Gyulladásí hőmérséklet	°C	530	645	82,17%
Gyulladásí határok 20 °C-os levegőben (λ)	-	9,83-0,14	1,99-0,59	
Gyulladásí határok 20 °C-os levegőben	V/V%	4,0-77,0	4,4-16,5	
Maximális lamináris lángterjedési sebesség levegőben	cm/s	346	43	804,65%
Fajhő állandó nyomáson	kJ/(kgK)	14,200	2,156	658,63%
Fajhő állandó térfogaton	kJ/(kgK)	10,076	1,638	615,14%
Adiabatikus kitévő	-	1,409	1,316	107,07%
Kinematikus viszkozitás	m ² /s	106·10 ⁻⁶	16,7·10 ⁻⁶	
Metán szám	-	0	100	0,00%

A vizsgálatoknál a tüzelési paraméterek közül döntő fontosságúak a következők:

- **Adiabtikus lánghőmérséklet:** Az adiabtikus lánghőmérséklet kémiai égési folyamatok szempontjából kulcsfontosságú, különös tekintettel az emissziók, például az NO_x kialakulása szempontjából.
- **Lamináris lángterjedési sebesség:** A lamináris lángterjedési sebesség az égés lefolyásának sebességét jellemzi, és a hidrogén bekeverésével fokozatosan növekszik.
- **Alsó és felső gyulladási határ:** Az alsó és felső gyulladási határ meghatározza, hogy a tüzelőanyagok milyen határok között gyújthatók meg. Sem az alsó határ alatt, sem a felső határ felett nem gyulladhat meg a keverék.
- **A Wobbe-szám** a (tüzelőanyag) gázok felcserélhetőségét jellemzi: ha adott gázfajtaival üzemelő gázfogyasztó készüléken egy másik gázfajtát akarunk használni (pl. H₂ bekeverés), a felszabaduló energiamennyiség csak akkor egyezik meg (felcserélhető), ha a Wobbe-számaik megegyeznek.

A BME-n eddig végzett vizsgálatok:

1. Légfelesleg tényező szabályozású rendszerrel készült mérések (gázmotor)

A gázmotoron végzett mérések eredményei alapján a legfontosabb megállapítás az volt, hogy az előgyújtást szabályozni kell hidrogén bekeverés esetén, mivel az égés jelentősen felgyorsult. Az ipar szempontjából akadályt jelenthet, hogy nem minden gázmotor rendelkezik légfeleslegtényező szabályozással és fennáll a visszagyulladás, illetve kopogás veszélye.

2. Injektoros égőkkel készült elméleti eredmények (háztartási tüzelőberendezések)

Hidrogén földgázba keverése esetén a keverék fűtőértéke és Wobbe-száma kikerül az előírt tartományokból, viszont, hogy mekkora bekeverés esetén, az függ attól, hogy pontosan milyen gázba keverjük a hidrogént.

Számos paraméter változását mérni, modellezni kell a háztartási berendezések esetén, pl.:

- Mennyire akadályozzák a veszteségek az elméleti térfogatáram növekedését
- Az injektorban hogyan változik az elsődleges keveredés levegővel;
- Ez milyen hatással van a lángképre, ami a visszagyulladást mutathatja;
- Hogyan változik a berendezés hatásfoka és károsanyag-kibocsátása.

A hidrogén nagy lángterjedési sebessége miatt bekeverés esetén a láng lerövidül, közelebb kerül az égőhöz:

- Az égő kismértékben tovább melegszik;
- A lángkioltás és a rosszabb másodlagos keveredés miatt a CO, a prompt NO_x és THC kibocsátás növekedhet.

5.3 Miskolci Egyetem vizsgálatok

A Miskolci Egyetem tanulmányában az alapvetés az, hogy a megengedhető gázminőség olyan tartományt jelent, amely a földgázra beszabályozott készülékekben megfelelő energiahatékonysággal és biztonsággal eltüzelhető. A cél tehát az, hogy a gáz minősége olyan legyen, hogy a gázfogyasztó készülékek optimálisan és biztonságosan működjenek. Emellett a földgáz és a hozzá kevert hidrogén továbbra is tárolhatóak a földgázhálózatban. Fontos megemlíteni, hogy a gázminőség megfelelő szabályozása és fenntartása elengedhetetlen a készülékek hatékony működéséhez és a felhasználók biztonságához. A cikk nem vizsgálja a szerkezeti anyagokra gyakorolt hatásokat, kizárólag a

tüzeléstechnikai paraméterek viselkedésére összpontosít, azaz az égésméleti ismeretek alapján von le következtetéseket.

Az összefoglaló alapján a hidrogén hozzákeverése a földgázhoz komplex hatásokat eredményez a különböző gázfogyasztó készülékek és rendszerek esetében. Néhány fontos megfigyelés és megállapítás:

- Háztartási és kommunális gázfogyasztó készülékekben az 5-10 V/V% hidrogén bekeverési arány valószínűleg probléma nélkül kezelhető.
- Külön kell vizsgálni az atmoszférikus levegő előkeveréses, valamint a ventillációs égők viselkedését.
- Ipari égők esetében 10 V/V% alatti hidrogéntartalom vélhetően nem okoz problémát, azonban mindig szükséges az egyedi gyártói előírások alapján történő felülvizsgálat.
- A gázmotorok és gázturbinák nagyon érzékenyek a hidrogén jelenlétére. A hidrogéntartalom változása teljesítménycsökkenéshez, emisszió-növekedéshez, motorkopáshoz és kopogásállóság csökkenéshez vezet.
- A hidrogénhatárértékeket a gyártók határozzák meg. Gázturbinák esetében ez általában 5 V/V% alatti.
- Atmoszférikus égők a legérzékenyebbek, ezek a típusok lehetnek a legérzékenyebbek a hidrogén tartalom változására.

Kockázatok és biztonság:

- A hidrogén tartalom maximálisan megengedhető szintje függ a primer levegőmennyiségtől és a földgáz Wobbe-számától.
- Általános érvényű megállapításokat a hidrogéntartalomra vonatkozóan nehéz tenni, mivel az függ a konkrét készülékektől és rendszerektől.
- Ezért minden egyes esetben egyedi vizsgálatokra, felülvizsgálatokra és szabályozási beavatkozásokra lehet szükség a hidrogén és földgáz keverékek biztonságos és hatékony használatához.

A tanulmányban bemutatott paraméterek és azok hatásai a földgáz minőségére és égési jellemzőire vonatkozóan érdekesek és fontosak az üzemeltetők és szabályozók számára. Néhány kulcsfontosságú megfigyelés:

A földgáz minőségi előírásainak szempontjából megközelítve a témát, észrevehető, hogy a földgázhálózaton keresztül szállított gáz minőségének szorosan meghatározott keretek között tartása létfontosságú a rendszerüzemeltetők számára. A gázminőségében bekövetkező bármilyen zavaró változás kockázatot hordoz magában, mivel hatással lehet a végfelhasználó berendezéseinek biztonságos és hatékony működésére. A szabványok célja az elvek követése, amelyek szerint a földgáz égési jellemzőinek olyan mértékű változása elfogadható, amely nem befolyásolja a gázkészülékek működését, és nem teszi szükségessé a készülékek vagy az égők átalakítását.

Azok a tényezők, melyek problémákat okozhatnak az eltüzelés során, egyértelműen kivehetők. A hidrogén, levegőhöz képest alacsony relatív sűrűsége miatt szivárgás esetén könnyen szétválhat a metántól, potenciálisan robbanóképes közeget teremtve ezzel a felállítási helyiségben. Bár egységnyi térfogatra vetített energiatartalma csak a biometán harmada, a Wobbe-száma, mint a gázkeverékek cserélhetőségét jelző fontos paraméter, mindössze 9,5%-kal tér el. A lényeges különbség a gázok lángterjedési sebességében és gyulladási koncentrációs tartományában rejlik, hiszen a hidrogén lényegesen gyorsabban ég levegőben, mint a biometán vagy a földgáz. Ez az eltérés a gázkészülékekben eltüzeléskor kulcsfontosságú változót jelent, és jelentősen korlátozza a megengedhető bekeverhető mennyiségeket.

A tiszta metán 58,03 g/MJ CO₂ kibocsátási értéke a tiszta hidrogén alkalmazásával 0,13 g/MJ-ra csökkenthető. Fontos megjegyzés: a hidrogén égéstermékeiben megtalálható minimális szén-dioxid

tartalom az égéshez használt levegő szén-dioxid tartalmából ered. A földgáztüzelés során a magas tűztér hőmérséklet miatt a nitrogén-oxidok képződése kiemelkedő fontosságú. A hidrogén jelenléte a keverékben magasabb égési hőmérsékletet és levegőfelesleget eredményez, aminek következtében több oxigén áll rendelkezésre a reakciózónában. Emiatt, mivel a hidrogén részaránya csökkenti az egységnyi energiatartalmat, a felszabaduló energia is csökken, így a tűztérhőmérséklet alacsonyabb lesz, ha nem változtatunk az égőhöz vezetett gáz mennyiségén. Ez különösen igaz a lakossági szektorban. Ezek a változások csökkentik a nitrogén-oxidok képződésének valószínűségét. Ugyanakkor, az égésszabályozással rendelkező berendezéseknél, amelyek beavatkoznak a levegőellátásba, a helyi hőmérsékletnövekedés miatt akár magasabb NOx emisszió is előfordulhat. [22]

6 Bekeverés műszaki feltételrendszere a végfelhasználói berendezések tekintetében

6.1 Meglévő végfelhasználói berendezések

A meglévő lakossági végfelhasználói berendezések tekintetében a maximális hidrogén bekeverési arány, vagy megengedhető gázminőség, amely a földgázra szabályozott égőkben/készülékekben megfelelő biztonsággal és tüzelési hatékonysággal égethető el, a nemzetközi tanulmányok és tesztek alapján két fő faktortól függ; magától az eszköztől és a hidrogén-földgáz közötti eltérő fizikai tulajdonságoktól. Az előbbiekre vonatkozóan elmondható, hogy az atmoszférikus égők és ventilációs égők mutatkoznak a legérzékenyebbek a hidrogéntartalom változására, melyeket külön kell vizsgálni hidrogénállóság szempontjából. Utóbbi esetében pedig a vizsgálandó paraméterek főleg a primer levegőmennyisége (és minősége), valamint a földgáz Wobbe-száma, amely a megfelelően biztonságos égési körülményeket meghatározzák hidrogén-földgáz elegy esetén. Nem könnyíti meg a hazai helyzetet, hogy a lakossági gáztüzelésű végfelhasználó berendezések igen sokfélék, nem csak gyártó és eszköztípus tekintetében, de kor, műszaki állapot és égőtípus vonatkozásában is. Ez az inhomogenitás megnehezíti az általános érvényű megállapításokat a hazai berendezések hidrogén befogadására vonatkozóan. Végeztek hosszabbtávú üzemtesztet akár 30 V/V% vagy a feletti hidrogénarányral rendelkező földgázalapú üzemelésre is, melyek ugyancsak pozitívak voltak. Mindezek ellenére a széleskörű nemzetközi tesztek alapján összességében kijelenthető, hogy a lakossági fogyasztói körben üzemeltetett gázfogyasztó készülékek nagy része valószínűleg probléma nélkül képes kezelni földgáz-hidrogén gázkeveréket minimális (5-10 V/V%) bekeverési arány mellett.

A nemzetközi tanulmányok és azok mentén szerzett tapasztalatok rávilágítottak, hogy műszaki szempontból az alábbi főbb kockázatokra kell kiterjednie egy esetleges biztonsági tesztnek, amely a meglévő berendezések hidrogénbefogadó képességét meghatározza:

- Gázszivárgás
- CO és NOx-kibocsátás
- (helytelen) eszközbeállítás
- Láng visszacsapás/visszaégés
- Késleltetett égés

Mivel a legtöbb gázkészüléket nem úgy tervezték és üzemeltetik, hogy a legfeljebb 20 V/V%-ot tartalmazó földgáz-keverékek elégetésére üzemszerűen képes legyen, a hidrogén változó arányú bevezetése a gázhálózatba jelentős változást jelent a gázkészülékek és -berendezések számára.

Szivárgás

Intuitív módon az egyik fő kockázat, amelyre különös figyelmet kell fordítani, a gázszivárgás. A hidrogén kisebb molekula, mint a metán és nagyobb diffúzitási állandóval rendelkezik, mely révén az anyagokon (permeáció) vagy kis lyukakon keresztül történő szivárgása különös kockázatot jelent. Például a Hy4Heat brit projekt alaposan tanulmányozta a tiszta hidrogén gázszivárgását számos konfigurációban, és a következő végső következtetéseket vonta le:

- Ha metán/földgáz nem szivárog egy adott szerelvényen, akkor hidrogén sem fog.
- Ha a metán/földgáz szivárog, akkor a hidrogén is szivárogni fog.
- A balesetekből, például fűrt lyukakból vagy szöglyukakból származó szivárgások valószínűleg nagy volumenű szivárgási források lesznek turbulens áramlási rendszerrel. A laza és sérült szerelvényekből származó szivárgások valószínűleg kis volumenű szivárgási források lesznek, lamináris áramlási rendszerrel.
- Ami igaz a tiszta hidrogénre, annak igaznak kell lennie a földgáz-hidrogén elegyre is. Tehát a gázelegy kockázatainak elkerülése és a szivárgás elkerülése érdekében biztonsági ellenőrzés során értékelni kell a háztartási gázhálózat és a készülékek tömítettségét is.

A THyGA projektben [24] is vizsgálták a gázkomponensek tömítettségét. Több földgázvezetési szerelvény komponensét is vizsgálták különböző metán és metán-hidrogén keverékekkel. A vizsgálat során arra a következtetésre jutottak, hogy ha egy alacsony nyomású gázvezeték a földgázszabványok szerint megfelelően telepítettek, akkor az várható, hogy az adott szerelvény, szerelvény szakasz nemcsak földgázra, hanem a gázkeverék számára is szivárgásmentes lesz.

CO és NO_x-kibocsátás

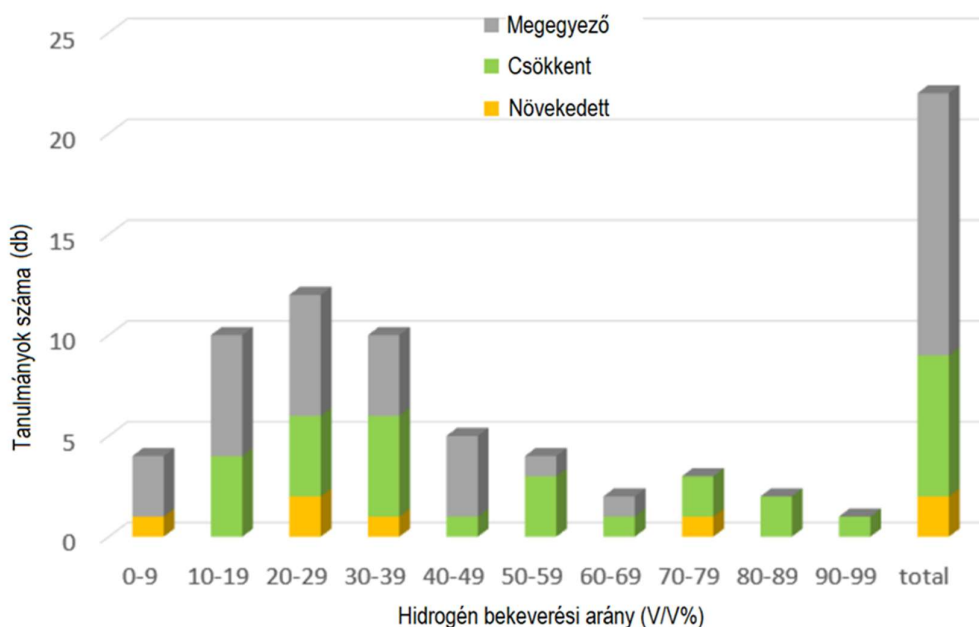
A készülék körül tartózkodó emberek számára az egyik fő veszélyt a megváltozott égési körülmények miatt potenciálisan nagyobb koncentrációban keletkező szén-monoxid jelenti. A szén-monoxid (CO) olyan mérgező szennyező anyag, amely a szénhidrogének nem teljes elégetése során keletkezik, és mint ilyen, szorosan kapcsolódik a λ légfeszültség-arányhoz. A hidrogén hozzáadása az égetett gázelegyhez eltolja az égési folyamat sztöchiometriáját a magasabb λ értékek irányába, kivéve, ha a levegő állandó többletarányát valamilyen szabályozó rendszerrel fenntartják. Ez azt jelenti, hogy elvi szinten hidrogén bekeverés hatására a szén-monoxid-kibocsátás kisebb lesz. Ez a jelenség alapvetően két fizikai okra vezethető vissza, az első, hogy a hidrogén hozzáadásával megnövekszik az égéstérben az OH gyökök száma, amely egy aktív intermedier a szén-monoxid oxidációjában. A másik ok pedig, hogy a hidrogén bekeverésével az égéstérben lévő szénatomok száma – a földgáz arány csökkenésével – természetesen csökken. Egyetlen módja lehet, hogy a szén-monoxid kibocsátás hidrogén hozzákeverésével növekedjen, ez pedig a nem megfelelően beállított levegő betáplálás, ebben az esetben ugyanis instabil és ezáltal tökéletlen lehet az égési folyamat. A modern készülékeknek ezt a kibocsátási kockázatot a készülékek tanúsításán keresztül minimalizálják:

- Minden gázkészüléket az EN 437 határértékkel rendelkező gázok ellenőrzése céljából tesztelnek
- A CO-kibocsátást az égés minőségének értékelésére használják és a CO kibocsátási koncentrációt a megfelelő határértékek alatt tartják.

Mivel azonban a hidrogén bevezetése miatt a gázokra vonatkozó előírások is várhatóan változni fognak, célszerű megfontolni, hogy azokat a készülékeket, amelyeket bizonyos hidrogén-földgáz eleggyel fognak táplálni, és amelyek H₂-aránya egy bizonyos határérték felett van, újra be kell vizsgálni megfelelő hidrogén tartalmú határgázokkal. A Gasqual projekt [23] során például kimutatták, hogy a nem megfelelően karbantartott készülékek esetén jelentkező CO kibocsátás magasabb volt, mint a rendszeresen karbantartott készülékek esetén. Az égő rendszeres tisztítása tehát szükséges a kazánhoz, hogy az a Wobbe-index teljes releváns tartományában ideálisan működjön. Ha az égő megfelelően van tisztítva, akkor szinte ugyanazon Wobbe-tartományban működhet, mint egy új égő. Következésképpen az égő rendszeres tisztítása szükséges. Ezt a munkát vagy a tulajdonos (normál főzőkészülékek), vagy szerelő (kazán, vendéglátóipari berendezések, egyéb) végezheti el.

Az NO_x kifejezés az nitrogén-monoxid (NO) és a nitrogén-dioxid (NO₂) és bizonyos esetekben a dinitrogén-monoxid (N₂O) kibocsátást foglalja magába. A légkörbe kerülve a nitrogén-oxidok reakcióba lépnek vízzel, vízgőzzel és salétromsavat (HNO₃) képeznek, amely a savas eső egyik fő okozója. Továbbá, a nitrogén-oxidok irritálhatják és károsíthatják a légzőszerveket, ezért egészségügyi problémákhoz vezethetnek. Földgáztűzelés során a nitrogén-oxidok kialakulása a magas

tűztérhőmérséklet miatt lehet meghatározó tényező. A hidrogén jelenléte a keverékben alapvetően növeli az égési hőmérsékletet. Ez a jelenség, ahogy azt a 3. fejezetben is érintettük, függ a hidrogén-földgáz aránytól, valamint a tüzelőanyag és levegő arányától és áramlási értékektől is. Azonban ez a megállapítás nem érvényes azokra az égésszabályozással rendelkező készülékekre, amelyek beavatkozhatnak a levegőellátásba. Tehát, a helyi hőmérsékletnövekedés miatti magasabb NO_x emisszió előfordulása egy sok komponensű és készülék paramétereiktől nagyban függő jelenség, amelyre a nemzetközi tanulmányok tapasztalatai a beállítások és kezdeti paraméterek függvényében változatosak. A ThyGA projekt keretében végzett irodalomkutatás alapján azonban az látszik (6.1. ábra), hogy a vizsgált rendszerek esetében döntően a hidrogén bekeverési arány növekedésével a NO_x-kibocsátás mértéke vagy megegyezett a 100% földgáz tüzelés esetén kibocsátott értékkel vagy csökkent.



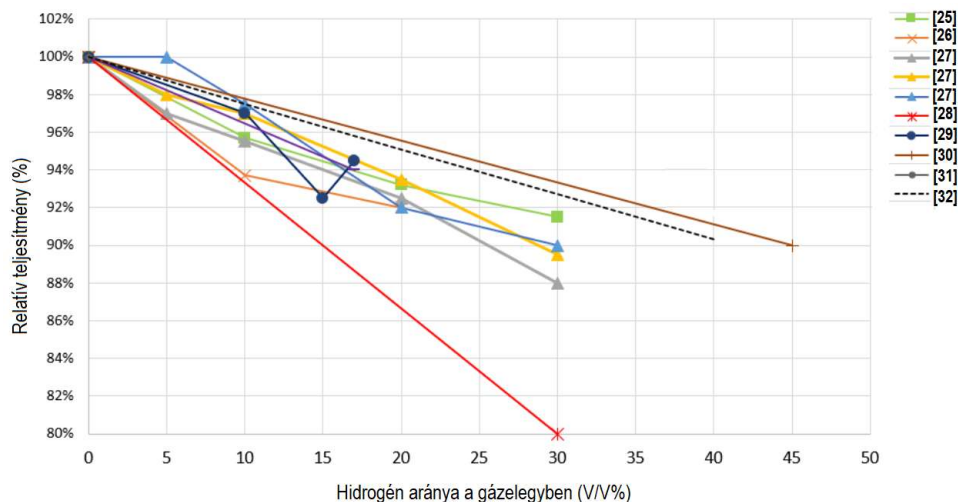
6.1. ábra: A közölt szakirodalomban szereplő NO_x-kibocsátási eredmények áttekintése

Helytelen eszközbeállítás

Ha egy készüléket alacsony Wobbe-indexű gázra állítanak be, akkor, ha a későbbiekben a szolgáltatott gáz hidrogéntartalma növekedésével magas Wobbe indexű gázelegyre váltanak át, nagy mennyiségű CO-t bocsáthat ki a rendszer. A beállítás és a működési problémák, illetve a CO-kibocsátás közötti kölcsönhatásokra például a THyGA-projekt hívta fel a figyelmet [23] [24]. A GASQUAL és a THyGA projektekből származó beállítási tesztjelentések azt mutatják, hogy a G20-gázminőségre való beállítás a Wobbe-index azon tartományának maximalizálására törekszik, amelyben a készülék biztonságosan tud üzemelni. Ezért a beállítási eljárást úgy kell korrigálni, hogy figyelembe vegye a várhatóan változó Wobbe-indexet. Az olyan alternatívákat, mint a beállítás megtiltása vagy a készülék utólagos beállítása/visszaállítása a gyári beállításokra, szintén meg kell vizsgálni a hazai eszközök esetén is.

A 6.2. ábra a hidrogénkeverékkel működő készülékek relatív hőteljesítményét (kazánok esetében jellemzően a vízkörforgásba bevitt energiára utalva) mutatja a különböző tanulmányok esetében a tiszta földgázzal összehasonlítva. Az eredmények némileg eltérnek az egyes készülékek között. Az általános tendencia szerint 30 V/V%-os hidrogén bekeverés esetén 10% körüli teljesítménycsökkenés

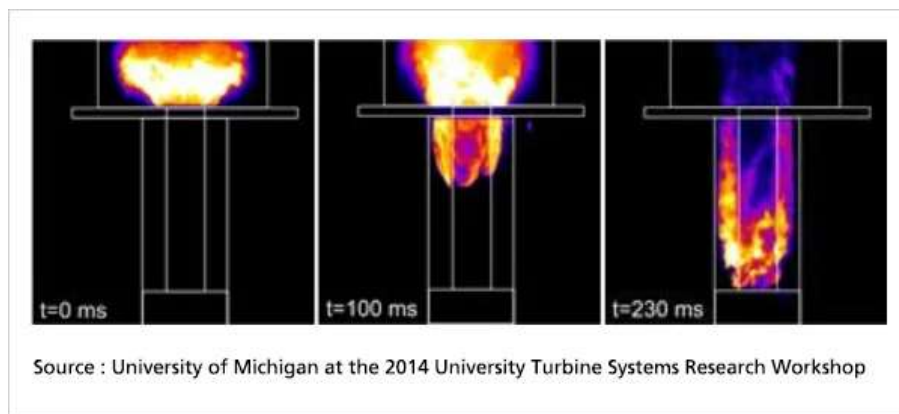
várható. Elméletileg a teljesítménycsökkenésnek tendenciózan követnie kellene a Wobbe-indexet, azonban, mint a 6.2. ábrán is látható, a legtöbb készülékben a csökkenés jelentősebb mértékű. Ez a megfigyelés a nem megfelelően beállított és hidrogénkeverékekre optimalizált és a hasznosítható hőt nem optimális módon a melegvíz-körforgásba továbbító egyedi készülékkialakítások okozta hőveszteségeknek tulajdonítható.



6.2. ábra: A különböző készülékek teljesítménye a bekevert hidrogénarány növelésével. Összehasonlításképpen, a szaggatott vonal a gáz Wobbe-indexe alapján számított elméleti relatív teljesítménycsökkenést jelzi a gázkeverék összetétele alapján. NBML15, KDHO11, NiWe12, ZhMs20, SaPL20, ChMS20, PoDC03, Wobbe index [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32]

Visszaégés

A hidrogénkeverékekkel kapcsolatban a hidrogén földgázhoz való hozzákeverésekor fellépő visszagyulladás az egyik legnagyobb aggodalomra okot adó jelenség. A lakossági tüzelési technológia esetében a lamináris égés meghatározó szerepet játszik, és előnyökkel jár például az égési folyamat zajkibocsátása tekintetében. A hidrogén hozzáadása növeli a lamináris égési sebességet – ha az égési sebesség nagyobb, mint a gáz áramlási sebessége, a láng egyre közelebb kerül az égőhöz. Visszaégés (flashback) akkor lép fel, amikor a láng a fúvókán keresztül visszafelé kezd el terjedni az eszközben. Ez súlyosan károsíthatja az égőt, mivel az áramlásirányú alkatrészeket nem úgy tervezték, hogy ellenálljanak a magas hőmérsékletnek, valamint tökéletlen égéshez és ezáltal megnövekedett károsanyag-kibocsátáshoz vezethet.



6.3. ábra: Visszaégés egy gázturbina égőben [33]

A széleskörű nemzetközi teszteredmények alapján a részben előkevert gázeleggyel működő berendezéseknél ez a probléma jobban érvényesül, mint a teljesen előkevert eszközök esetén. Előbbi készülékeknél nagyjából 20 V/V% hidrogén bekeverésig nem tapasztaltak visszaégést, bizonyos esetekben még ennél magasabb értékek (30 V/V%) esetén sem. Hozzá kell tenni, hogy ez nagyban függ az adott eszköz égőjének geometriájától, gáznyílások méretétől is, valamint hogy milyen levegőaránnyal működik a rendszer. Teljesen előkevert égők esetében a visszaégés csak nagyobb hidrogénarány esetén várható. A 30 V/V% alatti hidrogénarány esetén a háztartási kazánokon végzett tanulmányok egyike sem állapított meg laboratóriumi körülmények között a vizsgálati időn belül súlyos visszaégési kockázatot. Hozzá kell azonban tenni, hogy a visszaégés jelenségére nem csak a gázösszetétel, hanem a beállított nyomás és a fűvókaátmérő is hatással van, ezért a visszaégési arányt így összehasonlítani csak fenntartásokkal lehet.

Hidrogén aránya a gázeleyben (V/V%)												
		0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100
[34]	exp.											
[35]	num.			fuel rich								
[31]	exp.											
[26]	exp.											
[36]	exp.											
[37]	exp.											
[27]	exp.											
[25]	exp.				ignition							
[38]	num.			fuel rich								
[28]	exp.			ignition			steady state					
[39]	num.				extinction		ignition					
[40]	exp.											
[41]	exp.											
[42]	exp.											

Nincs teszteredmény

Nincs visszaégés

Van visszaégési veszély

Biztos visszaégés

Nincs teszteredmény	Nincs visszaégés	Van visszaégési veszély	Biztos visszaégés
---------------------	------------------	-------------------------	-------------------

6.4. ábra: A szakirodalomban fellelhető vonatkozó tanulmányok eredményei a visszaégési veszélyre vonatkozóan a bekevert hidrogén arányának függvényében. GaBA15, VrLM17, SAGO12, Krög1, VrFT00, Jone18, NZST06, CoMC18, Isaa19 [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41] [42]

A hazai eszközparkra vonatkozóan a vizsgálatok hiányában a fenti következtetéseket nem lehet még kijelenteni. Következésképpen a specifikus határgázokkal végzett úgynevezett flashback vizsgálatok (vagy bármely más egyenértékű biztonsági ellenőrzési módszer) során több hideg és forró gyújtást kell végezni, hogy észlelhetők legyenek a szokatlan akusztikai jelenségek.

Késleltetett égés

A késleltetett égési hajlam egy adott gázeleggy esetében kimondottan komoly biztonsági kockázatot hordoz magában. Ennek veszélye a korábbi fejezetekben tárgyalt hidrogén-földgáz elegy földgáztól nagymértékben eltérő égési tulajdonságai miatt viszonylag magasak. Ennek ellenére kevés az erre irányuló nemzetközi teszt. Végeztek ilyen irányú laboratóriumi teszteket a brit HyDeploy projekt keretében, azonban a vonatkozó jegyzőkönyveket, teszteredményeket nem publikálták. A ThyGA projekt keretében végzett hasonló vizsgálatok bizonyos eszközökre vonatkozóan arra a következtetésre jutottak, hogy megfelelő beállítással a késleltetett égés kockázata gyakorlatilag minimalizálható, de az erre vonatkozó vizsgálatokat csak bizonyos brit lakossági és kereskedelmi berendezésekre vonatkozóan végezték csak el.

A fent azonosított kockázatok minimalizálása érdekében a brit Hy4Heat projekt a következő vizsgálatokat javasolja:

- Széleskörű gázszivárgás vizsgálatok a háztartási gázáramlásmérő ellenőrzésével (más módszerek, például nyomásesés is alkalmazható). Ha szükséges, a problémák helyszíni javítása. Ellenőrizni kell, hogy a készülék tiszta és megfelelően karbantartott-e.

- A háztartási hálózatra csatlakoztatott gázpalackok használatával győződjünk meg a biztonságos működésről (beleértve a CO és a flashback) 2H gázzal és egy olyan flashback tesztgázzal, amelynek hidrogénkoncentrációja magasabb, mint a helyi gázelosztó hálózatba való bekeverésre tervezett hidrogénkoncentráció, hogy legyen biztonsági tartalék hidrogénkoncentráció változás esetére. Franciaországban például a 2%-nál kisebb vagy azzal egyenlő hidrogén tartalmú adalékanyagok esetében nem kell biztonsági vizsgálatokat végezni. Ezt az álláspontot 5 V/V%, 6 V/V% vagy 10 V/V%-os hidrogénkoncentráció esetén is figyelembe kell venni.

Átalakítás

Amennyiben a földgázhálózatban 5-10 V/V%-nál nagyobb mennyiségben fordul elő hidrogén, a végfelhasználói berendezések műszaki vizsgálatával és adott esetben átalakításával kell felkészíteni azt a megváltozott üzemenyaggal történő biztonságos és hatékony működéshez.

Lakossági berendezések

Lakossági gáztüzelésű eszközök átalakítására vonatkozóan a releváns nemzetközi szakirodalom nem tartalmaz széleskörű tapasztalatokat, javaslatokat. Ennek fő oka, hogy ezen a teljesítményszinten, különös tekintettel a biztonsági megfontolásokra, alacsonyabb kockázatú megoldás az eszközök cseréje egy esetleges hidrogénes tüzelésre történő átállás esetén.

Azonban ha mégis lakossági rendszerátalakításra van szükség, úgy azt természetesen csak egy hitelesített szakember végezheti el. Erre az Egyesült Királyságban van is már precedens szabvány és kidolgozott kompetencia framework. Az egyes készülékek és az egész ház gázrendszerének hidrogénre történő átállítását csak megfelelően képzett, úgynevezett „Gas Safe” rendszerben regisztrált mérnök végezheti el. Ezt a munkát a szélesebb körű átalakítást végző gázelosztó hálózat üzemeltetőjének közvetlen felügyelete alatt kell elvégezni, ami szavatolja a biztonságos átalakítást. Hidrogénre való átálláskor a készüléket újra üzembe kell helyezni az új gázminőségnek megfelelően, és az üzembe helyező mérnöknek mind a földgáz, mind a hidrogéngáz tekintetében megfelelő képesítéssel kell rendelkeznie. Az Energy & Utility Skills a hidrogénnel dolgozó gázmérnökök képzéséért, akkreditációjáért és nyilvántartásba vételéért felelős szervezet. A keretrendszer lehetővé teszi a hidrogénüzemű gázkészülékekkel dolgozó személyzet számára, hogy megszerezzék a hozzáértő és biztonságos működéshez szükséges ismereteket és készségeket. Ez a keretrendszer a gáziparban jelenleg meglévő hiányosságot pótolja a szakemberek képzése és nyilvántartásba vétele terén a háztartási környezetben és a nem háztartási berendezések korlátozott körére vonatkozóan a hidrogénnel való munkavégzéshez. [43]

Kereskedelmi berendezések

A szélesebb körű műszaki akadályok nagymértékben a hidrogén földgáztól jelentősen eltérő tulajdonságaiból fakadó veszélyekből adódnak. A fő különbségek a következők: szélesebb gyúlékonysági határérték, az alacsonyabb minimális gyulladási energia és a nagyobb lamináris lángsebesség. Ezek együttesen olyan gázkeveréket eredményeznek, amely könnyebben gyullad meg, szélesebb koncentráció tartományban és nagyobb hőmérsékleten égő gyorsabb lángfrontot hoz létre. Ez a lángfront gyorsabban szabadítja fel az energiát a helyi környezetbe, ami rövidebb idő alatt nagyobb túlnyomást és potenciálisan szélesebb körű égést eredményezhet, ami károkat okozhat a berendezésben és a kezelőszemélyzetben, lakosságban. A balesetek elkerülése végett szélesebb körű oktatási programra és a kezelői kompetencia bizonyítására lehet szükség, amely igazodik a lakosság a hidrogén használatának előnyeiről és hátrányairól szóló szélesebb körű oktatásához.

Az egyedi biztonsági kihívások a kereskedelmi készülékek esetén:

- A kereskedelmi sütőket gyakran nem látják el automatikus gyújtószerkezettel, tehát a kereskedelmi szektorban egyedülálló módon sok esetben igénylik a kézi begyújtást.

- A kereskedelmi kazánok lényegesen nagyobbak lehetnek, mint a háztartási kazánok (pl. akár 1 MW is lehet az átlagos 20 kW-hoz képest). A készülék nagyobb térfogata és a hidrogén tüzelőanyag-ellátás megnövekedett áramlási sebessége megnöveli a késleltetett gyújtás esetén potenciálisan káros túlnyomás (robbanás) kockázatát.
- Biztonsági szelepek névleges teljesítménye és maximálisan megengedett szivárgási sebessége. A hidrogén kisebb molekula, mint a földgáz, tehát a hidrogén fokozott szivárgási lehetősége miatt felül kell vizsgálni az új maximálisan megengedett szivárgási sebességeket.

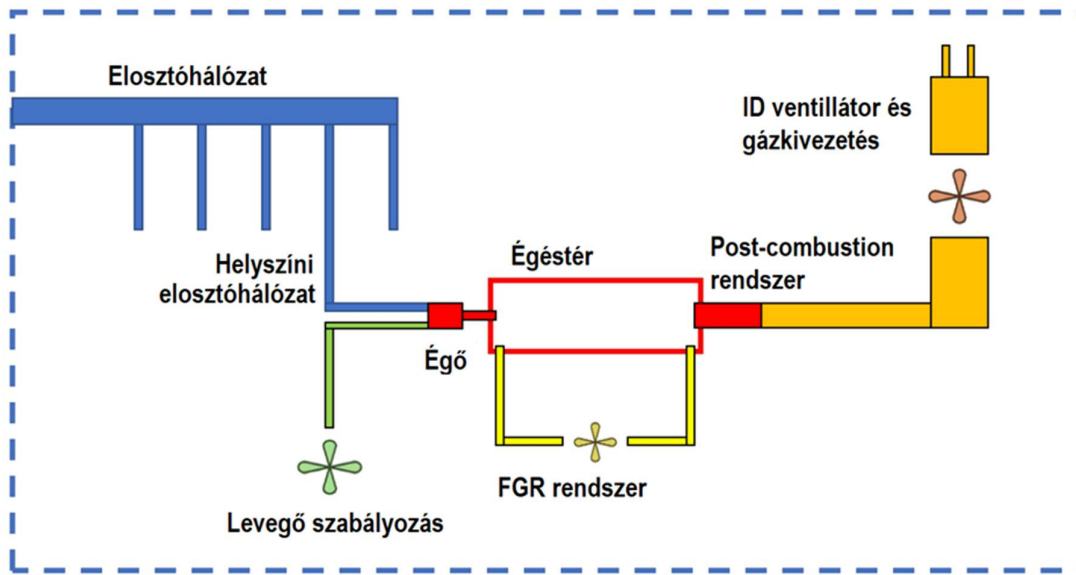
Egy potenciális 100%-os bekeverés esetén – a jogszabályi és számos egyéb műszaki vizsgálat mellett – az itt releváns szempontok az alábbiak:

- A földgázról esetlegesen 100%-os hidrogénre való áttérés következtében a veszélyes területek tartományait meg kell határozni az egyes berendezések és végfelhasználói szegmensek tekintetében. A rezgés okozta fáradásból eredő szivárgási potenciál növekedését is kiemelték a nemzetközi tanulmányok, mint potenciális veszélyt a nagyméretű kereskedelmi berendezések esetében.
- Szellőzési követelmények. Az építési előírásokban szereplő minimális szellőzési arányokat felül kell vizsgálni, hogy meghatározzák a 100%-ban hidrogén üzemanyaggal való működés esetén szükséges változtatásokat.
- Füstgázkezelés. Több gyártó is megjegyezte, hogy a jelenlegi füstgázkezelő csövek nem biztos, hogy a füstgáz megnövekedett vízgőztartalma miatt nem alkalmasak magas hidrogén tartalmú földgázüzelésre.

Funkcionális szempontból további technikai akadályokat is le kell leküzdeni ahhoz, hogy olyan kereskedelmi készülékek kerüljenek beüzemelésre átalakítás révén, amelyek a meglévő földgázüzemű készülékekkel azonos teljesítményszintet érnek el. A különböző készülékek hőcseréjére valószínűleg hatással lesz a 100%-os hidrogénégés megváltozott lángprofilja. A hidrogénlángok ugyanis szinte egyáltalán nem termelnek sugárzó hőt, amely általában az égéstérben lévő háromjáratú héj- és csőhőcserélő teljes hőcseréjének jelentős részét teszi ki. Számos kereskedelmi készülék esetében létfontosságú lesz, hogy a meglévő földgázüzemű készülékekkel azonos, vagy legalábbis nagyon hasonló teljesítményt tudjanak elérni ugyanazon a helyigényen, mint a meglévő földgázüzemű készülékek. Kazánházak, üzemcsarnokok és a kereskedelmi konyhák nagyon szűkösek lehetnek, ezért a készülék alapterületének bármilyen növekedését a többi készülékre gyakorolt lehetséges negatív hatások minimalizálása érdekében kerülni kell.

Ipari berendezések

Az összes vizsgált berendezés esetében az "átalakítás" kifejezés a berendezéseket körülvevő teljes rendszer hidrogénnel való kompatibilissé tételére utal, beleértve az adott berendezést is. Ennek érdekében a rendszer egyes alrészlegein belül bizonyos alkatrészek cseréje válhat szükségessé, amint azt az alábbi 6.5. ábra mutatja. Ez a legfontosabb különbség az ipari berendezésekre vonatkozó megközelítés és a háztartási és kereskedelmi szektor kisebb készülékeire vonatkozó megközelítés között, ahol a teljes készülék cseréje helyénvaló lehet. Ezt a megközelítést a HyHEAT brit projekt keretében végzett ipari létesítmények üzemeltetőivel és a berendezések gyártóival folytatott egyeztetések megerősítették. Az ipari eszközök esetén a hidrogénállóságra való átállítással kapcsolatban azonosított kihívások egyike sem bizonyult megoldhatatlannak (a gázmotoros kapcsolt energiatermelés kivételével). Az átalakítás azonban sikeres demonstrációs kísérletektől függ, hogy a fennmaradó tudásbeli hiányosságok kiküszöbölhetőek legyenek.



6.5. ábra: A berendezés alkotórészeit bemutató vázlatterv

A Hy4Heat projektben a berendezés gyártók, létesítmény üzemeltetők és karbantartó szakemberek véleményei alapján állították össze a következő pontokat az ipari berendezések átalakítása kapcsán az alkotórészekre vonatkozóan:

- **Tüzelőanyag-elosztás** - Az elosztócsövek állapota körüli bizonytalanság miatt, továbbá a hidrogén tartalmú gázelegyek esetén szükséges eltérő nyomás értékek miatt feltételezhető, hogy az ágazatok többségében a helyszíni átviteli és elosztó csővezetékek, hidrogénvezetékek cseréjére van szükség. A vegyipari és finomítói ágazatok kivételt képeznek ez alól, tekintettel a telephelyeken található csővezetékek anyagaira és szabványaira.
- **Levegőrendszer és füstgáz-visszavezetés (FGR)** - A megnövekedett NOx-kibocsátás mérséklése érdekében minden berendezésnek be kell építenie egy a NOx-kibocsátási koncentrációjának csökkentésére szolgáló műszaki módszert, például FGR-t. A jelenlegi égéslevegő-ellátó rendszerek (pl. kényszerített huzatú ID ventilátorrendszerek) nem valószínű, hogy a hidrogén ATEX-nek való megfelelésnek eleget tesznek – kivéve a finomító és a vegyipari ágazatban, ezért szükséges változtatásokat kell eszközölni, még akkor is, ha képesek a szükséges légáramlás biztosítására.
- **Égőrendszer** - Minden égő cseréje szorul a megnövekedett tüzelőanyag-mennyiség miatt, vagy a nyomás és az égőcsúcsok megnövekedett hőterhelése miatt. Az égő kialakításának csökkentenie kell a NOx kibocsátási koncentrációt, csökkentenie kell a visszaégés kockázatát, és UV lángérzékelőt is tartalmaznia kell.
- **Tüzelés utáni égetés és füstgázkezelés** - Egyes közvetlen tüzelésű berendezés típusok esetében feltételezhető, hogy nem szükséges további módosítás, mivel a kibocsátási határértékek enyhébbek. A közvetett tüzelésű berendezések esetében azonban a kibocsátási határérték valószínűleg alacsonyabb, ezért feltételezhetően további NOx-csökkentési módszerekre, például szelektív katalitikus redukcióra (SCR) van szükség. Ezenkívül az FGR nem biztos, hogy elegendő a földgázzal egyenértékű NOx-kibocsátási érték eléréséhez a magas hőmérsékletű kemencékben, ezért feltételezhető, hogy ezeknél is szükség van SCR-re. Az, hogy a NOx csökkentésére szolgáló utólagos égetési módszerek alkalmazása szükséges-e, más technikák, például a megnövelt FGR vagy a gőz hozzáadása hatékonyságától függ.
- **Indukált huzatú (ID) ventilátorok** - Az égési levegő szállításához hasonlóan, a berendezések ATEX megfelelési követelményei szigorúbbak, mint a földgázra vonatkozóak. Minden ID ventilátorról feltételezhető, hogy emiatt cseréje szorulnak, kivéve a finomító és a vegyipari

ágazatban használt ventilátorokat, amelyek többnyire már rendelkeznek megfelelő ATEX-konform berendezésekkel.

Elektronikus vezérlés és műszerezés (EC&I) - Ez egy összefoglaló jellegű alkomponens, amely az összes olyan elektromos berendezésre vonatkozik, amelyek az adott eszköz biztonsági környezetébe tartoznak (DSEAR zóna). A szigorúbb ATEX-követelmények miatt, a vegyipar és a finomítóipar kivételével minden ágazatban feltételezhető, hogy ezeket az elektronikus eszközöket, vezérlőket, adatgyűjtőket le kell cserélni, vagy legalábbis be kell vizsgálni.

Ipari berendezések alkomponensei						
	Elosztó hálózat	Levegő szabályozás, FGR	Égő rendszer	Post-combustion	ID ventilátorok	EC&I
Élelmiszer ipar						
Gőzkazán	x	x	x	x	x	x
Melegvíz bojler	x	x	x	x	x	x
Kazán	x	x	x	✓	x	x
Száritó	x	x	x	✓	x	x
Vegyipar						
Gőzkazán	✓	x	x	x	✓	✓
Melegvíz bojler	✓	x	x	x	✓	✓
Kazán	✓	x	x	✓	✓	✓
Kemence	✓	x	x	x	✓	✓
Száritó	✓	x	x	✓	✓	✓
Járműgyártás						
Gőzkazán	x	x	x	x	x	x
Kemence	x	x	x	x	x	x
Száritó	x	x	x	✓	x	x
Kazán	x	x	x	✓	x	x
Fémkohászat						
Gőzkazán	x	x	x	x	x	x
Melegvíz bojler	x	x	x	x	x	x
Kazán	x	x	x	✓	x	x
Kemence	x	x	x	x	x	x
Kőolaj finomítás						
Gőzkazán	✓	x	x	x	✓	✓
Kemence	✓	x	x	x	✓	✓
Papíripar						
Gőzkazán	x	x	x	x	x	x
Melegvíz bojler	x	x	x	x	x	x
Száritó	x	x	x	✓	x	x
Üvegyártás						
Melegvíz bojler	x	x	x	x	x	x
Kemence	x	x	x	x	x	x
Égetőkemence >600°C	x	x	x	x	x	x
Lehr Kemence	x	x	x	✓	x	x
Kerámia ipar						
Melegvíz bojler	x	x	x	x	x	x
Kerámia kemence	x	x	x	x	x	x
Száritó	x	x	x	✓	x	x
Cementgyártás						
Égetőkemence	x	x	x	✓	x	x
Száritó	x	x	x	✓	x	x
Nemfémek ásványok feldolgozása						
Melegvíz bojler	x	x	x	x	x	x
Égetőkemence >600°C	x	x	x	✓	x	x
Száritó	x	x	x	✓	x	x
Egyéb villamos és gépészmérnöki iparágak						
Gőzkazán	x	x	x	x	x	x
Melegvíz bojler	x	x	x	x	x	x
Kazán	x	x	x	✓	x	x
Száritó	x	x	x	✓	x	x
Kemence	x	x	x	x	x	x

6.6. Táblázat: Ipari berendezések, melyek részegységei valószínűleg módosítást/átalakítást igényelnek vagy cserére szorulnak a hidrogén átalakításakor. „x” jelöli azokat, amelyek cserére szorulnak, és a „✓” jelöli azokat, amelyek már képesek különösebb átalakítás nélkül hidrogénüzemre.

Ugyancsak a brit Hy4Heat projekt keretében végeztek részletes piackutatást, amely rávilágított arra, hogy nemzetközi szinten kiterjedt kutatásokat folytattak gázturbinákban a magas (akár 100%-os) hidrogéntartalmú üzemanyag felhasználása terén és további fejlesztések is folynak. A magas hőmérsékletű égésből származó magas NO_x-kibocsátás csökkentése érdekében több eljárást is fejlesztettek. Egyike a füstgáz visszavezetés, vagy lean eleggyel történő előkevert égetés, illetve vannak

fejlesztések, amelyek vízbefecskendezéssel kontrollálják az égéstér hőmérsékletet és ezáltal a nemkívánatos specieszek keletkezését. Bár vannak a 100%-os hidrogénnel való üzemeltetésre tervezett berendezések is, illetve ilyen üzemeltetésre vonatkozóan több gyártónak is (Siemens, Kawasaki) akár több éves tapasztalata is van, az, hogy a meglévő berendezések alkalmasak-e utólagos átalakításra, további részletes, eszközönként egyedi módon elvégzett („case-by-case”) vizsgálati munkát igényel. A tanulmány rávilágít, hogy korlátozott számban, de több meghatározó gyártóval (OEM) folytatott egyeztetések is abba az irányba mutatnak, hogy az utólagos, akár 100%-os hidrogén befogadásra való átalakítás lehetőségét bizonyos modellek esetében lehetségesnek tartják, noha az eszköz élettartamára gyakorolt hatás tekintetében természetesen nincsenek tapasztalatok.

A gázmotorok esetében nehezebb a hidrogénre való átalakítás. A nagyarányú hidrogénüzemanyaggal való működtetés esetén „kopogás” és a csökkent teljesítmény körül kialakult problémák merülhetnek fel, amelyeket a kísérleteket végző gyártók (OEM) is megerősítettek. Ez megakadályozhatja a meglévő gázmotoros CHP-erőművek hidrogénre való átállítását, ami azt eredményezheti, hogy új berendezésekre vagy alternatív berendezésekkel való cserére lehet szükség, mivel a 100%-os hidrogénnel működő rendszerek továbbra is még tesztfázisban vannak. További kutatási és fejlesztési tudományos/laboratóriumi szintű munkára van szükség a 100%-ban hidrogénnel működő gázmotorok terén, mielőtt ezek átalakítása vagy cseréje lehetséges lenne.

Összességében elmondható, hogy bár komoly eredmények van már most is a különböző iparágakban, ami a földgáz hidrogénes kiváltása és az e mentén megvalósított dekarbonizációt és ennek műszaki vonatkozásait illeti, de bizonyos kockázatok még fennállnak, amelyeket át kell hidalni. A hidrogénre való átállással kapcsolatban a leggyakrabban felvetett iparági aggály a hidrogénre való áttérés fenntarthatósága (nagy volumenű és megfelelő minőségű hidrogén folyamatos rendelkezésre állása, annak karbonlábnyma, stb.), illetve a hazai és nemzetközi gazdasági versenyképesség megőrzése. A nemzetközi verseny szempontjából egyes iparágak, például a járműgyártás és a fémgyártás kitettebbek az átállás költségvonzatának, mint mások, például az aszfaltgyártás. A tüzelőanyag-váltási és szén-dioxid-mentesítési programoknak figyelembe kell venniük ezen iparágak nemzetközi versenyképességét, megakadályozva az energiaigényes iparágak külföldre történő áthelyezését és az ezáltal szén-dioxid-kibocsátás „kiszivárgását”. Így a jövőbeni energia költségeket a külföldi költségekhez kell viszonyítani, esetleg a hidrogén és a vonatkozó infrastruktúra költségeinek egy részének támogatása révén.

A telephelyek és berendezések átalakítása hosszabb, nem tervezett leállási időszakokat igényel a legtöbb ipari telephely esetében. Ennek az időszaknak a hossza iparáganként és telephelyenként nagyon változó, és ezek a telephely összetettségétől függően akár 2 hónapig is eltarthatnak. Ennek anyagi vonzata valamelyest mérsékelhető a karbantartási ütemtervekkel és a tervezett leállásokkal való összehangolással.

A tüzelőanyag-ellátás biztonsága és annak minősége minden energiaigényes ipari létesítmény számára kulcskérdés. A földgázhálózat hidrogénre történő átállítása során figyelembe kell venni, hogy elegendő mennyiségű redundancia álljon rendelkezésre az átmeneti időszak alatt és természetesen azt követően is. Például, ha a hidrogéntermelés egy régióban a viszonylag kevés számú, de nagy, központosított létesítményen keresztül van biztosítva, akkor készenléti és redundáns kapacitást kell biztosítani az esetlegesen felmerülő haváriákra való tekintettel. Ami a hidrogén minőségét illeti, a szennyeződések hatása az égésre szinte minimális. A szén-monoxid vagy metán az égési folyamat során elég, a nitrogén már most is sokkal nagyobb százalékban van jelen az égési levegőben, mint ami a hidrogéntermelésből várható, a víz pedig égési termék, tehát ugyancsak nagy arányban van jelen az égéstérben. Az első kézből származó ipari tapasztalatok azt mutatják, hogy a víz magas aránya (~3 mol%) a hidrogénellátásban hatással lenne a lángszerkezetre, a sugárzó hőátadásra és potenciálisan a végtermékre is, közvetlen fűtési alkalmazásokban. Amennyiben nem elégetésre kerül a hidrogén, alapanyagként vagy katalizátorral ellátott üzemanyagcellákban kerülhet felhasználásra. A kén és a szén-monoxid súlyos katalizátor-mérgek, jelenleg is folynak ígéretes kutatások a katalizátor

szennyeződésekkel szembeni ellenálló képességének javítására és a szén-monoxid eltávolítására H₂-adagolással alacsony hőmérsékleten történő preferenciális oxidációval. [44]

6.2 Új berendezések – műszaki előírások

Az új fejlesztésű akár 100% hidrogén égetésére is képes végfelhasználói berendezések terén különösen a lakossági, kisebb teljesítményű eszközök rendelkeznek nagy választékkal (lásd 6.8 – 6.11 ábrák). Ennek egyik fő oka a korábban említett kockázatcsökkentés, hiszen az egyedi felmérés és átalakítás aránytalanul nagy erőforrást igényelne a lakossági szegmensben, ezért ezen eszközök esetén nagyobb az új kulcsrakész megoldások piaca. A kereskedelmi eszközök terén is vannak úgynevezett „hydrogen ready” eszközök, amelyeket földgázzal is lehet üzemelni, de a későbbiekben egy akár 50-70 V/V% vagy akár 100 V/V%-os hidrogén üzem is csak kisebb átalakításokat igényel. Ipari berendezések esetén is fejlesztenek hasonló elven hydrogen-ready eszközöket, mivel azonban az iparban sok esetben egyedi megoldások szerepelnek magas beruházási költségekkel, így itt elmondható, hogy jellemzőbbek az átalakításra fókuszáló kezdeményezések. Ez alól képez kivételt a kapcsolt villamosenergia és hőtermelés, azon is belül a gázturbinás megoldások, amelyek esetén a hidrogén együtt égetés lehetőségének fejlesztése egy iparágilag elfogadott fejlesztési irány.

Lakossági eszközök

Ami a dedikáltan már a termékfejlesztési fázistól kezdve hidrogén együtt égetésével is működni képes termékek fejlesztését és piacosítását és a vonatkozó regulációs környezet kialakítását illeti, az Egyesült Királyság globális szinten az egyik legmeghatározóbb állam. A Hy4Heat projekt keretében iparági szereplőkkel közösen létrehozott PAS 4444 specifikációs standard rendszer az új típusú hidrogén égetésére is képes eszközök fejlesztésére és engedélyeztetésére vonatkozó útmutató. Ezt a standardot kell követnie a készülékeknek, ami az üzemelést, biztonsági követelményeket, installációt és karbantartást is illeti. További iparági standardként került kialakításra az a notifikációs rendszer, mely egyértelműen jelöli az egyes új fejlesztésű eszközök esetében, hogy milyen hidrogénállósági tulajdonságokkal bír. Ez alapján lehet „hydrogen blend”, „hydrogen-ready”, illetve „100% hydrogen” (lásd 6.7. ábra.).



6.7. ábra: Új eszközök hidrogénállóságát jelző jelölések [43]

A „hydrogen blend” jelentése, hogy az új gázüzemű berendezés akár 20 V/V% hidrogén együtt égetésére is képes bármilyen átalakítás nélkül. A „hydrogen ready” logo feltüntetése azt jelöli, hogy az adott készülékek forgalomba hozatalakor (valószínűleg 2025/6-ig) úgy készültek, hogy alkalmasak legyenek földgázzal való használatra, legfeljebb 20 V/V%-os földgáztartalom mellett. Viszont, ha egy gázbiztonsági nyilvántartásba vett mérnök átalakítja ezeket a hidrogénre alkalmas készülékeket, akkor a későbbiekben akár 100%-os hidrogénkoncentráció mellett is használhatóak. Végezetül pedig minden

hidrogéngázzal működő készülék, amelyet a jövőben közvetlen egy 100%-os ($\geq 98\%$) hidrogéngáz-hálózatban való beépítésre és átalakítás nélküli üzemelésre értékesítenek, a „100% hydrogen” címkével lesz ellátva.



6.8. ábra: A HyFires konzorcium által fejlesztett, engedélyezett hidrogénüzemre képes lakossági kandalló. A kandallók méretei, installációja, működési paraméterei mind egyeznek az inkumbens földgáz alapú rendszerekével, azonban a NO_x-kibocsátásuk alacsonyabb. Kereskedelmi áruk megegyezik a forgalomban lévő hagyományos földgáztüzelésű kandallókéval.



6.9. ábra: HyCookers konzorcium által fejlesztett termékek. Az összes konyhai termék (főzőlap, sütő) átesett a releváns engedélyeztetési folyamatokon. Fizikai paraméterek, valamint, működtetési és installációs szempontból teljesen megegyeznek a földgáztüzelésű rendszerekkel.



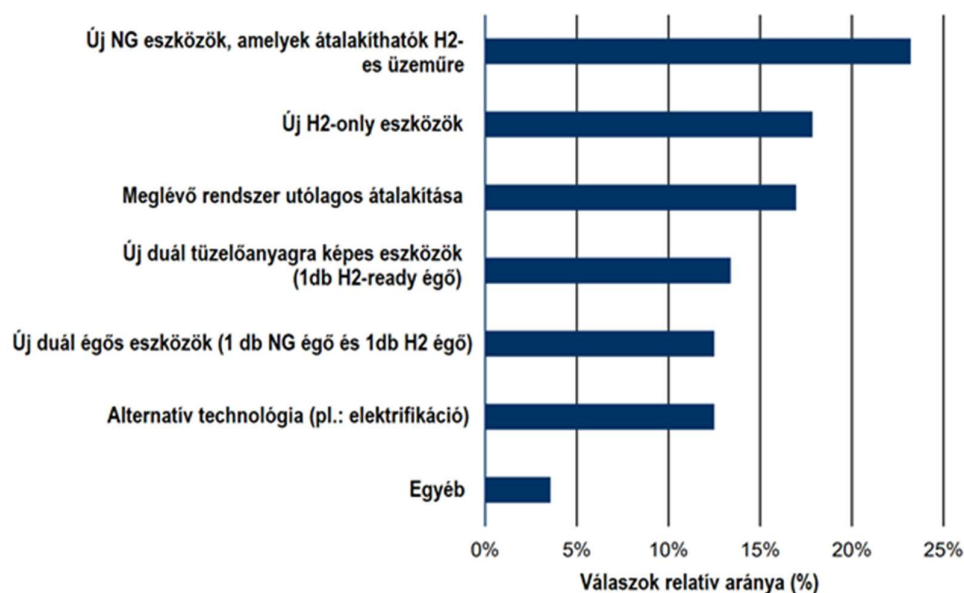
6.10. ábra: Baxi Heating (28 kW) és a Worcester Bosch (30 kW) hidrogénüzemre is képes otthoni bojler (bal), valamint a Worcester Bosch bojler hidrogénes üzemre való átalakítása során kicserélendő komponensek (jobb). Mindkét egység alacsony (UK határérték alatti) NO_x-kibocsátással rendelkezik, valamint a földgázüzemű berendezésekkel szinte teljesen azonos termikus hatékonysággal.



6.11. ábra: Balról jobbra: Pietro Fiorentini nyomásszabályozó 100% H₂-ready, Pietro Fiorentini kontrol szelep 100% H₂-ready, Pietro Fiorentini túlfolyó szelep 100% H₂-ready (DIN 30652), Pietro Fiorentini flexibilis cső 100% H₂-ready (ISO10380), ECV-CPE & Cerro EMS alacsony nyomású nyomásszabályozó.

Kereskedelmi eszközök

A H4Heat projekt által megkérdezett iparági szereplők és gyártók által szolgáltatott információk alapján a kereskedelmi szektorban is jelentős igény keletkezhet a már gyárilag hidrogén égetésére képes eszközök (például lásd: 6.13. - 6.15 ábrák) iránt. Az erre vonatkozó felmérés eredményét az 6.12. ábra mutatja.



6.12. ábra: Iparági szereplők (gyártók – gőz és melegvizet boiler) válasza arra a kérdésre, hogy: "Az országos hálózat földgázzal hidrogénre történő átalakítása esetén, melyik a legvalószínűbb útvonal?"



6.13. ábra: 512 kW kaszkád bojler kombi rendszer



6.14. ábra: A HyCatering konzorcium fejlesztett Falcon vendéglátóipari berendezések . Az eszközök üzemeltetése teljesen azonos a földgázalapú berendezésekkel, méretei és teljesítménye, továbbá beszerelése is azonos.



6.15. ábra: Balról jobbra: Nortek Global HVAC és Powermatic Forced draft Cabinet fűtők, valamint Nortek-Enertek hőszugárzó (25kW). Az eszközök üzemeltetése teljesen azonos a földgázalapú berendezésekkel, méretei és teljesítménye, továbbá beszerelése is azonos.

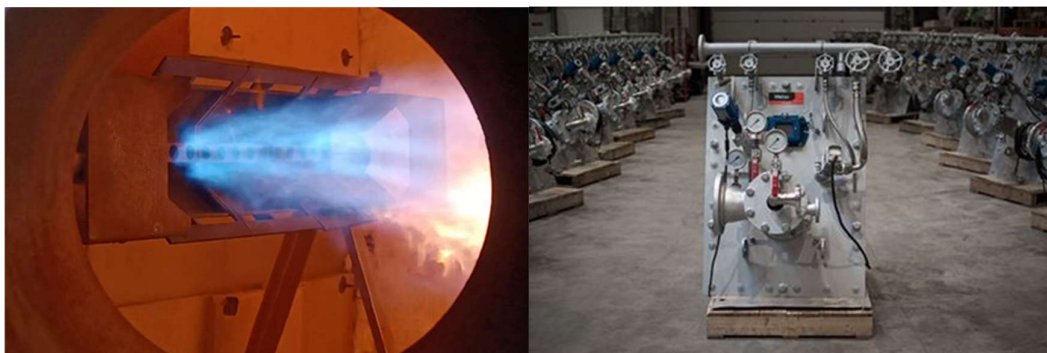
Ipari eszközök

Ipari eszközök tekintetében jelentős nemzetközi iparági tapasztalat halmozódott fel a földgáztüzelésű égők utólagos átalakításával kapcsolatban (6.16. ábra), hogy azok egy bizonyos – az adott projekt esetében releváns – hidrogénarányú földgáz-hidrogén keverékkel is hatékonyan és üzembiztosan tudjanak üzemelni.

Eszköz típus	TRL	Volt-e már hidrogénes pilot üzem?	Eszköz / felhasználási mód specifikus kihívások
Bojler / indirekt szárító	7	Y	-
Közvetlen szárító	4	U*	Füstgáz összetétel, pl.: nedvességtartalom
Égető kemence	4	U*	Füstgáz összetétel, pl.: nedvességtartalom, hőátadási mechanizmus
Hagyományos kemence	5	Y	Hőátadási mechanizmus
Üvegolvasztó kemence	4	U*	Füstgáz összetétel, pl.: nedvességtartalom, hőátadási mechanizmus
Gázturbina	8	Y	Komplex integrált rendszer
Gázmotor	4	Y – small scale only	Jellemzően 30 V/V% H ₂ arány fölött "kopogás" és egyéb üzemzavarok
Egyéb / egyedi eszköz	3**	N	Potenciális kihívás a termék minőségére vonatkozó hatás, pl.: kávépörkölés

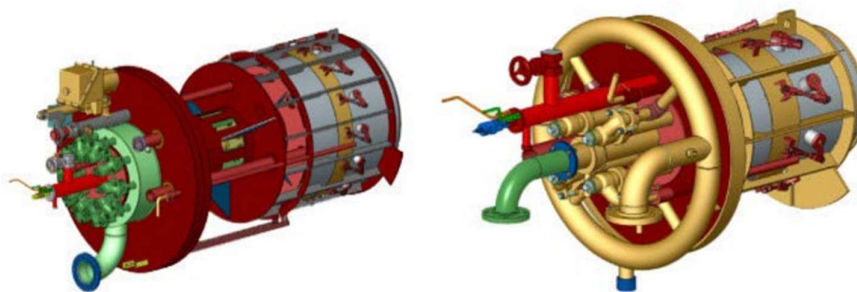
6.16. ábra: Technológiai készültségi szintek a legfontosabb ipari berendezéstípusok esetében. A korábbi kísérletek részletei és a berendezéstípusokra jellemző lehetséges problémákra vonatkozó megjegyzések. „Y” – Igen, „N” – Nem, „U” – Nem ismert. [58]

Annak ellenére, hogy a legtöbb iparágban – a gázturbinák kivételével – az új típusú berendezések fejlesztése még csak TRL4-7 szinten van, vannak gyártók, amelyeknek már van kereskedelmi forgalomban kapható ipar számára fejlesztett terméke. Például a fives nevű cég 2023. augusztus végétől árul például papíriparban használatos szárító kemencékhez égőket (6.17. ábra, bal), illetve a Metso 2023. októberében jelentette be a „LowNOx” égőket (6.17. ábra, jobb) vas és acélgyártáshoz (pelletizálási lépés).



6.17. ábra: fives Hy-Ductflam™ égő (bal) és a Metso Ferroflame™ LowNOx égő a NextGen Pelletizing™ alegysége (jobb)

További példa a Babcock&Wilcox BrightGen™ hidrogén égői ipari bojlerok számára, amelyek már kereskedelmi forgalomban kaphatók.



6.18. ábra: Babcock&Wilcox BrightGen™ égők. Dedikáltan hidrogén tüzelőanyagra fejlesztett égő (bal) és dual üzemanyagú üzemre fejlesztett égő (jobb).

A fenti táblázatban összefoglalt piackutatási eredmények alapján az körvonalazódik, hogy bár szinte minden iparágban komoly erőforrásokat fektetnek a működésük dekarbonizációjába a hidrogén bekeverésén keresztül, a korábban említett specifikumok miatt is a retrofit egy elérhetőbb és versenyképesebb alternatíva a hidrogénállóságra való adaptációban.

7 Minőség, mérés, elszámolás

7.1 Földgáz minőség harmonizációja az EU-ban

A földgáznak számos különböző formája van, amelyek mindegyike különböző és változó tulajdonságokkal rendelkezik. Ennek eredményeként az EU-ban különböző típusú földgázokat használnak, nem pedig egyetlen gáztípust, amely egy meghatározott minőséggel rendelkezik.

Ez problémákat okozhat az integrált energiapiacban, mivel az egyik ország szolgáltatói azt kockáztatják, hogy egy másik ország szállítási rendszer-üzemeltetői elutasítják gázukat, mert a gáz nem megfelelő minőségű. Ez a gázminőségbeli különbség befolyásolhatja továbbá, hogy a háztartási és ipari termékeket biztonságosan használják-e.

A gázra vonatkozó minőségi előírások bevezetésével az EU hozzájárult az Európa-szerte felhasználható gáz biztonságos szállításához.

Harmonizációs feladatok

Az Európai Bizottság megbízta az Európai Szabványügyi Bizottságot (CEN), hogy dolgozzon ki harmonizált gázminőségi szabványokat az EU-ban. Ez a megbízás a gázminőség változásainak a gázkészülékekről szóló 2009/142/EK irányelv hatálya alá tartozó fogyasztói készülékekre, például kályhákra és kazánokra gyakorolt hatásainak elemzésére szolgált. Ezt a munkát a CEN által irányított GasQual nevű konzorcium vezette.

Az Európai Bizottság kérésére sor került a gázminőség harmonizációjának költség-haszon elemzésére is a termelőtől a végső fogyasztóig terjedő teljes ellátási láncban. Ezt a munkát a GL Noble Denton és a Pöry Management Consulting végezte 2012-ben. A végső jelentésében a CEN számára tettek javaslatot (alapvetően a Wobbe-szám sávszélessége vonatkozásában) a minőségi követelmények tekintetében, úgymint minél szélesebbek/megengedőbbek a szabványértékek, annál olcsóbb a bevezetésük, viszont a legmagasabb az ezzel együtt járó kockázatok mértéke.

A CEN TC 234 WG 11 "Gas quality" munkacsoport az EN 16726 szabvány javaslatot készítette, mely meghatározza a gázminőségi jellemzőket, paramétereket és azok határértékeit az EN 437:2003+A1:2009 szabvány szerinti H csoportba sorolt gázokra.

Paraméter	Mértékegység	Határérték		Szabvány
		Alsó	Felső	
Wobbe szám	MJ/m ³	46,44	54,00	EN ISO 6976, EN ISO 15971
Relatív sűrűség	no unit	0,555	0,70	EN ISO 6976, EN ISO 15970
Kéntartalom szagosítás nélkül	mg/m ³	not applicable	20	EN ISO 6326-5, EN ISO 19739
Hidrogén szulfid + Carbonyl sulfide (as sulfur)	mg/m ³	not applicable	5	EN ISO 6326-1, EN ISO 6326-3, EN ISO 19739
Merkaptán szagosítás nélkül	mg/m ³	not applicable	6	EN ISO 6326-3, EN ISO 19739
Paraméter	Mértékegység	Határérték		Szabvány
		Alsó	Felső	
Oxigén	mol/mol	not applicable	0,001 % or 1% (see below)	EN ISO 6974-3, EN ISO 6974-6, EN ISO 6975
	A CEN tagállamai közötti hálózati betáplálási pontokon és határkeresztező pontokon az oxigén maximális mólhányada nem haladhatja meg a 0,001 % mol/mol-t. Azokon a betáplálási pontokon azonban, ahol a belépő gáz határátlépési ponton keresztül nem áramlik egy másik tagállam hálózatába, magasabb, legfeljebb 1 %-os mol/mol nemzeti határérték alkalmazható, feltéve, hogy a hálózat száraz hálózat, és nem kapcsolódik magasabb oxigénszintre érzékeny létesítményekhez, például föld alatti tárolórendszerekhez.			
Széndioxid	mol/mol	not applicable	2,5 % or 4% (see below)	6, EN ISO 6974-1 to - EN ISO 6975

A CEN tagállamai közötti hálózati betáplálási pontokon és határkeresztező pontokon a szén-dioxid maximális ml hányada legfeljebb 2,5 % mol/mol lehet. Azokon a betáplálási pontokon azonban, ahol a belépő gáz határátlépési ponton keresztül nem áramlik egy másik tagállam hálózatába, magasabb, legfeljebb 4 %-os mol/mol nemzeti határérték alkalmazható, feltéve, hogy a hálózat száraz hálózat, és nem csatlakozik magasabb szén-dioxid-szintre érzékeny létesítményekhez, például föld alatti tárolórendszerekhez.				
Paraméter	Mértékegység	Határérték		Szabvány
		Alsó	Felső	
Szénhidrogén harmatpont hőmérséklete 0,1 MPa és 7 MPa közötti abszolút nyomás	°C	not applicable	-2	EN ISO 23874, ISO 12148
Víz harmatpont hőmérséklete 7 MPa abszolút nyomáson vagy abszolút legnagyobb üzemi nyomáson, ha az kisebb, mint 7 MPa	°C	not applicable	-8	EN ISO 6327, EN ISO 18453, EN ISO 10101-1 to -3
Metánszám	-	65	not applicable	
Szennyező anyagok	A gáz nem tartalmazhat az 1. táblázatban felsoroltaktól eltérő összetevőket, amennyiben minőségbeállítás vagy kezelés nélkül nem szállítható, tárolható és/vagy hasznosítható.			

A munkacsoport a munkája során alapvetően két eltérő érdeklődéssel szembesült: míg a gázszolgáltatók szélesebb, megengedőbb előírásokat is el tudtak volna fogadni, addig a gázkészülék gyártók ez ellen voltak, elsősorban a berendezések garantált és megfelelő működése miatt.

Ugyanakkor ez a szabvány nem vonatkozik az elszigetelt hálózatokon szállított gázokra, illetve az európai szállítóhálózatba való belépésük előtt szállított gázokra.

Ez az európai szabvány a továbbítandó, tárolandó, elosztott és felhasználandó gázokra vonatkozik. Ugyanakkor, ha az adott ország nemzeti előírásai eltérnek a szabványtól, lehetőség van az eltérés bejelentésére.

Az MHTSZ tanulmányában kifejtettek szerint az EN 16726:2015+A1:2018 Gázinfrastruktúra. Gázminőség. H gázcsoport szabvány „E” melléklete kimondja, hogy „Jelenleg nincs lehetőség egy olyan hidrogén határérték meghatározására, amely általánosan elfogadható a gázinfrastruktúra minden egyes részén, ennek következtében eseti alapú vizsgálat ajánlott.”

A „CEN/TC 234” számú Műszaki Bizottsága 2023. november 15-én publikálta honlapján a vezetékes hidrogén szállításra vonatkozó szabványt, CEN/TS 17977:2023: Gas infrastructure - Quality of gas - Hydrogen used in rededicated gas systems (Gázinfrastruktúra – Gázminőség – Átminősített gázrendszerekben használt hidrogén). E szabvány meghatározza a gáznemű hidrogén minőségét (paramétereit, betartandó határértékeit), amelyet részben vagy teljesen átalakított (repurposed) gázhálózatokban kell alkalmazni a hidrogén biztonságos szállítása, tárolása érdekében. A szabványnak való megfelelés a végfelhasználó számára igazolja, hogy az átalakított földgáz-infrastruktúrából minimálisan milyen minőségi követelményeknek felel meg a kilépő hidrogén további tisztítás nélküli.

7.2 Berendezések megfelelése

Az EU 2016/426 rendelete (2016. március 9.) a gáz halmazállapotú tüzelőanyag égetésével üzemelő berendezések forgalomba hozatalára és üzembe helyezésére vonatkozó szabályokról rendelkezik. A rendelet szerint csak olyan berendezés forgalmazható és helyezhető üzembe, amely rendeltetésszerű használat mellett megfelel a rendeletben előírtaknak, különösen az 1. sz. mellékletben előírt alapvető követelményeknek. Ugyanezen rendelet 2. sz. melléklete szerint a tagállamoknak a gázszolgáltatási feltételekkel kapcsolatban tájékoztatást kell adni a Bizottság és a többi tagállam részére, a tájékoztatásnak tartalmaznia kell többek között a gázösszetétel tekintetében a minimális/maximális hidrogéntartalmat is.

7.3 Energiatartalom alapú elszámolás problémaköre és műszaki lehetőségei a végfelhasználóknál

A jövőbeni hidrogén, illetve hidrogén bekeverés esetén a földgáz elszámolási mérésének kérdését érdemes a gázipari jogszabályi előírásokon keresztül is megközelíteni.

Az 1969. évi VII. törvény a gázenergiáról a gáz termelésére és szállítására az alábbiakat írta elő:

Minőségi követelmények

4. § (1) **A gázszállító vezetékbe csak olyan minőségű földgázt szabad juttatni, amely nem veszélyezteti a gáz** továbbszállítását és **felhasználását.**

(2) *A gázelosztó vezetékbe olyan minőségű szagosított földgázt szabad juttatni, amely az általánosan használt fogyasztókészülékekben biztonságosan és gazdaságosan eltűzelhető.*

(3) A közhasználatba kerülő gyártott gáz minőségét szabvány határozza meg.

Gázmérő és gázfogyasztó készülékek

25. § (1) A szolgáltatott **gáz méréséről a gázszolgáltató hitelesített mérőeszközzel gondoskodik.** Ha a felek másképpen nem állapodnak meg, a gázmérőeszköz a gázszolgáltató kezelésében áll, felszerelése, karbantartása és időszakos újrahitelesítése a gázszolgáltató feladata.

(2) A fogyasztó ellenőrző mérőeszközt alkalmazhat, de ebben az esetben is - az ellenkező bizonyításáig - a gázszolgáltató hitelesített mérőeszközeinek mérési adatai az irányadók.

(3) A fogyasztó indokolt esetben a gázszolgáltatótól a mérőeszköz mérésügyi felülvizsgálatát kérheti.

Az 1/1977. (IV. 6.) NIM rendelet a gázenergiáról szóló 1969. évi VII. törvény végrehajtásáról vonatkozó rendelkezései:

Mérés

32. § (1) A szolgáltatott **gáz mennyiségének méréséről a gázszolgáltató** - a (4) bekezdésben foglalt kivételtől eltekintve - **gondoskodni köteles.** A gáz mennyiség mérése gázmérőn vagy más erre alkalmas mérőberendezésben (a továbbiakban együtt: gázmérő) történik, amely eltérő megállapodás hiányában a gázszolgáltató kizárólagos rendelkezése alatt áll.

(2) Ha **a gázmérő a fogyasztó tulajdonában áll,** annak működését a gázszolgáltató jogosult ellenőrizni.

(3) A teljesítménymérés kötelező időpontjait a gázszolgáltatóval kötött szerződésben kell rögzíteni. A szolgáltatott gáz teljesítménymérésének feltételeit az ipari nagyfogyasztó biztosítani köteles.

(4) A gázszolgáltató megállapodhat a fogyasztóval a gáz mérő nélküli fogyasztásában.

...

36. § ...

(6) **Ha a gázszolgáltatási szerződés szerint a gáz mennyisége mellett a gáz fűtőértékét is mérni kell, arról a gázszolgáltató gondoskodik;** az (5) bekezdést erre az esetre is alkalmazni kell.

A gázszolgáltatás elszámolása

38. § A 32. § (4) bekezdésében és a 42. §-ban meghatározott esetet nem számítva, a gázfogyasztást időszakonként, rendszeres leolvasás útján kell megállapítani. A gázmérő leolvasását a gázszolgáltató vagy a díjbeszedéssel megbízott szerv végzi és azt a fogyasztó köteles lehetővé tenni.

39. § (1) A fogyasztott gázért a fogyasztó a szabályozó rendelkezések szerint megállapított díjat köteles fizetni. Ha a gázt egy szerződés alapján többen használják (több fogyasztó van), azok egyetemlegesen felelősek a fogyasztott gáz árának megfizetéséért.

(2) A fogyasztott gáz árát és az egyéb díjakat - ha jogszabály vagy a fogyasztóval kötött szerződés másképpen nem rendelkezik - a számla bemutatásakor azonnal meg kell fizetni.

(3) Ha az azonnali fizetésre kötelezett fogyasztó írásbeli felszólítás ellenére a számlát 15 napon belül nem egyenlíti ki, a gázszolgáltató a gáz szolgáltatását megszüntetheti.

40. § Ha a fogyasztó - a fűtésen kívül is - több díjszábsísi tétel hatálya alá tartozó célra használja a gázt, akkor a gázszolgáltató, illetőleg a díjbeszedéssel megbízott szerv a háztartási fogyasztás mennyiségét - megállapodás hiányában - becsléssel jogosult megállapítani és annak megfelelően számlázni. A fogyasztó kívánságára és költségére a gázszolgáltató a nem háztartási gázfogyasztás mérésére - ha műszakilag lehetséges - köteles külön gázmérőt felszerelni.

1. számú melléklet az 1/1977. (IV. 6.) NIM rendelethez

GÁZENERGIA KÖZSZOLGÁLTATÁSI SZABÁLYZAT

A gáz minőségének megváltoztatása miatti szolgáltatói kötelezettség

28. § (1) Ha a gázszolgáltató az általa ellátott területen a korábbihoz képest más összetételű vagy fűtőértékű gáz szolgáltatására tér át (pl. városi gárról földgázra) és az az átállás a gáz égési tulajdonsága megváltoztatásával jár, a háztartási és kommunális fogyasztó által általánosan használt gázfogyasztó berendezés átállításával, átalakításával, illetőleg cseréjével kapcsolatos kötelezettség a gázszolgáltatót terheli, azok költségét nem lehet áthárítani a fogyasztóra. Ha a berendezés átalakítása nem lehetséges, csere esetén az új berendezés tulajdonjoga a kicserélt berendezés tulajdonosát illeti és értékkülönbözet nem számítható fel; ha az átalakítás lehetséges volna, de a tulajdonos a berendezés cseréjét kéri, a kicserélt berendezés és az új berendezés közötti értékkülönbözet a tulajdonos terhére felszámítható.

(2) A gázfogyasztó berendezés átállításával, átalakításával vagy kicserélésével kapcsolatos kötelezettség nem terheli a gázszolgáltatót a nem háztartási és nem kommunális fogyasztó használatában levő, illetőleg a háztartási vagy kommunális fogyasztó - egyedi gyártású, - a kereskedelem által belföldön forgalomba nem hozott külföldi gyártmányú és biztonságtechnikai behozatali engedéllyel nem rendelkező gázfogyasztó berendezése tekintetében.

Fogyasztás

...

30. § (1) A fogyasztó csak a GOMBSZ-ban meghatározott feltételeknek megfelelő gázfogyasztó berendezést üzemeltethet.

(2) Egyedi gyártású vagy a kereskedelem által forgalomba nem hozott külföldi gyártmányú háztartási gázfogyasztó berendezés csak akkor üzemeltethető, ha ezt a GOMBSZ-ban előírt gáztechnikai, biztonsági és egészségvédelmi szempontból tartott előzetes helyszíni vizsgálat után a gázszolgáltató üzemeltetésre alkalmasnak minősítette.

2. számú melléklet az 1/1977. (IV. 6.) NIM számú rendelethez
GÁZ- ÉS OLAJIPARI MŰSZAKI BIZTONSÁGI SZABÁLYZAT

I. fejezet

Fogalommeghatározások

A gázeNERGIÁRÓL SZÓLÓ 1969. ÉVI VII. TÖRVÉNY ÉRTELMÉBEN KIDOLGOZOTT GÁZ- ÉS OLAJIPARI MŰSZAKI Biztonsági Szabályzatban előforduló fogalmakat a következők szerint kell értelmezni:

A. A gázra vonatkozó általános fogalmak

1. § (1) Éghető gáz a Gt. 2. § (1) bekezdésének a) pontja szempontjából az a gáz, amelyet közüzemi szolgáltatásban alkalmaznak és a tüzeléstechnika mindenkori állása szerint bármilyen, a vonatkozó gázra engedélyezett berendezésben (pl. kazán, gázturbina) elégethető.
- (2) Természetes éghető gáz (földgáz, PB-gáz) minden olyan gáz, amely a föld mélyén keletkezett és a kőolaj- vagy földgázkutak létesítésével, illetve a kőolaj-feldolgozás során nyerik ki vagy bányászati tevékenység vagy hévíz feltárás során kerül felszínre.
- (3) PB-gáz földgázból vagy kőolajból kinyert 2-5 szénatomszámú szénhidrogéneket tartalmazó gázelegy.
- (4) Gyártott éghető gáz (városi gáz) a szén lepárlásával vagy szénhidrogének termikus, katalitikus bontásával, illetve ezek elegendőből közszolgáltatási céllal előállított gáz vagy ipari üzemek melléktermékeként keletkezett, és vezetéken történő szolgáltatással forgalomba hozott gáz.
- (5) Fizikai normáltérfogat (redukált térfogat V_n) az adott mennyiségű gáz által 0 °C hőmérsékleten, 101 kPa (760 torr) nyomáson, száraz állapotban elfoglalt térfogat, mint a gáz mennyiségének mértéke. Egysége a köbméter, vagyis az a gázmennyiség, amelynek térfogata fizikai normál állapotban 1 m³, jelölése: m³n.
- (6) Gáztechnikai normáltérfogat (V_{gn}) az adott mennyiségű gáz által 15 °C hőmérsékleten, 101 kPa (760 torr) nyomáson, vízgőzzel telített állapotban elfoglalt térfogat. Egysége a köbméter, vagyis az a gázmennyiség, amelynek térfogata gáztechnikai normál állapotban 1 m³, jelölése: m³gn.
- (7) Égőhő (felső fűtőérték) H_f : egységnyi gázmennyiség tökéletes elégésekor felszabaduló hőenergia, ha a gáz és a levegő (vagy oxigén) kezdeti hőmérséklete és az égéstermék vég hőmérséklete egyaránt 20 °C és az égéstermék víztartalma cseppfolyós halmazállapotú.
- (8) Fűtőérték (alsó fűtőérték) H_a : egységnyi gázmennyiség tökéletes elégésekor felszabaduló hőenergia, ha a gáz és a levegő (oxigén) kezdeti hőmérséklete és az égéstermék vég hőmérséklete egyaránt 20 °C és feltételezve, hogy az égéstermék víztartalma gőz halmazállapotú.
- (9) Harmatpont az a hőmérséklet °C-ban, amelynél az égéstermékben (gázban, levegőben) lévő vízgőz - állandó nyomáson - telítétté válik.
- (10) Fizikai redukált fűtőérték H_{an} : egysége a J/m³.
Gáztechnikai redukált fűtőérték H_{a} : egysége a J/m³n.
- Üzemi fűtőérték: H_a : egysége a J/m³gn.
- (11) Relatív sűrűség az a viszonyszám, amely kifejezi, hogy a gáz 1 m³n-ének sűrűsége hányszorosa az 1 m³n levegő sűrűségének.
- (12) Gázterhelés (V) a készülékben az időegységben fogyasztott gázmennyiség.
Mértékegysége: m³gn/h vagy m³gn/min.
- (13) Névleges gázterhelés (V_a) a készülék valamennyi égője névleges hőterhelésének és az adott összetételű gáz ugyanazon állapotra vonatkoztatott fűtőértékének hányadosa.
- (14) Határgázterhelés, illetve határhőterhelés (V_h , illetve q_h) a legnagyobb gáz-, illetve hőterhelés, amely az égés tökéletességére és gazdaságosságára, valamint a készülék szilárdságára tekintettel az adott készülék fajtájára vonatkozólag, esetleg meghatározott időtartamra még megengedett.
Határterhelésnek minősül: városi gáz esetében a névleges terhelés 1,25-szöröse, földgáz esetében a névleges terhelés 1,15-szöröse, beépített nyomásszabályozóval ellátott készülék esetében a gázfajtára tekintet nélkül a névleges terhelés 1,1-szerese.
- (15) Névleges hőterhelés: q_a az a hőterhelés érték, amelyet a készülék gyártója a készülék

méretezéséhez és alkalmazásához alapul vett jellemzőként a készülék adattábláján vagy kísérőiratában megad.

Névleges hőterhelésként a túlterhelés elkerülése végett a határhőterhelés 80%-át kell megadni. A névleges hőterhelés értékeként meg kell adni:

- a készülék méretezéséhez alapul vett gáz minőségét (fűtőértékét, esetleg összetételét és egyéb minőségi jellemzőjét),
- az alapul vett névleges nyomást,
- továbbá szükség esetén a gáz hőmérsékletét és az égést tápláló levegő vagy oxigén névleges nyomását és hőmérsékletét is.

Az 1994. évi XLI. törvény a gázszolgáltatásról az alábbi rendelkezéseket tartalmazta:

Mérés, elszámolás, díjfizetés

25. § (1) A szolgáltatott és felhasznált gáz mennyiségének és teljesítményének méréséről a fogyasztóknál - az átalánydíjas fogyasztók kivételével - a gázszolgáltató gázmérővel vagy mérési rendszerrel gondoskodik. A fogyasztás díját a fogyasztásmérő adatai alapján kell megállapítani és elszámolni.

(2) A lakossági fogyasztó gázmérőjének felszerelése, karbantartása és időszakos újrathitelesítése a gázszolgáltató feladata. A gázmérő a gázszolgáltató tulajdona, állagmegóvása a fogyasztó kötelessége.

A gázfogyasztó készülék

33. § (1) A **gázfogyasztó csak minőségtanúsítással rendelkező gázfogyasztó készüléket tarthat üzemben.** Nem vonatkozik ez az előírás az egyedi és speciális technológiai célú 140 kW hőterhelésűnél nagyobb gázkészülékekre.

(2) Az egyes gázfogyasztó készülékek, berendezések minőségtanúsítási rendjét a miniszter rendeletben szabályozza.

3/1995. (I. 20.) Korm. rendelet a gázszolgáltatásról szóló 1994. évi XLI. törvény végrehajtásáról a következőket rendeli:

Mérés

12. §

(1) A fogyasztó kérésére a szolgáltató köteles a gázmérőt megvizsgálni.

(2) Ha a fogyasztó kérelmére megvizsgált gázmérő a mérésügyi előírásban meghatározott, ennek hiányában $\pm 2\%$ -ot meg nem haladó mérési hibával működik, a vizsgálat költségei a fogyasztóra átháríthatók. A megengedett mérési eltérést meghaladó mérési hiba esetén az elszámolást a vizsgálat eredményének megfelelően módosítani kell.

(3) A fogyasztó jogosult - a gázszolgáltatóval egyeztetett módon - ellenőrző mérőeszközt alkalmazni. Eltérő mérési eredmény esetén a fogyasztás elszámolásánál a Gszt. 25. §-ának (5) bekezdésében szabályozott mérésügyi felülvizsgálat befejezéséig a gázszolgáltató hitelesített mérőeszközeinek mérési adatai irányadók.

(4) Ha **a közüzemi szerződés szerint a gáz mennyisége mellett a gáz fűtőértékét is mérni kell, arról a gázszolgáltató gondoskodik;** a (2) és (3) bekezdésekben foglaltakat erre az esetre is alkalmazni kell.

(5) Lakás vagy más helyiség, bérlemény műszaki megosztása esetén - a fogyasztó kérésére - a gázszolgáltató minden önállóvá vált bérleményben lévő fogyasztó részére külön gázmérőt köteles felszerelni. A gázszolgáltató a gázmérő felszerelésére vonatkozó kérelem teljesítését csak akkor tagadhatja meg, ha a gázfogyasztás szétválasztása műszaki okból nem oldható meg.

A gázfogyasztás elszámolása

13. §

(1) A gázszolgáltató megállapodhat a fogyasztóval a gázfogyasztás mérő nélküli, átalánydíjas elszámolásában.

- (2) Az (1) bekezdésben meghatározott esetet kivéve, a gázfogyasztást időszakonként, rendszeres leolvasással kell megállapítani. A leolvasási időszakot az üzletszabályzatban kell meghatározni.
- (3) Az elszámolás alapja a gázmérőn leolvasott érték, amelyet a gázszolgáltató jogosult gáztechnikai normál m³-re vagy referencia körülményeknek értelmezett m³-re átszámítani. Az átszámítás szabályait az üzletszabályzatban kell meghatározni.

...

1. számú melléklet 3/1995. (I. 20.) Korm. rendelethez
Gázszolgáltatási Közüzemi Szabályzat

A mérés, elszámolás tekintetében lényegében nem tartalmaz mást mint a törvény és a kormányrendelet, míg a korábbi GOMBSZ továbbra is hatályban maradt.

Ezt követően a 2003. évi XLII. törvény a gázszolgáltatásról az alábbi rendelkezéseket tartalmazta
Értelmező rendelkezések

3. § E törvény alkalmazásában:

6. Elszámolási mérés: az üzemi és kereskedelmi szabályzat szerint kialakított, a földgázforgalom hiteles mérésére szolgáló, a szállítói, tárolói, illetve az elosztói engedélyes felügyelete alatt működő rendszer.

A földgázrendszer létesítése, üzemeltetése

19. § ...

(2) A **szállítói, tárolói és elosztói engedélyes** a földgázrendszer együttműködése és a rendszerhez való hozzáférés biztosítása érdekében **köteles az általa üzemeltetett rendszert biztonságosan, hatékonyan és a környezetvédelmi követelmények figyelembevételével üzemeltetni** és a földgáz minőségének meghatározására vonatkozó mérések elvégzéséről gondoskodni.

20. § (1) A szállítói, az elosztói és a tárolói engedélyes **köteles elvégezni** a jogszabályban, az üzemi és kereskedelmi szabályzatban meghatározott **méréseket** az engedélyesek és a feljogosított fogyasztók közötti szerződések teljesítésének megfelelő alátámasztása érdekében, és a mérési adatokat az üzemi és kereskedelmi szabályzatban meghatározott módon összesíteni.

Mérés, elszámolás, díjfizetés

41. § (1) A szállítói, illetve az elosztói engedélyes a közüzemi fogyasztónak leszállított földgáz mennyiségének és teljesítményének méréséről - az átalánydíjas fogyasztók kivételével - a fogyasztási jellegnek megfelelő, a mérésügyről szóló 1991. évi XLV. törvény szerint **hiteles gázmérővel vagy mérési rendszerrel gondoskodik**. E méréseket, valamint a gázmérővel kapcsolatos egyéb szükséges teendőket a szállítói, illetve az elosztói engedélyes - egyéb megállapodás hiányában - a saját költségén köteles elvégezni. A fogyasztás díját a külön jogszabályban foglalt rendelkezések alapján kell megállapítani és elszámolni.

1991. évi XLV. törvény a mérésügyről

Joghatással járó mérés és eszközei

6. § (1) Joghatással jár a mérés, ha annak eredménye az állampolgárok és/vagy jogi személyek jogát vagy jogi érdekeit érinti, különösen, ha a mérési eredményt mennyiség és/vagy minőség tanúsítására - a szolgáltatás és ellenszolgáltatás mértékének megállapítására - vagy hatósági ellenőrzésre és bizonyításra használják fel; továbbá az élet- és egészségvédelem, a környezetvédelem és a vagyonvédelem területén.

(2) Joghatással járó mérést a mérési feladat elvégzésére alkalmas hiteles mérőeszközzel vagy használati etalonnal ellenőrzött mérőeszközzel kell végezni.

(3) Hiteles az a mérőeszköz

a) amelyet a mérésügyi szerv hitelesített,

b) amelynek külföldi hitelesítését a mérésügyi szerv első belföldi hitelesítésként elismerte.

Hitelesítési engedély, típusvizsgálat

8. § (1) A kötelező hitelesítésű mérőeszközök hitelesítési engedély alapján hitelesíthetők. A hitelesítési engedélyt a mérésügyi szerv típusvizsgálat alapján adja ki.

111/2003. (VII. 29.) Korm. rendelet a földgázellátásról szóló 2003. évi XLII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról

2. számú melléklet a 111/2003. (VII. 29.) Korm. rendelethez

2.1. Gázelosztási Szabályzat

Bekapcsolás, üzembe helyezés

31. § ...

(2) Az elosztott gáz mérése alkalmas, az elosztói engedélyes üzletszabályzatában meghatározott mérőteltjesítményű és típusú gázmérő vagy mérési rendszer egyéb megállapodás hiányában az elosztói engedélyes tulajdonát képezi, gondoskodik annak felszereléséről, üzemeltetéséről, karbantartásáról, időszakos hitelesítéséről.

Mérés

35. § A szolgáltatott földgáz mennyiségének és teljesítményének mérése során az elosztói engedélyes a GET 41. és 42. §-a szerint köteles eljárni.

36. § A fogyasztó jogosult saját költségén - az elosztói engedélyessel egyeztetett módon - ellenőrző mérőeszközt alkalmazni. Eltérő mérési eredmény esetén a fogyasztás elszámolásánál a GET 42. §-ában meghatározott mérésügyi felülvizsgálat befejezéséig az elosztó tulajdonát képező mérő mérési adatai az irányadók.

37. § Az elosztói engedélyes saját költsége terhére köteles gondoskodni a gáz mennyisége mellett egyéb, a szerződés teljesítéséhez szükséges jellemzők méréséről, illetve a mérési adatok rendelkezésre állásáról, a képzett adatok üzletszabályzatában feltüntetett szabványok, szokványok szerint történő képzéséről és a mérési adatok közreadásáról.

2.2 Gázellátási Közüzemi Szabályzat

Elszámolás

9. § (1) A szolgáltatott földgáz mennyiségének és teljesítményének méréséről az elosztói engedélyes gondoskodik a GET 41. és 42. §-ának megfelelően.

(2) A fogyasztó jogosult saját költségén - az elosztói engedélyessel egyeztetett módon - ellenőrző mérőeszközt alkalmazni. Eltérő mérési eredmény esetén a fogyasztás elszámolásánál a GET 42. §-ában meghatározott mérésügyi felülvizsgálat befejezéséig az elszámolási mérő mérési adatai az irányadók.

(3) A szerződés szerint a gáz mennyisége mellett egyéb jellemzőket is mérni, illetve számítani kell. A szolgáltató a mérési adatok közreadásáról saját költségére köteles gondoskodni.

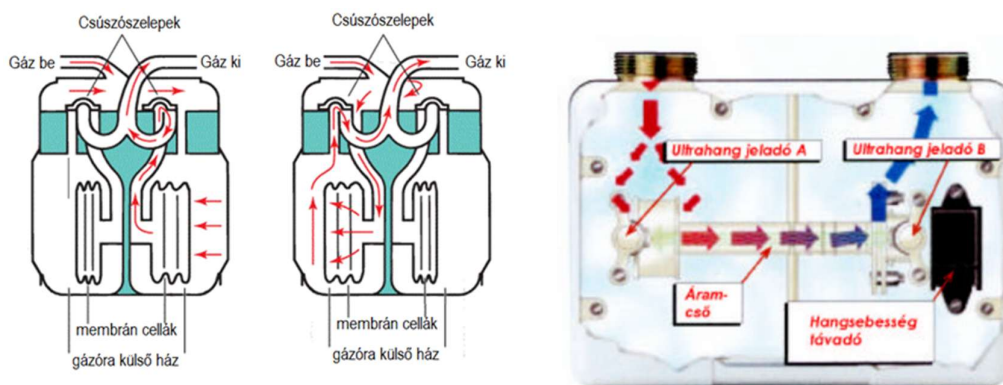
(4) Az elszámolás alapja a szolgáltatott gáz fűtőértéke, valamint a gázmérőn leolvasott érték, amelyet az elosztói engedélyes gáztechnikai normál m^3 -re számít át. Az átszámítás szabályait az elosztói engedélyes üzletszabályzatában kell meghatározni.

A földgáz minőségi paramétereinek meg kell felelniük az MSZ 1648:2000 szabvány előírásainak. Az MSZ 1648:2000 szabvánnyal egyenértékű a Gáztörvény végrehajtási rendeletének (VHR) 11. számú mellékletében rögzített tartalom. A hazai szolgáltatásban használt földgáz nagyon kis sávban mozgó, egyenletes minőségű fűtőanyag.

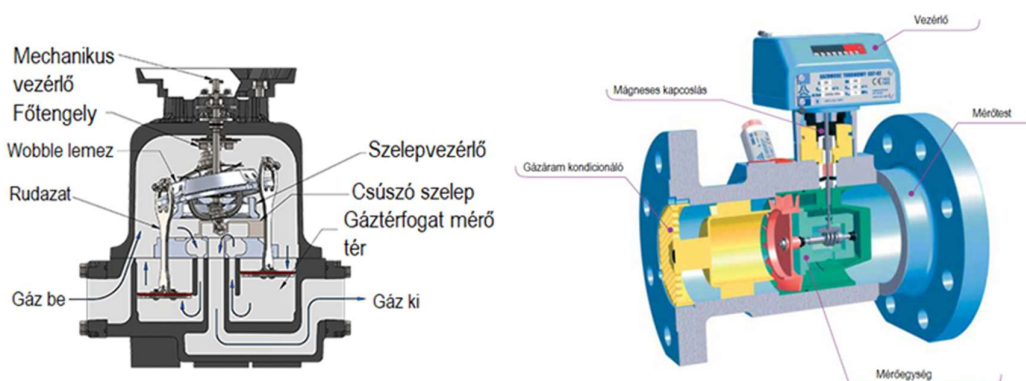
7.4 Mérőeszközök műszaki lehetőségei

A gázmérő olyan összegző mérőeszköz, amely folyamatosan méri és kijelzi a rajta átáramlott gáz térfogatát. Mérési elvüket tekintve beszélhetünk többek között membrános, forgódugattyús, ultrahangos, turbina, termikus, mágneses nyílás áramlásos, vortex és coriolis áramlásmérő gázórátípusokról. [45]

A mérésügyről szóló 1991. évi XLV. törvény és annak végrehajtásáról szóló 127/1991. (X. 9.) Korm. rendelet mellékletében felsorolt 1.5 osztályú membrános és ultrahangos gázmérőkre vonatkozó hatályos szabályzat irányadó a vonatkozó gázórákkal szembeni követelményekkel és azok hitelesítésével kapcsolatban. A fenti szabályozás azokra a gázmérőkre terjed ki, amelyekben a mérőn áthaladó gáz térfogatát a gáz által elmozdított válaszfalakkal rendelkező mérőkamrák mérik (membrános gázmérők), valamint azokra az ultrahangos gázmérőkre, amelyek a membrános gázmérőkhöz hasonló kivitelűek (a továbbiakban gázmérők vagy mérők). Léteznek továbbá hitelesített forgódugattyús és turbinás gázmérő berendezések is, amelyek alkalmazása jellemzően nem lakossági és nagyobb gázfogyasztási volumen ($>100 \text{ Nm}^3$) esetében indokolt. [46]



7.1. ábra: Membrános gázóra (bal) [47], és az ultrahangos gázmérő (jobb) [48] működésének sematikus ábrája



7.2. ábra: A forgó dugattyús (bal) [49] és turbinás (jobb) [50] gázmérők működésének sematikus ábrája

A hazai mérőberendezések között a legelterjedtebb a membrános készülék. Számos gyártó (ELSTER GmbH, Actaris, Magyar Gázmérő Technika Kft., Instromet International N.V., stb) és azon belül többféle eszköztípus is hitelesített (G4-65, IRM, Gallus 2000, TAU-021, Spectra-600, stb.) a Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal honlapján közzétett információk alapján.

A membrános gázmérő egy térfogatmérő eszköz, amely a rajta átáramló gáz térfogatát a mérőkamrákban alternáló mozgást végző membránok segítségével méri. Az állandóan ismétlődő mozgás két egymást követő, azonos mozgásértelmű helyzetével határolt része (a ciklus) közben egy ciklustérfogatnyi (V) gáz áramlik át a gázmérőn. Az alternáló mozgást tolattyús-hajtóműves

mechanizmus alakítja át forgó mozgássá, miközben a tolattyúk a gázáramlást (membránmozgást) vezérlik, a hajtómű pedig gondoskodik arról, hogy az átáramlott térfogat kijelzése törvényes mértékegységben történjen meg. A gázmérőn átáramlott térfogat a ciklustérfogat és a ciklusok számának (N) szorzatával arányos:

$$V_{\bar{u}} = V * N$$

A hőmérséklet-korrekciós gázmérő a normálállapotra korrigált térfogatot (V_b) jelzi ki. A korrekciót a gáz üzemi térfogata ($V_{\bar{u}}$), a gáz üzemi hőmérséklete ($T_{\bar{u}}$) és a normálhőmérséklet ($T_b = 288,15 \text{ K}$) figyelembe vételével végzi [51]:

$$V_b = V_{\bar{u}} * T_b / T_{\bar{u}}$$

Az ultrahangos mérőműszerek elve azon az időmérésen alapul, amely alatt az ultrahangos jel az áramló gázon keresztül halad. Az oda-vissza haladó jelek között eltelt idő különbsége felhasználható az áramló gáz sebességének és a térfogatáramnak a meghatározására. Az ultrahangos mérőműszerek teljesítményét a fizikai tulajdonságok, például a hangsebesség, a gáz viszkozitása és sűrűsége jobban befolyásolják, mint a membrán típusú mérőké. A hangsebesség hidrogénközegben szabványos körülmények között körülbelül háromszor nagyobb, mint a metán közegben, ami azt jelenti, hogy az ultrahangos impulzusnak az érzékelőhöz való eljutási ideje háromszor kevesebb. Ez növelni az ultrahangos impulzus átfutási idejének bizonytalanságát, és végső soron a térfogatáram általános bizonytalanságát. Az ultrahangos mérőknél használt korrekciós tényező általában a Reynolds-számtól függ. A hidrogén viszkozitásának, sűrűségének és sebességének változása a földgázhoz képest a Reynolds-szám változását eredményezi; ezért létfontosságú, hogy a korrekciós tényező ezt figyelembe vegye.

A meglévő ultrahangos mérőműszerek hidrogénben való használatával kapcsolatban felmerülő problémák ellenére ezek nem megoldhatatlanok, és lehetséges, hogy a meglévő mérőműszereket hidrogén-üzemre lehet beállítani. Valójában az ultrahangos mérők egyértelmű előnyt jelentenek a membránmérőkkel szemben, mivel képesek lesznek megbirkózni a megnövekedett áramlási sebességgel anélkül, hogy nagyobb fizikai méreteket igényelnének. További előnye az ultrahangos gázáramlás mérőknek, hogy a hidrogéntartalomban bekövetkező kis változások is nagyon pontosan kimutathatók a hidrogén rendkívül magas SOS-értéke miatt. Ha a referencia gáz összetétele vagy annak (hidrogén nélküli) SOS-értéke (speed of sound) ismert, akkor a hidrogéntartalom is nagyon pontosan meghatározható. A készülék a mért SOS-értéket összehasonlítja a referencia földgáz SOS-értékel. Feltételezve, hogy az esetleges eltérés kizárólag a hidrogéntartalomnak tulajdonítható, a hidrogéntartalom közvetlenül meghatározható. A közelítés egy, az eszköz firmware-ében implementált empirikus képlet segítségével történik.

A termikus gázmérők előnyei hasonlóak az ultrahangos gázmérők előnyeivel. Érdemes hozzátenni, hogy az ilyen gázmérők óriási előnye a gáz tömegáramának mérése, amelyet a gázmérő további nyomás- és gázérzékelők felszerelése nélkül végez, ha a gáz összetétele ismert. Ezenkívül ezek a gázmérők fejlett gázösszetétel-azonosító funkcióval is felszerelhetők, ami javíthatja a mérési jellemzőiket, különösen amennyiben ezek hidrogén részarány meghatározására is képesek. A termikus gázmérők hátrányai az ultrahangos gázmérőkre jellemző hátrányok mellett a következők: a mért gázban lévő szennyező anyagok hatása a mérési pontosságra, a sebességprofil zavarai és a mérési konzisztencia hiánya a mért gáz jelentősen változó összetétele esetén.

Összességében elmondható, hogy függetlenül a gázmérő pontos mérési körülményeitől és elrendezésétől végső soron a mérőeszköz egy gáztérfogat áramlást mér, amely térfogatáramot a belső hőmérséklet-mérés alapján át lehet alakítani (ismert és jogszabályban rögzített térfogat szerinti energiatartalom alapján) a felhasználó felé kiszámlázható energiatartalomra. Hidrogén bekeverés esetén az egyik fő probléma abból adódik, hogy a hidrogéngáz térfogatszerinti energiatartalma közel

harmada a földgázénak ennek megfelelően minél nagyobb a bekeverési arány annál alacsonyabb a gázelegy energia tartalma (lásd 2.2. ábra.). Ennek jelentősége abban áll, hogy még ha figyelembe vesszük is, hogy a gázhálózatba fix százalékban juttatjuk a hidrogént, nem biztos, hogy ugyanaz a százalékos arány áll majd rendelkezésre bármelyik átadási ponton, így a keverék összetétele és fűtőértéke változhat az elosztóvezeték mentén. Következésképpen a gázórának nem csak az áramló gáz térfogatát, hanem annak pontos és valós idejű hidrogéntartalmát is kell tudni mérni. Ezen felül további potenciális akadályt jelent a mérőeszközök fizikai mérete. Az említett térfogatszerinti energiasűrűség csökkenés azt is eredményezi, hogy a készülékeken átáramló gáz volumene is jelentősen és folyamatosan nőni fog, ahogy a gázhálózatban megjelenő hidrogén aránya is növekszik. További kihívást jelenthet az egyes eszközök esetében a mért gázelegyben megjelenő hidrogén és annak hatása a mérőberendezések komponenseire, azok várható élettartamára. Jacek és társai [52] 2020-as vizsgálatukban például több tucat membrános gázmérőt vizsgáltak 10.000 órán keresztül 5, 10 és 15 V/V% hidrogént tartalmazó földgázzal (2E) és arra jutottak, hogy meteorológiai szempontból nem történt olyan mértékű változás a vizsgált eszközök és időtartam alatt, amely hibahatáron kívül esett volna. Továbbá, az eszközök élettartama sem csökkent az alkomponensek váratlan öregedése miatt, külön tekintettel a membránra vagy diafragmára, ezáltal az elvárt működési-biztonsági feltételeknek is meg tudtak felelni az eszközök. A membrános mérők esetében tehát maga a gázáram mérése bizonyos térfogatárami limitek mellett, de kezelhető bekevert hidrogén esetén. Ennek részben ellentmondó eredmények születtek a francia „GRHYND” projekt keretében született vizsgálatoknak. E vizsgálatok általános következtetései a következők:

- A hidrogén bekeverése valóban hatással van az összes elosztóhálózatban használt mérőműszerre.
- Nincs jelentős eltérés a 10 V/V%-os és 20 V/V%-os H_2 -tartalommal kapott hibaeredmények között.
- A membránmérőkön jelentős hosszú távú hatást mértek. Ez a hatás a mérő gyártójától és kialakításától is függ, továbbá a felhasznált műanyag és egyéb polimer alapanyagoknak a különbözőségével is magyarázható. Ilyen hosszútávú károsodást lényegében nem tapasztaltak a forgódugattyús mérőműszerek esetében, aminek oka, hogy a mérőcella alumíniumból készül.

A Macrogas [53] által a teljes földgázértékláncra kiterjedő alapos vizsgálatok eredménye röviden, hogy a tesztelt gázóra (forgódugattyús, membrán, turbina és ultrahangos) típusok esetében 10 V/V% hidrogén bekeverés esetén nem kell alkalmazni semmilyen változtatást, az hibahatáron belül tudja kezelni a megváltozott gázt.

A fenti megfontolásokat is figyelembe véve megállapítható, hogy a hidrogén mérésének problémaköre nem áthidalhatatlan. Amennyiben a bekevert hidrogén tartalma 0-10 V/V% között van és az adott hidrogéntartalom garantált a mérőeszköz előtt, annak mérése és az alapján történő hitelesített számlázása nagy valószínűséggel a jelenlegi eszközparkkal megoldható. Magasabb hidrogéntartalom és nem garantált gázkompozíció esetén eszközcserével oldható meg a háztartás/fogyasztó rendszerre kapcsolása. Utóbbira több gyártó is fejlesztett és engedélyezett akár 100% hidrogén bekeverés esetén is használható okosmérőket.



7.3. ábra: Pietro Fiorentini ultrahangos gázórája (bal) [54], Honeywell EI5 membrános okos gázórája (középen) [55], valamint a MeterSIT's Domusnext 2.0 MMU6 H₂ gázórája (jobb) [56]

8 Összefoglalás

A jövőben valószínű, hogy a hidrogén jelentős szerepet fog játszani az energiarendszerekben, a nagyszabású energiatárolásban és -átvitelben, valamint a nehezen dekarbonizálható ágazatok esetében, például a mobilitási és az ipari ágazatban. Vannak tervek a hidrogén meglévő földgáz-infrastruktúrába történő közvetlen betáplálásának előmozdítására is. Ennek következtében az EU készülék- és berendezéspopulációit a közeljövőben hidrogén/földgáz keverékekkel lehetne ellátni valamennyi végfelhasználói ágazatban.

Tekintettel a földgáz és a hidrogén fizikai és kémiai tulajdonságai közötti jelentős különbségekre, a földgázról a hidrogén/földgázkeverékekre vagy akár a tiszta hidrogénre való áttérés hatással lehet a háztartási és kereskedelmi készülékek égési folyamataira a teljesítmény, de a biztonság szempontjából is. Nyilvánvaló, hogy a következmények még hangsúlyosabbá válnak, ha a földgázban magasabb a hidrogénszint. Az a kérdés, hogy a készülékek és berendezések hogyan reagálnak a földgáz magasabb hidrogénszintjére, sok szempontból gázminőségi kérdés. A hidrogénkeverék hatással van a gázminőségi kritériumokra, például a relatív sűrűsége, a fűtőértékekre vagy a Wobbe-számra, de más égési szempontokra is, például az adiabatikus égési hőmérsékletekre és a lamináris égési sebességekre. Kimutatható, hogy a Wobbe-szám önmagában nem alkalmas arra, hogy felmérje adott fűtőanyagban a hidrogén jelenlétének hatását a készülékekre.

Fontos azonban, hogy ne csak a fűtőanyag tulajdonságainak változását vizsgáljuk, hanem azt is, hogy az égési folyamatok hogyan mennek végbe a készülékekben és berendezésekben az összes végfelhasználói ágazatban. A különböző égetési technológiák meglehetősen eltérően viselkednek, ha hidrogén/földgáz keverékekkel látják el őket. Mivel a legtöbb ma üzemelő gázkészüléket még nem a hidrogént szem előtt tartva tervezték, ezért fontos azonosítani a hidrogén földgázba keveréséből eredő lehetséges problémákat, meghatározni az elfogadható H₂-koncentrációs határértékeket.

Például a "THyGA" európai projekt keretében ilyen vizsgálatokat végeztek a lakossági és kereskedelmi szektor készülékeire vonatkozóan, amely mind a gázfogyasztás, mind a telepített eszközök száma tekintetében az EU legnagyobb földgáz-végfelhasználói ágazata. Az elméleti vizsgálatok és az első mérések azt mutatják, hogy a hidrogénkeveréknek az égési hőmérsékletre (az alkatrészek lehetséges termikus túlmelegedése és a NO_x-kibocsátás szempontjából releváns) és a lamináris égési sebességre (ami fontos a lángstabilizálás szempontjából) gyakorolt hatásait gyakran nagymértékben enyhíti a magasabb levegőfelesleg-arányok felé történő elmozdulás, legalábbis a lakossági előkevert gázüzemű készülékekben. Ez az eltolódás akkor következik be, amikor egy égési folyamatot egy fűtőgázra állítottak be, majd egy másik, alacsonyabb Wobbe-indexű fűtőgázzal látják

el, és elkerülhetetlen egy égésvezérlés nélküli készülékben (kivéve a kézi újrabeállítást), de ellenőrzött rendszerekben is előfordulhat.

A háztartási készülékekbe telepített jelenlegi mérési technológia gyakran nem képes megfelelően észlelni a hidrogénkeverék által okozott változásokat, így a vezérlőrendszerek nem reagálnak megfelelően. Felmerül azonban a kérdés, hogy ebben az esetben valóban előnyös-e az állandó levegőfelesleg fenntartása. A részben előkevert készülékek (pl. gáztűzhelyek vagy sütők) valószínűleg érzékenyebbek a földgázban lévő hidrogén jelenlétére, mint a teljesen előkevert rendszerek (pl. kazánok és fűtőberendezések), mivel a részben előkevert égők nagyobb kockázatnak vannak kitéve a visszagyulladás szempontjából.

A THyGA projektben tapasztaltak alapján számos meglévő készüléktípus biztonságosan üzemeltethető magasabb hidrogéntartalommal is. Ezek a vizsgálatok további releváns szempontokra is rámutatnak, például az égésszabályozó rendszerek teljesítményére és arra a kérdésre, hogy hogyan kell megfelelően beállítani a készülékeket egy olyan jövőben, amikor magasabb és ingadozó hidrogénszintek lehetnek a gázhálózatokban.

9 Fogalomtár

alapidíj

lásd rendszerhasználati díj

allokálás

A hozzáférésre jogosultak által igénybevett rendszer üzemeltetője által, a rendszer betáplálási és kiadási pontjain mért mennyiségek egyes rendszerhasználókra történő szétosztása.

csatlakozási szerződés

A szállítási rendszerüzemeltető vagy földgázelosztó és a leendő felhasználó, vagy a földgáztermelő között létrejött szerződés, amely biztosítja a felhasználók és a földgáztermelők szállító- vagy elosztóvezetékre való csatlakozási jogát, a vásárolt kapacitás mértékét, valamint rögzíti a csatlakozás műszaki-gazdasági feltételeit.

egybefüggő telephely

A gáz felhasználó(k) tulajdonában, kezelésében vagy használatában lévő egybefüggő ingatlan, vagy bérlemény, ahol a gázfelhasználók felhasználói berendezése(i), és a gázfogyasztást szolgáló nyomásszabályozó(k), a gázmérőhely(ek) vagy a fogyasztói főcsap van. Egy telephely több felhasználási helyet is tartalmazhat.

egyetemes szolgáltatás

A földgáz kereskedelem körébe tartozó sajátos értékesítési mód, amely az ország területén bárhol, meghatározott minőségben a jogosult felhasználó számára összehasonlítható, átlátható ár ellenében igénybe vehető. Jellemzően kizárólag a lakosság és a mikroállalkozások vehetik igénybe. Az egyetemes szolgáltatásra jogosult felhasználó kiléphet az egyetemes szolgáltatásból és a szabadpiacon is beszerezheti a földgázt. A kilépéssel az egyetemes szolgáltatásra való jogosultságát nem veszti el.

elfogyasztott gáz mennyiség

Az elszámolási időszak alatti fogyasztás, azaz az elfogyasztott gáz mennyisége, a két mérőállás különbözeteként értelmezendő.

elosztói engedélyes – hálózat üzemeltető

A Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (MEKH) által kiadott engedély alapján területi szolgáltatási jogkörrel és kötelezettséggel felruházott jogi személyiség, aki a hálózatok fejlesztését, üzemeltetését, karbantartását és a földgáz elosztását végzi. Az elosztói engedélyesek feladata a földgáz előírt minőségben történő eljuttatása a fogyasztók felhasználási pontjára. Az átadott energia méréséért szintén az elosztói engedélyesek a felelősek. Az elosztói engedélyesek a közcélú földgáz hálózaton keresztül hatóságilag meghatározott díjak fejében szállítják el a vásárolt földgáz a fogyasztók csatlakozási pontjára.

elosztó hálózat

A földgáz a kitermelés helyéről a fogyasztókhoz eljuttató csővezetékek és berendezések összessége. Lényegében azon csővezeték rendszer minden tartozékával együtt, amelyen keresztül a földgáz elosztása történik. Az elosztó hálózat kezdőpontja a Magyar Köztársaság államhatára, a gázátadó állomások kilépő pontja, a földalatti gáztároló vagy a földgáztermelő üzem betáplálási pontja, végpontja pedig a Magyar Köztársaság államhatára vagy a felhasználási hely telek határa.

energia

Fizikai munkavégző képesség. A munka és az energia rokon fogalmak: az energia a munkavégzés lehetőségét, a munka a munkavégzésre fordított energia mennyiségét jelenti. Az energia a teljesítmény és az idő szorzata.

energiaadó

Az energiaadó uniós előírás. Az energiahordozók után fizetendő adóra vonatkozó jogszabályi rendelkezéseket a **jövedéki adóról szóló törvény** határozza meg, kizárólag a nem lakossági célú felhasználás esetében kerül érvényesítésre. Rendeltetése a környezeti károk energiaárakba való beépítése és a gazdasági szereplők energiatakarékosságra való ösztönzése. Az energiaadóból származó bevétel a központi költségvetést illeti meg. Az energiaadó alapja az elfogyasztott földgáz mennyisége.

energiaforrások

Nem megújítható energiaforrások: szén, kőolaj, földgáz, urán

Megújuló energiaforrások: Nap, víz, szél, biomassa

felhasználási hely

Egy vagy több csatlakozási ponton keresztül ellátott, összefüggő terület, ahol a felhasználó a földgázot felhasználja. A felhasználó tulajdonában vagy használatában lévő ingatlan, ahol a felhasználói berendezés, a gázfogyasztást szolgáló nyomásszabályozó, a gázmérőhely vagy a fogyasztói főcsap van.

felhasználó

Az a természetes vagy jogi személy, illetve jogi személyiség nélküli társaság, aki (amely) földgázot közcélú hálózaton vagy a törvény szerint engedélyköteles magánvezetéken keresztül saját felhasználás céljára vásárol.

fogyasztás

Egy bizonyos időtartamon keresztül igénybevett hőmennyiség. Mértékegysége a MJ (megajoule) vagy GJ (gigajoule). 1GJ = ezer MJ = egymilliárd Joule

fogyasztásmérő

A felhasznált földgáz mennyiségét mérő készülék, köznyelven „gázóra”. A hőmennyiség (MJ) mérése technikailag gazdaságtalanul drága mérőberendezést igényel. Ezért a jelenleg használatos gázmérő órák emiatt az átfolyt gáz mennyiségét, azaz a köbmétert mérik. A mért köbmétert értelemszerűen át kell számítani MJ-ra, hogy elszámolható legyen Ft/MJ alapon.

földgáz

Olyan természetes éghető gáz, amely a földkéregben keletkezett, bányászati tevékenység során kerül a felszínre, valamint bármely, az e törvény szerint alkalmazott berendezésben környezetvédelmi és műszaki biztonsági szempontból megfelelő módon, biztonságosan felhasználható.

Földgáznak tekintendők azok a földgáz minőségű, biomasszából és egyéb nem bányászati forrásból származó gázok és mesterségesen előállított gázkeverékek is, amelyek a földgázellátásról szóló törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló jogszabályban meghatározott feltételek mellett, – azaz környezetvédelmi, műszaki és biztonsági szempontból is megfelelő módon –, a földgázrendszerbe juttathatók (szállíthatók, eloszthatók és tárolhatók), földgázzal keverhetők és ez a keverék a földgázrendszerbe juttatáskor megfelel **a földgáz minőségére vonatkozó a földgázellátásról szóló törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló kormányrendeletben meghatározott minőségi követelményeknek.**

földgáz kereskedelem

A földgáz rendszeres, ellenérték fejében, nem saját felhasználási célra történő vásárlása és értékesítése. Nem minősül kereskedelmi tevékenységnek a rendszerirányító engedélyesnek a rendszeregyensúly fenntartása érdekében történő földgázvásárlása és beszerzési áron történő értékesítése.

földgáz-kereskedelmi szerződés

A földgázkereskedő és a földgázt felhasználó között létrejött, földgáz adás-vételére irányuló szerződés.

földgáz kereskedő

A földgáz kereskedő cégek – a jogi szétválasztásnak megfelelően – nem rendelkeznek saját elosztói hálózattal, a földgázt nagykereskedőtől vásárolják, és kiskereskedelmi tevékenységük során, szerződések alapján közvetlenül értékesítik a végfelhasználóknak.

fűtőérték

Hétköznapi értelemben a földgáz egyik minőségi mutatója, melynek jellemző paramétereit jogszabályok biztosítják. 1 m^3 normálállapotú gáz tökéletes elégeése során felszabaduló hőmennyiség (MJ/m^3). Ebből adódóan a fűtőérték a gáz m^3 -enkénti árának egyik meghatározó eleme. A fűtőérték gázátadási pontonként eltérő. Hazánkban az országos átlag fűtőérték $34,2 \text{ MJ/m}^3$. Például, ha a fogyasztó havi fogyasztása 1000 m^3 , az hőmennyiségben kifejezve, átlagos fűtőértékkel számolva: 34.200 MJ .

gázátadó állomás

A szállítóvezeték alkotórészét képező létesítmény a szállítóvezeték kilépési pontján, ahol a szállítóvezetékéről a gáz átadása, mérése és a szükséges nyomáscsökkentés történik.

gázdíj

A földgáz molekuláért fizetett díj, lényegében az adott elszámolási időszakban elfogyasztott hőmennyiség értéke. Elszámolását tekintve, a gázdíj lehet fix egységáron vagy szerződésben meghatározott képlet alapján kiszámított érték. Elszámolási időszakra vetített összege függ az

elfogyasztott földgáz mennyiségétől (a mérőállások két időpont közötti különbségétől), illetve a korrekciós tényezőtől és a fűtőértéktől.

gázév

Az adott naptári év október 1-jén reggel 6:00 órától a következő naptári év október 1-jén reggel 6:00 óráig tartó időszak – az átadási-átvételi pontban érvényes helyi idő szerint.

gázszolgáltató

A piacnyitás előtt az gázszolgáltató magába foglalta a földgáz kereskedőjét és annak a felhasználási helyre szállítóját, azaz az elosztót is. 2008-tól e két tevékenységet (kereskedelem és elosztás) külön cégekben, külön engedélyek alapján kell végezni. Emiatt a gázszolgáltató kifejezés idejét múlt, csakúgy, mint az ún. közüzemi szolgáltatás. A közüzemi szolgáltatást az egyetemes szolgáltatás váltotta fel, illetve megjelentek az földgázkereskedő cégek és az elosztó hálózatokat üzemeltető vállalatok. Jóllehet ezek gyakran egy-egy közös cégcsoporthoz tartoznak.

gáztechnikai normál m³

Az a gázmennyiség, amely 15°C hőmérsékleten és 1bar abszolút nyomáson 1 m³ térfogatot foglal el. Mértékegysége: gnm³ vagy Tm³

GET – gáz energia törvény

A földgázszállításról szóló 2008. évi XL. tv. és az ennek végrehajtásáról szóló 19/2009. sz. Korm. sz. rendelet, valamint ezek módosításai.

hálózathasználati szerződés

A földgázelosztó hálózati engedélyes, a hálózatcsatlakozási és kereskedelmi szerződéssel rendelkező felhasználó (fogyasztó, rendszerhasználó) számára ezen hálózathasználati szerződés alapján végzi a földgáz adott felhasználási helyre történő szállítását. Ez a hálózathasználati szerződés képezi – a szolgáltatás ellenértékeként – a rendszerhasználati díjak (RHD) után kiállított számlák alapját. A területileg illetékes hálózati engedélyessel megkötött hálózathasználati szerződés több felhasználási helyre is vonatkozhat. A felhasználó az elosztóvezeték a földgázelosztói csatlakozási szerződésben meghatározott vásárolt kapacitás mértékéig használhatja.

kapacitás

Adott szállító- és elosztóvezeték, valamint földgáztároló időegységre vonatkoztatott teljesítő képessége.

kapacitás lekötés

A szállító- és elosztóvezeték, valamint földgáztároló értékesíthető teljesítőképességnek lekötését jelenti. A kapacitásokat szerződésben kell lekötni. A kapacitások végesek, ezért fizetni kell értük. A kapacitás lekötés két kapacitásértékkel – kiadási ponti és forrásoldali kapacitásigény – szerepel a rendszerüzemeltető nyilvántartásában.

kapacitáslekötési szerződés

Az a szerződés, amelyben a rendszerhasználó adott időszakra a szállító- vagy elosztóvezeték, illetve a földgáztároló kapacitását leköti.

kereskedelmi engedélyes

Olyan vállalat, amely a földgáz törvény szerint engedélyköteles tevékenység végzésére, a Magyar Energia és Közműszabályozási Hivatal által kiadott érvényes kereskedelmi engedéllyel rendelkezik.

korrekciós tényező

Pontosabban a nyomáskorrekciós tényező, a ténylegesen elfogyasztott földgáz mennyiségének megállapításához szükséges. Lakossági ügyfeleknél ennek mértéke a légköri nyomástól függ, amelyet az Országos Meteorológiai Szolgálat mér és bocsát a szolgáltatók rendelkezésére.

lakossági fogyasztó

Az a felhasználó, aki saját háztartása – egy felhasználási helyet képező, lakás céljára használt lakóépület, lakás, üdülő vagy hétvégi ház, továbbá lakossági célra használt garázs – fogyasztása céljára vásárol földgázt földgáz vételezésére megkötött szerződés alapján, és az így vásárolt földgázzal nem folytat jövedelemszerzés céljából gazdasági tevékenységet. Ha a lakóépületben a műszakilag megosztott, önálló lakások száma meghaladja az épületben lévő önálló nem lakás céljára szolgáló helyiségek számát, a felhasználót úgy kell tekinteni, hogy saját háztartás céljára vételez és a vásárolt földgázzal nem folytat jövedelemszerzés céljából gazdasági tevékenységet.

MSZKSZ díj

2010. január 1-től az MSZKSZ – azaz Magyar Szénhidrogén Készletező Szövetség – földgáz biztonsági készletezési díja önállóan tételként jelenik meg a gázszámlán a 72/2009. (XII. 7.) KHEM rendelet (a földgázpiaci egyetemes szolgáltatáshoz kapcsolódó árak képzéséről szóló 29/2009. (VI. 25.) KHEM rendelet módosításáról) alapján. Ezen rendelet értelmében az egyetemes szolgáltatói árelemekből kiemelték a biztonsági készletezésre fordítandó, a felhasználók által fizetendő hozzájárulást. Ennek eredményeként a felhasználók részére látható, hogy a gázszolgáltatásért az általuk fizetendő összegből a földgáz biztonsági készletezésére mekkora összeg jut.

nominálás

A fogyasztó részéről általában a következő napra megadott földgázigény bejelentését jelenti. A szabadpiacon vételező 100 m³/h feletti fogyasztók számára törvényi kötelezettség a heti előzetes igénybejelentés napi bontásban, ami előzetes információszerzési célokat szolgál a földgázszolgáltatók és a rendszerirányítók számára. Heti bejelentésen felül, napi előzetes igénybejelentési kötelezettségük is van a nagyfogyasztóknak, ami a következő napra vonatkozó pontos vételezési mennyiség megadását jelenti.

normál köbméter

Az a gáz mennyiség, amely 0°C hőmérsékleten, 1,01325 bar abszolút nyomáson 1 m³ térfogatot foglal el. Mértékegysége: nm³ vagy Nm³

rendszerhasználati díj – RHD

A tényleges fogyasztástól független, havonta fizetendő díj, melyet lényegében a szolgáltatás rendelkezésre állásáért kell kifizetni. Az RHD legnagyobb része az Elosztói Engedélyest illeti meg. Az Elosztói Engedélyes üzemelteti a hálózatot és gondoskodik a hibák elhárításáról is.

A rendszerhasználati díj nyújt fedezetet a földgáz szagosítására, szállítására, tárolására illetve a szükséges kapacitások rendelkezésre állására, de ide tartozik az elosztóhálózat fenntartási és ellenőrzési költsége, a fogyasztásmérők használati, selejtezési és felújítási díja is. Az RHD hatósági rendeletben szabályozott és területenként egységes.

szagosítási díj

A földgáz eredetileg színtelen, szagtalan gáz. Biztonsági okokból szagosítani szükséges. Jellegzetes szagát a merkaptán származékokkal történő szagosítása miatt érezzük. Ennek a szagosító anyagnak a díját az elfogyasztott földgáz mennyiségével arányosan kell megfizetni.

szerződések

Az alábbi szerződések meghatározását, lásd fentebb, ezen fogalomtár megfelelő bekezdéseiben:

csatlakozási szerződés

hálózathasználati szerződés

földgáz-kereskedelmi szerződés

kapacitáslekötési szerződés

TOP – take or pay azaz „vedd át vagy fizesd ki”

A fogyasztónak előre meg kell határoznia, hogy adott időszak alatt mekkora mennyiséget kíván vételezni. Ez a szerződött mennyiség, ennek átvételét vállalja a fogyasztó, ez a TOP kötelezettség. Ettől a mennyiségtől bizonyos (közös meghatározott) sávban el lehet térni. Amennyiben a vételezett földgáz mennyiség a meghatározott sávban marad, ennek nincs következménye a fogyasztóra nézve. Amennyiben azonban a fogyasztó ezt a sávot túllépi (felülvételezés) vagy nem éri el az alsó határát (alulvételezés), akkor szerződés szerinti pótdíjat köteles fizetni az alul- illetve felülvételezés arányában.

10 Rövidítések

AFT - Adiabatikus lánghőmérséklet

HHV - Felső fűtőérték

LHV - Alsó fűtőérték

NOx - Nitrogén oxidok (főleg nitrogén-dioxid, nitrogén-oxid, illetve dinitrogén-oxid)

REKK - Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont

GW - Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

CCB - Closed combustion burner

DNV - Det Norske Veritas

PSA Pressure Swing Adsorption

TSO - Átviteli rendszerirányító

PEM - Protoncsere membrános vízbontó

DSO - Elosztórendszer-üzemeltető

LNG - Cseppfolyósított földgáz

OEM - Original Equipment Manufacturer

CO - Szén-monoxid

FGR - Füstgáz visszavezetés

SCR - Szelektív katalitikus redukcióra

TRL - Technológiai érettségi szint skála (min: 1, max:9)

SOS - Speed of sound

ATEX – A robbanásveszélyes légkörben való használatra szánt felszerelésekre és védelmi rendszerekre vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról szóló EU-s irányelv rövidítése

2H - EN 437 szabvány szerint gázminőség megjelölése

11 Irodalomjegyzék

- [1] GALYAS ANNA BELLA1 – SZUNYOG ISTVÁN - Műszaki Földtudományi Közlemények, 89. kötet, 1. szám (2020), pp. 221–226. A HIDROGÉN HATÁSA A FÖLDGÁZHÁLÓZATI GÁZMINŐSÉGRE
- [2] https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html
- [3] EUR 31188 EN, Arrigoni, A., Bravo Diaz, L. - JRC Technical Report, Hydrogen emissions from a hydrogen economy and their potential global warming impact
- [4] Spontaneous ignition of hydrogen, Literature review, RR615, Health and Safety Laboratory, 2008
- [5] Donohoe N, et al. Combust Flame 2014;161:1432–43. doi:10.1016/j.combustflame.2013.12.005.
- [6] García-Armingol T., et al., Int J Hydrogen Energy 2014; 39:11299–307., doi:10.1016/j.ijhydene.2014.05.109.
- [7] Előadás: Molnár Szabolcs – „Hidrogén hasznosítás lehetősége az erőművekben” (https://tavho.org/uploads/rendezvenyeink/Konferencia%202022/Moln%C3%A1r_Sz_2022_05_24_Mat%C3%A1SzSz_Hidrog%C3%A9n_PUBLIC.pdf)
- [8] Jones, H. R. N.: The Application of Combustion Principles to Domestic Burner Design. Taylor & Francis, 1989.
- [9] HUBER, ANDREAS: Auswirkungen von Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoffgemischen auf Gasgebläsebrenner, Prozesswärme 4 | 2020; Brennertechnologie | FACHBERICHT; Vulkan-Verlag GmbH
- [10] Brûleurs AEM termékek
- [11] https://www.gifa.com/en/Media_News/News/Business_News/Hydrogen_burner_nominated_for_German_Future_Prize
- [12] <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/bmw-tests-hydrogen-burner-leipzig-paint-shop-expands-battery-assembly-lines-2022-10-20/>
- [13] <https://www.hydrogeninsight.com/power/correction-siemens-energy-burns-100-hydrogen-in-industrial-gas-turbine-in-energy-storage-pilot/2-1-1535850>
- [14] Soroka, b. S. et al, Vol. 18 No. 3 (2022): Sci. Innov., MIXED FUEL FOR HOUSEHOLD GAS-POWERED APPLIANCES AS AN OPTION TO REPLACE NATURAL GAS WITH HYDROGEN, DOI: <https://doi.org/10.15407/scine18.03.010>
- [15] <https://www.tn-sanso.co.jp/LinkClick.aspx?fileticket=qpEb4LTaA08%3D&tabid=253&mid=994>
- [16] <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/25260001.html>
- [17] Galyas Anna Bella, Dr. Szunyog István, Dr. Vadászi Marianna, epuletgepesz.hu, „A földgázfelhasználás hidrogénnel történő helyettesítésének elméleti potenciálja Magyarországon”
- [18] Fazekas Miklós, www.e-gepesz.hu, „A hidrogénnel kevert földgáz a következő évtizedek tüzelőanyaga”
- [19] A Magyar Hidrogéntekológiai Szövetség és a Miskolci Egyetem közös tanulmányában - Hazai és nemzetközi irodalomkutatás a hidrogén földgázhoz keveréséről, a felmerült problémákról és megoldásairól
- [20] BERECKZY ÁKOS, LÉVAI EMESE, LUKÁCS KRISTÓF, MEGGYES ATTILA: A hidrogén bekeverés vizsgálata földgáz tüzelőanyagú berendezések üzemére (MTA: A Magyar Tudomány Ünnepe előadás)

- [21] Szunyog István – Galyas Anna Bella: Miskolci Egyetem Kőolaj és Földgáz Intézet, A BIOMETÁN ÉS A HIDROGÉN HATÁSA A FÖLDGÁZRA BESZABÁLYOZOTT GÁZKÉSZÜLÉKEKBEN
- [22] THyGa projekt WP3: Compiling of results from all tasks and development of further statistics at EU and country level, Deliverable: D3.10
- [23] THyGa projekt WP3. Intermediate report on the test of technologies by segment - Impact of the different H₂ concentrations on safety, efficiency, emissions and correct operation, Deliverable: D3.5
- [24] NITSCHKE-KOWSKY, PETRA ; BURMEISTER, FRANK ; MARKS, LUKASZ ; DE LAAT, HANS: Behaviour of domestic appliances using hydrogen enriched natural gas, 2015
- [25] KIPPERS, M. J. ; DE LAAT, J. C. ; HERMKENS, R. J. M. ; OVERDIEP, J. J. ; VAN DER MOLEN, A. ; VAN ERP, W. C. ; VAN DER MEER, A.: Hydrogen Injection in Natural Gas on Island of Ameland in the Netherlands. Seoul, South Korea : IGRC, 2011
- [26] NITSCHKE-KOWSKY, PETRA ; WESSING, WERNER: Impact of hydrogen admixtures to natural gas on installed gas appliances, 2012
- [27] ZHAO, YAN ; MCDONELL, VINCE ; SAMUELSEN, SCOTT: Assessment of the combustion performance of a room furnace operating on pipeline natural gas mixed with simulated biogas or hydrogen. In: International Journal of Hydrogen Energy vol. 45 (2020), No. 19, pp. 11368–11379
- [28] DE SANTOLI, LIVIO ; PAIOLO, ROMANO ; LO BASSO, GIANLUIGI: Energy-environmental experimental campaign on a commercial CHP fueled with H₂NG blends and oxygen enriched air hailing from on-site electrolysis. In: Energy vol. 195, Elsevier Ltd (2020), p. 116820
- [29] CHOUDHURY, SHINY ; MCDONELL, VINCENT G. ; SAMUELSEN, SCOTT: Combustion performance of low-NO_x and conventional storage water heaters operated on hydrogen enriched natural gas. In: International Journal of Hydrogen Energy vol. 45, Elsevier Ltd (2020), No. 3, pp. 2405–2417
- [30] POLMANN, DR. E. A. ; DE LAAT, J. C. ; CROWTHER, M.: Reduction of CO₂ emissions by adding hydrogen to natural gas : IEA Greenhouse, 2003
- [31] University of Michigan at the 2014 University Turbine Systems Research Workshop, <https://www.netl.doe.gov/node/933>
- [32] GARCIA-ARMINGOL, TATIANA ; BALLESTER, JAVIER: Operational issues in premixed combustion of hydrogen-enriched and syngas fuels. In: International Journal of Hydrogen Energy vol. 40 (2015), No. 2, pp. 1229–1243
- [33] DE VRIES, HARMEN ; LEVINSKY, H B ; MOKHOV, ANATOLI V.: The impact of natural gas/hydrogen mixtures on the performance of end-use equipment: Interchangeability analysis for domestic appliances. In: Applied Energy vol. 208 (2017), pp. 1007–1019
- [34] SYRED, NICHOLAS ; ABDULSADA, MOHAMMED ; GRIFFITHS, ANTHONY ; O'DOHERTY, TIM ; BOWEN, PHIL: The effect of hydrogen containing fuel blends upon flashback in swirl burners. In: Applied Energy vol. 89, Elsevier Ltd (2012), No. 1, pp. 106–110
- [35] KRÖGER, KERSTIN ; DR. HOLGER DÖRR: Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz (No. G 5/01/12) : DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., 2016
- [36] DE VRIE, H. ; FLORISSON, O. ; TIEKSTRA, G. C.: Safe Operation of Natural Gas Appliances Fueled with Hydrogen/Natural Gas Mixtures (Progress Obtained in the Naturalhy-Project), n.d
- [37] JONES, DANIEL: Hydrogen-enriched natural gas as a domestic fuel: An analysis based on flash-back and blow-off limits for domestic natural gas appliances within the UK. In: Sustainable Energy & Fuels. United Kingdom, Europe (2018), No. 4, pp. 710–723

- [38] NOBLE, DAVID ; ZHANG, QINGGUO ; SHAREEF, AKBAR ; TOOTLE, JEREMIAH ; MEYERS, ANDREW ; LIEUWEN, TIM: Syngas Mixture Composition Effects Upon Flashback and Blowout. In: Proceedings of the ASME Turbo Expo vol. 1 (2006)
- [39] COLORADO, A. ; MCDONELL, V.: Surface stabilized combustion technology: An experimental evaluation of the extent of its fuel-flexibility and pollutant emissions using low and high calorific value fuels. In: Applied Thermal Engineering vol. 136 (2018), pp. 206–218
- [40] ISAAC, TOMMY: HyDeploy: The UK's first hydrogen blending deployment project. In: Clean Energy vol. Vol. 3 (2019), No. No .2, pp. 114–125
- [41] Heating and Hotwater Industry council – Hydrogen Appliances, <https://www.hhic.org.uk/uploads/62CFE776309E6.pdf>
- [42] Lina Cao et al., Nature 565, 631–635 (2019), DOI: 10.1038/s41586-018-0869-5
- [43] <https://www.northerngasnetworks.co.uk/wp-content/uploads/2017/04/H21-Report-Interactive-PDF-July-2016.compressed.pdf> [46] <https://mvmhalozat.hu/attachments/23192>
- [44] <https://www.unictron.com/ultrasonic-transducers/piezoelectric-technologies/ultrasonic-gas-flow-meter/>
- [45] "Sonix ultrahangos gázmérő család"
https://heathungary.hu/doc/gazmerok/ultrahangos/sonix_muszaki_leiras.pdf
- [46] <https://bms-ltd.com/products/tcs/tcs-682-series-piston-meter/>
- [47] <http://www.imacsys.co.uk/25/cgt-turbine-gas-meter>
- [48] HITELESÍTÉSI ELŐÍRÁS MEMBRÁNOS GÁZMÉRŐK (1.5 PONTOSSÁGI OSZTÁLYÚ GÁZMÉRŐK), HE 2/1-2019
- [49] Jacek Jaworski et. al., Study of the Effect of Addition of Hydrogen to Natural Gas on Diaphragm Gas Meters, Energies 2020, 13(11), 3006; <https://doi.org/10.3390/en13113006>
- [50] 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>
- [51] https://static1.squarespace.com/static/5b8eae345cfd799896a803f4/t/6231afa5a4627b0ff7abb563/1647423398301/h2ssm_flyer_ENG_revA.pdf
- [52] <https://process.honeywell.com/us/en/products/utilities/gas/gas-metering/smart-gas-meters>
- [53] <https://hydrogentechworld.com/nmi-certifies-100-hydrogen-meter-by-sit>
- [54] Britain's Hydrogen Network Plan Report,
<https://www.energynetworks.org/assets/images/FINAL%20Britain%27s%20Hydrogen%20Network%20Plan.pdf?1699374957>
- [55] – Hy4Heat project - WORK PACKAGE 6, Conversion of Industrial Heating Equipment to Hydrogen