



Sime Uniqa Revolution 25 kazán vizsgálati jegyzőkönyve

Készítették:

Dr. Józsa Viktor, egyetemi docens

Kardos Réka, PhD hallgató

Sziffer Bence, PhD hallgató

Ellenőrizte:

Dr. Imre Attila, egyetemi tanár, tanszékvezető

Budapest, 2025

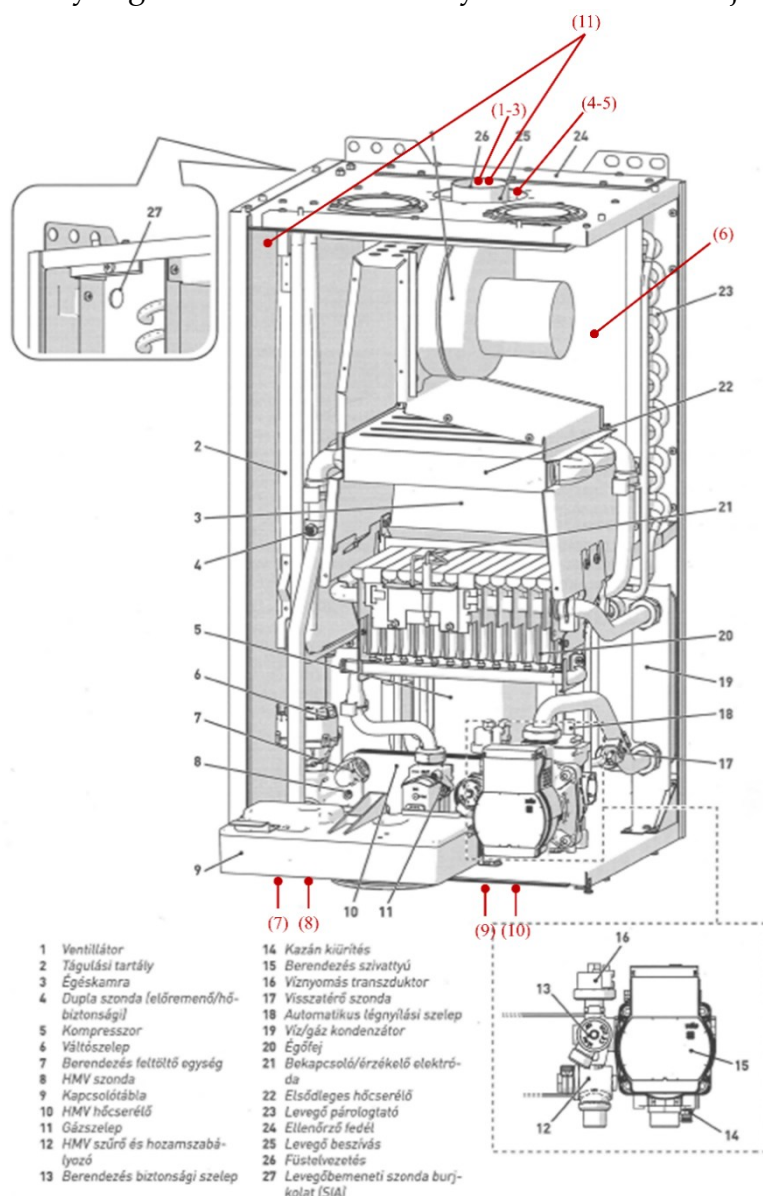


1 A mérés célja

A mérés célja egy Sime Uniqa Revolution 25 kazán üzemének vizsgálata volt hőmérséklet, nyomás, páratartalom és kibocsátás mérések alapján különböző HMV előállítási és fűtési üzemállapotokban. A mért értékeket összevetettük a gyártó által feltüntetettekkel és az egyszerűsített kazánszámítás eredményeivel. A méréseket 2025.10.02–07-e közt a BME DCs épületében, a Jendrassik György Hőtechnikai Laboratóriumban végeztük el.

2 A mérés rövid ismertetése

A mért mennyiségek mintavételezési helyét az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. Mérési pontok a kazánban. (1) füstgáz hőmérséklet, (2) füstgáz páratartalom, (3) füstgáz elemzés, (4) belépő levegő hőmérséklet, (5) belépő levegő páratartalom, (6) levegő hőmérséklete a hőszivattyú elpárologtatója után, (7) előremenő víz hőmérséklet, fűtési kör, (8) előremenő víz hőmérséklet, HMV kör, (9) belépő hálózati víz hőmérséklet, (10) visszatérő víz hőmérséklet, fűtési kör, (11) nyomáskülönbség a tüztér előtti levegő és égéstermék oldal között.

A gáz- és vízfogyasztás mérésére a laboratórium gáz- illetve vízórái szolgáltak, a villamos fogyasztás mérésére a villamos csatlakozási pontnál került sor, ezért ezek nincsenek feltüntetve az 1. ábrán.

A hőmérsékletek és páratartalmak rögzítése egy közös adatgyűjtő segítségével automatikusan történt a mérések ideje alatt. A kibocsátás értékek rögzítése a Testo350 emissziómérő saját szoftverével történt. A nyomás, gáz-, víz- és villamos fogyasztásokat a mérőszemélyzet olvasta le. A mért üzemállapotokat az 1. táblázat tartalmazza. A HMV kör mérései során a mérési pont beállítása ez előremenő hőmérséklet és a víz térfogatárama alapján történt, míg fűtőkori méréseknél csak az előremenő hőmérséklet alapján. Fűtés esetében a visszatérő víz hőmérsékletet egy csapvízzel hűtött, víz-víz hőcserélővel csökkentettük, a folyamatos üzem érdekében.

1. táblázat. Mért üzemállapotok.

Kör	Előremenő hőmérséklet [°C]	Víz térfogatáram* [l/min]
HMV	60	10
HMV	60	8
HMV	60	7
HMV	60	6
HMV	50	6
HMV	40	6
HMV	30	6
Fűtő	80	-
Fűtő	60	-
Fűtő	40	-

*A kazán beépített áramlásmérője alapján.

2.1 Felhasznált műszerek

A kazánhatásfok, az emisszió, a kondenzációs határhőmérséklet, a nyomáskülönbség és a további vállalások teljesítéséhez a kazán az alábbi mérőműszerekkel lett felszerelve:

Füstgáz analizátor (a releváns tartományokat bemutatva)

Típusa:	Testo 350
NO pontossága:	0–99 ppm: ±5 ppm
NO ₂ pontossága:	0–99,9 ppm: ±5 ppm
CO pontossága:	0–199 ppm: ±10 ppm
O ₂ pontossága:	0–25 V/V%: ±0,2 V/V%

Differenciál nyomásmérő

Típusa:	Testo 510
Mérési tartománya:	0–100 hPa
Mérési pontosság:	±5 Pa (31–100 Pa) ±(10 Pa + az érték 1,5%-a) (101–10.000 Pa)

Vízóra (HMV és a fűtőkör hőelnyelése céljából)

Típusa: Idrotech B99

Gyártási szám: 561619/06

Mérési pontosság: 0,0001 m³

Gázmennyiségmérő

Típusa: Flogiston G4 RF1

Gyártási szám: 814181

Mérési tartománya: 0,016–6 m³/h

Mérési pontosság: 0,0001 m³

Ellenállás-hőmérő

Típusa: Pt100, B pontossági osztály

Mérési pontosság: ±0,3 °C 0 °C-on, további ±0,05 °C 10 °C-onként

Hőelem

Típusa: K-típusú

Mérési pontosság: 2,2 °C

Páratartalom-mérő: egyedi gyártmány

Hőelem kalibrátor

Típusa: Instrutek AS TC125 és TC650

2.2 Felhasznált műszerek kalibrációja

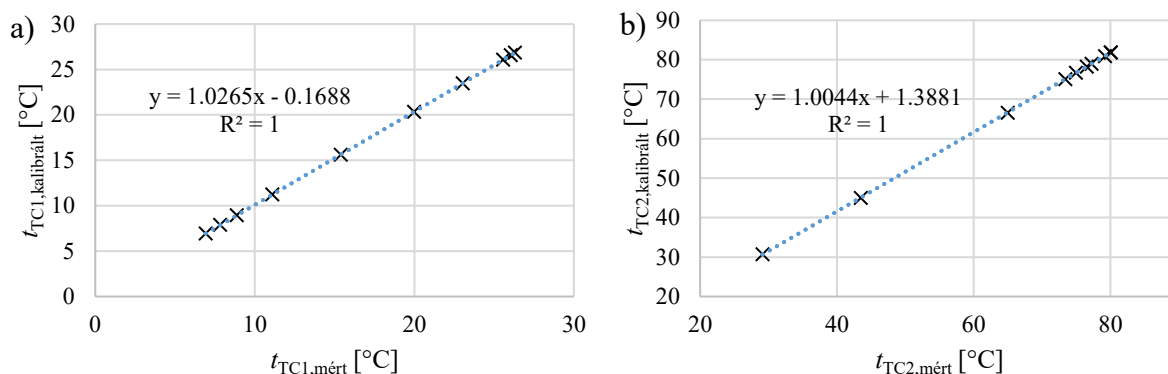
A méréshez használt Pt100 ellenálláshőmérők által mért hőmérséklet minden esetben egyezett (egy tizedes eltéréssel, ami a pontossági osztály túrérszárátán belül van) a kalibrált hőmérséklettel, így a kalibrált hőmérsékleteket ezekre (1) ismerteti.

$$t_{\text{Pt100,kalibrált}} = t_{\text{Pt100,mért}} \quad (1)$$

A füstgáz hőmérséklet (t_{TC2}) és a beszívott levegő hőszivattyú elpárologtatója utáni hőmérsékletének (t_{TC1}) mérésére használt K típusú termoelemek kalibrációját mutatja az 2. ábra a) és b) része, illetve írja le (2) és (3).

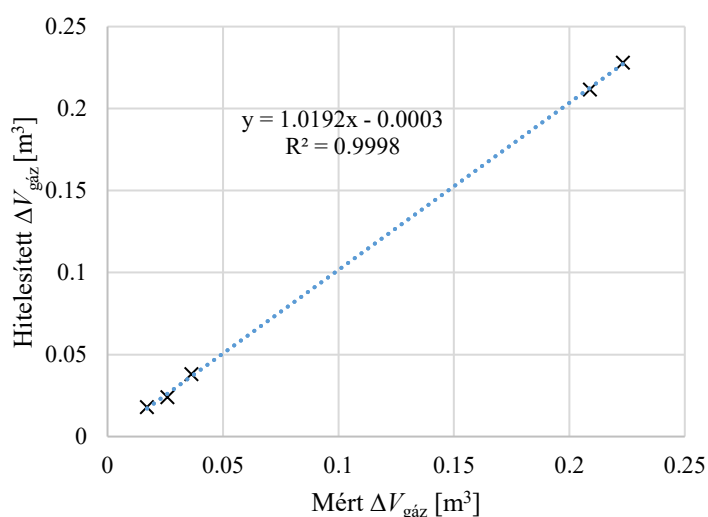
$$t_{\text{TC1,kalibrált}} = 1,0265 \cdot t_{\text{TC1,mért}} + 0,1688 \quad (2)$$

$$t_{\text{TC2,kalibrált}} = 1,0044 \cdot t_{\text{TC2,mért}} + 1,3881 \quad (3)$$



2. ábra. K típusú hőelemek kalibrációja. a) füstgázhőmérséklet mérésére használt hőelem, b) a beszívott levegő hőszivattyú elpárolgatója utáni hőmérsékletének mérésére használt hőelem.

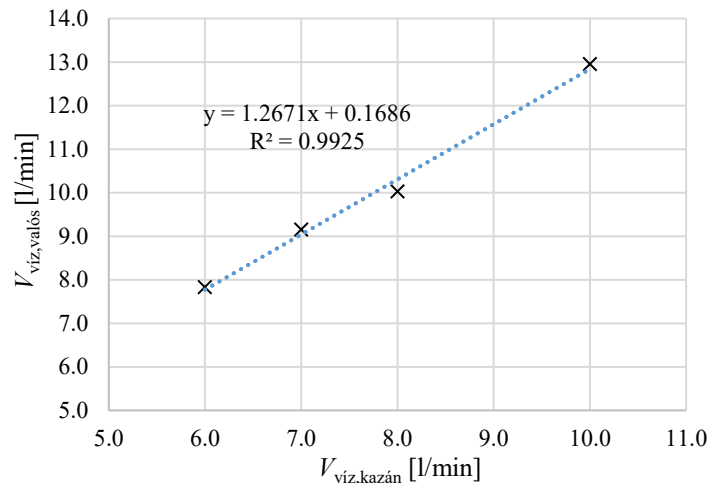
A laboratórium gázórája nem hitelesített, így azt egy, a gázvezeték korábbi szakaszán, másik épületrészben elhelyezkedő hitelesített gázórával kalibráltuk. A kalibrálás ideje alatt az egyéb gázfogyasztás lehetőségét kizártuk a szakaszon. A mérési eredményeket a 3. ábra mutatja, a hitelesített értékre kalibrálást a (4) egyenlet írja le.



3. ábra. Gázóra kalibrációja.

$$\Delta V_{\text{gáz, kalibrált}} = 1,0192 \cdot \Delta V_{\text{gáz, mért}} - 0,0003 \rightarrow \Delta V_{\text{gáz, kalibrált}} \approx \Delta V_{\text{gáz, mért}} \quad (4)$$

A kazán által kijelzett vízáram értékeket a laboratóriumban található vízóra értékeihez kalibráltuk. Ez utóbbi pontosságát tömegméréssel ellenőriztük. A mért értékeket a 4. ábra mutatja, a kalibrációs egyenes egyenletét (5).



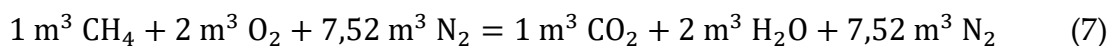
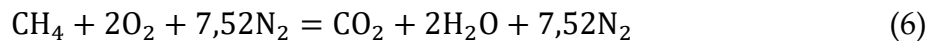
4. ábra. Kazán térfogatárammérésének kalibrációja.

$$\dot{V}_{\text{v}\ddot{\text{z}},\text{kalibr}\ddot{\text{a}}\text{l}t} = 1,2671 \cdot \dot{V}_{\text{v}\ddot{\text{z}},\text{kaz}\ddot{\text{a}}\text{n}} - 0,1686 \quad (5)$$

Minden további számításban a kalibrált értékeket használtuk.

2.3 Egyszerűsített kazánszámítás

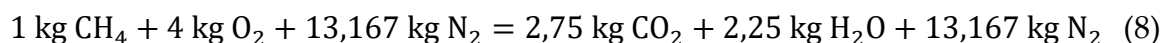
A kazán hőmérlegének egyszerűsített számításához az égés sztöchiometriai egyenletéből indultunk ki. Ehhez a földgáz összetételét 100%-ban CH_4 -nek feltételeztük. A CH_4 égés bruttó reakcióját (6) írja le, amelyből (7) az 1 m^3 CH_4 -re fajlagosított egyenletet adja meg.



A számítások során használt moláris tömegek az alábbiak:

$$\begin{aligned} M_{\text{C}} &= 12 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right] \\ M_{\text{H}} &= 1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right] \\ M_{\text{O}} &= 16 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right] \\ M_{\text{N}} &= 14 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right] \end{aligned}$$

Így az 1 kg CH_4 -re fajlagosított értékeket (8) mutatja be.



A fajlagos levegőigény ((9), (10)) és keletkezett füstgázmennyiség ((11), (12)) sztöchiometrikus esetre, $\lambda = 1$, (7) és (8) alapján:

$$y_{\text{lev,szt}} = 2 + 7,52 = 9,52 \left[\frac{\text{Nm}^3 \text{levegő}}{\text{Nm}^3 \text{CH}_4} \right], \quad (9)$$

$$w_{\text{lev,szt}} = 4 + 13,167 = 17,167 \left[\frac{\text{kg levegő}}{\text{kg CH}_4} \right], \quad (10)$$

$$y_{\text{fg,szt}} = 1 + 2 + 7,52 = 10,52 \left[\frac{\text{Nm}^3 \text{füstgáz}}{\text{Nm}^3 \text{CH}_4} \right], \quad (11)$$

$$w_{\text{fg,szt}} = 2,75 + 2,25 + 13,167 = 18,167 \left[\frac{\text{kg füstgáz}}{\text{kg CH}_4} \right]. \quad (12)$$

A fajlagos levegőigény ((13), (14)) és keletkezett füstgázmennyiség ((15), (16)) λ légfelesleg-tényező mellett:

$$y_{\text{lev}} = \lambda \cdot y_{\text{lev,szt}}, \quad (13)$$

$$w_{\text{lev}} = \lambda \cdot w_{\text{lev,szt}}, \quad (14)$$

$$y_{\text{fg}} = y_{\text{fg,szt}} + (\lambda - 1) \cdot y_{\text{lev,szt}}, \quad (15)$$

$$w_{\text{fg}} = w_{\text{fg,szt}} + (\lambda - 1) \cdot w_{\text{lev,szt}}. \quad (16)$$

A füstgáz tüzelésből származó fajlagos vízgőztartalma (17) szerint számolható. Ehhez a további számítások előtt még hozzáadjuk a beszívott levegő vízgőztartalmát.

$$y_{\text{H}_2\text{O,fg}} = \frac{2}{y_{\text{fg}}}. \quad (17)$$

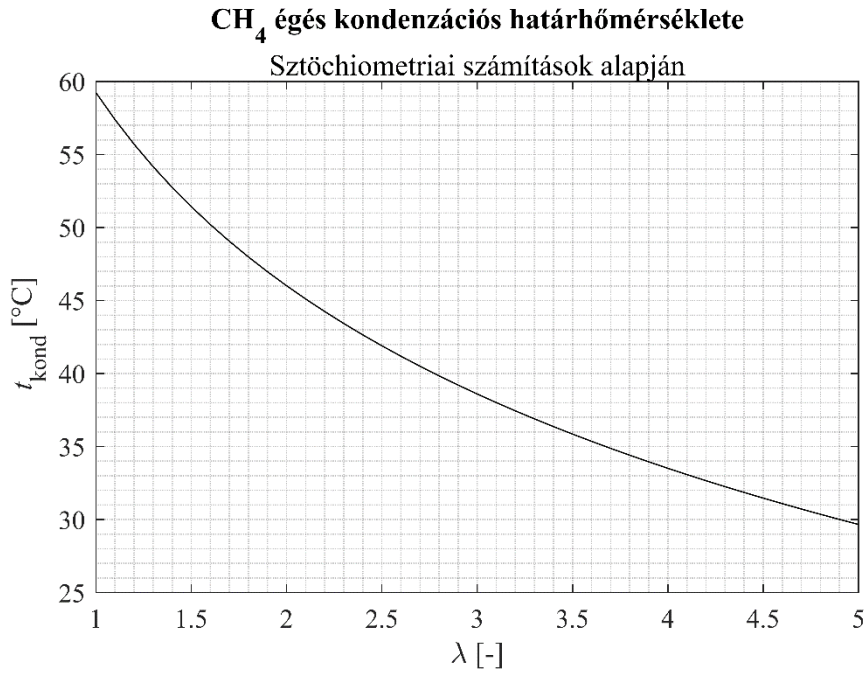
A vízgőz parciális nyomása a füstgázban egyenlő a környezeti nyomás (p_k) és a fajlagos vízgőztartalom szorzatával, Dalton törvénye szerint.

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = y_{\text{H}_2\text{O,fg}} \cdot p_k. \quad (18)$$

A kondenzáció határhőmérséklete (t_{kond}) a vízgőz parciális nyomásán vett telítési hőmérséklet, azaz

$$t_{\text{kond}} = t_{\text{sat}}(p_{\text{H}_2\text{O}}). \quad (19)$$

Ezt az IAPWS IF97 vízgőz táblázat alapján határoztuk meg. A korábbi egyenletekből kiolvasható, hogy a kondenzációs határhőmérséklet a csak a légfelesleg-tényezőtől függ. Ennek alakulását 1 és 5 közötti légfeleslegtényezőkre az 5. ábra mutatja be.



5. ábra. Kondenzációs határhőmérséklet a füstgázban a légfeslegtényező.

A kazánban a tüzelés során felszabaduló hő meghatározható a mért földgáz térfogatáramból ($\dot{V}_{\text{gáz}}$) és a földgáz térfogatra vonatkoztatott fűtőértékéből (LHV , [MJ/Nm³]) (20) szerint.

$$\dot{Q}_{\text{tüz}} = LHV \cdot \dot{V}_{\text{gáz}}. \quad (20)$$

A hasznos hőáram ($\dot{Q}_h$) a mért víz térfogatáramból ($\dot{V}_{\text{víz}}$), a víz sűrűségéből ($\rho_{\text{víz}}$), izobár fajhőjéből ($c_{p,\text{víz}}$), illetve a kilépő ($t_{\text{víz},ki}$) és belépő ($t_{\text{víz},be}$) víz hőmérsékletének különbségéből számítható (21) szerint.

$$\dot{Q}_h = \dot{V}_{\text{víz}} \cdot \rho_{\text{víz}} \cdot c_{p,\text{víz}} \cdot (t_{\text{víz},ki} - t_{\text{víz},be}). \quad (21)$$

A hatásfok a (20)–(21) egyenletekkel definiált hőáramokból kifejezve:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{Q}_{\text{tüz}}}. \quad (22)$$

2.3 Mérési adatok feldolgozása

A légfeslegtényező közelítőleg meghatározható a füstgázban mért oxigén-koncentrációból (23) alapján.

$$\lambda \approx \frac{21}{21 - O_{2,\text{mért}}}. \quad (23)$$

A kibocsátásokat a Testo350 szoftver [ppm]-ben közli, így ezek átszámítása [mg/kWh]-ba az EN 15502-1:2021 szabvány szerint történt.

3 Mérési adatok és értékelésük

A mérési sorozat a használati melegvíz (HMV) méréssel kezdődött a maximálisan beállítható 60 °C-os értéktől kezdve 10 °C-os lépcsőkben csökkentve a HMV értékét. A mért értékek átlagát a 2. táblázat tartalmazza. Mivel a kívánt víz hőmérséklet nem érhető el a kezdetben beállított maximális HMV térfogatáram esetében, így annak csökkentése volt szükséges amíg a mért víz hőmérséklet megegyezett a kívánt értékkel. Az alacsonyabb hőmérsékletű HMV mérések esetében a víz térfogatárama változatlan maradt. A berendezés felvett villamos teljesítménye 92–114 W között változott, csökkenő tendenciát mutatva csökkenő HMV hőmérséklet szerint. A tüztér után és előtt mérhető nyomáskülönbség 150–238 Pa tartományban változott bekapcsolt ventilátor esetében A füstgáz hőmérséklet 49,06–81,76 °C között változott a beállított HMV hőmérséklet függvényében.

2. táblázat. Térfogatáram, felvett teljesítmény, nyomás és füstgáz hőmérséklet adatok.

HMV mérés								
t_{set} [°C]	$V_{\text{víz, kazán}}$ [l/min]	$V_{\text{víz, valós}}$ [l/min]	$V_{\text{gáz}}$ [m ³ /h]	P_{vill} [W]	$p_{\text{kazán}}$ [bar]	Δp [Pa]	t_{fg} [°C]	t_{HMV} [°C]
60	10	13,0	2,44	114	1,1	238	77,54	44,14
60	8	10,0	2,43	113	1,2	238	80,79	51,87
60	7	9,2	2,43	113	1,2	238	81,76	54,77
60	6	7,6	2,36	109	1,2	238	81,72	60,20
50	6	7,8	1,85	98	1,2	225	71,12	50,37
40	6	7,8	1,13	95	1,1	222	49,06	41,04
30	6	7,9	1,25	92	1,1	150	49,71	37,55
Fűtés mérés								
80	-	10.27	2.48	114	1.1	262	73.58	-
80	-	10.46	2.47	115	1.1	266	74.40	-
80	-	10.31	2.48	114	1.2	263	74.56	-
60	-	10.10	1.65	95	1.2	230	63.31	-
60	-	10.28	1.14	91	1.2	160	54.47	-

A mérési sorozat fűtési üzemmódban három a maximális tüzelési teljesítményhez közeli, egy minimális és egy köztes teljesítményt tartalmaz. A $V_{\text{víz, valós}}$ értékek ebben az esetben a keringtetőszivattyú által biztosított térfogatáramot jelenti. A felvett átlagos villamos teljesítmény közel azonos tartományban változik 91–115 W között, mint HMV üzemmódban. A nyomáskülönbség maximálisához közeli fűtési teljesítmények esetében a legmagasabb 262-266 Pa. A füstgáz hőmérséklet minimuma a legkisebb tüzelési teljesítmény esetében mérhető 54,47 °C értékkel. Maximális

tüzelési teljesítményen a füstgázhőmérséklet 73,4-74,6 °C, ami valamivel alacsonyabb, mint maximális HMV hőmérséklet esetében.

3. táblázat. Emisszió és légfelesleg-tényező adatok.

HMV mérés								
t_{set} [°C]	CO _{átlag} [ppm]	CO _{szórás} [ppm]	NO _{x,átlag} [ppm]	NO _{x,átlag} [mg/kWh]	NO _{x,szórás} [ppm]	O ₂ átlag [V/V%]	O ₂ szórás [V/V%]	$\lambda_{\text{átlag}}$ [-]
60	39	2,3	10,7	64,5	0,52	14,8	0,01	3,41
60	43	2,3	12,1	72,8	0,13	14,8	0,01	3,39
60	44	2,3	13,0	77,8	0,48	14,8	0,01	3,38
60	38	8,2	11,6	71,8	0,94	15,0	0,21	3,47
50	14	2,2	4,7	37,0	0,10	16,2	0,03	4,41
40	12	5,5	3,4	31,8	1,21	17,0	0,47	5,29
30	11	2,8	1,8	19,0	0,60	17,4	0,16	5,85
Fűtés mérés								
80	39	2.8	11.5	68,1	0.60	14.9	0.04	3.43
80	39	2.6	11.5	67,4	0.05	14.9	0.01	3.43
80	45	2.6	13.8	80,5	0.21	14.8	0.01	3.40
60	14	2.1	5.1	41,2	0.49	16.7	0.10	4.85
60	6	1.9	2.9	28,2	0.43	17.4	0.04	5.84

Az EN 15502-1:2021 szabvány szerint a kibocsátási értékeket az üzemi teljesítmény alapján súlyozni szükséges. A szabványban a mérés fűtési üzemmódban történik, különböző terheléseken. A ppm-ben mért kibocsátási értékeket a szabványban feltüntetett referencia körülményekre és mg/kWh-ra szükséges átszámítani. A súlyok szabvány szerinti meghatározása után a kibocsátás értéke (24) egyenlettel számítható:

$$\text{NO}_{x,LHV} = \sum \text{NO}_{x,\text{mért}(i)} \cdot F_i = 28,2 \cdot 0,66 + 41,2 \cdot 0,32 + 80,5 \cdot 0,02 = 33,59 \frac{\text{mg}}{\text{kWh}}, \quad (24)$$

ahol F jelöli a súlyokat, i alsóindex az adott terhelést. Szabvány szerint a Class 6 besorolás esetében a kibocsátás az égéshő alapján van meghatározva, ezért a (24) egyenlet alapján számított értéket korrigálni szükséges, mivel az egyenlet a fűtőérték alapján számol.

$$\text{NO}_x = \frac{LHV}{HHV} \cdot \text{NO}_{x,LHV} = 0,9 \cdot 33,59 = 30,23 \frac{\text{mg}}{\text{kWh}}, \quad (25)$$

ahol $LHV/HHV = 0,9$ G20 típusú földgázra a szabvány szerint. Súlyozás után a kibocsátott NO_x értéke 30,23 mg/kWh, ami megfelel a Class 6 besorolásban megengedett 56 mg/kWh felső határnak, ami a 813/2013 EU rendeletben is nevesítve szerepel.

3.3 Egyszerűsített kazánszámítás eredményei

Az egyszerűsített számításhoz felhasznált állandónak vett értékek:

$$LHV = 34,87 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right]$$

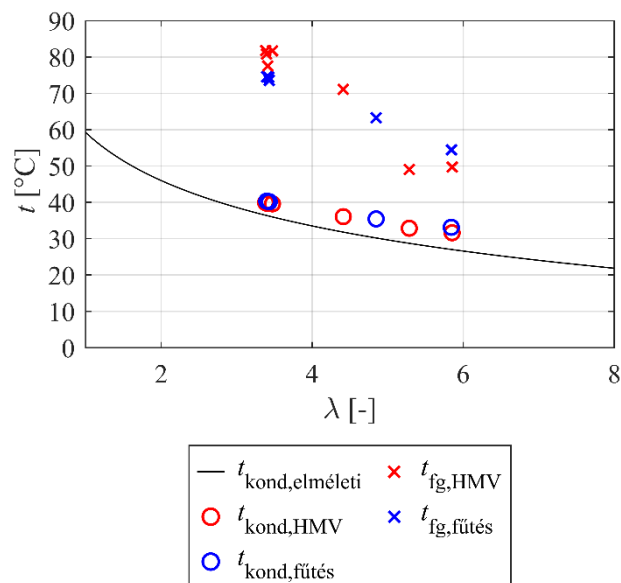
$$\rho_{\text{gáz}} = 0,6759 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Az egyszerűsített kazánszámítás eredményeit az 4. táblázat foglalja össze. A 1992. május 21-i 92/42/EGK tanácsi irányelv rendeletében szereplő, szabványos kazánokra vonatkozó minimális hatásfokértéket a kazán teljesíti, amire a 813/2013 EU rendelet hivatkozik.

4. táblázat. Számolt hatásfok és hőteljesítmény értékek. A *-gal jelzett pontban időlegesen üzemelt a hőszivattyú, így ott nem számítottunk hatásfokot és hőáramot.

HMV mérés					
$t_{\text{set}} [^{\circ}\text{C}]$	$V_{\text{víz, kazán}} [\text{l/min}]$	$\lambda_{\text{átlag}} [-]$	$\eta [\%]$	$\dot{Q}_{\text{hasznos}} [\text{kW}]$	$\dot{Q}_{\text{tüz}} [\text{kW}]$
60	10	3,41	0.96	23.2	24,1
60	8	3,39	0.97	23.3	24,0
60	7	3,38	0.97	23.3	24,0
60	6	3,47	0.95	22.2	23,3
50	6	4,41	0.96	17.6	18,3
40*	6	5,29	-	-	11,1
30	6	5,85	0.87	10.7	12,3
Fűtés mérés					
80	-	3.43	0.87	21.3	24.5
80	-	3.43	0.88	21.4	24.4
80	-	3.40	0.86	21.1	24.5
60	-	4.85	0.85	13.8	16.2
60	-	5.84	0.87	9.8	11.2

A számított üzemállapotokban a hőszivattyú nem működött. A mért füstgázhőmérsékletek összehasonlítása az adott üzemállapotban érvényes kondenzációs határhőmérséklettel a 6. ábrán látható. A kondenzációs határhőmérséklet mindegyik esetben legalább 10 °C-kal alacsonyabb a mért füstgázhőmérsékletnél, tehát a kéményben nem várható kondenzáció.



6. ábra. Kondenzációs határhőmérséklet száraz belépő levegő esetén (folytonos vonal) és a mért, nedves belépő levegő alapján kondenzációs határhőmérséklet (kör jelölők). Az $\times$ és a $\circ$ jelölők közti távolság mutatja azt a többlet hőmérsékletet, amennyivel a füstgáz hőmérséklete a kondenzációs hőmérséklet fölött van.

A felhasznált villamos teljesítménymérő segítségével megállapítható a berendezés villamos-energiafogyasztása. Készenléti üzemállapotban a berendezés 2,7 W-ot fogyaszt, ami a vezérlőpanel fogyasztása. Üzem közbeni teljesítményfelvétel 91–115,2 W között változott, míg a berendezés leállítása után az utószellőztetés során 50–55 W közötti teljesítményfelvételt mértünk. 40 °C-os HMV mérés esetében a mérés körülbelül felénél a hőszivattyú is működésbe lépett, ami az addigi 94,5 W-os fogyasztást 370–380 W közé növelte. Míg a berendezés leállítása után a még üzemelő hőszivattyú és utószellőztetés mellett a maximális felvett teljesítmény 389 W volt. Az utószellőztetés leálltával, a továbbra is üzemelő hőszivattyúval teljesítményfelvétele 335 W volt.

5 Irodalomjegyzék

- [1] R. J. Kee, F. M. Rupley, and J. A. Miller, "CHEMKIN-II: A FORTRAN Chemical Kinetics Package for the Analysis of Gas Phase Chemical Kinetics," Sandia Report SAND 89-8009, 1989.