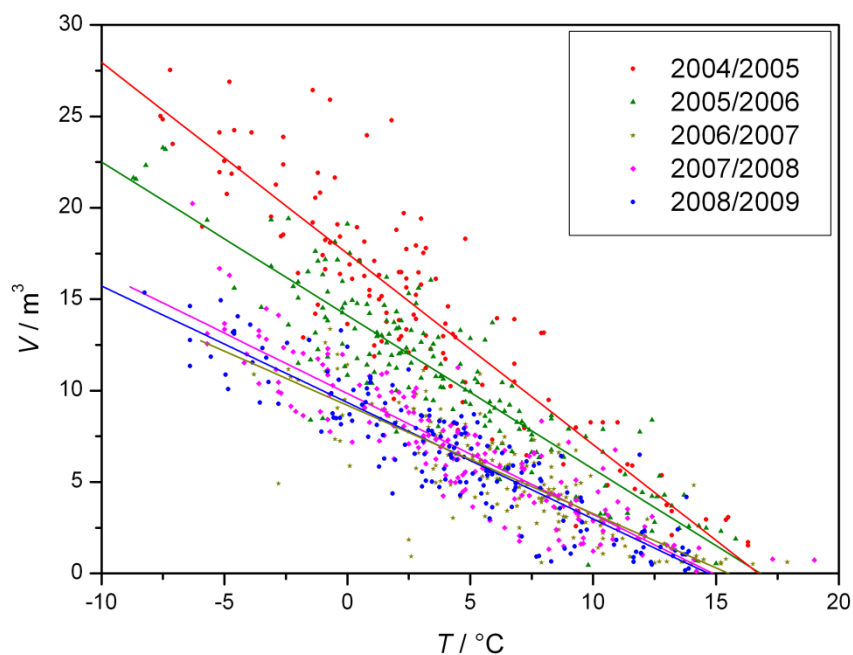


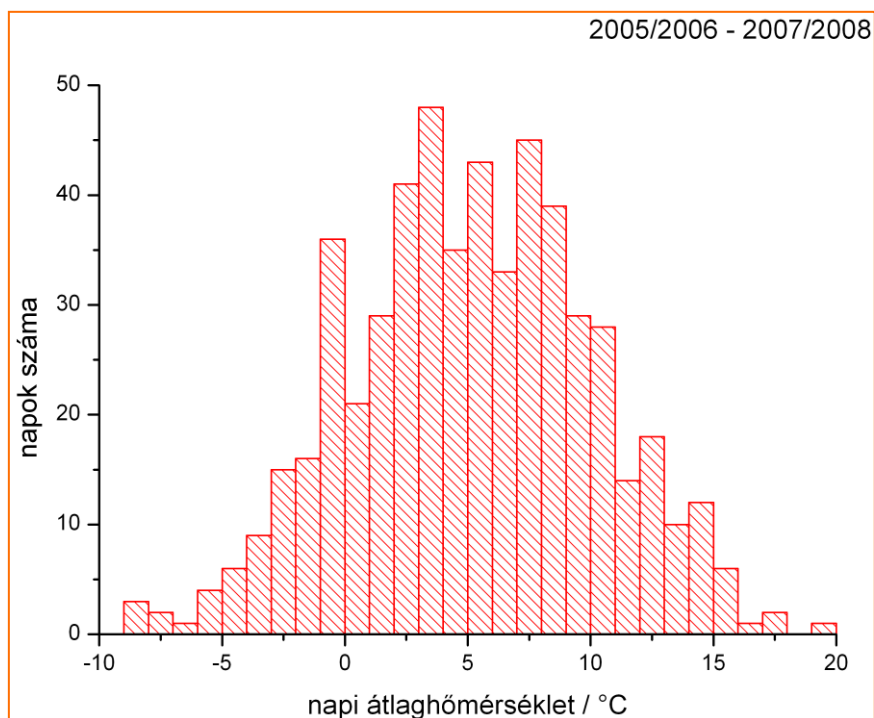
## Turányi Tamás: Családi ház gázfogyasztása<sup>1</sup>



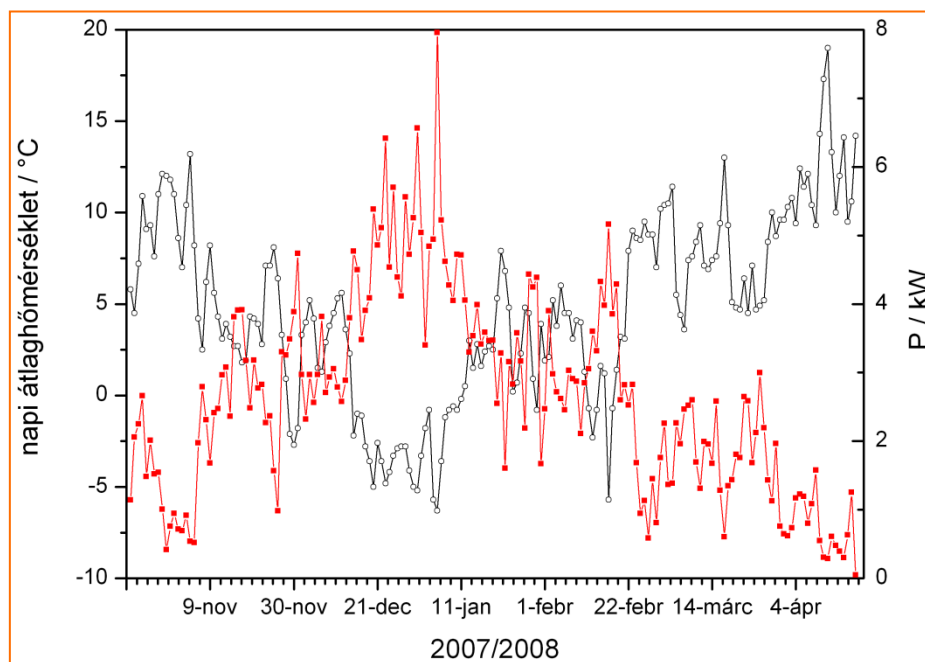
fűtési évad	állapot	gázfogyasztás (m <sup>3</sup> ) mint a napi átlaghő- mérséklet (°C) függ- vénye	gázfogyasztás 0 °C napi átlaghőmérsék- letnél	csökkentés
2004/2005	eredeti állapot	$V=17,49-1,045 T$	17,49	100 %
2005/2006	ablakok és ajtók hőszigetelése	$V= 14,11-0,839 T$	14,11	81 %
2006/2007	+ Drywit hőszigetelés (8 cm)	$V= 9,20-0,592 T$	9,20	53 %
2007/2008	+ C-24 cirko helyett INKA 24V kondenzációs cirko + villanybojler helyett gázbojler	$V= 9,84-0,661 T$	9,84	56 %
2008/2009	javított cirko hőmérséklet- programozás:	$V= 9,36-0,637 T$	9,36	54%

<sup>1</sup> <http://garfield.chem.elte.hu/Turanyi/energia.html>

## Turányi Tamás: Családi ház gázfogyasztása



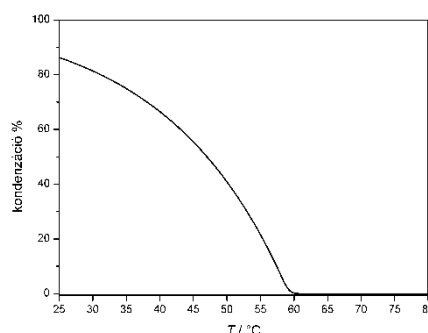
Az egyes napi átlaghőmérsékletek gyakorisága a 2005/06, 2006/07 és 2007/08 fűtési idényekben együtt. Látható, hogy a  $-5\text{ °C}$ -nál alacsonyabb napi átlaghőmérséklet nagyon ritka Budapesten.



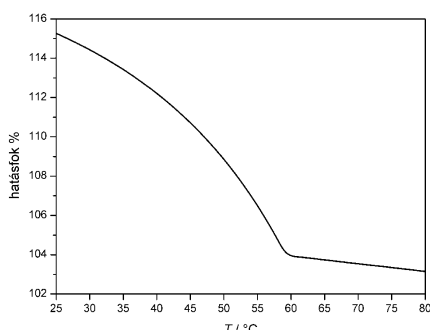
A 2007/2008 fűtési idényben az egyes napokon az átlaghőmérséklet és a napi átlagos kazántelesítmény. A napi átlagos kazántelesítményt a földgáz-fogyasztásból számítottuk. Ha folyamatosan üzemelt volna a cirkó, három nap kivételével soha nem lett volna szükség 6 kW-nál nagyobb fűtési teljesítményre. A cirkó 24 kW teljesítményű.

## Miért energiatakarékosabb a kondenzációs cirkó, mint a hagyományos?

A földgáz égésekor keletkező víz kondenzációjának mértéke erősen függ a kondenzációs cirkó hőcserélőjének hőmérsékletétől, amely azonosnak vehető a visszatérő melegvíz hőmérsékletével. Radiátoros fűtés esetén a visszatérő víz hőmérséklete 40 °C is lehet. 40 °C-on az égés során keletkező víznek közel 66%-a kondenzál. Ha a hőcserélő 50 °C-os, akkor a víznek már csak 40%-a kondenzál, míg 60 °C felett egyáltalán nincs kondenzáció. Alacsony hőmérsékletű padló- vagy falfűtés esetén a kondenzáció mindig 80% felett van.



Az alábbi ábra megmutatja egy kondenzációs kazán számított hatásfokának változását a visszatérő melegvíz hőmérsékletének függvényében, összehasonlítva azt egy olyan hagyományos cirkó hatásfokával (ezt vesszük 100%-nak), amelynél a füstgáz 150 °C hőmérsékleten távozik a kéményen keresztül.



A hagyományos cirkóval szemben elsősorban azért magasabb egy kondenzációs kazán hatásfoka, mert hasznosítja a víz kondenzációs hőjét, illetve mert a füstgáz alacsonyabb hőfokon távozik. Ennek megfelelően a hőcserélő hőmérsékletét növelve a kondenzáció arányának csökkenésével erősen romlik a hatásfok, majd a kondenzáció megszűnte után a hatásfok kissé tovább csökken, mert a kiáramló füstgáz hőmérséklete növekszik.

A fenti ábrákat kizárólag középiskolai kémia és fizika ismeretek alapján meg lehetett szerkeszteni. Akinek van türelme, olvassa el az alábbi középiskolai kémiapéldát. (Megjelent a [Középiskolai Kémiai Lapok](#) 2008/4. számában, H95 példa.)

### Feladat

- A háztartási gázórán leolvasott gázfogyasztás úgynevezett gáztechnikai normálállapotra vonatkozik (1 atm nyomás és 15 °C hőmérséklet). Mennyi hő szabadul fel 1 m<sup>3</sup> térfogatú, gáztechnikai normálállapotú metán égésekor, ha a keletkező víz légnemű és mennyi, ha a keletkező víz folyékony? Csak ezt a hatást tekintve, mennyivel lehet nagyobb egy kondenzációs kazán hatásfoka?
- Egy hagyományos cirkó fali gázkazánál a 150 °C hőmérsékletű füstgáz a kéményen át távozott. A kondenzációs cirkónkból az 50 °C hőmérsékletű füstgázt egy ventilátor hajtja ki. Mi a füstgáz összetétele (mol%) a kétféle cirkó esetén? Mennyi hő fűti a házat a kétféle cirkó esetén, ha a gázóra szerint 1,000 m<sup>3</sup> földgáz fogyott?

Tételezzük fel, hogy a földgáz csak metánból áll, a levegő összetétele 21 mol% O<sub>2</sub> és 79 mol% N<sub>2</sub>, valamint hogy az égés mindkét esetben sztöchiometrikus, tehát a füstgázban nem marad sem metán, sem oxigén. A cirkó gázégőjében az égés előtt a földgáz és a levegő is 25 °C hőmérsékletű és 1 bar nyomású.

A szükséges adatok, mind 25 °C hőmérsékleten és 1 bar nyomáson: a képződési entalpiák:

$$DH_f^\circ(\text{CH}_4) = -74,81 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}, DH_f^\circ(\text{CO}_2) = -393,51 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}},$$

## Turányi Tamás: Családi ház gázfogyasztása

$$DH_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -241,82 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}, DH_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = -285,83 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}.$$

A résztvevő anyagok állandó nyomáson vett moláris hőkapacitása:

$$C_p(\text{CO}_2) = 37,11 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}, C_p(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = 33,58 \frac{\text{J}}{\text{K mol}},$$

$$C_p(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = 75,291 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}, C_p(\text{N}_2) = 29,125 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}.$$

A víz egyensúlyi gőznyomása 12332 Pa 50 °C hőmérsékleten.

### Megoldás:

a)

A reakcióegyenlet:  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

A standard moláris reakcióentalpia 25 °C hőmérsékleten, ha vízgőz keletkezik:

$$D_r H^\circ = -1 \times DH_f^\circ(\text{CH}_4) - 2 \times DH_f^\circ(\text{O}_2) + 1 \times DH_f^\circ(\text{CO}_2) + 2 \times DH_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g}))$$

$$D_r H^\circ = (-1 \times -74,81 - 2 \times 0 + 1 \times -393,51 + 2 \times -241,82) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -802,34 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

A standard moláris reakcióentalpia 25 °C hőmérsékleten, ha folyékony víz keletkezik:

$$D_r H^\circ = -1 \times DH_f^\circ(\text{CH}_4) - 2 \times DH_f^\circ(\text{O}_2) + 1 \times DH_f^\circ(\text{CO}_2) + 2 \times DH_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{l}))$$

$$D_r H^\circ = (-1 \times -74,81 - 2 \times 0 + 1 \times -393,51 + 2 \times -285,83) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -890,36 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$pV = nRT, n = \frac{pV}{RT} = \frac{(101325 \text{ Pa} \times 1 \text{ m}^3)}{(8,314 \times 288,15 \text{ K})} = 42,295 \text{ mol}$$

Ha a metánt tökéletes gáznak tekintjük, a fenti körülmények között 1 m<sup>3</sup> tehát 42,295 mol metánt tartalmaz.

$$\text{Ha } \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \text{ keletkezik, akkor } 1 \text{ m}^3 \text{ metán elégeésekor } q = 42,295 \text{ mol} \times -802,34 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -33935 \text{ kJ}$$

$$= -33,935 \text{ MJ a hőváltozás. (A gázművek } 34 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \text{ fűtőértékkel számol.)}$$

$$\text{Ha } \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \text{ keletkezik, akkor } 1 \text{ m}^3 \text{ metán elégeésekor } q = 42,295 \text{ mol} \times -890,36 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -37658 \text{ kJ}$$

= -37,658 MJ a hőváltozás. Ez utóbbi 10,97%-kal több, tehát ennyivel lenne nagyobb egy kondenzációs kazán hatásfoka, ha minden vízgőz kondenzál és a reakciótermékek 25 °C hőmérsékletűek.

### b.) Hagyományos cirkó

A levegőben 0,21 mol O<sub>2</sub>-re 0,79 mol N<sub>2</sub> jut, tehát 1 mol O<sub>2</sub>-re  $\frac{0,79}{0,21} = 3,7619$  mol N<sub>2</sub>, illetve 2 mol O<sub>2</sub>-re  $2 \times 3,7619 = 7,5238$  mol N<sub>2</sub> jut. Az égés egyenlete  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ , tehát

## Turányi Tamás: Családi ház gázfogyasztása

sztoichiometrikus égés esetén 1 mol  $\text{CH}_4$  elégetésekor a hagyományos cirkó füstgáza 1,0000 mol  $\text{CO}_2$ -t, 2,0000 mol  $\text{H}_2\text{O}$ -t és 7,5238 mol  $\text{N}_2$ -t tartalmaz (összesen 10,5238 mol).

A füstgáz összetétele tehát

$$x(\text{CO}_2) = \frac{1}{10,5238} \times 100 = 9,502\%, \quad x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2}{10,5238} \times 100 = 19,005\%,$$

$$x(\text{N}_2) = \frac{7,5238}{10,5238} \times 100 = 71,493\%$$

A füstgázelegy moláris hőkapacitása:

$$C_p = x(\text{CO}_2) \times C_{p,m}(\text{CO}_2) + x(\text{H}_2\text{O}) \times C_{p,m}(\text{H}_2\text{O}) + x(\text{N}_2) \times C_{p,m}(\text{N}_2) = \\ (0,09502 \times 37,11 + 0,19005 \times 33,58 + 0,71493 \times 29,125) \frac{\text{J}}{\text{K mol}} = 30,7304 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}$$

1 mol ilyen gázelegy felmelegítéséhez szükséges hő  $25^\circ\text{C}$ -ről  $150^\circ\text{C}$ -ra:

$$DH = 1 \text{ mol} \times +30,7304 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \times 125 \text{ K} = +3841,30 \text{ J}$$

1 mol  $\text{CH}_4$  elégetésekor 10,5238 mol füstgáz keletkezik, ekkor  $10,5238 \times 3841,30 \text{ J} = +40425 \text{ J} = +40,425 \text{ kJ}$  kell a füstgáz felmelegítésére, tehát 1 mol földgáz elégetésekor hasznosul  $-802,34 \text{ kJ} \times +40,41 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -761,93 \text{ kJ}$  hő.

A tökéletes gázok törvénye alapján  $1 \text{ m}^3$  térfogatú, 1 atm nyomású és  $15^\circ\text{C}$  hőmérsékletű metán 42,295 mol, tehát  $1 \text{ m}^3$  földgáz égéséből  $42,295 \text{ mol} \times -761,93 \text{ kJ} = -32226 \text{ kJ} = -32,226 \text{ MJ}$  hő hasznosítható. A hatásfok a gáz fűtőértékéhez képest  $\frac{-761,93}{-802,34} = 95,0\%$ .

**Kondenzációs cirkó** esetén az alacsony füstgáz-hőmérséklet miatt a keletkező víz egy része lecsapódik és a füstgáz telített lesz vízgőzre. A víz egyensúlyi gőznyomása ezen a hőmérsékleten 12332 Pa, tehát a víz aránya a füstgázban

$$x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{12332 \text{ Pa}}{100000 \text{ Pa}} = 12,332 \text{ mol}\%.$$

A maradék  $(100,000 - 12,332) \text{ mol}\% = 87,668 \text{ mol}\%$  a  $\text{CO}_2$  és az  $\text{N}_2$  között 1 : 7,5238 arányban oszlik meg, tehát

$$x(\text{CO}_2) = \frac{1}{8,5238} \times 87,668 \text{ mol}\% = 10,285 \text{ mol}\%,$$

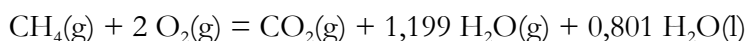
$$x(\text{N}_2) = \frac{7,5238}{8,5238} \times 87,668 \text{ mol}\% = 77,383 \text{ mol}\%.$$

Ez azt is jelenti, hogy minden 1 mol keletkező  $\text{CO}_2$  mellett  $\frac{12,332}{10,285} = 1,1990$  mol víz lesz légnemű

és  $2,000 - 1,199 = 0,801$  mol vízből lesz folyadék. Elhanyagoltuk, hogy a  $\text{CO}_2$  egy része a lecsapódó vízben feloldódik. A  $\text{CO}_2$  oldódása nem változtatja meg a lecsapódó víz arányát, de csökkenti a füstgázban a  $\text{CO}_2$  koncentrációját.

## Turányi Tamás: Családi ház gázfogyasztása

A kondenzációs cirkó esetén az adott körülményeknél a termokémiai egyenlet, figyelembe véve, hogy a fenti arányban keletkezik légnemű és folyékony víz:



A megfelelő moláris entalpiaváltozás:

$$D_r H^\circ = -1 \times D H_f^\circ(\text{CH}_4) - 2 \times D H_f^\circ(\text{O}_2) + 1 \times D H_f^\circ(\text{CO}_2) + 1,199 \times D H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) + 0,801 \times D H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{l}))$$

$$D_r H^\circ = -1 \times -74,81 - 2 \times 0 + 1 \times -393,51 + 1,199 \times -241,82 + 0,801 \times -285,83 = -837,5920 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Ilyenkor a füstgáz-elegy moláris hőkapacitása:

$$C_p = (37,11 \times 0,10285 + 33,58 \times 0,12332 + 29,125 \times 0,77383) \frac{\text{J}}{\text{mol}} = 30,496 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

1 mol  $\text{CH}_4$  elégetésekor  $(1,0000 + 7,5238 + 1,1990)$  mol = 9,7228 mol füstgáz keletkezik, és ennek a 25 °C-ról 50 °C-ra felmelegítéséhez szükséges entalpia:

$$DH = 9,7228 \text{ mol} \times +30,49 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \times 25 \text{ K} = +7411,2 \text{ J} = +7,4112 \text{ kJ}$$

A folyékony víz moláris hőkapacitása  $75,291 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}$ , tehát a keletkező 0,801 mol folyékony víz felmelegítéséhez szükséges hőmennyiség:

$$DH = 0,801 \text{ mol} \times +75,291 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \times 25 \text{ K} = +1507,7 \text{ J} = +1,5077 \text{ kJ}.$$

Egy mol földgáz elégetésekor hasznosul  $-837,5920 \text{ kJ} + 7,4112 \text{ kJ} + 1,5077 \text{ kJ} = -828,6731 \text{ kJ}$ . A tökéletes gázok törvénye alapján 1 m<sup>3</sup> térfogatú, 1 atm nyomású és 15 °C hőmérsékletű metán 42,295 mol, tehát 1 m<sup>3</sup> földgáz égéséből  $42,295 \text{ mol} \times -828,6731 \text{ kJ} = -35049 \text{ kJ} = -35,049 \text{ MJ}$  hasznosítható. A hatásfok a gáz fűtőértékéhez képest  $\frac{-828,67}{-802,34} = 103,3 \%$ .

Egy m<sup>3</sup> földgáz égésekor tehát 32,226 MJ hőt hasznosítunk a hagyományos és 35,049 MJ hőt a kondenzációs cirkóban. A kondenzációs cirkó tehát a példában megadott körülmények között 8,8 %-al jobban hasznosítja a földgáz égéséből származó hőt.

Végezzük el a fenti számítást minden egész füstgáz hőmérsékletértékre 25 °C és 80 °C között! A számításokhoz ismernünk kell a víz egyensúlyi gőznyomásának hőmérsékletfüggését, aminek táblázatát könyvtárban (Handbook of Chemistry and Physics: 73<sup>rd</sup> Edition (1992-93)) vagy az Internetről (<http://www.wiredchemist.com/chemistry/data/vapor-pressure>) szerezhethetjük be. A számításokat táblázatkezelővel (Excel) elvégezve azt láthatjuk, hogy az égés során keletkező víznek közel 80%-a kondenzál 30 °C-on és 60 °C felett egyáltalán nincs kondenzáció. A fenti leírásból látható, hogy a kondenzáció mértéke a légnyomástól is függ! Az Excellel számított függvényeket ábrázolva megkapjuk az oldal tetején látható ábrákat.