



A földgáz eltűzelésének egyetememes alapismeretei és a modern tűzeléstechnikában elfoglalt szerepe

Dr. Palotás Árpád Bence
egyetemi tanár



Épületenergetikai Napok - HUNGAROTHERM, Budapest, 2013. április 11.

Az előadás szerkezete

- **Földgáz összetétele, égési egyenletei**
 - tökéletes égés, tökéletlen égés, égéstermékek
- **Fűtőérték, sűrűség gázok esetén.**
 - Hova kell helyezni a CO detektort?
- **Égéselméleti számítások**
 - oxigén szükséglet, levegő szükséglet, füstgázmennyiség és füstgáz összetétel
- **Alapvető láng típusok**
 - előkevert láng (belső keverésű égők)
 - diffúz láng jellemzői (külső keverésű égők)
- **Lángterjedési sebesség**
- **Alsó-felső gyulladási/robbanási határ**

Égéselméleti alapparaméterek

- Számítandók
 - égéshő, fűtőérték
 - fajlagos oxigén szükséglet
 - fajlagos levegő szükséglet
 - elméleti és gyakorlati
 - fajlagos füstgáztérfogat
 - száraz és nedves
 - füstgázösszetétel
 - technológia, emisszió
 - füstgáz sűrűség
 - füstjáratok, kémények méretezése
 - kazán hatásfok
 - Lehet 100% feletti is! (kondenzációs kazán)

Gáznemű tüzelőanyagok

- Leggyakoribb tüzelőanyag a földgáz (Mo.)
 - fő éghető komponensek: CH_4 , C_2H_6 , ...
 - további fontos komponensek: CO_2 , H_2S , H_2
- Gyakoribb fűtőgázok

	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_nH_m	H_2	CO	CO_2	N_2	H_u
Földgáz*	88-95%	3-4%	<2%	<2%			<5%	<5%	35 MJ/m ³
PB			70%	30%					77 MJ/m ³
Hidrogén					100%				11 MJ/m ³
Kamragáz	20-25%	1%		<2%	60-65%	5-8%	<3%	5-10%	18 MJ/m ³
Kohógáz					1-4%	20-25%	<15%	60%	3-5 MJ/m ³
Szintézisgáz					25-40%	<65%		<5%	10-15 MJ/m ³
Biogáz	60-70%				1-2%			<0,5%	18-23 MJ/m ³

százalékos adatok térfogat %-ban

Fűtőérték számítás

■ Égéshő (H_o HHV)

- az a hőmennyiség, amely a minta tömeg- vagy térfogategységének tökéletes elégetésekor szabadul fel, ha annak hőmérséklete az elégetés előtt, valamint a keletkezett égéstermékek hőmérséklete az elégetés után egyaránt 20 °C , az **elégetéskor keletkező** (tüzelőanyag nedvességét is tartalmazó) **víz** az elégetés után **folyékony** halmazállapotú.

■ Fűtőérték (H_u LHV)

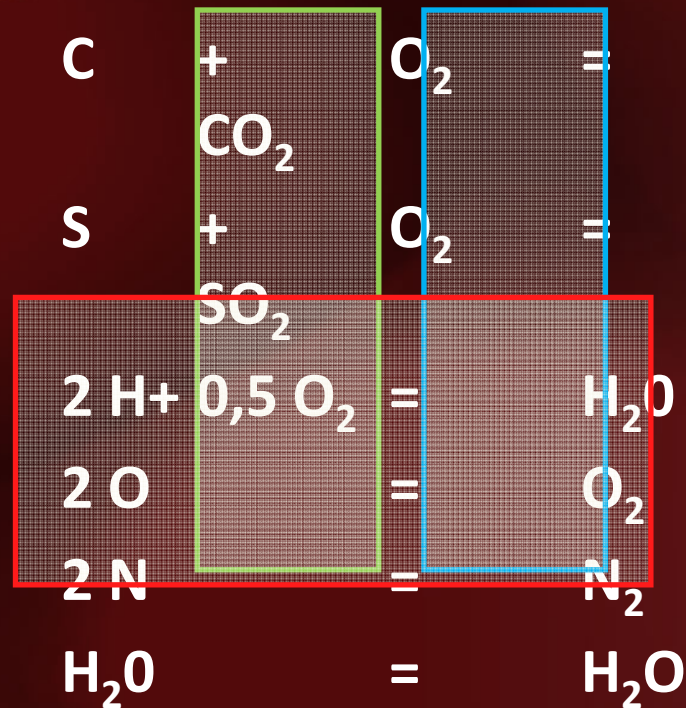
- ebben az esetben a tüzelőanyag eredeti nedvessége + az égés következtében keletkező víz **gőzként távozik** a rendszerből.

■ A kazánhatásfokot a **fűtőértékre** vetítjük (EU)

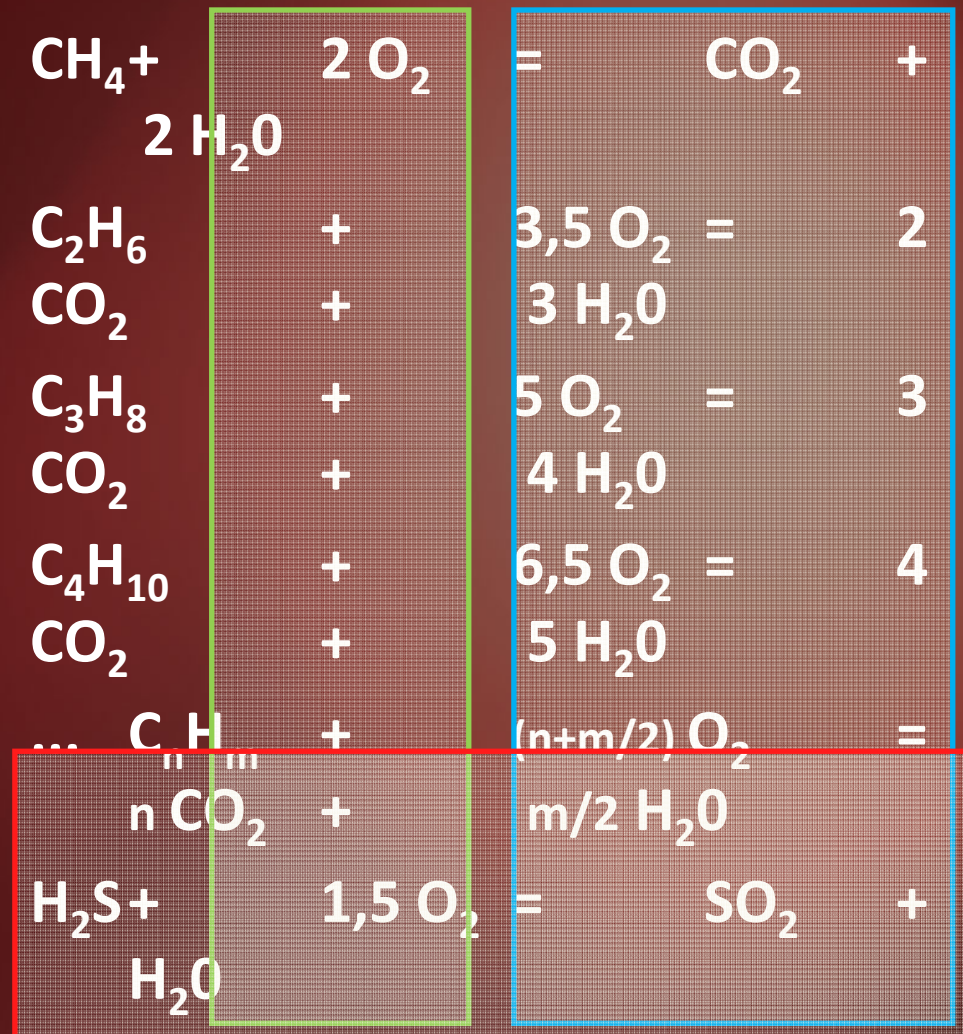
- Pl. kondenzációs kazánnál akár **107-109%** is lehet!
- Az **USA** ezzel szemben az **égéshőre** vetítve használja
 - **Eltérés a hatásfok értékében ugyanarra a berendezésre is!**

Szilárd – folyékony- gáz égésegyenletek

■ Szilárd és folyékony



■ Gáz halmazállapot



Az egyenleteket mindig érdemes felírni

Számítások – gáz halmazállapot I.

■ Oxigén-szükséglet

$$V_{O_2} = \left(2 \text{CH}_4 + 3,5 \text{C}_2\text{H}_6 + 5 \text{C}_3\text{H}_8 + \right. \\ \left. + 6,5 \text{C}_4\text{H}_{10} + (n+m/2) \text{C}_n\text{H}_m + \right. \\ \left. + 1,5 \text{H}_2\text{S} + 0,5 \text{H}_2 + 0,5 \text{CO} \right) / \\ 100 \quad \quad \quad \text{[m}^3/\text{m}^3\text{]}$$

Miből jön ez ki?

CH ₄	+	2 O ₂	=	CO ₂	+	2 H ₂ O
C ₂ H ₆	+	3,5 O ₂	=	2 CO ₂	+	3 H ₂ O
C ₃ H ₈	+	5 O ₂	=	3 CO ₂	+	4 H ₂ O
C ₄ H ₁₀	+	6,5 O ₂	=	4 CO ₂	+	5 H ₂ O
C _n H _m	+	(n+m/2) O ₂	=	n CO ₂	+	m/2 H ₂ O
H ₂ S	+	1,5 O ₂	=	SO ₂	+	H ₂ O
H ₂	+	0,5 O ₂	=			H ₂ O
CO	+	0,5 O ₂	=	CO ₂		
CO ₂			=	CO ₂		
N ₂			=	N ₂		
H ₂ O			=			H ₂ O

■ Levegő-szükséglet (normál oxigén tartalom esetén)

$$V_{\text{lev, elm}} = 4,76 V_{O_2} \quad \text{[m}^3/\text{m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{lev, gyak}} = n V_{\text{lev, elm}} \quad \text{[m}^3/\text{m}^3\text{]}$$

Számítások – gáz halmazállapot II.

■ Füstgáz térfogat

Miért?

$$\begin{aligned}
 V_{\text{fsg, nedv}} = & (3 \text{ CH}_4 + 5 \text{ C}_2\text{H}_6 + 7 \text{ C}_3\text{H}_8 + \\
 & + 9 \text{ C}_4\text{H}_{10} + (n+m/2) \text{ C}_n\text{H}_m + \\
 & + 2 \text{ H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \text{CO} + \\
 & + \text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \\
 & + V_{\text{lev, gyak}} - V_{\text{O}_2}) / 100 \text{ [m}^3/\text{m}^3]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{fsg, sz}} = & (\text{CH}_4 + 2 \text{ C}_2\text{H}_6 + 3 \text{ C}_3\text{H}_8 + \\
 & + 4 \text{ C}_4\text{H}_{10} + n \text{ C}_n\text{H}_m + \text{H}_2\text{S} + \text{CO} + \\
 & + \text{CO}_2 + \text{N}_2 + \\
 & + V_{\text{lev, gyak}} - V_{\text{O}_2}) / 100 \text{ [m}^3/\text{m}^3]
 \end{aligned}$$

CH ₄	+	2 O ₂	=	CO ₂	+	2 H ₂ O
C ₂ H ₆	+	3,5 O ₂	=	2 CO ₂	+	3 H ₂ O
C ₃ H ₈	+	5 O ₂	=	3 CO ₂	+	4 H ₂ O
C ₄ H ₁₀	+	6,5 O ₂	=	4 CO ₂	+	5 H ₂ O
C _n H _m	+	(n+m/2) O ₂	=	n CO ₂	+	m/2 H ₂ O
H ₂ S	+	1,5 O ₂	=	SO ₂	+	H ₂ O
H ₂	+	0,5 O ₂	=			H ₂ O
CO	+	0,5 O ₂	=	CO ₂		
CO ₂			=	CO ₂		
N ₂			=	N ₂		
H ₂ O			=			H ₂ O

Számítások – gáz halmazállapot III.

■ Nedves füstgáz összetétel

$$\text{CO}_2' = (\text{CH}_4 + 2 \text{C}_2\text{H}_6 + 3 \text{C}_3\text{H}_8 + 4 \text{C}_4\text{H}_{10} + n \text{C}_n\text{H}_m + \text{CO} + \text{CO}_2) / V_{\text{fsg, nedv}} [\%]$$

$$\text{H}_2\text{O}' = (2 \text{CH}_4 + 3 \text{C}_2\text{H}_6 + 4 \text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{C}_4\text{H}_{10} + m/2 \text{C}_n\text{H}_m + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}) / V_{\text{fsg, nedv}} [\%]$$

$$\text{SO}_2' = \text{H}_2\text{S} / V_{\text{fsg, nedv}} [\%]$$

$$\text{O}_2' = 100 (n - 1) V_{\text{O}_2} / V_{\text{fsg, nedv}} [\%]$$

$$\text{N}_2' = (\text{N}_2 + 100 (V_{\text{lev, gyak}} - V_{\text{O}_2})) / V_{\text{fsg, nedv}} [\%]$$

CH ₄	+	2 O ₂	=	CO ₂	+	2 H ₂ O
C ₂ H ₆	+	3,5 O ₂	=	2 CO ₂	+	3 H ₂ O
C ₃ H ₈	+	5 O ₂	=	3 CO ₂	+	4 H ₂ O
C ₄ H ₁₀	+	6,5 O ₂	=	4 CO ₂	+	5 H ₂ O
C _n H _m	+	(n+m/2) O ₂	=	n CO ₂	+	m/2 H ₂ O
H ₂ S	+	1,5 O ₂	=	SO ₂	+	H ₂ O
H ₂	+	0,5 O ₂	=		+	H ₂ O
CO	+	0,5 O ₂	=	CO ₂		
CO ₂			=	CO ₂		
N ₂			=	N ₂		
H ₂ O			=			H ₂ O

■ Normál hőmérsékleten (0 °C)

- $\rho = M/V = \text{moláris tömeg} / \text{moláris térfogat}$

- Tiszta gázokra (pl. **CO**) egyszerű

$$\rho_{\text{CO}} = M_{\text{CO}} / V_{\text{CO}} = (12 + 16) \text{ g/mol} / 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 28/22,41 \text{ g/dm}^3 =$$
$$\rho_{\text{CO}} = 1,249 \text{ g/dm}^3 = 1,249 \text{ kg/m}^3$$

- Keverékre sem bonyolult (pl. levegő: **21% O₂ + 79% N₂**)

$$\rho_{\text{lev}} = M_{\text{lev}} / V_{\text{lev}} = (0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28) / 22,41 = 28,84/22,41 \text{ g/dm}^3 =$$
$$\rho_{\text{lev}} = 1,287 \text{ kg/m}^3$$

- Tehát a CO detektort magasra kell szerelni.

■ Egyéb hőmérsékleten (pl. füstgáz esetén)

- Érvényes az ideális gázokra vonatkozó törvény:

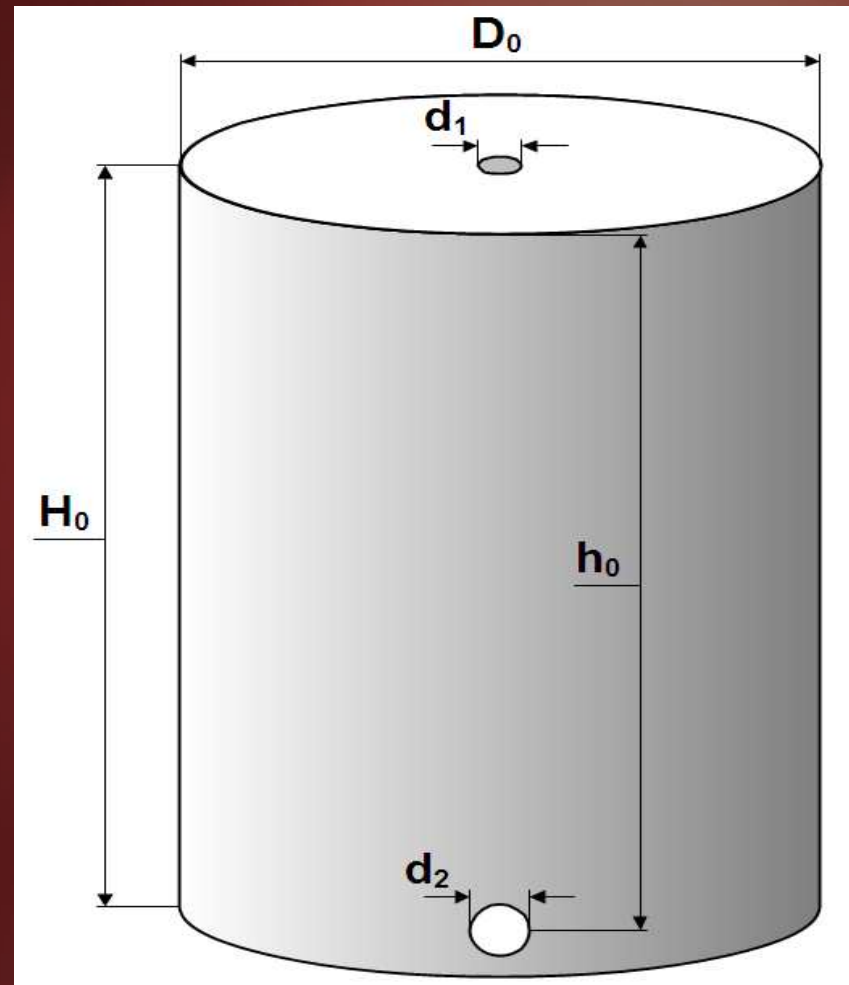
$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\rho = \rho_0 \cdot T_0/T \cdot p/p_0$$

Robbantásos kísérlet

- A teljes térfogatában földgázzal töltött, a tetején és a palást alsó részén lyukas fém festékesdoboz

- $V = 1000 \text{ cm}^3$
- $d_1 = 6 \text{ mm}$
- $d_2 = 6 \text{ mm}$
- $h_0 = 150 \text{ mm}$



A kísérlet kezdete

■ Mi áramlik a nyílásoknál?

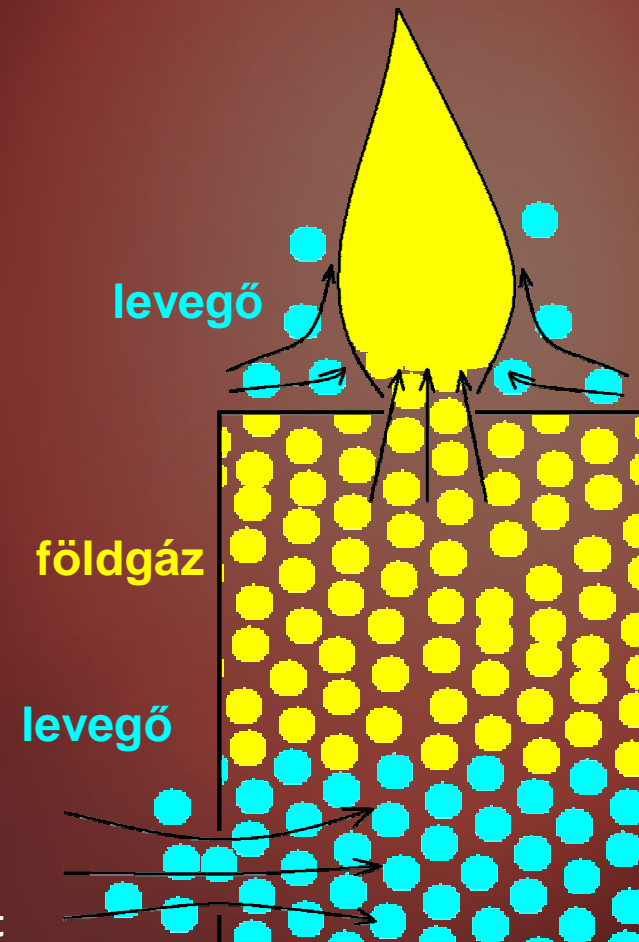
- $\rho_{\text{földgáz}} < \rho_{\text{levegő}}$
- A felső nyíláson földgáz (CH_4) áramlik ki
 - Eleinte **tiszta földgáz** áramlik a dobozból
- Az alsó nyíláson levegőt ($\text{N}_2 + \text{O}_2$) szív be

■ Miért hosszú a láng?

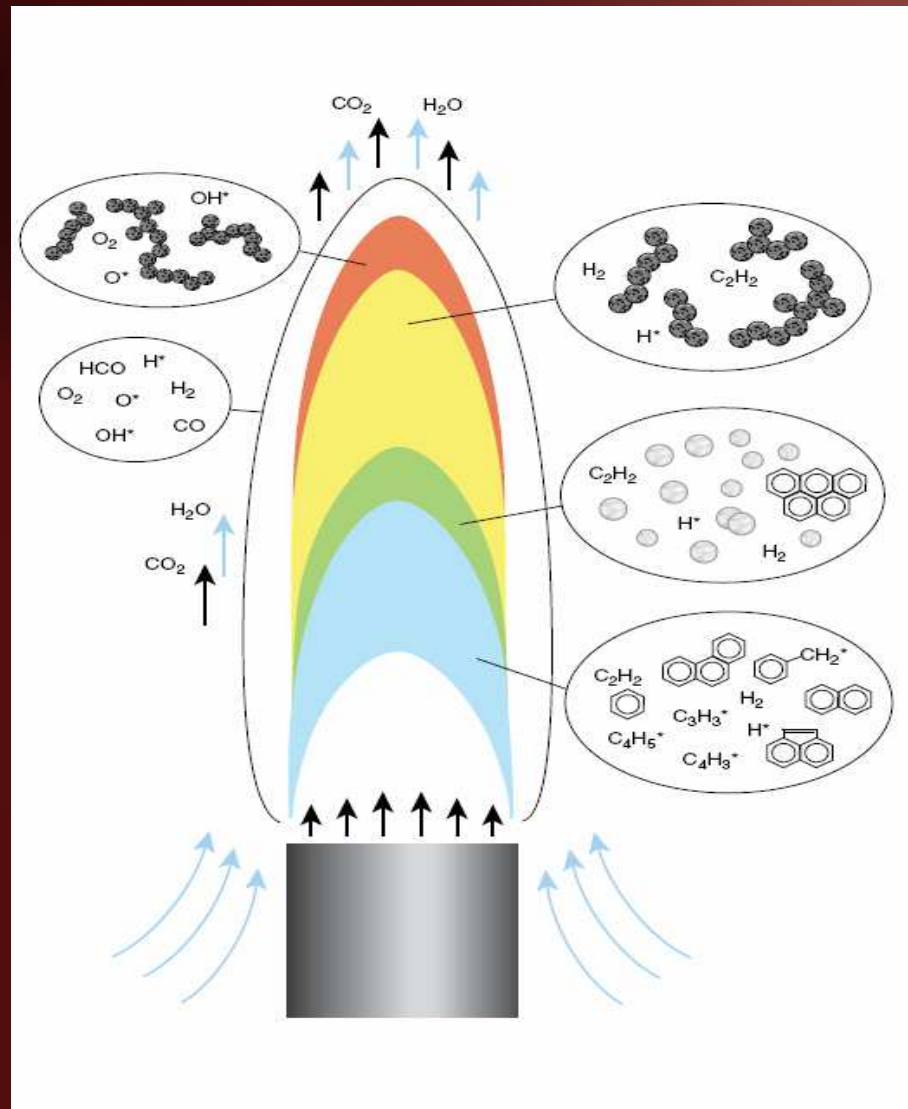
- A jelentős sűrűségkülönbség miatt nagy **sebességű** kiáramlás

■ Miért sárga a láng?

- Az égéshez szükséges oxigén csak diffúzió útján keveredik a CH_4 molekulákhoz
 - A diffúzió lassú folyamat
 - Nem minden CH_4 találkozik O_2 -vel
- Tökéletlen az égés: **korom képződik**
 - Az izzó koromrészecskék festik sárgára a lángot

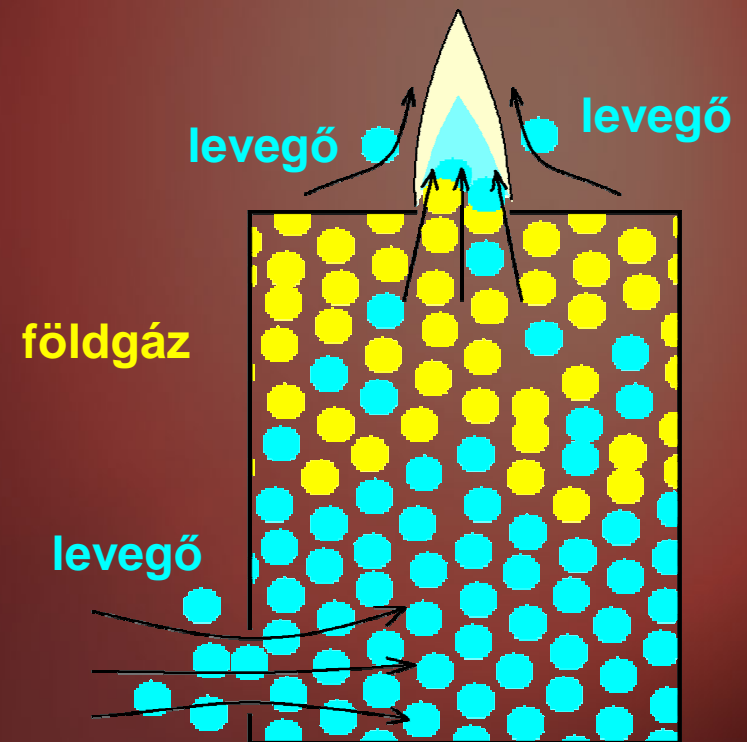


Koromképződés



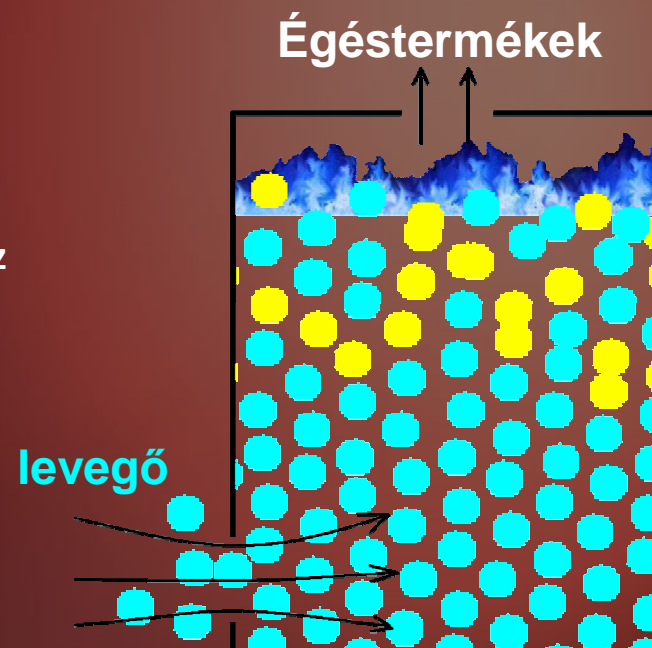
A kísérlet második fele

- **Mi áramlik ki a dobozból?**
 - A dobozba beáramló levegő keveredik a dobozt eleinte kitöltő gázzal
 - **Gáz-levegő keverék** áramlik ki a dobozból
 - Az alsó nyíláson levegőt (N_2+O_2) szív be
- **Miért rövidül a láng?**
 - A híguló keverék sűrűsége egyre kevésbé különbözik a környezeti levegőétől
 - Csökken a felhajtóerő
- **Miért kékül a láng?**
 - A dobozban összekeveredett tüzelőanyag és oxidálószer együtt áramlik ki
 - Ehhez adódik a diffúzióval továbbra is érkező külső levegő
 - Egyre több CH_4 találkozik O_2 -vel
 - **Tökéletesedik az égés**, megszűnik a korom képződés



A kísérlet befejező része

- **Mi áramlik ki a dobozból?**
 - A dobozból felül a **forró füstgáz** áramlik ki
- **Van-e égés a dobozban?**
 - A kicsi sűrűségkülönbségből származó áramlási sebességet legyőzi minden irányba egyforma nagyságú **lángterjedési sebesség**
 - A gáz-levegő keverék a dobozban kezd égni
 - Az égés a másodperc töredéke alatt lezajlik, mert hirtelen a doboz **teljes keresztmetszetére kiterjed az égés**
- **Mikor történik a robbanás?**
 - A gázok csak egy **koncentráció tartományban** képesek önfentartó égésre
 - CH_4 -levegő keverék esetén az alsó gyulladási/robbanási határ **5%**, a felső határ **15%**
 - A robbanás akkor következik be, amikor a dobozban a **gázkoncentráció 15%-ra hígul**



Diffúz láng, előkevert láng



Diffúz láng

Előkevert láng



Gyertya lángja súlytalanságban

■ Miről volt ma szó?

■ Földgáz tulajdonságai

- Összetétel, fűtőérték, sűrűség

■ Földgáz égésegyenletei, égéselméleti számítások

- Oxigén- és levegőszükséglet, légfelesleg/hiány, füstgáz mennyisége és összetétele

■ Tökéletes és tökéletlen égés, koromképződés

■ Diffúz és előkevert láng előállítása

■ Kiáramlás fúvókán keresztül, lángterjedési sebesség

- Lángstabilitási kérdések: leszakadás, visszagyulladás

■ Gyulladás- és robbanási határok

ENERGIA- ÉS MINŐSÉGÜGYI INTÉZET TÜZELÉSTANI ÉS HŐENERGIA INTÉZETI TANSZÉK

CHANGE TO ENGLISH

MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR

Energia- és Minőségügyi Intézet
Tüzeléstani és Hőenergia Intézet Tanszék
3515 Miskolc-Egyetemváros
Tel: +36-46-565-108
Fax: +36-46-431-820
E-mail: tuzadmin@uni-miskolc.hu

Köszönöm a figyelmet!

arpad.palotas@uni-miskolc.hu

www.combustion.uni-miskolc.hu