

# A motor hő-számítás

## Kiindulási adatok:

	DIESEL	OTTO
Kompresszió viszony, $\varepsilon$ :	18	9
Légviszony, $\alpha$ :	1,5	0,9
Fűtőérték, $H'$ , kJ/kg:	42440	43900

Egy **tüzelőanyag** fűtőértéke ("alsó fűtőérték",; Lower Heating Value – LHV) az a **hőmennyiség**, ami 1 kg tüzelőanyagból kinyerhető olyankor, ha a füstgázzal együtt távozó víz gőz halmazállapotban hagyja el a berendezést. Értékét úgy kapjuk meg, ha az anyag **égéshőjéből** kivonjuk a gőzként távozó vízmennyiség párolgáshőjét.

A fűtőérték tipikus mértékegységei szilárd anyagoknál kJ/kg, MJ/kg, gáznemű anyagoknál kJ/m<sup>3</sup>.

A fűtőérték használata indokolt a gyakorlati számításokban (tüzelőanyag-igény vagy kazánhatásfok számítása) minden olyan esetben, amikor a távozó víz halmazállapota gőz, vagyis, amikor a füstgáz >100 °C hőmérsékletű. A fűtőérték nem használható az ún. kondenzációs kazánok esetében, ahol a füstgázt 100 °C hőmérséklet alá hűtik. Ekkor a gőz még a kazánban kicsapódik a füstgázból, s így hasznosítható a párolgáshője.

$$H' = 33,91 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51(9 \cdot H + W)$$

$$H'_{\text{gázolaj}} = 33,91 \cdot 0,87 + 125,6 \cdot 0,126 - 10,89 \cdot 0,004 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,126 = 42,44 \text{ MJ/kg}$$

$$H'_{\text{benzin}} = 33,91 \cdot 0,855 + 125,6 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43,93 \text{ MJ/kg}$$

**Levegő sűrűsége**

$$\rho_0 = \frac{p_0}{RT_0}$$

$$\rho_0 = \frac{100000}{287 \cdot 288} \approx 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Nyomás, beszívási ütem végen**

$$p_1 = p_0 - \varphi_E \frac{w^2}{2} \rho_0$$

$\varphi_E$  – ellenállási tényező,  $w$  – levegő sebessége.

$$p_1 = 100000 - 2,8 \cdot \frac{70^2}{2} \cdot 1,2 = 91701 \text{ Pa} \approx 0,09 \text{ MPa}$$

$$p_1 = 100000 - 2,8 \cdot \frac{110^2}{2} \cdot 1,2 = 79505 \text{ Pa} \approx 0,08 \text{ MPa}$$

**Maradék gázok nyomása:**

$$p_r = (1,05 \dots 1,25) p_0$$

$$p_r = 1,18 \cdot 100000 = 11800 \text{ Pa}$$

**Szennyezési tényező:**

$$\gamma_r = \frac{t_0 + \Delta t}{t_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_1 - p_r}$$

Karburátoros motoroknál:

$$\Delta t = 0 \dots 20 \text{ C}$$

$$T_r = 900 \dots 1100 \text{ K}$$

Diesel motoroknál:

$$\Delta t = 10 \dots 40 \text{ C}$$

$$T_r = 700 \dots 900 \text{ K}$$

$$\gamma_r = \frac{298}{700} \cdot \frac{11800}{18 \cdot 91701 - 11800} = 0,03$$

$$\gamma_r = \frac{15 + 5 + 273}{1000} \cdot \frac{11800}{9 \cdot 79505 - 11800} = 0,057$$

**Hőmérséklet, beszívási ütem végen:**

$$T_1 = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}$$

$$T_1 = \frac{298 + 0,03 \cdot 700}{1 + 0,03} = 310 \text{ K}$$

$$T_1 = \frac{293 + 0,057 \cdot 1000}{1 + 0,057} = 332 \text{ K}$$

**Töltési fok:**

$$\lambda_t = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_1}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r}$$

$$\lambda_t = \frac{18}{17} \cdot \frac{91701}{100000} \cdot \frac{288}{298 + 0,03 \cdot 700} = 0,88$$

$$\lambda_t = \frac{9}{8} \cdot \frac{79505}{100000} \cdot \frac{288}{293 + 0,057 \cdot 1000} = 0,73$$

**Sűrítési csúcs-nyomás és -hőmérséklet:**

$$p_C = p_1 \cdot \varepsilon^{n_1}$$

$$T_C = T_1 \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}$$

$$p_C = 91701 \cdot 18^{1,36} = 4672427 \text{ Pa} \approx 4,67 \text{ MPa}$$

$$p_C = 79505 \cdot 9^{1,36} = 1578216 \text{ Pa} \approx 1,58 \text{ MPa}$$

$$T_C = 310 \cdot 18^{0,36} \approx 877 \text{ K}$$

$$T_C = 332 \cdot 9^{0,36} \approx 732 \text{ K}$$

	Gázolaj	Benzin
Komponensek	Tömeghányad	
C	0,87	0,85
H	0,126	0,145
O <sub>m</sub>	0,004	-
Σ	1	1

**Elméletileg szükséges levegő mennyiség:**

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{m_C}{12} + \frac{m_H}{4} - \frac{m_O}{32} \right) \quad \frac{\text{kMol levegő}}{\text{kg tüzelőanyag}}$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,04}{32} \right) = 0,496 \frac{\text{kMol}}{\text{kg}}$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) = 0,512 \frac{\text{kMol}}{\text{kg}}$$

**A friss töltet moltömege:**

$$M_1 = \frac{1}{m_t} + \alpha L_0 \quad \frac{\text{kMol fristöltet}}{\text{kg tüzelőanyag}}$$

$$m_{t.g.-o.} \approx 180 \div 200 \frac{\text{kg}}{\text{kMol}}$$

$$m_{t.ben} \approx 110 \div 120 \frac{\text{kg}}{\text{kMol}}$$

$$M_1 = 1,5 \cdot 0,496 = 0,744 \frac{\text{kMol}}{\text{kg}}$$

$$M_1 = 0,9 \cdot 0,512 = 0,461 \frac{\text{kMol}}{\text{kg}}$$

A égéstermék (é.t.) komponenseinek anyagmennyisége ( $\alpha \geq 1$ ):

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{11}{3} \frac{m_c}{44} = \frac{m_c}{12} = \frac{0,87}{12} = 0,0725 \frac{\text{kMol CO}_2}{\text{kg t.a.}}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{9m_H}{18} = \frac{m_H}{2} = \frac{0,126}{2} = 0,063 \frac{\text{kMol H}_2\text{O}}{\text{kg t.a.}}$$

$$M_{\text{O}_2} = 0,21(\alpha - 1) \cdot L_0 = 0,21 \cdot (1,5 - 1) \cdot 0,496 = 0,05206 \frac{\text{kMol O}_2}{\text{kg t.a.}}$$

$$M_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot L_0 = 0,79 \cdot 1,5 \cdot 0,496 = 0,5876 \frac{\text{kMol N}_2}{\text{kg t.a.}}$$

A égéstermék összes anyagmennyisége ( $\alpha \geq 1$ ):

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2} = 0,0725 + 0,063 + 0,05206 + 0,5876 = 0,775 \frac{\text{kMol é.t.}}{\text{kg t.a.}}$$

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2} = \alpha L_0 + \frac{m_H}{4} + \frac{O_m}{32} \frac{\text{kMol é.t.}}{\text{kg t.a.}}$$

A égéstermék komponenseinek anyagmennyisége ( $\alpha < 1$ ):

$$\varphi = 2(1 - \alpha) \left( 1 + \frac{3m_H}{m_C} \right)$$

$$\varphi = 2 \cdot (1 - 0,9) \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot 0,145}{0,855} \right) = 0,3$$

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{m_C}{12} (1 - \varphi)$$

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{0,855}{12} (1 - 0,3) = 0,0498 \frac{\text{kMol CO}_2}{\text{kg t.a.}}$$

$$M_{\text{CO}} = \frac{m_C}{12} \varphi$$

$$M_{\text{CO}} = \frac{0,855}{12} \cdot 0,3 = 0,0215 \frac{\text{kMol CO}}{\text{kg t.a.}}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_H}{2}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,145}{2} = 0,0725 \frac{\text{kMol H}_2\text{O}}{\text{kg t.a.}}$$

$$M_{\text{N}_2} = 0,79\alpha L_0$$

$$M_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,512 = 0,364 \frac{\text{kMol N}_2}{\text{kg t.a.}}$$

A égéstermék összes anyagmennyisége ( $\alpha < 1$ ):

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{\text{CO}_2} + M_{\text{CO}} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{N}_2} = \frac{m_C}{12} (1 - \varphi) + \frac{m_C}{12} \varphi + \frac{m_H}{2} + 0,79\alpha L_0 = \\ &= \frac{m_C}{12} + \frac{m_H}{2} + 0,79\alpha L_0 = \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{2} + 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,512 = 0,508 \frac{\text{kMol é.t.}}{\text{kg t.a.}} \end{aligned}$$

### Moltömeg elméleti vegyi hányada:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,775}{0,744} = 1,042$$

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,508}{0,461} = 1,102$$

### Moltömeg tényleges vegyi hányada:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,042 + 0,03}{1 + 0,03} = 1,041$$

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,102 + 0,058}{1 + 0,058} = 1,096$$

### A friss tüzelőanyag-levegő + maradék gázok keverékének közepes molhője:

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + \gamma_r} \left[ (mc_V)_{t_0}^{t_c} + \gamma_r (mc_V'')_{t_0}^{t_c} \right]$$

### Gázok moláris fajhője:

Gáz	Vegyi képlet	$mc_V$ , kJ/(kMol·°C)	
		t: 0-1500°C	t: 1501-2800°C
Levegő	-	$20,6+0,002638 \cdot t$	$22,387+0,001449 \cdot t$
Oxigén	O <sub>2</sub>	$20,93+0,004641 \cdot t-0,00000084 \cdot t^2$	$23,723+0,001550 \cdot t$
Nitrogén	N <sub>2</sub>	$20,398+0,0025 \cdot t$	$21,951+0,001457 \cdot t$
Hidrogén	H <sub>2</sub>	$20,684+0,000206 \cdot t-0,000000588 \cdot t^2$	$19,678+0,001758 \cdot t$
Szénmonoxid	CO	$20,597+0,00267 \cdot t$	$22,49+0,00143 \cdot t$
Széndioxid	CO <sub>2</sub>	$27,941+0,019 \cdot t-0,000005487 \cdot t^2$	$39,523+0,003349 \cdot t$
Vízgőz	H <sub>2</sub> O	$24,953+0,005359 \cdot t$	$26,67+0,004438 \cdot t$

A levegő molhő:

$$(mc_V)_{t_0}^{t_c} = 20,60 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot t_c$$

$$(mc_V)_{t_0}^{t_c} = 20,60 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot (877 - 273) = 22,192 \frac{\text{kJ}}{\text{kMol} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$(mc_V)_{t_0}^{t_c} = 20,60 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot (732 - 273) = 21,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kMol} \cdot ^\circ \text{C}}$$

A maradék gázok (égéstermékek) molhő:

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_c} = 23,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kMol} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_c} = 23,4485 + \frac{23,899 - 23,485}{100} = 23,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kMol} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$(mc_V')_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_V)_{t_0}^{t_c} + \gamma_r (mc_V'')_{t_0}^{t_c}] = \frac{1}{1 + 0,03} [22,192 + 0,03 \cdot 23,84] = 22,24 \frac{\text{kJ}}{\text{kMol} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$(mc_V')_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_V)_{t_0}^{t_c} + \gamma_r (mc_V'')_{t_0}^{t_c}] = \frac{1}{1 + 0,058} [21,8 + 0,058 \cdot 23,72] = 21,91 \frac{\text{kJ}}{\text{kMol} \cdot ^\circ \text{C}}$$



	A benzín égéstermékének moláris fajhője $mc_p$ , kJ/(kMol·°C) (állandó térfogaton)									
	$\alpha=0,75$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,85$	$\alpha=0,9$	$\alpha=0,95$	$\alpha=1,0$	$\alpha=1,05$	$\alpha=1,1$	$\alpha=1,15$	$\alpha=1,2$
0	21,751	21,842	21,925	22,002	22,073	22,138	22,075	22,017	21,964	21,915
100	22,063	22,184	22,962	22,398	22,493	22,581	22,503	22,432	22,366	22,306
200	22,335	22,477	22,607	22,727	22,837	22,940	22,853	22,774	22,702	22,635
300	22,645	22,805	22,925	23,087	23,212	23,328	23,234	23,148	23,068	22,996
400	22,997	23,174	23,336	23,485	23,623	23,751	23,650	23,558	23,473	23,298
500	23,371	23,562	23,378	23,899	24,048	24,186	24,079	23,981	23,892	23,809
600	23,753	23,957	24,144	24,316	24,474	24,621	24,509	24,405	23,312	24,225
700	24,138	24,354	24,552	24,734	24,902	25,059	24,941	24,832	24,733	24,642
800	24,520	24,745	24,952	25,142	25,317	25,480	25,358	25,245	25,141	25,048
900	24,888	25,122	25,337	25,535	25,718	25,887	25,760	25,643	25,536	25,438
1000	25,237	25,480	25,702	25,907	26,095	26,270	26,138	26,017	25,905	25,803
1100	25,570	25,820	26,050	26,261	26,456	26,637	26,500	26,374	26,259	26,153
1200	25,894	26,150	26,385	26,602	26,802	26,987	26,845	26,716	26,597	26,495
1300	26,208	26,469	26,708	26,928	27,131	27,319	27,174	27,040	26,918	26,805
1400	26,469	26,762	27,005	27,235	27,436	27,628	27,479	27,342	27,216	27,100
1500	26,771	27,042	27,290	27,518	27,729	27,924	27,771	27,630	27,502	27,383
1600	27,029	27,303	27,555	27,787	28,001	28,200	28,043	27,899	27,767	27,646
1700	27,269	27,548	27,803	28,039	28,256	28,457	28,297	28,150	28,011	27,891
1800	27,500	27,782	28,040	28,278	28,498	28,701	28,538	28,388	28,251	28,124
1900	27,717	28,002	28,263	28,504	28,726	28,932	28,765	28,613	28,473	28,344
2000	27,921	28,208	28,473	28,716	28,940	29,148	28,978	28,824	28,681	28,573
2100	28,115	28,406	28,627	28,918	29,144	29,354	29,182	29,025	28,880	28,747
2200	28,301	28,593	28,862	29,109	29,337	29,548	29,374	29,214	29,068	28,933
2300	28,477	28,772	29,049	29,298	29,528	29,734	29,557	29,395	29,247	29,110
2400	28,644	28,941	29,213	29,464	29,665	29,910	29,730	29,567	29,373	29,278
2500	28,802	29,101	29,396	29,627,	29,879	30,076	29,895	29,729	29,577	29,436

	A gázolaj égéstermékeinek moláris fajhője $mc_p$ , kJ/(kMol·°C) (állandó térfogaton)								
	$\alpha=1,0$	$\alpha=1,1$	$\alpha=1,2$	$\alpha=1,3$	$\alpha=1,4$	$\alpha=1,5$	$\alpha=1,6$	$\alpha=1,8$	$\alpha=2,0$
0	22,133	22,019	21,922	21,840	21,769	21,707	21,653	21,561	21,487
100	22,593	22,442	22,315	22,207	22,114	22,032	21,960	21,840	21,743
200	22,963	22,794	22,651	22,530	22,425	22,333	22,253	22,117	22,008
300	23,359	23,175	23,020	22,887	22,723	22,674	22,586	22,439	22,320
400	23,788	23,590	23,423	23,281	23,158	23,051	22,956	22,798	22,671
500	24,228	24,018	23,842	23,691	23,561	23,448	23,348	23,181	23,046
600	24,666	24,446	24,260	24,101	23,965	23,845	23,740	23,564	23,422
700	25,105	24,874	24,679	24,513	24,370	24,245	24,135	23,951	23,802
800	25,529	25,288	25,085	24,911	24,762	24,631	24,517	24,324	24,169
900	25,936	25,687	25,478	25,299	25,145	25,010	24,892	24,693	24,533
1000	26,319	26,059	25,840	25,653	25,492	25,351	25,227	24,019	24,852
1100	26,685	26,416	26,190	25,997	25,831	25,685	25,557	25,343	25,170
1200	27,033	26,756	26,523	26,323	26,151	26,001	25,870	25,648	25,470
1300	27,365	27,080	26,840	26,635	26,459	26,304	26,169	25,941	25,758
1400	27,672	27,379	27,133	26,924	26,742	26,584	26,445	26,212	26,024
1500	27,965	27,666	27,414	27,199	27,013	26,851	26,708	26,469	26,276
1600	28,239	27,932	27,674	27,454	27,264	27,098	26,953	26,708	26,511
1700	28,494	28,181	27,918	27,694	27,500	27,331	27,182	26,933	26,731
1800	28,736	28,417	28,149	27,920	27,723	27,550	27,399	27,145	26,940
1900	28,964	28,640	28,367	28,134	27,933	27,758	27,604	27,345	27,136
2000	29,178	28,848	28,571	28,334	28,130	27,951	27,795	27,532	27,319
2100	29,381	29,047	28,765	28,525	28,318	28,137	27,978	27,711	27,495
2200	29,574	29,234	28,949	28,705	28,495	28,312	28,150	27,880	27,661
2300	29,757	29,414	29,125	28,878	28,665	28,479	28,316	28,042	27,821
2400	29,930	29,583	29,290	29,041	28,825	28,637	28,472	28,195	27,971
2500	30,094	29,743	29,448	29,196	28,978	28,788	28,621	28,340	28,114

Fűtőérték

$$H = \frac{H'}{M_1(1 + \gamma_r)}$$

$$H' = 42440 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$H = \frac{42440}{0,744 \cdot (1 + 0,03)} = 55407 \text{ kJ/kMol}$$

A termodinamika első főtétele:

$$\xi H' = U_3 - U_C + W_{2-3}$$

$$U_3 = (M_2 + M_r)u_3$$

$$U_C = (M_1 + M_r)u_C$$

$$W_{2-3} = p_3V_3 - p_2V_2 = p_3V_3 - \lambda p_C V_C$$

$$p_3V_3 = 8,314(M_2 + M_r)T_3$$

$$p_C V_C = 8,314(M_1 + M_r)T_C$$

$$\lambda = 1,2 \div 2,5$$

$$\lambda = 1,6$$

$$W_{2-3} = 8,314[(M_2 + M_r)T_3 - \lambda(M_1 + M_r)T_C]$$

$$\xi H' = (M_2 + M_r)u_3 - (M_1 + M_r)u_C + 8,314[(M_2 + M_r)T_3 - \lambda(M_1 + M_r)T_C]$$

$$\xi = 0,75 \div 0,85$$

$$\frac{\xi H'}{M_1 + M_r} = \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} u_3 - u_C + 8,314 \left[ \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} T_3 - \lambda T_C \right]$$

$$\xi = 0,82$$

$$\xi H = \mu u_3 - u_C + 8,314(\mu T_3 - \lambda T_C)$$

$$u_3 = (mc_p'')_{t_0}^{t_3} (T_3 - 273)$$

$$u_C = (mc_V')_{t_0}^{t_C} (T_C - 273)$$

$$\xi H = \mu (mc_p'')_{t_0}^{t_3} (T_3 - 273) - (mc_V')_{t_0}^{t_C} (T_C - 273) + 8,314(\mu T_3 - \lambda T_C)$$

$$\xi H + [(mc_V')_{t_0}^{t_C} + 8,315\lambda](T_C - 273) = \mu (mc_p'')_{t_0}^{t_3} (T_3 - 273)$$

$$mc_{V_{CO_2}} = 39,523 + 0,003349 \cdot t$$

$$mc_{V_{H_2O}} = 26,670 + 0,004438 \cdot t$$

$$mc_{V_{O_2}} = 23,723 + 0,001550 \cdot t$$

$$mc_{V_{N_2}} = 21,951 + 0,001457 \cdot t$$

$$\begin{aligned} (mc_V'')_{t_0}^{t_3} &= \frac{1}{M_2} \left[ M_{CO_2} (mc_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_3} + M_{H_2O} (mc_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_3} + M_{O_2} (mc_{V_{O_2}})_{t_0}^{t_3} + M_{N_2} (mc_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_3} \right] = \\ &= \frac{1}{0,775} \cdot [0,0725 \cdot (39,523 + 0,003349 \cdot t_3) + 0,063 \cdot (26,67 + 0,004438 \cdot t_3) + \\ &+ 0,05206 \cdot (23,723 + 0,00155 \cdot t_3) + 0,5876 \cdot (21,951 + 0,001457 \cdot t_3)] = \\ &= 24,1 + 0,00188 \cdot t_3 \end{aligned}$$

$$(mc_p'')_{t_0}^{t_3} = 8,314 + (mc_V'')_{t_0}^{t_3} = 8,314 + 24,1 + 0,00188 \cdot t_3 = 32,41 + 0,00188 \cdot t_3$$

$$\xi H + \left[ (mc_V)'_{t_0}^{t_C} + 8,315\lambda \right] (T_C - 273) = \mu (mc_p)''_{t_0}^{t_3} (T_3 - 273)$$

$$0,82 \cdot 55407 + (22,24 + 8,314 \cdot 1,6) \cdot 604 = 1,041 \cdot (32,41 + 0,00188 (T_3 - 273)) \cdot (T_3 - 273)$$

$$0,002 \cdot T_3^2 + 32,64 \cdot T_3 - 75968 = 0$$

$$T_3 = \frac{-32,64 + \sqrt{32,64^2 + 4 \cdot 0,002 \cdot 75968}}{2 \cdot 0,002} = 2066 \text{ K}$$

**Fűtőérték**

$$H = \frac{H' - \Delta H}{M_1 + M_r} = \frac{H' - \Delta H}{M_1(1 + \gamma_r)}$$

$$\Delta H = 119,95(1 - \alpha)L_0, \text{ MJ/kg}$$

$$H' = 43900 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta H = 119,95 \cdot (1 - 0,9) \cdot 0,152 \cdot 1000 = 6117 \text{ kJ/kg}$$

$$H = \frac{43900 - 6117}{0,461 \cdot (1 + 0,058)} = 77524 \text{ kJ/kmol}$$

**A termodinamika első főtétele:**

$$\xi(H' - \Delta H) = U_3 - U_C$$

$$\xi = 0,85 \div 0,95$$

$$U_3 = (M_2 + M_r)u_3$$

$$U_C = (M_1 + M_r)u_C$$

$$\xi(H' - \Delta H) = (M_2 + M_r)u_3 - (M_1 + M_r)u_C$$

$$\frac{\xi(H' - \Delta H)}{M_1 + M_r} = \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} u_3 - u_C$$

$$\xi H = \mu u_3 - u_C$$

$$\xi H = \mu (mc'_v)_{t_0}^{t_3} (T_z - 273) - (mc'_v)_{t_0}^{t_C} (T_C - 273)$$

$$\xi H + (mc'_v)_{t_0}^{t_C} (T_C - 273) = \mu (mc''_V)_{t_0}^{t_3} (T_3 - 273)$$

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_C} = 20,60 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot t$$

$$mc_{V_{CO_2}} = 39,523 + 0,003349 \cdot t$$

$$mc_{V_{CO}} = 22,490 + 0,001430 \cdot t$$

$$mc_{V_{H_2O}} = 26,670 + 0,004438 \cdot t$$

$$mc_{V_{N_2}} = 21,951 + 0,001457 \cdot t$$

$$(mc''_V)_{t_0}^{t_3} = \frac{1}{M_2} \left[ M_{CO_2} (mc_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_3} + M_{CO} (mc_{V_{CO}})_{t_0}^{t_3} + M_{H_2O} (mc_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_3} + M_{N_2} (mc_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_3} \right]$$

$$mc_{V_{\text{CO}_2}} = 39,523 + 0,003349 \cdot t$$

$$mc_{V_{\text{CO}}} = 22,490 + 0,001430 \cdot t$$

$$mc_{V_{\text{H}_2\text{O}}} = 26,670 + 0,004438 \cdot t$$

$$mc_{V_{\text{N}_2}} = 21,951 + 0,001457 \cdot t$$

$$\begin{aligned} (mc''_V)_{t_0}^{t_3} &= \frac{1}{0,508} [0,0498 \cdot (39,523 + 0,003349 \cdot t_3) + 0,0215 \cdot (22,49 + 0,00143 \cdot t_3) + \\ &\quad 0,0725 \cdot (26,67 + 0,004438 \cdot t_3) + 0,364 \cdot (21,951 + 0,001457 \cdot t_3)] = \\ &= \frac{1}{0,508} (1,97 + 0,00017 \cdot t_3 + 0,48 + 0,000031 \cdot t_3 + 1,93 + 0,000095 \cdot t_3 + 7,99 + 0,0044 \cdot t_3) = \\ &= \frac{1}{0,508} (12,37 + 0,0047 \cdot t_3) = 24,35 + 0,0093 \cdot t_3 \end{aligned}$$

$$H = 77524 \text{ kJ/kmol}$$

$$\xi = 0,85 \div 0,95$$

$$\xi H = 0,9 \cdot 77524 = 69772 \text{ kJ/kmol}$$

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_c} = 20,60 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot (732 - 273) = 21,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kMol} \cdot \text{K}}$$

$$\mu = 1,096$$

$$\xi H + (mc'_V)_{t_0}^{t_c} (T_C - 273) = \mu (mc''_V)_{t_0}^{t_3} (T_3 - 273)$$

$$69772 + 21,8 = 1,096 \cdot [24,35 + 0,0093 \cdot (T_3 - 273)] \cdot (T_3 - 273)$$

$$69794 = (23,9 + 0,01 \cdot T_3) \cdot (T_3 - 273)$$



$$0,01 \cdot T_3^2 + 21,2 \cdot T_3 - 76319 = 0$$

$$T_3 = \frac{-21,2 + \sqrt{21,2^2 + 4 \cdot 0,01 \cdot 76321}}{2 \cdot 0,01} \approx 1900 \text{ K}$$