

# Ogniwa paliwowe – termodynamika

2H <sub>2</sub> (g) + O <sub>2</sub> (g) = 2H <sub>2</sub> O(g)					
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)
K	kJ	J/K	kJ		
273.150	-483.162	-87.128	-459.363	7.106E+087	87.852
323.150	-484.153	-90.459	-454.921	3.473E+073	73.541
373.150	-485.132	-93.276	-450.326	1.105E+063	63.043
423.150	-486.085	-95.673	-445.601	1.025E+055	55.011
473.150	-487.016	-97.754	-440.764	4.607E+048	48.663
523.150	-487.928	-99.587	-435.830	3.309E+043	43.520
573.150	-488.821	-101.217	-430.809	1.843E+039	39.266
623.150	-489.695	-102.679	-425.711	4.871E+035	35.688
673.150	-490.547	-103.995	-420.543	4.323E+032	32.636
723.150	-491.378	-105.185	-415.313	1.003E+030	30.001
773.150	-492.184	-106.263	-410.027	5.059E+027	27.704
823.150	-492.963	-107.240	-404.689	4.814E+025	25.682
873.150	-493.714	-108.126	-399.304	7.757E+023	23.890
923.150	-494.435	-108.929	-393.877	1.944E+022	22.289
973.150	-495.124	-109.656	-388.413	7.082E+020	20.850
1023.150	-495.780	-110.313	-382.913	3.552E+019	19.550
1073.150	-496.401	-110.906	-377.382	2.346E+018	18.370
1123.150	-496.986	-111.439	-371.823	1.968E+017	17.294
1173.150	-497.533	-111.915	-366.239	2.033E+016	16.308
1223.150	-498.042	-112.341	-360.633	2.524E+015	15.402
1273.150	-498.517	-112.721	-355.006	3.684E+014	14.566

# Ogniwa paliwowe – termodynamika

$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$					
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)
K	kJ	J/K	kJ		
273.150	-573.243	-332.154	-482.515	1.903E+092	92.279
283.150	-572.609	-329.874	-479.205	2.569E+088	88.410
293.150	-571.975	-327.676	-475.917	6.427E+084	84.808
303.150	-571.344	-325.558	-472.651	2.803E+081	81.448
313.150	-570.712	-323.505	-469.406	2.020E+078	78.305
323.150	-570.077	-321.510	-466.181	2.295E+075	75.361
333.150	-569.441	-319.571	-462.976	3.946E+072	72.596
343.150	-568.803	-317.685	-459.789	9.897E+069	69.996
353.150	-568.164	-315.848	-456.622	3.507E+067	67.545
363.150	-567.522	-314.056	-453.472	1.706E+065	65.232
373.150	-566.877	-312.305	-450.340	1.110E+063	63.045

# Ogniwa paliwowe – termodynamika

2C(s) + O <sub>2</sub> (g) = 2CO(g)					
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)
K	kJ	J/K	kJ		
273.150	-221.392	177.606	-269.905	4.154E+051	51.618
323.150	-220.809	179.572	-278.838	1.190E+045	45.076
373.150	-220.369	180.842	-287.851	1.984E+040	40.298
423.150	-220.074	181.588	-296.913	4.516E+036	36.655
473.150	-219.917	181.941	-306.003	6.093E+033	33.785
523.150	-219.889	182.001	-315.102	2.914E+031	31.464
573.150	-219.976	181.844	-324.199	3.538E+029	29.549
623.150	-220.163	181.531	-333.284	8.698E+027	27.939
673.150	-220.439	181.105	-342.351	3.696E+026	26.568
723.150	-220.791	180.602	-351.394	2.421E+025	25.384
773.150	-221.207	180.047	-360.410	2.247E+024	24.352
823.150	-221.675	179.460	-369.398	2.772E+023	23.443
873.150	-222.189	178.854	-378.356	4.329E+022	22.636
923.150	-222.742	178.239	-387.283	8.232E+021	21.915
973.150	-223.327	177.622	-396.179	1.850E+021	21.267
1023.150	-223.941	177.007	-405.045	4.791E+020	20.680
1073.150	-224.578	176.398	-413.880	1.403E+020	20.147
1123.150	-225.236	175.799	-422.685	4.567E+019	19.660
1173.150	-225.911	175.212	-431.460	1.631E+019	19.212
1223.150	-226.599	174.637	-440.207	6.319E+018	18.801
1273.150	-227.299	174.076	-448.924	2.630E+018	18.420

# Ogniwa paliwowe – termodynamika

C(s) + O <sub>2</sub> (g) = CO <sub>2</sub> (g)					
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)
K	kJ	J/K	kJ		
273.150	-393.484	2.951	-394.290	2.551E+075	75.407
323.150	-393.521	2.826	-394.435	5.789E+063	63.763
373.150	-393.546	2.756	-394.574	1.731E+055	55.238
423.150	-393.573	2.686	-394.710	5.346E+048	48.728
473.150	-393.613	2.598	-394.842	3.920E+043	43.593
523.150	-393.668	2.488	-394.970	2.752E+039	39.440
573.150	-393.737	2.362	-395.091	1.023E+036	36.010
623.150	-393.818	2.226	-395.206	1.350E+033	33.130
673.150	-393.910	2.084	-395.313	4.763E+030	30.678
723.150	-394.009	1.942	-395.414	3.664E+028	28.564
773.150	-394.113	1.804	-395.508	5.285E+026	26.723
823.150	-394.219	1.671	-395.594	1.275E+025	25.105
873.150	-394.327	1.544	-395.675	4.705E+023	23.673
923.150	-394.435	1.424	-395.749	2.481E+022	22.395
973.150	-394.541	1.311	-395.817	1.769E+021	21.248
1023.150	-394.646	1.206	-395.880	1.631E+020	20.212
1073.150	-394.751	1.106	-395.938	1.877E+019	19.274
1123.150	-394.855	1.012	-395.991	2.618E+018	18.418
1173.150	-394.959	0.921	-396.039	4.317E+017	17.635
1223.150	-395.062	0.835	-396.083	8.244E+016	16.916
1273.150	-395.165	0.752	-396.123	1.792E+016	16.253

# Ogniwa paliwowe – termodynamika

2CO(g) + O2(g) = 2CO2(g)						
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)	
K	kJ	J/K	kJ			
273.150	-565.577	-171.704	-518.676	1.567E+099	99.195	
323.150	-566.234	-173.920	-510.031	2.815E+082	82.450	
373.150	-566.722	-175.331	-501.297	1.510E+070	70.179	
423.150	-567.073	-176.216	-492.507	6.330E+060	60.801	
473.150	-567.309	-176.746	-483.682	2.522E+053	53.402	
523.150	-567.447	-177.024	-474.837	2.599E+047	47.415	
573.150	-567.499	-177.120	-465.982	2.961E+042	42.471	
623.150	-567.474	-177.079	-457.127	2.095E+038	38.321	
673.150	-567.381	-176.937	-448.276	6.137E+034	34.788	
723.150	-567.228	-176.717	-439.435	5.546E+031	31.744	
773.150	-567.020	-176.440	-430.605	1.243E+029	29.095	
823.150	-566.763	-176.118	-421.791	5.860E+026	26.768	
873.150	-566.464	-175.766	-412.994	5.113E+024	24.709	
923.150	-566.128	-175.392	-404.215	7.476E+022	22.874	
973.150	-565.755	-174.999	-395.455	1.691E+021	21.228	
1023.150	-565.352	-174.595	-386.715	5.553E+019	19.745	
1073.150	-564.923	-174.186	-377.996	2.513E+018	18.400	
1123.150	-564.474	-173.776	-369.297	1.501E+017	17.176	
1173.150	-564.007	-173.369	-360.618	1.143E+016	16.058	
1223.150	-563.525	-172.968	-351.960	1.076E+015	15.032	
1273.150	-563.031	-172.572	-343.321	1.222E+014	14.087	

# Ogniwa paliwowe – termodynamika

CH <sub>4</sub> (g) + 2O <sub>2</sub> (g) = CO <sub>2</sub> (g) + 2H <sub>2</sub> O(g)					
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)
K	kJ	J/K	kJ		
273.150	-802.803	-6.098	-801.138	1.640E+153	153.215
323.150	-802.307	-4.430	-800.875	2.925E+129	129.466
373.150	-801.814	-3.011	-800.691	1.237E+112	112.092
423.150	-801.362	-1.873	-800.570	6.801E+098	98.833
473.150	-800.973	-1.002	-800.499	2.402E+088	88.381
523.150	-800.656	-0.364	-800.466	8.518E+079	79.930
573.150	-800.417	0.073	-800.459	9.054E+072	72.957
623.150	-800.257	0.342	-800.470	1.270E+067	67.104
673.150	-800.173	0.473	-800.491	1.322E+062	62.121
723.150	-800.162	0.488	-800.515	6.726E+057	57.828
773.150	-800.221	0.411	-800.538	1.229E+054	54.090
823.150	-800.342	0.259	-800.555	6.384E+050	50.805
873.150	-800.522	0.048	-800.563	7.876E+047	47.896
923.150	-800.753	-0.210	-800.559	2.004E+045	45.302
973.150	-801.030	-0.502	-800.541	9.405E+042	42.973
1023.150	-801.348	-0.820	-800.508	7.441E+040	40.872
1073.150	-801.703	-1.159	-800.459	9.224E+038	38.965
1123.150	-802.090	-1.512	-800.392	1.687E+037	37.227
1173.150	-802.503	-1.871	-800.308	4.333E+035	35.637
1223.150	-802.937	-2.234	-800.205	1.499E+034	34.176
1273.150	-803.393	-2.599	-800.084	6.738E+032	32.829

# Ogniwa paliwowe

## Zadania:

Korzystając z tabel powyżej obliczyć sprawność teoretyczną ogniwa paliwowego dla wybranej reakcji w wybranej temperaturze.

Obliczyć temperaturową zmianę wartości napięcia odwracalnego ogniwa (zakładając, że wszystkie ciśnienia wynoszą 1 atm).

$$\eta = \frac{\Delta^r G}{\Delta^r H} \quad V_{odw} = \frac{-\Delta^r G(T)}{n \cdot F}$$

Wiedząc, że sprawność dla cyklu Carnota dana jest zależnością:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_{chłodnica}}{T_{zródło\ ciepła}}$$

porównać sprawność wybranego ogniwa paliwowego z silnikiem cieplnym w wybranym zakresie temperatur.

# Ogniwa paliwowe

## Problem:

Czym różni się sprawność rzeczywista ogniwa paliwowego od sprawności teoretycznej?

Oprócz sprawności teoretycznej, dochodzą inne sprawności:

Sprawność napięciowa:  $\eta_V = \frac{E}{E_N}$

Sprawność faradajowska:  $\eta_F = \frac{i}{i_F}$

Wykorzystanie paliwa:  $\eta_u = \frac{n_{reakcja}}{n_{całk}}$

Urządzenia pomocnicze:  $\eta_{pomoc} = 1 - \frac{P_{pomoc}}{P_{całk}}$

Sprawność całkowita jest iloczynem:  $\eta_{total} = \eta_{teoretyczna} * \eta_V * \eta_F * \eta_u * \eta_{pomoc}$



# Ogniwa paliwowe

## Zadanie:

Jaki przepływ wodoru (w ogniwie paliwowym) konieczny jest do wygenerowania prądu o natężeniu 1 A przy założeniu wydajności faradajowskiej 95% i stopniu wykorzystania paliwa 80%?



$$i \cdot t = z \cdot \frac{m}{M} \cdot F \Rightarrow \frac{m}{t} = \frac{i \cdot M}{z \cdot F}$$

$$\dot{m} = \frac{1A \cdot 0,002kg/mol}{2 \cdot 96485C/mol} = 1,04 \cdot 10^{-8} kgH_2/s$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \Rightarrow p \cdot \frac{V}{t} = \frac{m}{t} \cdot R \cdot T$$

$$\dot{V} = \frac{1,04 \cdot 10^{-8} \frac{kg}{s} \cdot 8,314 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot 298 K}{0,002 \frac{kg}{mol} \cdot 1,013 \cdot 10^5 Pa} = 1,3 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{s} = 7,6 cm^3/min$$

**Uwzględniając sprawność faradajowską i stopień wykorzystania paliwa:**

$$\dot{V} = 10,0 cm^3/min.$$

# Ogniwa paliwowe

## Zadanie:

Stos ogniw paliwowych o mocy 1 MW pracuje przy napięciu 700 mV. Jako paliwo wykorzystywany jest czysty wodór (stopień wykorzystania paliwa wynosi 80%).

- Jak dużo wodoru jest zużywane (w kg/h)?
- Jaki jest przepływ wodoru (w m<sup>3</sup>/min)?

$$\text{a) } P = U \cdot i$$

$$i \cdot t = z \cdot \frac{m}{M} \cdot F$$

$$\dot{m} = \frac{P \cdot M}{U \cdot z \cdot F}$$

$$\dot{m} = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 0,002 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0,7 \text{ V} \cdot 2 \cdot 96485 \frac{\text{C}}{\text{mol}}} = 0,0148 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 53 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Przy 80% stopniu wykorzystania paliwa:  $\dot{m} = \frac{53 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,8} = 66 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

# Ogniwa paliwowe

$$\text{b) } \dot{V} = \dot{m} \frac{R \cdot T}{M \cdot p}$$

$$\dot{V} = 0,0148 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298 \text{ K}}{0,002 \text{ kg} \cdot 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,181 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 11 \text{ m}^3/\text{min}$$

Przy 80% stopniu wykorzystania paliwa:  $\dot{V} = \frac{11 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{0,8} = 14 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

# Ogniwa paliwowe

## Zadanie:

Zakładając całkowitą moc układu ogniw paliwowych 2,0 MW przy napięciu 600 mV i gęstości prądu  $j = 400 \text{ mA/cm}^2$  obliczyć:

- Jak duża musi być powierzchnia  $S$  wszystkich ogniw?
- Zakładając powierzchnię  $1 \text{ m}^2$  na jedno ogniwo, jak dużo ogniw musi wejść w skład stosu?

a)  $i = P/U$

$$i = 2 \cdot 10^6 \text{ W} / 0,6 \text{ V} = 3,33 \cdot 10^6 \text{ A}$$

$$j = i/S$$

$$S = 3,33 \cdot 10^6 \text{ A} / 0,4 \text{ A/cm}^2 = 8,33 \cdot 10^6 \text{ cm}^2$$

b) Liczba ogniw =  $8,33 \cdot 10^6 \text{ cm}^2 / 10000 \text{ cm}^2$  na ogniwo = 833 ogniw.