

**2012/2013**  
**I. félév**

SZTE TTIK Biomérnök III. évfolyam

Beke Péter

Szeged, 2013. május 1.

# **Gőzök** **termodinamikája**



**[ Műszaki áramlástan,  
hőtan és anyagtranszport ]**

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM**

**MÉRNÖKI KAR**

**Folyamatmérnöki Intézet**

**Intézetvezető: Prof. Dr. Keszthelyi- Szabó Gábor**

**MŰSZAKI ÁRAMLÁSTAN, HŐTAN, ANYAGTRANSPORT**

**Gázok termodinamikája**

**Tervezői feladat: 4. variáns**

**Beke Péter**  
**BEPSAAT.SZE– Biomérnöki BSc – III. év**

### A FELADAT KIÍRÁSA

A megadott állapothatározók alapján ábrázolja a Rankine-Clausius körfolyamatot  $h - s$  fázisváltozási diagramban! A körfolyamat termikus hatásfokát befolyásoló tényezők változtatásával építse fel  $\eta_t = f(p_{ko}, p_{ka}, t)$  és a  $d_u = f(p_{ko}, p_{ka}, t)$  függvényt!

1. Építse fel a vízgőz  $h - s$ ,  $T - s$  fázisváltozási diagramját a táblázatból vett adatok segítségével!
2. Ábrázolja a megszerkesztett diagramon a körfolyamatot!
3. Határozza meg az állapotpontok  $p$ ,  $v$ ,  $t$ ,  $u$ ,  $s$ ,  $h$  állapotjelzőit! A kapott adatokat foglalja táblázatba!
4. Határozza meg az egyes állapotváltozásokra a  $\Delta u$ ,  $\Delta s$ ,  $\Delta h$ ,  $q$  és  $w$  értékeket! Az adatokat foglalja táblázatba!
5. Határozza meg a termikus hatásfok ( $\eta_t$ ) és a gőzfogyasztás ( $d$ ) értékeit!
6. A körfolyamat a táblázat szerint adott jellemzőjének megváltoztatásával ismételje meg a feladat 1 – 5. pontjait! Az így meghatározott három, különbözőkörfolyamat segítségével építse fel a feladatban megadott függvényeket!

### A MEGOLDANDÓ FELADAT

A feladat kiírás 4. variánsának megadott adatai:

$p_{ka1}$ [bar]	$p_{ko1}$ [bar]	$t_1$ [C°]	$p_{ka2}$ [bar]	$p_{ko2}$ [bar]	$t_2$ [C°]	$p_{ka3}$ [bar]	$p_{ko3}$ [bar]	$t_3$ [C°]
25,0	2,5	340	-	1,5	-	-	0,50	-

### A FELADAT MEGOLDÁSA

#### 1. FELADAT

A dokumentum végén mellékletben.

#### 2. FELADAT

A dokumentum végén mellékletben.

#### 3. FELADAT

##### 1 állapotpont

$$p_1 = p_{ka}$$

$$t_1 = t_t$$

$$v_1; h_1; s_1 = f(p_{ka}, t_t) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$\begin{aligned} u_1 &= h_1 - p_1 \cdot v_1 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,1076 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \\ &= \mathbf{3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

<b>p</b> [bar]	<b>t</b> [°C]	<b>v</b> [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	<b>h</b> kJ · kg <sup>-1</sup>	<b>s</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	<b>u</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	340	0,1076	3103,6	6,8044	3076,7

##### 2 állapotpont

$$p_2 = p_{ko}$$

$$t_2 = t_{ko} = f(p_{ko}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$v'_{p_{ko}}; v''_{p_{ko}}; h'_{p_{ko}}; h''_{p_{ko}}; s'_{p_{ko}}; s''_{p_{ko}} = f(p_{ko}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$\begin{aligned}
 v_2 &= v'_{p_{ko}} + (v''_{p_{ko}} - v'_{p_{ko}}) \cdot x_1 = \\
 &= 0,0010675 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} + (0,7188 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} - 0,0010675 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,9541 = \\
 &= \mathbf{0,6859 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}}
 \end{aligned}$$

$$s_{1p_{ka}} = s_{2p_{ko}}$$

$$s_2 = s'_{p_{ko}} + (s''_{p_{ko}} - s'_{p_{ko}}) \cdot x \Rightarrow x = \frac{s_2}{(s''_{p_{ko}} - s'_{p_{ko}})}$$

$$x = \frac{s_2 - s'_{p_{ko}}}{(s''_{p_{ko}} - s'_{p_{ko}})} = \frac{6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,6072 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{7,0540 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,6072 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = \mathbf{0,9541}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= h'_{p_{ko}} + (h''_{p_{ko}} - h'_{p_{ko}}) \cdot x_1 = \\
 &= 535,35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} + (2717,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 535,35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,9541 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \\
 &= \mathbf{2617,0531 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_2 &= h_2 - p_2 \cdot v_2 = 2617,053 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,025 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,6859 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\
 &= \mathbf{2599,906 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}
 \end{aligned}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
2,5	127,43	0,6859	2617,053	6,8044	2599,906

2' állapotpont

$$p_{2'} = p_2 = p_{ko}$$

$$t_{2'} = t_2 = t_{ko}$$

$$v_{2'} = v'_{p_{ko}}$$

$$h_{2'} = h'_{p_{ko}}$$

$$s_{2'} = s'_{p_{ko}}$$

$$v'_{p_{ko}}; h'_{p_{ko}}; s'_{p_{ko}} = f(p_{ko}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$\begin{aligned} u_{2'} &= h_{2'} - p_{2'} \cdot v_{2'} = 535,35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,025 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,0010675 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ &= 535,323 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
2,5	127,43	0,0010675	535,35	1,6072	535,323

### 3 állapotpont

$$p_3 = p_{ka}$$

$$s_3 = s_{2'}$$

$$h_{31} = y$$

$$s_{31} = s_{2'} = x = 1,6072$$

$$x_1 = 1,5252$$

$$x_2 = 1,6319$$

$$y_1 = 505,5$$

$$y_2 = 548,0$$

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} =$$

$$= 505,5 + \frac{(1,6072 - 1,5252) \cdot (548,0 - 505,5)}{1,6319 - 1,5252} = 505,49 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

p [bar]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
2,5	1,6072	538,101

### 3' állapotponat

$$p_{3'} = p_{ka}$$

$$t_{3'} = t_{ka}$$

$$v_{3'} = v'_{p_{ka}}$$

$$h_{3'} = h'_{p_{ka}}$$

$$s_{3'} = s'_{p_{ka}}$$

$$v'_{p_{ka}}; h'_{p_{ka}}; s'_{p_{ka}} = f(p_{ka}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$u_{3'} = h_{3'} - p_{3'} \cdot v_{3'} = 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,0011972 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ = \mathbf{961,651 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

<b>p</b> [bar]	<b>t</b> [°C]	<b>v</b> [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	<b>h</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	<b>s</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	<b>u</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	223,94	0,0011972	961,95	2,5543	961,651

### 4 állapotponta

$$p_4 = p_{3'} = p_{ka}$$

$$t_4 = t_{3'} = t_{ka}$$

$$v''_{p_{ka}}; h''_{p_{ka}}; s''_{p_{ka}} = f(p_{ka}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$v_4 = v''_{p_{ka}}$$

$$h_4 = h''_{p_{ka}}$$

$$s_4 = s''_{p_{ka}}$$

$$u_4 = h_4 - p_4 \cdot v_4 = 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,07990 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ = \mathbf{2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	223,94	0,07990	2800,8	6,2536	2780,825

### 4. FELADAT

$$\Delta u_{12} = u_2 - u_1 = 2599,906 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-476,794 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta u_{22'} = u_{2'} - u_2 = 535,323 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2599,906 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-2065,58 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta u_{3'4} = u_4 - u_{3'} = 2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 961,651 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{1819,174 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta u_{41} = u_1 - u_4 = 3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{295,875 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta s_{12} = s_2 - s_1 = 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \mathbf{0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{22'} = s_{2'} - s_2 = 1,6072 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{-5,1972 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{2'3} = s_3 - s_{2'} = 1,6072 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,6072 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \mathbf{0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{33'} = s_{3'} - s_3 = 2,5543 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,6072 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{0,947 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{3'4} = s_4 - s_{3'} = 6,2536 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 2,5543 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{3,6993 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{41} = s_1 - s_4 = -6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,2536 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{0,5508 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = 2617,0531 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-486,547 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{22'} = h_{2'} - h_2 = 535,35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2617,0531 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-2081,703 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{2'3} = h_3 - h_{2'} = 538,10 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 535,35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{2,75 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{33'} = h_{3'} - h_3 = 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 538,10 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{423,85 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{3'4} = h_4 - h_{3'} = 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{1838,85 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$



$$\Delta h_{41} = h_1 - h_4 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{302,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$w_h = h_1 - h_2 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2617,0531 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{486,547 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\sum q_{be} = h_1 - h_3 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 538,10 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{2565,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

### 5. FELADAT

$$\eta_{t1} = \frac{w_{h1}}{q_{be1}} = \frac{486,547 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}{2565,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} = \mathbf{0,1896}$$

$$\eta_{t1} = \frac{w_{h1}}{q_{be1}} \cdot 100\% = \frac{486,547 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}{2565,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \cdot 100\% = \mathbf{18,96\%}$$

$$d_1 = \frac{1000}{w_{h1}} = \frac{1000}{486,547} = \mathbf{2,0553 \text{ kg} \cdot \text{MJ}^{-1}}$$

### 6. FELADAT

6) A

1 állapotpont

$$p_1 = p_{ka}$$

$$t_1 = t_t$$

$$v_1; h_1; s_1 = f(p_{ka}, t_t) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$u_1 = h_1 - p_1 \cdot v_1 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,1076 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \\ = \mathbf{3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h kJ · kg <sup>-1</sup>	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	340	0,1076	3103,6	6,8044	3076,7

2 állapotpont

$$p_2 = p_{k0}$$

$$t_2 = t_{k0} = f(p_{k0}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$v'_{p_{k0}}; v''_{p_{k0}}; h'_{p_{k0}}; h''_{p_{k0}}; s'_{p_{k0}}; s''_{p_{k0}} = f(p_{k0}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$\begin{aligned} v_2 &= v'_{p_{k0}} + (v''_{p_{k0}} - v'_{p_{k0}}) \cdot x = \\ &= 0,0010530 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} + (1,1597 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} - 0,0010530 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,9274 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ &= \mathbf{1,0756 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

$$s_{1p_{k0}} = s_{2p_{k0}}$$

$$s_2 = s'_{p_{k0}} + (s''_{p_{k0}} - s'_{p_{k0}}) \cdot x \Rightarrow x = \frac{s_2}{(s''_{p_{k0}} - s'_{p_{k0}})}$$

$$x = \frac{s_{22} - s'_{p_{k0}2}}{(s_{p_{k0}2}'' - s'_{p_{k0}2})} = \frac{6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,4336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{7,2248 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,4336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = \mathbf{0,9274}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h'_{p_{k0}} + (h''_{p_{k0}} - h'_{p_{k0}}) \cdot x = \\ &= 467,13 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} + (2693,9 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 467,13 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,9274 = \\ &= \mathbf{2532,2588 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_2 &= h_2 - p_2 \cdot v_2 = 2532,2588 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,015 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 1,0756 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ &= \mathbf{2516,125 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
1,5	111,37	1,0756	2532,2588	6,8044	2516,125

2' állapotpont

$$p_{2'} = p_2 = p_{k0}$$

$$t_{2'} = t_2 = t_{k0}$$

$$v_{2'} = v'_{p_{ko}}$$

$$h_{2'} = h'_{p_{ko}}$$

$$s_{2'} = s'_{p_{ko}}$$

$$v'_{p_{ko}}; h'_{p_{ko}}; s'_{p_{ko}} = f(p_{ko}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$\begin{aligned} u_{2'} &= h_{2'} - p_{2'} \cdot v_{2'} = 467,13 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,015 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,0010530 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ &= \mathbf{467,1142 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
1,5	111,37	0,0010530	467,13	1,4336	467,1142

### 3 állapotpont

$$p_3 = p_{ka}$$

$$h_3 = y$$

$$s_3 = s_{2'} = x = 1,4336$$

$$x_1 = 1,4126$$

$$x_2 = 1,5252$$

$$y_1 = 463,2$$

$$y_2 = 505,5$$

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} =$$

$$= 463,2 + \frac{(1,4336 - 1,4126) \cdot (505,5 - 463,2)}{1,5252 - 1,4126} = \mathbf{472,16 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

p [bar]	s [kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	h [kJ·kg <sup>-1</sup> ]
2,5	1,4336	472,16

### 3' állapotponat

$$p_{3'} = p_{ka}$$

$$t_{3'} = t_{ka}$$

$$v_{3'} = v'_{p_{ka}}$$

$$h_{3'} = h'_{p_{ka}}$$

$$s_{3'} = s'_{p_{ka}}$$

$$v'_{p_{ka}}; h'_{p_{ka}}; s'_{p_{ka}} = f(p_{ka}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$u_{3'} = h_{3'} - p_{3'} \cdot v_{3'} = 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,0011972 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ = \mathbf{961,651 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ·kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	u [kJ·kg <sup>-1</sup> ]
25	223,94	0,0011972	961,95	2,5543	961,651

### 4 állapotponta

$$p_4 = p_{3'} = p_{ka}$$

$$t_4 = t_{3'} = t_{ka}$$

$$v''_{p_{ka}}; h''_{p_{ka}}; s''_{p_{ka}} = f(p_{ka}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$v_4 = v''_{p_{ka}}$$

$$h_4 = h''_{p_{ka}}$$

$$s_4 = s''_{p_{ka}}$$

$$u_4 = h_4 - p_4 \cdot v_4 = 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,07990 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ = \mathbf{2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	223,94	0,07990	2800,8	6,2536	2780,825

### 4. FELADAT

$$\Delta u_{12} = u_2 - u_1 = 2516,125 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-560,575 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta u_{22'} = u_{2'} - u_2 = 467,1142 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2516,125 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-2049,011 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta u_{3'4} = u_4 - u_{3'} = 2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 961,651 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{1819,174 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta u_{41} = u_1 - u_4 = 3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{295,875 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta s_{12} = s_2 - s_1 = 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \mathbf{0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{22'} = s_{2'} - s_2 = 1,4336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{-5,3708 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{2'3} = s_3 - s_{2'} = 1,4336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,4336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \mathbf{0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{33'} = s_{3'} - s_3 = 2,5543 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,4336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{1,1207 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{3'4} = s_4 - s_{3'} = 6,2536 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 2,5543 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{3,6993 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta s_{41} = s_1 - s_4 = -6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,2536 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = \mathbf{0,5508 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = 2532,2588 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-571,341 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{22'} = h_{2'} - h_2 = 467,13 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2532,2588 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-2060,099 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{2'3} = h_3 - h_{2'} = 472,16 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 467,13 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{5,03 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{33'} = h_{3'} - h_3 = 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 472,16 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{489,79 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{3'4} = h_4 - h_{3'} = 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{1838,85 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{41} = h_1 - h_4 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{302,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$w_h = h_1 - h_2 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2532,2588 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{571,341 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\sum q_{be} = h_1 - h_3 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 472,16 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{2631,44 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

### 5. FELADAT

$$\eta_t = \frac{w_h}{q_{be}} = \frac{571,341 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}{2631,44 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} = \mathbf{0,2171}$$

$$\eta_t = \frac{w_h}{q_{be}} \cdot 100\% = \frac{486,547 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}{2631,44 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \cdot 100\% = \mathbf{21,71\%}$$

$$d_1 = \frac{1000}{w_h} = \frac{1000}{571,341} = \mathbf{1,7503 \text{ kg} \cdot \text{MJ}^{-1}}$$

### 6.) B

#### 1 állapotpont

$$p_1 = p_{ka}$$

$$t_1 = t_t$$

$$v_1; h_1; s_1 = f(p_{ka}, t_t) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$u_1 = h_1 - p_1 \cdot v_1 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,1076 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \\ = \mathbf{3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h kJ · kg <sup>-1</sup>	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	340	0,1076	3103,6	6,8044	3076,7

### 2 állapotpont

$$p_2 = p_{k0}$$

$$t_2 = t_{k0} = f(p_{k0}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$v'_{p_{k0}}; v''_{p_{k0}}; h'_{p_{k0}}; h''_{p_{k0}}; s'_{p_{k0}}; s''_{p_{k0}} = f(p_{k0}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$\begin{aligned} v_2 &= v'_{p_{k0}} + (v''_{p_{k0}} - v'_{p_{k0}}) \cdot x = \\ &= 0,0010301 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} + (3,2415 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} - 0,0010301 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,8784 = \\ &= \mathbf{2,8475} \end{aligned}$$

$$s_{1p_{k0}} = s_{2p_{k0}}$$

$$s_2 = s'_{p_{k0}} + (s''_{p_{k0}} - s'_{p_{k0}}) \cdot x \Rightarrow x = \frac{s_2}{(s''_{p_{k0}} - s'_{p_{k0}})}$$

$$x = \frac{s_{23} - s'_{p_{k0}3}}{(s''_{p_{k0}3} - s'_{p_{k0}3})} = \frac{6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,0912 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{7,5951 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,0912 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = \mathbf{0,8784}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h'_{p_{k0}} + (h''_{p_{k0}} - h'_{p_{k0}}) \cdot x = \\ &= 340,57 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} + (2646,04 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 340,57 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,8784 = \\ &= \mathbf{2109,1421 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_2 &= h_2 - p_2 \cdot v_2 = 2109,1421 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,005 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 2,8475 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ &= \mathbf{2094,905 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

<b>p</b> [bar]	<b>t</b> [°C]	<b>v</b> [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	<b>h</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	<b>s</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	<b>u</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
0,05	81,35	2,8475	2109,1421	6,8044	2094,905

### 2' állapotpont

$$p_{2'} = p_2 = p_{ko}$$

$$t_{2'} = t_2 = t_{ko}$$

$$v_{2'} = v'_{p_{ko}}$$

$$h_{2'} = h'_{p_{ko}}$$

$$s_{2'} = s'_{p_{ko}}$$

$$v'_{p_{ko}}; h'_{p_{ko}}; s'_{p_{ko}} = f(p_{ko}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$\begin{aligned} u_{2'} &= h_{2'} - p_{2'} \cdot v_{2'} = 340,57 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,005 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,0010301 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ &= \mathbf{340,5648 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

<b>p</b> [bar]	<b>t</b> [°C]	<b>v</b> [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	<b>h</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	<b>s</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	<b>u</b> [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
0,5	81,35	0,0010301	340,57	1,0912	340,5648

### 3 állapotpont

$$p_3 = p_{ka}$$

$$h_3 = y$$

$$s_3 = s_{2'} = x = 1,0912$$

$$x_1 = 1,1906$$

$$x_2 = 1,3048$$

$$y_1 = 379,0$$

$$y_2 = 421,1$$



$$y = y_1 + \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} =$$

$$= 379,0 + \frac{(1,0912 - 1,1906) \cdot (421,1 - 379,0)}{1,3048 - 1,1906} = 379 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

p	s	h
[bar]	[kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
0,5	1,0912	379

### 3' állapotponat

$$p_{3'} = p_{ka}$$

$$t_{3'} = t_{ka}$$

$$v_{3'} = v'_{p_{ka}}$$

$$h_{3'} = h'_{p_{ka}}$$

$$s_{3'} = s'_{p_{ka}}$$

$$v'_{p_{ka}}; h'_{p_{ka}}; s'_{p_{ka}} = f(p_{ka}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$u_{3'} = h_{3'} - p_{3'} \cdot v_{3'} = 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,0011972 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} =$$

$$= 961,651 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

p	t	v	h	s	u
[bar]	[°C]	[m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]	[kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	223,94	0,0011972	961,95	2,5543	961,651

### 4 állapotponta

$$p_4 = p_{3'} = p_{ka}$$

$$t_4 = t_{3'} = t_{ka}$$

$$v''_{p_{ka}}; h''_{p_{ka}}; s''_{p_{ka}} = f(p_{ka}) \Rightarrow \text{táblázatból}$$

$$v_4 = v''_{p_{ka}}$$

$$h_4 = h''_{p_{ka}}$$

$$s_4 = s''_{p_{ka}}$$

$$u_4 = h_4 - p_4 \cdot v_4 = 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,25 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^3)^{-1} \cdot 0,07990 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = \\ = 2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

p [bar]	t [°C]	v [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	h [kJ · kg <sup>-1</sup> ]	s [kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	u [kJ · kg <sup>-1</sup> ]
25	223,94	0,07990	2800,8	6,2536	2780,825

#### 4. FELADAT

$$\Delta u_{12} = u_2 - u_1 = 2094,9046 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = -981,7954 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta u_{22'} = u_{2'} - u_2 = 340,564 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2094,9046 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = -1754,341 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta u_{3'4} = u_4 - u_{3'} = 2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 961,651 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 1819,174 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta u_{41} = u_1 - u_4 = 3076,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2780,825 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 295,875 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta s_{12} = s_2 - s_1 = 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta s_{22'} = s_{2'} - s_2 = 1,0912 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = -4,903 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta s_{2'3} = s_3 - s_{2'} = 1,0912 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,0912 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta s_{33'} = s_{3'} - s_3 = 2,5543 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 1,0912 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = 1,4631 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta s_{3'4} = s_4 - s_{3'} = 6,2536 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 2,5543 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = \\ = 3,6993 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta s_{41} = s_1 - s_4 = -6,8044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 6,2536 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} =$$

$$= \mathbf{0,5508 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = 2109,142 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-994,458 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{22'} = h_{2'} - h_2 = 340,57 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2109,142 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{-1,768,572 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{2'3} = h_3 - h_{2'} = 379 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 340,57 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{38,43 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{33'} = h_{3'} - h_3 = 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 379 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{582,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{3'4} = h_4 - h_{3'} = 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 961,95 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{1838,85 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\Delta h_{41} = h_1 - h_4 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2800,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{302,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$w_h = h_1 - h_2 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 2109,142 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{994,458 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$\sum q_{be} = h_1 - h_3 = 3103,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 379 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{2724,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

### 5. FELADAT

$$\eta_t = \frac{w_h}{q_{be}} = \frac{\mathbf{994,458 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}{\mathbf{2724,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}} = \mathbf{0,3649}$$

$$\eta_t = \frac{w_h}{q_{be1}} \cdot 100\% = \frac{\mathbf{994,458 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}{\mathbf{2724,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}} \cdot 100\% = \mathbf{36,49\%}$$

$$d = \frac{1000}{w_h} = \frac{1000}{\mathbf{994,458}} = \mathbf{1,0055 \text{ kg} \cdot \text{MJ}^{-1}}$$

A körfolyamatok összehasonlítása:

Mind három körfolyamat egy-egy Rankine-Clausius körfolyamat. A fő különbséget a három folyamat között a kondenzátorok nyomása adja. Megfigyelhető, hogy a kondenzátornyomás csökkentésével egyúttal nő a teljesítmény illetve csökken a gőzfogyasztása. A gőzfogyasztás csökkenés előnye, hogy kevesebb gőz kell 1 MJ energia előállításához, és ez a teljesítmény növekedést von maga után.

### GRAFIKONOK



