

TERMODINAMIKA – ZADACI

JEDNAČINA STANJA I DEALNOG GASA

1. Kolika je zapremina 1 ^{3,6} 10 kg (kiseonika – vazduha – azota – metana ugljendioksida)

a. Na normalnim fizičkim uslovima?

b. Na temperaturi od 200 ³⁵⁰ 400°C i pritisku od 4 ⁴ 10 bar?

a)

$$m(\text{CO}_2) = 3,6 \text{ kg}$$

$$t = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$p = 1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$R(\text{CO}_2) = 189 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$V = ?$$

$$pV = mRT$$

$$V = \frac{mRT}{p} = \frac{3,6 \text{ kg} \cdot 189 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 293 \text{ K}}{10^5 \text{ Pa}} = 1,99 \text{ m}^3$$

b)

$$m(\text{CO}_2) = 3,6 \text{ kg}$$

$$t = 350^\circ\text{C} = 623 \text{ K}$$

$$p = 4 \text{ bar} = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$R(\text{CO}_2) = 189 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$V = ?$$

$$V = \frac{3,6 \text{ kg} \cdot 189 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 623 \text{ K}}{4 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 1,053 \text{ m}^3$$

2. U sudu zapremine 20 ²¹ 40 lit nalazi se (vazduh – kiseonik – azot) na pritisku od 25 ⁴⁰ 45 bar i temperaturi od 75°C. Kada se ispusti jedan deo gasa, pritisak padne na 10 ¹⁴ 20 bar, a temperatura na 30 ³⁸ 45°C. Izračunati koliko je gasa ispušteno?

$$R(\text{O}_2) = 259 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$V = 21 \text{ L} = 21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$t_1 = 75^\circ\text{C} = 348 \text{ K}$$

$$t_2 = 38^\circ\text{C} = 311 \text{ K}$$

$$p_1 = 40 \text{ bar} = 4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 14 \text{ bar} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\Delta m = ?$$

2.)

$$p_2 V = m_2 R t_2$$

$$m_2 = \frac{p_2 V}{R t_2} = \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{259 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 311 \text{ K}} = \frac{29,4 \cdot 10^3 \text{ Nm}}{80549 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,36 \text{ kg}$$

1.)

$$p_1 V = m_1 R t_1$$

$$m_1 = \frac{p_1 V}{R t_1} = \frac{4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{259 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 348 \text{ K}} = \frac{84 \cdot 10^3 \text{ Nm}}{90132 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,93 \text{ kg}$$

$$\Delta m = 0,93 \text{ kg} - 0,36 \text{ kg} = 0,57 \text{ kg}$$

3. Izračunati gustinu (argona – etilena – hlorovodonika – propana – sumporvodonika) na potpritisu 0.1 ... 0.6 bar i temperaturi 30 ... 70 °C, ako je barometarski pritisak 0.98 bar.

$$R(H_2S) = 244,2 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$t = 40^\circ C = 322 K$$

$$p_v = 0,6 \text{ bar} = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_b = 0,98 \text{ bar} = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = p_b - p_v = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Pa} - 0,6 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,38 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho = ?$$

$$p_v = \rho R t$$

$$p = \frac{\rho}{V} R t$$

$$p = \rho R t$$

$$\rho = \frac{p}{R t}$$

$$\rho = \frac{0,38 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{244,2 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 322 K} = 0,48 \frac{kg}{m^3}$$

4. Koliko je potrebno rezervoara od 20 litara da bi se prevezlo 350 kg (kiseonika – azota – vazduha – ugljendioksida) na temperaturi 220 °C i manometarskom pritisku od 20 MPa, ako je barometarski pritisak 0.98 bar.

$$R(O_2) = 259,9 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$p_m = 20 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_b = 0,98 \text{ bar} = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$m(O_2) = 350 \text{ kg}$$

$$V_R = 20 \text{ l} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$t = 220^\circ C = 493 K$$

$$p = p_m - p_b = 20 \cdot 10^6 \text{ Pa} + 0,98 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 200,98 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V(O_2) = \frac{m R t}{p} = \frac{350 \text{ kg} \cdot 259,9 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 493 K}{201 \cdot 10^5 \text{ Pa}} =$$

$$= \frac{44845745 J}{20100000 \text{ Pa}} = 2,23 \text{ m}^3$$

$$N_R = ?$$

$$N_R = \frac{V(O_2)}{V_R}$$

$$N_R = \frac{2,23 \text{ m}^3}{20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 111,5$$

Задача - 7 е.в.г.

1) Газ е закупен 3,6 кг. Изчислете:

а) на нормални условията?

б) на температура от 350°C и налягане 4 bar?

а)

$$R(\text{CO}_2) = 189 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m(\text{CO}_2) = 3,6 \text{ kg}$$

$$t = 20^\circ\text{C} = 20 + 273 \text{ K} = 293 \text{ K}$$

$$p = 1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V = ?$$

$$pV = mRT$$

$$V = \frac{mRT}{p} = \frac{3,6 \text{ kg} \cdot 189 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{ K}}{10^5 \text{ Pa}} = 1,99 \frac{\text{J}}{\text{Pa}} = 1,99 \frac{\text{Nm}}{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 1,99 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{N}} = 1,99 \text{ m}^3$$

б.)

$$R(\text{CO}_2) = 189 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m(\text{CO}_2) = 3,6 \text{ kg}$$

$$t = 350^\circ\text{C} = 350 + 273 \text{ K} = 623 \text{ K}$$

$$p = 4 \text{ bar} = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V = ?$$

$$pV = mRT$$

$$V = \frac{mRT}{p} = \frac{3,6 \text{ kg} \cdot 189 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 623 \text{ K}}{4 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 1,055 \text{ m}^3$$

2) У газа сачећује 21 л гаса у кинориче на притиску 40 бар.
и температјри 75°C. Када се уложу тежа 150 гача, притисак пада
на 14 бар, а темпер. на 38°C. Упратујати колко гача је уложено.

$$R(O_2) = 259 \frac{J}{kgK}$$

$$V = 21 L = 21 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$t_1 = 75^\circ C = 348 K$$

$$t_2 = 38^\circ C = 311 K$$

$$p_1 = 40 \text{ bar} = 4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 14 \text{ bar} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\Delta m = ?$$

①

$$p_1 V = m_1 R T_1$$

$$m_1 = \frac{p_1 V}{R T_1} = \frac{4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 21 \cdot 10^{-3} m^3}{259 \frac{J}{kgK} \cdot 348 K} = \frac{84 \cdot 10^3 \frac{Nm}{kgK}}{90132 \frac{J}{kgK}} = 0,93 kg$$

②

$$p_2 V = m_2 R T_2$$

$$m_2 = \frac{p_2 V}{R T_2} = \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 21 \cdot 10^{-3} m^3}{259 \frac{J}{kgK} \cdot 311 K} = 0,36 kg$$

$$\Delta m = 0,93 kg - 0,36 kg = \underline{\underline{0,57 kg}}$$

3) Изračунати густину сумпорводоника из парцијалног $0,6 \text{ bar}$ и таталног притиска $0,98 \text{ bar}$ при 49°C .

$$M(\text{H}_2\text{S}) = 34,1 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

$$t = 49^\circ\text{C} = 322 \text{ K}$$

$$p_v = 0,6 \text{ bar} = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_b = 0,98 \text{ bar} = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho = ?$$

$$pV = nRT$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$p = \rho RT$$

$$\rho = \frac{p}{RT}$$

$$* p_a = p_b - p_v = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Pa} - 0,6 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,38 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho = \frac{0,38 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{34,1 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot 322 \text{ K}} = 0,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

4) Сколько O_2 потребовалось для сжигания 20 л газа, если потребовалось 350 кг кислорода на темп. 220°C и избыточном давлении 20 МПа , молекул в смеси $0,98 \text{ бар}$?

$$R(\text{O}_2) = 259,9 \frac{\text{г}}{\text{кг}}$$

$$m(\text{O}_2) = 350 \text{ кг}$$

$$p_m = 200 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_b = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$t = 220^\circ\text{C} = 493 \text{ К}$$

$$V_r = 20 \text{ л} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$N_r = ?$$

$$N_r = \frac{V(\text{O}_2)}{V_r} = \frac{2,23 \text{ м}^3}{20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = \underline{\underline{111,5}}$$

$$p_a = p_m - p_b = 200 \cdot 10^5 \text{ Па} + 0,98 \cdot 10^5 \text{ Па} \\ = 200,98 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{mRT}{p} = 2,20 \text{ м}^3$$

5.) Определить среднюю скорость молекул газа при давлении 3,81 бар и температуре 27°C

$$R(\text{CO}_2) = 185 \frac{\text{Д}}{\text{кгК}}$$

$$p = 3,81 \text{ бар} = 3,81 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$t = 27^\circ\text{C} = 27 + 273\text{K} = 300\text{K}$$

$$v = ?$$

$$pV = mRT$$

$$p \frac{V}{m} = RT$$

$$p v = RT$$

$$v = \frac{RT}{p} = \frac{300\text{K} \cdot 185 \frac{\text{Д}}{\text{кгК}}}{3,81 \cdot 10^5 \text{ Па}} = 0,147 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

6) В баллоне находится 20 л азота со средней молекулярной массой 14 бар и температурой 37°C. Атмосферное давление 0,86 бар. Определить массу и плотность азота.

$$R(O_2) = 259,9 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$V = 20 \text{ л} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$t = 37^\circ\text{C} = 37 + 273 \text{ K} = 310 \text{ K}$$

$$p_m = 112 \text{ бар} = 112 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_b = 0,86 \text{ бар} = 0,86 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$m = ? \quad \rho = ?$$

$$* p = p_b + p_m = 112,86 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$pV = mRT$$

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{112,86 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{259,9 \cdot 310} = \underline{\underline{2,8 \text{ кг}}}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{2,8 \text{ кг}}{20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = \underline{\underline{140 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}}$$

7.) у резервоару запреmine 12 m^3 налази се ваздух на нивоу
 тореловог прикеса 8 bar и темпер. 22°C . ваздух се користи за рад
 пневматских алата и при раду нивоа прикеса опадне на 4 bar
 темпер. на 17°C .

одредити колику колич. ваздуха из резерв. моје ваздух. или колику
 прикеса 1 bar.

$$R (\text{ваздух}) = 287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$V = 12 \text{ m}^3$$

$$p_{m1} = 8 \text{ bar} = 8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$t_1 = 22^\circ\text{C} = 295 \text{ K}$$

$$p_{m2} = 4 \text{ bar} = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$t_2 = 17^\circ\text{C} = 290 \text{ K}$$

$$p_b = 1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Delta m = ?$$

$$p_1 = p_b + p_{m1} = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_1 V = m_1 R T_1$$

$$m_1 = \frac{p_1 V}{R T_1} = \frac{5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 12 \text{ m}^3}{287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 295 \text{ K}} = 127,56 \text{ kg}$$

$$p_2 = p_b + p_{m2} = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_2 V = m_2 R T_2$$

$$m_2 = \frac{p_2 V}{R T_2} = 12,08 \text{ kg}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 55,47 \text{ kg}$$

8.) Температура газа затрещивает 5 л, ее повышается от 20°C до 100°C, но с при условии процесса расширения газобитит газ кинет с затрещивает газ кинет процесс?

$$V_1 = 5 \text{ л}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$$

$$p = \text{const}$$

$$V_2 = ?$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = \frac{5 \text{ л} \cdot 373 \text{ K}}{293 \text{ K}} = 6,36 \text{ л} = \underline{\underline{6,36 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3}}$$

9.) Но с поветит процесс газа с газу 100 кПа, а затрещивает 1 м³, кинет с затрещивает газом газ, но кинет с процессу процесс к 2 бар?

$$V_1 = 1 \text{ м}^3$$

$$p_1 = 100 \text{ кПа}$$

$$p_2 = 2 \text{ бар} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па} = 200\,000 \text{ Па} = 200 \text{ кПа}$$

$$T = \text{const}$$

$$V_2 = ?$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2} = \frac{100}{200} = \underline{\underline{0,5 \text{ м}^3}}$$

10) Резервуар объемом 3 м^3 азота на начальном давлении 68 бар и температуре 38°C из него с помощью поршневого насоса откачивают до давления $3,92 \text{ бар}$ и температуры 22°C , при этом насос и резервуар охлаждаются до 60 бар , а температура на их поверхности становится 11°C . Сколько азота откачали?

$$\mu(\text{N}_2) = 28,014 \text{ кг/кмоль}$$

$$V_1 = 3 \text{ м}^3$$

$$p_{n1} = 68 \text{ бар} = 68 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$t_{n1} = 38^\circ\text{C} = 38 + 273 \text{ К}$$

$$p_e = 3,92 \text{ бар}$$

$$t_e = 22^\circ\text{C}$$

$$p_{n2} = 60 \text{ бар} = 60 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$t_{n2} = 11^\circ\text{C} = 11 + 273 \text{ К}$$

$$V_e = ?$$

$$pV = \mu RT$$

$$m_{n1} = \frac{p_{n1} V_{n1}}{R T_{n1}} = \frac{68 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 3 \text{ м}^3}{28,014 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} \cdot 311 \text{ К}} = \frac{204 \cdot 10^5 \text{ Нм}}{8726,7 \frac{\text{Нм}}{\text{кг}}} = 231,08 \text{ кг}$$

$$m_{n2} = \frac{p_{n2} V_{n2}}{R T_{n2}} = \frac{60 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 3 \text{ м}^3}{28,014 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} \cdot 284 \text{ К}} = \frac{180 \cdot 10^5 \text{ Нм}}{7946,2,8 \frac{\text{Нм}}{\text{кг}}} = 223,6 \text{ кг}$$

$$\Delta m = 231,08 \text{ кг} - 223,6 \text{ кг} = 7,48 \text{ кг}$$

$$p_e V_e = m_e R T_e$$

$$V_e = \frac{m_e R T_e}{p_e} = \frac{7,48 \text{ кг} \cdot 28,014 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} \cdot 295 \text{ К}}{3,92 \cdot 10^5 \text{ Па}} =$$

$$= \frac{654698,22 \text{ Nm}}{392000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 1,62 \text{ m}^3$$

11) Резервуар који садржи кисеоник је притиску 10 bar и га температура 40°C. Изведен је cilindrični spraznik, при чему се температура кисеог. повећа на 80°C. израчунати volumen притиска у резервуару.

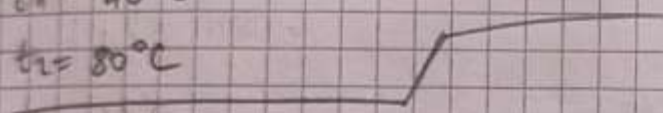
$$p_1 = 10 \text{ bar}$$

$$t_1 = 40^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 80^\circ\text{C}$$

$$p_2 = ?$$

$$V = \text{const}$$



$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 10 \text{ bar} \frac{(80+273) \text{ K}}{(40+273) \text{ K}} = \underline{\underline{11,28 \text{ bar}}}$$

12) Plovidi gas kisika definisano je belimskom jedna od 180°C. Kiseonik se pri konstantnom pritisku sagreva, pri čemu se zapremina gasa udvostručuje. Izračunati temperaturu na kraju procesa zagrevanja.

$$t_1 = 180^\circ\text{C} = 453 \text{ K}$$

$$p = \text{const}$$

$$V_2 = 2 \cdot V_1$$

$$t_2 = ?$$

* REI-1 - LIČNO

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{1}{T_2}$$

$$\frac{V_1 T_2}{V_2} = T_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{V_1 T_2 V_2}{V_2 V_1} = \frac{T_1 V_2}{V_1}$$

$$T_2 = \frac{T_1 V_2}{V_1} = \frac{453 \text{ K} \cdot 2 V_1}{V_1} = 906 \text{ K}$$

15.) Колило повітря змарили при температурі -20°C і при температурі 20°C , що збільшилося в скільки разів?

$$p = \text{const}$$

$$pV_1 = RT_1$$

$$pV_2 = RT_2$$

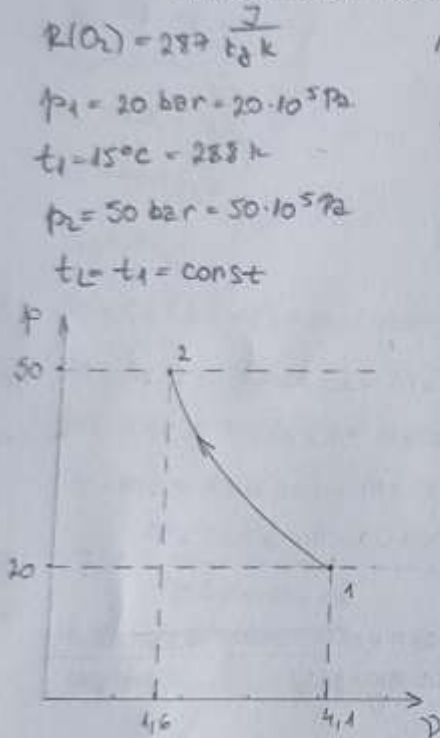
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{(273 + 20)\text{K}}{(273 - 20)\text{K}} = \underline{\underline{1,16}}$$

I i II ZAKON TERMODINAMIKE

1. (Vazduh – kiseonik – azot – metan) u zatvorenom sistemu menja svoje toplotno stanje od pritiska 10²⁰... 30 bar i temperature 10¹⁵... 30 °C do krajnjeg pritiska od 50 bar pri konstantnoj temperaturi. Skicirati proces u p,v dijagramu i odrediti:

a. Veličine stanja gasa na početku i na kraju procesa

b. Izvršen zapreminski specifični rad.



$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

$$p_1 v_1 = R T_1$$

$$v_1 = \frac{R T_1}{p_1} = \frac{287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 288 \text{ K}}{20 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,041 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 4,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_2 = \frac{20 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,041 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{50 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,16 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$W = R T \ln \frac{p_1}{p_2} = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 288 \text{ K} \ln \frac{20 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{50 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 75737 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

2. Kiseonik temperature 800⁶⁵⁰... 500 °C hladi se pri konstantnoj zapremini do temperature 200²⁰⁰... 90 °C i pri tome se odvodi 16750¹⁴³⁰⁰... 11320 kJ toplote. Izračunati:

a. Masu kiseonika

b. Krajnji pritisak azota ako je početni pritisak 10¹⁷... 20 bar

c. Izvršeni rad.

$c_v(\text{O}_2) = 653 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
 $R(\text{O}_2) = 259,3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
 $t_1 = 650^\circ\text{C} = 923 \text{ K}$
 $t_2 = 200^\circ\text{C} = 473 \text{ K}$
 $Q = 14300 \text{ J}$

a) $Q_{12} = m c_v \Delta T$

$$m = \frac{Q_{12}}{c_v \Delta T} = \frac{14300 \text{ J}}{653 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 450 \text{ K}} = 0,049 \text{ kg} = 49 \text{ g}$$

b) $p_1 = 17 \text{ bar}$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 8,71 \text{ bar} \quad \checkmark$$

c) $\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$

a) $m(\text{O}_2) = ?$

b) $p_2 = ?$

c) $W = ?$

3. Čelična kugla mase 10 ¹⁴..... 20 kg temperature 500 ⁶⁴⁰..... 700 °C potapa se u sud sa vodom mase 18 ²²..... 30 kg temperature 15°C. Dokazati da je proces nepovratan.

$$m_k = 14 \text{ kg}$$

$$t_k = 640^\circ\text{C}$$

$$m_v = 22 \text{ kg}$$

$$t_v = 15^\circ\text{C}$$

$$c_v = 418,6 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$c_k = 460 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$\Delta S_v = m_v c_v \ln \frac{T}{T_v} = 22 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot \ln \frac{328,8 \text{ K}}{288 \text{ K}} = 12201,15$$

$$\Delta S_k = m_k c_k \ln \frac{T}{T_k} = 14 \text{ kg} \cdot 460 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot \ln \frac{328,8 \text{ K}}{513 \text{ K}} = -6577,08$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$\Delta S_{\text{sistema}} = \Delta S_v - \Delta S_k = 18778,27 > 0$$

$$m_k c_k (t_k - t) = m_v c_v (t - t_v)$$

$$m_k c_k t_k - m_k c_k t = m_v c_v t - m_v c_v t_v$$

$$m_k c_k t_k + m_v c_v t_v = m_v c_v t + m_k c_k t$$

$$t (m_v c_v + m_k c_k) = m_k c_k t_k + m_v c_v t_v$$

$$t = \frac{m_k c_k t_k + m_v c_v t_v}{m_v c_v + m_k c_k} = \frac{324022167}{38532 \frac{\text{J}}{\text{K}}} = 328,8 \text{ K}$$

4. Za koje se vreme može u najpovoljnijem slučaju električnim grejačem 600 ¹¹³⁰..... 2000 W zagrejati 8 ¹⁹..... 12 kg vode od temperature 15°C do temperature 80 ⁹⁶..... 100 °C.

$$P = 1130 \text{ W}$$

$$m_v = 12 \text{ kg}$$

$$t_1 = 15^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 96^\circ\text{C}$$

$$W = Q = m c_v \Delta T$$

$$Q = 12 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 81 \text{ K} = 6442254 \text{ J}$$

$$t = \frac{6442254 \text{ J}}{1130 \text{ W}} = 5701 \text{ s}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$t = \frac{W}{P}$$

Задачи - I и II законы термод

1) Газу у затвореном систему чина однего мола идеалног гаса притисак 20 бар и темпер. 15°C док се притисак повећава до 50 бар при константној температури. Циклически процес у p, V дијаграму и израчунај:

- Величине V_1 и V_2 по почетку и на крају процеса
- Извршен рад при савршеном раду.

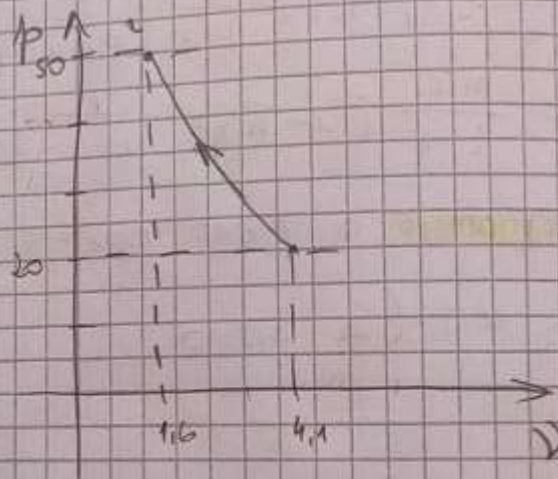
$$R(O_2) = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$p_1 = 20 \text{ bar} = 20 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$t_1 = 15^\circ C = 288 K$$

$$p_2 = 50 \text{ bar} = 50 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$t_2 = t_1 = \text{const}$$



а)

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$p_1 V_1 = RT_1$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 288 K}{20 \cdot 10^5 Pa} = 0,041 \frac{m^3}{kg} = 4,1 \cdot 10^{-2} \frac{m^3}{kg}$$

$$V_2 = \frac{20 \cdot 10^5 Pa \cdot 0,041 \frac{m^3}{kg}}{50 \cdot 10^5 Pa} = 0,16 \frac{m^3}{kg} = 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{m^3}{kg}$$

б)

$$W = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = 287 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 288 K \ln \frac{20 \cdot 10^5 Pa}{50 \cdot 10^5 Pa} = -757 J$$

2.) Кислород темп. 650°C хлади се при константној запремини до темп. 200°C и при том се отпусти 14300 J топлоте. Израчунајте:

a.) масу кисеоника

б.) крајњи притисак O_2 , ако је почетни 12 bar

в.) израчунајте рад

$$c_v(\text{O}_2) = 653 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$R(\text{O}_2) = 259,9 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$t_1 = 650^{\circ}\text{C} = 923\text{ K}$$

$$t_2 = 200^{\circ}\text{C} = 473\text{ K}$$

$$Q = 14300\text{ J}$$

a.)

$$Q_{12} = m c_v \Delta T$$

$$m = \frac{Q_{12}}{c_v \Delta T} = \frac{14300\text{ J}}{653 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 450\text{ K}} = 0,049\text{ kg} = \underline{\underline{49\text{ g}}}$$

б.)

$$p_1 = 12\text{ bar}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = \underline{\underline{8,171\text{ bar}}}$$

в.)

$$\Delta V = 0 \Rightarrow W = \underline{\underline{0}}$$

3) Чашка воды массой 14 кг, температура 640°C поставлена на плиту с котлом массой 22 кг в темп. 15°C. Доказать, что процесс не обратим.

$$Q = m c \Delta T$$

$$m_k = 14 \text{ кг}$$

$$t_k = 640^\circ\text{C}$$

$$m_v = 22 \text{ кг}$$

$$t_v = 15^\circ\text{C}$$

$$c_v = 418,6 \frac{\text{Д}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$c_k = 460 \frac{\text{Д}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_k c_k (t_k - t) = m_v c_v (t - t_v)$$

$$m_k c_k t_k - m_k c_k t = m_v c_v t - m_v c_v t_v$$

$$m_k c_k t_k + m_v c_v t_v = m_v c_v t + m_k c_k t$$

$$t (m_v c_v + m_k c_k) = m_k c_k t_k + m_v c_v t_v$$

$$t = \frac{m_k c_k t_k + m_v c_v t_v}{m_v c_v + m_k c_k} = \frac{32402216,2}{98532 \frac{\text{Д}}{\text{К}}} = 328,8 \text{ К}$$

$$\Delta S_v = m_v c_v \ln \frac{T}{T_v} = 22 \text{ кг} \cdot 418,6 \frac{\text{Д}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot \ln \frac{328,8 \text{ К}}{288 \text{ К}} = 12101,19$$

$$\Delta S_k = m_k c_k \ln \frac{T}{T_k} = 14 \text{ кг} \cdot 460 \frac{\text{Д}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot \ln \frac{328,8 \text{ К}}{913 \text{ К}} = -6577,08$$

$$\Delta S_{\text{система}} = \Delta S_v - \Delta S_k = 18778,27 > 0$$

4.) SA KJE IZENE MOJE U KOJ PODIZANJE CIGURU SA 175 K DO 1130 W ZATJEK 13 kg BOJE U TERN. 15°C DO 36°C.

P = POWER (POWER)

$$P = 1130 \text{ W}$$

$$m = 13 \text{ kg}$$

$$t_1 = 15^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 36^\circ\text{C}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$t = \frac{W}{P}$$

$$W = Q = mc_v \Delta T$$

$$Q = 13 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 81 \text{ K} = 6442254 \text{ J}$$

$$t = \frac{6442254 \text{ J}}{1130 \text{ W}} = 5701 \text{ s}$$

5.) U FIZIKI JE KUCOVANJE NOU. OVA ODRJEKOT TEMPERATURA U 20°C

DOJE U JAK KERE PRIMEK OVA KOTU. TONOTE U 136,5 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ A

DOJE ANKOTUJU POZ SA 85,5 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

OPREDA PRIMEK UJUTROVNE ETERNE KUCOVANJE U BODUJ KOTUJ

TEMPERATU. OVA PRIMEK DA JE CETERA. TONOTA KUCOVANJE POZ CETERA.

TEMPERATU KUCOVANJE U KOTU 657 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

$t_1 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$

$q_{12} = +136,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$w_{12} = +85,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$c_v = 657 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$\Delta U_{12} = q_{12} - w_{12} = 136,5 - 85,5 = 51 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta U_{12} = c_v (T_2 - T_1) = c_v (t_2 - t_1)$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{c_v} + t_1 = t_2 = \frac{51000}{657} + 20 = 32,625$$

6) при испар. затред. вода от маса 110 kg , от темп. 25°C до 450°C изведе се $123 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ пара.
 Определете потребената количина топлина до $716 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

$$c_v = 716 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$m = 110 \text{ kg}$$

$$t_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 450^\circ\text{C}$$

$$W_n = 123 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

→ имаме топлина раз.
 (- как се нагряват)

$$Q_n = ?$$

$$\Delta U_n = m c_v (t_2 - t_1) = 110 \cdot 716 (450 - 25) = 33,473 \cdot 10^6 \text{ J} = 33473 \text{ kJ}$$

$$W_n = m w_n = 110 \cdot 123 = 13530 \text{ kJ}$$

$$\Delta U_n = Q_n - W_n$$

$$Q_n = \Delta U_n + W_n = 47003 \text{ kJ}$$

2.) U posudi od $V = 2 \text{ m}^3$ nalazi se vazduh pri pritisku $0,1 \text{ MPa}$ i $T_1 = 300^\circ\text{C}$. Ukoliko se vazduh isotopi na $T_2 = 773^\circ\text{C}$, kolika je potrebna toplota i koliko se rad izvrši?

Vazduh se ponaša kao idealni gas. Kolika je potrebna toplota i koliko se rad izvrši ako je stepen toplote kao je stepen toplote pri istom pritisku $754 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

$$V = 2 \text{ m}^3 \quad R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$p_1 = 0,1 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 773^\circ\text{C}$$

$$m, p_2, Q, W = ?$$

$$p_1 V_1 = m R T_1 \Rightarrow m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 2}{287 \cdot 300} = 2,32 \text{ kg}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{T_1} T_2$$

$$p_2 = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 773}{300} = 0,257 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$Q = m c_v (T_2 - T_1) = 2,32 \cdot 754 (773 - 300) = 828,12 \text{ J} = 828,12 \text{ kJ}$$

$$Q = \Delta U + W \quad \text{IZOTOPSKI: } \Delta V = 0$$

$$Q = \Delta U = m c_v \Delta T$$

8) Вазуу прииска 1186,7 ЕРВ и темп. 22°C изобарски се шири до 2,6 пута веће запремине, а онда се изотермички клин до температуре 28°C.

Одредити величину рада у кривој. Делом, размину клин. до плов и апсолутне раз. изобарског процеса.

Приказати процес на р-В дијаграму и обележити подришну на дијаграму кога представља извршене запор. рад.

$$p_1 = 118,7 \text{ ЕРВ}$$

$$t_1 = 22^\circ\text{C}$$

$$V_2 = 2,6 \cdot V_1$$

$$t_2 = 28^\circ\text{C}$$

1-2 → изобар.

2-3 → изот.

$$p_2 V_2 = R T_2$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{R} = \frac{1186,7 \cdot 10^3 \cdot 0,1854}{28,7} = 766,6 \text{ К}$$

$$p_3 V_3 = R T_3$$

$$p = \frac{R T_3}{V_3} = 465,945 \text{ ЕРВ}$$

$$p_1 V_1 = R T_1$$

$$V_1 = \frac{R T_1}{p_1} = \frac{28,7 \cdot 295}{1186,7 \cdot 10^3} = 0,00713 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

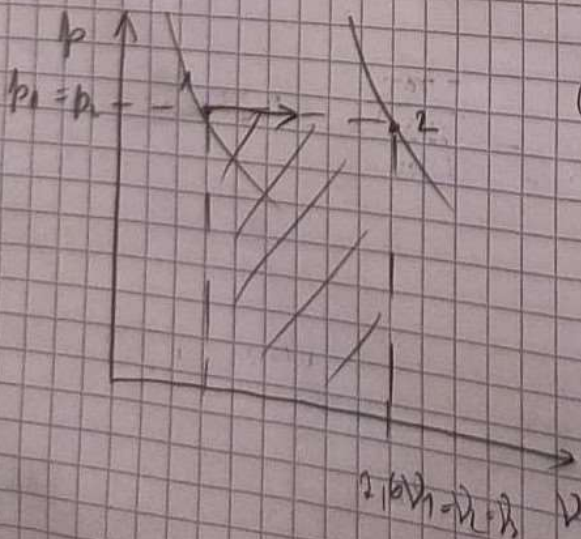
$$q_{12} = C_p (T_2 - T_1) =$$

$$= 1010 (766,6 - 295) = 4700$$

$$V_2 = 2,6 \cdot V_1 = 0,1854 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$q_{23} = C_v (T_2 - T_1) = 720 (301 - 766,6) = -335,23 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$q_{\text{вк}} = q_{12} + q_{23} \approx 136,37 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$



	p	V	T
1	1186,7	0,00713	295
2	1186,7	0,1854	766,6
3	465,95	0,1854	301

$$W_{12} = p (V_2 - V_1) = 1186,7 \cdot 10^3 (0,1854 - 0,0713) = 135350 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$W_{23} = 0 \Rightarrow \text{таблиця}$$

$$W_{\text{tot.}} = W_{12} = 135350 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

в) при поштор. експанзії газу температура змінюється від 25°C до -37°C . початки процесу є ізобар, а кінець газу 2 кг

Тоді одне припущення газу є ідеальним газом. Визначити еквівалентний процес, абсолютне тиск, кінцевий тиск, специфічну теплоту та роботу експанзії газу.

$$Q_{12} = m c_n (T_2 - T_1) \Rightarrow c_n = \frac{Q_{12}}{m(T_2 - T_1)} = \frac{30000}{2(-37 + 25)} = -726 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$c_n = c_v \frac{n-k}{n-1} / (n-1)$$

$$c_n \cdot n - c_n = c_v \cdot n - c_v k$$

$$(c_n - c_v)n = c_n - c_v k$$

$$n = \frac{c_n - c_v \cdot k}{c_n - c_v} = \frac{-726 - 710 \cdot 1,7}{-726 - 710} = 1,2$$

$$W_{12} = \frac{mR}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{2 \cdot 287}{1,2-1} (25+273 - (-37+273)) = 138 \text{ kJ}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{n}{n-1}} = \left(\frac{298}{236} \right)^{\frac{1,2}{1,2-1}} \Rightarrow p_2 = \frac{1 \text{ bar}}{\left(\frac{298}{236} \right)^6} = 0,987 \text{ bar}$$

$$p_1 V_1 = RT_1$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = 0,214 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_2 = \frac{RT_2}{p_2} = 0,686 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Delta S = m c_n \ln \frac{T_2}{T_1} = 2(-726) \ln \left(\frac{-37}{25} \right) = 538,7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

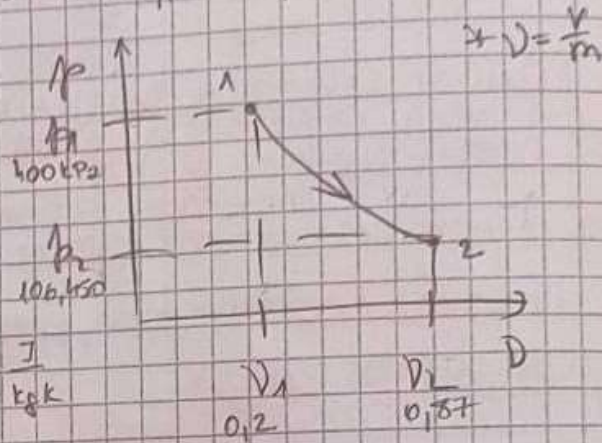
10) Азот из едн. 1 сгнелено с $d_{\text{м}}^3$ темпер. 27°C , приложка 100 kPa
 протазу у едн. 2 темп. -37°C и приложка $106,450\text{ kPa}$.
 Определити ентропију и јордени кит је протаз едн. 1, определити протазу
 јордени ентропију, прот. ентропију и кит протазу kJ/kg .

$$T_1 = 27^\circ\text{C}, p_1 = 100\text{ kPa}$$

$$T_2 = -37^\circ\text{C}, p_2 = 106,450\text{ kPa}$$

$$V_1 = 6\text{ dm}^3 = 5 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$$

$$V_2, n, \Delta U, \Delta S = ? \quad R(\text{N}_2) = 296,7\text{ J/kgK}$$



$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{n}{n-1}}$$

$$\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = \frac{n}{n-1} \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

$$(n-1) \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = n \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

$$n \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) - \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = n \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

$$n \left(\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) - \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \right) = \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

$$n = \frac{\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) - \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{100 \cdot 10^3\text{ Pa}}{106,450 \cdot 10^3\text{ Pa}}\right)}{\ln\left(\frac{100 \cdot 10^3\text{ Pa}}{106,450 \cdot 10^3\text{ Pa}}\right) - \ln\left(\frac{300\text{ K}}{236\text{ K}}\right)} = \frac{\ln 0,939}{\ln 0,939 - \ln 1,271} = \frac{1,06}{1,06 - 0,218} = 1,33$$

$$p_1 V_1 = n R T_1$$

$$m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{100 \cdot 10^3\text{ Pa} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3}{296,7\text{ J/kgK} \cdot 300\text{ K}} = \frac{500\text{ Nm}}{89010\text{ Nm/kg}} = 0,0056\text{ kg}$$

$$\Delta U = m c_v \Delta T = m c_v (T_2 - T_1) =$$

$$c_v = 746\text{ J/kgK} = 0,0056\text{ kg} \cdot 746\text{ J/kgK} \cdot (-64\text{ K}) = -1098,112\text{ J}$$

$$k = 1,4$$

$$\Delta S = m c_v \frac{n-k}{n-1} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) =$$

$$= 0,0056\text{ kg} \cdot 746\text{ J/kgK} \cdot \frac{1,4-1,33}{1,33-1} \ln\left(\frac{236\text{ K}}{300\text{ K}}\right) = 1,33$$

$$p_2 V_2 = n R T_2$$

$$V_2 = \frac{n R T_2}{p_2} = \frac{1,33 \cdot 296,7\text{ J/kgK} \cdot 236\text{ K}}{106,450 \cdot 10^3\text{ Pa}} = 0,00187\text{ m}^3$$

11) SA KOJE SE ZREKLE KUPKE U VODENOM OBUHVAĆU SADRŽAVAJU 10 kg
 VODE KA. PREJMEH KUPKE 1 kW SA TEMN. 15°C DO TEMN. 100°C?

$$t_1 = 15^\circ\text{C}$$

$$m = 10 \text{ kg}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$P = 1000 \text{ W}$$

$$Q_n = m c \Delta t = 10 \cdot 4,186 \cdot 85 = 3558,1 \text{ kJ}$$

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{3558,1 \cdot 10^3}{1000 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 3558,1 \text{ s}$$

$$t \approx 60 \text{ min} = 1 \text{ h}$$

$$P = \frac{A}{t}$$

→ PRA
 ↓
 QKA
 ↓
 QKA
 ↓
 QKA
 ↓
 QKA

$$A = Q$$

→ PRA EN. UPRA
 KA PREJMA
 ↓
 VJLODA TORANTA

$$Q = m c \Delta T$$

KRUŽNI PROCESI

Tabela 1. Zadati brojni podaci

Redni broj	Gas	Veličine stanja u karakterističnim tačkama procesa									Zakon promene stanja $p v^n = \text{const}$			
		p_1	v_1	T_1	p_2	v_2	T_2	p_3	v_3	T_3	n			
		[bar]	[m ³ /kg]	[K]	[bar]	[m ³ /kg]	[K]	[bar]	[m ³ /kg]	[K]	1-2	2-3	3-4	4-1
1	N ₂	8	0.12		20			12			κ	1	κ	∞
2	vazduh	7		473			573		2.4		0	1	∞	κ
3	N ₂	2	0.45		12					573	κ	∞	κ	0
4	vazduh	35		483			573	25			0	1.2	0	∞
5	N ₂	1		273	5					473	1.3	0	1.3	0
6	vazduh	0.9		303	4					473	1.2	0	1.2	∞
7	N ₂	1.6	0.5				323	25			1.2	∞	1.2	0
8	vazduh	1.8		303		0.1		3			1.1	1	1.1	∞
9	N ₂	3	0.3		20					573	1.3	0	1.3	0
10	vazduh	20		473			623		0.12		0	κ	∞	1
11	N ₂	10		323	20					573	1.2	0	1	0
12	vazduh	4		373	16			6			κ	1	κ	0
13	O ₂	3		300	8					473	κ	∞	1	∞
14	CO	12		373	30					573	κ	0	1	∞
15	O ₂	50		573	18				0.2		1	κ	∞	κ
16	CO ₂	5	0.12					20		573	κ	0	κ	1
17	O ₂	3		303	6					523	κ	∞	κ	1
18	CO	1.2	0.7		2					523	1	κ	1	0
19	O ₂	1		338			273			433	0	κ	0	1.3
20	CO	3		293	18					603	κ	∞	κ	∞

Idealan gas obavlja se desnokretni kružni proces. Na osnovu datih brojnih podataka iz Tabele 1. potrebno je:

1. Nacrtati kružni proces p-v i T-s koordinatnim sistemima
2. Izračunati veličine stanja u karakterističnim tačkama procesa
3. Za svaku od navedenih promena stanja odrediti:
 - a. promenu specifične unutrašnje energije,
 - b. izvršeni zapreminski rad,
 - c. razmenjenu količinu toplote i
 - d. stepen korisnosti kružnog procesa.

Dobijene rezultate proračuna upisati u tabele.

	p [bar]	v [m ³ /kg]	T [K]
1	1	0,81	293
2	5	0,235	396
3	5	0,28	473
4	1	0,96	320,6

Promena stanja	Δu [kJ/kg]	w [kJ/kg]	q [kJ/kg]
1-2	91758	-121647	-30280,14
2-3	57442	22845,9	80618
3-4	-111452,4	147756,6	36779,292
4-1	-37747,6	15013,02	-52828,2
$\eta = 30$ [%]			

$$r_{ac} \rightarrow N_2$$

$$p_1 = 1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 293 \text{ K}$$

$$p_2 = 5 \text{ bar} = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_3 = 473 \text{ K}$$

$$1-2 - \text{полипроцесс} \quad n = 1,3$$

$$2-3 - \text{изобарная} \quad n = 0 \quad p_2 = p_3$$

$$3-4 - \text{полипроцесс} \quad n = 1,3$$

$$4-1 - \text{изобарная} \quad n = 0 \quad p_4 = p_1$$

$$R(N_2) = 296,7 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$V_1, V_2, T_2, p_3, V_3 = ?$$

$$pV = mRt$$

$$p_1 V_1 = RT_1$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{296,7 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{ K}}{1 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,81 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{296,7 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 473 \text{ K}}{5 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,28 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

1-2

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n$$

$$V_2 = \left(\frac{p_1 V_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$V_2 = 0,81 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \left(\frac{1 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{5 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \right)^{\frac{1}{1,3}}$$

$$V_2 = 0,235 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$p_2 V_2 = RT_2$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{R}$$

$$T_2 = \frac{5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,235 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{296,7 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

$$T_2 = 396 \text{ K}$$

3-4

$$p_3 V_3^n = p_4 V_4^n$$

$$V_4 = V_3 \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$V_4 = 0,28 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \left(\frac{5 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \right)^{\frac{1}{1,3}}$$

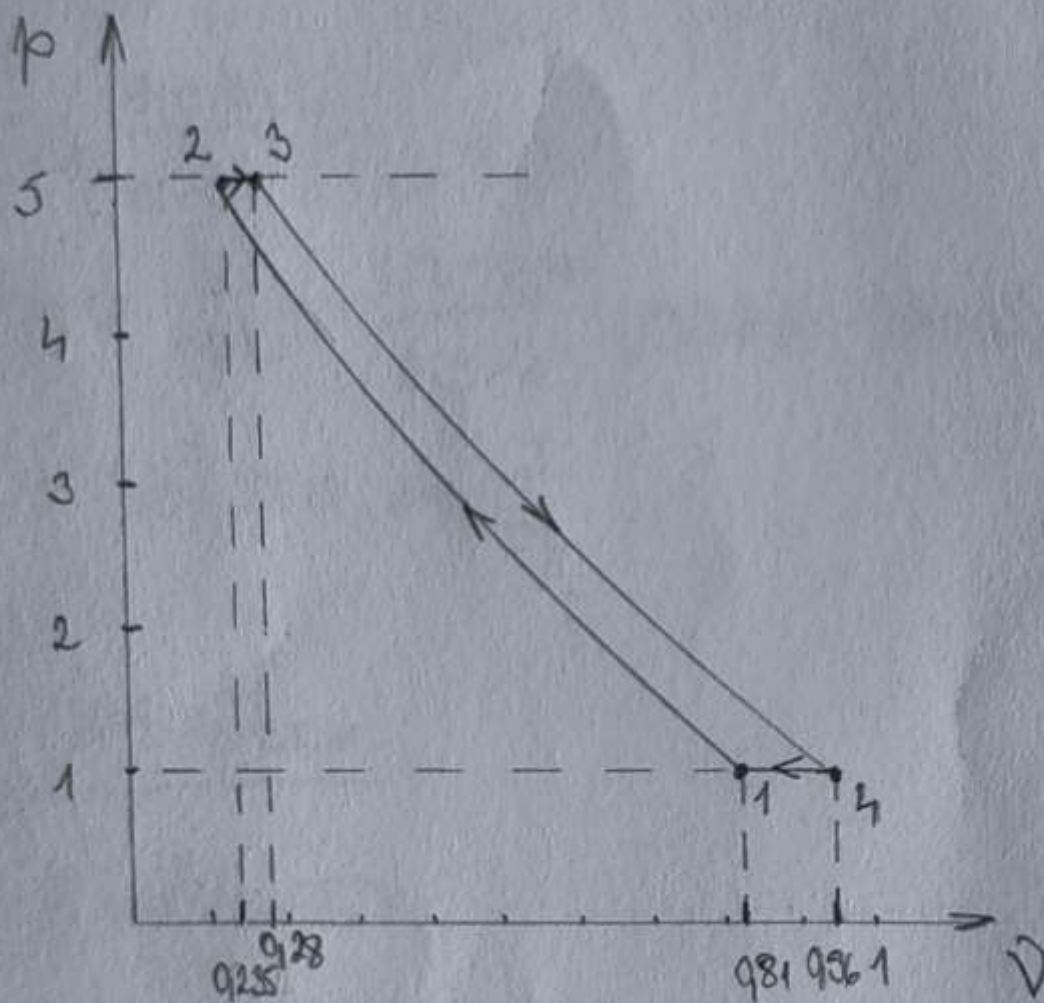
$$V_4 = 0,96 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$T_4 = \frac{p_4 V_4}{R}$$

$$T_4 = \frac{1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,96 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{296,7}$$

$$T_4 = 323,6 \text{ K}$$

Крути́й процес у р- ν діаграмі



1-2 процесс

$$\Delta U = C_V (T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = 746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} (396\text{К} - 293\text{К})$$

$$\Delta U = 91758 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$W = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2)$$

$$W = \frac{296,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}}{1,3-1} (293\text{К} - 396\text{К})$$

$$W = -121647 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$q = C_V \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)$$

$$q = 746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot \frac{1,3-1,4}{1,3-1} (396\text{К} - 293\text{К}) = -30280,14 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$* C_V(N_2) = 746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$* k = 1,4$$

$$* n = 1,3$$

2-3 процесс

$$\Delta U = C_V (T_3 - T_2)$$

$$\Delta U = 746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} (493\text{К} - 396\text{К})$$

$$\Delta U = 746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} 77\text{К}$$

$$\Delta U = 57442 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$W = R (T_3 - T_2)$$

$$W = 296,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot 77\text{К}$$

$$W = 22845,9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$q = C_p \cdot (T_3 - T_2)$$

$$q = 1047 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot 77\text{К} = 80619 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$* C_p = 1047 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$* n = 0$$

3-4 процесс

$$\Delta u = c_v (T_4 - T_3)$$

$$\Delta u = 746 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (323,6 \text{ K} - 473 \text{ K})$$

$$\Delta u = 746 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (-149,4 \text{ K})$$

$$\Delta u = -111454,4 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$w = \frac{2}{n-1} (T_3 - T_4)$$

$$w = \frac{296,7 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}}{1,3-1} (473 \text{ K} - 323,6 \text{ K})$$

$$w = 147756,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

и $n=1,3$

$$q = c_v \frac{n-k}{n-1} (T_4 - T_3)$$

$$q = 746 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot \left(-\frac{0,1}{0,3} \right) \cdot (-149,4 \text{ K}) = 36779,292 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

4-1 изобарда

$$\Delta u = c_v (T_1 - T_4)$$

$$\Delta u = 746 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (273 \text{ K} - 323,6 \text{ K})$$

$$\Delta u = -37747,6 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$w = 2 (T_1 - T_4)$$

$$w = 296,7 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (-50,6 \text{ K})$$

$$w = -15013,02 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$q = c_p (T_1 - T_4)$$

$$q = 1047 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (-50,6 \text{ K})$$

$$q = -52878,2 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\eta = 1 - \frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}} = 1 - \frac{30,2 \text{ kJ/kg} + 52 \text{ kJ/kg}}{80,6 \text{ kJ/kg} + 36,7 \text{ kJ/kg}} = 1 - 0,7 = 0,3 \cdot 100\% = 30\%$$

1) 1 кг ВАСЛУХА ОБАВЉА КАРНОТ К. П. ИЗМЕЂУ ТЕМПЕРАТУРЕ ИЗВОРА 600 K И ПОЈОРА 300 K.

МАКСИМАЛНА ПРИСЛАК ВАСЛУХА И ПУСКАЈЕ ЈЕ 20 bar, А МИНИМАЛНА 1 bar.

ОПРЕДИТИ ТЕМПИРАТУРЕ ВОЈНА И ТЕРМИЈА. ВЕЉЕЊЕ КАРНОТОВ.

$$R (\text{ВАСЛУХ}) = 287 \text{ J/kgK}$$

$$\kappa (\text{ВАСЛУХ}) = 1,4$$

$$p_1 = 20 \text{ bar}$$

$$p_3 = 1 \text{ bar}$$

$$T_1 = 600 \text{ K}$$

$$T_3 = 300 \text{ K}$$

1-2 → ИЗОТЕРМ.

2-3 → АДИЈАБ.

3-4 → ИЗОТЕРМ.

4-1 → АДИЈАБ.

$$V_4 = \frac{RT_4}{p_4} = 0,487 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

	1	2	3	4
p	20	11,313	1	1,767
V	0,0861	0,152	0,861	0,487
T	600	600	300	300

$$p_1 V_1 = RT_1$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = 0,0861 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\frac{p_2}{p_3} = \left(\frac{T_2}{T_3} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \Rightarrow p_2 = p_3 \left(\frac{T_2}{T_3} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 11,313 \text{ bar}$$

$$V_2 = \frac{RT_2}{p_2} = 0,152 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_3 = \frac{RT_3}{p_3} = 0,861 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\frac{p_4}{p_1} = \left(\frac{T_4}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \Rightarrow p_4 = p_1 \left(\frac{T_4}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 1,767 \text{ bar}$$

$$\eta = \frac{q_{\text{dov}} - q_{\text{odv}}}{q_{\text{dov}}} = 1 - \frac{|q_{\text{odv}}|}{q_{\text{dov}}} = 1 - \frac{149,005}{38,116} = 0,301 \Rightarrow \varepsilon = 50,1\%$$

$$q_{\text{dov}} = q_{12} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = 38,116 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{\text{odv}} = q_{34} = RT \ln \frac{v_4}{v_3} = -49,605 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

2) 1 kg газука сиратыртыр Отто ц. а. адиабати кырылгыс $\varepsilon = 6 \frac{v_1}{v_2}$,
ипи газы и пораки кырылгыс $\psi = 1,6 = \frac{p_3}{p_2}$

поракы газы и сиратыртыр кырылгыс 1 бар и темп. 100°C .

сиратыртыр газы, газы кырылгыс темп. и адиабати кырылгыс.

$$\varepsilon = 6 \quad \psi = 1,6$$

$$1-2 \rightarrow \text{Ади.}$$

$$\kappa (\text{газука}) = 1,4$$

$$2-3 \rightarrow \text{изох.}$$

$$\kappa (\text{газука}) = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$3-4 \rightarrow \text{Ади.}$$

$$p_1 = 1 \text{ bar}$$

$$4-1 \rightarrow \text{изох.}$$

$$T_1 = 373 \text{ K}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = 1,07 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = 0,178 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\kappa-1}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\kappa-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\kappa-1} = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1} = 373 \cdot 6^{1,4-1} = 763,8 \text{ K}$$

$$p_2 = \frac{RT_2}{v_2} = 12,31 \text{ bar}$$

$$\psi = \frac{p_3}{p_2}$$

$$T_3 = \frac{p_3 v_3}{R} = 1222,4 \text{ K}$$

$$p_3 = p_2 \cdot \psi = 19,7$$

$$\frac{p_3}{p_4} = \left(\frac{v_4}{v_3} \right)^{\kappa}$$

$$\Rightarrow p_4 = p_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{\kappa} = 1,6 \text{ bar} \quad T_4 = \frac{p_4 v_4}{R} = 596 \text{ K}$$

	1	2	3	4
p	1	12,31	19,7	1,6
v	1,07	0,178	0,178	1,07
T	373	763,8	1222,4	596

$$q_{\text{dov}} = q_{23} = C_v (T_3 - T_2) = 329,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{\text{odv}} = q_{41} = C_v (T_4 - T_1) = 161,456 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

3.) Кривички циклус се обавља тако што се 2 kg топлог ваздуха почетни притисак 1 bar и темп. 40°C савија по изотермичком процесу тако да се достигне температура 150°C.

Затим се ваздух савија при сталној запремини, а затим се изотермички проширује шири до поч. притиска и најзад изотермички хлађењем доводи до почетног стања.

Највећи притисак ваздуха је 5,5 bar. Експл. изотермичке пр.м. је 1,4. Израчунајте дејелите циклуса, кривичу топлоту, рад и термод. степењ. Којиме се радиот циклус

$$R(\text{ваздух}) = 287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$k(\text{ваздух}) = 1,4$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$T_1 = 313 \text{ K}$$

$$T_2 = 423 \text{ K}$$

$$p_1 = 1 \text{ bar}$$

1-2 → изотерм.

2-3 → изохор.

3-4 → изотерм.

4-1 → изохор.

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = 1,75 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_4 = \frac{mRT_4}{p_4} = 4,66$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \Rightarrow p_2 = 2,186$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{p_2} = 0,85$$

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{mR} = 815 \text{ K}$$

$$p_3 = \frac{mRT_3}{V_3} = 559,1$$

	p	V	T
1	1	1,75	313
2	2,186	0,85	423
3	559,1	0,85	815
4	1	4,66	815

$$Q_{11} = 0$$

$$Q_{23} = m c_v (T_3 - T_2) = 546,7$$

$$Q_{34} = m R T_3 \ln \frac{V_4}{V_3} = 794,09$$

$$Q_{41} = m c_p (T_1 - T_4) = -1004,6$$

$$Q = \sum Q = 336,19$$

$$\eta = \frac{Q_d - |Q_a|}{Q_d} = 1 - \frac{|-1004,15|}{1340,78} = 0,25 = 25\%$$

$$W_{12} = \frac{m R}{k-1} (T_1 - T_2) = -157,826$$

$$W_{41} = p (V_4 - V_1) = -287$$

$$W_{23} = 0$$

$$W_{34} = p_3 V_3 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

PROSTIRANJE TOPLOTE

1. Ravan zid od armiranog betona debljine δ_1 (Tabela 1) obložen je sa spoljašnje strane slojem izolacije od stiropora debljine δ_2 (Tabela 1). Temperatura unutrašnje površine zida je 35°C a spoljašnje površine 12°C . Skicirati dijagram rasporeda temperatura zida i odrediti:

- Gubitke toplote kroz zid ako su njegove dimenzije $L \times h$ (Tabela 2) i
- Temperature na dodirnim površinama pojedinih slojeva zida.

Tabela 1. Debljina zida

	1	2	3	4	5	6	7
δ_1 (mm)	50	60	70	80	90	100	110
δ_2 (mm)	10	15	20	25	30	35	40

Tabela 2. Dimenzije zida

	1	2	3	4	5	6	7
L (m)	2	3	4	5	6	7	8
h (m)	3	4	5	6	7	8	10

$$\delta_1 = 650 \text{ mm} = 0,65 \text{ m}$$

$$\delta_2 = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

$$L = 14,3 \text{ m}$$

$$h = 12 \text{ m}$$

$$t_u = 35^\circ\text{C}$$

$$t_s = 12^\circ\text{C}$$

$$\lambda_b = 1,75 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\lambda_s = 0,03 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 243,1 \text{ m}^2$$

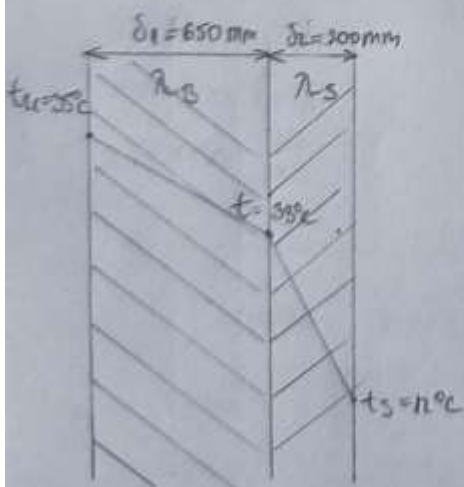
$$A = 14,3 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 243,1 \text{ m}^2$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$$

$$\frac{\delta_1}{\lambda_b} = \frac{0,65 \text{ m}}{1,75 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,37 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\frac{\delta_2}{\lambda_s} = \frac{0,2 \text{ m}}{0,03 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 6,67 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$Q = \frac{35^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}}{7,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} = 3,269 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$



$$\dot{Q} = Q \cdot A = 3,269 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 243,1 \text{ m}^2 = 794,3 \text{ W}$$

$$t_n = t_{n-1} - Q \frac{\delta_{n-1}}{\lambda_{n-1}}$$

$$t = t_u - Q \frac{\delta}{\lambda_b}$$

$$t = 35^\circ\text{C} - 3,269 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 0,37 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 33,18^\circ\text{C}$$

2. Kroz čeličnu cev, dužine 20 m, dimenzija $\phi d_s/d_u$ (Tabela 3) struji vodena para temperature t_p (Tabela 4) i koeficijenta prelaza toplote $\alpha_p=2000 \text{ W/m}^2\text{K}$. Cev je sa spoljašnje strane obmotana slojem izolacije od staklene vune debljine δ (Tabela 5) i u dodiru je sa vazduhom čija se temperatura održava na $t_v=26^\circ\text{C}$. Koeficijent prelaza toplote sa spoljašnje strane cevi na vazduh je $\alpha_v=300 \text{ W/m}^2\text{K}$. Skicirati dijagram rasporeda temperatura i odrediti:

- Ukupan toplotni fluks između pare i okolnog vazduha i
- Temperature na dodirnim površinama pojedinih slojeva cevi.

Tabela 3. Dimenzije cevi

	1	2	3	4	5	6	7
d_s (mm)	17.2	21.3	26.9	33.7	42.4	48.3	60.3
d_u (mm)	12.5	16.0	21.6	27.2	35.9	41.8	53.0

Tabela 4. Temperatura vodene pare

	1	2	3	4	5	6	7
t_p ($^\circ\text{C}$)	152	180	199	213	226	234	245

Tabela 5. Debljina sloja izolacije

	1	2	3	4	5	6	7
δ (mm)	2	4	6	8	10	12	14

$$L = 20 \text{ m}$$

$$d_s = 630 \text{ mm}$$

$$d_u = 200 \text{ mm}$$

$$t_p = 115^\circ\text{C}$$

$$\alpha_p = 2000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$\delta = 12 \text{ mm}$$

$$t_v = 26^\circ\text{C}$$

$$\alpha_v = 300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$\lambda = 50 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

q_{tr}

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{\text{ukupno}}}$$

ТОПЛОТНИ ОДНОРИ:

$$\text{конвекция } R_{\text{пара}} = \frac{1}{\alpha_p d_u L} = 0,0000358 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{изолация } R_{\text{изол}} = \frac{1}{2\pi \lambda L} \ln \frac{d_s}{d_u} = 0,00045 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{изолация } R_{\text{воздуха}} = \frac{1}{2\pi \lambda L} \ln \frac{d_s + 2\delta}{d_s} = 0,01167 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{конвекция } R_{\text{воздух}} = \frac{1}{\alpha_v d_s L} = 0,0000775 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{укупно}} = 0,01186 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p d_u L} + \frac{1}{2\pi \lambda L} \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{1}{2\pi \lambda L} \ln \frac{d_s + 2\delta}{d_s} + \frac{1}{\alpha_v d_s L}} \Delta T = 9785 \text{ W}$$

$$\Delta T_{\text{пара}} = \frac{R_{\text{пара}}}{R_{\text{укупно}}} \cdot \Delta T = 0,385^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{изол}} = \frac{R_{\text{изол}}}{R_{\text{укупно}}} \cdot \Delta T = 1,71^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{воздуха}} = \frac{R_{\text{воздуха}}}{R_{\text{укупно}}} \cdot \Delta T = 11,3^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{воздух}} = \frac{R_{\text{воздух}}}{R_{\text{укупно}}} \cdot \Delta T = 0,758^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 143^\circ\text{C} - 0,388 \approx 142,61^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_1 - 1,71^\circ\text{C} = 140,9^\circ\text{C}$$

$$T_3 = T_2 - 114^\circ\text{C} = 26,6^\circ\text{C}$$

