

Disciplina: Termodinâmica
Prof.: Rodrigo Lisita Ribera
Lista de exercícios referentes ao capítulo de Entropia

Exercícios retirados do livro “**Fundamentos da Termodinâmica**”. *Borgnake e Sontag*, tradução da 7ª edição americana.

8.18 Um motor térmico recebe 6 kW de um reservatório térmico a 250 °C e rejeita calor num reservatório a 30 °C. Considere que a potência no eixo da máquina seja:

- a) 6 kW,
- b) 0 kW e
- c) igual àquela referente à operação de um ciclo de Carnot.

Analise cada uma dessas situações com a desigualdade de Clausius.

8.24 Dentre as propriedades T , P , s e x , encontre as que faltam para a água nos seguintes estados:

- a) $P = 25$ kPa, $s = 7,7$ kJ/kg K
- b) $P = 10$ MPa, $u = 3400$ kJ/kg
- c) $T = 150$ °C, $s = 7,4$ kJ/kg K

8.27 Considere a água como fluido de trabalho. Determine o valor da entropia específica para cada um dos estados fornecidos e indique a posição desses estados no diagrama T - s .

- a) $T = 250$ °C, $v = 0,02$ m³/kg
- b) $T = 250$ °C, $P = 2000$ kPa
- c) $T = -2$ °C, $P = 100$ kPa

8.30 Dois quilogramas de água a 120 °C, com título de 25%, têm sua temperatura elevada em 20 °C em um processo a volume constante. Quais serão o novo título e a nova entropia específica?

8.33 Vapor d'água saturado a 150 °C é expandido num processo isotérmico. Determine as variações de u e s quando a pressão final do processo de expansão é igual a:

- a) 100 kPa,
- b) 50 kPa, e
- c) 10 kPa.

8.36 O pistão de um cilindro comprime R-410A a 200 kPa e -20 °C até uma pressão de 1200 kPa em um processo adiabático reversível. Determine a temperatura final e o trabalho específico de compressão.

8.39 Água a 200 kPa e com título igual a 1 é comprimida, num arranjo cilindro-pistão, até o estado em que a pressão e a temperatura são iguais a 1 MPa e 250 °C. Admitindo que o processo seja reversível, determine os sinais do trabalho e da transferência de calor presentes nesse processo.

8.42 Um conjunto cilindro-pistão contém 0,1 kg de água líquida saturada a 100 °C, e mantém a pressão no interior do cilindro constante. Todo o líquido é transformado em vapor saturado por meio de um processo reversível. Determine os termos de trabalho e calor da equação da ener-

gia. Determine também o termo de calor a partir da equação de entropia. Esse último é o mesmo da equação da energia?

8.45 Um conjunto cilindro-pistão contém um quilograma de amônia. Inicialmente, a amônia está a 50 °C e 1 MPa. O fluido é então expandido até 140 °C, num processo isobárico e reversível (Figura P8.45). Determine o trabalho realizado e o calor transferido nesse processo.

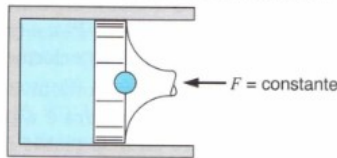


Figura P8.45

8.51 Inicialmente, um conjunto cilindro-pistão contém R-134a a -20 °C e 100 kPa. O refrigerante é comprimido num processo adiabático e reversível até 500 kPa. Determine a temperatura no estado final e o trabalho específico desse processo.

8.54 Inicialmente, um vaso rígido contém água a 1,0 MPa e 250 °C. Transfere-se calor a água até que esta atinja o estado de vapor saturado. Determine a temperatura final da água e a transferência de calor específica desse processo

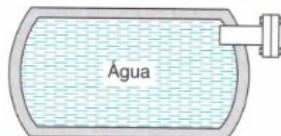


Figura P8.54

8.57 Um tanque rígido com volume igual a 10 L contém 5 kg de água a 25 °C. Esta água é, então, aquecida até 175 °C. Sabendo que o processo é reversível, determine a transferência de calor para a água e a variação da entropia.

8.60 Um conjunto cilindro-pistão isolado termicamente continha amônia a 1,2 MPa e 60 °C. O pistão se moveu e a amônia expandiu reversivelmente até que a temperatura atingiu -20 °C. O trabalho realizado durante o processo foi medido e verificou-se que era igual a 600 kJ. Qual era o volume inicial da câmara?

8.63 Um conjunto cilindro-pistão contém R-134a. Inicialmente, o fluido apresenta-se a 10 °C, 150 kPa e com volume igual a 20 L. O refrigerante é, então, comprimido, num processo isotérmico e reversível, até que se atinja o estado de vapor saturado. Determine o trabalho necessário e o calor transferido nesse processo.

8.66 Inicialmente, um conjunto cilindro-pistão contém água a 250 °C e 1,0 MPa. É realizado um processo isobárico até que a água atinja o estado de vapor saturado. Determine o trabalho específico e a transferência de calor específica nesse processo. Estime a transferência de calor específica com a curva de processo no diagrama T - s e compare o valor obtido com o calculado anteriormente.

8.69 Um conjunto cilindro-pistão, que opera a pressão constante, contém água. Inicialmente, a temperatura e a pressão são iguais a 20 °C e 2,0 MPa. A água é então aquecida até que a temperatura atinja 100 °C. Determine a transferência de calor e a variação de entropia nesse processo, utilizando as tabelas de propriedades da água. Refaça o problema considerando que os calores específicos da água são constantes e que a água é incompressível.

8.72 Na pia de uma cozinha doméstica, 5 L de água a 70 °C são combinados com 1 kg de panelas de alumínio, 1 kg de talheres de aço inox e 1 kg de copos de vidro, todos a 20 °C. Desprezando a transferência de calor para o ambiente e qualquer tipo de trabalho, qual é a temperatura final (admitida uniforme) e a variação líquida de entropia?

8.75 O *chip* da CPU de um microcomputador consiste em 50 g de silício, 20 g de cobre e 50 g de cloreto de polivinila (material plástico). Quando a CPU é ligada, tal *chip* aquece-se de 15 °C a 70 °C. Qual é a variação de entropia do *chip*?

8.84 Água a 400 kPa é levada de 150 °C a 1200 °C por um processo isobárico. Avalie a variação de entropia específica usando:

- tabelas de vapor d'água;
- tabela de gás ideal, Tabela A.8;
- calor específico da Tabela A.5.

- 8.87 Um conjunto cilindro-pistão contém de 1 kg de ar. Inicialmente, a pressão e a temperatura são iguais a 1,5 MPa e 1000 K. O ar, então, expande isotérmica e reversivelmente até que o volume interno do conjunto seja igual a 10 vezes o volume inicial. Determine, nessas condições, o calor transferido e a variação de entropia do ar no processo.
- 8.90 Um conjunto cilindro-pistão contém oxigênio. Inicialmente, o volume, a pressão e a temperatura são iguais a $0,1 \text{ m}^3$, 100 kPa e 300 K. O oxigênio é, então, comprimido num processo adiabático e reversível até que a temperatura atinja 700 K. Determine a pressão e o volume do oxigênio no estado final, utilizando os dados fornecidos na Tabela A.8.
- 8.93 Um conjunto cilindro-pistão comprime, reversível e adiabaticamente, hidrogênio, inicialmente a 280 K, 100 kPa e $0,1 \text{ m}^3$, até o volume de $0,01 \text{ m}^3$. Qual é a temperatura final e o trabalho requerido no processo?
- 8.99 Deseja-se obter um suprimento de gás hélio frio pela seguinte técnica. Hélio contido num cilindro na condição ambiente (100 kPa e $20 \text{ }^\circ\text{C}$) é comprimido num processo isotérmico reversível, até 600 kPa. Após essa operação o gás é expandido até 100 kPa, segundo um processo adiabático reversível.
- a) Mostre o processo num diagrama T - s .
b) Calcule a temperatura final e o trabalho líquido por quilograma de hélio processado.
- 8.102 Um conjunto cilindro-pistão comprime, de forma lenta, reversível e isotermicamente, $0,1 \text{ m}^3$ de hidrogênio a 280 K, 100 kPa, até o volume de $0,01 \text{ m}^3$. Qual é a pressão final e o trabalho requerido no processo?
- 8.108 Um conjunto cilindro-pistão contém 1 kg de metano a 100 kPa e $20 \text{ }^\circ\text{C}$. O gás, então, é comprimido reversivelmente até a pressão atingir 800 kPa. Calcule o trabalho necessário para realizar essa operação admitindo que o processo seja adiabático.
- 8.111 Gases de combustão a 1500 K expandem num processo politrópico com $n = 1,5$. Sabendo que o volume específico final dos gases é seis vezes maior que o inicial, determine o trabalho específico e a transferência de calor específica no processo de expansão.

- 8.114 A expansão dos gases num motor de combustão interna (curso motor) pode ser aproximada por uma expansão politrópica. Considere que ar, a 7 MPa e 1800 K, esteja contido numa câmara que apresenta volume igual a 0,2 L. Admita que o ar expanda, numa relação de volumes de 8:1, segundo um processo politrópico reversível com expoente igual a 1,5. Mostre o processo nos diagramas $P-v$ e $T-s$, calcule o trabalho realizado e o calor transferido nesse processo.

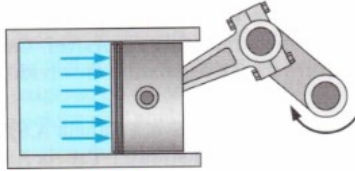


Figura P8.114

- 8.117 Um kg de água a 500 °C e 1 kg de vapor saturado de água, ambos a 200 kPa, são misturados a pressão constante num processo adiabático. Determine a temperatura final e a entropia gerada no processo.
- 8.120 A potência média utilizada para movimentar um automóvel numa pista de teste oval é 25 HP. Sabendo que o teste do automóvel durou uma hora e que a eficiência térmica do motor é 35%, determine a quantidade de energia, associada ao combustível, utilizada no teste. O que ocorreu com a energia do combustível? Admitindo que a temperatura do ambiente seja 20 °C, determine a variação global de entropia no teste (despreze a variação de entropia na energia química do combustível em energia térmica).
- 8.123 Uma peça de metal deve ser resfriada rapidamente até que sua temperatura atinja 25 °C. A quantidade de calor a ser transferida nesse processo é igual a 1000 kJ. Estão disponíveis três banhos que podem ser utilizados para resfriar a peça: (1) mistura de água líquida com gelo a 1 atm e, assim, fundindo o gelo; (2) líquido saturado de R-410A a -20 °C e, assim, transformando o líquido saturado em vapor saturado; (3) nitrogênio líquido saturado a pressão de 101,3 kPa e, assim, transformando o líquido em vapor saturado. Determine as variações de entropia nos três banhos propostos (provocadas pelo processo de resfriamento) e discuta o significado desses resultados.
- 8.126 Um conjunto cilindro-pistão contém 1 kg de água a 150 kPa e 20 °C. Uma força externa atua sobre o pistão de modo que a pressão varia linearmente com o volume interno do conjunto. Calor é transferido de um reservatório térmico, que apresenta temperatura igual a 600 °C, até que a água atinja o estado em que a temperatura e a pressão são iguais a 500 °C e 1 MPa. Determine a transferência de calor e a variação total de entropia desse processo.

8.129 Um conjunto cilindro-pistão, montado na vertical, contém 2,5 kg de amônia. Inicialmente, a temperatura e a pressão na amônia são iguais a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 50 kPa . A amônia é então aquecida, a partir da transferência de calor de gás de combustão a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, até que a temperatura atinja $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ num processo isobárico. Sabendo que a transferência de calor ocorre na superfície inferior do pistão, determine a transferência de calor e a geração de entropia nesse processo.

8.132 Um radiador de alumínio, com massa de 5 kg , contém 2 kg de R-134a líquido a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. O conjunto é aquecido com 220 kJ a partir de um reservatório térmico a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Admitindo que o R-134a permaneça no estado líquido, qual é a entropia gerada no processo?

8.135 Um conjunto cilindro-pistão-mola (Figura P8.135) contém 1 kg de amônia no estado de líquido saturado a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Transfere-se, então, calor para a amônia de um reservatório a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ até que o refrigerante apresente pressão e temperatura iguais a 800 kPa e $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Admitindo que esse processo seja internamente reversível, determine o trabalho realizado, o calor transferido e a geração de entropia no processo.

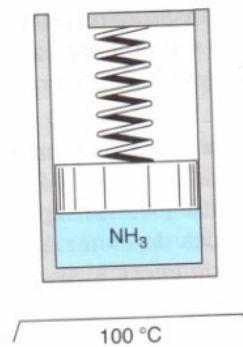
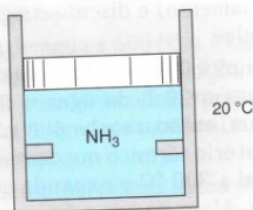


Figura P8.135

8.138 A Figura P8.138 mostra o esboço de um conjunto cilindro-pistão que contém $0,5\text{ kg}$ de amônia. O conjunto cilindro-pistão é fabricado com aço e apresenta massa igual a 1 kg . Inicialmente, o conjunto e a amônia apresentam temperatura uniforme e igual a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a pressão na câmara é $1,6\text{ MPa}$. O volume da câmara quando o pistão está encostado no esbarro é $0,02\text{ m}^3$. O conjunto e a amônia são então resfriados, utilizando-se um reservatório térmico a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, até que a temperatura atinja $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Considerando que a temperatura do conjunto é sempre uniforme e igual à temperatura da amônia ao longo do processo, determine o trabalho realizado, a transferência de calor e a geração global de entropia nesse processo.



8.141 Um quilograma de ar a 300 K e 0,1 MPa é misturado com um quilograma de ar a 300 K e 0,2 MPa num processo adiabático e que ocorre num vaso isolado. Determine T e P finais e o aumento de entropia associado ao processo.

8.144 Um tanque rígido com volume interno igual a $1,5 \text{ m}^3$ contém 1 kg de argônio a $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Calor é transferido para o argônio de um reservatório térmico a $1300 \text{ }^\circ\text{C}$, até que o aumento de entropia específica do argônio se torne igual a $0,343 \text{ kJ/kg K}$. Determine o calor transferido ao argônio e a entropia gerada nesse processo.

8.147 Um conjunto cilindro–pistão contém nitrogênio. Inicialmente, o pistão está travado com um pino e o volume interno do conjunto é igual a 5 L. Nesse estado, a pressão e a temperatura do nitrogênio são iguais a 300 kPa e $200 \text{ }^\circ\text{C}$. O pistão fica numa posição de equilíbrio quando a pressão no interior da câmara é igual a 200 kPa. O pino é então removido e o pistão se desloca rapidamente para a posição de equilíbrio. Considerando que o processo é adiabático, determine a pressão, a temperatura e o volume no estado final do processo. Calcule, também, a geração de entropia nesse processo de expansão.

8.150 Um tanque termicamente isolado e com volume interno igual a $0,5 \text{ m}^3$ contém nitrogênio a 600 kPa e $127 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura P8.150). Esse tanque está conectado a outro tanque, com volume interno de $0,5 \text{ m}^3$, por meio de uma tubulação com válvula. Inicialmente, esse outro tanque está evacuado. A válvula é, então, aberta e o nitrogênio preenche os dois tanques. Determine a pressão e a temperatura no estado final do processo e a geração de entropia nesse processo. Por que esse processo é irreversível?

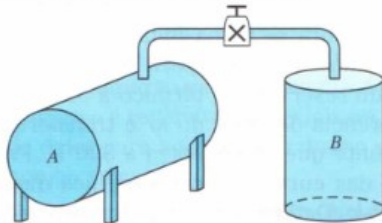


Figura P8.150

- 8.156 Um conjunto cilindro–pistão, que opera sem atrito, contém ar. Inicialmente, a pressão e a temperatura do ar são iguais a 110 kPa e 25 °C e a câmara apresenta volume de 100 L. O ar é então comprimido reversivelmente, segundo um processo politrópico, até 800 kPa e 200 °C. Admitindo que a transferência de calor ocorra com o ambiente a 25 °C, determine:
- O expoente politrópico para esse processo.
 - O volume final do ar.
 - O trabalho realizado sobre o ar e o calor transferido no processo.
 - A entropia total gerada no processo.

- 8.159 Uma bomba de calor reversível é acionada e 1 kW, transfere calor para uma sala a 25 °C e retira calor do ambiente externo que se encontra a 15 °C. Admitindo que todos os processos sejam reversíveis, determine os fluxos de entropia no evaporador e no condensador da bomba de calor.

- 8.165 O cilindro do bloco do motor de um automóvel recebe dos gases de combustão (a 1500 K), a taxa de calor de 2 kW. Tal transferência de calor é recebida na superfície do cilindro, que se encontra a 450 K. Nos canais que conduzem o fluido de resfriamento (a 370 K), aquela taxa de calor (2 kW) é rejeitada para a superfície dos canais a 400 K. Finalmente, no radiador, o fluido de resfriamento a 350 K rejeita a taxa de calor de 2 kW para o ar ambiente a 25 °C. Determine a taxa de geração de entropia no cilindro do motor, no fluido de resfriamento e no conjunto radiador–ar atmosférico.

- 8.168 Um fazendeiro utiliza uma bomba de calor para aquecer um galinheiro. A potência utilizada para acionar a bomba de calor é 2 kW e, nessa condição, a temperatura do galinheiro é mantida constante e igual a 30 °C. A transferência de calor do galinheiro para o ambiente externo, que se encontra a 10 °C, é 10 kW. Qual é a taxa de geração de entropia na bomba de calor? Qual é a taxa de geração de entropia no processo de transferência de calor do galinheiro para o ambiente externo?

- 8.171 A Figura P8.171 mostra um conjunto cilindro-pistão que, inicialmente, contém água a 1 MPa e 500 °C. O volume da câmara é 1 m³ quando o pistão repousa sobre o esbarro inferior, e é igual a 3 m³ quando o pistão está encostado no esbarro superior. A pressão atmosférica e a massa do pistão são tais que a pressão na câmara é igual a 500 kPa quando o pistão está localizado entre os esbarros. O conjunto é, então, resfriado, transferindo-se calor para as vizinhanças a 20 °C, até que a temperatura atinja 100 °C. Determine a entropia gerada nesse processo.

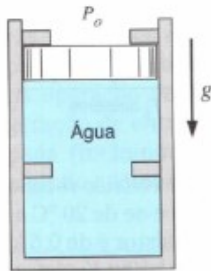


Figura P8.171

- 8.177 Os dois tanques mostrados na Figura P8.177 contêm vapor d'água e estão conectados a um conjunto cilindro-pistão. A pressão atmosférica e a massa do pistão são tais que a pressão na câmara tem de ser igual a 1,4 MPa para que o pistão se mova. Inicialmente, o volume da câmara é nulo, o tanque A contém 4 kg de vapor a 7 MPa e 700 °C e o tanque B contém 2 kg de vapor a 3 MPa e 350 °C. As válvulas são, então, abertas e espera-se até que a água apresente um estado uniforme. Admitindo que a transferência de calor seja nula, determine a temperatura final e a entropia gerada nesse processo.

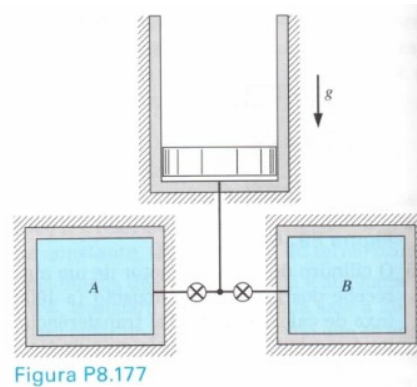


Figura P8.177

- 8.183 Um conjunto cilindro-pistão contém 2 kg de água a 20 °C e 100 kPa. A água é, então, aquecida até 300 °C a partir da transferência de calor de um reservatório a 500 °C. Sabendo que a pressão necessária para que o pistão indicado na Figura P8.183 inicie seu movimento é 1000 kPa, determine o volume final, o trabalho realizado, o calor transferido e a geração de entropia nesse processo.

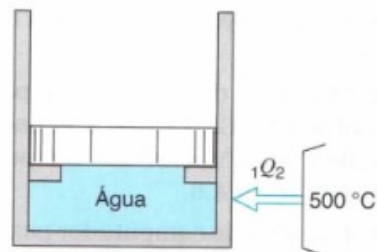


Figura P8.183

- 8.18 a) Impossível, b) OK,
c) $W = 2,53 \text{ kW}$
- 8.21 a) OK, b) Impossível, c) OK,
d) OK
- 8.24 a) $65 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 0,98$
b) $682 \text{ }^\circ\text{C}$, $7,122 \text{ kJ/kg K}$
c) $163,9 \text{ kPa}$
- 8.27 $4,05$, $6,54$, $-1,237 \text{ kJ/kg K}$
- 8.30 $0,43885$, $4,02 \text{ kJ/kg K}$
- 8.33 Δu , $\Delta s = (23,2, 0,776)(26, 1,1)$
($28,3, 1,85$)
- 8.36 $61 \text{ }^\circ\text{C}$, $-48,9 \text{ kJ/kg}$
- 8.39 neg., neg.
- 8.42 $16,94 \text{ kJ}$, $225,7 \text{ kJ}$
- 8.45 $50,5 \text{ kJ}$, $225,9 \text{ kJ}$
- 8.48 $30,3 \text{ kJ}$, 0
- 8.51 $30 \text{ }^\circ\text{C}$, $-31,6 \text{ kJ/kg}$
- 8.54 $172 \text{ }^\circ\text{C}$, -132 kJ/kg
- 8.57 3214 kJ , $8,7 \text{ kJ/K}$
- 8.60 $0,385 \text{ m}^3$
- 8.63 $-3,2 \text{ kJ}$, $-3,8 \text{ kJ}$
- 8.66 $-38,3 \text{ kJ/kg}$, $-164,6 \text{ kJ/kg}$
- 8.69 $334,6 \text{ kJ/kg}$, 1 kJ/kg K ,
o mesmo
- 8.72 $65 \text{ }^\circ\text{C}$, $0,023 \text{ kJ/K}$
- 8.75 $0,016 \text{ kJ/K}$
- 8.78 $81,95 \text{ MJ}$
- 8.81 772 K , -267 kJ/kg
 400 K , -264 kJ/kg
- 8.84 $2,78$, $2,725$, $2,335 \text{ kJ/kg K}$
- 8.87 661 kJ , $0,66 \text{ kJ/K}$
- 8.90 2320 kPa , $0,01 \text{ m}^3$
- 8.93 718 K , -4417 kJ/kg
- 8.96 450 K , $-112,5 \text{ kJ/kg}$
 460 K , $-110,7 \text{ kJ/kg}$
- 8.99 143 K , -624 kJ/kg
- 8.102 1000 kPa , -23 kJ , $-0,077 \text{ kJ/K}$
- 8.105 0
- 8.108 -312 kJ
- 8.111 $509,5 \text{ kJ/kg}$, -251 kJ/kg
- 8.114 $1,8 \text{ kJ}$, $-0,96 \text{ kJ}$
- 8.117 $312 \text{ }^\circ\text{C}$, $0,225 \text{ kJ/K}$
- 8.120 $191,7 \text{ MJ}$, 654 kJ/K
- 8.123 $3,7$, $3,95$, $12,9 \text{ kJ/K}$
- 8.126 3243 kJ , $3,75 \text{ kJ/K}$
- 8.129 372 kJ , $0,51 \text{ kJ/K}$
- 8.132 $0,202 \text{ kJ/K}$
- 8.135 $97,8 \text{ kJ}$, 1447 kJ , $1,31 \text{ kJ/K}$
- 8.138 -58 kJ , -519 kJ , $0,002 \text{ kJ/K}$
- 8.141 133 kPa , 300 K , $0,034 \text{ kJ/K}$
- 8.144 189 kJ , $0,223 \text{ kJ/K}$
- 8.147 200 kPa , 428 K , $0,0068 \text{ m}^3$,
 $0,173 \text{ J/K}$
- 8.150 300 kPa , 400 K , $0,52 \text{ kJ/K}$
- 8.153 $0,365 \text{ kJ/K}$
- 8.156 $1,303$, $0,0218 \text{ m}^3$, $-21,34 \text{ kJ}$,
 $-5,1 \text{ kJ}$, $0,0036 \text{ kJ/K}$
- 8.159 $0,1 \text{ kW/K}$, $0,1 \text{ kW/K}$
- 8.162 $0,68$, $0,73$, $0,75 \text{ W/K}$, $0,045 \text{ W/K}$
- 8.165 $0,555$, $0,309$, $0,994 \text{ W/K}$
- 8.168 $4,73 \text{ W/K}$, $2,33 \text{ W/K}$
- 8.171 $26,3 \text{ kJ/K}$
- 8.174 $12,2 \text{ kJ/K}$
- 8.177 $442 \text{ }^\circ\text{C}$, $1,72 \text{ kJ/K}$
- 8.180 $3,33 \text{ kJ}$, $30,43 \text{ kJ}$, 9 kJ
- 8.183 $0,516 \text{ m}^3$, 514 kJ , 5932 kJ ,
 $5,98 \text{ kJ/K}$