TERMOMECHANIKA
sbírka příkladů

Sbírka příkladů je dostupná jak v hypertextovém formatu *html*, tak i ve formatu *pdf*, který je zejména vhodný pro tisk.

1. Určovací veličiny pracovní látky

Příklad: 1.1, 1.2, **1.3**, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, **1.11**, 1.12, 1.13, 1.14

Příklad 1.1

Určete absolutní tlak v nádobě, jestliže je údaj manometru 67 kPa a barometru 0,1 MPa. Okolní teplota je 0 °C.

[p = 0,167 MPa]

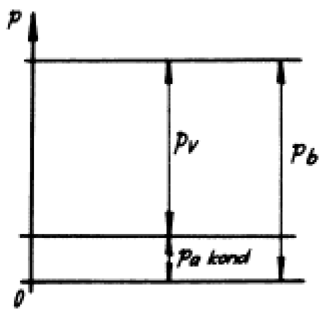
Příklad 1.2

V kondenzátoru parní turbíny se udržuje absolutní tlak p = 3,93 kPa. Jaký je údaj vakuometru, jestliže je v jednom případě barometrický tlak 98 kPa, v druhém 0,102 MPa ?

[a) p_v = 94,07 kPa, b) p_v = 98,07 kPa]

Příklad 1.3

Tlak v kotli je $p_p = 115.10^5$ Pa v kondenzátoru $p_v = 9{,}44.10^4$ Pa. Určete absolutní tlak v kotli a kondenzátoru, jestliže barometrický tlak p_b = 0,098 MPa. Určete také vakuum v kondenzátoru v % !



Řešení:

p_p = 11,5 MPa: p_v = 94,4 kPa; p_b = 0,098 MPa; $p_{a\,kot}$ = ? ; $p_{a\,kond}$ = ?

ad a) absolutní tlak v kotli $p_{a\,kot} = p_b + p_p$ = 0,098 + 11,5 = 11,598 MPa

absolutní tlak v kotli kondenzátoru $p_{a\,kond} = p_b - p_v$ = 0,098 - 0,0944 = 0,0036 MPa

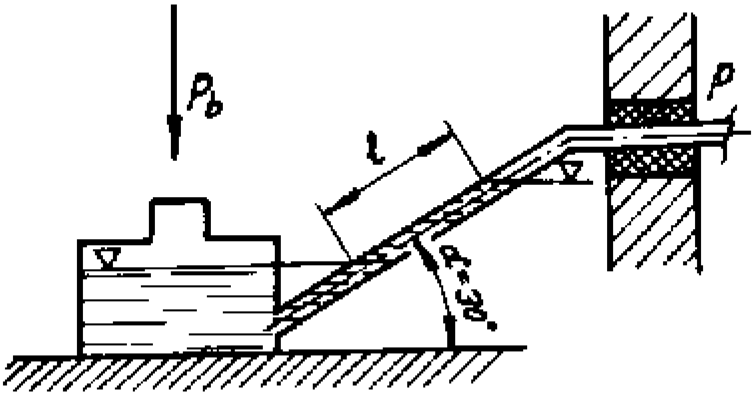
ad b) Vakuum v kondenzátoru v % :

$$x = \frac{p_b - p_a}{p_b} = \frac{p_v}{p_b} = \frac{0{,}0944}{0{,}098} = 0{,}963$$

x [%] = x.100 = 96,3 %

Příklad 1.4

Ke kouřovodu parního kotle je připojen tahoměr viz. obr. Úhel sklonu trubky $\alpha = 30°$, délka sloupce vody, odečtená na stupnici je 0,2.m. Určete absolutní tlak spalin, jestliže je barometrický tlak $p_b = 99$ kPa při teplotě sloupce rtuti t = 30°C.

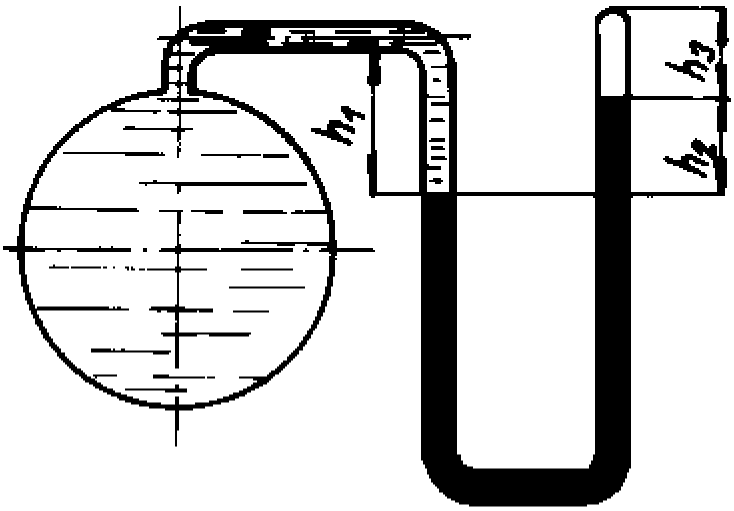


[p_a = 0,098 MPa]

Příklad 1.5

Určete absolutní tlak v kotli, k němuž je připojen manometr podle obrázku. Teplota vody, rtuti a vzduchu je 20°C, h_1= 0,4 m, h_2= 0,25m, h_3 = 0,3 m.

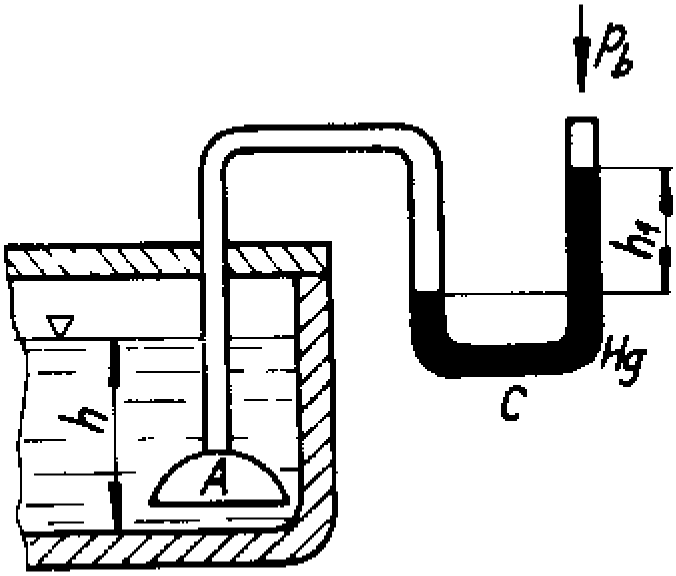
Pozn.: V zataveném konci trubice je vzduch, jehož objem byl 24.10 $^{-6}$ m^3 při teplotě 15 °C a tlaku 0,101 MPa při stejné úrovni hladin rtuti v obou ramenech U-trubice.



[p_a = 0,177 MPa]

Příklad 1.6

Stavoznak uzavřené nádrže na kapalné palivo je na obrázku. Je to manometr, který se skládá ze zvonu A a U-trubice C. Určete polohu hladiny ode dna nádrže, jestliže h_1= 0,22 m a hustota kapalného paliva je ρ = 0,84 kg/dm^3.



[h= 3,56 m]

Příklad 1.7

Ve sběrači páry jsou 3 kg vodní páry o měrném objemu v = 20,2 m^3/kg. Určete objem sběrače !

[V= 60,6 m^3]

Příklad 1.8

Jaký objem zaujímá 11 kg vzduchu, jestliže měrný objem je v = 1,39 m^3/kg ?

[V =15,3 m^3]

Příklad 1.9

Ve startovací láhvi Dieselova motoru o objemu 0,6 m^3 je 20 kg vzduchu. Určete měrný objem vzduchu v lahvi.

[v = 0,03 m^3/kg]

Příklad 1.10

Hustota kouřových plynů,vystupujících z komína parního kotle je ρ= 0,775 kg/m^3. Jaký je objem 12 kg plynů ?

[V =15,39 m^3]

Příklad 1.11

V tlakové láhvi o objemu 0,1 m^3 je 1,25 kg kyslíku. Jaká je jeho hustota a měrný objem ?

Řešení:

V = 0,1 m^3; m = 1, 25 kg $0_{2;}$ ρ = ? ; v = ?

hustota kyslíku	$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1{,}25}{0{,}1} = 12{,}5\ kg/m^3$
měrný objem kyslíku	$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = 0{,}08\ m^3/kg$

Příklad 1.12

Teplota kouřových plynů se měří rtuťovým teploměrem a je rovna 340 °C; sloupec rtuti začal vystupovat při teplotě 150 °C. Jaká je skutečná teplota plynů, jestliže teplota vyčnívajícího sloupce rtuti je 30 °C ?

[t = 349,4°C]

Příklad 1.13

Rtuťový teploměr, upevněný na parním potrubí ukazuje 350 °C. Délka vyčnívajícího sloupce rtuti představuje 250 °C. Pomocný teploměr ukazuje 60 °C. Určete skutečnou teplotu páry.

[t = 361,6°C]

Příklad 1.14

Rtuťový teploměr na sacím potrubí čpavkového kompresoru ukazuje -12 °C. Jaká je skutečná teplota čpavkových par, jestliže okolní vzduch má teplotu 20 °C a sloupec rtuti teploměru vystoupil na 20 °C ?

[t=-12,1°C]

---

2. Stavová rovnice, plynová konstanta, Avogadrův zákon, kilomol plynu

Příklad: 2.1, **2.2**, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, **2.21**, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34

Příklad 2.1

Určete měrný objem kysličníku uhelnatého CO při tlaku p = 0,1 MPa teplotě t =15 °C.

[v = 0,855 m^3/kg]

Příklad 2.2

Určete hustotu a měrný objem kysličníku uhličitého CO_2 při normálních fyzikálních podmínkách.

Řešení :

ρ = ? ; v = ?

normální podmínky jsou: tlak p = 0,101325 MPa, teplota t = 0 °C.

Ze stavové rovnice p v = r T $\quad v = \dfrac{r.T}{p}$;

Plynová konstanta CO_2 r = 188,97 J/(kg.K); absolutní teplota T = t + 273,15 = 273,15 K

Potom $\quad v = \dfrac{188{,}97.273{,}15}{0{,}101325.10^6} = 0{,}51\,m^3/kg$

hustota $\quad \rho = \dfrac{1}{v} = \dfrac{1}{0{,}51} = 1{,}96\,kg/m^3$

Příklad 2.3

Ve válci je 0,8 m^3 vzduchu o tlaku p_1 = 0,5 MPa. Určete změnu objemu při zvýšení tlaku na p_2= 0,8 MPa při konstantní teplotě.

[ΔV = 0,29 m^3]

Příklad 2.4

Spaliny jsou ochlazovány z teploty t_1 = 1200 °C na teplotu t_2 = 250 °C. Kolikrát se zmenší jejich objem,jestliže během ochlazování se tlak nemění ?

[2,82 krát]

Příklad 2.5

Kolikrát je objem určitého množství plynu menší při teplotě -20 °C oproti +20 °C při konstantním tlaku ?

[1,16]

Příklad 2.6

Kolikrát se zmenšila hustota plynu v nádobě, jestliže se změnil údaj manometru z p_1= 1,7 MPa (přetlakových) na p_2 =0,2 MPa (přetlakových) při konstantní teplotě? Barometrický tlak p_b= 0,1 MPa

[$\rho_2 = \rho_1/6$]

Příklad 2.7

Jaký má být průměr horní části komínu, jestliže průměr spodní části je D_1= 500 mm, tlak a rychlost plynů jsou po délce konstantní a teplota se snížila z t_1 = 352 °C na t_2 = 311 °C ?

[D_2 = 0,483 m]

Příklad 2.8

Jak se změní hmotnostní množství vzduchu spotřebovaného ve spalovacím motoru na stejný počet otáček, jestliže byla v létě naměřena teplota t_1 = 40 °C, na podzim t_2= 10 °C ? Tlak je konstantní.

[m_1/m_2 = 0,9]

Příklad 2.9

V pístovém kompresoru se izotermicky stlačuje vzduch na objem 5x menší. Sací tlak p_1= 88,2 kPa. Určete tlak na konci komprese!

[p_2 = 0,44 MPa]

Příklad 2.10

Kyslíková ocelová bomba o objemu V= 0,05 m^3, v níž je tlak p = 11,8 MPa a teplota t = 25 °C, má hmotnost 38 kg s kyslíkem. Určete vlastní hmotnost kyslíkové bomby !

[m = 30,57 kg]

Příklad 2.11

Spalovací motor o výkonu 220 kW spotřebuje na 1 kW 0,68 m^3 plynu při teplotě t = 27 °C při tlaku p_{vak} = 8.10^3 Pa. Určete spotřebu plynu při normálních fyzikálních podmínkách, jestliže barometrický tlak p_b = 0,101 MPa !

[V = 126 m^3/h]

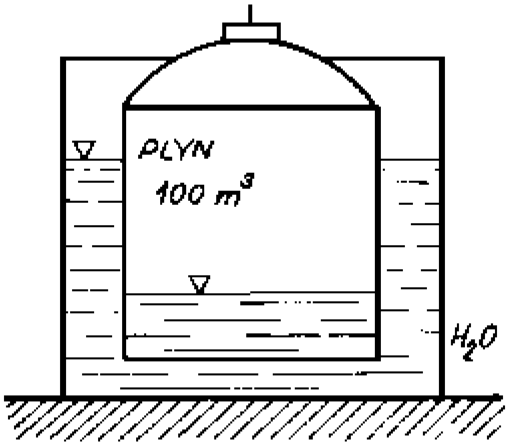
Příklad 2.12

Určete pro 6,5 m^3 kouřových plynů při normálních fyzikálních podmínkách objem V_2 a hustotu ρ_2 při teplotě t_2 = 200 °C, jestliže barometrický tlak p_b = 98 kPa. Hustota ρ_1 = 1,32 kg/m^3.

[$V_2 = 11{,}6\ m^3$; $\rho_2 = 0{,}74\ kg/m^3$]

Příklad 2.13

Plynojem o objemu $V = 100\ m^3$ je naplněn svítiplynem viz. obrázek. Určete hmotnost plynu, jestliže při teplotě $t = 20\ °C$ a barometrickém tlaku $p_b = 0{,}1$ MPa je údaj manometru $p_p = 0{,}98$ kPa (přetlak). Plynová konstanta $r = 685$ J/(kg.K).



[m = 50,1 kg]

Příklad 2.14

Kolik kg kyslíku se spotřebovalo z kyslíkové bomby, jestliže se tlak snížil z $p_1 = 9{,}5$ MPa na $p_2 = 7{,}2$ MPa a teplota z $t_1 = 15\ °C$ na $t_2 = 10\ °C$. Objem kyslíkové bomby $V = 20.10^{-3}\ m^3$.

[$\Delta m = 0{,}58$ kg]

Příklad 2.15

Ve válci o průměru 0,6 m je $V_1 = 0{,}41\ m^3$ vzduchu o tlaku $p_1 = 0{,}22.10^6$ Pa a teplotě $t_1 = 35\ °C$. Na jakou teplotu je třeba ohřát vzduch, aby se píst posunul o 0,40 m a tlak se zvýšil na $p_2 = 0{,}40.10^6$ Pa.

[$t_2 = 441°C$]

Příklad 2.16

Pístový kompresor nasává za minutu $V_1 = 3\ m^3$ vzduchu o teplotě $t_1 = 17\ °C$ a barometrickém tlaku $p_b = 0{,}098.10^6$ Pa a stlačuje jej do zásobníku o objemu $V_2 = 8{,}5\ m^3$. Za jakou dobu kompresor zvýší tlak v zásobníku na $p_2 = 0{,}7.10^6$ Pa při konstantní teplotě ? Počáteční tlak a teplota vzduchu v zásobníku je stejná jako u okolního vzduchu.

[τ= 17 min 23s]

Příklad 2.17

Dva zásobníky o objemech $V_1 = 112.10^{-3}\ m^3$, $V_2 = 34.10^{-3}\ m^3$ (při tlaku $p_2 = 0{,}1$ MPa) jsou naplněny vzduchem. Jaký tlak je ve větším zásobníku, jestliže po jeho spojení s menším bude v obou výsledný tlak 6 MPa?

[$p_1 = 7{,}79$ MPa]

Příklad 2.18

Elektrárna má výkon 12 MW. Určete hodinovou spotřebu paliva, jestliže výhřevnost paliva je 28 000 kJ/kg a ztráty energie činí 70 %.

[m_p = 5140 kg/h]

Příklad 2.19

Ve válci s pohyblivým pístem je kyslík o teplotě t_1= 80 °C a přetlaku 0,04265 MPa. Barometrický tlak je p_b = 0,0993 MPa. Kyslík se při stálé teplotě stlačuje na přetlak 1,18 MPa. Kolikrát se změní objem kyslíku ?

[V_1 / V_2 = 22,5]

Příklad 2.20

Určete hmotnost vzduchu v místnosti o rozměrech (5 x 5) m^2 a výšce 3,2 m, jestliže teplota vzduchu v místnosti je 20 °C. Barometrický tlak p_b = 0,1 MPa

[m = 95 kg]

Příklad 2.21

V tlakové nádobě je dusík o teplotě t = 20 °C a tlaku p = 2,2 MPa. Maximální dovolený přetlak je 6 MPa. Určete, na jakou maximální teplotu může být zahříván dusík, jestliže barometrický tlak p_b = 0,1 MPa.

Řešení:

t = 20 °C ; p = 2,2 MPa ; p_{pmax} = 6 MPa ; p_b = 0,1 MPa; t_2 = ?

Pro izochorický děj platí $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

p_1 = 2,2 MPa, $T_1 = t_1 + 273 = 20 + 273 = 293$ K

$p_2 = p_{a\,max} = p_{pmax} + p_b = 6 + 0{,}1 = 6{,}1$ MPa

$$T_2 = \frac{p_2}{p_1} T_1 = \frac{6{,}1.293}{2{,}2} = 812\ \mathrm{K}$$

$t_2 = T_2 - 273 = 812 - 273 = 539$ °C

Příklad 2.22

Určete hodinovou spotřebu paliva pro motor o výkonu 500 kW, jestliže výhřevnost paliva je 29 300 kJ/kg a z vyvinutého tepla se 15 % proměnilo v mechanickou energii.

[m_p = 9,25 kg/h]

Příklad 2.23

Při zkoušení motoru za pomoci brzdy bylo zjištěn: Kroutící moment 5000 J, počet otáček 1200 ot/min, hodinová spotřeba vody pro chlazeni brzdy 8 m^3 při teplotě 10 °C. Určete teplotu vody na výstupu z brzdícího zařízení. Předpokládáme, že veškeré teplo tření se předá chladící vodě.

[t_2 = 20,7 °C]

Příklad 2.24

Baňka elektrické žárovky je naplněna dusíkem při tlaku 0,08 MPa a zatavena. Objem baňky je 5.10^{-4} m^3. Kolik vody nateče do baňky, jestliže ulomíme zatavený konec pod hladinou při barometrickém tlaku p_b = 0,1 MPa ?

[m = 0,105 kg]

Příklad 2.25

Baňka elektrické žárovky je naplněna dusíkem o tlaku p_{vak} = $2{,}65.10^4$ Pa. Barometrický tlak je p_b = $1{,}015.10^5$ Pa a teplota t = 25 °C. Po zapnutí žárovky do sítě a po dosažení ustáleného stavu bude teplota v kulové části baňky t_1 = 160 °C a ve válcové části t_2 = 70 °C. Objem kulové části baňky je V_1 = 90 cm^3, válcové V_2 = 15 cm^3. Určete tlak v baňce v ustáleném stavu po zapnutí !

[p = $1{,}05.10^5$ Pa]

Příklad 2.26

Čpavek, vznikající syntézou dusíku a vodíku, má při teplotě t = 500 °C a tlaku p = $0{,}981.10^5$ Pa hustotu ρ = 0,268 kg/m^3. Jaké objemy dusíku a vodíku při teplotě t_0 = 20 °C a tlaku p_0 = 0,1007 MPa jsou potřebné pro vytvoření 1 kg čpavku ?

[V_{H2} = 2,12 m^3 ; V_{N2} = 0,717 m^3]

Příklad 2.27

Z nádoby se stlačeným vodíkem uchází netěsností ventilu určité množství plynu. Při teplotě 7 °C byl údaj manometru 50.10^5 Pa. Za nějakou dobu při teplotě 17 °C byl údaj manometru stejný. Objem nádoby je 1 m^3. Určete ztrátu plynu !

[Δm = 0,153 kg]

Příklad 2.28

V uzavřené vzduchem naplněné nádobě se spaluje určité množství tuhého uhlíku. Po jeho shoření je všechen kyslík ze vzduchu spotřebovaný. Teplota se vlivem sdílení tepla s okolím snižuje na původní hodnotu. Předpokládejte ideální plyn a pro tyto podmínky stanovte poměrnou změnu tlaku v nádobě po spálení uhlíku při dokonalém spalování na CO_2.

[tlak se nezmění]

Příklad 2.29

V bombě, která obsahuje 10 kg N_2 a 2 kg H_2, probíhá syntéza na plynný čpavek NH_3. Určete poměrnou změnu tlaku v bombě při snížení teploty po reakci na původní hodnotu!

[Tlak se zmenší 1,96 krát]

Příklad 2.30

Dusík je z počátečního objemu v_1 = 1,9 m^3 /kg a teploty t_1 = 200 °C ohříván při konstantním tlaku na trojnásobný objem. Určete konečnou teplotu !

[t = 1146 °C]

Příklad 2.31

Určete číselnou hodnotu součinitele objemové roztažnosti $\gamma = \frac{1}{V_o}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ a rozpínavosti $\beta = \frac{1}{p_o}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$ kyslíku a kysličníku uhelnatého při tlaku p = 12.10^5 Pa a teplotě t = 430 °C !

[$\gamma_{O2} = \gamma_{CO} = \beta_{O2} = \beta_{CO}$ = 1/703 = 0,001 422 1/K]

Příklad 2.32

Při teplotě t = 800 °C a tlaku p = 0,1 MPa je hustota plynu rovna ρ= 0,44764 kg/m^3. Jaký je to plyn ?

[Argon, M = 39,944 kg/kmol]

Příklad 2.33

Určité množství uhlíku (v kg) se slučuje s 5 kg vodíku na plyn, jehož hustota při teplotě t = 350 °C a tlaku p = 0,1077 MPa je rovna ρ = 0,325 kg/m^3. Určete výchozí množství uhlíku, molovou hmotnost a chemický vzorec vznikajícího plynu !

[m_c = 15 kg; plyn je metan CH_4; M_{CH4} = 16 kg/kmol]

Příklad 2.34

Olověná koule o hmotnosti m = 10 kg a teplotě 25 °C dopadne při rychlosti w = 300 m/s na pevnou železnou desku o hmotnosti 20 kg a teplotě 15 °C. Jaká bude výsledná teplota obou těles za předpokladu dokonalé přeměny energie a zamezení ztrát do okolí ?

[t= 57,1 °C]

---

3. Směsi plynů, měrné tepelné kapacity plynů

Příklad: **3.1**, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26

Příklad 3.1

1 kg suchého vzduchu se skládá z 23,2 hmotnostních % kyslíku a 76,8 % dusíku. Určete objemové složení vzduchu, plynovou konstantu, molovou hmotnost parciální tlaky kyslíku a dusíku, jestliže je tlak vzduchu p = 0,1013 MPa.

Řešení:

w_{O2}= 0,232; w_{N2} = 0,768; p = 0,1013 MPa ; x_{O2} = ?; x_{N2} = ?; r = ?; M = ?; p_{O2} = ?; p_{N2} = ?

Objemové složení vzduchu:

Objemový zlomek kyslíku
$$x_{O_2} \frac{\frac{w_{O2}}{M_{O2}}}{\sum_1^2 \frac{w_i}{M_i}} = \frac{\frac{w_{O2}}{M_{O2}}}{\frac{w_{O2}}{M_{O2}} + \frac{w_{N2}}{M_{N2}}} = \frac{\frac{0,232}{32}}{\frac{0,232}{32} + \frac{0,768}{28}} =$$

$$= \frac{0,00725}{0,00725 + 0,02742} = \frac{0,00725}{0,03467} = 0,209$$

Objemový zlomek dusíku
$$x_{N_2} = \frac{\frac{w_{N2}}{M_{N2}}}{\sum_1^2 \frac{w_i}{M_i}} = \frac{\frac{w_{N2}}{M_{N2}}}{\frac{w_{O2}}{M_{O2}} + \frac{w_{N2}}{M_{N2}}} = \frac{\frac{0,768}{28}}{\frac{0,232}{32} + \frac{0,768}{28}} = \frac{0,02762}{0,03467} = 0,791$$

Plynová konstanta vzduchu
$$r = R_m \sum_1^2 \frac{w_i}{M_i} = R_m \left(\frac{w_{O2}}{M_{O2}} + \frac{w_{N2}}{M_{N2}} \right) = 8314.0,3467 = 287,8\ J/(kg.K)$$

Molová hmotnost vzduchu
$$M = \frac{1}{\sum_1^2 \frac{w_i}{M_i}} = \frac{1}{\frac{w_{O2}}{M_{O2}} + \frac{w_{N2}}{M_{N2}}} = \frac{1}{\frac{0,232}{32} + \frac{0,768}{28}} = \frac{1}{0,03467} = 28,85\ kg/kmol$$

nebo
$$M = \frac{R_m}{r} = \frac{8314}{287,8} = 28,85\ kg/kmol$$

Parciální tlak kyslíku $p_{o2} = x_{O2}$ p = 0,209. 0,1013 = 0,02118 MPa

Parciální tlak dusíku $p_{N2} = x_{N2}$ p = 0,791. 0,1013 = 0,08012 MPa

---

Příklad 3.2

Určete plynovou konstantu směsi plynů, danou hmotnostními díly: w_{H2} = 0,0667, w_{CO}= 0,9333. Určete také měrný objem směsi při tlaku 0,1013 MPa, teplotě 0 °C.

[r = 553 J/(kg.K); v = 1,48 m^3/kg]

Příklad 3.3

Generátorový plyn má objemové složení: x_{H2} = 0,18, x_{CO} = 0,24, x_{C02} = 0,06, x_{N2} = 0,52. Určete hmotnostní složení plynu, hustotu směsi a parciální tlaky jednotlivých složek při tlaku směsi p = 10^5 Pa, teplotě 0 °C.

[w_{H2}= 0,015; w_{CO} = 0,276; w_{CO2} = 0,109; w_{N2} = 0,6; M = 24,3 kg/kmol; ρ = 1,07 kg/m^3; p_{H2} = 18000 Pa; p_{CO} = 24000 Pa; p_{CO2} = 6000 Pa; p_{N2} = 52000 Pa]

Příklad 3.4

Objemové složení suchých spalin je toto: x_{CO2} = 0,123, x_{02} = 0,072, x_{N2} = 0,805. Určete molovou hmotnost směsi, plynovou konstantu, hustotu a měrný objem při tlaku p = 0,098.10^6 Pa a teplotě t = 800°C. Určete také měrnou tepelnou kapacitu spalin !

[M = 30,23 kg/kmol; r = 275 J/(kg.K); v = 3 m^3/ kg; ρ=0,33 kg/m^3; c_p = 0, 99 kJ/(kg.K)]

Příklad 3.5

V zásobníku o objemu V = 125 m^3 je svítiplyn o tlaku p_1 = 3,92. 10^5 Pa a teplotě t_1= 18 °C. Objemové složení plynu je : x_{H2} = 0,46, x_{CH4} = 0,32, x_{CO} = 0,15, x_{N2} = 0,07. Po spotřebování určitého množství plynu klesl tlak na p_2 = 3,04.10^5 Pa a teplota klesla na t_2 = 12 °C. Určete množství spotřebovaného plynu!

[m = 913 kg]

Příklad 3.6

Určete plynovou konstantu, molovou hmotnost a hmotnostní složení svítiplynu tohoto složení v objemových procentech: 50 % H_2, 30 % CH_4, 15 % CO, 3 % CO_2, 2 % N_2.

[M = 11,88 kg/kmol; r = 700 J/(kg.K)]

Příklad 3.7

Určete plynovou konstantu, molovou hmotnost a objemové složení plynu o hmotnostním složení: 30,8 % CO_2, 39,7 % CO, 1,6 % H_2, 14,7 % N_2, 13,2 % H_2O.

[M = 24 kg/kmol; r= 345,7 J/(kg.K)]

Příklad 3.8

Vzduch se má ochladit ze 700 °C na 150 °C smíšením se vzduchem o teplotě 20 °C. V jakém poměru se smíšení provede ?

[$\frac{m_1}{m_2} = 0{,}2362$]

Příklad 3.9

0,3 m^3 vzduchu se mísí s 0,5 kg kysličníku uhličitého. Teplota a tlak obou plynů před mísením jsou stejné p = 5,88.10^5 Pa a t = 45 °C. Určete parciální tlak kysličníku uhličitého ve směsi po smíšení.

[P_{CO2} = 0,855.10^5 Pa]

Příklad 3.10

Vlhký vzduch je směs suchého vzduchu a vodní páry. Veličina x [kg/kg s.v.] představuje množství vodní páry v kg obsažené v 1 kg suchého vzduchu. Určete hmotnostní a objemové složení vlhkého vzduchu, hustotu při normálních fyzikálních podmínkách, plynovou konstantu a molovou hmotnost, jestliže x = 0,01 kg/kg s.v. !

[w_{vzd} = 0,9901, w_{H2O} = 0,0099, r = 289 J/(kg.K), x_{vzd} = 0,9842, x_{H2O} = 0,0158, M = 28,786 kg/kmol, ρ =1,285 kg/m^3]

Příklad 3.11

Spaliny, vznikající spálením 1 kg mazutu v topeništi parního kotle mají složení udané parciálními objemy: V_{CO2} = 1,85 m^3, V_{O2} = 0,77 m^3, V_{N2} = 12,78 m^3. Určete hmotnostní díly a parciální tlaky složek, jestliže je tlak směsi roven p = 10^5 Pa !

[w_{N2} = 0,773, w_{CO2}= 0,175, w_{O2} = 0,052, p_{CO2} = 0,05.10^5 Pa, p_{N2} = 0,828.10^5 Pa, p_{O2} = 0,1195.10^5 Pa]

Příklad 3.12

Nádoba je rozdělena přepážkou na dvě části, jejichž objemy jsou V_1 = 1,5 m^3, V_2 = 1 m^3. V části V_1 je kysličník uhličitý o tlaku p_1 = 4,9.10^5 Pa a teplotě t_1 = 30 °C a v části V_2 je kyslík O_2 o p_2= 1,96.10^5 Pa a t_2= 57 °C. Určete hmotnostní a objemové díly CO_2 a O_2, molovou hmotnost směsi a její plynovou konstantu po vytažení přepážky a dokonalém promíšení.

[w_{CO2} = 0,849, w_{O2} = 0,151, r = 199,3 J/(kg.K), M = 41,7 kg/kmol, x_{CO2} = 0,803, x_{O2} = 0,197]

Příklad 3.13

Určete hustotu vlhkého vzduchu, vystupujícího ze sušárny při teplotě t = 70 °C a tlaku p = 0,99.10^5 Pa a porovnejte ji s hustotou suchého vzduchu o stejných parametrech. Parciální tlak vodní páry p_{H2O} = 0,27.10^5 Pa.

[vlhký vzduch ρ = 0,9 kg/m^3, suchý vzduch ρ = 1 kg/m^3]

Příklad 3.14

Vlhký vzduch má tlak p = 0,98.10^5 Pa a teplotu t = 59 °C. Nejvyšší parciální tlak vodní páry při této teplotě je p_{H2O} = 0,19.10^5 Pa. Při dalším zvýšení parciálního tlaku nastává kondenzace páry. Určete, kolik kilogramů vodní páry je obsaženo v 1 kg suchého vzduchu při těchto parametrech.

[x = 0,15 kg H_2O/kg suchého vzduchu]

Příklad 3.15

Jaký bude tlak směsi o objemovém složení : CO_2 = 18 %, O_2 = 12 %, N_2 = 70 %, jestliže její objem při tlaku okolního vzduchu p_b = 1,01.10^5 Pa a teplotě t = 180 °C je roven V = 4 m^3. Hmotnost směsi m = 8 kg.

[$p_{přetl.}$ = 2,4.10^5 Pa]

Příklad 3.16

Dva zásobníky jsou naplněny stlačeným vzduchem a spojeny potrubím s uzavíracím ventilem. V prvním zásobníku je 0,2 m^3 vzduchu o tlaku p_1 = 5,9.10^6 Pa, ve druhém je 0,3 m^3 vzduchu o tlaku p_2 = 1,96.10^6 Pa. Jaký tlak se ustálí v obou zásobnících po otevření ventilu ?

[p = 3,57.10^6 Pa]

Příklad 3.17

Smísíme 5 kg CO_2 a 4 kg O_2. Vypočtěte, kolik molů každého plynu je ve směsi a jaká je molová hmotnost směsi.

[w_{CO2}= 0,1136, w_{O2} = 0,125, M = 37,7 kg/kmol]

Příklad 3.18

Smíšením dvou proudů vzduchu (studeného o teplotě t_1= 0 °C a horkého o teplotě t_2 = 900 °C) dostaneme směs vzduch o teplotě t = 80 °C. Určete hmotnostní poměr studeného a horkého vzduchu pro vytvoření 1 kg směsi ! Tlaky složek a směsi jsou stejné.

[m_1/m_2 = 0,0902; hmotnostní díly: w_1 = 0,0827, w_2 = 0,9173]

Příklad 3.19

Tři proudy plynů se spolu mísí na směs o teplotě t_s = 275 °C. Proud A je kyslík o teplotě t_{O2} = 300 °C a množství m_{O2} = 115 kg/h, proud B je kysličník uhelnatý o teplotě t_{CO} = 200 °C a množství m_{CO} = 200 kg/h. Třetí proud je vzduch o teplotě t_v = 400 °C. Určete hodinové množství vzduchu, jestliže tlaky složek a směsi jsou stejné

[m_v = 97,8 kg/h]

Příklad 3.20

Nejvhodnějším palivem pro jaderné elektrárny je přírodní uran, obohacený izotopem uranu U^{235}. Obohacování se obvykle provádí difúzní metodou, kdy molekuly plynu, obsahující různé izotopy uranu, difundují přes speciální porézní filtry různou rychlostí. Pro obohacování se používá sloučenina uranu - hexafluorid uranu UF_6. Je to plynná látka, kterou můžeme při normálních podmínkách považovat za ideální plyn. Určete spotřebu přírodního uranu pro získání 1 grammolekuly U^{235} ve směsi, kde molová koncentrace U^{235} je rovna 0,8. Molová koncentrace U^{235} v přírodním uranu je 0,00714, v odpadech 0,006.

[m = 204,6 kg přírodního uranu]

Příklad 3.21

V energetických zařízeních, pracujících podle paroplynového oběhu, je pracovní látkou směs vodní páry a spalin. Hmotnostní díl spalin (jejichž vlastnosti jsou jako u vzduchu) je w_s = 0,7. Určete měrnou tepelnou kapacitu c_p směsi za stálého tlaku při teplotách 500 a 800 °C a měrný objem směsi při teplotě t = 500 °C a tlaku p= 10^6 Pa !

[$c_p\,|_{5oo}$ = 1,4 kJ/(kg.K), $c_p\,|_{800}$ = 1,51 kJ/(kg.K), v = 0, 2775 m^3/kg]

Příklad 3.22

Objemové složení paliva je toto: x_{CO} = 0,1; x_{H2} = 0,45; x_{CH4} = 0,35; x_{N2} = 0,03; x_{C2H4} = 0,04; x_{CO2} = 0,03. Určete zdánlivou molovou hmotnost, hustotu, měrný objem při normálních fyzikálních podmínkách, plynovou konstantu, parciální tlaky metanu a dusíku v procentech a hmotnostní složení směsi !

[M = 12,63 kg/kmol, ρ = 0,563 kg/m^3, v = 1,776 m^3/kg, r = 658 J/(kg.K), w_{CO} = 0,222, w_{H2} =0,072, w_{C2H4}=0,089, w_{CH4} = 0,445, w_{N2} = 0,067, w_{CO2} = 0,105, p_{CH4} = 35 %, p_{N2} =3 %]

Příklad 3.23

Kouřové plyny mají toto hmotnostní složení CO_2 = 16,1 %, O_2 = 7,5 %, N_2 = 76,4 %. Určete entalpii 1 m^3 směsi při teplotě t = 800 °C !

[i = 1171 kJ/m^3]

Příklad 3.24

V nádobě je směs plynu, která vznikla smíšením 10 kg dusíku, 13 kg argonu a 27 kg kysličníku uhličitého. Určete molové složení směsi, měrný objem směsi při normálních fyzikálních podmínkách, molovou hmotnost směsi a plynovou konstantu směsi, vztaženou na 1 m^3.

[x_{N2} = 0,275, x_{Ar} = 0,251 , x_{C02} = 0,474, v = 0,579 m^3/kg, M = 38,61 kg/kmol, r = 372 J/(m^3.K)]

Příklad 3.25

Určete střední měrnou tepelnou kapacitu kysličníku uhličitého při konstantním tlaku mezi teplotami 0 °C a 825 °C ! c_p = f (t).

[$c_p\big|_0^{825} = 1{,}2604\ \mathrm{kJ/(kg.K)}$]

Příklad 3.26

Určete střední měrnou tepelnou kapacitu c_p vzduchu při konstantním tlaku od 200 °C do 800 °C. Měrná tepelná kapacita c_p = f(t).

[$c_p\big|_{200}^{800} = 1{,}09\ \mathrm{kJ/(kg.K)}$]

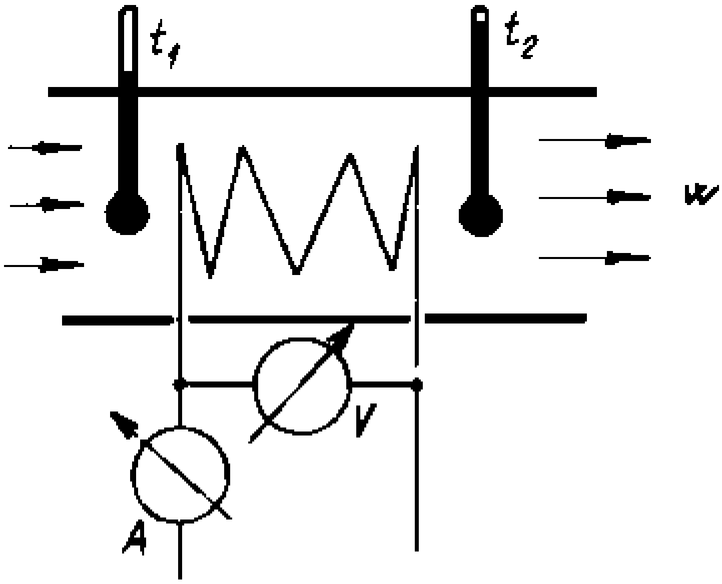
---

4. První termodynamický zákon

Příklady: 4.1, 4.2, 4.3, **4.4**, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15

Příklad 4.1

Průtočná množství potrubím se měří zařízením, schematicky znázorněným na obrázku. Toto zařízení se skládá z elektrického ohřívače o výkonu 500 W, umístěného v potrubí. Teplota protékající látky se měří dvěma teploměry. Určete hodinové průtočné množství dusíku potrubím o ød = 0,1 m, jestliže teplota t_1 = 62 °C a t_2 = 65 °C. Manometr ukazuje v potrubí 2,667 kPa přetlaku, barometrický tlak p_b = 1.10^5 Pa.



[m = 578 kg/h]

Příklad 4.2

Při zkoušení motoru na brzdě se 95% jeho výkonu spotřebuje na brždění motoru a zbytek, tj. 5 % jsou ztráty do okolí. Brzdící zařízení se chladí vodou o teplotě t_1 = 12 °C, ohřev vody je na teplotu t_2 =35 °C. Určete množství vody pro chlazení brzdy motoru, je-li výkon motoru P = 40 kW !

[$m_{H2\,0}$ = 0, 394 kg/s]

Příklad 4.3

Do kalorimetru, obsahujícího 0,5 kg vody o teplotě 30 °C se vloží kovová součástka o hmotnosti 0,5 kg. Její teplota je 150 °C. Po ustálení je výsledná teplota v kalorimetru a) t = 37,3 °C - součástka je ze stříbra. b) t = 42,1 °C - součástka je ocelová, c) t = 54 °C - součástka je z hořčíku. Určete měrné tepelné kapacity jednotlivých kovů, zanedbejte hmotnost kalorimetru.

[c_{Ag} = 0,271 k J/(kg.K), c_{OC} = 0,469 k J/(kg.K), c_{Mg} = 1,047 kJ/(kg.K)]

Příklad 4.4

Ocelová součástka o hmotnosti 0,2 kg se ohřívá v pícce, potom se vloží do kalorimetru s 0,5 kg vody o teplotě t = 20 °C. Po ustálení je teplota vody v kalorimetru 75 °C. Určete teplotu součástky před vložením do kalorimetru. Měrná tepelná kapacita oceli je c = 0,469 kJ/(kg.K).

Řešení:

m_{Fe} = 0, 2 kg; m_{H2O} = 0, 5 kg; t_{1H2O} =20 °C ; t_{2H2O} = 75 °C; c_{Fe} = 0,469 kJ/(kg.K)

Teplo předané vodě z oceli

$Q_{H2O} = m_{H2O} \cdot c_{H2O} (t_{2H2O} - t_{1H2O}) = 0,5 \,.\, 4186,8\, (75 - 20) = 115.10^3$ J

z tepelné bilance

$Q_{Fe} = m_{Fe} \,.\, c_{Fe} (t_{Fe} - t_{2H2O}) = Q_{H2O}$

$$t_{Fe} = \frac{Q_{H2O}}{m_{Fe} C_{Fe}} + t_{2H2O} = \frac{115.10^3}{0,2.0,469.10^3} + 75 = 1225 + 75 = 1300\ °C$$

Příklad 4.5

Kolik kg olova můžeme ohřát z teploty 15 °C na teplotu tavení t = 327 °C, úderem kladiva bucharu o hmotnosti 200 kg pádem z výše 2 m, předpokládáme-li ,že se veškerá kinetická energie přemění v teplo. Toto teplo pohltí olovo. Měrná tepelní kapacita olova je c= 0,12 k J/(kg.K).

[m = 0,0969 kg]

Příklad 4.6

Při zkoušení motorů se používá brzd, kde práce motoru je mařena třecími silami a mění se v teplo, jehož jedna část (20 %) přejde do okolí a zbytek je odveden chladicí vodou. Stanovte potřebné množství chladicí vody za hodinu, je-li točivý moment motoru 2000 J, počet otáček n=1500 l/min a dovolené ohřátí vody t = 35 °C.

[m_{H20}=6180 kg/hod]

Příklad 4.7

Určete denní spotřebu paliva v elektrárně o výkonu P = 100 MW při účinnosti elektrárny 0,35 a výhřevnosti paliva 30 000 kJ/kg. Určete také měrnou spotřebu paliva v kg/MJ vyrobené energie.

[m = 823 000 kg/den, m_s = 0,0953 kg/MJ]

Příklad 4.8

Při určování měrné tepelné kapacity oleje se používá kalorimetr. Rozdíl napětí na ohřívači je ΔU = 43 V, proud I = 6 A. Pokus trval 12 minut a teplota za tuto dobu vzrostla v kalorimetru o 18 K. Tepelná konstanta kalorimetru, tj. energie potřebná pro ohřev kalorimetru (nádoby, teploměru, míchačky) o 1 K je A = 3120 J/K. Jaké je měrná tepelná kapacita oleje ?

[c=2,4 kJ/(kg.K)]

Příklad 4.9

Při teplotě t = 0,01 °C a tlaku = 611 Pa (trojný bod) je považována entalpie vody nulová. Jek veliká je při těchto podmínkách vnitřní energie?

[u_{tr} =-0,6109 J/kg]

Příklad 4.10

Parní turbína spotřebuje 0,0011 kg páry na 1 kJ vyrobené elektrické energie. Na výrobu 1 kg páry je potřeba 3300 kJ. Určete účinnost elektrárny!

[27,55%]

Příklad 4.11

1,5.10^{-3} m^3 vody ohříváme ponorným vařičem o výkonu 300 W. Za jakou dobu se voda ohřeje z teploty t_1 = 20 °C na bod varu, když zanedbáme ztráty tepla do okolí ?

[τ= 27 min 54 s]

Příklad 4.12

Čep o průměru d = 0,1 m se otáčí v kluzném ložisku a působí na něj silou 11800 N. Otáčky jsou n = 200 1/min. Ložisko je chlazeno olejem, jehož teplota na vstupu je t_1 = 12 °C, na výstupu t_2= 60 °C. Měrná tepelná kapacita oleje c = 1,675 kJ/(kg.K), součinitel tření f = 0,015. Určete množství oleje!

[m = 8,27 kg/h]

Příklad 4.13

Dokažte, že dQ není totální diferenciál !

[$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = 0$ *, což v obecném případě není možné, poněvadž tlak p je funkcí obou veličin stavu v a T]*

Příklad 4.14

Tepelný výkon reaktoru jaderné centrály je teplo, uvolněné v něm za jednotku času. Určete roční spotřebu jaderného paliva reaktoru o tepelném výkonu 500 MW, je-li výhřevnost uranu 82,5.10^9 kJ/kg, reaktor pracuje ročně 7 000 hodin.

[m = 153 kg/rok]

Příklad 4.15

Tepelný výkon reaktoru první atomové elektrárny na světě, je 30 MW a elektrický výkon je 5000 kW. Určete denní spotřebu uranu, jestliže za den bylo vyrobeno 432.10^6 kJ elektrické energie. Výhřevnost je 82,5.10^9 kJ/kg. Určete také množství uhlí o výhřevnosti 25 800 kJ/kg, které by se spotřebovalo na výrobu stejného množství elektrické energie v tepelné elektrárně při stejných účinnostech.

[m_{uran} = 0,031 kg/den; $m_{uhlí}$ = 100 000kg/den]

---

5. Základní vratné děje ideálních plynů

Příklady: 5.1, 5.2, **5.3**, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, **5.15**, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, **5.27**, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40, **5.41**, 5.42, 5.43, 5.44, 5.45, 5.46, **5.47**, 5.48, 5.49, 5.50, 5.51, 5.52, 5.53, 5.54, 5.56, 5.57, 5.58, 5.59, 5.60, 5.61, 5.62, 5.63, 5.64, 5.65, 5.66, **5.67**, 5.68

Příklad 5.1

V plynojemu o objemu $V = 15\ m^3$ je methan CH_4 o tlaku $p_1 = 8.10^5$ Pa a teplotě $t_1 = 10$ °C. Slunečním zářením se teplota plynu během dne zvýšila o $\Delta t = 15$ K (při konstantním objemu). Jaký je konečný tlak v plynojemu a jaké teplo se přivedlo? (měrná tepelná kapacita c_v = 1,675 kJ/(kg.K)).

[$p_2 = 8{,}4.10^5$ Pa; Q = 2050 kJ]

Příklad 5.2

Určete změnu vnitřní energie ΔU a změnu entalpie ΔI při izochorickém ochlazování 100 m^3 vzduchu z počátečního tlaku $p_1 = 5.10^5$ Pa, t_1 = 40 °C na konečný tlak $p_2 = 4{,}9.10^5$ Pa.

[ΔU = - 27420 k J; ΔI = -38420 kJ]

Příklad 5.3

V uzavřeném prostoru je 0,6 m^3 vzduchu o tlaku $p_1 = 4{,}9.10^5$ Pa, t_1 = 20 °C. Jaký bude tlak a teplota, odvede-li se 104,5 kJ tepla ?

Řešení:

V= 0,6 m^3 ; $p_1 = 4{,}9.10^5$ Pa ; t_1 = 20 °C ; Q_{12} = -104,5 kJ; p_2 = ?; t_2 = ?

Pro izochorický děj platí $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$; p_2, T_2 jsou hledané veličiny. Je nutno použít rovnici prvního termodynamického zákona pro izochorický děj

$Q = m.. \Delta u = m \,.\, c_v (t_2 - t_1)$, kde $m = \frac{p_1 V}{r T_1}$ je hmotnost vzduchu

$$t_2 = \frac{Q_{12}}{m\ c_v} + t_1 = \frac{Q_{12}}{\frac{p_1 v}{r.T_1} c_v} + t_1 = \frac{-104{,}5.10^3}{\frac{4{,}9.10^5.0{,}6}{287{,}04.(273+20)}.0{,}714.10^3} + 20 = -41{,}85 + 20 = -21{,}85\ °C$$

Tlak $p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 4{,}9.10^5 \frac{273 - 21{,}85}{273 + 20} = 4{,}9.10^5 \frac{251{,}15}{273+20} = 4{,}2.10^5$ Pa

---

Příklad 5.4

V uzavřené nádobě o objemu 0,015 m^3 je vzduch o tlaku $1{,}96.10^5$ Pa a teplotě 30 °C. Jak vzroste tlak a teplota, přivede-li se Q_{12} = 16,7 kJ tepla ?

[t_2 = 718 °C, p_2 = 6, 42.10^5 Pa]

Příklad 5.5

Ve válci o průměru 0,4 m se nachází 0,08 m^3 vzduchu o tlaku 2,94.10^5 Pa a teplotě 15 °C. O kolik N vzroste celková síla na píst, přivede-li se vzduchu 83,7 kJ tepla a nekoná-li píst žádný pohyb ?

[ΔF = 49 800 N]

Příklad 5.6

V bombě o objemu V = 0,1 m^3 je vzduch. Jaké množství tepla je třeba přivést, abychom zvýšili tlak o 9,8.10^5 Pa? Měrná tepelná kapacita vzduchu c_v = 0,714 kJ/(kg.K).

[Q_{12} = 243 kJ]

Příklad 5.7

V nádobě o objemu V_o jsou při teplotě t_o 2 kg vodíku a 8 kg kyslíku. Určete maximální tlak vodní páry vytvořené výbuchem směsi. Energetické zabarvení reakce je Q_r.

$$[p_{max} = \frac{2}{3} p_o \left(1 + \frac{Q_r}{18 c_v T_o}\right) Pa]$$

Příklad 5.8

Na startovací láhvi Dieselova motoru ukazuje manometr tlak p_p = 27,4.10^5 Pa. Určete tlak a odvedené teplo při ochlazení vzduchu v láhvi z 37 °C na 17 °C. Objem láhve je 0,5m^3, c_v = 0,714 k J/(kg.K).

[p_p = 25,6.10^5 Pa, Q_{12} = 230 kJ]

Příklad 5.9

Ve válci výbušného motoru se po kompresi na tlak p_1 = 14,7.10^5 Pa a teplotu t_1= 365 °C přivádí q_{12} = 460 kJ/kg tepla při konstantním objemu. Pracovní látka má vlastnosti vzduchu. Měrná tepelná kapacita je konstantní. Určete konečný tlak a teplotu !

[p_2 = 27,4.10^5 Pa; t_2 = 917 °C]

Příklad 5.10

6 kg dusíku vykoná při isobarické expanzi práci A_{12} = 350 kJ. Určete změnu vnitřní energie a množství přivedeného tepla při tomto ději.

[ΔU = 875 kJ, Q_{12} = 1225 kJ]

Příklad 5.11

5 m^3/min vzduchu o teplotě t_1 = 25 °C a tlaku p_1 = 0,98.10^5 Pa se stlačuje v kompresoru na tlak p_2 = 7,85.10^5 Pa a teplotu t_2 = 180 °C, po kompresi vstupuje do chladiče, kde se ochladí na teplotu t_3 = 35 °C při konstantním tlaku. Chladící voda se ohřeje o Δt = 18 K. Určete množství vody!

[m=681 kg/h]

Příklad 5.12

Ohřívákem vzduchu prochází V_o = 11 000 m^3/h vzduchu o počáteční teplotě t_1 = 45 °C. Jaká je teplota vzduchu na výstupu z ohříváku, jestliže se z kouřových plynů přivádí vzduchu Q_{12} = 670 000 kJ/h tepla. Určete práci, vykonanou vzduchem, je-li děj isobarický.

[t_2 = 239 °C, A_{12} = 794 000 kJ/h]

Příklad 5.13

Ve válci je vzduch o teplotě t_1 = 700 °C, p_1 = 31,4.10^5 Pa. Do válce je vstřikován petrolej tak, že během spalování se tlak nemění. Jak vzroste teplota, jestliže objem na konci vstřikování je 3x větší ? Jaké je přivedené teplo 1 kg vzduchu a jaká práce se vykoná ? (Plynová konstanta a měrná tepelná kapacita jsou stejné jako u vzduchu.)

[T_2 = 2919 K, q_{12} = 1960 kJ/kg, a_{12} = 517 kJ/kg]

Příklad 5.14

Určete vykonanou práci při změně objemu 0,2 m^3 vzduchu o tlaku 1,96.10^5 Pa, t_1 = 18 °C ve válci o průměru d = 0,5 m, ohřeje-li se při konstantním tlaku na t_2 = 200 °C ! Jakou dráhu píst proběhne a jaké množství tepla je k tomu zapotřebí?

[A_{12} = 24 500 J, Q_{12} = 86,2 kJ, l = 0,637 m]

Příklad 5.15

Kolik tepla se musí přivést 0,5 kg kyslíku o tlaku p_1 = 2,94.10 ^{5} Pa a teplotě t_1 = 35 °C, aby vykonal za konstantního tlaku práci A_{12} = 27 900 J a jak při tom vzroste objem a teplota ?

Řešení :

m = 0,5 kg; p_1 = 2,94.10^5 Pa; t_1 = 35 °C; A_{12} = 27 900 J; V_2 = ? ; t_2 = ?

Práce při izobarickém ději ($p_2 = p_1 = p_{1,2}$)

$$A = p_{1,2}(V_2 - V_1) \quad \text{, kde} \quad V_1 = \frac{m.r.T_1}{p_1} = \frac{0{,}5.259{,}88.(273+35)}{2{,}94.10^5} = 0{,}136\ m^3$$

$$V_2 = \frac{A_{12}}{p} + V_1 = \frac{27900}{2{,}94.10^5} + 0{,}136 = 0{,}0949 + 0{,}136 = 0{,}2309\ m^3$$

Pro izobarický děj platí $\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2}$

$$T_2 = T_1\frac{V_2}{V_1} = (273+35)\frac{0{,}2309}{0{,}136} = 511\ K \quad ; \quad t_2 = T_2 - 273 = 511 - 273 = 238\ °C$$

Přivedené teplo

$Q_{12} = m.c_p (t_2 - t_1) = 0{,}5 . 0{,}917.10^3 (238 - 35) = 0{,}931.10^3$ J = 0,931 kJ

Příklad 5.16

Jaké množství tepla je třeba přivést pro ohřátí 2 m^3 vzduchu o přetlaku $p_p = 2.10^5$ Pa z teploty $t_1 = 100$ °C na $t_2 = 500$ °C ? Jaká práce se při tom vykoná ? Barometrický tlak $p_b = 0{,}982.10^5$ Pa. Děj je isobarický.

[$Q_{12} = 2303$ kJ, $A_{12} = 639$ kJ]

Příklad 5.17

Určete, jaká část tepla přivedeného plynu při isobarickém ději připadá na práci plynu a jaká na změnu vnitřní energie !

[28,5 % tepla připadá na práci plynu a 71,5 % tepla na změnu vnitřní energie]

Příklad 5.18

0,4 m^3 vzduchu o složení 23,2 hmotnostních % kyslíku a 76,8 % dusíku má počáteční parametry $p_1 = 10^6$ Pa a $t_1 = 70$ °C. Při izochorickém ohřevu teplota vzduchu se zvýší na $t_2 = 320$ °C. Určete přivedené teplo, konečné parametry vzduchu a změnu entalpie při ohřevu.

[$p_2 = 17{,}3.10^5$ Pa, $Q_{12} = 760$ kJ, $\Delta I = 1060$ kJ]

Příklad 5.19

3 m^3 směsi plynů o objemovém složení 14 % CO_2, 1 % CO, 6 % O_2, 79 % N_2 má tlak $p_1 = 14.10^5$ Pa a $t_1 = 350$ °C. Jaké množství tepla je třeba přivést směsi plynů při konstantním tlaku, aby se její teplota zvýšila na 1200 °C. Určete také konečně parametry směsi, expanzní práci, změnu vnitřní energie a entalpie.

[$V_2 = 7{,}1\ m^3$, $A_{12} = 5700$ kJ, $\Delta U = 19200$ kJ, $Q_{12} = \Delta I = 24900$ kJ]

Příklad 5.20

2,7 kg plynu má objemové složení 7 % H_2, 2 % CH_4, 32 % CO a 59 % N_2, tlak 3.10^5 Pa a teplotu 200 °C. Jaké množství tepla je třeba odvést při konstantním tlaku, aby teplota klesla na 15 °C; určete konečné parametry, vnější práci, změnu vnitřní energie.

[$V_2 = 0{,}835\ m^3$, $A_{12} = -160$ kJ, $\Delta U = -410$ kJ]

Příklad 5.21

6,3 m^3 plynu o objemovém složení 46% H_2, 32 % CH_4 a 22 % N_2 má počáteční parametry $p_1 = 53.10^5$ Pa a $t_1 = 365$ °C. Jaké množství tepla je třeba odvést směsi plynů při isotermickém ochlazování,abychom zvýšili tlak na 96.10^5 Pa ? Určete konečné parametry a změnu entropie směsi, molovou hmotnost a plynovou konstantu !

[$M = 12{,}26$ kJ/kmol, $r = 680$ J/(kg.K), $Q_{12} = 1{,}98.10^4$ kJ, $\Delta S = 31$ kJ/K]

Příklad 5.22

Určete odvedené teplo při isobarickém ochlazování kysličníku uhelnatého CO z teploty t_1 = 300 °C na t_2 =100 °C. Počáteční objem V_1 = 5 m ^{3} a přetlak p_p = 0,44.10^6 Pa. Barometrický tlak p_b =10^5 Pa. Určete změnu vnitřní energie a vykonanou práci !

[Q_{12} = -3355 kJ, A_{12} = -942 kJ, ΔU = - 2413 kJ]

Příklad 5.23

Určete přivedené teplo vzduchu při stálém tlaku, jestliže tento vzduch vykonal práci A = 24,1 kJ.

[Q = 84,5 kJ]

Příklad 5.24

Při pokusu bylo zjištěno,že vzduch vykonal prácí A_{12} = 49 kJ, přivedené teplo bylo Q_{12} = 175 kJ při konstantním tlaku. Určete střední měrnou tepelnou kapacitu vzduchu.

[c_p = 1,03 kJ/(kg.K)]

Příklad 5.25

V válci je 0,5 kmol dusíku N_2 o teplotě t_1 = 63 °C. Na píst působí stálá síla F = 2000 N, plocha pístu S = 1.10^{-2} m ^{2}. Určete konečné parametry plynu, změnu entalpie, vykonanou práci, je-li přivedené teplo Q_{12} = 6280 kJ.

[p_2 = p_1 = 2.10^5 Pa, v_2= 0,499 m^3/kg, t_2 = 483 °C, ΔU = 4534 kJ, ΔI = 6280 kJ, A_{12}=1746 k]

Příklad 5.26

Objem V_1 = 2 m^3 vzduchu o teplotě t_1 = 15 °C se zvětšuje pří stálém tlaku na V_2 = 8 m^3 za přívodu 4186,8 kJ tepla. Určete konečnou teplotu, konečný tlak, vykonanou práci a změnu vnitřní energie.

[t_2 = 879 °C, p_2 = 18,8.10^5 Pa, A_{12} = 1120 kJ, ΔU = 3070 kJ]

Příklad 5.27

Při isotermické kompresi 0,3 m^3 vzduchu o tlaku p_1 = 10^6 Pa a teplotě t = 300 °C se odvádí 490 kJ tepla. Určete konečný objem a konečný tlak vzduchu !

Řešení :

V_1 = 0,3 m^3; p_1 = 10^6 Pa; t = 300 °C; Q_{12} = -490 kJ; V_2 = ? ; p_2= ?

Z izotermické práce $$A_{12} = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$\ln \frac{p_1}{p_2} = \frac{A}{p_1 V_1} = -\frac{490.10^3}{10^6.0,3} = -1,6333$$

poměr tlaků $$\frac{p_1}{p_2} = 0,19525$$

konečný tlak

$$p_2 = \frac{p_1}{0{,}19525} = \frac{10^6}{0{,}19525} = 5{,}125.10^6 \text{ Pa}$$

konečný objem (z rovnice izotermy $p_1V_1 = p_2V_2$) $V_2 = \frac{p_1}{p_2}V_1 = 0{,}19525.0{,}3 = 0{,}05898 \text{ m}^3$

Příklad 5.28

Pro isotermické stlačení 0,8 kg vzduchu o tlaku $p_1 = 0{,}098.10^6$ Pa a teplotě $t_1 = 25$ °C byla spotřebována práce 94 kJ. Jaký je tlak vzduchu po kompresi a jaké je odvedené teplo ?

[$p_2 = 0{,}387.10^6$ Pa, $Q_{12} = A_{12} = - 94$ kJ]

Příklad 5.29

0,5 m^3 CO_2 o tlaku $p_1 = 24{,}5.10^5$ Pa o teplotě $t_1 = 350$ °C se isotermicky přivádí 83,74 kJ tepla. Určete tlak a objem v počátečním a konečném stavu, expanzní práci, změnu vnitřní energie a změnu entalpie !

[$v_1 = 0{,}0754$ m^3/kg, $v_2 = 0{,}1556$ m^3/kg, $p_2 = 11{,}9.10^5$ Pa, $A_{12} = 83{,}74$ kJ, $\Delta U = 0$, $\Delta I = 0$]

Příklad 5.30

Kolikrát se změní práce při isotermické kompresi 1 kg ideálního plynu o teplotě T[K] z tlaku $p_1 = 10^5$ Pa na $p_2 = 10^6$ Pa, jestli se konečný tlak zvýší 10x ?

[dvakrát]

Příklad 5.31

3,5 m^3 dusíku o tlaku $p_1 = 1{,}1.10^5$ Pa a t = 25 °C se stlačuje isotermicky na tlak $p_2 = 24{,}2.10^5$ Pa. Určete měrný objem v_1 , v_2, kompresní práci, odvedené teplo !

[$v_1 = 0{,}804$ m^3/kg, $v_2 = 0{,}0365$ m^3/kg, $A_{12} = Q_{12} = - 1196$ kJ]

Příklad 5.32

4,6 m^3 plynu se skládá z 28 % hmotnostních CO, 10 % 0_2 a 62 % N_2. Počáteční tlak je $p_1 = 29.10^5$ Pa a teplota $t_1 = 184$ °C. Určete konečné parametry směsi při isotermickém ohřevu směsi. Jaké množství tepla je třeba přivést 1 kg směsi, jestliže konečný tlak je $p_2 = 11.10^5$ Pa ?

[$V_2 = 12{,}2$ m^3, $q_{12} = 1{,}28.10^5$ J/kg]

Příklad 5.33

4,3 m^3 plynu o objemovém složení 32 % CO_2, 22 % CO a 46 % CH_4 má počáteční parametry $p_1 = 12.10^5$ Pa a $t_1 = 173$ °C. Určete změnu vnitřní energie plynu, jestliže při adiabatické kompresi stoupá teplota na 242 °C. Určete také kompresní práci, změnu entalpie a konečné parametry!

[ΔU = 3130 kJ, ΔI = 4000 kJ, A_{12} = 3130 kJ, p_2 = 19,4.10^5 Pa, V_2 = 30,5 m^3]

Příklad 5.34

3,5 kg plynu o hmotnostním složení : 14 % CO, 10 % O_2 a 76 % N_2 má počáteční parametry p_1 = 5.10^5 Pa, t_1 = 20 °C. Směs isobaricky expanduje na teplotu t_2 = 130 °C. Určete konečné parametry plynu,přivedené teplo, expanzní práci a změnu vnitřní energie při tomto ději !

[V_2 = 0,825 m^3, Q_{12} = 396,5 kJ, A_{12} = 112,5 k J, ΔU = 284 kJ]

Příklad 5.35

3,5 m^3 plynu se skládá z 19 % hmotnostních O_2, 32 % N_2 a 49 % CO_2. Počáteční parametry p_1 = 44.10^5 Pa, t_1 = 368 °C. Jaké množství tepla je třeba odvést plynu za konstantního objemu, aby tlak v kotli klesl na 21.10^5 Pa ? Určete konečné parametry plynu,změnu entalpie a entropie při tomto ději.

[Q_{12} = 31 700 kJ, ΔI = 39800 kJ, ΔS = -70 kJ/K]

Příklad 5.36

Dva zásobníky jsou naplněny stlačeným vzduchem a spojeny potrubím s uzavíracím ventilem. V prvním zásobníku je 2 m^3 vzduchu o tlaku p_1 = 10^5 Pa a teplotě t_1 = 27 °C, ve druhém 1 m^3 vzduchu o tlaku p_2 = 2.10^5 Pa a teplotě t_2 = 57 °C. Jaký tlak a teplota se ustálí v obou zásobnících po otevření ventilu ?

[p = 7,2.10^5 Pa, t= 29,6 °C]

Příklad 5.37

1 kg vzduchu s měrným objemem v_1 = 0,0887 m^3/kg při tlaku p_1 = 0,98.10^6 Pa expanduje na desetinásobný objem. Určete konečný tlak a vykonanou práci při isotermické a adiabatické expanzi!

[t = konst. p_2 = 9,81.10^4 Pa, a_{12} = 200,3 kJ/kg, dQ = 0, p_2 = 3,903.10^4 Pa ,a_{12} = 131,2 kJ/kg]

Příklad 5.38

2 kg vzduchu o tlaku p_1 = 9,8.10^5 Pa a teplotě t_1 = 300 °C expandují na pětinásobný objem. Určete konečné parametry vzduchu, odvedené teplo, vykonanou práci a změnu vnitřní energie při expanzi a) isotermické, b) adiabatické, c) polytropické s exponentem polytropy n = 1,6.

[Při t=konst., A_{12} = 530 kJ, Q_{12} = 530 kJ, ΔU = 0; při dQ = 0, A_{12} = 392 kJ, ΔU = -392 kJ; při n = 1,6, A_{12} = 342 kJ, ΔU = 510 J, Q_{12} = -168 kJ]

Příklad 5.39

Při kompresi plynu se vykoná 200 kJ práce a odvede se 250 kJ tepla. Určete exponent polytropy, je-li κ= 1,4.

[n = 0,9]

Příklad 5.40

V rovnotlakém motoru se vzduch stlačuje tak,že jeho teplota se zvyšuje nad teplotu vznícení tekutého paliva. Jaký bude minimální tlak vzduchu, jestliže teplota vznícení paliva t = 800 °C ? Kolikrát se při tom změní jeho objem ? Počáteční teplota vzduchu t_1 = 80 °C, počáteční tlak $p_1 = 9{,}8.10^4$ Pa, κ = 1,4.

[$p_2 = 47.10^5$ Pa, $v_1 = 16\ v_2$]

Příklad 5.41

1 kg vzduchu o počáteční teplotě t_1 = 30 °C a tlaku $p_1 = 0{,}0981.10^6$ Pa se adiabaticky stlačuje na $p_2 = 0{,}981.10^6$Pa. Určete konečný objem, konečnou teplotu a spotřebovanou práci (κ = 1,4).

Řešení :

t_1 = 30 °C ; $p_1 = 0{,}0981.10^6$ Pa ; $p_2 = 0{,}981.10^6$ Pa ; v_2 = ? ; t_2= ? ; a_{12} = ?

Z poměru teplot a tlaků $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$ při adiabatickém ději plyne konečná teplota

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = (273+30)\left(\frac{0{,}981.10^6}{0{,}0981.10^6}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} = 303.10^{0{,}286} = 303.1{,}9325 = 585{,}5\ \mathrm{K}$$

$t_2 = T_2 - 273 = 585{,}5 - 273 = 312{,}5$ C

Konečný objem (ze stavové rovnice) $v_2 = \frac{r.T_2}{p_2} = \frac{287{,}04.585{,}5}{0{,}981.10^6} = 0{,}1713\ \mathrm{m^3/kg}$

Spotřebovaná práce

$$a = \frac{r}{\kappa - 1}(t_1 - t_2) = \frac{287{,}04}{1{,}4-1}(30 - 312{,}5) = -202{,}7.10^3\ \mathrm{J/kg} = -202{,}7\ \mathrm{kJ/kg}$$

Příklad 5.42

V kyslíkové bombě o objemu 0,04 m^3 je tlak $p_1 = 133.10^5$ Pa a teplota t_1=15 °C. Po rychlém otevření vypouštěcího ventilu vytéká plyn do atmosféry, následuje uzavření ventilu. Po dobu vytékáni se teplo mezi okolím a bombou nesdílí. Po uzavření ventilu je tlak v bombě $p_2 = 59.10^5$ Pa, pak výměnou tepla s okolím teplota kyslíku bude t_2 = 15 °C rovna teplotě okolí. Určete, jaký bude výsledný tlak v bombě při t_2 = 15 °C, množství kyslíku vypuštěné ventilem při adiabatickém ději a jaké by bylo množství kyslíku, jestliže by výtok byl při dt = 0, tj. při teplotě, rovné teplotě okolí. Tlak $p'_2 = 59.10^5$ Pa.

[$p_3 = 74{,}3.10^5$ Pa, m_{ad} = 3,11 kg, $m_{t=konst}$ = 3,94 kg]

Příklad 5.43

Vzduch o teplotě t_1= 25 °C expanduje adiabaticky na t_2 = -55 °C, tlak se snížil na $p_2 = 0{,}098{,}10^6$ Pa. Jaký je počáteční tlak vzduchu a jaká je vykonaná práce 1 kg vzduchu ?

[$p_1 = 0{,}293.10^6$ Pa, a_{12} = 57 408 kJ/kg]

Příklad 5.44

Při polytropické kompresi vzduchu byla vynaložena práce 200 kJ a odvedeno a) 250 kJ tepla, b) 125 kJ tepla. Určete exponenty polytropy v obou případech a znázorněte polytropy v p-v a T-s diagramech.

[n_a=0,932, n_b = 1,12]

Příklad 5.45

Při polytropické expanzi vzduchu se přivádí 196 kJ tepla. Určete změnu vnitřní energie a vykonanou práci, jestliže objem při tom se zvětšil 10x a tlak se zmenšil 8x.

[ΔU = 39 kJ, A_{12} = 161 kJ]

Příklad 5.46

3 m^3 vzduchu polytropicky expandují z tlaku p_1 = 6. 10^5 Pa a teploty t_1 = 45 °C na tlak p_2 = 1,5.10^5 Pa a objem V_2= 9 m^3. Určete exponent polytropy, konečnou teplotu, vykonanou práci a přivedené teplo. Zobrazte děj do diagramů p-v a T-S.

[n = 1,26, t_2 = 35 °C, A_{12} = 217 kJ, Q_{12} = 73,5 kJ]

Příklad 5.47

1,5 kg vzduchu se polytropicky stlačuje z p_1= 0,088.10^6 Pa a t_1 = 18 °C na p_2 = 0,981.10^6 Pa a t_2 = 125 °C. Určete exponent polytropy,konečný objem, spotřebovanou práci,odvedené teplo a změnu vnitřní energie.

Řešení :

m= 1,5 kg; p_1 = 0,088.10^6 Pa; t_1 = 18 °C ; p_2 = 0,981.10^6 Pa ; t_2 = 125 °C ; n = ?; V_2 = ?; A_{12} = ?; Q_{12} = ?; ΔU = ?

Pro poměr tlaků a teplot při polytropickém ději platí $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

Po logaritmování vztahu $$\frac{n-1}{n} = \frac{\log(T_2/T_1)}{\log(p_2/p_1)} = \frac{\log\frac{398}{291}}{\log\frac{0{,}981.10^6}{0{,}088.10^6}} = \frac{0{,}136}{1{,}0468} = 0{,}13$$

Exponent polytropy n = 1,149

Konečný objem $$V_2 = \frac{m.r.T_2}{p_2} = \frac{1{,}5.287{,}04.398}{0{,}981.10^6} = 0{,}1746\ m^3$$

Práce při polytropickém ději $A_{12} = \frac{mr}{n-1}(t_1 - t_2) = \frac{1{,}5.287{,}04}{1{,}149-1}(18-125) = -309.10^3\ J$ - se jedná o práci spotřebovanou

Odvedené teplo $$Q_{12} = m.c_v\frac{n-\kappa}{n-1}(t_2 - t_1) = 1{,}5.0{,}714.10^3.\frac{1{,}149-1{,}4}{1{,}149-1}.(125-18) = -193.10^3\ J$$

Změna vnitřní energie (z prvního termodynamického zákona)

ΔU = Q_{12} - A_{12} = - 193.10^3 - (309.10^3) = 116.10^3 J

Příklad 5.48

0,4 m^3 vzduchu se polytropicky stlačuje z tlaku p_1 = 1,2.10^5 Pa a teploty t_1 = 60 °C na p_2 = 6.10^5 Pa. Určete množství přivedeného tepla, kompresní práci, změnu entalpie a změnu vnitřní energie. Exponent polytropy n =1,3.

[Q_{12} = 23,3 kJ, A_{12} = 93,5 kJ, ΔI = 98 kJ, ΔU = 70,2 kJ]

Příklad 5.49

Při polytropické expanzi 1 kg dusíku se vykoná práce 2000 kJ/kg a změní se vnitřní energie o 300 kJ/kg. Určete exponent polytropy.

[n = 1,06]

Příklad 5.50

1 kg kysličníku uhličitého polytropicky expanduje s exponentem polytropy n = -1,5. Počáteční tlak je 5.10^5 Pa, t_1 = 100 °C, p_2 = 15.10^5 Pa. Určete práci vykonanou plynem a množství přivedeného tepla.

[A_{12} = 31,3 kJ, Q_{12} = 228 kJ]

Příklad 5.51

Kysličník uhličitý o tlaku p_1 = 10^5 Pa a t_1 = 80°C se stlačuje na tlak p_2 = $1,5.10^5$ Pa tak, že poměr množství přivedeného tepla a vykonané práce je 11. Jaká je konečná teplota a jaká je měrná tepelná kapacita tohoto děje ?

[t_2 = 322 °C, c_n = 0,797 kJ/(kg.K)]

Příklad 5.52

5 m^3 dusíku o tlaku p_1 = 12.10^5 Pa a teplotě t_1 = 30°C polytropicky expanduje na tlak p_2 = $1,5.10^5$ Pa a konečný objem 24,7 m^3. Určete exponent polytropy, práci vykonanou plynem a množství přivedeného tepla.

[n = 1,3, Q_{12} = 1900 kJ, A_{12} = 7650 kJ]

Příklad 5.53

2 kmoly kyslíku o parametrech p_1 = 4.10^6 Pa a t_1= 620 °C adiabaticky expandují na tlak p_2 = $1,2.10^6$ Pa. Určete měrný objem a teplotu na konci expanze, expanzní práci, změnu vnitřní energie a změnu entalpie. (κ = 1,32)

[v_2 = 0,1433 m^3/kg, t_2 = 385 °C , A_{12} = 11643 kJ, ΔU = -11643 kJ, ΔI = -15488 kJ]

Příklad 5.54

V Dieselově motoru vzduch na začátku adiabatické komprese má parametry p_1 = $0,95.10^5$ Pa a teplotu t_1 = 60 °C. Určete kompresní poměr $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ a tlak na konci děje, jestliže teplota vzplanutí paliva t_2 = 630 °C. (κ = 1,4)

[ε = 12,1, p_2 = $3,12.10^5$ Pa]

Příklad 5.55

1 kg dusíku o tlaku p_1 = 25.10^5 Pa a teplotě t_1 = 700 °C polytropicky expanduje (n = 1,18) na tlak p_2 = 10^5 Pa. Určete změnu vnitřní energie ΔU, množství tepla přivedeného plynu Q_{12} a expanzní práci. a) Měrná tepelná kapacita je závislá na teplotě plynu, $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ b) Měrná tepelná kapacita je nezávislá na teplotě, určené dle molekulárně- kinetické teorie, κ = 1,4.

[ΔU = -310 kJ/kg, A_{12} = 622 kJ/kg, $Q_{12(a)}$ = 312 kJ/kg, $Q_{12(b)}$= 342 kJ/kg]

Příklad 5.56

Při polytropické kompresi vzduchu bylo přivedeno 1 kg plynu 50 kJ/kg tepla, teplota se zvýšila o 100 K. Určete exponent polytropy a poměr práce a tepla ke změně vnitřní energie.

[n = 2,316, $\frac{q_{12}}{\Delta u} = 69{,}8\,\%$, $\frac{a_{12}}{\Delta u} = 30{,}2\,\%$]

Příklad 5.57

0,01 m^3 vzduchu o tlaku p_1 = 0,981.10^6 Pa a t_1= 25 °C expanduje ve válci s pohyblivým pístem na tlak p_2 = 0,981.10^5 Pa. Určete konečný objem, konečnou teplotu, vykonanou práci,přivedené teplo,j e-li expanze ve válci: a) isotermická, b) adiabatická, c) polytropická (n = 1,3).

[A_{12a} = Q_a = 22,57 kJ, Q_{12b} = 0, A_{12b} = 11,82 kJ, Q_{12c} = -10,1 kJ, A_{12c} = 13,47 kJ]

Příklad 5.58

V Dieselově motoru se nasávaný vzduch o tlaku p_1 =1,02.10^5 Pa a teplotě t_1 = 40 °C stlačuje adiabaticky při kompresním poměru ε = V_1 /V_2 = 18. Určete kompresní tlak a teplotu.

[p_2 = 53,8.10^5 Pa, t_2 = 644 °C]

Příklad 5.59

Pístový kompresor o výkonu V_0 = 2100 m^3/h nasává vzduch o tlaku p_1 = 0,98.10^5 Pa a teplotě t_1 = 25 °C a stlačuje jej na tlak p_2 = 9,9.10^5 Pa. Komprese je polytropická s exponentem n = 1,2. Určete množství chladící vody pro chlazení válce, je-li dovolený ohřev vody Δt = 15 °C.

[m_{H20} = 4300 kg/h]

Příklad 5.60

V pístovém kompresoru se stlačuje vzduch o tlaku p_1 = 0,098.10^6 Pa a teplotě t_1 = 20 °C polytropicky na tlak p_2 = 6,86.10^5 Pa (exponent n = 1,3). Určete práci 1 kg vzduchu a odvedené teplo !

[a_{12} = -159 k J/kg, q_{12} = -39,6 kJ/kg]

Příklad 5.61

Určete, jaký děj probíhá při expanzi kyslíku, jsou-li naměřeny parametry tří stavů: 1) p_1 = 2.10^6 Pa, t_1 = 487 °C, 2) p_2 = 10^6 Pa, v_2 = 0,427 m^3/kg, 3) v_3 = 0,3 m^3/kg, t_3 = 576 °C.

[děj je polytropický s exponentem n = 0,9]

Příklad 5.62

Při polytropické expanzi plynu se jeho objem zvětšil o 20 %, absolutní teplota se snížila o 12 %. Zakreslete děj dvouatomového plynu do diagramu p-v a určete práci 1 kmolu plyny. Teplota t_1 = 227 °C.

[exponent polytropy n = 1,701 , a_{m12} = 712 kJ/kmol]

Příklad 5.63

Při polytropické expanzi kysličníku uhelnatého práce 1 kg plynu z 25 % připadá na přivedené teplo a 75 % práce připadá na zmenšení vnitřní energie. Určete exponent polytropy a měrnou tepelnou kapacitu děje! Zobrazte děj do diagramu p - v!

[exponent n = 1,3, c = - 0,247 kJ/(kg.K)]

Příklad 5.64

Počáteční stav 1 kg dusíku je zadán entalpií i_1 = 210 kJ/kg a konečný stav entalpii i_2 = 420 kJ/kg. Určete práci vykonanou 1 kg dusíku, jestliže přechod z počátečního stavu na konečný je a) isobarický, b) adiabatický. Měrná tepelná kapacita je konstantní.

[a) a_{12} = 59,85 kJ/kg ; b) a_{12} = - 150 kJ/kg]

Příklad 5.65

Vzduch z počátečního stavu (1) o teplotě t_1 = 20 °C se adiabaticky stlačuje na objem 3x menší a pak isotermicky expanduje na počáteční objem. Určete práci 1 kg plynu.

[a = 27,91 kJ/kg]

Příklad 5.66

V ocelovém válci je pod lehce pohyblivým pístem třaskavá směs ($2H_2 + O_2$) o teplotě 20 °C. Počáteční objem je 100 cm^3. Z jaké výše spadne na píst závaží o hmotnosti 5 kg, jestliže se plyn vznítí ? Teplota vznícení je 500 °C.

[h = 0,77 m]

Příklad 5.67

Vzduch o teplotě 127 °C se isotermicky stlačuje na objem 4x menší a pak adiabaticky expanduje na původní tlak. Určete teplotu vzduchu na konci adiabatické expanze!

Řešení:

$t_{1,2}$ = 127 °C; $v_2 = v_1/4$; $p_3 = p_1$; t_3 = ?

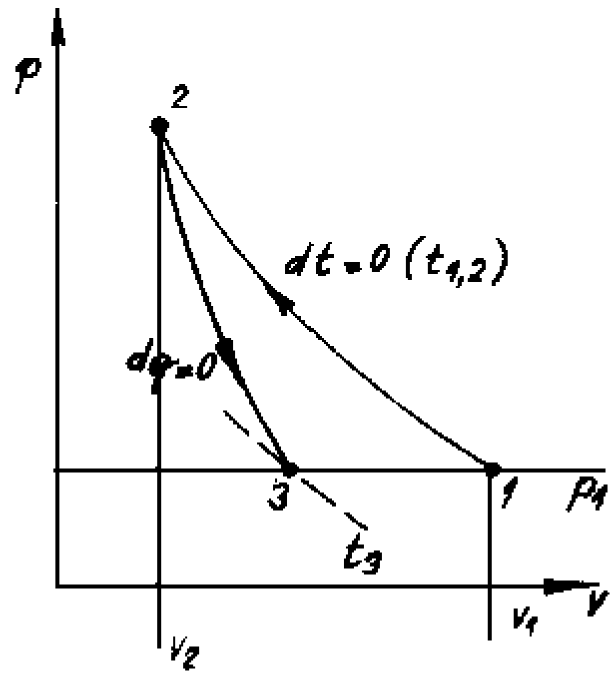
Pro izotermický děj 1 - 2 platí $p_1/ p_2 = v_2/ v_1$

Pro adiabatický děj 2 -3 platí $p_3 / p_2 = p_1 / p_2 = (T_3 / T_2)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$ tj. $v_2 / v_1 = (T_3 / T_2)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$

Teplota

$$T_3 = T_2\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{T_2}{\left(v_1/v_2\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = \frac{400}{4^{\frac{1,4-1}{1,4}}} = \frac{400}{1,487} = 269\ \mathrm{K}$$

$t_3 = T_3 - 273 = 269 - 273 = -4\ °C$



Příklad 5.68

Vzduch o hmotnosti 0,4 kg expanduje isotermicky z počátečního tlaku $p_1 = 2.10^5$ Pa na měrný objem $v_2 = 1{,}68\ m^3/kg$. Teplota $t_{12} = 300$ °C. Pak následuje isobarická komprese a isochorický ohřev na původní stav. Určete pro každý děj (isotermický, isobarický, izochorický) změnu vnitřní energie, změnu entalpie a vykonanou práci.

[dt = 0 : $\Delta U = \Delta I = 0$, $A_{12} = Q_{12} = 46{,}92$ kJ ; dp = 0 : $Q_{12} = \Delta I = -117{,}5$ kJ, $\Delta U = -83{,}5$ kJ; $A_{12} = -34$ kJ ; dv = 0; $A_{12} = 0$, $Q_{12} = \Delta U = 83{,}5$ kJ, $\Delta I = 117{,}5$ kJ]

6. Druhý zákon termodynamicky, entropie, T-s diagram

Příklady: 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, **6.9**, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20 6.21, **6.22**, 6.23, 6.24, 6.25, 6.26, 6.27, **6.28**, 6.29, 6.30, 6.31, 6.32, 6.33, 6.34, 6.35, **6.36**, 6.37, 6.38, 6.39, 6.40,

Příklad 6.1

Určete celkovou změnu entropie při ponoření 0,1 kg železa o teplotě t_1 = 300 °C do vody o teplotě t_0 = 15 °C. Měrná tepelná kapacita železa c_{Fe} = 0,46 kJ/(kg.K). Množství vody je takové, že je možné zanedbat změnu její teploty.

[ΔS = 13,38 J/K]

Příklad 6.2

10m^3 vzduchu polytropicky expanduje z počátečního tlaku p_1 = 19,6.10^5 Pa a teploty t_1 = 35 °C na t_2 = -35 °C. Určete změnu měrné entropie při tomto ději, jestliže se odvádí 214 kJ tepla.

[Δs = -0,0795 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.3

2 kg olova o teplotě tání ponoříme do 3,5 kg vody v dokonale izolované nádobě. Teplota vody je 15 °C. Určete změnu měrné entropie, způsobenou vyrovnáním teplot. Měrná tepelná kapacita olova c_{Pb} = 0,13 kJ/(kg.K), tavící teplota olova t = 327 °C. Měrná tepelná kapacita vody c_{H2O} = 4,186 kJ/(kg.K).

[Δs = 0,447 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.4

Do 1 kg vody o teplotě 0 °C je ponořen kus železa o hmotnosti 0,5 kg a teplotě 100 °C. Jak se změní celková entropie soustavy těchto těles ?

[Δs = 0,0125 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.5

V tlakové nádobě o objemu V = 0,1 m^3 je stlačený vzduch o tlaku p_1 = 4,9.10^6 Pa a teplotě t_1 = 20 °C. Okolní vzduch má tlak p_2 = 0,98.10^5 Pa, teplotu t_2 = 20 °C. Určete změnu měrné entropie soustavy po vypuštění vzduchu do okolí, jestliže děj probíhá tak pomalu, že nedochází k ochlazení vzduchu.

[Δs = 4,88 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.6

Dokažte, že se dvě adiabaty spolu neprotínají!

Příklad 6.7

1 kg vzduchu se v kompresoru stlačuje na objem 6x menší a pak při v = konst. se v zásobníku ohřívá na tlak 1,5x větší. Určete změnu entropie.

[Δs = 0, 293 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.8

1 kg vzduchu se ochlazuje v jednom případě izochoricky, v druhém případě izobaricky tak, že změna entropie v obou případech je stejná Δs = 0,0627 kJ/(kg.K). Určete odvedené teplo u obou dějů, je-li počáteční teplota T_1 = 1000 K.

[q_{p12} = 4,64 kJ/kg, q_{v12} = 41,6 kJ/kg]

Příklad 6.9

1 kg kyslíku o tlaku $p_1 = 4{,}9.10^5$ Pa a teplotě t_1 = 127 °C izobaricky expanduje na dvojnásobný objem,pak se izotermicky stlačuje na $p_2 = 39{,}2.10^5$ Pa. Určete změnu entropie kyslíku!

Řešení:

$p_1 = 4{,}9.10^5$ Pa ; t_1 = 127 °C; $v_2 = 2\,v_1$; $p_3 = p_2 = 39{,}2.10^5$ Pa; Δs = ?

Změna entropie při izobarickém ději

$\Delta s_{12} = c_p \ln (T_2/T_1) = c_p \ln (v_2/v_1) = c_p \ln (2.v_1/v_1) = 0{,}917.10^3 \ln 2 = 0{,}917.10^3.0{,}6931 = 0{,}6353.\ 10^3$ J/(kg.K)

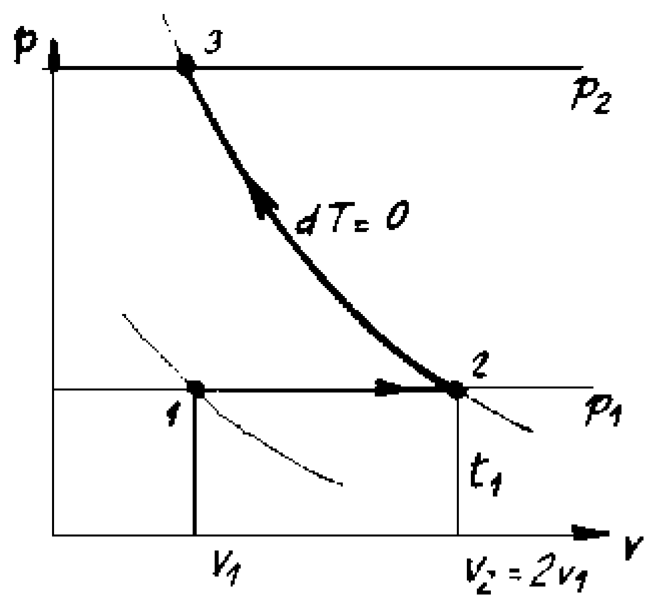
Změna entropie při izotermickém ději

$\Delta s_{(23)} = q_{2,3}/\ T_{2,3}$, kde $T_{2,3} = T_1.(\ v_2/v_1) = 400\ (2.v_1/v_1) = 800$ K

$$q_{23} = r.T_{23} \ln \frac{p_1}{p_2} = 259{,}88.800.\ln \frac{4{,}9.10^5}{39{,}2.10^5} = 259{,}88.800(-2{,}08) = -433.10^3\ \mathrm{J/kg}$$

$$\Delta s_{23} = -\frac{433.10^3}{800} = -0{,}52.10^3\ \mathrm{J/(kg.K)}$$

Celková změna entropie $\Delta s_{(13)} = \Delta s_{(12)} + \Delta s_{(23)} = (0{,}6353 - 0{,}52\ ).10^3 = 0{,}1153.10^3$ J/(kg.K)



Příklad 6.10

1 kg vzduchu o tlaku 0,98.10^5 Pa a teplotě 15 °C se přivede do stavu o teplotě 100 °C a tlaku 4,9.10^5 Pa. Jaká je změně entropie ?

[Δs = -0,202 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.11

1 kg vzduchu o tlaku 7,85.10^5 Pa a teplotě 140 °C expanduje na tlak 1,96.10^5 Pa a zaujímá pak objem 0,55 m^3. Určete změnu entropie!

[Δs= 0,295 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.12

Určete změnu entropii 5 m ^{3} vzduchu při teplotě 500 °C, je-li počáteční stav t_o = 0 °C, p_o = 1,01.10^5 Pa a děj probíhá a) izochoricky, b) isobaricky, c) adiabaticky, d) polytropicky (exponent n = 2).

[ΔS_a= 5,05 kJ/K, ΔS_b = 6,95 kJ/K, ΔS_c = 0, ΔS_d =3,15 kJ/K]

Příklad 6.13

1 m^3 vzduchu o tlaku 5,88.10^5 Pa a teplotě 20 °C expanduje na pětinásobný objem. Po expanzi je teplota -60 °C. Určete přírůstek entropie a konečný tlak !

[ΔS = 1,63 kJ/K, p_2 = 8,55.10^4 Pa]

Příklad 6.14

1 kg vzduchu o tlaku 0,98.10^5 Pa se ohřívá za stálého objemu z 15 °C na 150 °C. Jaký je výsledný tlak, kolik tepla se přivede a jaká je změna entropie ? Znázorněte v T-s diagramu.

[p_2 = 1,44.10^5 Pa, q_{12} = 97 kJ/kg, Δs = 0,276 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.15

1 kg vzduchu se ohřívá za stálého tlaku 1,96.10^5 Pa z 20 °C na 110 °C. Jaký bude konečný objem, kolik tepla se přivede a jaká práce se vykoná ? Vypočítejte změnu entropie a znázorněte v diagramu T-s !

[v_2 = 56 m^3/kg, q_{12} = 90,7 kJ/kg, a_{12} = 25,8 k J/kg, Δs = 0,055 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.16

Jsou zadány parametry vzduchu ve třech stavech: p_1 = 9,8,10^5 Pa, v_1 = 0,226 m^3/kg, p_2 = 7.85.10^5 Pa, v_2 = 0,265 m^3/kg, p_3= 5,9.10^5 Pa, v_3 = 0,325 m^3/kg. Určete entropie a teploty vzduchu v těchto stavech a jaký je to děj ! Předpokládejte, že při teplotě 0 °C je entropie nulová.

[s_1 = s_2 = s_3 = 0,423 kJ/(kg.K), t_1 = 500 °C, t_2 = 451 °C, t_3 = 393 °C, je to adiabatický děj]

Příklad 6.17

Změna stavu dusíku je zadána parametry tří stavů: t_1= 300 °C, v_1 = 0,174 m^3/kg, t_2 = 200 °C, v_2 = 0,143 m^3/ kg, t_3 = 100 °C, v_3 = 0,113 m^3/kg. Znázorněte děj do T-s diagramu a určete jaký je to děj ! Předpokládejte, že při teplotě 0 °C je entropie nulová.

[s_1 = 0,1 k J/(kg.K), s_2 = -0,104 kJ/(kg.K), s_3 = -0,357 kJ/(kg.K) ; je to isobarický děj]

Příklad 6.18

Určete změnu entropie při izochorickém ochlazování 100 m^3 vzduchu z tlaku p_1 = 6.10^5 Pa a teploty t_1 = 40 °C na tlak p_2 = 4,9.10^5 Pa !

[ΔS = -95 kJ/K]

Příklad 6.19

6,42 kg dusíku o tlaku p_1 =1,01.10^5 Pa se ochlazuje za stálého objemu z teploty t_1 = 627 °C na teplotu t_2 = 27 °C. Jaká je změna entropie? Znázorněte v T-s diagramu !

[ΔS = -5,2 kJ/K]

Příklad 6.20

6 kg dusíku vykoná při isobarické expanzi práci A_{12} = 350 kJ. Určete změnu entropie při tomto ději, je-li počáteční teplota t_1 = 100 °C.

[ΔS = 2,826 kJ/K]

Příklad 6.21

6,42 kg dusíku se ohřívá za stálého tlaku p = 1,01.10^5 Pa z teploty t_1 = 27 °C na teplotu t_2 = 627 °C. Určete změnu entropie. Znázorněte v T-s diagramu.

[ΔS = 7,28 kJ/K]

Příklad 6.22

Jak se změní entropie 2 m^3 vzduchu při ohřátí z t_1 =100 °C na t_2 = 500 °C při konstantním tlaku p_p = 2.10^5 Pa a p_b = 0,98.10^5 Pa ?

[ΔS = 4,02 kJ/K]

Příklad 6.23

Při isotermické kompresi 0,3 m^3 vzduchu o tlaku p_1 = 10^6 Pa a t_1 = 300 °C se odvádí teplo 490 kJ. Určete změnu entropie !

[ΔS = -0,855 kJ/K]

Příklad 6.24

3 kg dusíku o teplotě t_1 = 15 °C polytropicky expandují tak, že při tom vykonájí práci 320 kJ a plynu se odebere 40 kJ tepla. Určete změnu entropie plynu při tomto ději !

[ΔS = 0,075 kJ/K = 75 J/K]

Příklad 6.25

5 kg spalin se ochlazuje při stálém tlaku z teploty 1500 °C na 300 °C. Určete změnu entropie je-li měrná tepelná kapacita c_p = 1,045 kJ/(kg.K).

[ΔS = -5,9 kJ/K]

Příklad 6.26

Kolikrát je změna entropie vzduchu větší při isobarickém ději oproti isochorickému, jestliže se v obou případech vzduch ohřívá z teploty t_1 na teplotu t_2 ?

[$\Delta s_p / \Delta s_v = \kappa = 1,4$]

Příklad 6.27

0 kolik je větší změna entropie při isobarickém ohřevu dusíku než při isochorickém ohřevu dusíku, je-li v obou případech počáteční teplota t_1 = 127 °C a konečná t_2 = 527 °C ?

[Δs_p - Δs_v = *0,205 kJ/(kg.K)*]

Příklad 6.28

1,5 kg vzduchu se polytropicky stlačuje z tlaku p_1 = 0,88.10^5 Pa a teploty t_1= 18 °C na tlak p_2 = 9,81.10^5 Pa a teplotu t_2.= 125 °C. Určete změnu entropie !

Řešení:

$m = 1{,}5$ kg; $p_1 = 0{,}88.10^5$ Pa ; $t_1 = 18$ °C ; $p_2 = 9{,}81.10^5$ Pa ; $t_2 = 125$ °C $\Delta s = ?$

Změna entropie při polytropickém ději

$$\Delta s = c_v \frac{n-\kappa}{n-1} . \ln(T_2 / T_1) = 0{,}714.10^3 \frac{1{,}149-1{,}4}{1{,}149-1} \ln\frac{398}{291} = -0{,}3765.10^3 \ J/(kg.K)$$

$\Delta S = m\,\Delta s = 1{,}5\,(-\,0{,}3765.10^3) = -\,0{,}5645.10^3$ J/K

(Pozn.: Exponent polytropického děje byl určen v příkladu 5.47)

Příklad 6.29

Určete změnu entropie 5 m^3 vzduchu o tlaku $p_1 = 1{,}01.10^5$ Pa při polytropickém ochlazování z teploty $t_1 = 127$ °C na teplotu $t_2 = 0$ °C (exponent polytropy n = 2). Znázorněte v diagramu T-s !

[ΔS = 1,066 kJ/K]

Příklad 6.30

6,42 kg dusíku o tlaku $p_1 = 1{,}01.10^5$ Pa polytropicky expanduje z teploty $t_1 = 627$ °C na teplotu $t_2 = 27$ °C. Exponent polytropy n = 2. Určete změnu entropie. Znázorněte v diagramu T-s !

[ΔS = 3,12 kJ/K]

Příklad 6.31

Určete změnu entropie při smíšení 3 kg N_2 a 2 kg CO_2. Teplota a tlak obou plynů před smíšením jsou stejné.

[ΔS = 0, 7725 kJ/K]

Příklad 6.32

Směs plynů se skládá z 30 objemových % dusíku a 70 objemových % vodíku. Její teplota t = 20 °C, tlak $p = 1{,}76.10^5$ Pa. Určete entropii 1 kg směsi za předpokladu,že mezi složkami směsi nenastává chemická reakce a entropie obou složek při normálních fyzikálních podmínkách je rovna nule.

[s = 0,254 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.33

Určete entropii kg směsi o tlaku p= $2{,}94.10^5$ Pa a teplotě t = 300 °C, která se skládá z 0,37 hmotnostních dílů dusíku a 0,63 dílů argonu. Entropie dusíku a argonu při teplotě $t_0 = 0$ °C a tlaku $p_0 = 10^5$ Pa předpokládejte nulové.

[s = 0,455 kJ/(kg.K)]

Příklad 6.34

Určete ztrátu exergie při rozdělení vzduchu na kyslík a dusík. Vzduch se skládá z 21 objemových % kyslíku a 79 objemových % dusíku. Teplota okolí $t_0 = 15$ °C.

[$\Delta e = 42{,}65$ kJ/kg]

Příklad 6.35

0 kolik se zvýší entropie při smíšení 3 kg dusíku s 2 kg kysličníku uhličitého ? Teplota a tlak před míšením jsou stejné.

[$\Delta S = 0{,}7725$ kJ/K]

Příklad 6.36

V regeneračním výměníku zařízení s plynovou turbínou se vzduch ohřívá výfukovými plyny z turbíny z teploty t_1 = 140 °C na t_2 = 270 °C. Plyny se přitom ochlazují z teploty t_3 = 340 °C na teplotu t_4 = 210 °C. Plyn považujte za ideální s vlastnostmi vzduchu. Teplota okolí t_o = 20 °C. Výměník tepla je bez tepelných ztrát. Určete ztrátu exergie !

Řešení:

t_1 = 140 °C ; t_2 = 270 °C ; t_3 = 340 °C ; t_4 = 210 °C ; t_0 = 20 °C; Δe = ?

Ztráta energie $\Delta e = T_0 \; \Delta s$, kde Δs je změna entropie $\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2$

$$\Delta s_1 = c_p \ln \frac{T_4}{T_3} = 1{,}005.10^3 \ln \frac{483}{613} = -0{,}2395.10^3 \text{ J/(kg.K)}$$

$$\Delta s_2 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} = 1{,}005.10^3 \ln \frac{543}{413} = 0{,}275.10^3 \text{ J/(kg.K)}$$

$\Delta s = (-0{,}2395 + 0{,}275).10^3 = 0{,}0355.10^3$ J/(kg.K)

Ztráta exergie $\Delta e = 293.\ 0{,}0355.10^3 = 10{,}4.10^3$ J/kg = 10,4 kJ/kg

---

Příklad 6.37

Určete ztrátu exergie při výměně tepla v regeneračním výměníku zařízení s plynovou turbínou. Vzduch se ohřívá z teploty t_1 = 160 °C na t_2 = ?, plyny se ochlazují z teploty t_3 = 400 °C na teplotu t_4 = 240 °C. Tepelné ztráty výměníku představují 10 % z tepla odnímaného plynu. Výfukové plyny z turbíny a vzduch považujte za ideální plyny s vlastnostmi vzduchu, měrná tepelná kapacita je konstantní. Teplota okolí je t_0 = 15 °C.

[$\Delta e = 20{,}582$ kJ/kg]

Příklad 6.38

Určete ztrátu exergie v palivovém článku jaderného reaktoru, jestliže vyvíjené teplo přechází do vody, protékající při tlaku $98{,}1.10^5$ Pa. Voda se ohřívá z teploty t_1 = 190 °C na teplotu t_2 = 280 °C ; teplota palivového článku je konstantní po jeho délce a rovna t_3 = 380 °C. Ztrátu exergie vztáhněte na 100 kJ vyvinutého tepla. Teplota okolí t_0 = 20 °C. Tepelné ztráty neuvažujte !

[$\Delta e = 12{,}86$ kJ]

Příklad 6.39

V protiproudém výměníku se ochlazuje vzduch z teploty t_1 = 240 °C na teplotu t_2 = 60 °C chladící vodou,která se ohřívá z teploty t_3 = 15° C na teplotu t_4 = 32 °C. Určete změnu entropie systému - voda vzduch - za 1 hod. Množství chladící vody m_{H2O} = 250 kg/h. Měrná tepelná kapacita vzduchu i vody je konstantní, výměník je bez tepelných ztrát.

[ΔS = 17,42 kJ/(K.h)]

Příklad 6.40

Určete ztrátu exergie při kondenzaci vodní páry v kondenzátoru parní turbíny. Kondenzace nastává při tlaku p = 3920 Pa. Teplota okolí t_o = -5 °C. Do kondenzátoru vstupuje sytá pára.

[Δe = 271,6 kJ/kg]

---

7. Carnotův cyklus

Příklad: 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, **7.5**, 7.6, 7.7

Příklad 7.1

Jedním kg vzduchu se provede Carnotův cyklus mezi teplotami T_1 = 900 K, T_2 = 300 K. Nejvyšší tlak je $58{,}8.10^5$ Pa, nejnižší $0{,}98.10^5$ Pa. Určete práci cyklu, účinnost, tlaky a objemy v typických bodech cyklu, přivedené a odvedené teplo! Zakreslete do p-v a T-s diagramu !

[$p_1 = 58{,}8.10^5$ Pa, $p_2 = 45{,}8.10^5$ Pa, $p_3 = 0{,}98.10^5$ Pa, $p_4 = 1{,}25.10^5$ Pa, $v_1 = 0{,}0439$ m^3/kg, $v_2 = 0{,}0563$ m^3/kg, $v_3 = 0{,}8778$ m^3/kg, $v_4 = 0{,}684$ m^3/kg, $a_o = 42{,}8$ k J/kg, $\eta_t = 0{,}666$, $q_H = 63{,}8$ kJ/kg, $/q_C/ = 21{,}2$ kJ/kg]

Příklad 7.2

Chladící zařízení o výkonu Q = 6,95 kW pracuje podle Carnotova cyklu. Teplota chlazeného prostoru t_1 = -10 °C, teplota v místnosti,kde se nachází chladící zařízení je t_2 = 20 °C. Určete chladicí faktor a teoretický výkon motoru pro pohon chladícího zařízení. Určete také, zda se bude ohřívat nebo ochlazovat vzduch v místnosti, kde je umístěno chladící zařízení a jaké teplo se bude přivádět (nebo odvádět) po spuštění zařízení.

[$\varepsilon_{ch} = 8{,}77$, P = 0,795 kW, q_H = -27 980 kJ/h; místnost se ohřívá]

Příklad 7.3

V tropických oblastech je teplota povrchových vrstev mořské vody 30 °C, v hloubce několika set metrů je 10 °C. Tyto vrstvy vody mohou být jako přirozené zdroje tepla využity pro získání práce v termodynamickém cyklu, v našem případě v Carnotově cyklu. Jaká by byla účinnost takového zařízení?

[$\eta_t = 6{,}6\%$]

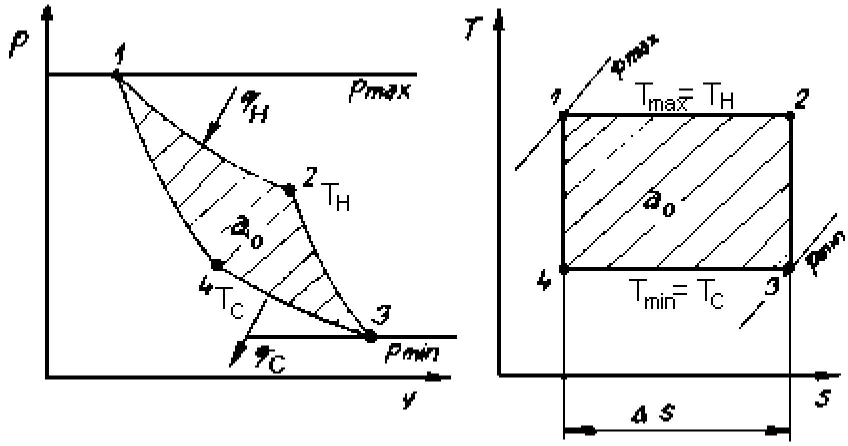
Příklad 7.4

Teplota plynů vycházejících z hlubokých vrstev země dosahuje hodnoty 180 °C; určete maximální účinnost tepelného motoru, využívajícího tohoto zdroje tepla k práci,je-li teplota okolí 20 °C.

[$\eta_t=0{,}353$]

Příklad 7.5

1 kg vzduchu koná Carnotův cyklus mezi teplotami t_H= 327 °C a t_C = 27 °C. Nejvyšší tlak je 2.10^6 Pa; nejnižší $1{,}2.10^5$ Pa. Určete práci cyklu, termickou účinnost, přivedené a odvedené teplo a exergickou účinnost, je-li teplota okolí t_o= 20 °C !



Řešení :

$t_H = t_{max} = 327$ °C; $t_C = t_{min} = 27$ °C , $p_{max} = 2.10^6$ Pa, $p_{min} = 1{,}2.10^5$ Pa ; a_o = ? ; η_t = ?; q_H = ? $/q_C/$ = ? ; η_E = ?

Tlak v bodě 2 cyklu

$$p_2 = p_3 = (T_2 / T_3)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 1{,}2.10^5.\left(\frac{273+327}{273+27}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 1{,}2.10^5.11{,}32 = 1{,}35.10^6 \text{ Pa}$$

Tlak v bodě 4 cyklu

$$p_4 = p_1(T_4 / T_1)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = \frac{2.10^6}{11{,}32} = 1{,}77.10^5 \text{ Pa}$$

Přivedené teplo $\qquad q_H = r.T_{max} \ln\frac{p_1}{p_2} = 287{,}04.600.\ln\frac{2.10^6}{1{,}35.10^6} = 67400 \text{ J/kg}$

Odvedené teplo $\qquad |q_C| = r.T_{min} \ln\frac{p_4}{p_3} = 287{,}04.300.\ln\frac{1{,}77.10^5}{1{,}2.10^5} = 33700 \text{J/kg}$

Termická účinnost cyklu $\qquad \eta_t = 1-\frac{|q_C|}{q_H} = 1-\frac{33700}{67400} = 0{,}5$

Exergetická účinnost je dána poměrem skutečně vykonané a maximální práce

$\eta_E = a/a_{max}$; $a_{max} = q_H - T_o\,\Delta s = q_H\, T_o\,(q_H/T_1)$; $a_0 - q_H - |q_C|$

$$\eta_E = \frac{a_o}{q_H - \frac{T_o}{T_1}q_H} = \frac{q_H - |q_C|}{q_H\left(1-\frac{T_o}{T_1}\right)} \qquad \left(\eta_{to} = 1-\frac{T_o}{T_1} = 1-\frac{293}{600} = 0{,}506\right)$$

$$\eta_E = \frac{q_H - (1-\eta_t)q_H}{q_H\eta_{to}} = \frac{\eta_t}{\eta_{to}} = \frac{0{,}5}{0{,}506} = 0{,}988$$

Příklad 7.6

1 kg mokré páry koná Carnotův cyklus. Určete termickou účinnost cyklu, práci cyklu a měrnou spotřebu páry. Počáteční parametry páry $p_1 = 16.10^5$ Pa, $x_1 = 0{,}97$, konečný tlak $p_2 = 0{,}2.10^5$ Pa.

[$\eta_t = 0{,}297$, $a_0 = 556$ kJ/kg, $d = 0{,}0018$ kg/kJ]

Příklad 7.7

5 kg syté páry o tlaku $p_1 = 12.10^5$ Pa koná Carnotův cyklus, tlak v kondenzátoru $p_2 = 0,2.10^5$ Pa. Určete termickou účinnost cyklu, měrnou spotřebu páry a práci cyklu.

[$\eta_t = 0,277$, $A_o = 2740$ kJ, $d = 0,001825$ kg/kJ]

8. Cykly spalovacích motorů

Příklady: 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, **8.7**, 8.8, 8.9

Příklad 8.1

Určete střední teplotu výfukových plynů cyklu spalovacího motoru s přívodem 920 kJ/kg tepla při v = konst. (výbušný motor), jsou-li parametry pracovní látky na vstupu do válce: $p_1 = 0{,}97.10^5$ Pa, $t_1 = 50$ °C, kompresní poměr $\varepsilon = 6$, měrné tepelné kapacity jsou stejné jako u vzduchu.

[$T_4 = 948$ K, $T_{stř} = 769$ K]

Příklad 8.2

Spotřeba paliva ve spalovacím motoru s kombinovaným přívodem tepla je 0,035 kg/kg pracovní látky. Pracovní látka má vlastnosti vzduchu, tlak $p_1 = 0{,}882.10^5$ Pa, teplota $t_1 = 50$ °C. Kompresní poměr $\varepsilon = 9$, maximální tlak cyklu je $29{,}4.10^5$ Pa. Určete termickou účinnost cyklu, je-li výhřevnost paliva Z = 29 260 kJ/kg.

[$\eta_t = 58{,}9$ %]

Příklad 8.3

Ve válci výbušného motoru probíhá následující proces: a) nasává se 1 kg směsi o tlaku $0{,}98.10^5$ Pa a teplotě 20 °C, b) směs se adiabaticky stlačuje na tlak $5{,}87.10^5$ Pa, c) směs se zapálí a shoří při konstantním objemu, přičemž tlak vzroste na $19{,}6.10^5$ Pa, d) nastává adiabatická expanze až do konce zdvihu a pak se odebírá při konstantním objemu takové teplo až tlak klesne na $0{,}98.10^5$ Pa. Určete přivedené teplo, teploty, tlaky a objemy v typických bodech cyklu, odvedené teplo, práci cyklu a termickou účinnost, jsou-li vlastnosti pracovní látky stejné jako u vzduchu.

[$\eta_t = 40{,}1$ %]

Příklad 8.4

Určete práci pístového spalovacího motoru a přívodem tepla při konstantním objemu, je-li spotřeba paliva 0,044 kg/1 kg vzduchu, kompresní poměr $\varepsilon = 6$, výhřevnost paliva Z = 29 260 kJ/kg, $\kappa = 1{,}37$.

[a_o=625 kJ/kg]

Příklad 8.5

Určete práci a účinnost pístového spalovacího motoru s přívodem tepla při konstantním tlaku, je-li $p_1 = 0{,}98.10^5$ Pa, $t_1 = 50$ °C, kompresní poměr $\varepsilon = 16$, κ= 1,4, ϕ= 1,67 (stupeň plnění). Pracovní látka má vlastnosti vzduchu.

[$\eta_t = 0{,}608$; $a_o = 376$ kJ/kg]

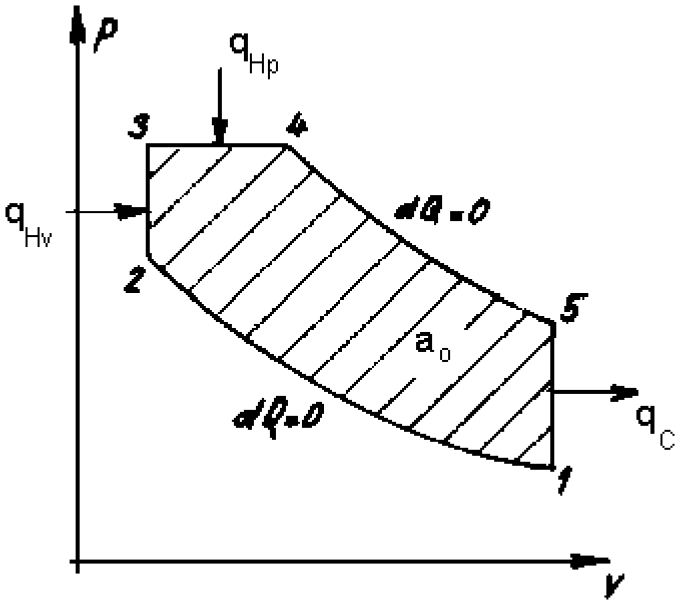
Příklad 8.6

U cyklu pístového spalovacího motoru s přívodem tepla při p = konst. s počátečními parametry $p_1 = 0{,}833.10^5$ Pa a $t_1 = 25$ °C je přivedené teplo $q_H = 773{,}3$ kJ/kg a kompresní poměr ε = 14. Pracovní látka má vlastnosti vzduchu. Určete termickou účinnost a práci motoru.

[$\eta_t = 0{,}6$; $a_o = 464$ kJ/kg]

Příklad 8.7

Pracovní látkou pístových motorů s kombinovaným přívodem tepla je vzduch. Tlak $p_1 = 0{,}0981.10^6$ Pa, teplota $t_1 = 30$ °C, kompresní poměr ε = 7, stupeň zvýšení tlaku Ψ = 2, stupeň plnění φ = 1,2. Určete stavové veličiny v charakteristických bodech cyklu, přivedené teplo, získanou práci a termickou účinnost cyklu. Měrná tepelná kapacita je konstantní.



Řešení:

$p_1 = 0{,}0981.10^6$ Pa; $t_1 = 30$ °C; ε = 7; Ψ = 2; φ = 1,2 ; q_1 = ? ; a_C =? : η_t = ?

	Veličiny		
Bod	p [MPa]	v [m^3/kg]	T [K]
1	0,0981^x	0,887	303^x
2	1,491	0,127	659
3	2,982	0,127	1318
4	2,982	0,1525	1580
5	0,254	0,887	785

^{x} veličiny zadané, ostatní vypočítané

Bod 1

$$v_1 = \frac{r.T_1}{p_1} = \frac{287{,}04.303}{0{,}0981.10^6} = 0{,}887\ m^3/kg$$

Bod 2

$v_2 = v_1 / \varepsilon = 0{,}887 / 7 = 0{,}127$ m^3/kg

Tlak $p_2 = p_1 . \varepsilon^{\kappa} = 0{,}0981.10^6 . 7^{1,4} = 1{,}4\ 91.10^6$ Pa

Teplota $$T_2 = \frac{p_2 v_2}{r} = \frac{1{,}491.10^6.0{,}127}{287{,}04} = 659\ K$$

Bod 3

Tlak $p_3 = p_{2.} \Psi = 1{,}491.10^6 . 2 = 2{,}982.10^6$ Pa

měrný objem $v_3 = v_2 = 0{,}127\ m^3$ /kg

Teplota $$T_3 = \frac{p_3 v_3}{r} = \frac{2{,}982.10^6.0{,}127}{287{,}04} = 1318\ K$$

Bod 4

Tlak $p_4 = p_3 = 2{,}982.10^6$ Pa

měrný objem $v_4 = v_3\ \varphi = 0{,}127.\ 1{,}2 = 0{,}1525\ m^3$/kg

Teplota $T_4 = \varphi.T_3 = 1{,}2.\ 1318 = 1580$ K

Bod 5

Tlak $$p_5 = p_4\left(\frac{v_4}{v_1}\right)^{\kappa} = 2{,}982.10^6\left(\frac{0{,}1525}{0{,}887}\right)^{1,4} = \frac{2{,}982.10^6}{11{,}74} = 0{,}254.10^6\ Pa$$

měrný objem $v_5 = v_1 = 0{,}887\ m^3$/kg

Teplota $$T_5 = T_1\frac{p_5}{p_1} = 303.\frac{0{,}254.10^6}{0{,}0981.10^6} = 785\ K$$

Přivedené teplo

$q_H = c_v(T_3 - T_2)+ c_p (T_4 - T_3) = 0{,}714.10^3.(1318 - 659)+1005.(1580-1318)= 733{,}8.10^3$ J/kg

Odvedené teplo

$$|q_C| = c_v\ (T_5 - T_1) = 0{,}714.10^3\ (785 - 303) = 344{,}3.10^3\ J/kg$$

Práce cyklu

$$a_o = q_H - |q_C| = (733{,}8 - 344{,}3).10^3 = 389{,}5.10^3\ J/kg$$

Termická účinnost cyklu

$$\eta_t = \frac{a_o}{q_H} = \frac{389{,}5.10^3}{733{,}8.10^3} = 0{,}528$$

Příklad 8.8

U rovnotlakého Dieselova motoru, jehož pracovní látka má vlastnosti vzduchu jsou zadány teploty t_1 = 40 °C, t_2 = 600 °C, t_4 = 270 °C. Určete termickou účinnost Dieselova motoru a porovnejte ji s účinností Carnotova cyklu, pracujícího mezi stejnými teplotami.

[η_{tD} = 0,61, η_{tC} = 0,76]

Příklad 8.9

Určete odvedené teplo, práci cyklu a termickou účinnost pístového motorus kombinovaným přívodem tepla, je-li dáno $p_1 = 10^5$ Pa, $t_1 = 27$ °C, stupeň zvýšení tlaku $\Psi = 1,5$, nejvyšší tlak $p_3 = 6.10^6$ Pa, množství přivedeného tepla $q_H = 1170$ kJ/kg. Pracovní látka má vlastnosti vzduchu ($\kappa = 1,4$).

[$|q_c|$ = 430 kJ/kg, η_t = 0,631, a_o = 740 kJ/kg]

9. Kompresory a pneumatické motory

Příklad: 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, **9.6**, 9.7, 9.8, 9.9, 9.10, 9.11, 9.12, 9.13, 9.14, 9.15, 9.16, 9.17

Příklad 9.1

Dvojčinný vzduchový kompresor bez škodného prostoru, pracující beze ztrát, nasává při 100 otáčkách za minutu V_o = 500 m^3/h vzduchu o tlaku p_1 = 0,098 MPa a stlačuje jej isotermicky na 0,882 MPa. Jaká je práce potřebná ke stlačení 1 kg vzduchu, celkový příkon kompresoru, odvedené teplo, zdvihový objem, práce na 1 zdvih a střední indikovaný tlak ?

[a_k = -182,2 kJ/kg, q_{od} = -182,2 kJ/kg, P = 29,8 kW, a_k = -896 kJ/zdvih, V_z = 0,04165 m^3, $p_{i,stř}$ = 0,2 MPa]

Příklad 9.2

Dvoustupňový kompresor nasává 0,0533 m^3/s vzduchu o teplotě t_1 = 20 °C a tlaku p_1= 0,1 MPa a stlačuje jej na tlak p_2 = 1 MPa. Určete celkový příkon kompresoru a množství chladicí vody pro mezichladič, je-li poměr tlaků u obou stupňů stejný, celková účinnost každého stupně je 0,75, komprese v obou stupních je adiabatická (κ = 1,4). Teplota chladící vody na vstupu do mezichladiče je 15 °C, na výstupu 25 °C.

[P =18,5 kW, m_{H2O} = 1,667.10^{-4} kg/s]

Příklad 9.3

Dvojstupňový dvojčinný vzduchový kompresor bez škodného prostoru, pracující beze ztrát, nasává za hod. 500 m^3 vzduchu o tlaku 0,098 MPa a teplotě 17 °C a stlačuje jej polytropicky (exponent n = 1,3) na 0,882 MPa při 1,667 otáčkách ze vteřinu. V chladiči mezi oběma stupni se vzduch ochladí na 17 °C. Jaká je celková práce kompresoru, celkový příkon, teplo odvedené při kompresi, teplo odvedené vodou v mezichladiči, zdvihové objemy nízkotlakého a vysokotlakého válce a střední indikovaný tlak ?

[A_k = -33,9 kW, P = 34 kW, Q_{kompr} = - 6,56 kW, Q_{chl} = -14 kW, V_{ZN} = 0,416 m^3, V_{ZV} = 0,0139 m^3, $p_{istř}$ = 0,244 MPa]

Příklad 9.4

Kompresor nasává 250 m^3 vzduchu za hodinu při sacím tlaku 0,89 MPa a teplotě 25 °C a stlačuje jej polytropicky (exponent n = 1,2) na tlak 0,785 MPa. Kolik kg vody 10 °C teplé se spotřebuje ke chlazení válce kompresoru, je-li dovolené ohřátí vody 10 K ?

[m_{H2O} = 577 kg/h]

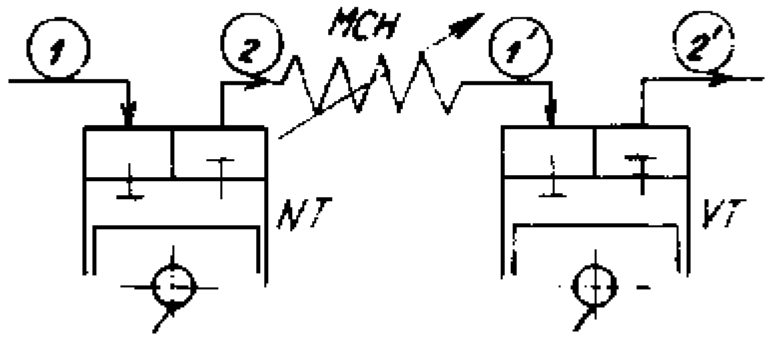
Příklad 9.5

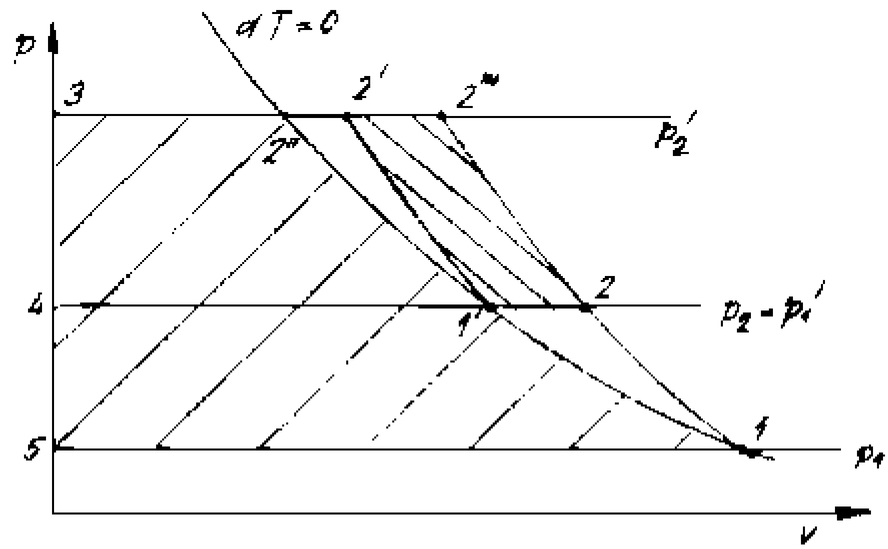
Kompresor nasává 200 m^3/h vzduchu o tlaku p_1 = 0,098 MPa a teplotě t_1 = 27 °C a stlačuje jej na tlak p_2 = 0,785 MPa. Určete teplotu na výstupu z kompresoru, objem stlačeného vzduchu, teoretický výkon kompresoru, je-li komprese a) isotermická, b) adiabatická, c) polytropická s exponentem n = 1,3.

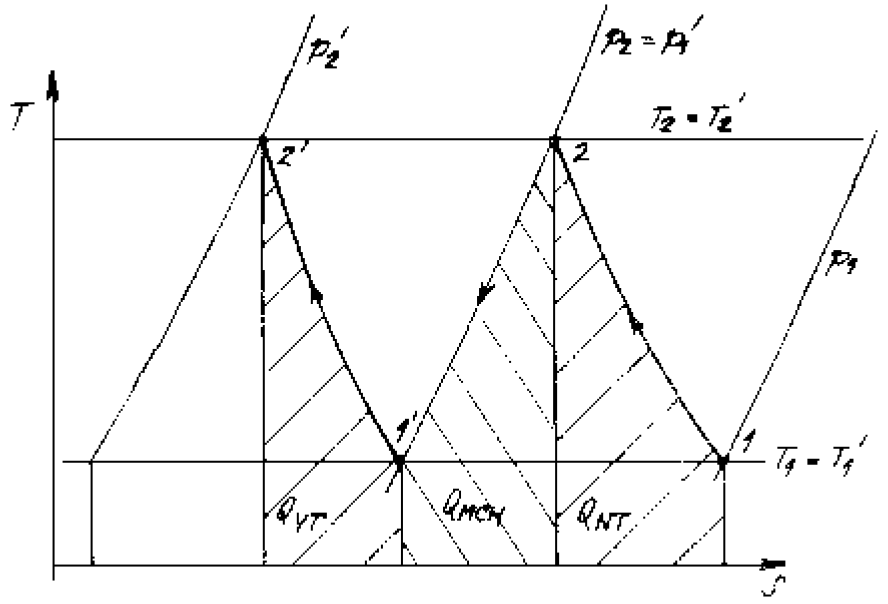
[p_a = 11,3 kW, P_b = 15,4 kW, Pc = 14,55 kW]

Příklad 9.6

Dvoustupňový kompresor nasává vzduch o teplotě t_1 = 20 °C a tlaku 0,0981 MPa a stlačuje jej na tlak p'_2 = 6 MPa. Určete výkon motoru pro pohon kompresoru a množství chladící vody pro oba stupně kompresorů a pro mezichladič, je-li poměr výstupních a vstupních tlaků u obou stupňů stejný a účinnost každého stupně je rovna 0,7. Teplota chladící vody se zvýší o 15 K. Komprese v obou stupních je polytropická s exponentem n = 1,3. Výkon kompresoru V = 0,14 m^3 /s.







Řešení :

t_1 = 20 °C; p_1 = 0,0981 MPa, p_2 = 6 MPa, η_k = 0,7, Δt_{H2O} = 15 K; n =1,3; V = 0,14 m^3/s ; P_{NT} = ?, P_{VT} = ?, m_{NT} = ?, m_{VT} = ?, m_{MCH} = ?

Poměr tlaků v obou stupních

$$p_2/p_1 = p'_2/p'_1 = \sqrt{p'_2/p_1} = \sqrt{\frac{6.10^6}{0{,}0981.10^6}} = 7{,}825$$

Teplota $t'_1 = t_1 = 20$ °C

Objem $V_1 = V'_1 = V = 0{,}14\ m^3/s$

Potřebný příkon pro stlačení vzduchu v NT stupni

$$P_{NT} = p_1 V_1 \frac{n}{n-1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right] = 0{,}0981.10^6.0{,}14\,\frac{1{,}3}{0{,}3}\left[(7{,}825)^{\frac{0{,}3}{1{,}3}} - 1\right] = 36{,}17.10^3\ \mathrm{W}$$

pro VT stupeň $P_{VT} = P_{NT} = 36{,}17.10^3$ W

Výkony motorů pro oba stupně

$$P_{PNT} = P_{PVT} = P_{NT}/\eta_k = \frac{36{,}17.10^3}{0{,}7} = 50{,}82.10^3\ \mathrm{W}$$

Teplota na konci komprese v obou stupních

$$T_2 = T'_2 = T_1(p_2/p_1)^{\frac{n-1}{n}} = 293.7{,}825^{\frac{0{,}3}{1{,}3}} = 471{,}4\ \mathrm{K}$$

Tepelný tok odváděný z obou stupňů při kompresi

$$Q_{NT} = Q_{VT} = m.c_n(T_2 - T_1) =$$

$$= \frac{p_1 V_1}{r T_1} c_v \frac{n-\kappa}{n-1}.(T_2 - T_1) = \frac{0{,}0981.10^6.10^4}{287{,}04.293}.0{,}714.10^3.\frac{1{,}3-1{,}4}{1{,}3-1}.(471{,}4-293) = -6{,}93.10^3\ \mathrm{W}$$

Množství chladicí vody pro NT (VT) stupeň kompresoru

$$m_{H2ONT} = m_{H2OVT} = \frac{|Q_{NT}|}{\Delta t_{H2O}.c_{H2O}} = \frac{6{,}93.10^3}{15.4{,}1868.10^3} = 0{,}11045\ \mathrm{kg/s}$$

Tepelný tok, odvádění vzduchu v mezichladiči

$$Q_{MCH} = m.c_p(t'_1 - t_2) = \frac{p_1 V_1}{r T_1}.c_p(T_1 - T_2) = \frac{98100.0{,}14.1005}{287{,}04.293}(293 - 471{,}4) = -29{,}24.10^3\ \mathrm{W}$$

Množství chladící vody pro mezichladič

$$m_{H2OMCH} = \frac{|Q_{MCH}|}{\Delta t_{H2O}.c_{H2O}} = \frac{29{,}24.10^3}{15.4{,}1868.10^3} = 0{,}4655\ \mathrm{kg/s}$$

Celkové potřebné množství chladící vody $m_{H2O} = m_{H2O\,NT} + m_{H2O\,VT} + m_{H2O\,MCH} = 0{,}11045 + 0{,}11045 + 0{,}4655 = 0{,}6844$ kg/s

Příklad 9.7

Nasáté množství kompresoru je 50 m^3/h o výtlačném tlaku 0,785 MPa. Kompresor je chlazen vodou tak, že kompresi můžeme považovat za isotermickou.

a) určete teoretický výkon motoru pro pohon kompresoru, je-li účinnost kompresoru 0,6

b) jaké je potřebné množství chladicí vody ke chlazení kompresoru, je-li ohřátí vody 6 K.

Tlak okolního vzduchu je 0,098 MPa.

[P = 37,8 kW, m_{H2O} = 3250 kg/h]

Příklad 9.8

Kompresor nasává 500 m^3/h atmosférického vzduchu o tlaku p_1 = 0,098 MPa a teplotě t_1 = 20 °C a stlačuje jej na p_2= 0,785 MPa. Nejprve nebyl kompresor chlazen, po spuštění chlazení byla komprese polytropická s exponentem n = 1,3. Určete roční úsporu elektrické energie, pracoval-li kompresor 12 hodin denně s účinností η_K = 0,7.

[A = 61 600 MJ]

Příklad 9.9

Dvojstupňový pístový kompresor o výkonu V_o = 800 m^3/h nasává vzduch o teplotě t_1 = 15 °C a tlaku p_1 = 0,098 MPa a stlačuje jej na tlak p_2 = 2,94 MPa. Komprese je polytropická a exponentem n = 1,3. Poměr tlaku je v obou stupních stejný. Stanovte úsporu elektrické energie při zařazení mezichladiče vzduchu, je-li sací teplota v obou stupních 15 °C a účinnost η_k = 0,7.

[A = 2845 MJ]

Příklad 9.10

Třístupňový kompresor o výkonu 250 kg/h vzduchu o tlaku p_4 = 7,85 MPa nasává vzduch o teplotě t_o = 17 °C a tlaku p_o = 0,093 MPa. Určete teoreticky výkon motoru pro pohon kompresoru a teplo odvedené v mezichladičích. Komprese je adiabatická.

[P = 31,9 kW, Q_{MCH} = 31 680 W]

Příklad 9.11

Kompresor nasává 200 kg/h vzduchu o tlaku p_o = 0,098 MPa a teplotě t_o= 15 °C a stlačuje jej na tlak 0,98 MPa. Zpočátku pracoval kompresor s exponentem n = 1,3, později se zvýšilo chlazení válce tak, že exponent n = 1,2. Určete roční úsporu nafty, jestliže kompresor pracoval 280 dní za rok po 20 hodinách denně, účinnost motoru je 0,08 a výhřevnost paliva - nafty Z = 41 860 kJ/kg.

[m = 7930 kg/rok]

Příklad 9.12

Určete příkon motoru pro pohon odstředivého kompresoru o výkonu 3,67 m^3/s. Parametry nasávaného vzduchu t_1 = 20 °C, p_1 = 0,098 MPa, teplota stlačeného vzduchu t_2 = 50 °C, rychlost na výstupu z kompresoru w_2 =50 m/s, měrná tepelná kapacita vzduchu c_p = 1 kJ/(kg.K), mechanická účinnostη_m= 0,95.

[P = 128 kW]

Příklad 9.13

Při snížení množství vody pro chlazeni válce kompresoru vzrostla teplota stlačeného vzduchu na výstupu z kompresoru ze 100 °C na 150 °C. Počáteční teplota (teplota v sání) zůstala stejná t_o = 17 °C. Sací tlak p_o = 0,098 MPa, výtlačný tlak p_1 = 0,44 MPa. Jak se změní příkon motoru pro pohon kompresoru?

[o 6 %]

Příklad 9.14

Kolika stupňový je kompresor, jsou-li parametry nasávaného vzduchu p_1 = 0,098 MPa, t_1 = 27 °C, stlačeného vzduchu p_2 = 20,6 MPa, nemá-li být teplota stlačeného vzduchu vyšší než 150 °C ?

[$n_s = 5$]

Příklad 9.15

Kyslíkový kompresor stlačuje kyslík z tlaku p_1 = 0,098 MPa a teploty t_1 = 17 °C na tlak p_2 = 0,343 MPa. Určete příkon motoru pro pohon kompresoru, je-li adiabatická účinnost η_{ad} = 0,83 a stlačené množství V= 200 m^3/h.

[P= 23,4 kW]

Příklad 9.16

Pneumatický motor o výkonu P = 30 kW spotřebuje 612 kg/h vzduchu o tlaku p_1= 1,96 MPa a teplotě t_1 = 30 °C. Určete výstupní tlak, je-li expanze v motoru adiabatická.

[p_2 = 0,098 MPa]

Příklad 9.17

Stav vzduchu vstupujícího do pneumatického motoru je zadán tlakem p_1 = 0,98 MPa a teplotou t_1 = 15 °C. Expanze je adiabatická na p_2 = 0,098 MPa. Určete spotřebu vzduchu, je-li výkon motoru P = 10 kW. Určete také výkon, je-li poměrné plnění φ = 0,7 při stejné spotřebě vzduchu! Jaká je v obou případech teplota na konci expanze ? Zobrazte děj do diagramu p-v v obou případech !

[m =258 kg/h, P´= 9,8 kW, t_2= -123 °C, t'_2 = -102 °C]

---

10. Proudění plynů, izoentropický výtok ideálního plynu z nádob

Příklad 10.1

Vzduch o tlaku p_1 = 0,5 MPa, teplotě t_1 = 40 °C expanduje z větrníku do atmosféry na tlak p_2 = 0,1 MPa. Určete kritický stav: p_k, t_k, w_k.

[p_k = 0,254 MPa, t_k = -12 °C, w_k = 318 m/s]

Příklad 10.2

Vzduch o konstantním tlaku p_1 = 8 MPa a teplotě t_1 = 20 °C vytéká z tlakové nádoby otvorem o průměru 20 mm do okolního prostředí o tlaku p_2 = 0,1 MPa. Určete rychlost a množství vzduchu vytékajícího z nádoby!

[w_k = 375 m/s, m = 5,9 kg/s]

Příklad 10.3

V nádobě je kyslík o tlaku p_1 = 5 MPa. Plyn vytéká zužující se tryskou do prostředí o tlaku p_2 = 4 MPa.Počáteční teplota kyslíku je 100 ° C. Určete teoretickou výtokovou rychlost a vytékající množství, je-li plocha výstupního otvoru trysky S = 20.10^{-6} m^2 ! Určete také rychlost a množství kyslíku při výtoku do okolní atmosféry o tlaku p'_2 = 0,098 MPa.

Řešení:

p_1 = 5 MPa; p_2 = 4 MPa , t_1 = 100 °C, S = 20.10^{-6} m^2, p'_2 = 0,098 MPa, w_2 = ?, m = ? w_2' = ?, m´ = ?

a) Tlakový poměr $$\frac{p_2}{p_1} = \frac{4.10^6}{5.10^6} > \frac{p_k}{p_1} = 0{,}528$$

$$w_2 = \sqrt{2\frac{\kappa}{\kappa-1} rT\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]} = \sqrt{2\frac{1{,}4}{1{,}4-1}259{,}88.373\left[1-0{,}8^{\frac{0{,}4}{1{,}4}}\right]} = \sqrt{4{,}173.10^4} = 204\ m/s$$

Hmotnostní tok $$m = S\sqrt{2\frac{\kappa}{\kappa-1}\frac{p_1}{v_1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}\right]} = S\sqrt{2\frac{\kappa}{\kappa-1}\frac{p^2_1}{rT_1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}\right]} =$$

$$= 20.10^{-6}\sqrt{2\frac{1{,}4}{0{,}4}\frac{(5.10^6)^2}{259{,}88.373}\left[0{,}8^{\frac{2}{1{,}4}} - 0{,}8^{\frac{2{,}4}{1{,}4}}\right]} = \sqrt{3{,}253.10^{-2}} = 0{,}1804\ kg/s$$

b) Tlakový poměr $$\frac{p'_2}{p_1} = \frac{0{,}098.10^6}{5.10^6} = 0{,}0196 < \frac{p_k}{p_1} = 0{,}528$$

$$w'_2 = w_k = \sqrt{2\frac{\kappa}{\kappa+1}rT_1} = \sqrt{2\frac{1{,}4}{1{,}4+1}259{,}88.373} = \sqrt{11{,}3.10^4} = 336{,}3\ m/s$$

Hmotnostní tok
$$m' = m_k = S\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}\sqrt{\frac{\kappa}{\kappa+1}\frac{2p_1}{v_1}} = S\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}\sqrt{\frac{\kappa}{\kappa+1}2\frac{p^2_1}{rT_1}} =$$

$$= 20.10^{-6}\left(\frac{2}{2{,}4}\right)^{\frac{1}{0{,}4}}\sqrt{\frac{1{,}4}{2{,}4}2\frac{(5.10^6)^2}{259{,}88.373}} = 0{,}2198\ kg/s$$

Příklad 10.4

Určete rozměry trysky plynové turbíny, jestliže spaliny mají vlastnosti vzduchu a počáteční stav je: p_1 = 0,7 MPa, t_1 = 947 °C a tlak za tryskou p_2 = 0,12 MPa. Průtočné množství m = 0,5 kg/s, κ =1,35. Výtok je adiabatický, bez tření. Jaká je teplota plynu na oběžných lopatkách turbíny ?

[d_k = 0,028 m, d_2 = 0,03437 m, l = 0,03542 m, t_2 = 499 °C]

Příklad 10.5

Vzduch o tlaku p_1 = 1,47 MPa a teplotě t_1 = 27 °C vytéká Lavalovou dýzou do prostředí o tlaku p_2 = 0,117 MPa. Nejužší průřez dýzy má průměr d_k = 0,04 m. Za jakou dobu vyteče 200 kg vzduchu a jaká bude výtoková rychlost ?

[τ = 46,2 s, w_2 = 558 m/s]

Příklad 10.6

Určete teoretickou výtokovou rychlost a průtočné množství dusíku, jestliže p_1 = 6,85 MPa, t_1 = 50 °C, p_2 = 4,4 MPa. Průřez dýzy je S = 10.10^{-6} m^2.

[w = 280 m/s, m = 150 kg/s]

Příklad 10.7

Zužující se dýzou proudí kyslík z prostředí o tlaku p_1 = 5,88 MPa a teplotě t_1 = 100 °C do prostředí o tlaku p_2 = 3,52 MPa. Určete výtokovou rychlost a množství vytékajícího kyslíku, je-li výstupní průřez o ploše S_2 = 20 mm^2.

[w_2 = 304 m/s, m = 0,256 kg/s]

Příklad 10.8

Dvouatomový plyn s plynovou konstantou r = 294,3 J/(kg.K) vytéká dýzou do prostředí o tlaku a) p_2 = 3,54 MPa, b) p_2 = 0,098 MPa. Počáteční parametry jsou p_1 = 6,37 MPa, T_1 = 300 K. Určete výtokovou rychlost a vytékající množství plynu, je-li průměr výstupního otvoru zužující se trysky d = 0,005 m.

[a) w = 310 m/s, m = 0,257 kg/s, b) w = 321 m/s, m = 0,288 kg/s]

Příklad 10.9

Určete rozměry Lavalovy dýzy, je-li tlak na vstupu do dýzy p_1 = 0,687 MPa a teplota t_1 = 27 °C. Vzduch vytéká do prostředí o tlaku p_2 = 0,098 MPa. Průtočné množství m = 2 kg/s. Jak se změní průtočné množství vzduchu, bude-li vstupní teplota t'_1 = 177 °C ? Jaké budou rozměry dýzy při vstupní teplotě t'_1 oproti t_1 při stejném průtočném množství ?

[$S_{min} = 1{,}25.10^{-3} m^2$, $S_2 = 2{,}3.10^{-3} m^2$, $w_2 = 497$ m/s, $m' = 1{,}64$ kg/s, $S'_{min} = 1{,}525.10^{-3} m^2$]

Příklad 10.10

Určete rozměry trysky, je-li p_1 = 3,43 MPa, t_1 = 250 °C, p_2 = 0,098 MPa, m = 1,5 kg/s. Výtok kyslíku je adiabatický, bez tření.

[$S_k = 0{,}236{,}10^{-3} m^2$, $S_2 = 0{,}905.10^{-3} m^2$]

Příklad 10.11

Určete vytékající množství kyslíku otvorem o průměru d = 0,01 m z nádoby, ve které je tlak p_1 = 0,176 MPa a teplota t_1 = 300 °C do volné atmosféry. Výtok je adiabatický bez tření.

[m = 0,0243 kg/s]

Příklad 10.12

Potrubím proudí vzduch rychlostí w = 180 m/s. Teplota vzduchu se měří rtuťovým teploměrem. Určete rozdíl skutečné teploty a teploty naměřené teploměrem ! Tento rozdíl vzniká zabrzděním proudu vzduchu v blízkosti teploměru.

[Δt = 16,1 K]

Příklad 10.13

Letadlo letí rychlostí 1200 km/h. Určete o kolik stupňů je teplota povrchu letadla vyšší než teplota okolí !

[Δt = 55 K]

Příklad 10.14

Určete vytékající množství vzduchu ze zásobníku s tlakem p_1 = 0,98 MPa otvorem o průměru 15 mm do prostředí o tlaku p_2 = 0,098 MPa. Teplota v zásobníku je t_1 = 20 °C. O ztrátách tepla do okolí neuvažujte ! Rychlostní součinitel φ = 0,93. Součinitel kontrakce μ = 0,75. Jaké maximální rychlostí se dosáhne ?

[m = 270 kg/h, w_{max} = 291 m/s]

Příklad 10.15

Určete tlak ve válci spalovacího motoru, je-li rychlost nasávaného vzduchu 100 m/s, tlak p_1 = 0,098 MPa a teplota t_1 = 15 °C ! Ztrátu rychlosti ve ventilu zanedbejte !

[p_2 = 0,092 MPa]

Příklad 10.16

Určete průměr výstupního otvoru zužující se trysky, kterou vytéká m = 3,5 kg/s dusíku. Vstupní parametry p_1 = 1 MPa, t_1 = 217 °C, tlak okolního vzduchu p_2 = 0,1 MPa. Určete také výtokovou rychlost.

[d = 0,05 m, w_2 = 412 m/s]

Příklad 10.17

0 kolik stupňů bude teplota na povrchu rakety vyšší než teplota okolí, je-li rychlost rakety w = 1000 m/s ?

[Δt = 500 K]

Příklad 10.18

Vzduch vytéká ze zásobníku, ve kterém je konstantní tlak p_1 = 4,9 MPa a teplota t = 27 °C, do volné atmosféry (tlak p_2 = 0,098 MPa) potrubím o průměru d = 0,02 m. Určete teoretickou výtokovou rychlost a vytékající množství.

[w_k = 317 m/s, m = 3,66 kg/s]

Příklad 10.19

Vzduch vytéká ze zásobníku o tlaku p_1 = 0,177 MPa a teplotě t_1 = 27 °C do volné atmosféry (p_2 = 0,098 MPa) potrubím o průměru d = 0,01 m. Určete výtokovou rychlost a množství vytékajícího vzduchu !

[w_2 = 305 m/s, m = 0,0324 kg/s]

Příklad 10.20

Určete rozměry Lavalovy dýzy a výtokovou rychlost vzduchu, je-li výtokové množství m = 2,9 kg/s, tlak na vstupu p_1 = 0,785 MPa, teplota t_1 = 127 °C, tlak na výstupu p_2 = 0,098 MPa. Rozšíření dýzy α= 12°.

[d_{min} = 0,048 m, d_2 = 0,063 m, l = 0,07 m, w_2 = 600 m/s]

Příklad 10.21

Určete rychlost vzduchu v sacím ventilu spalovacího motoru, je-li ve válci podtlak p_v = $4{,}9.10^3$ Pa, tlak okolního vzduchu p_1=0,1 MPa, teplota t_1= 25 °C. Rychlostní součinitel φ = 0,95.

[w = 93,5 m/s]

Příklad 10.22

Určete výtokovou rychlost a průměr výstupního otvoru zužující se dýzy, kterou vytéká m = 4,2 kg/s dusíku o tlaku p_1 = 3,1 MPa a teplotě t_1 = 627 °C. Tlak okolního vzduchu p_2 = 0,095 MPa, rychlostní součinitel φ = 0,96.

[w_2 = 496 m/s, d_2 = 0, 039 m]

Příklad 10.23

Parametry vzduchu na vstupu do zužující se dýzy s minimálním průřezem S_{min} = 10 mm jsou: tlak p_1 = 0,98 MPa, teplota t_1 = 300 °C. Poměr tlaků je menší než kritický. Jak se změní výtokové množství, připojíme-li k zužující se dýze rozšiřující se nátrubek ?

[m = 0,01657 kg/s]

Příklad 10.24

Kompresor nasává 0,0533 m>^{3}/s vzduchu o tlaku p_1 = 0,1 MPa a teplotě t_1 = 20 °C. Určete průřez pojistného ventilu na výtlačné straně druhého stupně. Výtlačný tlak p_3 = 1,0 MPa, ochlazení za prvním stupněm na 20 °C, Pojistný ventil se má otevřít při tlaku o 10 % vyšším, než je tlak provozní (p_3). Vzduch vyfukuje do atmosféry o tlaku 0,1 MPa a teplotě 20 °C.

[S = 29,5 mm^2]

Příklad 10.25

Jaký bude podtlak za sacím ventilem motoru, jestliže rychlost vzduchu ve ventilu nemá překročit 90 m/s. Rychlostní koeficient φ = 0,95, parametry před ventilem: tlak 0,098 MPa, teplota 20 °C.

[p = 0,0926 MPa]

Příklad 10.26

Při sacím zdvihu rovnotlakého spalovacího motoru bylo dosaženo podtlaku p_v = 4,9.10^3 Pa. Jaká je rychlost vzduchu ve ventilu, je-li rychlostní součinitel φ = 0,95. Nasávaný vzduch má tlak p_1 = 0,098 MPa, teplotu t_1 = 25 °C.

[$w_2 = w_k$ = 300 m/s]

---

11. Cykly plynových turbín, reakční tepelné motory

Příklad: **11.1**, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6

Příklad 11.1

Určete termickou účinnost cyklu plynové turbíny s přívodem tepla při konst. tlaku s kompresním poměrem 10, $\kappa = 1{,}4$.

Řešení :

$\varepsilon = 10$; $\kappa = 1{,}4$; $\eta_t = ?$

Termická účinnost turbíny s přívodem tepla při p= konst.

$\eta_t = 1\text{-}(1/ \varepsilon^{\kappa\text{-}1}) = 1 - (1/10^{1{,}4\ -1}) = 1 - (1/ 2{,}51) = 1 - 0{,}3985 = 0{,}6015$

Příklad 11.2

Do turbíny proudí helium o tlaku p_3 = 1 MPa a teplotě t_3 = 700 °C. Vnitřní účinnost turbíny η_{vn} = 0,86, tlak za turbínou p_4 = 0,1 MPa. Určete teplotu helia na výstupu z turbíny, spotřebu helia, je-li výkon turbíny P = 40 MW!

[t_4 = 196 °C, m = 15,31 kg/s]

Příklad 11.3

Určete teplotu plynu na oběžných lopatkách turbíny reakčního motoru s přívodem tepla při konstantním tlaku, je-li p_1 = 0,054 MPa, t_3 = 800 °C, tlak plynu na lopatkách turbí

ny p'_3= 0,1 MPa, termická účinnost cyklu η_t = 0,28. Pracovní látka má vlastnosti vzduchu.

[t'_3 = 650 °C]

Příklad 11.4

Raketový motor, pracující při barometrickém tlaku 0,098 MPa má ve spalovací komoře tlak 2,16 MPa a teplotu 2300 K. Hořením vzniká 0,5 kg/s spalin o χ =1,3, r = 346 J/(kg.K). Určete : S_x (m^2), w_x (m/s), v_x (m^3/kg), Ma_x v průřezu o tlaku p_x = 0,98 MPa; w_o(m/s) na konci dýzy při úplné expanzi.

[v_x = 0,678 m^3/kg, w_x = 1072 m/s, S_x = 0,453.$10^{-3}m^2$, Ma_x = 1,153, w_o = 1880 m/s]

Příklad 11.5

Ideální raketový motor pracuje ve výšce 12 200 m. Barometrický tlak p_b = 0,0187 MPa. Tah motoru je 4900 N. Tlak ve spalovací komoře je 2,06 MPa, teplota 3000 K. Zplodiny hoření mají κ = 1,3, r = 343 J/(kg.K). Určete kritický a výstupní průřez, kritickou a výtokovou rychlost, výtokovou teplotu při úplné expanzi na barometrický tlak a množství spalin.

[w_k = 1080 m/s, w_2 = 2416 m/s, m = 2,025 kg/s, S_k = 0,1495.10^{-2} m^2, S_2 = 1,558,10^{-2} m^2, T_2 = 1010 K]

Příklad 11.6

Jaká je procentuelní změna tahu ideálního raketového motoru, který je propočítán pro práci při mořské hladině (tlak p = 0,101 MPa) a dává zde tah 4900 N, bude-li pracovat ve vyši 12 200 m (tlak p = 0,0187 MPa). Teplota ve spalovací komoře T_1 = 3 000 K, tlak p_1 = 2,45 MPa. Spaliny mají κ = 1,3, r = 343 J/(kg.K).

[8,62 %]

---

12. Termomechanika par, Clausiova-Clapeyronova rovnice, parní tabulky, základni termodynamické děje v oblasti par

---

Příklad 12.1

Určete stav vodní páry o tlaku p = 0,785 MPa a měrném objemu v = 0,22 m^3/kg.

[pára je mokrá x = 0,897]

Příklad 12.2

Určete stav vodní páry o tlaku p = 0,59 MPa a teplotě t = 190 °C.

Řešení :

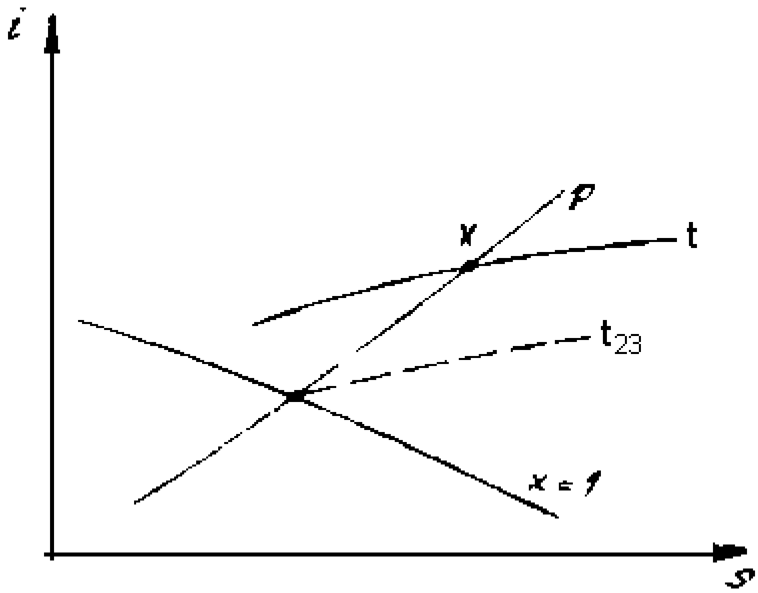
p = 0, 59 MPa ; t = 190 °C; stav páry = ?

Z tabulky syté kapaliny a syté páry H_20 stanovíme teplotu syté páry o tlaku 0,59 MPa, t_{23} = 158,14 °C < t = 190 °C.

Jedná se tedy o přehřátou páru a z tabulky přehřáté vodní páry nebo i-s diagramu lze stanovit pro tlak p a teplotu t měrný objem

v, entalpii i a entropii s páry.

Přehřátí páry $\Delta t = t - t_{23}$ = 190 - 158,14 = 31,86 K



Příklad 12.3

Určete stav vodní páry o tlaku p = 0,98 MPa a teplotě t = 179 °C !

[může to být pára sytá, pára mokrá nebo sytá kapalina]

Příklad 12.4

V parním kotli je tlak páry p = 9 MPa a suchost x = 0,98. Určete entalpii a vnitřní energii mokré páry.

[i = 2715,4 kJ/kg, u = 2534,5 kJ/kg]

Příklad 12.5

10 m^3 syté páry o tlaku p_1 = 0,98 MPa se ochlazuje při konstantním objemu na teplotu t_2 = 60 °C. Určete konečnou suchost páry, konečný tlak a odvedené teplo !

[x_2 = 0,0256, p_2 = 0,0196 MPa, Q_{12} = 115 000 kJ]

Příklad 12.6

Sytá vodní pára o tlaku p_1 = 0,98 MPa se ohřívá v uzavřeném kotli na teplotu 300 °C. Určete přehřátí páry a přivedené teplo !

[Δt = 110 K, q_{12}= 190 kJ/kg]

Příklad 12.7

Přehřátá vodní pára o tlaku p_1 = 0,198 MPa a teplotě t_1 =160 °C se ohřívá při konstantním objemu na tlak p_2 = 0,294 MPa. Určete výslednou teplotu a přivedené teplo.

[t_2 = 364 °C, q_{12} = 324 kJ/kg]

Příklad 12.8

V parním kotli je směs vody a vodní páry o tlaku p_1 = 1,96 MPa a suchosti x = 0,02. Za jak dlouho se tlak v kotli zvýší na p_2 = 4,9 MPa při uzavřených ventilech, je-li přivedený teplý tok Q_{12} = 279,1 W a množství mokré páry m = 10^4 kg ?

[τ = 2 hod 45 min]

Příklad 12.9

Parním potrubím o průměru 0,12 m proudí pára o tlaku p_1 = 9,82 MPa a teplotě t_1 = 500°C. Určete množství vody, které se vysráží po odpojení potrubí od kotelny a strojovny. Délka potrubí je 50 m. Teplota okolního vzduchu je 30°C.

[m =15,083 kg]

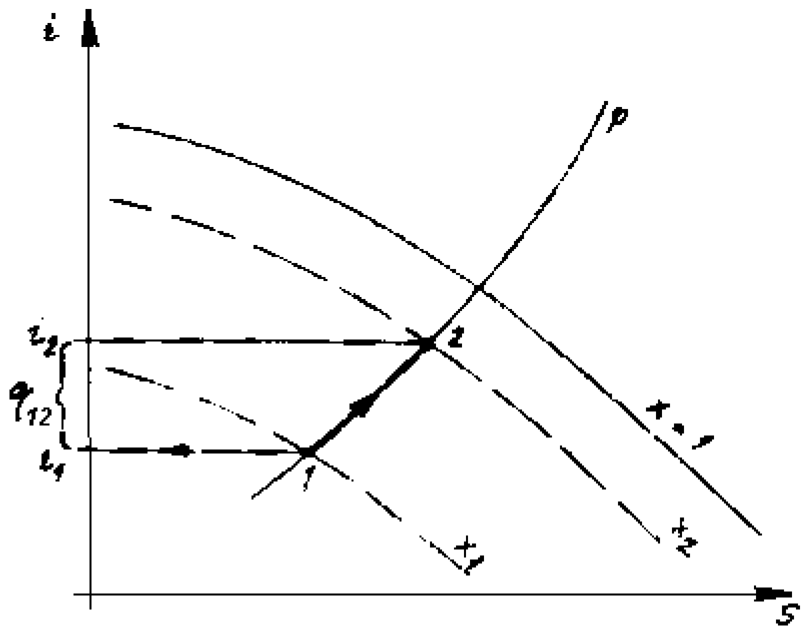
Příklad 12.10

Jaké je přivedené teplo 1 kg vodní páry při stálém tlaku p = 1,47 MPa, zvýší-li se suchost páry z x_1 = 0,8 na x_2 = 0,96 ?

Řešení:

p = 1,47 MPa ; x_1 = 0,8 ; x_2 = 0,96 ; q_{12} = ? (dp = 0)

Přivedené (odvedené) teplo $q_{12} = i_2 - i_1$ je rovno rozdílu entalpií



a) výpočet pomocí i-s diagramu vodní páry:

Pro tlak p a suchost x_1 z i-s diagramu i_1 = 2390 kJ/kg . Pro p a x_1 i_2 = 2702 kJ/kg. Přivedené teplo $q = i_2 - i_1$ = 2702 - 2390 = 312 kJ/kg

b) výpočet pomocí tabulek syté kapaliny a syté páry H_2O :

Entalpie $i_1 = i'_1 + x_1(i''_1 - i'_1)$

$i_2 = i'_2 + x_2(i''_2 - i'_2)$

při p = konst. $i'_1 = i'_2 = i'$, $i''_1 = i''_2 = i''$

Přivedené teplo

$q_{12} = (x_2 - x_1)(i'' - i') = (x_2 - x_1).l_{23}$

z tabulky pro tlak p l_{23} = 1951,25 kJ/kg

q_{12} = (0,96 - 0,8).1951,25 = 0,16.1951,25 = 312,2 kJ/kg

Příklad 12.11

Určete přivedené teplo 6 kg vodní páry o objemu 0,6 m^3 při tlaku p_1 = 0,6 MPa, aby při konstantním objemu se její tlak zvýšil na p_2 = 1 MPa. Určete také suchost páry v konečném stavu.

Řešení :

m = 6 kg ; V = 0,6 m^3; p_1 = 0,6 MPa ; p_2 = 1 MPa ; q_{12} =? ; x_2 = ?

a) pomocí tabulek vodní páry: měrný objem páry $$v = \frac{V}{m} = \frac{0,6}{6} = 0,1\,m^3/kg$$

z podmínky $v_1 = v_2 = v$ a vzhledem k tomu, že ve stavu 1 a 2 se jedné o mokrou páru

$v = v'_1 + x_1 (v''_1 - v'1)$

$v = v'_2 + x_2(v''2 - v'_2)$ obdržíme suchosti

$x_1 = (v - v'_1) / (v''_1 - v'_1)$; $x_2 = (v - v'_2) / (v''_2 - v'_2)$

Z tabulky syté kapaliny a syté vodní páry dosadíme za hodnoty měrných objemů syté páry a kapaliny

$$x_1 = \frac{0{,}1 - 0{,}0011007}{0{,}3156 - 0{,}0011007} = 0{,}3145 \; ; \; x_2 = \frac{0{,}1 - 0{,}0011273}{0{,}1946 - 0{,}0011273} = 0{,}5112$$

Přivedené teplo při konstantním objemu 1 kg páry $q_{12} = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2)-(i_1 - p_1 v_1) = (i_2 - i_1) - v.(p_2 - p_1)$

Entalpie

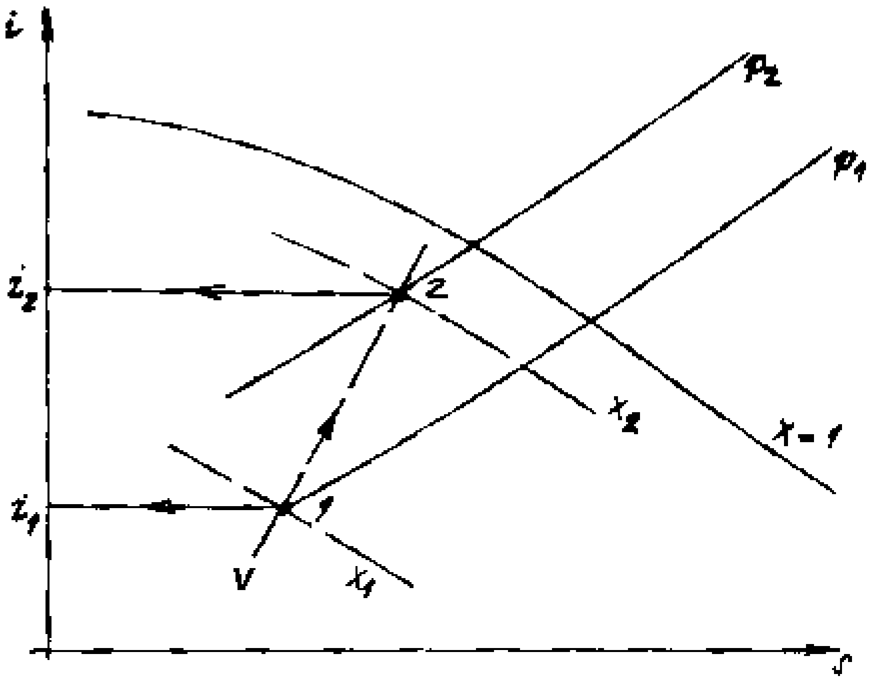
$i_1 = i'_1 + x_1 l_{23,1} = 670{,}5 + 0{,}3145.2086 = 1326{,}5$ kJ/kg

$i_2 = i'_2 + x_2 l_{23,2} = 762{,}7 + 0{,}5112.2015 = 1792{,}7$ kJ/kg

$q_{12} = (1792{,}7 - 1326{,}5) - 0{,}1 .10^6 (1 - 0{,}6) = 466{,}2 - 40 = 426{,}2\ 10^3$ J/kg

Celkové přivedené teplo

$Q_{12} = m . q_{12} = 6.426{,}2 = 2557{,}2$ kJ



b) výpočet pomocí i-s diagramu vodní páry:

Entalpie v bodě 1 pro tlakp_1 a měrný objem v i_1 =1325 kJ/kg

Entalpie v bodě 2 pro tlak p_2 a měrný objem v i_2 = 1795 kJ/kg

Suchost páry v bodě 2 je $x_2 = 0{,}51$

Přivedené teplo $q_{12} = (i_2 - i_1) - v.(p_2 -p_1) = (1795 - 1325) - 0{,}1.10^6 . (1 - 0{,}4) = 470 - 40 = 430.10^3$ J/kg

Příklad 12.12

Vodní páře o tlaku p = 1,96 MPa a suchost x_1 = 0,97 se přivádí při konstantním tlaku 418,6 kJ/kg tepla. Jaký je konečný stav páry ?

[t_2 = 325 °C]

Příklad 12.13

1 kg vodní páry se ohřívá při konstantním tlaku p = 1,57 MPa z teploty t_1 = 300 °C na teplotu t_2 = 400 °C. Určete přivedené teplo, vnější práci a změnu vnitřní energie!

[q_{12} = 220 kJ/kg, a_{12} = 50 kJ/kg, Δu = 170 kJ/kg]

Příklad 12.14

V přehříváku se přehřívá při stálém tlaku m = 0,833 kg/s vodní páry o tlaku p = 1,57 MPa a suchosti x_1 = 0,97 na teplotu t_2 = 320 °C. Určete přivedené teplo !

[Q_{12} = 288,9 kW]

Příklad 12.15

2 kg vodní páry vykonají při expanzi z objemu V_1 = 0,056 m^3 na objem V_2 = 0,296 m^3 za konstantního tlaku práci A_{12} = 470 000 kJ. Určete počáteční a konečný stav páry!

[p_1 = 1,96 MPa, v_1 = 0,028 m^3/kg, p_2 = 1,96 MPa, v_2 = 0,148 m^3/kg]

Příklad 12.16

0,5 kg páry o tlaku p = 1,375 MPa izobaricky expanduje z objemu V_1 = 0,0556 m^3 na objem V_2 = 0,065 m^3. Určete počáteční a konečný stav páry, přivedené teplo,.expanzní práci a změnu vnitřní energie !

[v_1= 0,1112 m^3/kg, x_1 = 0,77, v_2 = 0,13 m^3/kg, x_2 = 0,9, t_1 = t_2 = 194° C, Q = 126,5 kJ, Δ U = 113,7 kJ, A= 12 800 kJ]

Příklad 12.17

1 kg vodní páry o tlaku p_1 = 1,47 MPa, suchosti x_1 = 0,95 se ochlazuje při stálém objemu na tlak p_2 = 0,98 MPa. Určete odvedené teplo !

[q_{12} = -590 kJ/kg]

Příklad 12.18

Vodní pára o tlaku p_1 = 0,587 MPa a objemu v_1= 0,1 m^3/kg se izochoricky ohřívá na p_2 = 0,98 MPa. Určete konečný stav páry a přivedené teplo!

[x_2 = 0,51 , q_{12} = 422 kJ/kg]

Příklad 12.19

V nádobě o objemu 0,03 m^3 je mokrá vodní pára o teplotě 180 °C. Hmotnost syté kapaliny je m´= 0,08 kg. Určete hmotnost syté páry ve směsi.

[m" = 1,54 kg]

Příklad 12.20

V parním kotli o objemu 10 m^3 je 5 m^3 vody a zbytek zaujímá sytá pára o tlaku 1 MPa. Určete pokles tlaku v kotli, odvede-li se 100 kg syté páry!

[Δp = 0,0863 MPa]

Příklad 12.21

Do 2 m^3 mokré vodní páry o tlaku 1 MPa a suchosti x_1 = 0,6 se vstříkne 1 kg vody o teplotě 10 °C při konstantním tlaku. Určete konečnou suchost !

[x_2 = 0,545]

Příklad 12.22

Jaké je odvedené teplo, sníží-1i se při konstantním objemu teplota vodní páry z t_1= 300 °C na t_2 = 100 °C. Počáteční tlak p_1 = 0,98 MPa.

[q_{12} = -2050 kJ/kg]

Příklad 12.23

V parním kotli o objemu 28 m^3 je mokrá vodní pára o tlaku p_1 = 1,175 MPa a suchosti x_1 = 0,87. Určete přivedené teplo páře, je-li v konečném stavu pára sytá ! Jaký bude konečný tlak ?

[Q_{12} = 11 500 kJ, p_2 = 0,157 MPa]

Příklad 12.24

Určete přivedené teplo v přehříváku kotle, je-li suchost vodní páry před vstupem do přehříváku x_1 = 0,98, teplota za přehřívákem t_2 = 560 °C, tlak v přehříváku p = 12,75 MPa, množství páry m = 4,444 kg/s.

[Q_{12} = 3460 kW]

Příklad 12.25

V parním kotli je 7 m^3 vody a 5 m^3 syté páry o tlaku 0,4 MPa. Za jakou dobu se tlak v kotli zvýší na 1,57 MPa při uzavřených ventilech, přivádí-1i se v topeništi kotle 291,7 kJ/s tepla ?

[τ = 87,5 min]

Příklad 12.26

Sytá vodní pára se v kotli o objemu 4 m^3 ochlazuje z tlaku 0,98 MPa při konstantním objemu na teplotu 60 °C. Určete konečný stav páry a odvedené teplo !

[x_2 = 0,0256, i_2 = 311 kJ/kg, q_{12} = -45 800 kJ/kg]

Příklad 12.27

1 kg vodní páry o objemu v_1 = 0,0914 m^3/kg se přivádí za konstantního tlaku p = 2 MPa 520 kJ/kg tepla. Určete konečný stav páry, změnu vnitřní energie, expanzní práci. Znázorněte děj v T-s a i-s diagramech !

[přehřátá t_2 = 360 °C, v_2 = 0,232 m^3/kg, Δu = 239 kJ/kg, a_{12} = 181 kJ/kg]

Příklad 12.28

Při izotermické expanzi 1 kg vodní páry o tlaku p_1 = 1,5 MPa a suchosti x_1 = 0,8 se přivádí 800 kJ/kg tepla. Určete konečný stav páry. Znázorněte v T-s a i-s diagramech !

[pára přehřátá v_2 = 0,7161 m^3/kg, i_2 = 2864 kJ/kg]

Příklad 12.29

1 kg mokré vodní páry o tlaku p_1 = 1 MPa a suchosti x_1 = 0,9 izotermicky expanduje na tlak p_2 = 0,2 MPa. Určete expanzní práci, přivedené teplo, změnu vnitřní energie. Znázorněte v T-s a i-s diagramech !

[a_{12} = 371 kJ/kg, q_{12} = 577 kJ/kg, Δu = 206 kJ/kg]

Příklad 12.30

Parní kotel o objemu 15 m^3 obsahuje 7 000 kg mokré vodní páry o tlaku 1 MPa. Jaké množství tepla je třeba přivést páře, aby tlak v kotli se zvýšil na 6 MPa bez odběru páry. Znázorněte děj v T-s a i-s diagramech !

[Q_{12} = 3 300 000 kJ]

Příklad 12.31

Počáteční stav vodní páry je p_1 = 0,5 MPa, t_1 = 300 °C. Jaké množství syté kapaliny o stejném tlaku je třeba přidat na 1 kg páry, aby vznikla sytá pára o tlaku 0,5 MPa ? Znázorněte děj v T-s a i-s diagramech !

[$\dfrac{m'_2}{m'} = 0{,}119 \text{ kg s.k. / kg p.}$ *]*

Příklad 12.32

Při izotermické expanzi mokré vodní páry o tlaku p_1 = 3 MPa a suchosti x_1 = 0,6 se přivádí q_{12} = 600 kJ/kg tepla. Určete konečný stav páry, expanzní práci , změnu vnitřní energie. Znázorněte děj v T-s a i-s diagramech!

[$a_{1,2}$ = 191 kJ/kg, x_2 = 0,86, Δu = 409 kJ/kg]

Příklad 12.33

1 kg vodní páry o tlaku 1,2 MPa a měrném objemu v = 0,135 m^3/kg se ohřívá izobaricky na teplotu t_2 = 290 °C. Určete konečný měrný objem vodní páry, přivedené teplo, změnu vnitřní energie, expanzní práci. Znázorněte děj v T-s a i-s diagramech !

[v_2 = 0,21 m^3/kg, $q_{1,2}$ = 640 kJ/kg, Δu = 550 kJ/kg, $a_{1,2}$ = 550 kJ/kg]

Příklad 12.34

2 m^3 vodní páry expandují adiabaticky z tlaku p_1 = 0,881 MPa a teploty t_1 = 450 °C na tlak p_2 = 0,196 MPa. Určete parametry: i_1 , v_1 , i_2, v_2, x_2 a vykonanou práci !

[A_{12} = 89 000 kJ]

Příklad 12.35

Parní kotel má výkon 66,67 kg/s páry o tlaku p_1 = 17,6 MPa a teplotě t_1 = 580 °C. Teplota napájecí vody je t = 220 °C. Určete tepelný výkon kotle !

[Q_{12} = 170 000 kW]

Příklad 12.36

6 m^3 vodní páry o tlaku p_1 = 0,196 MPa a x_1 = 0,96 se mísí s 5 m^3 páry o tlaku p_2 = 0,804 MPa a teplotě t_2 = 220 °C. Určete parametry směsi páry !

[v = 0,442 m^3/kg, u = 2770 kJ/kg, p = 0,46 MPa, t = 180 °C]

Příklad 12.37

V parojemu o objemu V_1 = 8 m^3 je vodní pára o tlaku p_1 = 0,392 MPa a suchosti x_1 = 0,96. Určete parametry páry po smíšení, je-li do parojemu přiváděno V_2 = 2 m^3 vodní páry o tlaku p_2 = 1,96 MPa a teplotě t_2 = 300 °C !

[v = 0,24 m^3/kg, u = 2730 kJ/kg, p = 0,98 MPa, t = 260 °C]

Příklad 12.38

5 kg vodní páry o tlaku p_1 = 0,98 MPa a objemu V_1 = 0,745 m^3 isotermicky expanduje na V_2 = 0,9 m^3. Určete počáteční a konečný stav páry, expanzní práci a odvedené teplo !

[v_1 = 0,149 m^3/kg, v_2 = 0,18 m^3/kg, x_1 = 0,75, A_{12} = 120 kJ, Q_{12} = 1600 kJ]

Příklad 12.39

2 kg mokré vodní páry o parametrech p_1 = 0,98 MPa a suchosti x_1 = 0,505 isotermicky expandují na stav syté páry. Určete přivedené teplo, expanzní práci a změnu vnitřní energie!

[Q_{12} = 1980 kJ, A_{12} = 192 kJ, ΔU = 1800 kJ]

Příklad 12.40

1 kg vodní páry o tlaku p_1 = 5,88 MPa a teplotě t_2 = 200 °C se stlačuje isotermicky na objem v_2 = 0,11 m^3/kg. Určete konečný stav a odvedené teplo !

[p_2 = 1,56 MPa, x_2 = 0,86, q_{12} = -526 k J/kg]

Příklad 12.41

Při isotermické expanzi 2 kg vodní páry o tlaku p_1 = 2,94 MPa a suchosti x_1 = 0,6 se přivádí 1245 kJ tepla. Určete konečný stav a expanzní práci !

[x_2 = 0,95, A_{12} = 137 kJ]

Příklad 12.42

Mokrá vodní pára o tlaku p_1 = 0,785 MPa a suchosti x_1 = 0,95 adiabaticky expanduje na tlak p_2 = 0,0392 MPa. Určete konečnou suchost !

[x_2 = 0,813]

Příklad 12.43

1 kg vodní páry o tlaku p_1 = 4,9 MPa teplotě t_1 = 400 °C adiabaticky expanduje na tlak p_2 = 0,049 MPa. Určete suchost páry, teplotu na konci expanze a adiabatický tepelný spád !

[x_2 =0,856, t_2 = 80 °C, $i_1 - i_2$ = 880 kJ/kg]

Příklad 12.44

Jaké je odvedené teplo vodní páře, klesla-li suchost z x_1 = 0,9 na x_2 = 0,1 při konstantním objemu? Počáteční tlak p_1 = 11,75 MPa. Při výpočtu pomocí tabulek považujte objemy syté kapaliny při počátečním a konečném tlaku za totožné.

[q_{12} = -1415 kJ/kg]

Příklad 12.45

Vodní pára se ochlazuje v uzavřené nádobě při teplotě okolí 20 °C. Jaký bude konečný stav páry a) při počátečním tlaku p_1 = 9,8 MPa a teplotě t_1 = 600 °C ; b) při počátečním tlaku p'_1 = 29,4 MPa a teplotě t'_1= 520 °C ?

[a) b) p = 2300 Pa, x_a = 0,066, x_b = 0,015]

Příklad 12.46

Parní kotel o objemu V = 3 m^3 obsahuje po provozní přestávce vodu a vodní páru o celkové hmotnosti m = 2000 kg a tlaku p = 0,15 MPa o teplotě vypařování. Určete přivedené teplo pro uvedení náplně kotle do provozního stavu. Během přívodu tepla nedochází k odběru páry. Určete, kolik je v kotli vody a syté páry v počátečním i konečném stavu !

[m''_1 = 0,523 kg, m'_1 = 1999,477 kg, m''_2 = 7 kg, m'_2 = 1993 kg, Q_{12} = 513 658 kJ]

Příklad 12.47

Stav vodní páry na vstupu do přehříváku je p_1 = 6 MPa a teplota t_1 = 450 °C. Určete konečný stav páry, jestliže 1 kg páry v přehříváku se přivádí 540 kJ tepla !

[přehřátá pára, t_2 = 680 °C]

Příklad 12.48

V parním kotli je 20 000 kg syté kapaliny o tlaku 4 MPa. Kolik kg syté vodní páry by vzniklo, kdyby se tlak v kotli snížil na tlak atmosférický (0,1 MPa) ?

[m''_2 = 5 000 kg]

Příklad 12.49

V nádobě je l0^4kg mokré vodní páry o tlaku 1,2 MPa. Určete objem této nádoby, jestliže sytá pára zaujímá 10 % celkového objemu !

[V = 12,7 m^3]

Příklad 12.50

Vodní pára o tlaku p = 10 MPa má entalpii 2280 kJ/kg. Určete ostatní parametry páry !

t = 310,96 °C, x = 0,663, v = 0,01245 m^3/kg]

Příklad 12.51

Parní kotel je naplněn z 2/5 sytou kapalinou a 3/5 sytou vodní párou o tlaku 15 MPa. Objem kotle je 8 m^3. Určete entalpii mokré páry !

[i = 3 550 kJ/kg]

Příklad 12.52

V kotli je mokrá vodní pára o tlaku 18 MPa. Určete poměr hmotnosti syté kapaliny k hmotnosti syté páry, jestliže objem syté kapaliny je 2 m^3, objem syté vodní páry 3 m^3.

[m'/ m" = 2,72]

Příklad 12.53

Určete objem 160 kg mokré vodní páry o tlaku 18 MPa a suchosti x = 0,8. Jaký objem zaujímá sytá pára ?

[V = 1,02 m^3, V''= 0,96 m^3]

Příklad 12.54

V parním kotli o objemu 4 m^3 je mokrá vodní pára o tlaku 19 MPa a suchosti 0,3. Určete hmotnost mokré páry, objem syté páry a syté kapaliny.

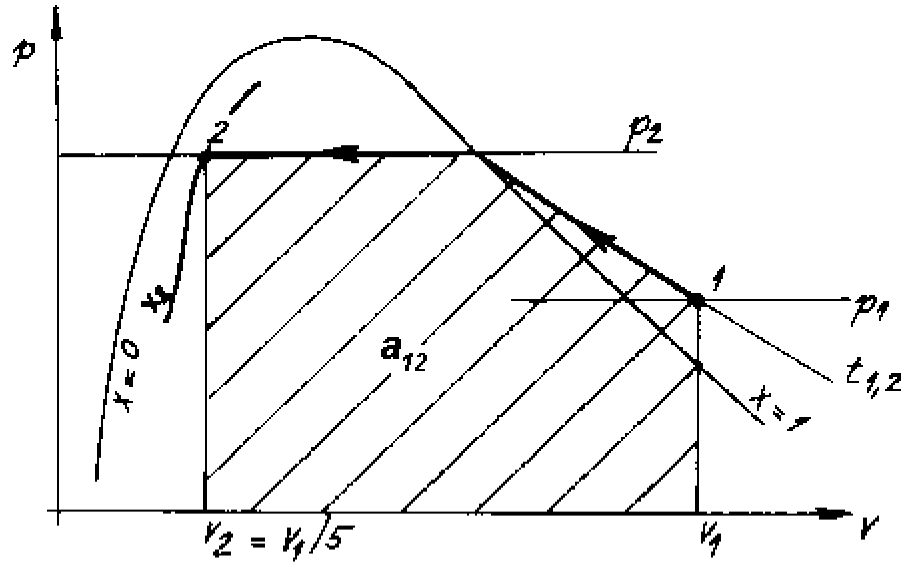
[m = 1200 kg, V´= 1,6 m^3, V´´= 2,4 m^3]

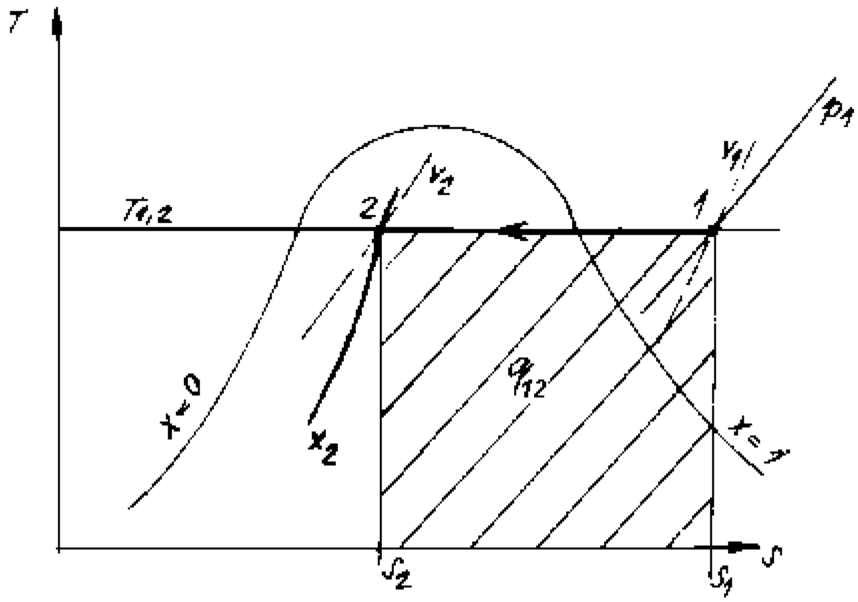
Příklad 12.55

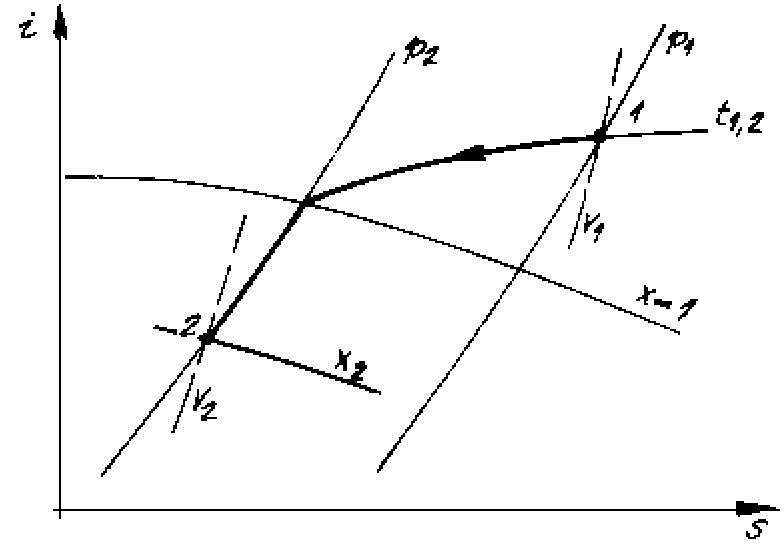
1 kg vodní páry o p_1 = 3 MPa a $t_{1,2}$ = 300 °C se stlačuje na objem 5-krát menší než je počáteční při konstantní teplotě. Určete konečný stav páry, spotřebovanou práci, odvedené teplo. Zobrazte děj do diagramu p-v, T-s, i-s vodní páry !

Řešení:

p_1 = 3 MPa; t_1 = t_1 = t = 300 °C ; v_2 = v_1/5; stav 2 = ? ; a_{12} =? ; q_{12} = ?







a) výpočet pomocí tabulek: pro p_1, t - stav 1

$v_1 = 0{,}08119\ m^3/kg$

$i_1 = 2988$ kJ/kg

$s_1 = 6{,}53$ kJ/(kg.K)

měrný objem $v_2 = v_1/5 = 0{,}08119/5 = 0{,}016238\ m^3/kg$

Poněvadž objem syté páry pro t = 300 °C je 0,02164 m^3/kg, tak konečný stav 2 spadá do oblasti mokré páry, $p_2 = 8{,}592$ MPa.

$v_2 = v'_2 + x_2(v''_2 - v'_2) \rightarrow$ suchost v bodě 2

$$x_2 = \frac{(v_2 - v'_2)}{(v''_2 - v'_2)} = \frac{0{,}016238 - 0{,}0014036}{0{,}02164 - 0{,}0014036} = 0{,}7335$$

Entalpie v bodě 2 $i_2 = i'_2 + x_2 l_{23,2} = 1344{,}9 + 0{,}7335 \,.\, 1404{,}2 = 2373{,}9$ kJ/kg

Entropie v bodě 2 $s_2 = s'_2 + x_2(s''_2 - s'_2) = 3{,}2548 + 0{,}7335\ (5{,}7049 - 3{,}2548) = 5{,}0518$ kJ/(kg.K)

Rozdíl vniřních energií $\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - i_1) - (p_2v_2 - p_lv_1) = (2373{,}9 - 2988).10^3 - (8{,}592.0{,}016238 - 3.0{,}08119).10^6 = -510{,}4.10^3$ J/kg

Odvedené teplo $q_{12} = T(s_2 - s_1) = 573\ (5{,}0518 - 6{,}53) = -847$ kJ/kg

Spotřebovaná práce $a_{12} = q_{12} - \Delta u = -847 - (-510{,}4) = -336{,}6$ kJ/kg

b) výpočet pomocí i-s diagramu vodní páry: pro p_1 a t určíme $v_1 = 0{,}08\ m^3/kg$, $i_1 = 2990$ kJ/kg, $s_1 = 6{,}53$ kJ/(kg.K), $v_2 = v_1/5 = 0{,}08/5 = 0{,}016\ m^3/kg$

Pro teplotu t a v_2 určíme z i-s diagramu $x_2 = 0{,}73$, $p_2 = 8{,}6$ MPa, $i_2 = 2375$ kJ/kg, $s_2 = 5{,}05$ kJ/(kg.K)

Rozdíl vnitřních energií $\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - i_1) - (p_2v_2 - p_1v_1) = (2375 - 2990).10^3 - (8{,}6.0{,}016 - 3.0{,}08).10^6 = -615.10^3 + 0{,}1024.10^6 = -512{,}6.10^3$ J/kg

Odvedené teplo $q_{12} = T(s_2 - s_1) = 573\ (5{,}05 - 6{,}53) = -573\ .1{,}48 = -848$ kJ/kg

Spotřebovaná práce $a_{12} = q_{12} - \Delta u = -848 - (-512{,}6) = -335{,}4$ kJ/kg

Příklad 12.56

1 kg vodní páry o tlaku p_1 = 0.1 MPa a měrném objemu v_1 = 0,178 m^3/kg adiabaticky expanduje na tlak p_2 = 0,2 MPa. Určete konečné parametry páry, změnu entalpie a expanzní práci!

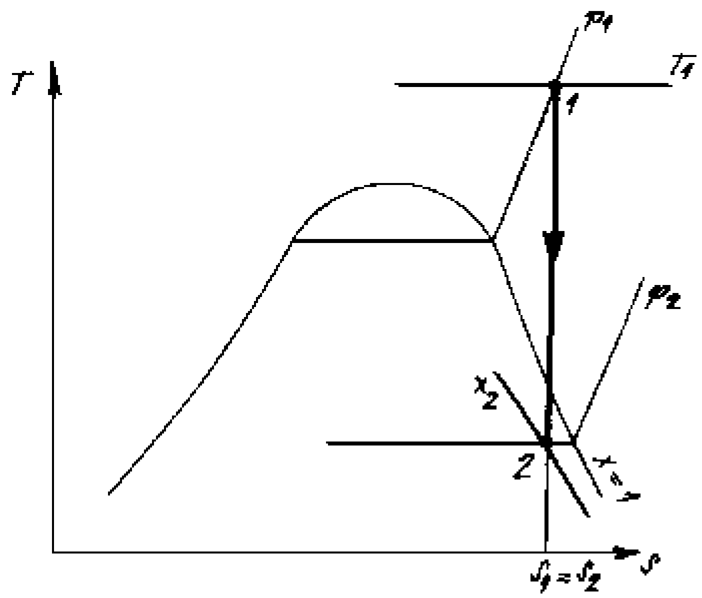
[Δi = -265 kJ, a_{12} = -237 kJ]

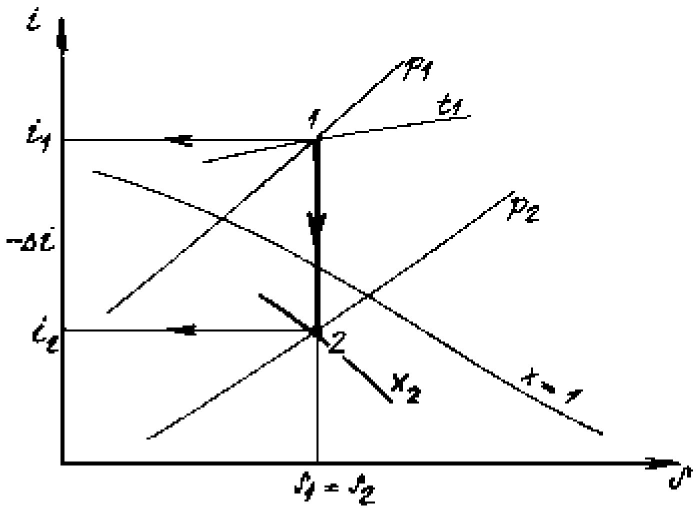
Příklad 12.57

1 kg vodní páry o tlaku p_1= 0,3 MPa a t_1 = 300 °C adiabaticky expanduje na tlak p_2 = 0,05 MPa. Určete konečné parametry páry, expanzní práci a změnu entalpie. Znázorněte v T-s a i-s diagramech !

Řešení :

p_1 = 0,3 MPa ; t_1 = 300 °C ; p_2 = 0,05 MPa ; stav 2= ? ; a_{12} = ? ; Δi = ?





Pomocí tabulek vodní páry:

Pro p_1, t_1 z tabulek vodní páry i_1 = 2988 kJ/kg ; v_1 = 0,08119 m^3/kg;, s_1 = 6,53 kJ/(kg.K) z podmínky adiabatického děje $s_2 = s_1$ a vzhledem k tomu,že $s_2 < s''_2$ při tlaku p_2 (jedná se tudíž o mokrou páru)

$$s_2 = s_1 = s'_2 + x_2(s''_2 - s'_2) \rightarrow x_2 = \frac{s_1 - s'_2}{s''_2 - s'_2} = \frac{6{,}53 - 1{,}091}{7{,}593 - 1{,}091} = 0{,}836$$

Měrný objem $v_2 = v'_2 + x_2(v''_2 - v'_2)$ = 0,0010299 + 0,836 (3,239 - 0,0010299) = 2,708 m^3/kg

Entalpie $i_2 = i'_2 + x_2 l_{23,2}$ = 340,6 + 0,836. 2304 = 2266,2 kJ/kg

(Pozn.: $l_{23,2}$ = 2304 kJ/kg)

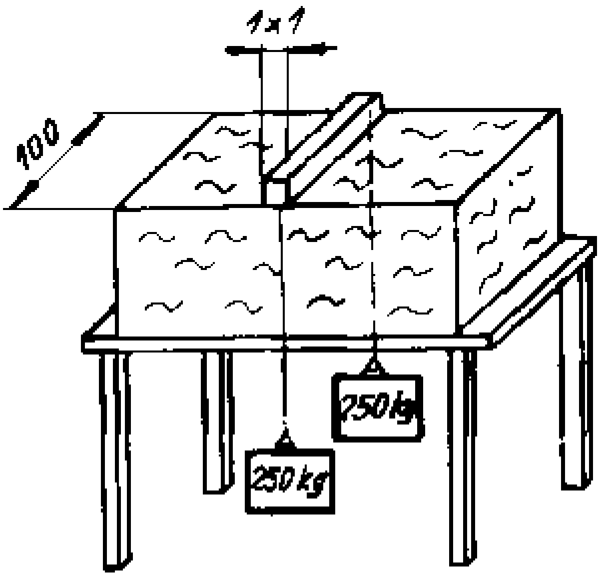
Rozdíl entalpií $\Delta i = i_2 - i_1$ = 2266,2 - 2988 = -721,8 kJ/kg

Rozdíl vnitřních energií $\Delta u = u_2 - u_1 = \Delta i - (p_2 v_2 - p_1 v_1)$ = $-721{,}8.10^3$ -(0,05. 2,708 - 3. 0,08119).10^6 = $-721{,}8.10^3 + 108{,}17.10^3$ = $-613{,}63.10^3$ J/kg

Expanzní práce $a_{12} = -\Delta u$ = 613,63 kJ/kg

Příklad 12.58

Na hranol ledu je položen drát o průřezu (1x1) mm = 1 mm^2 s připevněnými závažími o hmotnosti m = 250 kg. Po nějaké době zůstane hranol celý, neporušený. Vysvětlete tento jev ! Určete teplotu tání ledu pod drátem, je-li šířka ledového hranolu 0,1 m, teplota vzduchu v místnosti t = 0 °C. Měrné teplo tání ledu l_{12} = 334 kJ/kg při 0 °C, měrný objem vody při 0 °C je v´= $0{,}999.10^{-3}$ m^3/kg, měrný objem ledu při 0 °C je v´´´ =$1{,}0907.10^{-3}$ m^3/kg.



[t_{12} = -3,6 °C]

Příklad 12.59

Určete teplotu, při které se bude tavit led pod bruslemi o délce 0,25 m a tloušťce 1 mm (hmotnost bruslaře m = 70 kg) za předpokladu, že se brusle dotýkají ledu 1/10 své plochy. Měrné teplo tání ledu l_{12} = 334 kJ/kg, hustota ledu ρ_L= $0{,}9168.10^3$ kg/m^3, hustota vody ρ_v = $1{,}0002.10^3$ kg/m^3.

Řešení:

$L = 0,25$ m; $\delta = 1$ mm ; $m = 70$ kg ; $K = 0,1$; $l_{12} = 334$ kJ/kg; $\rho_L = 0,9168.10^3$ kg/m^3; $\rho_V = 1,0002.10^3$ kg/m^3 ; $t_{12} = ?$

Teplotu stanovíme z Clausius-Clapeyronovy rovnice $l_{12} = T_{12}(v' - v''')\dfrac{dp}{dT}$

zvolíme $T_{12} = 273$ K, tj. teplota tání ledu při barometrickém tlaku p a k ní budeme vztahovat dT. Elementární změny dT a dp nahradíme diferencemi.

$$\Delta p = p_2 - p_1 = -\frac{m.g}{K.L.\delta 2} - 0 = \frac{70.9,80665}{0,1.0,25.10^{-3}} = -27,46.10^6 \text{ Pa}$$

$$\Delta T = \frac{T_{12}(v' - v'')\Delta p}{l_{12}} = \frac{T_{12}\left(\frac{1}{\rho'} - \frac{1}{\rho''}\right)\Delta p}{l_{12}} = \frac{T_{12}\left(\frac{1}{\rho_v} - \frac{1}{\rho_L}\right)\Delta p}{l_{12}}$$

$$= -\frac{273\left(\frac{1}{0,9168} - \frac{1}{1,0002}\right).10^{-3}.27,46.10^6}{334.10^3} = -2,02 \text{ K}$$

$\Delta T = T_{12(p+\Delta p)} - T_{12,p} => T_{12(p+\Delta p)} = T_{12,p} + \Delta T = 273 - 2,02 = 271,98$ K, $t_2 = -2,02$ °C

Příklad 12.60

Barometrický tlak je $p_b = 0,0785$ MPa. Za jakou dobu se ohřeje 1,5 kg vody z teploty $t_1 = 10$ °C na teplotu varu ? Vařič má výkon 400 W, tepelné ztráty zanedbáme. Za jakou dobu se vypaří všechna voda ?

[τ = 21 min 42s, $\tau_2 - \tau_1$ = 2 h 22 min 12 s]

Příklad 12.61

Budova se vytápí 15 m^3/h vody o teplotě 80 °C, která se připravuje mísením mokré páry o tlaku p = 0,1175 MPa a suchosti x = 0,92 s vodou o teplotě 10 °C. Určete potřebné množství vody a páry !

[$m_p = 1,79.10^3$ kg/h, $m_{H2o} = 13,21.10^3$ kg/h]

Příklad 12.62

Při určování stavu páry se tato přivádí do izolované měděné nádoby, která obsahuje 10 kg vody o teplotě 15 °C. Pára při míšení s vodou kondenzuje. Určete stav páry o tlaku p = 0,98 MPa, je-li množství páry $m_1 = 0,907$ kg, hmotnost měděné nádoby $m_2 = 2$ kg, teplota směsi $t_s = 60$ °C a měrná tepelná kapacita mědi $c_{Cu} = 0,393$ kJ/(kg.K).

[pára je mokrá o suchosti x = 0,8]

Příklad 12.63

Parní kotel obsahuje 30 m^3 syté kapaliny o tlaku $p_1 = 5,88$ MPa. Kolik m^3 páry se uvolní z této vody při poklesu tlaku na a) $p_2 = 4,9$ MPa, b) atmosférický tlak $p'_2 = 0,098$ MPa ?

[a) m = 36,5 m^3, b) m = 13 400 m^3]

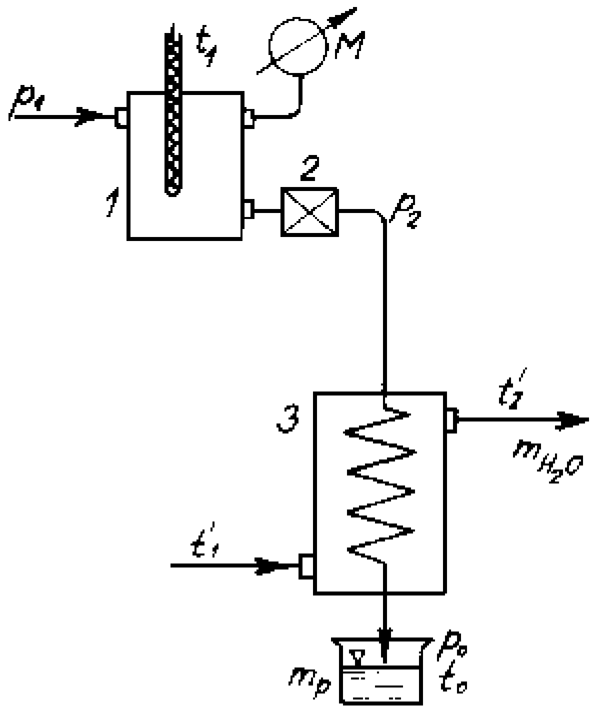
Příklad 12.64

Počáteční stav vodní páry je dán tlakem p = 0,49 MPa a teplotou t = 300 °C. Při vstřiknutí vody o tlaku 0,49 MPa a teplotě varu se při konstantním tlaku přehřátá pára změní na sytou. Určete množství vstřikované vody na 1 kg páry!

[m = 0,149 kg/kg páry]

Příklad 12.65

Entalpie vysokotlaké vodní páry se určuje experimantálně pomocí zařízení, jehož schéma je na obrázku. Pára přichází do měřicí komory (1), kde se měří její teplota a tlak. Pak je vedena přes redukční ventil (2), kde se tlak škrtí na hodnotu blízkou tlaku atmosférickému, do výměníku (3). Ve výměníku pára kondenzuje při teplotě okolí t_o a měří se množství kondezátu. Celé zařízení je dokonale izolováno. Určete entalpii páry o tlaku p_1 a teplotě t_1, jsou-1i změřeny tyto veličiny: množství kondenzátu m_p = 6 kg/h, množství chladicí vody m_{H2O} = 110 kg/h, teplota okolí t_o = 25 °C, rozdíl teplot $t'_2 - t'_1$ = 45 K.



[i_1 = 3240 kJ/kg]

Příklad 12.66

Napájecí voda se přivádí do kotle o tlaku p_1 = 23,5 MPa a teplotě t_1 = 350 °C v množství m_{H2O} = 250 kg/s. Tepelný tok v kotli je Q_{12} = 446 900 kW. Určete teplotu páry na výstupu z kotle, její entalpii a vnitřní energii!

[t_2 = 570 °C, i_2 = 3414 kJ/kg, u_2 = 3079 kJ/kg]

Příklad 12.67

Teplárna dodává pro technologické účely m_p = 5,56 kg/s vodní páry o tlaku p = 0,685 MPa a suchosti x = 0,95. Továrna vrací 60 % kondenzátu o teplotě t_k = 70 °C. Ztráta kondenzátu se hradí vodou z chemické úpravny. Teplota vody t_v = 90 °C. Kolik paliva se spálí při účinnosti kotelny η_k = 0,8, je-li výhřevnost paliva Z = 30 000 kJ/kg ?

[m = 0,539 kg/s]

Příklad 12.68

Teplota přehřáté vodní páry se reguluje vstřikováním studené vody do směšovací komory. Jaké je množství vody na 1 kg vodní páry o tlaku p_1 = 2,94 MPa a teplotě t_1 = 480 °C, je-li požadována výsledná teplota t_2 = 460 °C ? Tlak vody je p_v = 2,94 MPa, teplota vody t_v = 20 °C.

[m_v = 0,0138 kg vody/kg páry]

Příklad 12.69

Kotel explodoval propálením stěny bubnu. Objem bubnu V = 8,5 m^3. 60 % objemu zaujímala voda, ostatní část sytá pára. Tlak v kotli byl 0,98 MPa, tlak okolí 0,098 MPa. Určete objem páry na konci exploze a expanzní práci, jestliže děj probíhal izoentropicky !

[V_2 = 1100 m^3, A_{12} = 258.10^3 kJ]

Příklad 12.70

1 kg vodní páry o tlaku p_1 = 12,75 MPa a teplotě t_1 = 565 °C expanduje izoentropicky na tlak p_2= 3920 Pa. Určete t, v, i, s, x na začátku a na konci děje, expanzní práci a změnu vnitřní energie !

[v_1 = 0,0281 m^3/kg, i_1 = 3510 kJ/kg, s_1 = s_2 = 6,665 kJ/(kg.K), v_2 = 27,48 m^3/kg, t_2 =28,6°C, x_2 = 0,775, i_2 = 2005 kJ/kg, a_{12} = 1254 kJ/kg]

Příklad 12.71

Vodní pára o tlaku p_1 = 3,33 MPa a suchosti x_1 = 0,98 se izoentropicky stlačuje na p_2 = 8,32 MPa. Určete teplotu a entalpii v konečném stavu, expanzní práci a změnu vnitřní energie!

[t_2 = 348, 3 °C, i_2 = 2966 kJ/kg, a_{12} = -Δu = -158, 7 kJ/kg]

Příklad 12.72

1 kg vodní páry se stlačuje izotermicky z tlaku p_1= 3,14 MPa a teploty t_1 = 360 °C na stav syté kapaliny. Určete veličiny v konečném stavu a odvedené teplo !

[p_2 = 18,6 MPa, v_2 = 0,001894 m^3/kg, i_2 = 1760 kJ/kg, s_2 = 3,910 kJ/(kg.K), q_{12} = -1790 kJ/kg]

Příklad 12.73

Napájecí voda o tlaku p = 13,6 MPa a teplotě t = 300 °C se přivádí do kotle, kde se vypařuje a přehřívá na teplotu 570 °C. Určete střední teplotu při přívodu tepla!

[$t_{stř}$ = 365 °C]

Příklad 12.74

Určete průměr potrubí pro 450 kg/h mokré vodní páry o tlaku p = 3,92.10^3 Pa a suchostí x = 0,91, je-li rychlost páry 20 m/s.

[d = 0,173 m]

Příklad 12.75

1 m^3 vodní páry o tlaku p_1 = 8,84 MPa a teplotě t_1= 450 °C adiabaticky expanduje na tlak p_2 = 0,196 MPa. Určete konečný stav páry, expanzní práci a změnu vnitřní energie!

[x_2 = 0,89, Δu = -19 050 kJ/kg, a_{12} = 19 050 kJ/kg]

13. Proudění par, škrcení páry

Příklad 13.1

Určete výtokovou rychlost vodní páry, vytékající otvorem ve stěně kotle, je-li tlak v kotli p_1 = 1,57 MPa a teplota t_1= 300 °C, κ= 1,3.

[w_k = 536 m/s]

Příklad 13.2

Určete výtokovou rychlost vodní páry o tlaku p_1 = 0,98 MPa a suchosti x_1 = 0,96 proudící do chladiče, kde je podtlak p_v = 0,0876 MPa.

[w = 476 m/s]

Příklad 13.3

Určete výtokovou rychlost vodní páry a průměr výstupního otvoru Lavalovy dýzy, je-li výtokové množství vodní páry m = 216 kg/h o tlaku p_1 = 0,588 MPa a teplotě t_1 = 220 °C. Výstupní tlak p_2 = 0,049 MPa.

Řešení.

m = 216 kg/h; p_1 = 0,588 MPa ; t_1 = 220 °C ; p_2 = 0,049 MPa ,w_2 = ? ; d_2 = ?

(pomoci i-s diagramu vodní páry)

Pro tlak p_1 a teplotu t_1 určíme entalpii i_1= 2890 kJ/kg

Entalpie v bodě 2 i_2 = 2420 kJ/kg

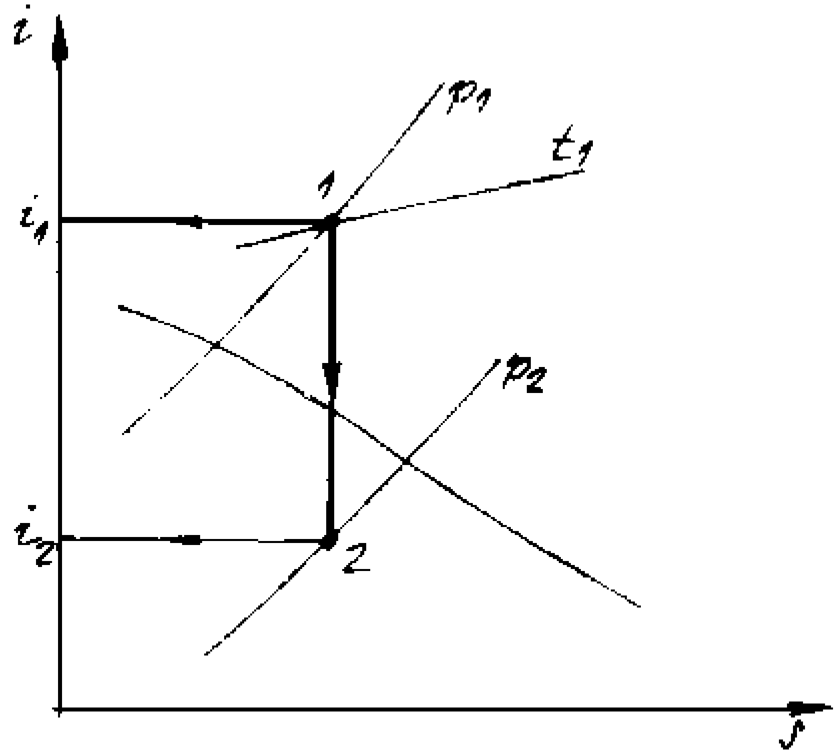
Výtoková rychlost páry

$$w_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)} = \sqrt{2(2990 - 2440).10^3} = 969 \text{ m/s}$$

$$m = S\frac{w_2}{v_2} \rightarrow S = m\frac{v_2}{w_2} = \frac{\pi . d_2^2}{4}$$

Průměr výstupního otvoru dýzy

$$d_2 = \sqrt{\frac{4}{\pi}\frac{m}{w_2}v_2} = \sqrt{\frac{4}{\pi}\frac{216.3}{3600.969}} = \sqrt{2,367.10^{-4}} = 1,538.10^{-2} \text{m} = 15,38 \text{ mm}$$



Příklad 13.4

Parní kotel vyrábí m = 1 kg/s syté vodní páry o tlaku p_1 = 1,57 MPa. Určete minimální průřez pojistného ventilu, aby při uzavřeném odběru nevzrostl tlak !

[S = 0,0004 m^2]

Příklad 13.5

Tlak p_1 = 4,415 MPa a teplota t_1 = 350 °C jsou parametry vodní páry před tryskami turbíny, tlak za tryskami p_2 = 2,452 MPa, průtočné množství jednou tryskou je m = 0,5 kg/s. Určete výstupní průřez trysky !

[S_2 = 98,10^{-6} m^2]

Příklad 13.6

Parní turbína má dvě trysky o celkovém průřezu S = 8.10^{-4} m^2, kterými proudí pára o tlaku p_1 = 9,81 MPa teplotě t_1 = 500 °C. Určete výtokové množství páry a teoretický výkon turbíny, je-li výtok adiabatický bez tření. Vstupní rychlost páry do trysky neuvažujte !

[m = 2,232 kg/s - jednou tryskou, P = 595 kW]

Příklad 13.7

Vodní pára vytéká zužující se tryskou z prostoru o tlaku p_1 = 1,96 MPa a teplotě t_1 = 400 °C. Určete výtokové množství páry, výstupní rychlost, je-1i průřez otvoru S = 1.10^{-3} m^2, tlak p_2 = 0,588 MPa. Výtok je bez tření.

[w_2 = 595 m/s, m = 2,4 kg/s]

Příklad 13.8

Potrubím proudí vodní pára o tlaku p = 1,49 MPa a teplotě t = 300 °C rychlostí w = 300 m/s. O kolik stupňů se liší teplota páry naměřená teploměrem od skutečné hodnoty ?

[Δt = 20 °C]

Příklad 13.9

Určete rozměry Lavalovy dýzy, kterou proudí vodní pára o tlaku p_1 = 1,96 MPa a teplotě t_1 = 350 °C do prostředí o tlaku p_2 = 0,098 MPa. Množství páry m = $0,5.10^3$ kg/h.

[$S_{min} = 55,9.10^{-6}\ m^2$, $S_2 = 202.10^{-6}\ m^2$, l = 0,043 m]

Příklad 13.10

Vodní pára vytéká Lavalovou dýzou. Tlak p_1 = 3,43 MPa, teplota t_1 = 450 °C, tlak p_2 = 0,049 MPa. Určete výtokovou rychlost a rozměry dýzy, je-li účinnost dýzy 0,88 a spotřeba páry m = 0,5 kg/s!

[w_2 = 1260 m/s, $S_{min} = 1,34.10^{-4}\ m^2$, $S_2 = 12,7.10^{-4}\ m^2$, l = 0,129 m]

Příklad 13.11

Určete výtokovou rychlost vodní páry z Lavalovy dýzy a účinnost dýzy, je-li na vstupu tlak p_1 = 5,889 MPa a teplota t_1 = 450 °C. Tlak na výstupu p_2 = 1,177 MPa. Rychlostní součinitel φ = 0,95.

[w_2 = 830 m /s, η_d = 0, 9025]

Příklad 13.12

V parním kotli se vytvoří 0,5 kg/s syté vodní páry o tlaku p_1 = 1,08 MPa. Určete průřez pojistného ventilu, aby při poruchách odběru páry nestoupl tlak nad 1,08 MPa..

[$S = 3,3.10^{-4}\ m^2$]

Příklad 13.13

Vodní pára o tlaku p_1 = 1,175 MPa a teplotě t_1 = 300 °C proudí dýzou do prostoru o tlaku p_2 = 9800 Pa. Jaký je konečný stav a výstupní rychlost a jaký bude teoretický výkon vystupující páry ?

a) výtok je bez tření,

b) se třením, rychlostní součinitel ϕ = 0,95.

[$p_{k,a}$ = 0,64 MPa, $t_{k,a}$ = 230 °C, $p_{k,b}$ = 0,64 MPa, $t_{k,b}$ = 235 °C, i_a = 88 kJ/kg, i_b = 80 kJkg, $w_{k,a}$ = 420 m/s, $w_{k,b}$ = 400 m/s]

Příklad 13.14

Počáteční tlak vodní páry p_1 = 5,88 MPa a suchost x_1 = 0,96. Na jaký tlak je pára seškrcena, je-li v konečném stavu sytá ?

[p_2 = 0,285 MPa]

Příklad 13.15

Do turbíny vstupuje vodní pára o tlaku p_1 = 18 MPa a teplotě t_1 = 550 °C, kde adiabaticky expanduje na tlak p_2 = 10 MPa. Určete charakteristické rozměry trysky turbíny, jestliže průtočné množství jedné trysky je m = 8 kg/s, tření zanedbáme.

[zužující se tryska, S = 400 mm^2]

Příklad 13.16

Parametry páry na vstupu do turbíny jsou p_1 = 3,5 MPa, t_1 = 400 °C, na výstupu p_2 = 2 MPa, průtočné množství jedné trysky m = 1,5 kg/s, tření zanedbáme. Určete rozměry trysky !

[S_2 = 362 mm^2]

Příklad 13.17

Vodní pára o tlaku p_1 = 3 MPa a t_1 = 500 °C vytéká Lavalovou dýzou do prostředí o tlaku p_2 = 0,004 MPa. Minimální průřez dýzy je S_{min} = 132,5 mm^2. Určete stav páry a rychlosti páry v minimálním a výstupním průřezu, velikost výstupního průřezu. Znázorněte děj v T-s diagramu !

[w_k = 640 m/s, w_2 = 1600 m/s, S_2 = 8,38 mm^2]

Příklad 13.18

Vodní pára o tlaku p_1 = 1 MPa a t_1 = 300 °C proudí zužující se dýzou o průřezu S = 30 cm^2 do prostředí:

a) o tlaku p_2 = 0,6 MPa, b) o tlaku p_2 = 0,2 MPa. Určete parametry páry, rychlost páry a sekundové množství na výstupu z dýzy. Znázorněte děj v i-s diagramu !

[w_{2a} = 510 m/s, w_{2b} = 548 m/s, m_a = 0,402 kg/s, m_b = 0,41 kg/s]

Příklad 13.19

Vodní pára o tlaku p_1 = 6 MPa a teplotě t_1 = 400 °C proudí Lavalovou dýzou do prostředí o tlaku p_2= 0,1 MPa. Průtočné množství m = 3 kg/s. Určete parametry a stav páry v minimálním a výstupním průřezu.

[w_K= 574,4 m/s, t_k = 310 °C, w_2 = 1268,9 m/s, x_2 = 0,865]

Příklad 13.20

V parním potrubí proudí pára o tlaku p_1 = 1 MPa a suchosti x_1 = 0,98. Část páry se přes škrtící ventil propouštět do potrubí a tlakem p_2 = 0,012 MPa. Určete stav páry v potrubí o tlaku p_2 !

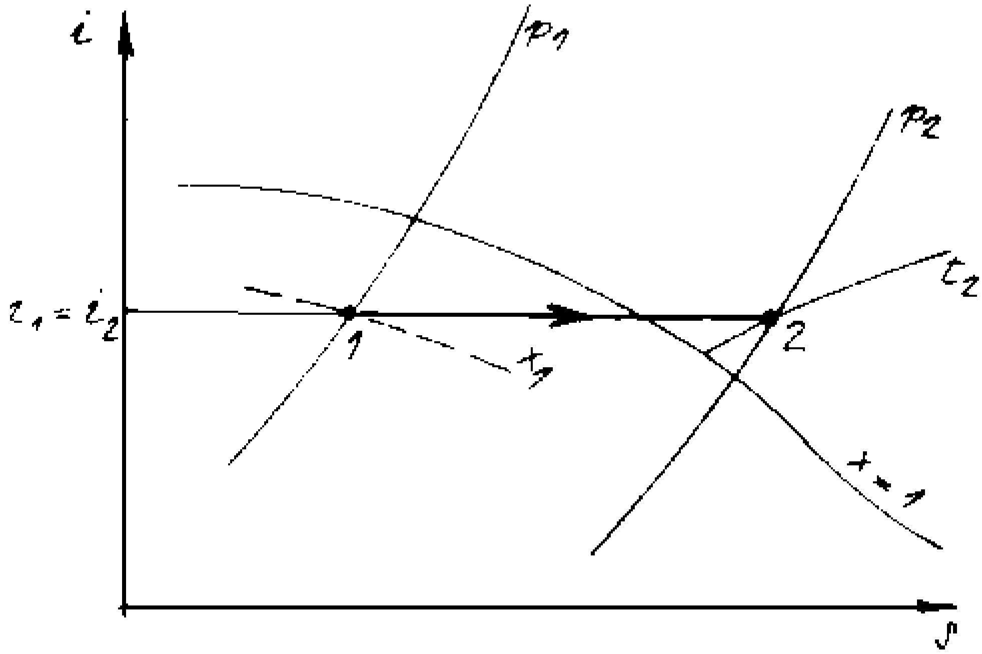
Řešení :

p_1 = 1 MPa ; x_1 = 0,98 ;p_2 = 0,012 MPa stav 2 = ?

Z i-s diagramu určíme pro podmínku děje (škrcení)

$i_1 = i_2$ teplotu t_2 =130 °C

V bodě 2 se jedná o přehřátou páru.



Příklad 13.21

Vzduch o počátečním tlaku p_1 = 0,49 MPa a teplotě t_1= 50 °C se škrtí ve vstupních ventilech spalovací komory tak, že se jeho objem zdvojnásobuje. Určete změnu entropie při škrcení a konečný tlak !

[Δs = 0,195 kJ/(kg.K), p_2 = 0,245 MPa]

Příklad 13.22

Sytá pára o tlaku p_1 = 1,175 MPa proudí v potrubí o průměru d = 0,33 m rychlostí w = 25 m/s. Jaký bude otvor škrtící clonky, je-li tlak páry po škrcení p_2 = 0,785 MPa ?

[d_2 = 0,1 m]

14. Cykly parostrojních zařízení

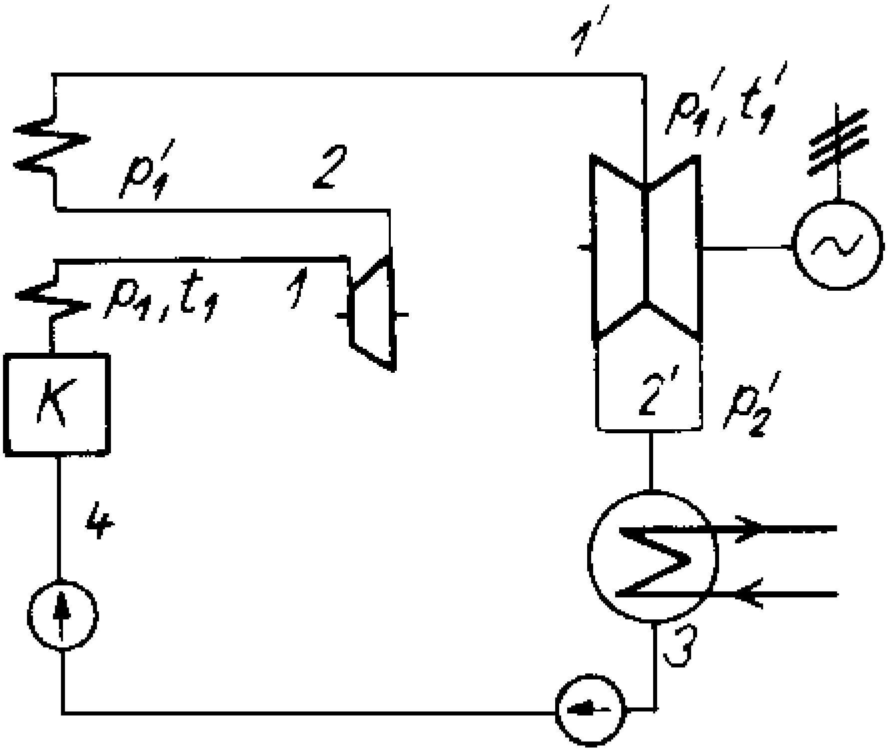
Příklad: **14.1**, 14.2, 14.3, 14.4, 14.5, 14.6, 14.7, 14.8

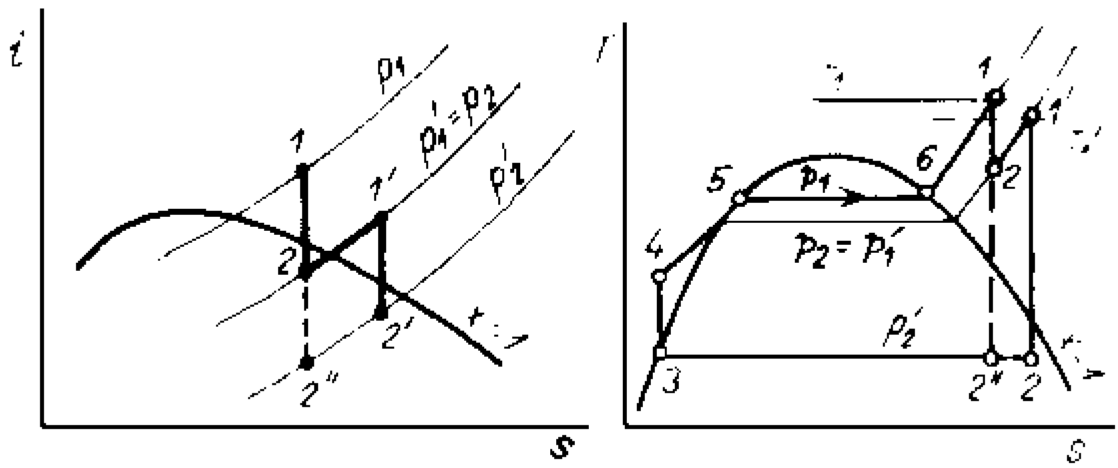
Příklad 14.1

Cyklus tepelné elektrárny pracuje s přihříváním páry. Tlak p_1 = 12 MPa, teplota t_1 = 530 °C, tlak p'_2 = 3500 Pa. Přihřívání se provádí při tlaku p'_1 = 2,3 MPa na teplotu t'_1 = 480 °C. Určete o kolik se zmenší suchost páry na výstupu z turbíny a zvýšení termické účinnosti cyklu s přihříváním proti cyklu bez přihřívání páry !

Řešení :

p_1 = 12 MPa; t_1 = 530 °C; p'_2 = 3500 Pa, p'_1 = 2,3 MPa; t'_1 = 480 °C; Δx = ?; $\Delta \eta_t$ = ?





Z i-s diagramu vodní páry pro stav 1,2, 1´, 2´, 2" určíme i_1 = 3426 kJ/kg ; i_2 = 2956 kJ/kg i_1' = 3420 k J/kg ;

i_2' = 2180 kJ/kg; i_2'' = 1972 kJ/kg a suchosti páry x_2 = 0,85 ; x_2 = 0,763.

Z tabulek vodní páry určíme i_3 = 111,86 kJ/kg

Termická účinnost cyklu bez přihřívání páry $\eta_{t1} = \dfrac{i_1 - i''_2}{i_1 - i_3} = \dfrac{3426-1972}{3426-111{,}86} = 0{,}439$

Termická účinnost cyklu s přihříváním páry $\eta_{t2} = \dfrac{(i_1 - i_2) + (i'_1 - i'_2)}{(i_1 - i_3) + (i'_1 - i_2)} =$

$$= \frac{3426-2956+3420-2180}{3426-111{,}85+3420-2956} = 0{,}453$$

Zvýšení termické účinnosti $\Delta\eta_t = \eta_{t2} - \eta_{t1}$ = 0,453 - 0,439 = 0,014

Zvýšení suchosti páry $\Delta x = x_{2'} - x_{2''}$ = 0,85 - 0,763 = 0,087

Příklad 14.2

Cyklus parostrojního zařízení pracuje beze ztrát. Napáječka nasává kondenzát z kondenzátoru a vytlačuje jej přes předehřívák, kde se ohřeje na teplotu varu, do kotle, ve kterém je tlak 1,075 MPa. V kotli se vyrábí předehřátá pára o teplotě 320 °C. Tato pára vstupuje do turbíny, kde expanduje adiabaticky na tlak 9800 Pa. Z turbíny proudí pára do kondenzátoru, odkud je kondenzát čerpán znovu do kotle. Určete odvedené teplo u jednotlivých dějů cyklu, práci turbíny a termickou účinnost !

[$q_{před}$ = 588 kJ/kg, q_k = 2000 kJ/kg, $q_{př}$ = 300 kJ/kg, q_t = 2088 kJ/kg, η_t = 0,285]

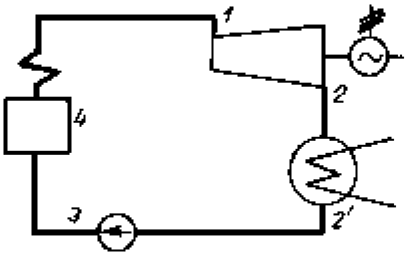
Příklad 14.3

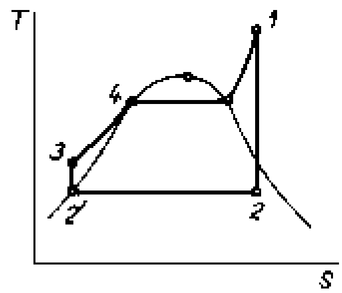
Parostrojní zařízení o výkonu 368 kW pracuje dle Rankin-Clausiova cyklu při tlaku p_1 = 1,57 MPa, teplotě t_1 = 320 °C, tlaku p_2 = 0,0196 MPa. Určete výkon kotle a spotřebu paliva, je-li teplota napájecí vody t_v = 90 °C, výhřevnost paliva Z = 25100 kJ/kg a účinnost kotle η_k = 0,82.

[m_{pal} = 221 kg/h, m_p =1680 kg/h]

Příklad 14.4

Parostrojní zařízení pracuje dle Rankinova cyklu na obr. Tlak před turbínou p_1 = 8,81 MPa a teplota t_1 = 535 °C. Tlak v kondenzátoru p_2 = 0,392 MPa. Určete práci turbíny a čerpadla, účinnost cyklu !





[a_t = 1435 kJ/kg, $a_Č$ = 8,7 kJ/kg, η_t = 0,428]

Příklad 14.5

Parostrojní zařízení pracuje dle Rankinova cyklu mezi tlaky p_1 = 9,8 MPa a p_2 = 3920 Pa, t_1 = 530 °C. Určete termickou účinnost cyklu a porovnejte ji s účinností Carnotova cyklu pracujícího mezi stejnými teplotami !

[η_t = 0,427, η_{tc} = 0,625]

Příklad 14.6

Parní turbína o výkonu P = 25.10^3 kW = 25 MW pracuje s parametry páry: tlak na vstupu p_1 = 98 MPa, teplota t_1 = 510 °C, tlak v kondenzátoru p_2 = 3920 Pa. Určete tepelný výkon kotle, je-li teplota napájecí vody t_v = 90 °C.

[m_p = 2,158 kg/s, Q_k = 53,75 MW]

Příklad 14.7

Určete spotřebu páry turbíny pohánějící turbogenerátor o výkonu P = 100 MW, je-li tlak páry před turbínou p_1 = 9,81 MPa, teplota t_1 = 500 °C, tlak v kondenzátoru p_2 = 3920 Pa. Účinnost turbíny je 0,8, účinnost generátoru 0,97.

[m = 93,06 kg/s]

Příklad 14.8

Na výstupu z vysokotlakého stupně turbíny je tlak páry p_2 = 0,785 MPa a suchost x_2 = 0,98. Před vstupem do nízkotlakého stupně je pára vedena do meziohříváku, kde se ohřívá tak, že na konci adiabatické expanze v nízkotlakém stupni je tlak páry p_3 = 4900 Pa a suchost x_3 = 0,935. Určete přivedené teplo v ohříváku !

[q = 765 kJ/kg]

---

15. Chladící zařízení

Příklad: **15.1**, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5, 15.6, 15.7, 15.8, 15.9

Příklad 15.1

Čpavková chladicí stanice o výkonu Q = 110 kW pracuje při vypařovací teplotě t_1 = -15 °C. Z výparníku odchází sytá pára viz. obr. Kondenzační teplota t_3 = 30 °C, následuje podchlazení kondenzátu na t'_3 = 25 °C. Určete teoretickou chladivost cyklu, obíhající množství chladiva NH_3 a teoretický výkon motoru pro pohon kompresoru chladicího zařízení !

Řešení :

Q = 110 kW; t_1 = -15 °C; t_3 = 30 °C, t_3' = 25 °C ; q_{vth} = ? ; m_{NH3} = ?, P = ?

Z diagramu i-log p NH_3

pro příslušné teploty entalpie i_1= 1662 kJ/kg,

i_2 = 1894 kJ/kg ;

$i_{3'}$ = 536 kJ/kg

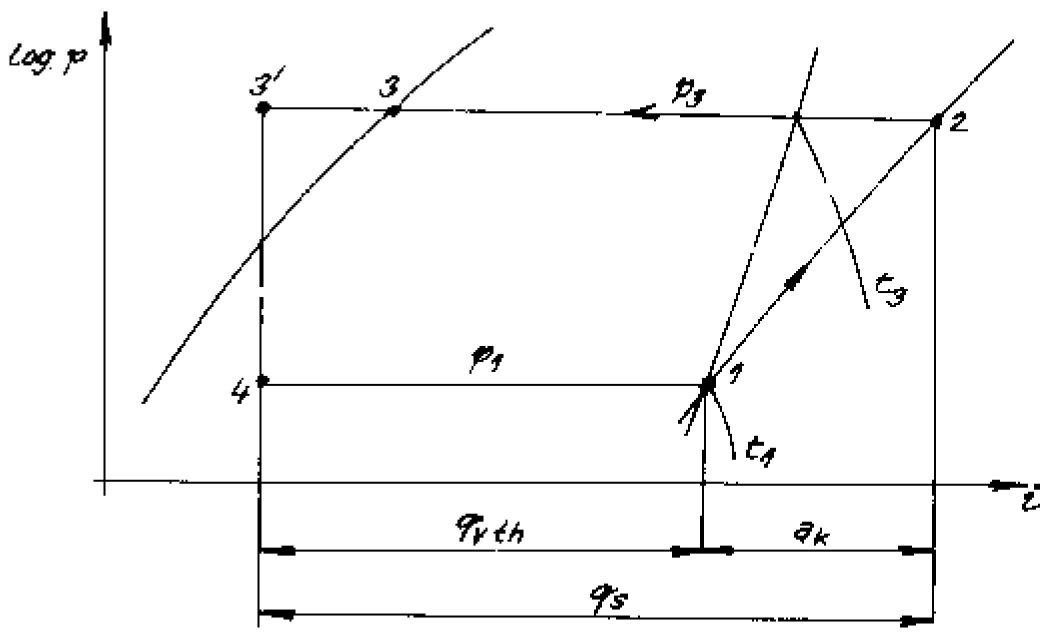
Teoretická chladivost

$q_{vth} = i_1 - i_4 = i_1 - i_3' = 1662 - 536 = 1126$ kJ/kg

Množství obíhajícího chladiva

$m_{NH3} = Q / q_{vth} = 110/1126 = 0{,}0977$ kg/s

Teoretický výkon motoru pro pohon kompresoru $P = m(i_2 - i_1) = 0{,}0977 (1894 - 1662) = 22{,}66$ kW



Příklad 15.2

Ve čpavkovém chladicím zařízení nasává kompresor sytou páru o teplotě t_1 = -15 °C a stlačuje ji na tlak odpovídající kondenzační teplotě 20 °C. Čpavkové páry jsou ve srážníku kondenzovány vodou, která se ohřeje z 12 °C na 20 °C. Po zeškrcení v redukčním ventilu poklesne teplota chladiva na výparnou teplotu -15 °C. Solanka se ve výparníku ochladí z -2 °C na -5 °C. Určete kompresní práci 1 kg NH_3, teoretickou chladivost a teplo odvedené ve srážníku ! Jaké je obíhající množství chladiva při výkonu chlad. zařízení Q = 58 139 kW při účinnosti 0,8 a kolik chladicí vody a solanky se spotřebuje při uvedených teplotách ?

[a_k = 175 kJ/kg, q_o = 1147 kJ/kg, q_{kond} = 1322 kJ/kg, m_{NH3} = 0,0508 kg/s, m_{H2O} = 9,08 kg/s, m_{sol} = 24,17 kg/s]

Příklad 15.3

Určete teoretický výkon kompresoru chladicího zařízení o výkonu Q_o = 34,72 kW, je-li vypařovací teplota t_v = -15 °C, srážecí teplota t_s = 25 °C a podchlazovací teplota t_p = 15 °C. Chladicí medium je freon F12.

[P = 0,925 kW]

Příklad 15.4

Výkon kompresoru chladicího zařízení je P = 40 kW. Z kompresoru sytá pára čpavku NH_3 přichází do kondenzátoru s teplotou t_2 = 25 °C. Ve výparníku je teplota t_1 = -10 °C. Určete chladicí výkon zařízení !

[Q_o = 272, 2 kW]

Příklad 15.5

Výkon vzduchového chladicího zařízení je 232,6 kW. Teplota v chlazeném prostoru t_1 = -5 °C, teplota okolního vzduchu t_o = 20 °C. Tlak vzduchu na výstupu z kompresoru p_2 = 0,49 MPa, tlak v chladicí komoře p_1 = 0,098 MPa. Určete výkon motoru pro pohon kompresoru, spotřebu vzduchu, chladicí faktor a teplo odvedené do okolí. Určete také chladicí faktor u zařízení pracujícího dle Carnotova cyklu mezi týmiž teplotami !

[P = 136 kW, m = 2,778 kg/s, ε_{chC} = 1,7, ε_c = 10,7, Q_{ok} = 366,7 kW]

Příklad 15.6

Určete výkon motoru vzduchového chladicího stroje, je-li teplota chlazeného prostoru t_{ch} = -10 °C, teplota okolního vzduchu t_o = 25 °C, chladicí výkon Q = 174,2 kW. Maximální tlak vzduchu p_2 = 0,49 MPa, tlak okolí je p_1 = 0,098 MPa.

[P = 97 kW]

Příklad 15.7

Vzduchový chladicí stroj vyrábí led o teplotě t_{ch} = -3 °C z vody o teplotě t_v = 10 °C. Teplota vzduchu nasávaného kompresorem je t_1 = -10 °C, tlak p_1 = 0,098 MPa, tlak na výstupu z kompresoru p_2 = 0,392 MPa. V chladiči se vzduch ochlazuje na teplotu t = 20 °C. Určete chladicí faktor, výkon motoru pro pohon kompresoru a množství vyrobeného ledu ! Spotřeba vzduchu m = 0,278 m^3/s (při normálních fyzikálních podmínkách).

[ε_{ch} = 2,39, P = 8,5 kW, m_2 = 0,0536 kg/s]

Příklad 15.8

Vzduchové chladicí zařízení o chladicím výkonu Q = 232,5 kW má parametry vzduchu: na vstupu do chladicí komory je tlak p_1 = 0,098 MPa, teplota t_1 = -3 °C, po stlačení je tlak p_2= 0,392 MPa, teplota okolního vzduchu t_o = 20 °C. Určete teplotu vzduchu po expanzi, výkon kompresoru a detandéru, chladicí faktor. Určete také chladicí faktor Carnotova cyklu pracujícího mezi týmiž teplotami !

[T_4 = 197 K, P_k = 418 kW, P_d = 305 kW, ε_{chC} = 2,16, ε_{chc} = 11,7]

Příklad 15.9

Kompresor nasává páry freonu 12 o teplotě t_1 = -15 °C a suchosti x_1 = 0,92 a stlačuje je na stav syté páry. Teplota t_2 = 30 °C. Z kompresoru vstupuje freon do kondenzátoru, kde se ochlazuje vodou o teplotě t_{1v} = 12 °C. Výstupní teplota vody t_{2v} = 20 °C. V redukčním ventilu se kapalný freon seškrtí na stav mokré páry, jde do výparníku, na jehož výstupu je mokrá pára o suchosti x_1 = 0,92. Určete teoretický výkon motoru chladicího stroje, spotřebu chladicí vody, obíhající množství F 12, je-li chladicí výkon Q_o = 58,1 kW.

[P = 18,5 kW, m_{Fl2} = 0,553 kg/s, m_{H2O} = 2,286 kg/s]

---

16. Vlhký vzduch

Příklad: 16.1, 16.2, 16.3, 16.4, 16.5, 16.6, 16.7, 16.8, 16.9, **16.10**, 16.11, 16.12, 16.13, 16.14, 16.15, 16.16, 16.17, 16.18, 16.19, 16.20, 16.21, 16.22, 16.23

Příklad 16.1

Teplota vlhkého vzduchu t = 60 °C, relativní vlhkost φ = 0,5. Určete absolutní vlhkost a parciální tlak vodní páry ve vzduchu!

[ρ_p = 0,0651 kg/m^3, p_p = 9900 Pa]

Příklad 16.2

Teplota mokrého teploměru psychrometru t_m = 46 °C, teplota suchého teploměru t_s = 50 °C. Určete parametry vzduchu !

[φ= 0,82, x = 0,071 kg/kg s.v., i = 234 kJ/kg s.v.]

Příklad 16.3

Určete dle diagramu i-x vlhkého vzduchu entalpii nasyceného vzduchu, je-li parciální tlak vodní páry p_p = 10^4 Pa !

[i = 226 kJ/kg s.v., t = 46 °C]

Příklad 16.4

Určete pomocí i-x diagramu vlhkého vzduchu entalpii suchého vzduchu při teplotě t = 100 °C !

[i = 100 kJ/kg s.v.]

Příklad 16.5

Voda má teplotu t_v = 40 °C. Jak se tato teplota bude měnit, proudí-li nad hladinou vzduch a) o teplotě t = 50 °C a relativní vlhkosti φ= 0,4; b) o teplotě t = 50 °C a relativní vlhkosti φ = 0,7 ?

[a) voda se ochlazuje; b) voda se ohřívá]

Příklad 16.6

Umělé vlákno se suší vzduchem o teplotě t_1 = 20 °C a relativní vlhkosti φ_1 = 0,6. Tento vzduch se předehřívá v ohřívači na teplotu t_2 = 95 °C; pak vstupuje do sušárny, odkud odchází o teplotě t_3 = 35 °C. Určete množství vzduchu a teplo, potřebné k odpaření 1 kg vlhkosti!

[m_v = 41,8 kg s.v./kg vlhkosti, q = 3200 kJ/kg]

Příklad 16.7

K sušení se používá vzduch o teplotě t_1 = 10 °C a relativní vlhkosti φ_1= 50 %. Vzduch se ohřívá na teplotu t_2 = 90 °C a vstupuje do sušárny, odkud odchází s teplotou t_3 = 40 °C. Určete konečnou entalpii, množství vzduchu a teplo potřebné pro odpaření 100 kg vlhkosti !

[i_3 = 100 kJ/kg s.v., m_v = 5 000 kg, Q = 405 000 kJ]

Příklad 16.8

1000 m^3 vzduchu o teplotě t = 15 °C a relativní vlhkosti φ= 0,5 při barometrickém tlaku p_b = 0,099 MPa se vlhčí 5 kg syté páry o tlaku p_w = 11750 Pa. Určete konečné parametry vzduchu !

[i_2 = 40,1 kJ/kg s.v.; t_2 = 15,5 °C , φ_2 = 0,85 ; x_2 = 9,6 g/kg s.v.]

Příklad 16.9

1000 kg vlhkého vzduchu o teplotě t_1= 25 °C a relativní vlhkosti φ_1 = 0,8 se při tlaku p = 0,098 MPa vlhčí 15 kg vodní páry o teplotě t_w = 440 °C a tlaku p_w = 0,0784 MPa. Jaký je stav vzduchu po vlhčení ?

[x_2 = 0,0316 kg/kg s.v., i_2 = 118 kJ/kg s.v., t_2= 36,7 °C, φ_2 = 0,77]

Příklad 16.10

1000 kg vlhkého vzduchu o teplotě t_1 = 40 °C a relativní vlhkosti φ_1= 0,2 se při tlaku p = 0,098 MPa vlhčí 5 kg vody o teplotě t_w= 20 °C. Určete stav vzduchu po vlhčení !

Řešení :

m = 1000 kg ; t_1 = 40 °C ; φ_1 = 0,2 ; p =0,098 MPa, m_w = 5 kg, t_w = 20 °C ; stav po vlhčení = ?

Z i-x diagramu pro stav 1 určíme měrnou vlhkost x_1 = 0,00948 kg/kg s.v.

Množství suchého vzduchu

$$m_v = m/(1+x_1)\frac{1000}{1{,}00948} = 991\,\text{kg}.$$

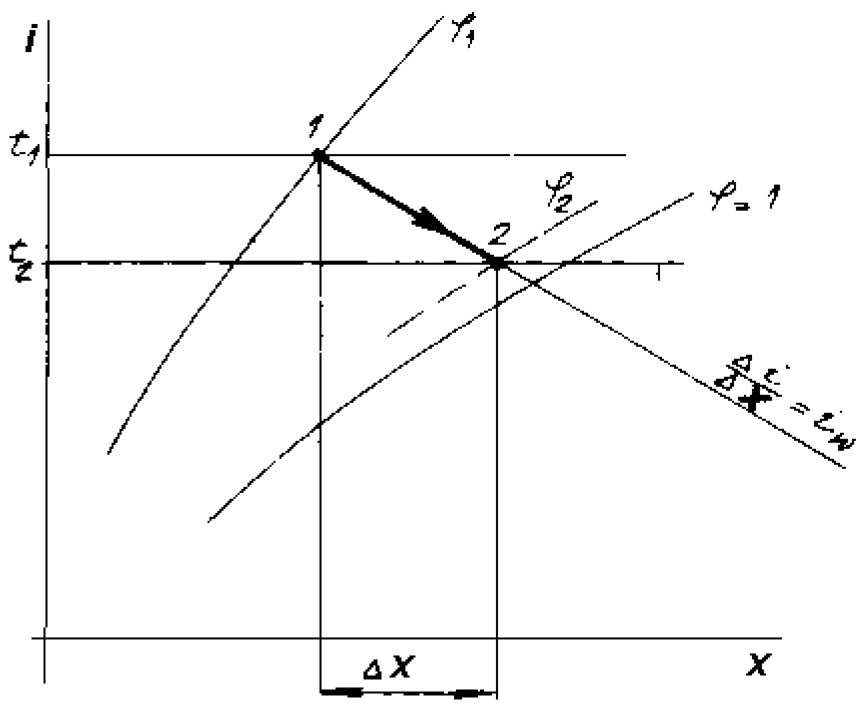
Přírůstek měrné vlhkosti

$\Delta x = x_2 - x_1 = m_w / m_v$ = 5 / 991 = 0,005048 kg/kg s.v.

$x_2 = x_1 + \Delta x$ = 0, 00948 + 0, 005048 = 0,014528 kg/kg s.v.

Při vlhčení směrnice přímky je rovna entalpií vlhčícího media

i_w = 83,7 kJ/kg. Pro i_w a x_2 určíme ve stavu 2 i_2 = 65 kJ/kg s.v. ; t_2 =27,9 °C



Příklad 16.11

V místnosti pracují obráběcí stroje. Jejich příkon je 20 kW. Tepelné ztráty místnosti jsou 3,667 kW. Jaká bude teplota vzduchu po přívodu přebytečného tepla, je-li teplota vzduchu přiváděného do místnosti t_1 = 15 °C a relativní vlhkost φ_1 = 70 % ? Množství vzduchu m_v = 1,389 kg/s.

[t_2 = 26 °C, φ_2 = 0,37]

Příklad 16.12

Jaká je relativně vlhkost vlhkého vzduchu v místnosti, aby na stropě nenastala kondenzace vodních par, je-li teplota venkovního vzduchu t_e = -20 °C, součinitel prostupu tepla stropem k = 1,163 W/(m^2.K), teplota vzduchu v místnosti t_i = 18 °C, součinitel přestupu tepla ze vzduchu na strop α_{str} = 8,73 W/(m^2.K).

[t_{str} = 13 °C, φ = 0,9 - kondenzace nenastane]

Příklad 16.13

Určete teplotu a relativní vlhkost směsi složené z 1000 kg vzduchu o teplotě t_1 = 15 °C a relativní vlhkosti φ_1 = 40 % a 2000 kg vzduchu o teplotě t_2 = 25 °C a relativní vlhkosti φ_2 = 60 %. Barometrický tlak p_b = 0,0993 MPa.

[i_s = 46 kJ/kg s.v., x_s= 10 g/kg s.v.]

Příklad 16.14

V jakém poměru je nutno smísit vzduch o teplotě t_1 = 10 °C a relativní vlhkosti φ_1 = 70% se vzduchem o teplotě t = 30 °C a relativní vlhkosti φ_2 = 40 %, abychom dostali směs o teplotě t_s = 20 °C. Jaká bude relativní vlhkost směsi ? Množství směsi je 5 000 kg.

[poměr je 1,22]

Příklad 16.15

Počáteční stav vlhkého vzduchu je zadán teplotou t_1 = 70 °C a relativní vlhkostí φ_1 = 0,4. Na jakou teplotu můžeme ochladit vzduch rozprašováním vody o teplotě 20 °C, aby nedošlo k srážení vlhkosti ? Určete rozprášené množství vody na 1 kg suchého vzduchu !

[t_2 = 30 °C, m_w = 16 g/kg s.v.]

Příklad 16.16

Ke klimatizaci obytné budovy se používá venkovní vzduch o teplotě t_o = -10 °C a relativní vlhkosti φ_0 = 0,85, který se ohřívá a pak vlhčí sytou parou o tlaku p_w = 0,098 MPa na konečnou teplotu t_2 = 30 °C a relativní vlhkost φ_2 = 0,6. Určete: a) na jakou teplotu se ohřívá vzduch před vlhčením, b) množství vodní páry!

[t_1 = 28 °C, $m_w = x_2 - x_1$ = 14,9 g/kg s.v.]

Příklad 16.17

Počáteční stav vlhkého vzduchu je zadán teplotou t_1 = 40 °C a relativní vlhkostí φ_1 = 0,5. Určete stav vodní páry a množství páry o tlaku p_w = 0,098 MPa, kterou se vlhčí vzduch až do nasyceného stavu !

[pára je mokrá o suchosti x = 0,95, m_w = 25,3 g/kg s.v.]

Příklad 16.18

Suchý teploměr psychrometru ukazuje teplotu t_s = 30 °C, mokrý teplotu t_m = 20 °C. Jaký je stav vzduchu ?

[x = 0,0112 kg/kg s.v.]

Příklad 16.19

Jakou bude mít teplotu mokré prádlo, které se suší venku při teplotě okolního vzduchu t = 20 °C a relativní vlhkosti φ = 0,5, zanedbáme-li sluneční radiaci ?

[t = 13,6 °C]

Příklad 16.20

V chladicí věži se chladí oběhová voda kondenzátoru parní turbíny. Na jakou minimální teplotu se ochladí, je-li teplota okolního vzduchu t_1 = 20 °C a relativní vlhkost φ_1 = 0,5 ? Určete ztráty oběhové vody na 1000 kg, jestliže se voda v kondenzátoru ohřívá o 6 K ! Předpokládáme, že ochlazování probíhá jen vypařováním vody !

[t_2 = 14 °C, m_w = 10,3 kg/1000 kg]

Příklad 16.21

Do klimatizačního zařízení se přivádí V_1 = 0,833 m^3/s vzduchu z místnosti o teplotě t_1 = 20 °C a relativní vlhkosti φ_1 = 0,4 a V_2 = 1,944 m^3/s venkovního vzduchu o teplotě t_2 = 5 °C a relativní vlhkosti φ_2 = 0,7. Určete relativní vlhkost, měrnou vlhkost a teplotu vzduchu po smíšení !

[φ = 0,6 ; x = 4,4 g/kg s.v.; t = 9,3 °C]

Příklad 16.22

Určete množství vody, která se odpaří z hladiny otevřené nádoby o rozměrech (1,2 x 0,8) m. Teplota vody t_w = 90 °C, teplota okolního vzduchu t_o = 20 °C, relativní vlhkost okolního vzduchu φ_o = 0,6, jeho rychlost w = 0,4 m/s. Barometrický tlak p = 0,102 MPa.

[m_w = 5,14 kg/h]

Příklad 16.23

Určete množství vody odpařené z mokré podlahy, je-li teplota okolního vzduchu t_o = 18 °C a relativní vlhkost φ_o = 0,7. Barometrický tlak p_b = 0,0993 MPa.

[m_w = 0,7194 g/s]

---

17. Základy přenosu tepla - přenosu tepla vedením, přenos tepla prouděním, nestacionární přenos tepla, prostup tepla, vyměníky tepla

---

Příklad 17.1

Určete teplo, které projde betonovou zdí za 24 hod. Délka stěny 20 m, výška 3,5 m, tloušťka 0,5 m. Teplota povrchu stěny t_1 = 15 °C, t_2 = -10 °C. Tepelná vodivost betonu λ = 0,93 W/(m.K).

[Q = 280 000 kJ]

Příklad 17.2

Určete teplotní rozdíl na vnějším a vnitřním povrchu ocelové stěny parního kotle, je-li tloušťka stěny 20 mm, tlak v kotli $p_{př}$ = 0,137 MPa, teplota napájecí vody t_v = 85 °C, měrný výkon kotle m = 0,00694 kg/(m^2s^{-1}) syté páry. Barometrický tlak p_b = 0,1 MPa, tepelná vodivost stěny kotle λ = 45,3 W/(m.K).

[Δt = 7,5 K]

Příklad 17.3

Určete tepelnou vodivost rovinné kovové stěny, jestliže se při tepelném toku Q = 7560 W povrchem S = 2,5 m^2 snižuje teplota o 0,2 K na každý mm tloušťky!

[λ = 15,1 W/(m.K)]

Příklad 17.4

Zjistěte tepelnou vodivost stěny o tloušťce δ = 0,7 m, jsou-li povrch. teploty t_1 = 120 °C, t_2 = 15 °C a hustota tepelného toku q = 582 W/m^2!

[λ = 3,87 W/(m.K)]

Příklad 17.5

Určete tloušťku betonové stěny o tepelné vodivosti λ = 1,28 W/(m.K), kterou prochází q = 349 W/m^2. Teplota stěny t_1 = 20 °C, t_2 = -20 °C.

Řešení :

λ = 1,28 W/(m.K); q = 349 W/m^2; t_1 = 20 °C ; t_2 = -20 °C ; δ = ?

Z hustoty tepelného toku stěnou $$q = \frac{t_1 - t_2}{\delta / \lambda} \rightarrow \delta = \frac{\lambda}{q}(t_1 - t_2) = \frac{1{,}28}{349}[20 - (-20)] = 1{,}28.40/349 = 0{,}1467 \text{ m}$$

Příklad 17.6

Stěna chladírny je z cihel o tloušťce 0,6 m. Tato stěna je na vnější straně omítnuta vrstvou silnou 0,03 m. Na vnitřní straně je 0,05 m izolace z korkové desky a ještě omítka silná 0,01 m. Povrchová teplota na vnější straně je t_1 = 25 °C, na vnitřní straně t_5 = -20 °C. Tepelná vodivost cihlové stěny je λ_3 = 0,688 W/(mK), korkové stěny λ_k = 0,0418 W/(m.K), omítky λ_o = 0,78 W/(m.K). Jaký tepelný tok projde 1 m^2 stěny a jaká je teplota na rozhraní jednotlivých vrstev ?

[q = 21,39 W/m^2, t_2 = 24,18 °C , t_3 = 5,8 °C, t_4 = -19,73 °C]

Příklad 17.7

Jak silná by musela být stěna chladírny z příkladu 17.6, kdyby množství tepla prošlé stěnou bylo stejné a stěna byla pouze z cihel bez omítky a izolace ?

[δ' = 1,47 m]

Příklad 17.8

Stěna pece je ze šamotového zdiva, jehož tepelná vodivost λ_1 = 1,35 W/(m.K), tloušťka stěny δ_1 = 0,25 m. Teplota povrchu stěny uvnitř pece t_1 = 1200 °C, teplota povrchu vnější stěny t_3 = 30 °C. Navrhněte izolaci k této stěně tak aby tepelná ztráta nepřesáhla 465 W/m^2 za předpokladu, že teplota stěny t_3 = 30 °C se nezmění. Za tepelnou izolaci zvolíme na příklad skelnou vlnu, jejíž tepelná vodivost λ_2 = 0,0372 W/(m.K).

[δ_2 = 0,0866 m, t_2 = 1113,8 °C]

Příklad 17.9

Na 1 m^2 topné plochy se vyrábí 10 kg/h syté páry o teplotě 160 °C z vody 20 °C teplé. Jaký je rozdíl teplot na povrchu kotelní stěny o tloušťce δ = 0,015 m ?

[Pro λ = 64 W/(mK) je t = 1,7 °C]

Příklad 17.10

Určete tepelné ztráty ocelové trubky dlouhé l = 8 m, je-li vnitřní průměr trubky d_1 = 0,25 m, vnější průměr d_2 = 0,5 m, tepelná vodivost oceli λ = 45,3 W/(m.K), teplota vnitřní stěny t_1 = 50 °C, teplota vnější stěny t_1 = -10 °C !

[q = 24 600 W/m, Q = 198 kW]

Příklad 17.11

Jaký bude vnitřní průměr ocelového potrubí, prochází-li jedním metrem tepelný tok q = 116,3 kW/m ? Vnější průměr potrubí d_2 = 0,4 m, teploty povrchu t_1 = 100 °C, t_2 = 20 °C !

[d_1 = 0,33 m]

Příklad 17.12

Stanovte, jaké chyby se dopustíme při výpočtu průchodu tepla stěnou trubky, provádíme-li výpočet podle vzorce pro rovinnou stěnu. Trubka je ze žáruvzdorné oceli o tepelné vodivosti λ = 18,2 W/(m.K). Vnější průměr d_2= 0,05 m, vnitřní d_1 = 0,035 m, teplota vnitřní stěny t_1 = 450 °C, vnější stěny t_2 = 200 °C.

[$\Delta q/q$ = 1,17 %]

Příklad 17.13

Ocelová trubka 20 m dlouhá o vnějším průměru 0,04 m je pokryta 0,05 m silnou vrstvou izolace z křemeliny o tepelné vodivosti λ = 0,0755 W/(m.K). Kolik tepla se ztrácí do okolí za 24 hodin, je-li teplota povrchu trubky 200 °C a teplota povrchu izolace 40 °C ?

[Q = 104 500 kJ]

Příklad 17.14

Potrubí je pokryto dvěma válcovými vrstvami o stejné tloušťce δ = 100 mm. Vnitřní průměr potrubí d_1 = 0,09 m, vnější průměr d_2 = 0,1 m, tepelná vodivost λ_1 = 45,3 W/(m.K). Tepelná vodivost první vrstvy λ_2 = 35 W/(m.K), tepelná vodivost druhé vrstvy λ_3= 0,035 W/(m.K). Teplota vnitřní stěny trubky t_1 = 250 °C, teplota vnější stěny druhé vrstvy t_4 = 50 °C. Jak se změní ztráty tepla, jestliže vnější vrstvu umístíme přímo na potrubí a vnitřní vrstvu umístíme vně při jinak stejných hodnotách.

[q_1/q_2 = 0, 467]

Příklad 17.15

Vypočtěte tepelnou ztrátu zdi o délce 5 m, výšce 3 m a tloušťce 0,25 m, jestliže teploty povrchů stěny jsou t_1 = 25 °C a t_2 = -20 °C, součinitel tepelné vodivosti zdiva λ = 0,756 W/(m.K).

[Q = 2, 04 kW]

Příklad 17.16

Potrubí parní turbíny o průměru 0,17 m (vnitřní průměr 0,16 m) je pokryto dvojitou vrstvou izolace o tloušťkách δ_2 = 0,03 m, δ_3 = 0,05 m, součinitelé tepelné vodivosti jsou λ_1 = 58,2, λ_2 = 0,175, λ_3 = 0 093 W/(m.K). Teplota vnitřního povrchu potrubí t_1 = 320 °C a vnějšího t_4 = 55 °C. Vypočtěte tepelné ztráty 1 m potrubí !

[q = 295 W/m]

Příklad 17.17

Vyzdívka kotle se skládá ze dvou vrstev (δ_1 = 0,35 m, λ_1 = 1,4 W/(m.K), δ_2 = 0,25 m, λ_2 = 0,55 W/(m.K)). Teplota vnitřního povrchu t_1 = 900 °C, teplota vnějšího povrchu t_3 = 90 °C. Určete tepelnou ztrátu a teplotu mezi vrstvami

Řešení:

δ_1 = 0,35 m, λ_1 = 1,4W/(m.K), δ_2 = 0,25 m, λ_2 = 0,55 W/(m.K), t_1 = 900 °C, t_3 = 90 °C ; q = ? , t_2 = ?

Tepelný tok složenou rovinnou stěnou

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{900 - 90}{\frac{0,35}{1,4} + \frac{0,25}{0,55}} = \frac{810}{0,7047} = 1148 \text{ W.m}^{-2}$$

Z tepelného toku první vrstvou plyne

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} \qquad t_2 = t_1 = \frac{q.\delta_1}{\lambda_1} = 900 - \frac{1148.0,35}{1,4} = 900 - 287 = 613\ °C$$

Příklad 17.18

Určete tepelné zatížení q [W/m] a součinitel prostupu tepla k [W/(m.K)], teploty t_{S1} , t_{S2} stěny trubky výměníku tepla. Rozměry trubky: d_1 = 0,1m, d_2 = 0,108 m. Střední teploty medií t_i = 350 °C, t_e = 1500 °C. Součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu trubky α_1 = 300, α_2 = 110 W/(m^2.K). Součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky λ = 45 W/(m.K).

Řešení:

d_1 = 0,1 m ; d_2 = 0,108 m ; t_i = 350 °C ; t_e = 1500 °C , α_1= 300 W/(m^2 .K), α_2 = 110 W/(m^2.K) ; λ = 45 W/(m.K) ; q = ? ; k = ? ; t_{S1}= ? t_{S2}= ?

Tepelný tok složenou válcovou stěnou

$$q = \frac{2.\pi(t_e - t_i)}{\frac{1}{r_1\alpha_1} + \frac{1}{\lambda}\ln\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{r_2\alpha_2}} =$$

$$= \frac{2\pi(1500-350)}{\frac{1}{0{,}05.300} + \frac{1}{45}\ln\frac{0{,}054}{0{,}05} + \frac{1}{0{,}054.110}} = 30500\ W/m$$

Z tepelného toku z prostředí 1 na stěnu výměníku q = α_1 2 π r_1 (t_1- t_i) plyne $t_{S1} = t_i + \frac{q}{\alpha_1\pi.d_1} = 350 + \frac{30500}{300.\pi.0{,}1} = 674\ °C$

Teplota $t_{S2} = t_e + \frac{q}{\alpha_2\pi.d_2} = 1500 - \frac{30500}{110.\pi.0{,}108} = 682\ °C$

Příklad 17.19

Ke zjištění tepelné vodivosti se používá metoda ohřátého vlákna. Skleněná kapilára je naplněna vodou, v ose kapiláry je tenký platinový drát ohřívaný elektrickým proudem. Teplo sdílené drátkem prochází vrstvou vody jen vedením vzhledem k malé tloušťce. Průměr platinového drátku d_1= 1.10^4m, teplota drátku t_1 = 180 °C, vnitřní průměr trubky d_2 = 0,001 m, vnější průměr trubky d_3 = 0,003 m, teplota vnějšího povrchu trubky t_2 = 175 °C, tepelná vodivost kapiláry λ_2 = 0,745 W/(m.K), teplo prošlé kapilárou Q = 0,97 W, délka kapiláry l = 0,15 m. Tlak vody p = 1,96 MPa. Vypočtěte tepelnou vodivost vody a její střední teplotu !

[λ_1 = 0,68 W/(m.K), $t_{stř}$ = 178,25 °C]

Příklad 17.20

Potrubí o tepelné vodivosti λ_1= 0,35 W/(m.K) je izolováno azbestovou vrstvou, jejíž součinitel tepelné vodivosti je proměnný s teplotou λ_2= 0,1305 + 0,000186 t [W/(m.K)]. Potrubí má vnitřní průměr d_1 = 0,09 m, vnější průměr d_2 = 0,1 m, azbestová izolace je silná 0,05 m. Teplota vnitřní stěny potrubí t_1 = 1000 °C, teplota vnější stěny izolace t_3 = 10 °C. Kolik tepla projde, uvažujeme-li proměnnost tepelné vodivosti v azbestové stěně ?

[q = 1790 W/m]

Příklad 17.21

Určete teplo, které projde stěnou duté koule, je-li vnitřní průměr d_1 = 2 m, vnější průměr d_2 = 2,4 m, teplota vnitřní stěny koule t_1 = 500 ° C, teplota vnější stěny t_2 = 10 °C. Tepelná vodivost λ = 1,035 W/(m.K).

[Q=40 kW]

Příklad 17.22

Dutá koule je zhotovena ze šamotových cihel, jejichž součinitel tepelné vodivosti λ = 0,244 + 0,00064 t [W/(m.K)]. Vnitřní průměr koule d_1 = 9 m, vnější průměr d_2 = 10 m, teplota vnitřní stěny t_1 = 450 °C, teplota vnější stěny t_2 = 50 °C. Určete kolik tepla projde touto koulí a jaké jsou ztráty na 1 m^2 vnějšího povrchu ?

[Q = 91,2 kW, q = 291 W/m^2]

Příklad 17.23

Vypočtěte součinitel přestupu tepla při proudění strojního oleje o teplotě 80 °C ve vodorovné trubce o průměru 0,03 m a délce 2 m, je-li rychlost oleje 0,3 m/s a teplota stěny 30 °C !

[λ = 174, 5 W/(m.K)]

Příklad 17.24

Trubkou o vnitřním průměru 0,06 m a délce 6 m proudí vzduch rychlostí 5 m/s jeho teplota je 100 °C. Určete součinitel přestupu tepla, je-li teplota stěny 90 °C !

[α = 19,8 W/(m^2.K)]

Příklad 17.25

Vypočtěte tepelnou ztrátu rovné, svislé, volně uložené trubky, ve které je přehřátá pára. Vnější průměr trubky je 0,1 m a její výška 4 m, teplota stěny t_s = 170 °C, teplota okolního vzduchu t_v = 30 °C ! Při výpočtu uvažujte jen součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu trubky.

[Q = 1360 W]

Příklad 17.26

Horizontální potrubí o průměru d = 0,057 m je ohříváno přirozeným proudem vzduchu. Střední teplota povrchu potrubí t_s = 4 °C, teplota okolního vzduchu t_o = 36 °C. Určete součinitel přestupu tepla ze vzduchu ke stěně potrubí.

Řešení :

d = 0,057 m ; t_s = 4 °C, t_o = 36 °C , α = ?

Pro přestup tepla při přirozené konvekci platí vztah pro Nu číslo Nu = C (Gr Pr $)^n$

Určovací teplota t = (t_s + t_o)/ 2 = (36 + 4) / 2 = 20 °C

$\Delta t = t_s - t_o$ = 36 - 4 = 32 °C

Fyzikální parametry vzduchu při této teplotě $\lambda = 2{,}596.10^{-2}$ W/(m.K)

$\upsilon = 15{,}1.10^{-6}$ m^2/s Pr = 0,703 β = 1/293 1/K

Grashofovo číslo

$$Gr = \frac{gd^3\Delta t\beta}{\upsilon^2} = \frac{9{,}81.0{,}057^3.32}{293.(15{,}1.10^{-6})^2} = 8{,}75.10^5$$

Gr Pr = $8{,}75.10^5.0{,}703 = 6{,}15.10^5$

Tato hodnota určuje přechodný režim, pro který C = 0,54 , n = 1/4

(Michejev : Osnovy teploperedači)

Pak $$Nu = 0{,}54.(6{,}15.10^5)^{\frac{1}{4}} = 15{,}1$$

Součinitel přestupu tepla $$\alpha = \frac{Nu.\lambda}{d} = \frac{15{,}1.2596.10^{-2}}{0{,}057} = 6{,}87\ W/(m^2K)$$

Příklad 17.27

V potrubí o průměru d = 0,01 m proudí voda rychlostí w = 0,1 m/s, střední teplota stěny t_s = 20 °C, střední teplota vody t_o = 60 °C. Určete součinitel přestupu tepla z vody ke stěně potrubí !

[α = 727 W/(m^2.K)]

Příklad 17.28

Určete tepelné ztráty q (W/m) horizontálního parního potrubí, které je ochlazováno přirozeným proudem vzduchu. Vnější průměr potrubí d = 0,5 m, teplota stěny t_s = 580 °C, teplota okolního vzduchu t_o = 20 °C.

[q = 7,14 kW/m]

Příklad 17.29

Určete součinitel přestupu tepla z horizontální trubky ponořené do vody, je-li její průměr d = 0,08 m, teplota povrchu stěny t_s = 90 °C, teplota vody t_v= 10 °C.

[α = 1400 W/(m^2.K), q = 28, 2 W/m]

Příklad 17.30

Určete teplo, které přejde z horizontální trubky o průměru 0,1 m, je-li teplota povrchu trubky t_s = 180 °C, teplota okolního prostředí t_o = 20 °C. Toto množství tepla určete pro vodu, vzduch, kyslík a vodík !

[Voda: q = 133,1 kW/m, vzduch: 409 kW/m, kyslík: 421 kW/m, vodik: 942 kW/m]

Příklad 17.31

Jak se změní součinitel přestupu tepla, přemístíme-li horizontální trubku ze vzduchu o tlaku 0,098 MPa do vzduchu o tlaku 9,8 MPa, při čemž předpokládáme, že v obou případech je okolní prostor neomezený. Teplota stěny t_s = 380 °C, teplota vzduchu t_o = 20 °C, průměr trubky d = 0,2 m.

[α_1= 8,05 W/(m^2.K), α_2 = 172 W/(m^2.K)]

Příklad 17.32

Určete teplo, které projde mezerou mezi dvěma soustřednými válci. Prostor mezi těmito válci je vyplněn vodou. Průměr vnitřního válce d_1 = 0,1 m, jeho teplota t_1 = 90 °C, průměr vnějšího válce d_2 =0,2 m, jeho teplota t_2=10 °C.

[q = 10,37 kW/m]

Příklad 17.33

Trubkou o průměru d = 0,06 m a délce l = 2,1 m proudí vzduch rychlostí w = 5 m/s. Určete součinitel přestupu tepla, je-li střední teplota vzduchu t = 100 °C ! (Nu = 0,018 $Re^{0,8}$)

[α = 19 W/(m^2 .K)]

Příklad 17.34

Trubkou o průměru d = 0,05 m a délce l = 3 m proudí voda rychlostí w = 0,8 m/s. Určete součinitel přestupu tepla, je-li střední teplota vody t_v = 50 C a teplota stěny trubky t_s = 70 C.

$$Nu_v = 0{,}021 . Re_v^{0{,}8} . Pr_v^{0{,}43} \left(\frac{Pr_v}{Pr_s} \right)^{0{,}25}$$

[α = 3940 W/(m^2.K)]

Příklad 17.35

Vypočtěte, jak se změní součinitel přestupu tepla z příkladu 17.34, jsou-li stejné rychlostní poměry a trubka má průměr D = 0,6 m !

[α = 5100 W/(m^2 .K)]

Příklad 17.36

Předehřívač vody se vytápí odpadovou vodou. Jaký je součinitel prostupu tepla k, proudí-li 50 ˚C teplá voda v trubkách o průměru vnitřním 0,03 m rychlostí 1 m/s (α = 5080 W/(m^2 .K)), jsou-li :

a) trubky měděné o tloušťce stěny 1 mm (λ = 372 W/(m.K)),

b) trubky ocelové o tloušťce stěny 3 mm (λ = 62,8 W/(m.K)),

c) trubky ad a), b) jsou pokryty kotelním kamenem o tloušťce δ = 0,2 mm a λ = 2,32 W/(m.K),

d) trubky ocelové o tloušťce stěny 3 mm pokryté kotelním kamenem o δ = 3,25 mm a vrstvou oleje 0,05 mm (λ = 0,116 W/(m.K))

[a) k = 3510 W/(m.K), b) k = 3050 W/(m.K), c) k_a = 2700 W/(m.K) (77 %), k_b = 2510 W/(m.K) (79 %), d) k =465 W/(m.K) (15 % původního k)]

Příklad 17.37

Kolik tepla přestoupí při průtoku vody trubkou o průměru d = 0,01 m a délce l = 0,2 m, je-li střední teplota vody t_v = 70 °C, teplota stěny t_s = 10 °C a voda proudí rychlosti w = 0,12 m/s ?

[Q = 516 W]

Příklad 17.38

Určete teplo, které přestoupí z obdélníkové trubky do dusíku, proudícího v této trubce. Rozměry trubky jsou axb = 20x4 mm, l = 2 m. Dusík proudí rychlostí w = 0,7 m/s, střední teplota stěny t_s = 190 °C, střední teplota plynu t_p = 10 °C.

[Q = 34 W]

Příklad 17.39

Určete teplo, které přestoupí při průtoku vody svislou trubkou o průměru d = 0,011 m, proudí-li voda rychlostí w = 0,1 m/s. Střední teplota vody t_v = 80 °C, střední teplota stěny trubky t_s = 20 °C.

[q = 2815 W/m]

Příklad 17.40

Svinutým potrubím protéká voda. Vnitřní průměr potrubí je 0,02 m, rychlost vody w = 1 m/s, střední teplota vody t_v = 60 °C. Průměr svinutí D = 0,5 m. Určete součinitel přestupu tepla !

[α = 6700 W/(m^2.K)]

Příklad 17.41

V parním kotli proudí plyn podél trubek rychlostí w = 10 m/s, vnější průměr trubek je 0,1 m, střední teplota plynu 1000 °C. Délka trubek je 5,3 m. Určete součinitel přestupu tepla z plynu do trubek, jsou-li fyzikální parametry plynu stejné jako u vzduchu.

Příklad 17.42

Trubkou o průměru 0,3 m protéká rychlostí w = 10 m/s přehřátá vodní pára o střední teplotě t_p = 500 °C a tlaku p = 1,96 MPa. Trubka je dlouhá 6 m. Určete součinitel přestupu tepla !

[α = 224 W/(m^2.K)]

Příklad 17.43

Určete součinitel přestupu tepla při proudění vzduchu kolmo k trubce o průměru d = 0,1 m při teplotě vzduchu t = 50 °C, je-li rychlost vzduchu w = 5 m/s !

[α = 24, 5 W/(m^2.K)]

Příklad 17.44

Určete součinitel přestupu tepla při proudění vody kolmo k trubce. Průměr trubky d = 0,01 m, teplota vody t_v = 30 °C, voda proudí rychlostí w = 0,2 m/s !

[α = 3190 W/(m^2.K)]

Příklad 17.45

Určete součinitel přestupu tepla pro příklad 17.43, proudí-li za jinak stejných podmínek kolmo k trubce voda !

[α = 9150 W/(m^2·K)]

Příklad 17.46

Určete střední součinitel přestupu tepla, proudí-li horký vzduch kolmo ke svazku trubek parního kotle ! Svazek je uspořádán s trubkami vedle sebe a má 10 řad. Průměr trubek d = 0,08 m, x_1 = 0,12 m, x_2 = 0,2 m, teplota vzduchu před svazkem trubek je 1050 °C, za svazkem 950 °C, vzduch proudí v nejužším místě rychlostí w = 10 m/s.

[$\alpha_{stř}$ = 34,2 W/(m^2.K)]

Příklad 17.47

Určete součinitel přestupu tepla při varu vody ve válcové nádobě o průměru d = 0,3 m, je-li teplota povrchu dna nádoby t_s = 102 °C a voda vře při atmosférickém tlaku p = 0,098 MPa !

[α = 510 W/(m^2.K), Q = 72 W]

Příklad 17.48

Určete součinitel přestupu tepla pro příklad 17.47, bude-li teplota povrchu dna nádoby t_s = 120 °C !

[α = 27,9kW/(m^2 .K), Q = 39,5 kW]

Příklad 17.49

Vodorovná trubka je uložena v kotli se sytou parou o tlaku p = 0,36 MPa. Teplota stěny trubky t_s = 120 °C, průměr trubky d = 0,01 m, délka l = 0,5 m. Určete součinitel přestupu tepla a množství zkondenzované vodní páry !

[α = 14 000 W/(m^2 .K), m = 2,047 g/s]

Příklad 17.50

Zjistěte součinitel přestupu tepla ve svazku trubek při uspořádání za sebou pro trubku uloženou v 8. řadě od shora ! Trubky jsou obklopeny přehřátou vodní parou o tlaku p = 0, 62 MPa a teplotě t_p = 200 °C. Průměr trubky d = 0,05 m, teplota stěny trubky t_s = 80 °C.

[α = 3920 W/(m^2.K)]

Příklad 17.51

Určete střední hodnotu součinitele přestupu tepla pro kondenzátor parní turbíny, jsou-li v něm uloženy trubky v 15-ti řadách za sebou. Průměr trubky d = 0,03 m, teplota stěny trubky t_s = 10 °C, tlak syté vodní páry p = 7300 Pa (t = 40 °C).

[$\alpha_{stř}$ = 2540 W/(m^2.K)]

Příklad 17.52

Určete střední hodnotu součinitele přestupu tepla pro kondenzátor parní turbíny, jsou-li v něm trubky uloženy střídavě v 15-ti řadách. Ostatní hodnoty jsou stejné jako v příkladě 17.51.

[$\alpha_{stř}$ = 2940 W/(m^2.K)]

Příklad 17.53

Určete teplo sdílené sáláním na krytém kluzišti o rozměrech 60x30 m, je-li teplota ledové plochy -5 °C, teplota střechy +17 °C, absorptance ledu A_L = 0,2 a konstrukce střechy A_S = 0,6. Okrajové ztráty zanedbejte !

[Q = 32,7 kW]

Příklad 17.54

Izolované potrubí natřené olejovou barvou je vedeno v místnosti, jejíž stěny mají teplotu 27 °C. Průměr potrubí d = 0,1 m, délka potrubí l = 8 m. Určete teplo sdílené sáláním, je-li teplota povrchu potrubí 7 °C ! Jak se změní toto teplo, je-li potrubí vedeno v krytu o rozměrech 0,2 x 0,2 m, jehož vnitřní povrch je pokryt hliníkovým lakem.

Řešení :

t_1= 27 °C ; d = 0,1 m ; l = 8 m, t_2 = 7 °C ; Q = ? ; Q´= ? - pro kryt (0,2 x 0,2) m

Sálavý tepelný tok (ε_1= 0, 39) $Q = \varepsilon_1 c_o S_1 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] = 0{,}39 . 5{,}7.\pi.0{,}1 . [(300 / 100)^4 - (280/100)^4] = 112$ W

$Q' = \varepsilon_n c_o S_1 [(T_1/100)^4 - (T'_2/100)^4] = 0{,}59 . 5{,}7 . \pi . 0{,}1 . 8.[(300 / 100)^4 - (280/100)^4] = 430$ W

kde
$$\varepsilon_n - \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{S_1}{S_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2}-1\right)} = \frac{1}{\frac{1}{0{,}92}+\frac{2{,}5}{6{,}4}\left(\frac{1}{0{,}39}-1\right)} = 0{,}59$$

kde ε_1 =0,92 ; ε_2= 0,39

Příklad 17.55

Uzavřený kotel o průměru d_1 = 0,5 m a výšce h_1 = 2 m je umístěn v místnosti o rozměrech a = 10 m, b = 8.m, h = 6 m. Teplota povrchu stěny kotle t_1 = 400 °C, teplota povrchu cihlové stěny t_2 = 10 °C. Určete tepelné ztráty sáláním tohoto kotle !

[Q = 32 100 W]

Příklad 17.56

Určete tepelné ztráty sáláním kotle z příkladu 17.55, bude-li povrch natřen hliníkovým nátěrem ! Pro hliníkový nátěr je poměrná zářivost ε_1 = 0,35.

[Q = 14 kW]

Příklad 17.57

Jaké budou tepelné ztráty sáláním nenatřeného i natřeného kotle z příkladů 17.55 a 17.56, bude-li tento umístěn v prostoru o rozměrech a = 0,7 m, b = 0,7 m, h = 2,2 m ?

[a) Q = 31,3 kW, b) Q = 13,86 kW]

Příklad 17.58

Pozorovacím otvorem pece sálá teplo. Tento otvor může být pokládán za dokonale černé těleso. Průměr pozorovacího otvoru d = 6 cm. V peci je teplota 1800 °C, okolní teplota je 30 °C. Určete ztrátu tepla sáláním tímto pozorovacím otvorem.

[Q = 2960 W]

Příklad 17.59

Láhev s dvojitou válcovou stěnou je naplněna vodou o teplotě 90 °C. Mezi stěnami je vzduchoprázdný prostor, pokrytý stříbrnou vrstvou s poměrnou zářivostí $\varepsilon = 0{,}02$. Teplota okolí je 10 °C. Jaké budou v tomto případě ztráty tepla sáláním, je-li d = 0,1 m, h = 0,3 m a láhev má tvar válce ?

[Q = 0,6975 W]

Příklad 17.60

Velkou místností prochází neizolované parní potrubí o průměru d = 0,5 m. Teplota stěny potrubí t_1 = 627 °C, teplota stěn místnosti t_2 = 27 °C, poměrná zářivost $\varepsilon = 0{,}8$. Jaké jsou v tomto případě tepelné ztráty sáláním ?

[q = 46,5 kW/m]

Příklad 17.61

Tepelné ztráty sáláním jsou o 96 % menší než u neizolovaného potrubí. Na obvodě parního potrubí v příkladě 17.60 je izolace, složená z pěti stínítek z tenkého ocelového plechu. Tepelný odpor plechu je možno zanedbat, poměrná zářivost tohoto plechu je $\varepsilon = 0{,}82$. Plechy jsou od sebe vzdáleny 0,05 m. Stanovte množství tepla sdíleného sáláním !

[q = 9840 W/m]

Příklad 17.62

Prostor parního kotle vytápěný uhelným prachem má průměrnou teplotu 1400 °C a je opatřen chladícím registrem z trubek o povrchové teplotě 200 °C. Kolik tepla se přenáší na trubky celkem, sáláním a konvekcí ?

[$C_1 = 4{,}65\ W/(m^2K^4)$, $\alpha_k = 23{,}2\ W/(m^2.K)$, $q_s = 363\ kW/m^2$, $q_k = 27{,}9\ kW/m^2$]

Příklad 17.63

Na 4 m^2 nezakrytého roštového topeniště se spaluje 320 kg uhlí o výhřevnosti 29 200 kJ/kg pro vytápění parního kotle. Teplota povrchu hořícího paliva je 1200 °C, teplota kotelní stěny 200 °C. Součinitel sálání žhavého uhlí i stěny kotle je 4,65 W/(m^2.K^4), účinnost sálání 0,7. Kolik tepla se přenáší sáláním ?

[Q = 507 kW - 19,5 % vybaveného tepla]

Příklad 17.64

Určete vliv stažené záclony v uzavřeném dvojitém okně, jsou-li teploty vnitřních povrchů skleněných tabulí +15 °C (resp. -10 °C)! Součinitel sálání skla C = 5,25 W/(m^2.K^4), záclony C = 4,65 W/(m^2.K^4). Teplotu po obou stranách záclony uvažujte stejnou !

[Bez záclony se vysálá Q_1 = 100 W, se záclonou Q_2 = 46,3 W]

Příklad 17.65

Kouřové plyny proudí potrubím obdélníkového průřezu a x b = 0,2 x 0,3 m. Střední teplota plynů t_p = 600 °C, teplota stěny potrubí t_s = 127 °C, poměrná zářivost stěny potrubí ε = 0,8. Jaké teplo se sdílí sáláním do potrubí, je-li parciální tlak kysličníku uhličitého v plynech p_{CO2} = 0,0118 MPa, vodní páry $p_{H\,2O}$ = 7800 Pa ?

[q = 3360 W/m^2]

Příklad 17.66

Určete teplo sdílené sáláním plynů v potrubí, bude-li v příkladu 17.65 parciální tlak kysličníku uhličitého zvětšen 5x při jinak stejných hodnotách !

[q = 4670 W/m^2]

Příklad 17.67

Určete tepelné ztráty 1 m^2 cihlové obezdívky kotle o tloušťce δ = 0,25 m, je-li teplota plynů t_1 = 600 °C, teplota okolního vzduchu t_2 = 30 °C, α_1 = 23,3 W/(m^2.K), α_2 = 9,3 W/(m^2.K), λ = 0,815 W/(m.K) ! Jaká je teplota obezdívky ?

[q = 1240 W/m^2, t_{p1} = 546 °C, t_{p2} = 163 °C]

Příklad 17.68

Ve výměníku se ochlazuje mazut z teploty t_1 = 300 °C na teplotu t_2 = 200 °C a surová nafta se při tom ohřívá z teploty t'_1 = 25 °C na t'_2 = 175 °C. Určete střední teplotní spád v tomto výměníku v případě a) souproudu, b)proti proudu Jaký je rozdíl mezi plochou výměníku v případě a) a b), jestliže v obou případech jsou stejná předaná tepla a součinitelé prostupu tepla ?

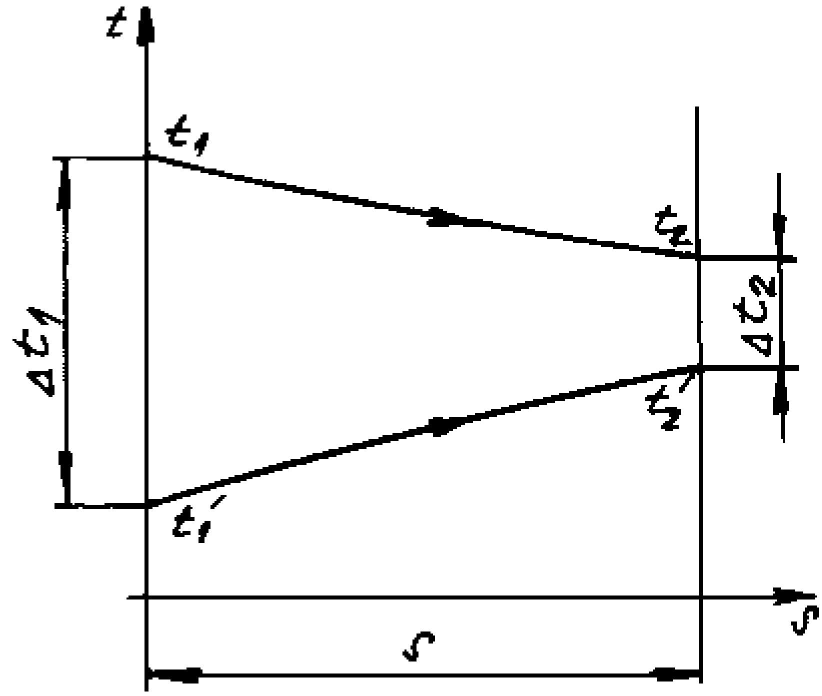
Řešení :

t_1 = 300 °C; t_2 = 200 °C; t_1 = 25 °C; t'_2 = 175 °C ; Δt_s = ?; Δt_p = ?; S_s/S_p = ?

a) Souproudý výměník .

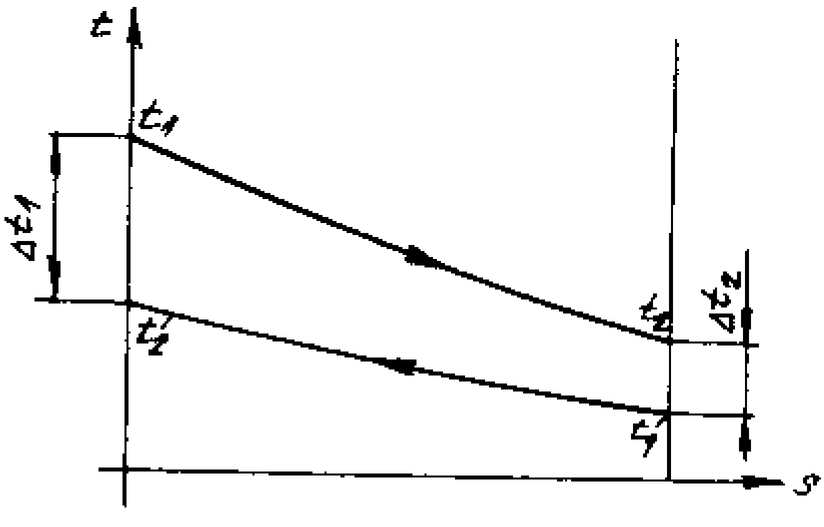
Střední logaritmický střed rozdílu teplot

$$\Delta t_s = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(300-25)-(200-175)}{\ln \frac{300-25}{200-175}} = 104{,}2\ °C$$



b) protiproudý výměník

Střední logaritmický střed rozdílu teplot $$\Delta t_p = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(300-175)-(200-25)}{\ln \frac{300-175}{200-25}} = 150{,}75\ °C$$



Poměr teplosměných ploch při souproudu a protiproudu při stejném tepelném toku a stejném součiniteli prostupu tepla

S_s / S_p = Δtp /Δts = 150,75 / 104,2 = 1,447

Příklad 17.69

Ve vodním chladiči se má ochladit ze 120 °C na 50 °C 0,06944 kg/s kapaliny o hustotě ρ = 1100 kg/m^3 a měrné tepelné kapacitě c_p = 3,04 kJ/(kg.K). K ochlazování se používá chladicí vody 10 °C teplé. Určete potřebnou plochu chladiče pro souproud i protiproud, je-li k = 1163 W/(m^2.K) !

[S_s = 0,24 m^{2}·, S_p = 0,22 m^2]

Příklad 17.70

Kouřové plyny jsou vedeny ocelovým potrubím o průměru d_1= 0,5 m, d_2 = 0,6 m obklopeným izolací ze skelné vlny o tloušťce δ = 0,2 m. Teplota kouřových plynů t_1 = 800 °C, jejich rychlost w_1 = 30 m/s. Potrubí je ofukováno proudem vzduchu kolmo k potrubí s rychlostí w_2 = 5 m/s a teplotou t_2 = 20 °C. Jaké jsou tepelné ztráty potrubí při uvážení vlivu sálání kouřových plynů, je-li parciální tlak kysličníku uhličitého p_{CO2} = 9800 Pa a parciální tlak vodní páry p_{H2O} = 0,0118 MPa.

[k = 0,143 W/(m.K), q = 352 W/m]

Příklad 17.71

V kondenzátoru s vodorovnými trubkami při střídavém uspořádání s deseti řadami kondenzuje sytá vodní pára o tlaku p = 0,1 MPa. V trubkách proudí chladicí voda o střední teplotě t_2 = 20 °C rychlostí w = 2 m/s. Vnější průměr trubky d_1 = 46 mm, vnitřní d_2 = 40 mm. Určete sdílené teplo !

[q = 28,1 kW/m]

Příklad 17.72

Čpavkový roztok o teplotě t = 120 °C má být ochlazen vodou 10 °C teplou na 20 °C. Čpavkového roztoku je m_1 = 0,1111 kg/s o měrné tepelné kapacitě c_p = 4,68 kJ/(kg.K), vody m_2 = 1,389 kg/s. Stanovte množství sdíleného tepla, plochu výměníku pro souproud a teplotu, se kterou voda výměník opustí, je-li součinitel prostupu tepla k = 1750 W/(m^2.K) !

[Q = 52 kW, S = 1,29 m^2, t_{2v} = 19 °C]

Příklad 17.73

Do kondenzátoru přichází m_1 = 0,1389 kg/s syté vodní páry o tlaku p = 0,098 MPa. V tomto kondenzátoru se ochladí kondenzát na teplotu t''_1 = 30 °C. V protiproudu přitéká chladicí voda o počáteční teplotě t'_2 = 10 °C, která se během chlazení ohřeje na teplotu t''_2 = 40 °C. Určete plochu kondenzátoru a graficky vyneste průběh teplot, je-li součinitel prostupu tepla při kondenzaci k = 1163 W/(m^2.K), při podchlazování kondenzátu k = 233 W/(m^2.K).

[S = 7,56 m^2]

Příklad 17.74

Při výrobě sody je třeba ochladit roztok solanky z 65 °C na 35 °C. K dispozici máme vodu o teplotě 15 °C, kterou máme ohřát na 25 °C. Množství solanky je 0,001389 kg/s. Navrhněte protiproudý výměník!

18. Spalování spotřeba kyslíku a vzduchu

Příklady: 18.1, 18.2, 18.3, 18.4, 18.5, 18.6, 18.7, 18.8, 18.9, 18.10, 18.11, **18.12**

Příklad 18.1

Určete součinitel přebytku vzduchu u leteckého motoru, jestliže se při spálení 1 kg benzínu spotřebuje 15,2 kg vzduchu. Benzín se skládá z 86 % uhlíku a 14 % vodíku - hmotnostně.

[λ = 1,04]

Příklad 18.2

Analýzou spalin bylo zjištěno objemové složení : x_{CO2} = 0,16, x_{O2} = 0,04. Určete množství chemického nedopalu paliva a také přebytek vzduchu. Palivo se skládá z čistého uhlíku o spalném teple 33 800 kJ/kg. Při nedokonalém spalování vzniká kysličník uhelnatý CO o spalném teple 12 700 kJ/ m^3.

[q = 6,4 %, λ = 1,12]

Příklad 18.3

Spálením uhlíku v čistém kyslíku dostaneme směs kysličníku uhelnatého a uhličitého o složení : w_{CO2} = 0,75, w_{CO} = 0,25. Kolik uhlíku bylo spotřebováno, jestliže spalování probíhalo v uzavřené nádobě o objemu V = 0,04 m^3 při počátečním tlaku kyslíku p = 3 MPa a teplotě t = 40 °C ?

[m = 0,6685 kg C]

Příklad 18.4

V uzavřené nádobě je kyslík a určité množství uhlíku. Po spálení uhlíku je veškerý kyslík spotřebován a obdržíme spaliny o složení: w_{CO} = 0,8, w_{CO2} = 0,2. Po určité době je teplota uvnitř nádoby vlivem sdílení tepla s okolím rovna teplotě před spalováním. Kolikrát se zvýší tlak uvnitř nádoby ?

[Tlak se zvýší 1,67 krát]

Příklad 18.5

Uhlík se spaluje v uzavřené nádobě, obsahující vzduch při normálních fyzikálních podmínkách. Polovina uhlíku se spálí na kysličník uhličitý a polovina na kysličník uhelnatý. Určete hmotnostní složení plynu po spálení veškerého kyslíku !

[w_{N2} = 0,686, w_{CO2} = 0,191 , w_{CO} = 0,123]

Příklad 18.6

Při spalování uhlíku ve vzduchu vzniká směs plynů, skládající se z dusíku, kysličníku uhličitého a kysličníku uhelnatého. Určete hmotnostní díly CO a CO_2, je-li hmotnostní díl dusíku w_{N2} = 0,675 !

[w_{CO} = 0,19, w_{CO2} = 0,135]

Příklad 18.7

V tepelné elektrárně se spaluje hnědé uhlí o značně proměnlivé vlhkosti mezi 25 až 60 %. Složení čistého uhlí: 70 % C, 5 % H_2, 20 % 0_2, 1,5 % N_2, 3,5 % S. Z 1 kg uhlí je 80 g popele. Určete změnu výhřevnosti hnědého uhlí v závislosti na vlhkosti a zakreslete ji graficky.

[Z = 8700 až 18 600 kJ/kg]

Příklad 18.8

V topeništi parního kotle se spaluje černé uhlí o obsahu popele 7,5% a vody 8 %. Složení čistého uhlí : 83 % C, 5 % H_2, 9,5 % 0_2, 1,5 % N_2, 1 % S. V zabudovaném Orsatově přístroje lze zjistit množství (CO_2 + SO_2) a O_2 v kouřových plynech. Nakreslete diagram sloužící k provozní kontrole topeniště, ze kterého se dá odečíst obsah (CO_2 + SO_2) a O_2 v kouřových plynech při přebytku vzduchu λ = 1 až 2,5.

[λ = 1; 1,5; 2; 2,5
CO_2 + SO_2 = 18,9; 12,5; 9,34; 7,4 %
O_2 = 0; 7,1; 10,61; 12,7 %]

Příklad 18.9

V topeništi kotle se spaluje 0,1389 kg/s uhlí o složení 75 % C, 6 % H2, 8 % O2. Kolik kg vzduchu se spotřebuje při přebytku λ = 1,5 ?

[m = 2,17 kg/s]

Příklad 18.10

Ve vzduchu se spaluje 1 kg hnědého uhlí o složení : 46 % C, 3,5 % H_2, 0,5 % S, 13 % 0_2, 1 % N_2, 30 % vlhkosti a 6 % popele, přebytek vzduchu je 50 %. Jaké je množství a složení suchých spalin při 15 °C a tlaku 0,098 MPa ? Kolik kg vody zkondenzuje ? O vlhkosti vzduchu neuvažujte !

[V = 7,496 m^3/kg paliva, (12,5 % CO_2, 0,05 % SO_2, 80,4 % N_2, 7,1 % O_2), m_{H2O} = 0,52 kg]

Příklad 18.11

Výbušný motor jo poháněn kapalnou směsí o složení (hmotnostní): 30 % C_2H_5OH, 25 % C_3H_7OH, 45 % CH_3 OH (etyl-,propyl-,metylalkohol). Určete teoretickou spotřebu vzduchu a množství suchých kouřových plynů !

[V_{min} = 6, 337 m^3/kg, V_{kp} = 7, 33 m^3/kg]

Příklad 18.12

4 kg kameného uhlí o složení : c = 66,5 %, h = 4,5 %, o = 8,5 %, n = 1,3 %, s = 0,4 %, w = 7,6 %, p = 11,2 % se spaluje ve vzduchu. Určete: a) minimální spotřebu kyslíku v kmol O_2/kg paliva, m^3/kg paliva, kg/kg paliva, minimální spotřebu vzduchu ve stejných jednotkách, b) složení suchých a vlhkých spalin po dokonalém spálení paliva v suchém vzduchu při přebytku vzduchu λ = 1,3.

Řešení :

a) minimální spotřeba kyslíku

O_{min}= c/12 + h/4 + s/32 - o/32 = 0,665/12 + 0,045/4 + 0,004/32 - 0,085/32 = 0,06412 kmol 0_2 /kg paliva

V_{O2min} = 22,4. O_{min} = 1,436 m^3/kg paliva

$m_{O2\ min}$ = $M_{O2.}O_{min}$ = 2,052 kg O_2/kg paliva

V_{vzd} = 0_{min} / 0,21 = 0,3055 kmol/kg paliva

V'_{vzd} = V_{O2min} / 0,21 = 6,845 m^3/kg paliva

m_{vzd} = m_{O2min} / 0,232 = 8,85 kg/kg paliva

Množství CO_2 ve spalinách : c / 12 = 0,665 / 12 = 0,0554 kmol /kg paliva

H_2O : h / 2 + w / 18 = 0,045 / 2 + 0,076 / 18 = 0,02672 kmol/kg paliva

SO_2 : s / 32 = 0,004 / 32 = 0,000125 kmol/kg paliva

O_2 : O_{min} (λ - 1) = 0,064119 (1,3 - 1) = 0,01924 kmol/kg paliva

N_2 : (O_{min} / 0,21). 0,79 λ + (n / 28) = (0,064119 / 0,21). 0,79. 1,3 + (0,013 / 28) = 0,31396 kmol/kg paliva

b) Složení suchých spalin :

CO_2 = 14,25 %

SO_2 = 0,03 %

O_2 = 4,94 %

N_2 = 80,79 %

Složení vlhkých spalin :

CO_2 = 13,34 %

SO_2 = 0,03 %

O_2 = 4,63 %

N_2 = 75,57 %

H_2O = 6,43 % kde příslušný objemový díl je roven množství příslušné složky v kmol/kg paliva ku celkovému množství spalin v kmol/kg paliva.