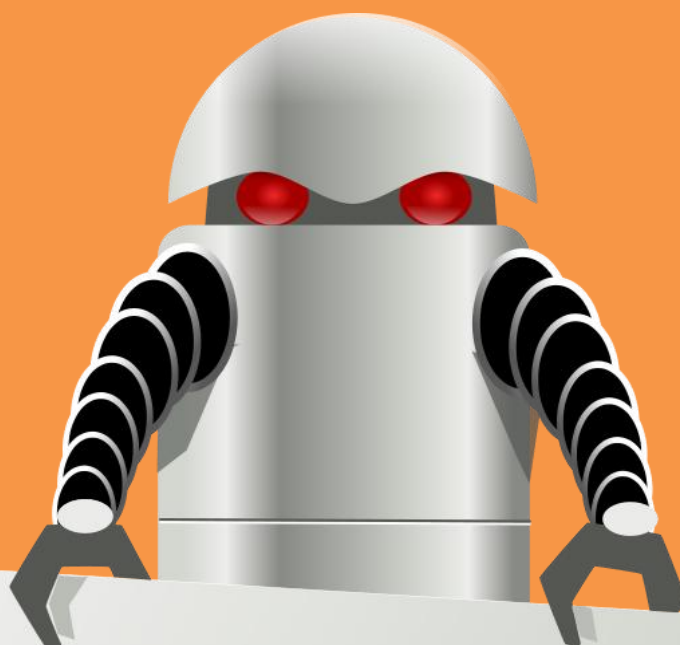


STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STROJNICKÁ A STŘEDNÍ ODBORNÁ ŠKOLA  
PROFESORA ŠVEJCARA, PLZEŇ, KLATOVSKÁ 109



**Josef Gruber**  
**MECHANIKA VI**  
**TERMOMECHANIKA –**  
**PRACOVNÍ SEŠIT**

Vytvořeno v rámci Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost  
CZ.1.07/1.1.30/01.0038 Automatizace výrobních procesů ve strojírenství  
a řemeslech



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Dílo podléhá licenci Creative Commons Uveďte autora-Nevyužívejte dílo komerčně-Zachovejte licenci 3.0 Česko.

# 1. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

## TEPLO A TEPELNÝ VÝKON 1

**Dáno:** Ocelový ingot o hmotnosti  $m = 3,2 \text{ t}$  se má ohřát z teploty  $t_1 = 20 \text{ °C}$  na kovací teplotu  $t_2 = 1\,050 \text{ °C}$ . Střední měrná kapacita oceli pro dané rozmezí teplot je  $c_s = 0,72 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

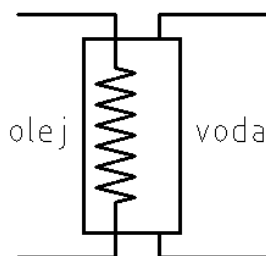
**Určete:** potřebné množství tepla.

**Dáno:** Chladicí voda protékající pláštěm kolem válce kompresoru se ohřívá z teploty  $t_1 = 22 \text{ °C}$  na teplotu  $t_2 = 45 \text{ °C}$ . Za hodinu proteče 1 240 litrů vody.

**Určete:** kolik tepla  $Q_\tau$  se odvede za hodinu.  $c = 4,186 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

**Dáno:** Ložiskem turbíny se protlačuje  $Q_{m1} = 15 \text{ kg.s}^{-1}$  oleje, který se vlivem tření ohřívá z teploty  $t_{o1} = 23 \text{ °C}$  na teplotu  $t_{o2} = 68 \text{ °C}$ . Teplý olej se chladí ve vodním chladiči, ve kterém se voda ohřeje z teploty  $t_{v1} = 18 \text{ °C}$  na teplotu  $t_{v2} = 22 \text{ °C}$ .

**Určete:** jaké množství chladicí vody je potřeba. Olej má  $c_1 = 1,670 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , voda má  $c_2 = 4,186 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .



**Dáno:** Teplovodní ústřední vytápění má dodávat do objektu  $Q_\tau = 5,7 \cdot 10^5 \text{ kJ.h}^{-1}$  tepla vodou o teplotě  $t_1 = 90 \text{ °C}$ , která se vrací zpět s teplotou  $t_2 = 70 \text{ °C}$ . Hustotu vody uvažujeme pro  $70 \text{ °C}$   $\rho = 965,3 \text{ kg.m}^{-3}$ .

**Určete:** průtok  $Q_V$ , jaký musí dodávat čerpadlo, a průměr potrubí, má-li jím voda proudit rychlostí  $w = 3 \text{ m.s}^{-1}$ .

## 2. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPLO A TEPELNÝ VÝKON 2

**Dáno:** Má se roztavit  $m = 50$  kg oceli o teplotě  $t_1 = 10$  °C. Teplota tavení je  $t_t = 1\,400$  °C, střední měrná tepelná kapacita  $c = 0,699$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrné skupenské teplo tavení je  $l = 205$  kJ.kg<sup>-1</sup>.

**Určete:** potřebné množství tepla  $Q$ .

**Dáno:** Spalovací motor má výkon  $P = 5,5$  kW. Spotřebuje za 1 hodinu  $m = 1,5$  kg paliva. Spálením 1 kg paliva se uvolní  $q = 46$  MJ tepla (výhřevnost paliva je 46 MJ.kg<sup>-1</sup>).

**Určete:** účinnost motoru.

**Dáno:** Slévárenská kuplovna (pec na přetavování surového železa) potřebuje k tavení  $m_1 = 40$  t železa  $m_2 = 3\,120$  kg koksu o výhřevnosti  $q = 31\,395$  kJ.kg<sup>-1</sup>. Železo má počáteční teplotu  $t_1 = 20$  °C a taví se při  $t_t = 1\,200$  °C. Střední měrná tepelná kapacita je  $c = 0,6$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, měrné skupenské teplo tavení je  $l = 125$  kJ.kg<sup>-1</sup>.

**Určete:** tepelnou účinnost pece.

Teplo dodané koksem:

Teplo potřebné pro tavení surového železa:

Účinnost pece:

### 3. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

#### STAVOVÁ ROVNICE IDEÁLNÍHO PLYNU

**Dáno:** Teplovzdušné vytápění dodá za 1 h 880 m<sup>3</sup> vzduchu o teplotě 62 °C a absolutním tlaku  $p = 0,101$  MPa.

**Určete:** hmotnost vzduchu, měrný objem a hustotu vzduchu. Měrná plynová konstanta  $r = 287$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Stavová rovnice (vzduch považujeme za ideální plyn):

**Dáno:** Ventilátor odsává  $Q_V = 3\,600$  m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> vzduchu o teplotě  $t = 23$  °C. Podtlak způsobený ventilátorem je 30 mm vodního sloupce (měřeno kapalinovým vakuometrem – U trubicí). Atmosférický tlak je  $p_a = 0,097$  MPa.

**Určete:** jakou hmotnost má vzduch odsátý za 1 h.

Absolutní tlak:

Hmotnost vzduchu ze stavové rovnice:

**Dáno:** Kompresor nasává venkovní vzduch o teplotě  $t_1 = 7$  °C a atmosférickém tlaku  $p_a = 0,1013$  MPa. Za změněných podmínek nasává kompresor vzduch ohřátý o stěny na novou  $t_1 = 37$  °C s podtlakem  $\Delta p_{va} = 4\,905$  Pa.

**Určete:** jak se změní hmotnostní tok dodávaný kompresorem.

Hmotnostní tok 1:

Hmotnostní tok 2:

Porovnání, závěr:

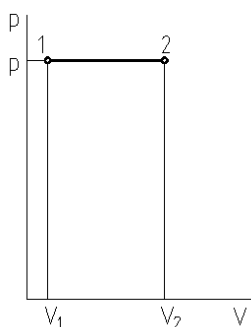
## 4. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### ZÁKLADNÍ VRATNÉ ZMĚNY STAVU IDEÁLNÍHO PLYNU 1



**Dáno:** Ve spalovacím prostoru původního Diesellova motoru s rovnotlakým spalováním je na konci kompresního zdvihu stlačen vzduch na tlak  $p = 3,2$  MPa a teplotu  $t_1 = 700$  °C. Na počátku dalšího zdvihu je vstřikováno palivo, které hoří za stálého tlaku  $p$ .

**Určete:** jaká bude teplota  $t_2$  na konci spalování, zvětší-li se objem spalovacího prostoru 2,5krát, a kolik tepla se vyvinulo spálením paliva, je-li objem na konci komprese  $V_1 = 800$  cm<sup>3</sup>. Tepelné hodnoty uvažujte jako u vzduchu, hmotnost vstřikovaného paliva zanedbejte.



Rovnice stavové změny, výpočet teploty na konci spalování:

Stavová rovnice, určení hmotnosti vzduchu:

Množství tepla:

**Dáno:** Ve spalovacím prostoru zážehového motoru se spaluje směs benzínových par a vzduchu přibližně za stálého objemu. Stlačená směs má tlak  $p_1 = 0,5$  MPa a teplotu  $t_1 = 207$  °C. Spálením 1 kg směsi se vyvine  $q = 1\,600$  kJ tepla.

**Určete:** jak stoupne tlak a teplota po spálení směsi.

Diagramy změny:



Rovnice změny:

Vztah pro množství tepla, výpočet konečné teploty:

Konečný tlak:

## 5. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### ZÁKLADNÍ VRATNÉ ZMĚNY STAVU IDEÁLNÍHO PLYNU 2

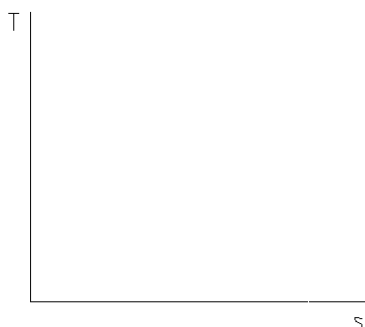
**Dáno:** V kompresoru se izotermicky stlačuje vzduch z tlaku  $p_1 = 0,1$  MPa na tlak  $p_2 = 0,6$  MPa. Dodávané množství je  $Q_V = 60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Teplota  $t = 17^\circ \text{C}$ .

**Určete:** technickou práci na kompresi, množství odváděného tepla a teoretický výkon hnacího motoru.



**Dáno:** Vzduch o tlaku  $p_1 = 0,92$  MPa, teplotě  $t_1 = 47^\circ \text{C}$  a objemu  $V_1 = 120 \text{ m}^3$  expanduje adiabaticky na tlak  $p_2 = 0,15$  MPa.

**Určete:** teplotu  $t_2$  a objem  $V_2$  na konci expanze a vykonanou technickou práci.



## 6. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

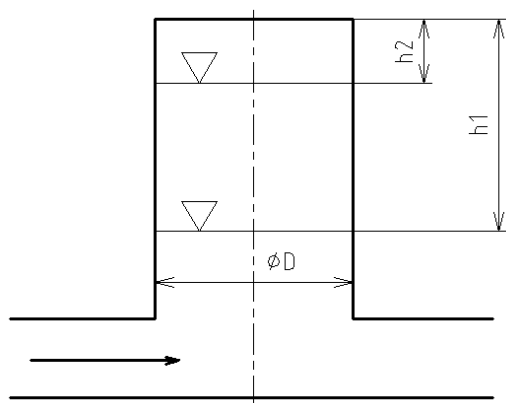
### ZÁKLADNÍ VRATNÉ ZMĚNY STAVU IDEÁLNÍHO PLYNU 3

**Dáno:** V uzavřené nádobě je  $m = 0,085$  kg acetylenu o tlaku  $p_1 = 0,26$  MPa a teplotě  $t_1 = 17$  °C. Plyn se zahřeje na teplotu  $t_2 = 257$  °C.

**Určete:** jaký tlak  $p_2$  bude v nádobě po zahřátí, kolik tepla  $Q$  je nutno přivést a jaký objem má nádoba.

**Dáno:** Válcový vzdušník čerpadla má průměr  $D = 900$  mm. Při přetlaku  $\Delta p_p = 0,2$  MPa má vzduchový polštář výšku  $h_1 = 1\,700$  mm. Teplota vzduchu a vody je konstantní  $t = 12$  °C, atmosférický tlak je  $0,1$  MPa.

**Určete:** měrný objem vzduchu  $v_1$ , hmotnost vzduchu, výšku vody  $h_2$ , jestliže tlak čerpadla stoupne na  $0,6$  MPa při konstantní teplotě, práci potřebnou na stlačení a množství odvedeného tepla.



Měrný objem na začátku:

Počáteční objem a hmotnost vzduchu:

Rovnice změny a výška sloupce vody po vzrůstu tlaku:

Práce na stlačení vzduchu:

Množství odvedeného tepla:

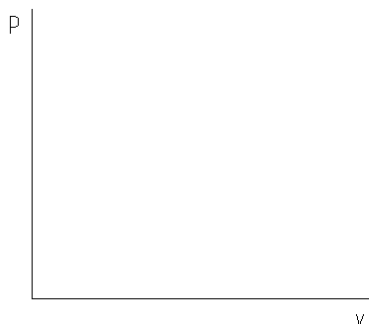
## 7. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### ZÁKLADNÍ VRATNÉ ZMĚNY STAVU IDEÁLNÍHO PLYNU 4

**Dáno:** Vznětový motor má kompresní poměr  $\varepsilon = 15,6$ . Na počátku adiabatické komprese je tlak  $p_1 = 0,11$  MPa, počáteční teplota  $t_1 = 47$  °C.

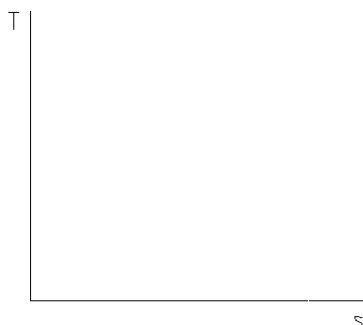
**Určete:** tlak  $p_2$  a teplotu  $t_2$  na konci komprese.  $\kappa = 1,4$

(Pozn.: kompresní poměr je poměr objemů před a po stlačení).



**Dáno:** Ve spalovacím prostoru zážehového motoru vznikne spálením směsi plyn o tlaku  $p_1 = 2,5$  MPa a teplotě  $t_1 = 1\,400$  °C, který se adiabaticky rozpíná. Plyn opouští pracovní prostor s teplotou  $t_2 = 500$  °C.

**Určete:** jaký je tlak  $p_2$  na konci expanze a jakou měrnou objemovou práci  $a$  vykonal plyn při  $\kappa = 1,4$  a  $r = 300$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.



## 8. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TERMODYNAMIKA PAR 1

**Dáno:** V parním kotli je přetlak  $\Delta p_p = 1,5$  MPa.

**Úkol:** Určete teplotu, měrný objem a entalpii syté páry v kotli a množství tepla, které je potřeba pro výrobu 1 kg této páry z vody o teplotě 25 °C.

Absolutní tlak:

Hodnoty z tabulek syté vody a páry (uspořádání podle tlaků):

**Dáno:** Technologický proces spotřebuje za hodinu 500 kg syté páry o přetlaku  $\Delta p_p = 1,3$  MPa. Napájecí voda má teplotu 40 °C. Atmosférický tlak je 0,098 MPa.

**Úkol:** Určete, jaké množství tepla za hodinu je pro výrobu páry potřebné, a kolik uhlí se za hodinu spálí, je-li jeho výhřevnost  $q = 27$  MJ.kg<sup>-1</sup> a účinnost kotle je 70 %.

Absolutní tlak:

Hodnoty z tabulek syté vodní páry:

Množství tepla:

Vyjádření tepla získaného spalováním:

Vyjádření účinnosti a výpočet hmotnosti uhlí:

**Dáno:** Mokrý pára o objemu  $V = 15$  m<sup>3</sup> obsahuje 12 % vody a má tlak 0,3 MPa.

**Úkol:** Určete měrný objem, hmotnost a entalpii této páry.

Suchost páry:

Hodnoty z tabulek syté vody a páry:

Výpočet měrného objemu mokré páry:

Výpočet hmotnosti:

Výpočet entalpie mokré páry:

## 9. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TERMODYNAMIKA PAR 2

**Dáno:** V odpařovači cukrové šťávy se má voda ze šťávy odpařovat při teplotě  $t'' = 60\text{ °C}$ .

**Úkol:** Určete absolutní tlak a podtlak, je-li atmosférický tlak 0,1 MPa.

Určení absolutního tlaku z tabulek (uspořádání podle teplot):

Výpočet podtlaku:

**Dáno:** a) přehřátá pára s tlakem 2 MPa a teplotou  $t = 350\text{ °C}$ ; b) mokrá pára o tlaku 1 MPa a suchosti  $x = 0,92$ ; c) mokrá pára při podtlaku 0,08 MPa a s podílem syté vody 20 %, atmosférický tlak je 98 kPa.

**Úkol:** Určete pomocí diagramu  $i - s$  ve všech třech případech entalpii.

**Dáno:** Z  $m = 7,5\text{ kg}$  vody o teplotě  $t_v = 80\text{ °C}$  se má vyrobit přehřátá pára o tlaku  $p = 4\text{ MPa}$  a teplotě  $400\text{ °C}$ .

**Úkol:** Určete potřebné množství tepla.

**Dáno:** Parovodem protéká  $Q_m = 820\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  páry o tlaku  $p = 2,1\text{ MPa}$ . Tepelnými ztrátami nedokonalou izolací pára za stálého tlaku zvlhne ze suchosti  $x_1 = 0,98$  na  $x_2 = 0,96$ .

**Úkol:** Určete ztrátu tepla za hodinu.

Znázornění děje v diagramu  $i - s$ :

Hodnoty entalpií:

Výpočet množství tepla (za stálého tlaku):

## 10. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TERMODYNAMIKA PAR 3

**Dáno:** Ústřední vytápění se vytápí výfukovou párou o tlaku  $p = 0,15$  MPa a suchosti  $x = 0,85$ . V otopných tělesech pára zkondenzuje a kondenzát se ochladí na teplotu  $t = 50$  °C.

**Úkol:** Určete, jaká hmotnost páry se spotřebuje za hodinu, má-li ústřední vytápění dodávat  $Q_{\tau} = 840$  MJ tepla. Zakreslete děj v  $T-s$  diagramu a znázorněte množství tepla.

**Dáno:** V přehříváku páry se ohřívá sytá pára o tlaku  $p_1 = 1$  MPa na přehřátou páru o teplotě  $t_2 = 290$  °C. Přehřívákem projde  $Q_m = 1\,200$  kg.h<sup>-1</sup> páry.

**Úkol:** Určete potřebné množství tepla.

**Dáno:** Kotel vyrábí sytou páru o tlaku 2 MPa. Ve spalovacím zařízení se spaluje černé uhlí o výhřevnosti 28 000 kJ.kg<sup>-1</sup> s účinností 70 %. Kotel je napájen vodou o teplotě 25 °C.

**Úkol:** Vypočítejte, kolik kg syté páry se vyrobí spálením 1 kg uhlí.

**Dáno:** Přehřátá pára adiabaticky expanduje z tlaku  $p_1 = 1,6$  MPa a teploty  $t_1 = 340$  °C. Konečná suchost páry po expanzi nesmí klesnout pod 0,83, aby lopatky parní turbíny příliš netrpěly erozí.

**Úkol:** Určete nejmenší tlak po expanzi, teplotu po expanzi a teoretický spád  $H$ .

## 11. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TERMODYNAMIKA PAR 4

**Dáno:** Do 5 m<sup>3</sup> vody o teplotě 18 °C přivedeme 46 m<sup>3</sup> syté páry o teplotě 150 °C, která ve vodě zkondenzuje.

**Úkol:** Určete výslednou teplotu vody. (*Pomůcka: voda přijme teplo uvolněné parou, ztráty neuvažujeme*).

Hodnoty pro sytou páru ( $l, v'', c$ ):

Tepelná bilance:

Výpočet konečné teploty:

**Dáno:** Přehřátá pára o tlaku  $p = 1,6$  MPa, teplotě  $t = 300$  °C a objemu  $V_1 = 1$  m<sup>3</sup> se smísí s vlhkou párou téhož tlaku  $p$ , suchosti  $x = 0,8$  a objemu  $V_2 = 1$  m<sup>3</sup>.

**Úkol:** Určete stav páry po smísení.

Bilance přijatého a odevzdaného tepla (izobarická změna):

Určení měrných objemů a hmotností:

Výpočet konečné entalpie a vyhledání stavu v diagramu:

**Dáno:** Parní stroj s indikovaným výkonem  $P = 200$  kW je poháněn sytou parou o tlaku  $p = 1,4$  MPa. Hodinová spotřeba páry na jeden indikovaný kW je  $m = 6$  kg.kW<sup>-1</sup>. Kotel je napájen vodou o teplotě 60 °C.

**Úkol:** Určete množství tepla, které je nutno přivádět do kotle.

Určení hmotnostního toku páry  $Q_m$ :

Hodnoty syté vody a páry z tabulek ( $l, t'$ ):

Výpočet množství tepla (tepelného toku pro vypočítaný hmotnostní tok):

## 12. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TERMODYNAMIKA PAR 5

**Dáno:** Měrný objem vlhké páry o tlaku  $p = 3,5 \text{ MPa}$  je  $v_x = 0,0485 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ .

**Úkol:** Určete suchost a teplotu páry.

Vztah pro měrný objem mokré páry, výpočet suchosti:

Teplota podle tlaku syté páry:

**Dáno:** Mokrý pára s tlakem  $p_1 = 0,7 \text{ MPa}$  a suchostí  $x_1 = 0,95$  je škrcena na tlak  $p_2 = 0,2 \text{ MPa}$ .

**Úkol:** Určete teplotu, suchost, entalpii a měrný objem seškrcené páry.

**Dáno:** V parní turbíně expanduje adiabaticky pára z tlaku  $p_1 = 1 \text{ MPa}$  a teploty  $t_1 = 300 \text{ °C}$  na tlak  $p_2 = 0,2 \text{ MPa}$ . Spotřeba páry je  $Q_m = 4\,000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ .

**Úkol:** Určete adiabatický spád  $H$  a teoretický výkon turbíny  $P$ .

**Dáno:** Sytá pára s teplotou  $t_1 = 278 \text{ °C}$  expanduje v turbíně adiabaticky na tlak  $10 \text{ kPa}$ .

**Úkol:** Určete tlak syté páry, teoretický adiabatický spád a skutečnou měrnou technickou práci při termodynamické účinnosti  $0,93$ .

## 13. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TERMODYNAMIKA PAR 6

**Dáno:** Admisní přehřátá pára o přetlaku  $\Delta p_p = 1,9$  MPa a teplotě  $t_1 = 375$  °C expanduje v ideální turbíně beze ztrát na tlak v kondenzátoru  $p_2 = 0,007$  MPa.

**Úkol:** Určete teoretickou práci  $a_t$ .

**Dáno:** Parní turbína s teoretickým výkonem  $P = 5$  MW má termodynamickou účinnost 93 %. Turbínou protéká  $Q_m = 28,4$  t.h<sup>-1</sup> páry, admisní pára je sytá o tlaku  $p_1 = 1,2$  MPa.

**Úkol:** Určete skutečný výkon a konečné parametry páry.

Skutečný výkon:

Skutečný spád (technická práce):

Výsledná entalpie  $i_2$ :

Teoretický spád:

Tlak a suchost výstupní páry:

**Dáno:** Parní turbína bez ohřevu kondenzátu má svorkový výkon  $P_G = 10$  MW. Vstupní parametry páry jsou  $p_1 = 4$  MPa,  $t_1 = 435$  °C, protitlak  $p_2 = 0,005$  MPa. Termodynamická vnitřní účinnost je 0,82, mechanická účinnost je 0,98, účinnost generátoru je 0,97.

**Úkol:** Určete potřebné množství páry  $Q_m$ .

Vyjádření svorkového výkonu z celkové účinnosti:

Spád  $H$ :

Hmotnostní tok páry:

## 14. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – CARNOTŮV OBĚH 1

**Dáno:** V tropických mořích je teplota povrchových vrstev vody  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v hloubce několika set metrů je  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tyto vrstvy vody mohou být jako přirozené zdroje tepla využity pro získání práce v termodynamickém cyklu, v našem případě v Carnotově cyklu.

**Úkol:** Jaká by byla tepelná účinnost takového zařízení?

**Dáno:** Carnotův cyklus s  $1\text{ kg}$  vzduchu probíhá mezi teplotami  $T_1 = 900\text{ K}$ ,  $T_2 = 300\text{ K}$ . Nejvyšší tlak je  $58,8 \cdot 10^5\text{ Pa}$ , nejnižší  $0,98 \cdot 10^5\text{ Pa}$ .

**Úkol:** Určete tepelnou účinnost, tlaky a objemy v typických bodech cyklu, přivedené a odvedené teplo a práci cyklu. (*Pomůcka: porovnejte práci a teplo u izotermické změny*).

## 15. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – CARNOTŮV OBĚH 2

**Dáno:** Teplota plynů vycházejících z hlubokých vrstev země dosahuje hodnoty  $180\text{ °C}$ .

**Úkol:** určete maximální tepelnou účinnost tepelného motoru, využívajícího tohoto zdroje tepla k práci, je-li teplota okolí  $20\text{ °C}$ .

**Dáno:** Chladicí zařízení o výkonu (přivedený tepelný tok)  $6,95\text{ kW}$  pracuje podle obráceného Carnotova cyklu. Teplota chlazeného prostoru  $t_1 = -10\text{ °C}$ , teplota v místnosti, kde se nachází chladicí zařízení, je  $t_2 = 20\text{ °C}$ .

**Úkol:** Určete chladicí faktor a teoretický výkon motoru pro pohon chladicího zařízení. Určete také, zda se bude ohřívat nebo ochlazovat vzduch v místnosti, kde je umístěno chladicí zařízení a jaké teplo se bude přivádět (nebo odvádět) po spuštění zařízení.

## 16. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY 1

**Dáno:** Zdvihový objem zážehového motoru je  $V_z = 1\,198\text{ cm}^3$  a kompresní poměr je  $\varepsilon = 10,5$ .  
Adiabatický exponent spalin  $\kappa = 1,3$ .

**Úkol:** Vypočtete objem kompresního prostoru  $V_2$  a tepelnou účinnost.

**Dáno:** Zážehový motor nasává směs o tlaku  $p_1 = 0,11\text{ MPa}$  a teplotě  $t_1 = 27\text{ °C}$ . Na konci kompresního zdvihu byl naměřen tlak  $p_2 = 1,65\text{ MPa}$ . Adiabatický exponent  $k = 1,4$ .

**Úkol:** Určete tepelnou účinnost tohoto motoru.

**Dáno:** Zážehový motor má kompresní poměr 10,3. Počáteční teplota  $t_1 = 50\text{ °C}$ , adiabatický exponent směsi je 1,35, tlakový poměr  $p_3 : p_2 = 2,5$ .

**Úkol:** Určete další teploty v charakteristických bodech oběhu.

## 17. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY 2

**Dáno:** Ideální čtyřdobý zážehový motor o zdvihovém objemu  $V_z = 1\,000\text{ cm}^3$  má kompresní poměr  $\varepsilon = 9$  a otáčky  $n = 4\,500\text{ min}^{-1}$ . Nasávaná směs má teplotu  $t_1 = 17\text{ °C}$ , tlak  $p_1 = 0,1\text{ MPa}$ , tlakový poměr  $p_3 : p_2 = 2,3$ .

**Úkol:** Určete teploty v charakteristických bodech oběhu, vypočítejte přivedené a odvedené teplo a vnitřní práci, určete tepelnou účinnost a výkon motoru. Neuvedené fyzikální hodnoty uvažujte jako u vzduchu.

Výpočet teplot:

Hmotnost směsi na jeden oběh (stavová rovnice ideálního plynu):

Přivedené a odvedené teplo (izochorická změna):

Měrná vnitřní práce:

Doba jednoho oběhu 4dobého motoru:

Tepelná účinnost:

Výkon:

## 18. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY 3

**Dáno:** Dvoudobý zážehový motor se zdvihovým objemem  $V_z = 250 \text{ cm}^3$  a kompresním poměrem  $\varepsilon = 7$  má otáčky  $n = 4\,500 \text{ min}^{-1}$ . Nasávací teplota  $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ , nasávací tlak  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ , tlakový poměr  $p_3 : p_2 = 2,3$ . Fyzikální hodnoty  $r = 270 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\kappa = 1,35$ .

**Úkol:** Stanovte teoretický výkon a hodinovou spotřebu paliva (benzín o výhřevnosti  $q = 42\,000 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ). *Pomůcka: stanovte celkové množství tepla a z této hodnoty a z výhřevnosti pak množství paliva na 1 oběh a za hodinu.*

## 19. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY 4

**Dáno:** Pracovní látkou pístového motoru s kombinovaným (izochoricko-izobarickým) přívodem tepla je vzduch. Tlak  $p_1 = 0,0981$  MPa, teplota  $t_1 = 30$  °C, kompresní poměr  $\varepsilon = 14$ , stupeň izochorického zvýšení tlaku  $\psi = 1,5$ , stupeň izobarického zvýšení objemu (stupeň plnění)  $\varphi = 1,5$ .

**Úkol:** Určete stavové veličiny v charakteristických bodech cyklu, přivedené teplo, získanou práci a termickou účinnost cyklu.

## 20. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – SPALOVACÍ TURBÍNA

**Dáno:** Spalovací turbína nasává vzduch o tlaku  $p_1 = 0,1$  MPa a teplotě  $t_1 = 30$  °C. Stupeň stlačení ( $p_2 : p_1$ ) je 30 : 1, nasátý objem je  $V_1 = 50$  m<sup>3</sup>. Výstupní teplota spalin je  $t_4 = 610$  °C.

**Úkol:** Určete stavové veličiny ve všech bodech oběhu a vypočtěte hmotnost nasátého vzduchu. Hmotnost paliva neuvažujte, pracujte s oběhem se vzduchem.

|   | Tlak $p$ (MPa) | Teplota $T$ (K) | Objem $V$ (m <sup>3</sup> ) |
|---|----------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 |                |                 |                             |
| 2 |                |                 |                             |
| 3 |                |                 |                             |
| 4 |                |                 |                             |

**Dáno:** Spalovací turbína z minulé úlohy. Objemový průtok vzduchu je  $Q_V = 50$  m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.

**Úkol:** Určete přivedené teplo, odvedené teplo, výkon a tepelnou účinnost.

## 21. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – PARNÍ TURBÍNA 1

**Dáno:** Do ideální parní turbíny vstupuje pára o tlaku  $p_1 = 3 \text{ MPa}$  a teplotě  $t_1 = 400 \text{ °C}$  a expanduje v ní na tlak  $p_2 = 4 \text{ kPa}$ .

**Úkol:** Určete konečné parametry páry, přivedené a odvedené teplo a tepelnou účinnost. Nakreslete oběh v  $T - s$  a  $i - s$  diagramu a přivedené a odvedené teplo vyznačte.

**Dáno:** Turbína na sytou páru o tlaku  $6,3 \text{ MPa}$  má výkon  $P = 1\,000 \text{ MW}$ . Pára expanduje na tlak v kondenzátoru  $10 \text{ kPa}$ .

**Úkol:** Určete teoretickou spotřebu páry ( $Q_m$ ) za hodinu a tepelnou účinnost.

## 22. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – PARNÍ TURBÍNA 2

**Dáno:** Továrna má v provozu kondenzační parní turbínu o výkonu  $P = 600 \text{ kW}$  a současně potřebuje pro vytápění a sušení  $Q = 8,5 \cdot 10^6 \text{ kJ}$  tepla za hodinu. Turbína pracuje se vstupním tlakem  $2 \text{ MPa}$  a teplotou  $310 \text{ °C}$ . Pára expanduje na tlak v kondenzátoru  $0,005 \text{ MPa}$ . Vytápěcí kotel dodává vlhkou páru o tlaku  $0,12 \text{ MPa}$  a suchosti  $0,98$ .

**Úkol:** Určete ideální spotřebu paliva za hodinu (tj. beze ztrát), jestliže má palivo výhřevnost  $q = 18 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Nakreslete oběh turbíny.

Vstupní a výstupní parametry páry (tlaky, teploty, entalpie – z diagramu), entalpie syté vody:

Spotřeba páry:

Teplo přivedené turbíně:

Množství paliva:

Množství paliva pro vytápěcí kotel:

Celkové množství paliva:

**Dáno:** Místo kondenzační turbíny použijeme protitlakovou turbínu, v níž pára expanduje na protitlak  $0,12 \text{ MPa}$ . Tato pára je použita pro vytápění a sušení. Ostatní parametry jsou stejné.

**Úkol:** Určete množství paliva a porovnejte oba případy.

## 23. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – KOMPRESOR 1

**Dáno:** Ideální izotermický kompresor (bez škodlivého prostoru) stlačuje vzduch o teplotě  $t_1 = 17\text{ °C}$  a tlaku  $p_1 = 0,1\text{ MPa}$  na tlak  $p_2 = 0,8\text{ MPa}$ .

**Úkol:** Určete měrnou vnitřní práci kompresoru.

**Dáno:** Ideální izotermický kompresor nasává  $Q_{V1} = 50\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$  vzduchu o teplotě  $t_1 = 27\text{ °C}$  a tlaku  $p_1 = 1\text{ bar}$  na tlak  $p_2 = 0,8\text{ MPa}$ . Je chlazen vodou, která se ohřeje o  $\Delta t = 18\text{ °C}$ .

**Úkol:** Určete práci a příkon kompresoru a spotřebu chladicí vody v kg za minutu.

**Dáno:** Izotermický a adiabatický kompresor nasávají  $Q_{V1} = 15\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$  vzduchu o tlaku  $p_1 = 0,11\text{ MPa}$  a teplotě  $t_1 = 27\text{ °C}$ , který pak stlačují na tlak  $p_2 = 0,5\text{ MPa}$ .

**Úkol:** Porovnejte příkon obou kompresorů.

## 24. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – KOMPRESOR 2

**Dáno:** Teoretický kompresor se škodlivým prostorem má vrtání válce  $D = 250$  mm a zdvih  $L = 300$  mm. Izotermicky stlačuje vzduch z tlaku  $p_1 = 0,1$  MPa a teplotě  $t_1 = 17$  °C na tlak  $p_2 = 0,6$  MPa. Škodlivý prostor kompresoru zaujímá 5 % zdvihového objemu. Otáčky kompresoru jsou  $n = 720$  min<sup>-1</sup>. Expanzi vzduchu ve škodlivém prostoru považujte za adiabatickou.

**Úkol:** Určete tlaky a objemy ve všech bodech oběhu a příkon kompresoru.

Hmotnost vzduchu za 1 ot. (stavová rovnice) a hmotnostní tok:

Zdvihový objem a objem škodlivého prostoru:

Tlaky a objemy v bodech oběhu, měrné objemy:

Práce (technická) při izotermické kompresi:

Práce (technická) při adiabatické expanzi:

Celková práce  $a = \sum a_{ti}$ :

Příkon:

## 25. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### TEPELNÉ OBĚHY – CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ

**Dáno:** Chladicí zařízení pracuje s obráceným Carnotovým oběhem mezi teplotami  $t_1 = -15\text{ °C}$  a  $t_2 = 25\text{ °C}$ . Výkon chladicího zařízení (přivedené teplo) je  $Q_p = 34,72\text{ kW}$ .

**Úkol:** Určete chladicí faktor, odvedené teplo a příkon kompresoru.

**Dáno:** Kompresor chladicího zařízení pracujícího s Carnotovým oběhem má účinnost 80 % a příkon (výkon hnacího elektromotoru)  $P_p = 12\text{ kW}$ . Teplota ve výparníku je  $t_1 = -10\text{ °C}$ , teplota okolí  $t_2 = 22\text{ °C}$ .

**Úkol:** Určete chladicí faktor a přivedené a odvedené teplo.

## 26. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### PROUDĚNÍ PLYNŮ A PAR 1

**Dáno:** Před výstupní tryskou proudového motoru letadla mají spaliny tlak  $p_1 = 0,15$  MPa a teplotu  $t_1 = 550$  °C. Adiabaticky expandují a vystupují do volného prostoru s atmosférickým tlakem  $p_2 = 0,08$  MPa. Průměr trysky je  $d = 720$  mm.

**Úkol:** Určete výstupní rychlost  $w_2$  a hmotnostní tok spalin  $Q_m$ , je-li jejich plynová konstanta a adiabatický exponent stejná jako u vzduchu. Rychlostní součinitel je 0,82.

Kritický tlakový poměr:

Poměr tlaků v trysce, druh výtoku:

Rychlost:

Měrný objem (stavová rovnice ideálního plynu):

Hmotnostní tok spalin:

**Dáno:** Skútr s motorem o výkonu  $P = 8,33$  kW a čelní plochou  $S = 0,60$  m<sup>2</sup> jede rychlostí  $w = 72$  km.h<sup>-1</sup>. Součinitel odporu  $c_x = 0,7$ . Vlastnosti vzduchu uvažujte za normálních podmínek ( $p_a = 0,1$  MPa,  $t = 20$  °C).

**Úkol:** Určete, kolik procent z celkového výkonu motoru se při rovnoměrné jízdě spotřebuje na překonání odporu vzduchu.

## 27. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### PROUDĚNÍ PLYNŮ A PAR 2

**Dáno:** Parašutista klesá k zemi na padáku o ploše  $S = 42 \text{ m}^2$ , jeho hmotnost včetně padáku je  $90 \text{ kg}$ . Součinitel odporu padáku je  $c_x = 1,4$ , hustota vzduchu je  $\rho = 1,18 \text{ kg.m}^{-3}$ .

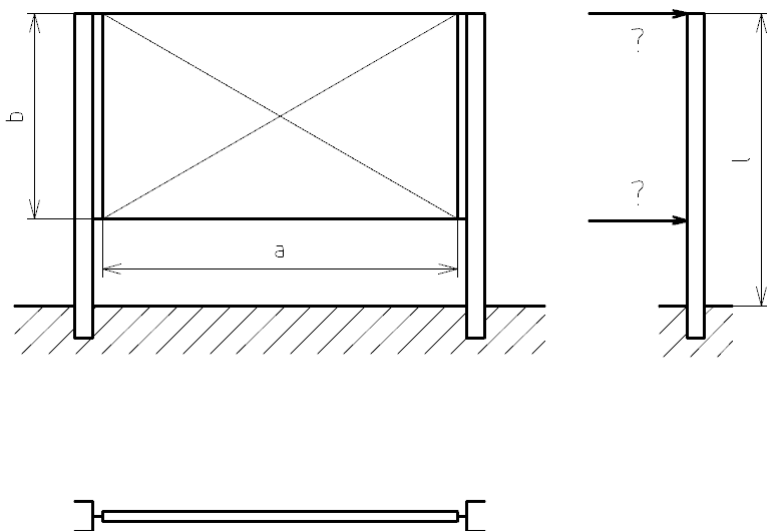
**Úkol:** Určete rychlost rovnoměrného klesání.

Rovnováha sil:

Výpočet rychlosti:

**Dáno:** Plošná reklama je vystavena účinkům tzv. čerstvého větru o rychlosti  $29 \text{ km/h}$ . Rozměry desky  $a \times b = 4 \times 2 \text{ m}$ , výška sloupu  $l = 3 \text{ m}$ . Součinitel odporu  $c_x = 1,2$ , hustota vzduchu je  $\rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ . Sloupy jsou tvořeny profily U 80.

**Úkol:** Určete ohybové napětí v jednom sloupu. Předpokládejte působení výsledné síly uprostřed desky a přenos sil na sloup v místech upevnění desky.



## 28. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### PROUDĚNÍ PLYNŮ A PAR 3

**Dáno:** Letadlo o hmotnosti 4 t letí vodorovně ve výšce 1 km (hustota vzduchu  $\rho = 1,1 \text{ kg.m}^{-3}$ ) rychlostí  $130 \text{ km.h}^{-1}$ , plocha křídla je  $S = 150 \text{ m}^2$ .

**Úkol:** Určete součinitel vztlaku.

**Dáno:** Dvumotorové letadlo má motory o výkonu  $P = 634 \text{ kW}$ . Ve výšce 3 km (hustota vzduchu ( $\rho = 0,95 \text{ kg.m}^{-3}$ ) běží na 75 % výkonu a udělují letadlu rychlost  $w = 354 \text{ km.h}^{-1}$ . Hmotnost letadla je 9 000 kg, hmotnost nákladu je 2 900 kg. Nosná plocha  $S = 76 \text{ m}^2$ . Součinitele odporu a vztlaku v závislosti na úhlu náběhu:

**Úkol:** Určete dynamický tlak, vztlak a součinitel vztlaku při rovnoměrném vodorovném letu, aerodynamický odpor při  $c_x = 0,02$  a účinnost vrtule a mechanismů, zvětšíme-li odporovou sílu o 35 % (pasivní odpory).

Dynamický tlak:

Velikost vztlakové síly (rovnováha) a součinitel vztlaku:

Odporová síla:

Účinnost (výkon síly vyrovnávající odpory/výkonem dvou motorů):

## 29. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

### SDÍLENÍ TEPLA, VÝMĚNÍKY TEPLA 1

**Dáno:** Neizolovaná ocelová trubka průměru 60 mm a délky 4,5 m vede topnou páru o teplotě 115 °C. Trubka sálá do místnosti, vzhledem k níž je její plocha velmi malá. Teplota stěn v místnosti je 15 °C.

**Úkol:** Určete množství vysálaného tepla za hodinu.

**Dáno:** Měděné pájedlo s povrchem  $S_1 = 120 \text{ cm}^2$  má mít trvalou teplotu  $t_1 = 400 \text{ °C}$ .

**Úkol:** Určete příkon topného tělíska, je-li teplota stěn v místnosti  $t_2 = 10 \text{ °C}$ . Součinitel sálání určete podle učebního textu (oxidovaná měď), plocha pájedla je vzhledem k okolí velmi malá.

**Dáno:** Litinová kamna o rozměrech 450 x 450 x 1 200 mm sálají do místnosti o rozměrech 3,4 x 4,2 x 2,95 m. Povrchová teplota kamen je  $t_1 = 300 \text{ °C}$ , teplota stěn je  $t_2 = 17 \text{ °C}$ .

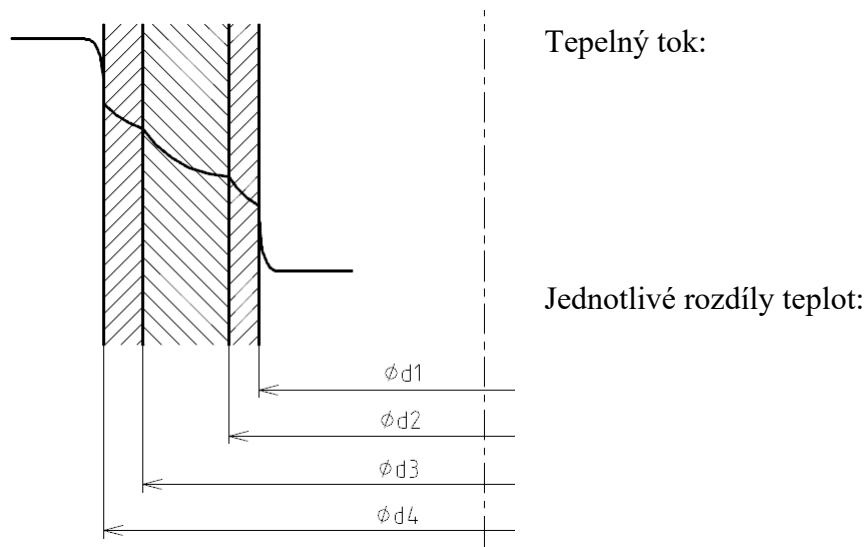
**Úkol:** Určete tepelný tok, který kamna vysálají za předpokladu, že sálá všech šest ploch kamen, a porovnejte s případem, že se kamna natrou hliníkovým lakem. Součinitele sálání použijte z učebního textu, nebo je vyhledejte z jiného zdroje.

### 30. PRACOVNÍ LIST – TERMOMECHANIKA

#### SDÍLENÍ TEPLA, VÝMĚNÍKY TEPLA 2

**Dáno:** Válcová stěna složená ze tří vrstev.

**Úkol:** Odvoďte součinitel prostupu tepla  $k$ .



Sečtení rovnic a vyjádření tepelného toku:

Součinitel prostupu tepla:

**Dáno:** Ve výměníku tepla se má ohřát  $Q_{m1} = 6\,500 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  vody z teploty  $t_1 = 35^\circ\text{C}$  na teplotu  $t_2 = 110^\circ\text{C}$  sytou vodní párou, která v trubkách kondenzuje při teplotě  $133^\circ\text{C}$ .

**Úkol:** Nakreslete průběh teplot a určete množství páry a plochu trubek výměníku. Tloušťka stěny trubek je navržena 2,5 mm. Součinitel tepelné vodivosti trubky je  $\lambda = 112 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , součinitel přestupu tepla na straně vody  $\alpha_1 = 2\,900 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , na straně páry  $\alpha_2 = 12\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  (stanoveno předběžně podle podobných zařízení). (Úlohu řešte jako prostup tepla rovinou stěnou, v tomto předběžném návrhu se nedopustíte podstatné chyby).