



Termomechanika – cvičení 1

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Informace o cvičení

Ing. Michal Volf

Email: volfm@kke.zcu.cz

Konzultace: kdykoliv po vzájemné dohodě

- prezentace ze cvičení a případné další materiály najdete na Moodle předmětu
- sbírka příkladů z TM najdete na Moodle předmětu
- cvičení nejsou povinná, nicméně pravidelná účast je doporučována



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Podmínky zápočtu

Zápočet probíhá písemnou formou

- 3 příklady každý za max. 10 bodů → max. lze získat 30 bodů
- podmínkou získání zápočtu je dosažení hranice 15 bodů
- zápočtovou písemku lze zopakovat max. 3x, přičemž předchozí výsledky se anulují

Nad rámec bodů ze zápočtové písemky lze získat max. 3 body

- bonusové body se nezapočítávají do limitu 15 bodů pro splnění podmínek k udělení zápočtu
- bonusové body mohou být uděleny za vypracování domácích úkolů

Uznávání zápočtu

- uznávají se jen zápočty z předcházejícího akademického roku
- při uznání zápočtu Vám bude uděleno 15 bodů bez ohledu na bodové hodnocení uznávaného zápočtu
- body za aktivitu se nepřiřpočítávají



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Bonusové příklady na cvičení

- bonusové body mohou být uděleny za vypracování domácích úkolů
- domácí úkoly budou zadány prostřednictvím školního emailu
- mezní termín odevzdání domácího úkolu bude vždy uvedený v emailu
- odevzdávání bude probíhat skrz Google Formulář, který bude uvedený vždy v zadávacím emailu
- při odevzdávání je nezbytné nahrát i PDF soubor s postupem řešení, které je psané rukou
- PDF soubor musí nést označení pořadového čísla úkolu a celého jména: *prijmeni_jmeno_1.pdf*
- výsledky vyplňujte s desetinou čárkou, nikoliv tečkou
- vyhodnocovací program je striktní, pozor na přesnost výpočtů
- výsledný počet bodů bude dán procentuální úspěšností domácích úkolů

NAD RÁMEC BODŮ ZE ZÁPOČTOVÉ PÍSEMKY LZE ZÍSKAT MAX. 3 BODY



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Termíny cvičení a zadávání domácích úkolů

Datum začátku týdne	Datum konce týdne	Pořadové číslo cvičení pro pondělní skupiny	Pořadové číslo cvičení pro středeční skupiny	Úkol č.	Datum zadání	Datum odevzdání	Čas odevzdání
15.02.2021	21.02.2021	1.	1.	-			
22.02.2021	28.02.2021	2.	2.	1,2	22.02.2021	28.02.2021	23:30
01.03.2021	07.03.2021	3.	3.	-			
08.03.2021	14.03.2021	4.	4.	3	08.03.2021	14.03.2021	23:30
15.03.2021	21.03.2021	5.	5.	-			
22.03.2021	28.03.2021	6.	6.	4	22.03.2021	28.03.2021	23:30
29.03.2021	04.04.2021	7.	7.	-			
05.04.2021	11.04.2021		8.	5	05.04.2021	11.04.2021	23:30
12.04.2021	18.04.2021	8.	9.	-			
19.04.2021	25.04.2021	9.	10.	6	19.04.2021	25.04.2021	23:30
26.04.2021	02.05.2021	10.	11.	-			
03.05.2021	09.05.2021	11.	12.	7	03.05.2021	09.05.2021	23:30
10.05.2021	16.05.2021	12.	13.	-			
17.05.2021	23.05.2021	13.		8	17.05.2021	23.05.2021	23:30



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obsah

Základní pojmy a jednotky

- soustava jednotek SI
- termodynamický systém
- tlak, měrná hmotnost, měrný objem, termodynamická stupnice

Kalorimetrická rovnice

Průtočné veličiny

- hmotnostní a objemový tok



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

ZÁKLADNÍ POJMY A JEDNOTKY



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Soustava SI

„Le Systeme International d'Unités“ – definuje 7 základních jednotek



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Soustava SI

Veličina	Symbol veličiny	Název jednotky	Značka jednotky
<i>Délka</i>	<i>l</i>	<i>metr</i>	<i>m</i>
<i>Hmotnost</i>	<i>m</i>	<i>kilogram</i>	<i>kg</i>
<i>Čas</i>	<i>t</i>	<i>sekunda</i>	<i>s</i>
<i>Elektrický proud</i>	<i>I</i>	<i>ampér</i>	<i>A</i>
<i>Termodynamická teplota</i>	<i>T</i>	<i>kelvin</i>	<i>K</i>
<i>Látkové množství</i>	<i>n</i>	<i>mol</i>	<i>mol</i>
<i>Svítivost</i>	<i>i</i>	<i>kandela</i>	<i>cd</i>

„1 kilogram je definován fixací číselné hodnoty Planckovy konstanty h , aby byla rovna $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$, je-li vyjádřena jednotkou $J\,s$, rovnou $kg\,m^2\,s^{-1}$, kde metr a sekunda jsou definovány pomocí c a $\Delta\nu_{Cs}$.“

„1 metr je definován fixací číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu c , aby byla rovna $299\,792\,458$, je-li vyjádřena jednotkou m/s , kde sekunda je definována pomocí cesiové frekvence $\Delta\nu_{Cs}$.“

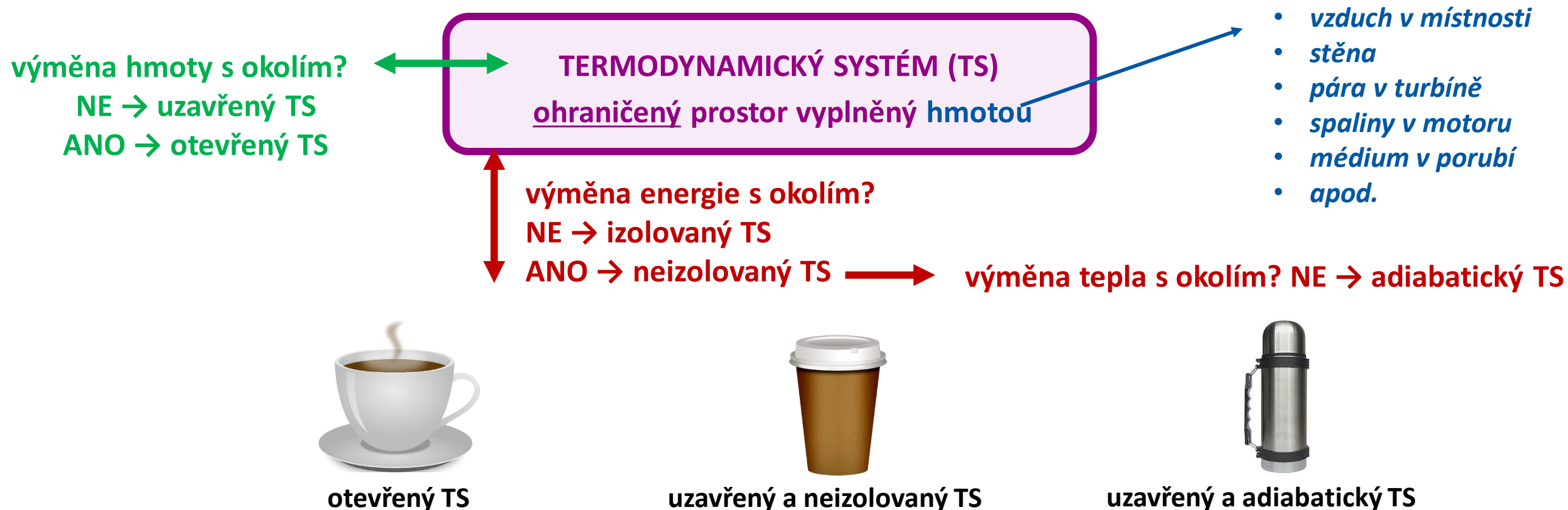
„1 kelvin je definován fixací číselné hodnoty Boltzmannovy konstanty, aby byla rovna $1,380\,649 \times 10^{-23}$, je-li vyjádřena jednotkou $J\,K^{-1}$, rovnou $kg\,m^2\,s^{-2}\,K^{-1}$, kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány pomocí h , c a $\Delta\nu_{Cs}$.“



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Základní pojmy



Veličiny popisující stav soustavy v daném okamžiku se nazývají stavové – např. teplota, tlak, objem apod.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Stavové veličiny - tlak

$$p = \frac{F}{S} [Pa]$$

$$[Pa] = \left[\frac{N}{m^2} \right] = \left[\frac{kg \, m \, s^{-2}}{m^2} \right] = \left[\frac{kg}{m \, s^2} \right] = [kg \, m^{-1} s^{-2}]$$

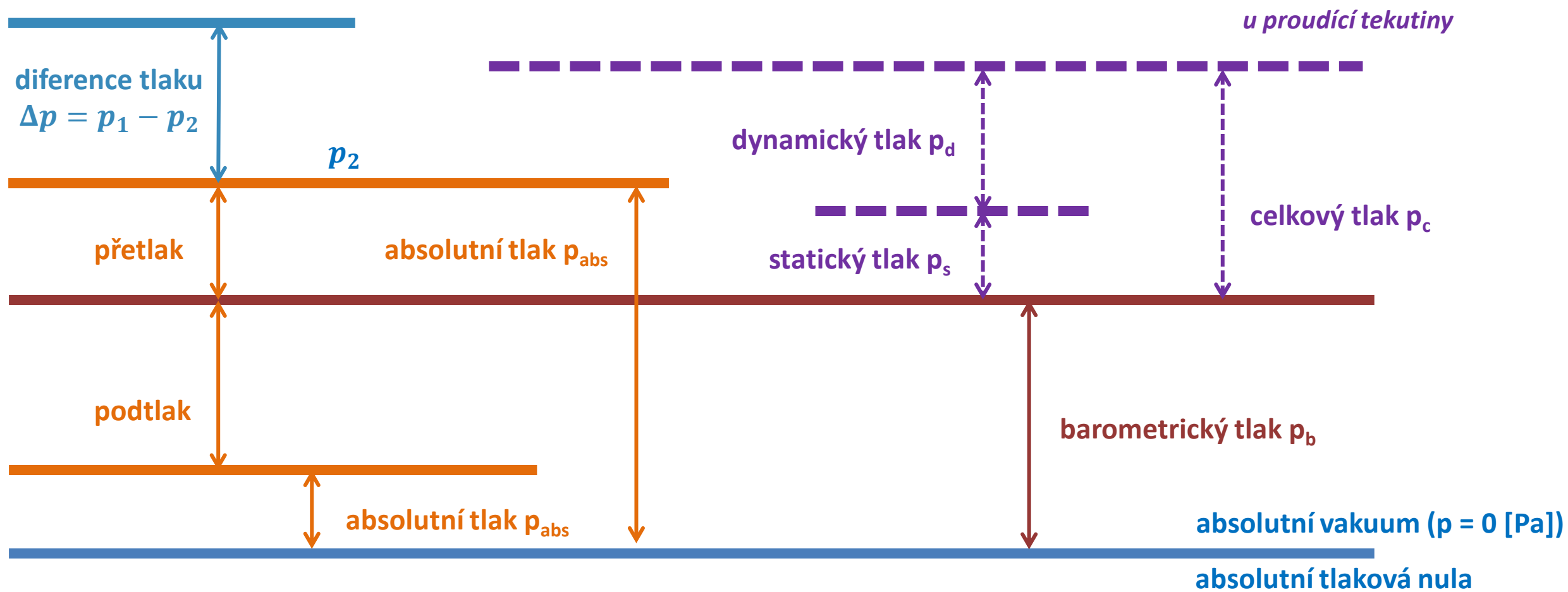
Další používané jednotky tlaku:

- **Bar:** $1 [bar] = 100\,000 [Pa] = 0.1 [MPa]$
- **Atmosféra (fyzikální):** $1 [atm] = 101\,325 [Pa]$... tlak nad hladinou moře
- **Technická atmosféra:** $1 [at] = 98\,066,5 [Pa] = 1 [kp \, cm^{-2}]$... hydrostatický tlak 10 m vodního sloupce
- **Torr:** $1 [Torr; mm \, Hg] = 133,332 [Pa]$... hydrostatický tlak 1 mm sloupce rtuti
 $1 [atm] = 760 [Torr]$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Značení tlaku



Vakuum

- téměř nulový absolutní tlak, čili vysoký podtlak
- absolutní vakuum (absolutní nulový tlak) – teoreticky nulový tlak v prostoru dokonale zbaveném jakýchkoliv částic

Barometrický (atmosférický) tlak (p_b , p_a)

- absolutní statický tlak zemského ovzduší měřený u zemského povrchu

Absolutní tlak (p_{abs})

- tlak měřený od absolutní tlakové nuly

Přetlak, podtlak

- Rozdíly měřeného tlaku a okamžitého barometrického tlaku
- **Přetlak** = rozdíl barometrického tlaku a tlaku absolutního, který je vyšší než tlak barometrický
- **Podtlak** = rozdíl barometrického tlaku a tlaku absolutního, který je nižší než tlak barometrický

Rozdíl tlaků (tlaková difference) Δp

- rozdíl dvou tlaků, z nichž ani jeden není shodný s tlakem barometrickým

U proudící tekutiny

- **Statický tlak p_s :** je tlak bez vlivu rychlosti proudění (tlak při nulové rychlosti proudění)
- **Dynamický tlak p_d :** je funkcí rychlosti proudění w a hustoty tekutiny ρ dle vztahu: $p_d = \frac{1}{2} \rho w^2$ [Pa]
- **Celkový tlak p_c :** je roven součtu tlaku statického a dynamického, tj. $p_c = p_s + p_d$ [Pa]



Př.: Jaký je rozdíl mezi absolutním tlakem 0.19 MPa a přetlakem 0.09 MPa?

- Jedná se o stejné hodnoty tlaku (za předpokladu, že atmosférický tlak uvažujeme 0.1 MPa)

Problém: V nádobě je tlak 2 [bar]. – zpravidla není zřejmé o jaký tlak se jedná

- Je v nádobě přetlak 2 [bar] vůči okolní atmosféře 1 [bar], tzn. v nádobě je absolutní tlak 3 [bar]?
- Je v nádobě absolutní tlak 2 [bar], tj. přetlak 1 [bar]?

Používají se doplňující značení:

- **abs, a** pro absolutní tlak
- **gauge, g** pro (kladný) přetlak
- **vac, ng** pro podtlak, záporný přetlak
- **diff** pro tlakovou diferenci



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Stavové veličiny – měrná hmotnost, měrný objem

Měrná hmotnost (hustota) ρ

$$\rho = \frac{m}{V} [kg\ m^{-3}]$$

hmotnost [kg]

objem [m³]

Měrný objem v

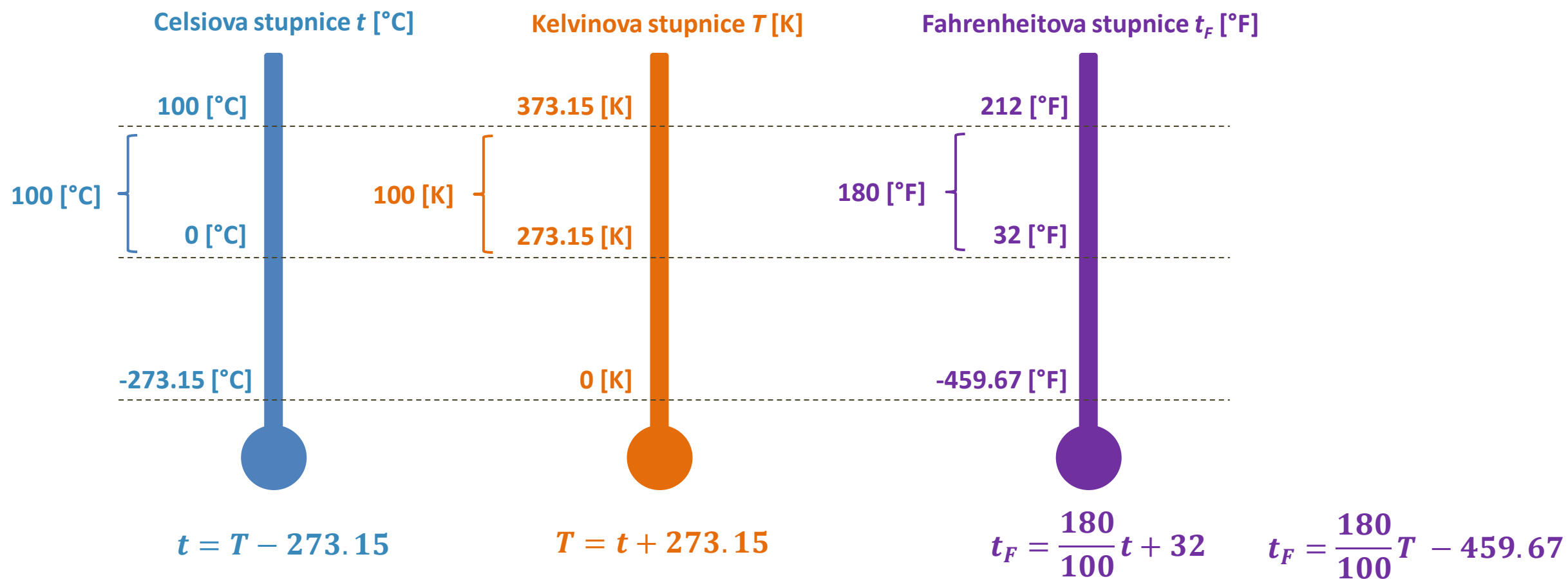
$$v = \frac{V}{m} [m^3 kg^{-1}]$$

$$v = \frac{1}{\rho} \quad \& \quad \rho = \frac{1}{v}$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Stavové veličiny - teplota



$$\Delta t = \Delta T \quad \frac{t_1}{t_2} \neq \frac{T_1}{T_2}$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Délková teplotní roztažnost

$$\Delta l = l_0 \Delta T \alpha$$

změna délky vlivem změny teploty [m]

počáteční délka (délka při teplotě t_0) [m]

součinitel délkové teplotní roztažnosti [K^{-1}]

změna teploty ($t_1 - t_0$) [K]

Objemová teplotní roztažnost

$$\Delta V = V_0 \Delta T \gamma$$

změna objemu vlivem změny teploty [m^3]

počáteční objem (objem při teplotě t_0) [m^3]

součinitel objemové teplotní roztažnosti [K^{-1}]

změna teploty ($t_1 - t_0$) [K]

Celková délka a celkový objem

$$l = l_0 + \Delta l = l_0(1 + \Delta T \alpha)[m]$$

$$V = V_0 + \Delta V = V_0(1 + \Delta T \gamma)[m^3]$$



Jaká je závislost mezi α a γ ?

Platí pro izotropní těleso, u kterého lze uvažovat, že α nezávisí na směru

$$V [m^3] = l^3 [m^3]$$


$$V = (l_0(1 + \alpha \Delta T))^3 = l_0^3 (1 + \alpha \Delta T)^3 = l_0^3 (1 + 3 \alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3)$$

$$V \cong l_0^3 (1 + 3 \alpha \Delta T)$$

Pozn.: $\alpha \ll 1$, tzn. že mocniny vyšších řádů lze zanedbat, neboť $\alpha \gg \alpha^2 \gg \alpha^3$

Např. pro ocel je $\alpha = 11 * 10^{-6} [K^{-1}]$

$$V \cong l_0^3 + 3 l_0^3 \alpha \Delta T = V_0 + 3 \alpha V_0 \Delta T \Rightarrow 3 \alpha \approx \gamma$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Příklad 1

Vypočítejte změnu délky kolejnice mezi letním a zimním obdobím.

Dáno: $l_0 = 20 \text{ [m]}$

$$\alpha = 1.2 * 10^{-5} \text{ [K}^{-1}\text{]}$$

$$t_2 = -10 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

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

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T = \alpha l_0 (t_2 - t_1)$$

$$\Delta l = 1.2 * 10^{-5} * 20 * (-10 - 40)$$

$$\Delta l = -0.012 \text{ [m]} = -12 \text{ [mm]}$$

V zimním období je kolejnice o 12 mm kratší.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Příklad 2

Jaká je objemová roztažnost média, když se ohřeje o 60 °C a původní objem V_0 se změní na objem V ?

Dáno:

$$V_0 = 1 [l]$$

$$\Delta t = 60 [^{\circ}C]$$

$$V = 1.0108 [l]$$

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta t \Rightarrow \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} = \frac{V - V_0}{V_0 \Delta t}$$

$$\gamma = \frac{1.0108 * 10^{-3} - 10^{-3}}{10^{-3} * 60}$$

$$\gamma = 1.8 * 10^{-4} [K^{-1}]$$

Objemová roztažnost média je $1.8 * 10^{-4} K^{-1}$.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Příklad 3

Jaká je objemová roztažnost média, když se ohřeje o 60 °C a původní objem V_0 se změní na objem V ?

Dáno:

$$V_0 = 1 [l]$$

$$\Delta t = 60 [^{\circ}C]$$

$$V = 1.0108 [l]$$

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta t \Rightarrow \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} = \frac{V - V_0}{V_0 \Delta t}$$

$$\gamma = \frac{1.0108 * 10^{-3} - 10^{-3}}{10^{-3} * 60}$$

$$\gamma = 1.8 * 10^{-4} [K^{-1}]$$

Objemová roztažnost média je $1.8 * 10^{-4} K^{-1}$.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



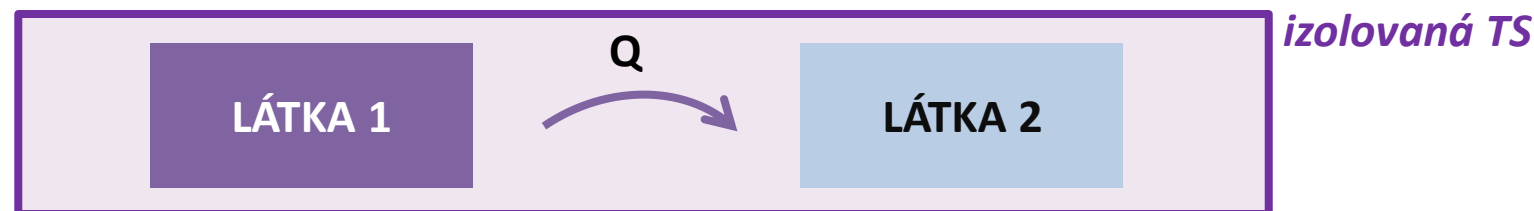
KALORIMETRICKÁ ROVNICE



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Zabývejme se tepelnou výměnou těles tvořících izolovanou soustavu, pro kterou platí zákon zachování energie:



...teplo, které při výměně jedno těleso odevzdá, druhé přijme...

Kalorimetrická rovnice vyjadřuje množství tepla (ať již pro těleso 1 nebo 2) jako součet tepel potřebných pro změnu teploty, příp. navíc ke změně skupenství

- Teplo pro změnu teploty

$$Q_{\text{teplota}} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

měrná tepelná kapacita [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]
změna teploty tělesa [K]
hmotnost [kg]

- Teplo pro změnu skupenství

$$Q_{\text{skupenství}} = m \cdot l$$

měrné skupenské teplo [J kg^{-1}]

- Celkové teplo

$$Q = Q_{\text{teplota}} + Q_{\text{skupenství}}$$

- obecně je měrná tepelná kapacita funkcí teploty
- u plynů nutno rozlišovat, při jakých podmínkách k výměně tepla dochází při konstantním tlaku c_p při konstantním objemu c_v



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Příklad 4

Kolik vody [l] o teplotě 10 °C je potřeba k ochlazení 10 l mladiny o teplotě 100 °C na zákvasnou teplotu 20 °C?

Dáno: $t_v = 10 [^{\circ}\text{C}]$, $t_m = 100 [^{\circ}\text{C}]$, $t_{kvs} = 20 [^{\circ}\text{C}]$

$$c_v = c_m = c_{kvs} = c = 4186 [J\text{ kg}^{-1}K^{-1}]$$

$$\rho_v = \rho_m = \rho_{kvs} = \rho = 1000 [kg\text{ m}^{-3}]$$

$$V_m = 10l = 10dm^3 = 0,01m^3$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

VODA (přijímá teplo)

- *Voda se ohřeje na výslednou teplotu 20°C:*

$$Q_v = m_v c_v \Delta T_v \dots \text{z } 10^\circ\text{C na } 20^\circ\text{C}$$

MLADINA (odevzdá teplo)

- *Aby se mladina ochladila ze 100 °C na 20 °C, musí se odvést následující množství tepla:*

$$Q_m = m_m c_m \Delta T_m \dots \text{ze } 100^\circ\text{C na } 20^\circ\text{C}$$

$$m_m = \rho_m V_m$$

$$m_m = 1000 \cdot 0,01 = 10 \text{ [kg]}$$

- *Teplo, které odevzdá mladina se rovná teple, které přijme voda (neuvažujeme ztráty, počítáme to tak, že je to izolovaná termodynamická soustava)*

$$Q_v = Q_m$$

$$m_v c_v \Delta T_v = m_m c_m \Delta T_m$$

$$m_v c(t_{kvs} - t_v) = m_m c(t_m - t_{kvs})$$

$$m_v = \frac{m_m c(t_m - t_{kvs})}{c(t_{kvs} - t_v)} = \frac{m_m(t_m - t_{kvs})}{(t_{kvs} - t_v)}$$

$$m_v = \frac{10 \cdot (100 - 20)}{(20 - 10)} = 80 \text{ kg} \rightarrow V_v = \frac{m_v}{\rho_v} = \frac{80}{1000} = 0,08 \text{ m}^3 = 80 \text{ dm}^3$$

$$V_v = 80 \text{ l}$$



Příklad 5

Kolik ledu o teplotě $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ je nutné přidat do 0.5 kg vody o teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, aby se voda zchladila na teplotu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Dáno:

$$t_l = -10\text{ }^{\circ}\text{C}, t_v = 25\text{ }^{\circ}\text{C}, t_{konc} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_l = 2.1 \cdot 10^3\text{ }[J\text{ kg}^{-1}K^{-1}], c_v = 4.2 \cdot 10^3\text{ }[J\text{ kg}^{-1}K^{-1}]$$

$$l = 330 \cdot 10^3\text{ }[J\text{ kg}^{-1}]$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

LED (přijímá teplo)

- *Nejprve se musí ohřát z -10 °C na 0 °C , kde započne jeho fázová přeměna (tání):*

$$Q_1 = m_l c_l \Delta T_1 \dots \text{z } -10\text{ °C na } 0\text{ °C}$$

- *Určité množství tepla je potřebné pro změnu fáze (tání):*

$$Q_2 = l m_l \dots \text{tání ledu}$$

- *Roztátý led (tj. voda) se ohřeje na výslednou teplotu 10 °C :*

$$Q_3 = m_l c_v \Delta T_2 \dots \text{z } 0\text{ °C na } 10\text{ °C}$$

- *Celkové množství tepla, které přijme led:*

$$Q_{led} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = m_l (c_l \Delta T_1 + l + c_v \Delta T_2)$$



VODA (odevzdá teplo)

- Aby se voda ochladila z 25 °C na 10 °C, musí se odvést následující množství tepla:

$$Q_{voda} = m_v c_v \Delta T_v \dots \text{z } 25 \text{ °C na } 10 \text{ °C}$$

Teplo, které odevzdá voda se rovná teplu, které přijme led (izolovaná termodynamická soustava)

$$Q_{led} = Q_{voda}$$

$$Q_{led} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = m_l (c_l \Delta T_1 + l + c_v \Delta T_2) = m_v c_v \Delta T_v$$

$$m_l = \frac{m_v c_v \Delta T_v}{c_l \Delta T_1 + l + c_v \Delta T_2}$$

$$m_l = \frac{0.5 * 4.2 * 10^3 * (25 - 10)}{2.1 * 10^3 * (0 - (-10)) + 330 * 10^3 + 4.2 * 10^3 * (10 - 0)}$$

$$m_l \cong 0.08 \text{ kg}$$

Pozn. Pokud si vyčísíte jednotlivá tepla během procesu ohřívání ledu, zjistíte, že ke změně skupenství je zapotřebí mnohem více energie než ke změně teploty... ;)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

PRŮTOČNÉ VELIČINY



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Hmotnostní tok $\dot{m}$ [kg s⁻¹]

- množství tekutiny o hustotě ρ , které proteče plochou S , rychlostí w (kolmou k ploše S) za 1s

$$\dot{m} = \rho S w$$

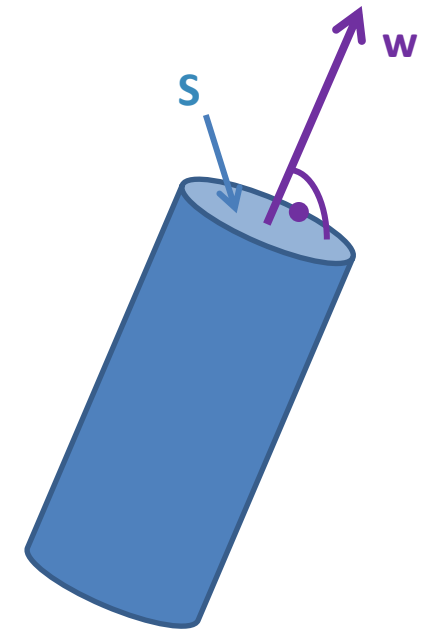
hustota [kg m⁻³] *průtočný průřez [m²]* *rychlost proudící tekutiny [m s⁻¹]
... skalární veličina (velikost vektoru rychlosti)*

Objemový tok $\dot{V}$ [m³ s⁻¹]

- objem tekutiny, který proteče plochou S , rychlostí w (kolmou k ploše S) za 1s

$$\dot{V} = S w$$

$$\text{PLATÍ: } \dot{m} = \rho \dot{V}$$



Příklad 6

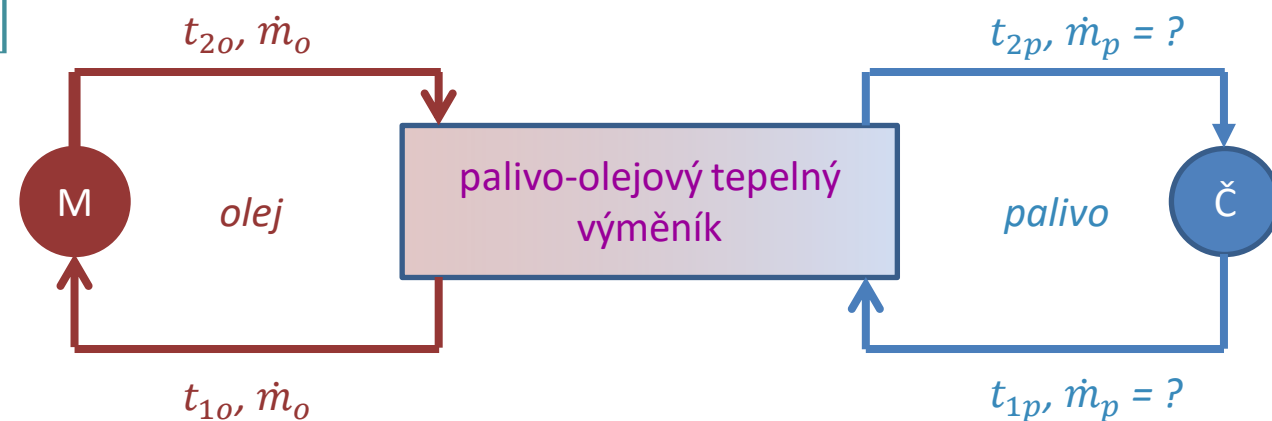
Objemový průtok oleje palivo-olejovým výměníkem je $3 \text{ dm}^3/\text{min}$. Olej se ohřeje v motoru z 28°C na 68°C . Olej se zároveň chladí palivem, které se ohřeje ve výměníku z 15°C na 30°C . Stanovte potřebný průtok paliva ve výměníku potřebného ke zchlazení oleje.

Dáno:

$$t_{1o} = 28 [^\circ\text{C}], t_{2o} = 68 [^\circ\text{C}], t_{1p} = 15 [^\circ\text{C}], t_{2p} = 30 [^\circ\text{C}]$$

$$c_o = 1758 [J \text{ kg}^{-1} K^{-1}], c_p = 2135 [J \text{ kg}^{-1} K^{-1}]$$

$$\dot{V}_o = 3 [dm^3 \text{ min}^{-1}], \rho_o = 890 [kg \text{ m}^{-3}]$$



Příklad 6

Olej odevzdá ve výměníku následující teplo:

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_o c_o \Delta T_o = \dot{m}_o c_o (t_{2o} - t_{1o})$$

Teplo, které přijme palivo ve výměníku spočteme následovně:

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_p c_p \Delta T_p = \dot{m}_p c_p (t_{2p} - t_{1p})$$

Teplo, které odevzdá olej musí přijmout palivo (uvažujeme výměník jako izolovanou termodynamickou soustavu)

$$\dot{Q}_o = \dot{Q}_p$$

$$\dot{m}_o c_o (t_{2o} - t_{1o}) = \dot{m}_p c_p (t_{2p} - t_{1p})$$

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_o c_o (t_{2o} - t_{1o})}{c_p (t_{2p} - t_{1p})} = \frac{\dot{V}_o \rho_o c_o (t_{2o} - t_{1o})}{c_p (t_{2p} - t_{1p})}$$

$$\dot{m}_p = \frac{\frac{3}{60} * 10^{-3} * 890 * 1758 * (68 - 28)}{2135 * (30 - 15)}$$

$$\dot{m}_p \cong 0.0997 [kg s^{-1}]$$

Potřebný průtok paliva ke zchlazení oleje je 0.0997 kg s⁻¹.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

DĚKUJI ZA POZORNOST



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

