

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tisk práce

EVROPSKÁ UNIE **esf** evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VYBRANÉ KAPITOLY Z TERMOMECHANIKY



doc. Ing. Josef ŠTETINA, Ph.D.



<http://StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz/sew/categor/vydbortermomechaniky/termomechanika/> 4. 5. 2012

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ - ENERGETICKÝ ÚSTAV
ODBOR TERMOMECHANIKY A TECHNIKY PROSTŘEDÍ

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tisk práce

EVROPSKÁ UNIE **esf** evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ZAJÍMAVÉ ŘEŠENÉ APLIKACE

Zkušebna v Škoda auto



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tisk práce

EVROPSKÁ UNIE **esf** evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

KONTAKT

Budova A2 dveře 314

Email: stetina@fme.vutbr.cz

WWW: <http://www.eu.fme.vutbr.cz/odbor-termomechaniky-a-techniky-prostredi/josef-stetina>

Facebook: <http://facebook.com/termomechanika>

eMail: stetina@fme.vutbr.cz

Telefon: 603731349
541143269



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 . . . 252

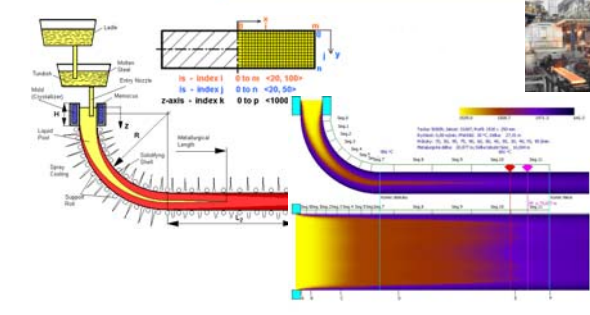
StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tisk práce

EVROPSKÁ UNIE **esf** evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ŘÍZENÍ PLYNULÉHO ODLÉVÁNÍ OCELI



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tisk práce

EVROPSKÁ UNIE **esf** evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ZAJÍMAVÉ ŘEŠENÉ APLIKACE



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

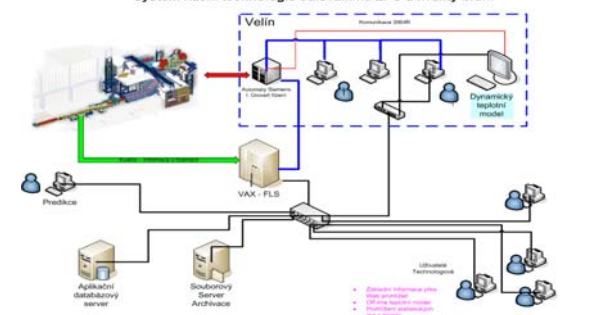
Abstrakt-energetik přípraven pro tisk práce

EVROPSKÁ UNIE **esf** evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ŘÍZENÍ PLYNULÉHO ODLÉVÁNÍ OCELI

Systém řízení technologie odlévání na ZPO a kvality bramb



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energeticko přípraven pro trh práce

ZAJÍMAVÉ ŘEŠENÉ APLIKACE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Sluneční penzión Svitavy – monitorování solárního skleníku pro ohřev vzduch






1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energeticko přípraven pro trh práce

STUDIJNÍ LITERATURA
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/seo/category/odbortermomechaniky/seminar_aplikovane_termomechaniky/
<http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/seo/category/odbortermomechaniky/termomechanika/>
<http://www.energetickeforum.cz/fsi-v-brne/vzdelavaci-kurzy/>
<http://www.mhhe.com/engcs/mech/cengel/index.mhtml>





1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energeticko přípraven pro trh práce

ZAJÍMAVÉ ŘEŠENÉ APLIKACE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Nizkoenergetický dům Energetického ústavu – monitorování a řízení prostředí





1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energeticko přípraven pro trh práce

TERMOMECHANIKA
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Termodynamika

- Termodynamika plynů
- Kompresory
- Spalovací motory
- Vodní pára
- Tepelné elektrárny
- Chladicí zařízení
- Vířivý vzduch
- Proudění plynů
- Proudové motory

Přenos tepla

- Vedení tepla
- Tepelné ztráty
- Přenos tepla prouděním
- Žáření
- Tepelné výměníky

1 ... 6 7 8 9 10 11 12 13 14 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energeticko přípraven pro trh práce

VYUŽITÍ TERMOMECHANIKY
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost



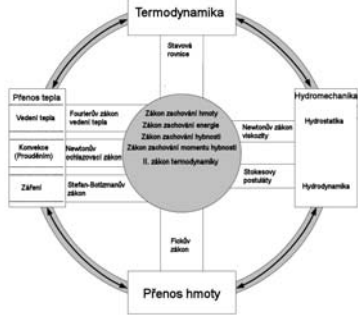
Lidské tělo
Klimatizace
Automobilový chladič
voda vstup
voda výstup
Tepelná elektrárna
Letadlo
Proudový motor
Lednice

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energeticko přípraven pro trh práce

TERMOMECHANIKA
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost



Termodynamika
Stavová rovnice
Hydromechanika
Hydrostatika
Hydrodynamika
Přenos hmoty
Fázový zákon
Stacionární proudění
Nestacionární zákony
Zákon zachování energie
Zákon zachování hybnosti
Zákon zachování momentu hybnosti
II. zákon termodynamiky
První zákon termodynamiky
Zákon zachování tepla
Foucaultův zákon vedení tepla
Kinetika (Proudění)
Záření
Záření Stefan-Boltzmannův zákon

1 ... 8 9 10 11 12 13 14 15 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní-energetik-připraven-pro-10h-prace

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TERMODYNAMICKÁ SOUSTAVA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TERMODYNAMICKÁ SOUSTAVA
je souhrn látek účelně omezený vůči okolí kontrolní plochou

ROZLIŠUJEME SOUSTAVU

- **Uzavřenou** - hmotnost procházející kontrolní plochou je nulová
- **Otevřenou** - hmotnost procházející kontrolní plochou je nenulová
- **Izolovanou** - kontrolní plocha zamezuje výměně tepla Q s okolím
- **Neizolovanou** - kontrolní plocha nezamezuje výměně tepla Q s okolím
- **Homogenní - Heterogenní**

ROVNOVÁHA SOUSTAVY

- **Mechanická** - síly působící v soustavě a v okolí jsou v rovnováze
- **Teplná** - nedochází k přenosu tepla v soustavě ani s okolím
- **Chemická** - chemické složení soustavy se nemění

1 . . . 8 9 10 11 12 13 14 15 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní-energetik-připraven-pro-10h-prace

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

STAVOVÉ VELIČINY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

STAVOVÉ VELIČINY určují stav soustavy

Rozlišujeme:

a) **STAVOVÉ VELIČINY MĚRITELNÉ**

- **Tlak**
- **Teplota**
- **Měrný objem**
 - Objem
 - Hmotnost
 - Látkové množství

b) **STAVOVÉ FUNKCE**
počítané z měřitelných stavových veličin **Vnitřní energie U , entalpie H , entropie S . . .**

c) **FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI**
Měrná tepelná kapacita c , součinitel tepelné vodivosti λ , teplotní vodivosti a , kinematická viskozita ν . . .

1 . . . 11 12 13 14 15 16 17 18 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní-energetik-připraven-pro-10h-prace

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

OTEVŘENÁ TERMODYNAMICKÁ SOUSTAVA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1 . . . 8 9 10 11 12 13 14 15 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní-energetik-připraven-pro-10h-prace

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

STAVOVÉ VELIČINY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výška je stavová veličina stejně jako teplota, tlak, měrný objem, vnitřní energie entalpie a entropie – nezávisí na cestě.

Trasa na kopec není stavová veličina stejně jako objemová práce, technická práce a teplo.

1 . . . 11 12 13 14 15 16 17 18 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní-energetik-připraven-pro-10h-prace

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ENERGIE, TEPLA, PRÁCE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ENERGIE E [J] je schopnost soustavy konat práci (fyzikální, chemické či jiné změny). Energie je stavová veličina.

Rozlišujeme energii mechanická, tepelná, elektrická, magnetická, chemická, jaderná

1 kcal = 4,1868 kJ	1 kWh = 3,6 kJ
1 kpm = 9,80665 J	1 BTU = 1055,04 J

VNITŘNÍ ENERGIE U [J] = tepelná energie je energie neuspořádaného pohybu částic

TEPLO Q [J] je forma přenosu energie mezi soustavou a okolím - není stavovou veličinou.

Pro předávané teplo platí kalorimetrická rovnice **$Q_{12} = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$**

m [kg] je hmotnost, T [K] jsou teploty, c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] je měrná tepelná kapacita (u plynů rozlišujeme c_p a c_v).

PRÁCE A [J] je forma přenosu energie - není stavovou veličinou. Práce je dána silou působící po dráze.

1 . . . 8 9 10 11 12 13 14 15 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní-energetik-připraven-pro-10h-prace

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TLAK

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$p = \frac{dF}{dS}$

$p = \frac{F}{S}$

$p_0 = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} = 1000 \text{ hPa} = 1 \text{ atm} = 1000 \text{ mbar}$

F [N] síla
 S [m^2] plocha
 p [Pa] tlak

Do všech vztahů v termodynamice dosazujeme absolutní tlak. (nikdy pětítak ani podtlak). Pokud v zadání příkladu není řečeno o jaký tlak se jedná předpokládáme, že se jedná o absolutní tlak. Přednostně používáme **kPa**.

$p_a = p_b - |p_{pod}|$
 $p_a = p_b + p_{pr}$

1 . . . 11 12 13 14 15 16 17 18 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípraven pro Ith práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TLAK

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Přístroje pro měření tlaku:

- **přetlak** – klasické manometry
- **barometrický tlak** – barometry
- **podtlak** – vakuometry
- **absolutní tlak**
- **diferenční tlak**

1 bar = 10⁵ Pa = 1000 hPa = 100 kPa = 0,1 MPa
 1 atm = 101325 Pa = 101,325 kPa = 1,01325 bar
 1 kp/cm² = 9,807 N/cm² = 0,9807 bar = 0,9679 atm
 1 atm = 14,696 psi
 1 mmHg = 1 torr = 133,322 Pa
 1 mmH₂O = 9,806 65 Pa

Hydrostatický tlak - využití při měření

1 . . . 13 14 15 16 17 18 19 20 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípraven pro Ith práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TEPLOTA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

T [K] = 273,15 + t [°C]

t [°C]

V termodynamice používáme pouze teplotu označovanou T v Kelvinech

t [°C] = 5/9 · (t [°F] - 32)

1 . . . 15 16 17 18 19 20 21 22 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípraven pro Ith práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

DYNAMICKÉ RYCHLOSTNÍ SONDY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Bernoulliho rovnici pro stlačitelné tekutiny integrujeme za konstantního objemu

$$\int_1^2 v dp = \int_1^2 d \frac{w^2}{2}$$

$$\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_{STR}} = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}$$

Bernoulliho rovnice pro nestlačitelné tekutiny

$$\rho_1 + \frac{w_1^2}{2} \rho_{STR} = \rho_2 + \frac{w_2^2}{2} \rho_{STR}$$

Tlak statický + tlak dynamický = tlak

Rychlostní sondy w < 0,3 rychlosti zvuku

$$p_d = p_c - p_s$$

$$p_d = \rho_{STR} \cdot w^2 / 2$$

$$w = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho_{STR}}}$$

Pitotova trubice Prandtlova trubice

1 . . . 13 14 15 16 17 18 19 20 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípraven pro Ith práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

0. ZÁKON TERMODYNAMIKY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jestliže, dva systémy (A a B) jsou v tepelné rovnováze s třetím systémem (C) [A a C jsou v tepelné rovnováze; B a C jsou v tepelné rovnováze] tak jsou v tepelné rovnováze i systémy A a B.

T_A = T_C T_B = T_C T_A = T_B

Základní princip všech měření teplot

1 . . . 17 18 19 20 21 22 23 24 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípraven pro Ith práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

DYNAMICKÉ RYCHLOSTNÍ SONDY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$F_{vztlak} = C \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \cdot S$$

Pitotova trubice měří celý člen odpovídající dynamickému tlaku, kvadrát relativní rychlosti krát hustota proudícího vzduchu.

1 . . . 15 16 17 18 19 20 21 22 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípraven pro Ith práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

MĚRNÝ OBJEM

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stav 1: m = 2 kg, T₁ = 20°C, V₁ = 1,5 m³
 Stav 2: m = 2 kg, T₂ = 20°C, V₂ = 2,5 m³

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

$$v_2 = \frac{V_2}{m_2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\rho_2 = 0,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m_1} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\rho_1 = 1,333 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Hustota (měrný objem) u plynů není konstanta a nehlédá se v tabulkách.

1 . . . 18 19 20 21 22 23 24 25 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně energetik přípraven pro tih práce

ZÁKLADNÍ STAVOVÉ VELIČINY


evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tlak
p [kPa]



Teplota
T [K]



Měrný objem
v [m³/kg]



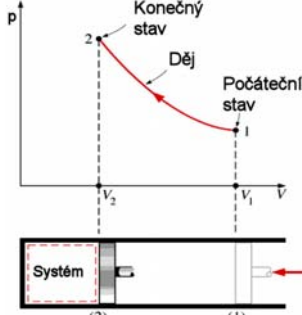
1 . . . 18 19 20 21 22 23 24 25 . . . 254


StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně energetik přípraven pro tih práce

TERMODYNAMICKÉ DĚJE

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





1 . . . 23 24 25 26 27 28 29 30 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně energetik přípraven pro tih práce

TERMODYNAMIKA PLYNŮ

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pracovní látka

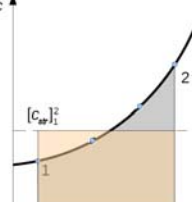
- Ideální plyn
- Nedokonalé plyny - zjednodušený výpočet
- Realný plyn - přesný výpočet
- Páry

Směsi plynů } Směsi plynů a par

Fyzikální vlastnosti jsou pro:

- ideální plyny f (druhu látky) = konst.
- nedokonalé plyny f (druhu látky, T)
- realné plyny f (druhu látky, T, p)

U nedokonalých plynů používáme střední integrální hodnoty vlastností

$$c_{st} = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} c(T) dT$$


1 . . . 20 21 22 23 24 25 26 27 . . . 254


StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně energetik přípraven pro tih práce

GAY-LUSSACŮV ZÁKON

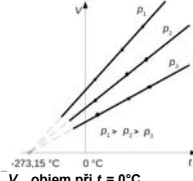
evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Gay-Lussac (1778-1850) sledoval chování plynu za konstantního tlaku.



Slovní formulace:
Za stálého tlaku roste objem plynu lineárně s teplotou. Hodnota teplotní objemové roztažnosti γ je pro všechny plyny stejná, nezávisí na tlaku.



$V = V_0 (1 + \gamma \cdot t)$
 V_0 objem při $t_0 = 0^\circ\text{C}$
 $\gamma = 1 / 273,15 \text{ K}^{-1}$

Matematická formulace:

Po úpravě: $V = V_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{273,15} \cdot t\right) = \frac{V_0}{273,15} \cdot (273,15 + t) = \frac{V_0}{T_0} \cdot T$

Matematická formulace: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V = T \cdot \text{konst.}$

1 . . . 23 24 25 26 27 28 29 30 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně energetik přípraven pro tih práce

AVOGADRŮV ZÁKON

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

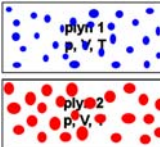
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Slovní formulace (1811): Různé ideální plyny stejných objemů obsahují za stejné teploty a tlaku stejný počet molekul (ne atomů).

Hmotnosti stejných objemů jsou úměrné molárním hmotnostem M [kg.kmol⁻¹]

Pozn.: M udává, kolikrát je hmotnost molekuly látky větší, než $1/12$ hmotnosti atomu uhlíku ¹²C.

Plati: $m = M \cdot \text{konst.} \Rightarrow V/v = M \cdot \text{konst.}$



Matematická formulace: $M \cdot v = V_m = \text{konst.}$

kde V_m [m³.kmol⁻¹] je molární objem. Při $p = 101325 \text{ Pa}$ a $T = 273,15 \text{ K}$ (normální fyzikální podmínky - NFP) je $V_m = 22,4136 \text{ m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$.

Plati: $n = \frac{m}{M} \Rightarrow V = n \cdot V_m = \frac{m}{M} \cdot V_m, \quad v = \frac{V}{m} = \frac{1}{M} \cdot V_m$

Normální m³ je hmotnost 1 m^3 ($p = m/V = 1/v$) při NFP: $1 \text{ Nm}^3 = \left(\frac{m}{V}\right)_{\text{NFP}} = \left(\frac{M}{V_m}\right)_{\text{NFP}} = \frac{M}{22,41}$

1 . . . 20 21 22 23 24 25 26 27 . . . 254


StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně energetik přípraven pro tih práce

CHARLESŮV ZÁKON

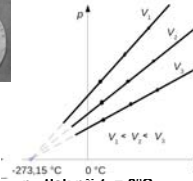
evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Charles (1746-1823) sledoval chování plynu za konstantního objemu.



Slovní formulace:
Za konstantního objemu roste tlak plynu lineárně s teplotou. Hodnota rozpinavosti β je pro všechny plyny stejná.



$p = p_0 (1 + \beta \cdot t)$
 p_0 tlak při $t_0 = 0^\circ\text{C}$
 $\beta = 1 / 273,15 \text{ K}^{-1}$

Matematická formulace:

Po úpravě: $p = p_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{273,15} \cdot t\right) = \frac{p_0}{273,15} \cdot (273,15 + t) = \frac{p_0}{T_0} \cdot T$

Matematická formulace: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p = T \cdot \text{konst.}$

1 . . . 23 24 25 26 27 28 29 30 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Boyleův - Mariotteův zákon

Boyle (1662), Mariotte (1672) sledovali chování plynu za konstantní teploty.

Slovní formulace:
Za konstantní teploty je součin tlaku a objemu daného množství plynu konstantní.

Matematická formulace: $p \cdot V = konst. \Rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

Zákon lze vyjádřit i pomocí stlačitelnosti δ
 $V = V_o [1 + \delta \cdot (p - p_o)]$

Stlačitelnost δ není však ani u ideálních plynů konstantní, a proto uvedená závislost $V = f(p)$ není přímka.

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

PLYNOVÁ KONSTANTA

Měrná plynová konstanta $r [J.kg^{-1}.K^{-1}]$ určí se pro jednotlivé plyny z tabulek nebo **VYPOČTEM**

Odvození z Avogadrova zákona $M \cdot v = V_m = konst.$
a ze stavové rovnice $r = \frac{p \cdot v}{T}$

Při normálních fyzikálních podmínkách $p = 101325 \text{ Pa}$ a $T = 273,15 \text{ K}$ je $V_m = 22,4136 \text{ m}^3.kmol^{-1}$ pro všechny plyny a lze psát
 $M r = \frac{p v M}{T} = \frac{p V_m}{T} = \frac{101325 \times 22,4136}{273,15} = 8314,3 \pm 1,2 \text{ J.kmol}^{-1}.K^{-1}$

Univerzální plynová konstanta $R_m = 8314,3 \text{ J.kmol}^{-1}.K^{-1}$

Výpočet plynové konstanty $r = \frac{R_m}{M}$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

SOUŘADNÝ SYSTÉM p-V-T

p . V . T plocha pro ideální plyny

$p = konst.$
 $V = konst.$
 $T = konst.$

Rovnovážné stavy plynu se nacházejí pouze na této termodynamické ploše.

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ZÁKLADNÍ TVARY STAVOVÉ ROVNICE

Stavová rovnice pro 1 kg ideálního plynu $p \cdot v = r \cdot T$

Stavová rovnice pro m kg ideálního plynu $p \cdot V = m \cdot r \cdot T$

Vynásobením rovnice pro 1 kg molární hmotností M dostaneme všeobecnou stavovou rovnici ideálního plynu
 $p \cdot V_m = M \cdot r \cdot T$ nebo $p \cdot V_m = R_m \cdot T$

kde $V_m = M \cdot v$ a $R_m = M \cdot r$

Vynásobením všeobecné stavové rovnice látkovým množstvím n získáme rozšířenou všeobecnou stavovou rovnici ideálního plynu
 $p \cdot V = n \cdot R_m \cdot T$ kde $V = n \cdot V_m$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ODVOZENÍ STAVOVÉ ROVNICE

Stavovou rovnici ideálního plynu odvodil v roce 1834 francouzský fyzik Clapeyron (1799-1864). Vycházel přitom z Boyleova-Mariotteova a Gay-Lussacova zákona \Rightarrow obecný děj nahradil izotermou a izobarou.

1) Boyle-Mariotte ($T = konst.$)
 $p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow V_A = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{p_1 V_1}{p_2}$

2) Gay-Lussac ($p = konst.$)
 $\frac{V_A}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_A = \frac{T_1 V_2}{T_2} = \frac{T_1 V_2}{T_2}$

Měrný objem v_A je v obou případech stejný, a proto platí:
 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = konst. \Rightarrow \frac{p v}{T} = konst.$

Stavová rovnice ideálního plynu je dána vztahem:
kde r je měrná plynová konstanta. $p \cdot v = r \cdot T$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

TEPELNÉ KAPACITY

Měrná tepelná kapacita $c [J.kg^{-1}.K^{-1}]$ je teplo k ohřátí 1 kg látky o 1 K

U plynů rozlišujeme

- Měrnou tepelnou kapacitu za konstantního tlaku c_p
- Měrnou tepelnou kapacitu za konstantního objemu c_v

Děj 1-2_v plyn zvýší vnitřní energii
Děj 1-2_p plyn zvýší vnitřní energii a vykoná práci
 $m \cdot c_p \cdot dT = dQ_p > dQ_v = m \cdot c_v \cdot dT$
 $c_p > c_v$

Molární tepelná kapacita $C_m [J.kmol^{-1}.K^{-1}]$
 $C_m = M \cdot c$ $C_{mp} = M \cdot c_p$ $C_{mv} = M \cdot c_v$

Tepelná kapacita $C [J.K^{-1}]$
 $C = m \cdot c = n \cdot C_m$, $C_p = m \cdot c_p = n \cdot C_{mp}$, $C_v = m \cdot c_v = n \cdot C_{mv}$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

MAYERŮV VZTAH

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odvození Mayerova vztahu
1. forma I. zákona termodynamiky
Stavová rovnice ideálního plynu
Po dosazení $p \cdot dv$ do 1. formy ...
Pro izobarický děj $dp = 0$

$$dq = c_v \cdot dT + p \cdot dv$$

$$pv = rT \Rightarrow p dv + v dp = r dT$$

$$dq = c_v \cdot dT + r \cdot dT - v \cdot dp$$

$$c_p \cdot dT = c_v \cdot dT + r \cdot dT$$

Mayerův vztah \rightarrow $c_p = c_v + r$

Poissonova konstanta

- 1-atomové plyny $\kappa = 1,67$
- 2-atomové plyny $\kappa = 1,41$
- 3-atomové plyny $\kappa = 1,30$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

1 . . . 30 31 32 33 34 35 36 37 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

STAVOVÉ VELIČINY SMĚSI PLYNŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

MÍŠENÍ PLYNŮ při $p = \text{konst.}$ a $T = \text{konst.}$ - izotermická expanze:

Před míšením: V_1, m_1, r_1 V_2, m_2, r_2 Stavové

$$p \cdot V_i = m_i \cdot r_i \cdot T$$

Po míšení: $V = V_1 + V_2, m = m_1 + m_2, r$ Stavová

$$p_i \cdot V = m_i \cdot r_i \cdot T$$

Stavová rovnice směsi

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T$$

Problém je určit měrnou plynovou konstantu směsi r a další termodynamické vlastnosti

DALTONŮV ZÁKON (1807):
Tlak ve směsi se rovná součtu tlaků jednotlivých plynů (parciálních tlaků) daných jejich stavovými rovnicemi.

$$p = \sum_i p_i$$

1 . . . 32 33 34 35 36 37 38 39 40 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

VLASTNOSTI IDEÁLNÍCH PLYNŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Mayerův vztah $c_p = c_v + r$

$$c_p = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot r = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{R_m}{M}$$

Poissonova konstanta

- 1-atomové plyny $\kappa = 1,67$
- 2-atomové plyny $\kappa = 1,41$
- 3-atomové plyny $\kappa = 1,30$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

$$c_v = \frac{1}{\kappa - 1} \cdot r = \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{R_m}{M}$$

Univerzální plynová konstanta $R_m = 8314,3 \text{ J.kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Výpočet plynové konstanty r $r = \frac{R_m}{M}$

Plyn	M [kg.kmol ⁻¹]
H ₂	2
N ₂	28
O ₂	32
C	12
CO ₂	44

Pro vzduch (směs N₂ a O₂) $r = 287,04 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1 . . . 31 32 33 34 35 36 37 38 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

URČUJÍCÍ VELIČINY SMĚSI

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

POMĚRNÉ ZASTOUPENÍ SLOŽEK VE SMĚSI JE DÁNO:

Hmotnostními zlomky [-] $w_i = \frac{m_i}{m}$ (pro kapaliny, pevné látky)

[w_i , 100 je v %] $w_i \in \langle 0,1 \rangle$ $\sum w_i = 1$

Příklad pro vzduch: $w_{N_2} = 76,8 \%$, $w_{O_2} = 23,2 \%$

Molárními zlomky [-] $x_i = \frac{n_i}{n}$ (pro směsi plynů)

[x_i , 100 je v %] $x_i \in \langle 0,1 \rangle$ $\sum x_i = 1$

Objemovými zlomky [-] $x_{Vi} = \frac{V_i}{V}$ (pro směsi plynů)

[x_i , 100 je v %] $x_{Vi} \in \langle 0,1 \rangle$ $\sum x_{Vi} = 1$

Příklad pro vzduch: $x_{N_2} = 79 \%$, $x_{O_2} = 21 \%$

1 . . . 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

VÝZNAM SMĚSÍ PLYNŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

V technické praxi se vyskytují převážně směsi plynů, např.:

- Vzduch pro technologické aplikace
- Plynná paliva – Propan-Butan, Zemní plyn, Bio plyn
- Pracovní látky spalovacích motorů a plynových turbin – Vzduch + směs paliva (benzínové páry)
- Výfukové plyny spalovacích motorů a plynových turbin – problematika emisí

Proto se musíme zabývat termodynamikou směsi plynů a umět určovat jejich termodynamické vlastnosti

DVĚ ZÁKLADNÍ VĚTY PRO ŘEŠENÍ SMĚSÍ PLYNŮ:
Každý plyn se chová ve směsi ideálních plynů tak, jako by byl v celém prostoru sám řídí se svou stavovou rovnicí
ze stavové rovnice lze určit jeho tlak (parciální tlak) pomocí teploty a celkového objemu směsi
Směs chemicky na sebe nepůsobících plynů má vlastnosti opět plynu, pro který lze rovněž použít stavovou rovnici

1 . . . 31 32 33 34 35 36 37 38 39 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PŘEPočTY URČUJÍCÍCH VELIČIN

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Číselné se rovnají molárním zlomkům, viz rozšířeně všeobecné stavové rovnice:

$$p \cdot V_i = n_i \cdot R_m \cdot T$$

$$p \cdot V = n \cdot R_m \cdot T$$

$$\frac{n_i}{n} = \frac{V_i}{V} \quad x_i = x_{Vi}$$

Pozor nejčastější chyba záměna zlomků $w_i \neq x_i$

$$w_i = \frac{m_i}{m} = \frac{M_i \cdot n_i}{M \cdot n} = \frac{M_i}{M} \cdot x_i = \frac{M_i \cdot x_i}{\sum M_i \cdot x_i}$$

Zde jsou využity vztahy:

$$m = M \cdot n \quad n = \frac{m}{M}$$

$$\frac{n_i}{n} = x_i \quad \frac{m_i}{m} = w_i$$

$$M = \sum M_i \cdot x_i \quad M = \frac{1}{\sum \frac{w_i}{M_i}}$$

1 . . . 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 . . . 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívrat pro 1 kWh práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VLASTNOSTI SMĚSI PLYNŮ

Ze známého složení směsi lze vypočítat různé vlastnosti směsi (nebývají v tabulkách), a to pomocí:

rovnice zachování hmotnosti $m = \sum m_i$

rovnice zachování látky $n = \sum n_i$

rovnice zachování energie $m \cdot c \cdot \Delta T = \sum m_i \cdot c_i \cdot \Delta T$

H_2 6 kg + O_2 32 kg \rightarrow $H_2 + O_2$ 38 kg

H_2 3 kmol + O_2 1 kmol \rightarrow $H_2 + O_2$ 4 kmol

STŘEDNÍ ZDÁNĹIVÁ MOLÁRNÍ HMOTNOST SMĚSI M [kg.kmol⁻¹]

$M = \sum M_i x_i$ kg.kmol⁻¹

1...40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívrat pro 1 kWh práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

DVA PŘÍPADY SMÍŠENÍ PLYNŮ

$V = \sum V_i$

$p_i V_i = n_i R T_i$

$p = \sum p_i$ p jsou parciální tlaky

$T = \frac{\sum m_i \cdot c_{vi} \cdot T_i}{\sum m_i \cdot c_{vi}}$

$p = \frac{m \cdot r \cdot T}{V} = \frac{\sum m_i \cdot r_i}{\sum V_i} \cdot \frac{\sum m_i \cdot c_{vi} \cdot T_i}{\sum m_i \cdot c_{vi}}$

$p_1 = p_2 = p_3 = p$

$\dot{m}_3 = \sum \dot{m}_i$

$T_3 = \frac{\sum \dot{m}_i \cdot c_{pi} \cdot T_i}{\sum \dot{m}_i \cdot c_{pi}}$

1...40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívrat pro 1 kWh práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

MĚRNÁ PLYNOVÁ KONSTANTA A KAPACITY

MĚRNÁ PLYNOVÁ KONSTANTA SMĚSI r [J.kg⁻¹.K⁻¹]

$r = \frac{R_m}{M} = R_m \sum \frac{w_i}{M_i} = \sum w_i \cdot r_i$

HUSTOTA SMĚSI ρ [kg.m⁻³] ze stavové rovnice $\rho = p / (r \cdot T)$

MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITY SMĚSI c [J.kg⁻¹.K⁻¹]

$m \cdot c \cdot \Delta T = \sum m_i \cdot c_i \cdot \Delta T$

$m \cdot c = \sum m_i \cdot c_i$

Platí stejně pro c_p, c_v

$c = \sum \frac{m_i}{m} \cdot c_i$

$c = \sum w_i \cdot c_i$

Platí stejné vztahy jako pro plyny

$C_p = C_v + r$ $\kappa = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{C_v}{m} + r}{C_v} = \frac{\frac{C_v}{m} + r}{C_v} = \frac{C_v + r \cdot m}{C_v}$

1...40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívrat pro 1 kWh práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VLASTNOSTI SUCHÉHO VZDUCHU

Složka	X _i [%]	w _i [%]
Dusík N ₂	78,09	75,51
Kyslík O ₂	20,95	23,16
Argon Ar	0,93	1,28
Kyslíčnan uhličitý CO ₂	0,036	0,049
Neon, Helium, Metan atd.	0,006	0,0001

Fyzikální vlastnosti vzduchu při 0 °C a 101,325 kPa

- > $M = 28,97$ kg.kmol⁻¹
- > $r = 287,04$ J.kg⁻¹.K⁻¹
- > $c_p = 1005$ J.kg⁻¹.K⁻¹
- > $c_v = 714$ J.kg⁻¹.K⁻¹
- > $\kappa = 1,402$

1...40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívrat pro 1 kWh práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

DVA PŘÍPADY SMÍŠENÍ PLYNŮ

Daltonův zákon

$p = \sum p_i$

Plyn 1 V_1, T p_1 + Plyn 2 V_2, T p_2 = Směs plynů 1+2 V, T $p_1 + p_2$

Amagatův zákon

$V = \sum V_i$

plyn 1 p, T V_1 + plyn 2 p, T V_2 = Směs plynů 1+2 p, T $V_1 + V_2$

1...40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívrat pro 1 kWh práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1. FORMA I. ZÁKONA TERMODYNAMIKY

I. zákon termodynamiky - R. Mayer, 1842 (Neexistuje perpetuum mobile) Teplo lze měnit v práci a naopak, a to se děje dle určitého vztahu.

Ide o zvláštní případ zákona zachování energie (Helmholz - 1847)

Součet energií v izolované soustavě je konstantní.

1. forma I. zákona termodynamiky - vhodná pro uzavřené soustavy (nádoby, pístové stroje)

$\delta Q = dU + \delta A$, $\delta q = du + \delta a$

δQ a δA nejsou totální diferenciály, ale přesto budeme značit dQ a dA

$dQ = m \cdot dq$, $dU = m \cdot du$, $dA = m \cdot da$

Diagramy: Energie, dQ_{in}, dQ_{out}, dA_{in}, dA_{out}, (Q_{in})₁₂, (Q_{out})₁₂, (A_{in})₁₂, (A_{out})₁₂, U₁, U₂, U₁ + dU₁₂, U, U

1...40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ZNAMÉNKOVÁ KONVENCE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

+Q – přivedené teplo (např. palivo, el. Energie)
-Q – odvedené teplo (např. chladící voda, výfukové plyny)
+A, +A_k – získaná práce (např. práce na hřídeli spalovacího motoru, který pohání vozidlo)
-A, -A_k – dodaná (spotřebovaná) práce (např. práce startéru motoru, práce na pohon kompresoru)

Když správně zadám do výpočtu, vyjdou správně i výsledky.

$dQ > 0$ teplo se do soustavy přivádí
 $dU > 0$ vnitřní energie soustavy roste
 $dA > 0$ soustava koná práci

1... 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

1. FORMA I. ZTD

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$dQ = dU + dA = c_v \cdot m \cdot dT + p \cdot dV \quad [J]$$

$$dq = du + da = c_v \cdot dT + p \cdot dv \quad [J/kg]$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = c_v \cdot m \cdot (T_2 - T_1) + \int_1^2 p \cdot dV \quad [J]$$

$$q_{12} = \Delta u_{12} + a_{12} = c_v \cdot (T_2 - T_1) + \int_1^2 p \cdot dv \quad [J/kg]$$

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

OBJEMOVÁ PRÁCE A [J]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Je dána působením síly F po dráze l např. ve válci s pístem a platí

$$dA = F \cdot dl = p \cdot S \cdot dl = p \cdot dV$$

MĚRNÁ OBJEMOVÁ PRÁCE a [$J \cdot kg^{-1}$]

Definice práce A a měrné práce a mezi původním stavem o objemu V_1 a konečným stavem o objemu V_2 jsou tudíž dány vztahy

$$A_{12} = \int_1^2 p \cdot dV \quad a_{12} = \int_1^2 p \cdot dv$$

$$A_{12} = m \cdot a_{12}$$

Objemová práce se koná pokud se mění objem, **kde není změna dráhy není práce**

Objemová práce není stavovou veličinou, jelikož závisí na cestě, po které děj probíhá a také platí, že neexistuje práce A_1 nebo A_2 . **Objemová práce je plocha pod křivkou v p-v diagramu.**

1... 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 ... 254

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

2. FORMA I. ZTD

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odvození 2. formy I. zákona termodynamiky

1. forma I. zákona termodynamiky $dq = c_v dT + p dv$
 Stavová rovnice ideálního plynu $pV = rT \Rightarrow p dv + v dp = r dT$
 Mayerův vztah $c_p = c_v + r$

Po dosazení $p \cdot dv$ do 1. formy $dq = c_v \cdot dT + r \cdot dT - v \cdot dp$

Po dosazení Mayerova vztahu do poslední rovnice dostaneme rozepsanou 2. formu I. zákona termodynamiky

$$dQ = m \cdot c_p \cdot dT - V \cdot dp \quad dq = c_p \cdot dT - v \cdot dp$$

$$dQ = dH + A_t \quad dq = dh + a_t$$

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

VNITŘNÍ ENERGIE U [J]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

MĚRNÁ VNITŘNÍ ENERGIE u

Pro $dA = p \cdot dV = 0$ (platí u dějů za konstantního objemu) je vnitřní energie dU rovna teplu za konstantního objemu dQ_v , a lze psát

$$dQ_v = dU + dA = dU + p dV = dU$$

Definice **vnitřní energie U [J]** a **měrné vnitřní energie u [$J \cdot kg^{-1}$]** pro ideální plyn jsou proto dány vztahy:

$$dU = m \cdot c_v \cdot dT \quad du = c_v \cdot dT$$

kde c_v je měrná tepelná kapacita za konstantního objemu.

Vnitřní energie je stavová veličina, a proto dU je totální diferenciál a lze napsat následující integrály:

$$\int_1^2 dU = U_2 - U_1 = mc_v (T_2 - T_1) \quad \int_1^2 du = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1)$$

$$\oint dU = 0 \quad \oint du = 0$$

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

2. FORMA I. ZTD INTALPIE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$H_1 = U_1 + p_1 \cdot V_1$$

$$H_2 = U_2 + p_2 \cdot V_2$$

$$A_{t12} = - \int_1^2 V \cdot dp$$

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ABSOLUTNĚ ENERGETICKÝ PŘÍPRAVENÍ PRO ICH PRÁCI

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ENTALPIE H [J]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Entalpie H [J], měrná entalpie h [J.kg⁻¹] - teplo za konstantního tlaku $H_{12} = m \cdot h_{12}$

Definice pro ideální plyn $dH = m \cdot c_p \cdot dT$ $dh = c_p \cdot dT$

H je stavová veličina $\int_1^2 dH = H_2 - H_1 = mc_p (T_2 - T_1)$ $\oint dH = 0$
 dh je totální diferenciál $\int_1^2 dh = h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1)$ $\oint dh = 0$

Odvození entalpie z děje p=konstantní $dq_p = (du + da)_p$
 1. forma I. zákona pro p = konstantní $dh = (du + da)_p$
 Entalpie je teplo při p = konstantní $h_2 - h_1 = u_2 - u_1 + p (v_2 - v_1)$
 Po integraci při p = konstantní $h_2 - h_1 = (u_2 + pv_2) - (u_1 + pv_1)$
 Po seskupení veličin stavu 1 a 2 $H = U + p \cdot V$ $h = u + p \cdot v$

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ABSOLUTNĚ ENERGETICKÝ PŘÍPRAVENÍ PRO ICH PRÁCI

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PROUDOVÝ MOTOR

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vstupní difuzer Kompressor Spalovací komora Turbina Tryska

Vstup Kompressor Spalovací komora Turbina Výfuk

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ABSOLUTNĚ ENERGETICKÝ PŘÍPRAVENÍ PRO ICH PRÁCI

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TECHNICKÁ PRÁCE A_t [J]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

MĚRNÁ TECHNICKÁ PRÁCE a_t [J.kg⁻¹]
 Je to práce na hřídelích rotačních strojů.

Technická práce je plocha pod křivkou v p-v diagramu směrem k ose p.

Plocha je uvažována záporně (vzhledem k růstu tlaku), aby při expanzi či poklesu tlaku soustavy byla kladná.

Definice technické práce A_t a měrné technické práce a_t mezi původním stavem o tlaku p₁ a konečným stavem o tlaku p₂ jsou tudíž dány vztahy

$A_{t12} = m \cdot a_{t12}$

$A_{t12} = -\int_1^2 V \cdot dp$ $a_{t12} = -\int_1^2 v \cdot dp$

Technická práce není stavovou veličinou, neboť závisí na cestě, po které děj probíhá a platí, že neexistuje A_{t1} nebo A_{t2}.

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ABSOLUTNĚ ENERGETICKÝ PŘÍPRAVENÍ PRO ICH PRÁCI

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

BILANCE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$m_i - m_e = \Delta m_{sys}$ [kg]
 $E_i - E_e = \Delta E_{sys}$ [J]
 $\dot{m}_i - \dot{m}_e = \Delta \dot{m}_{sys}$ [kg/s]
 $\dot{E}_i - \dot{E}_e = \Delta \dot{E}_{sys}$ [J/s, W]

Copyright The MathWorks Company, Inc.

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ABSOLUTNĚ ENERGETICKÝ PŘÍPRAVENÍ PRO ICH PRÁCI

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

2. FORMA I. ZTD

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$dQ = dH + dA_t = c_p \cdot m \cdot dT - V \cdot dp$ [J]
 $dq = dh + da_t = c_p \cdot dT - v \cdot dp$ [J/kg]
 $Q_{12} = \Delta H_{12} + A_{t12} = c_p \cdot m \cdot (T_2 - T_1) - \int_1^2 V \cdot dp$ [J]
 $q_{12} = \Delta h_{12} + a_{t12} = c_p \cdot (T_2 - T_1) - \int_1^2 v \cdot dp$ [J/kg]

Vhodné pro otevřené soustavy, např. pro řešení kompresorů nebo zařízení kde se mění tlak i objem.

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

ABSOLUTNĚ ENERGETICKÝ PŘÍPRAVENÍ PRO ICH PRÁCI

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ROVNICE KONTINUITY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$\dot{m} = \rho w S$ [kg/s]
 $\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$ [kg/s]

ρ hustota [kg/m³] (= 1/v)
 w průměrná rychlost [m/s]
 S plocha průřezu [m²]

1... 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetika.připraven pro tih práca

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

KINETICKÁ A POTENCIÁLNÍ ENERGIE

Kinetická energie $E_K = m \frac{w^2}{2}$

Potenciální energie $E_P = mgz$

Energie soustavy bez energie proudu $E = E_K + E_P + U$

Celková energie $E = E_K + E_P + U + pV$

$E = E_K + E_P + H$ [J]

1... 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetika.připraven pro tih práca

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

I. ZTD PRO OTEVŘENOU SOUSTAVU

$$\sum m_i = \sum m_e$$

$$Q - A = \sum m_e \left(u_e + \frac{w_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_i \left(u_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right)$$

$$Q - A_i = \sum m_e \left(u_e + p_e v_e + \frac{w_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum m_i \left(u_i + p_i v_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right)$$

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$$

$$\dot{Q} - P = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{w_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right) [W]$$

1... 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetika.připraven pro tih práca

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

I. ZTD PRO OTEVŘENOU SOUSTAVU

vstupy $dm(u + \frac{1}{2}w^2 + gz + p v_i)$

akumulace $d(U + \frac{1}{2}mw^2 + mgz)$

výstupy $dm_e(u_e + \frac{1}{2}w_e^2 + gz_e + p_e v_e)$

kontrolní plocha

1... 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetika.připraven pro tih práca

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

I. ZTD ZJEDNODUŠENÍ

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{Q} - P = \dot{m} \left(h_2 - h_1 + \frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right) [W]$$

1... 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetika.připraven pro tih práca

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

I. ZTD PRO OTEVŘENOU SOUSTAVU

m_1, p_1, T_1, w_1, h_1

Práce na hřídeli P

Objemová práce P

A_i

A_o

dE

\dot{Q}

m_e, p_e, T_e, w_e, h_e

1... 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetika.připraven pro tih práca

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TURBINA

$i_2 + \frac{1}{2}w_2^2$

práce rotoru a_{112}

stator

$i_1 + \frac{1}{2}w_1^2$

1... 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro ICH práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ENTROPIE DEFINICE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Entropie S [J/K]

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Měrná entropie s [J/(kg.K)]

$$dS = m \cdot ds \quad ds = \frac{dq}{T}$$

Entropie je extenzivní veličina

Entropie je stavová veličina, dS je totální diferenciál a lze psát následující integrály:

Pro termodynamické děje: $\int_1^2 dS = S_2 - S_1, \quad \int_1^2 ds = s_2 - s_1$

Pro vratné cykly: $\oint dS = 0, \quad \oint ds = 0$

- Entropie určuje směr vývoje soustavy
- Entropie umožní dokázat nevratné termodynamické děje
- Entropie určuje pravděpodobnost systému
- Entropie určuje míru disipace látky či energie
- Entropie určuje míru neuspořádaní systému
- Entropie určuje míru znehodnocení kvality systému

1...60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro ICH práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOCHORICKÝ DĚJ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$v = \text{konst.}, dv = 0$ (Charles)

Pro řešení uzavřených soustav (např. tlakových nádob)

Stavové rovnice

$$p_1 \cdot v = r \cdot T_1$$

$$p_2 \cdot v = r \cdot T_2$$

Rovnice změny stavu

$$v_1 = v_2 \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Izochorická komprese

1...60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro ICH práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

T-S DIAGRAM PRO IDEÁLNÍ PLYN

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Druhý nejdůležitější graf po p-v

Plocha pod křivkou je teplo q_{12}

1...60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro ICH práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOCHORICKÝ DĚJ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Energetické veličiny A_{12}, A_{122}, Q_{12}

$$a_{12} = 0, \quad A_{12} = 0$$

$$A_{12} = \int_1^2 p dV = 0, \quad a_{12} = \int_1^2 p dv = 0$$

$$A_{122} = -\int_1^2 V dp = -V(p_2 - p_1), \quad a_{122} = -\int_1^2 v dp = -v(p_2 - p_1)$$

Teplo vyjádříme z 1. formy I. zákona termodynamiky

$$dq = c_v \cdot dT + p dv = c_v \cdot dT = du$$

$$Q_{12} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1), \quad q_{12} = c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

Entropie

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 \frac{c_v dT}{T} = c_v \int_1^2 \frac{dT}{T} \quad s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

1...70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro ICH práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PŘEHLED TERMODYNAMICKÝCH DĚJŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rozlišujeme

- Děje **vratné** - soustava prochází jen rovnovážnými stavy (lze použít stavovou rovnici) a při opačném ději se vrátí do původního stavu
- Děje **nevratné** - soustava neprochází rovnovážnými stavy a při opačném ději se nevrátí do původního stavu

Vratné termodynamické děje - vhodné pro teoretické rozbor

- Izochorický děj** při konstantním objemu ($v = \text{konstantní}, dv = 0$)
- Izobarický děj** při konstantním tlaku ($p = \text{konstantní}, dp = 0$)
- Izotermický děj** při konstantní teplotě ($T = \text{konstantní}, dT = 0$) $p \cdot v = \text{konst.}$
- Adiabatický děj** bez výměny tepla s okolím ($q_{12} = 0, dq = 0$) $p \cdot v^\kappa = \text{konst.}$
- Polytropický děj** definovaný rovnicí technická polytropa $n \in (\kappa, \infty)$ obecná polytropa $n \in (-\infty, \infty)$

1...60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro ICH práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOBARICKÝ DĚJ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$p = \text{konst.}, dp = 0$ (Gay-Lussac)

Pro řešení výměníků tepla, chladičů apod.

Stavové rovnice

$$p \cdot v_1 = r \cdot T_1$$

$$p \cdot v_2 = r \cdot T_2$$

Rovnice změny stavu

$$p_1 = p_2 \quad \frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

Izobarická expanze

1...70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energeticki přehráven pro tih práce

IZOBARICKÝ DĚJ-PRÁCE
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Energetické veličiny A_{112}, A_{12}, Q_{12}

$a_{112}=0$
 $A_{112}=0$

$A_{112} = -\int_1^2 V dp = 0$ $a_{112} = -\int_1^2 v dp = 0$

$A_{12} = \int_1^2 p dV = p(V_2 - V_1)$ $a_{12} = \int_1^2 p dv = p(v_2 - v_1)$

Teplota vyjádříme z 2. formy I. zákona termodynamiky

$dq = c_p \cdot dT - v \cdot dp = c_p \cdot dT = dh$

$Q_{12} = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$ $q_{12} = c_p \cdot (T_2 - T_1)$

Entropie

$\int_1^2 ds = \int_1^2 \frac{c_p dT}{T} = c_p \int_1^2 \frac{dT}{T}$ $s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energeticki přehráven pro tih práce

ADIABATICKÝ DĚJ
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$dq = 0, q_{12} = 0, Q_{12} = 0$

Pro řešení ideální komprese nebo expanze plynů.

Rovnice změny stavu

1. forma I. zákona termodynamiky
 $dq = c_v dT + p dv = 0$

2. forma I. zákona termodynamiky
 $dq = c_p dT - v dp = 0$

Podělením 2. formy 1. formou bude

$\frac{c_p}{c_v} \frac{v dp}{p dv} = \kappa \Rightarrow \frac{dp}{p} + \kappa \frac{dv}{v} = 0$

Po integraci $\ln p + \kappa \cdot \ln v = \ln konst.$

$p \cdot v^\kappa = konst.$ $p_1 \cdot v_1^\kappa = p_2 \cdot v_2^\kappa$ $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energeticki přehráven pro tih práce

IZOTERMICKÝ DĚJ
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$T = konst., dT = 0$ (Boyle, Mariotte)

Pro řešení ideální komprese nebo expanze plynů.

Stavové rovnice

$p_1 \cdot v_1 = r \cdot T$
 $p_2 \cdot v_2 = r \cdot T$

Rovnice změny stavu

$T_1 = T_2$
 $p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2$

Izotermická komprese

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energeticki přehráven pro tih práce

ADIABATICKÝ DĚJ
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Další rovnice změny stavu

$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa \Rightarrow \frac{rT_2 \cdot v_1}{rT_1 \cdot v_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1}$

$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{rT_1 \cdot p_2}{rT_2 \cdot p_1}\right)^\kappa$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

Práce objemová

$a_{12} = c_v (T_1 - T_2) = c_v T_1 \left[1 - \frac{T_2}{T_1}\right]$

$dq = c_v dT + da = 0$

$a_{12} = \frac{c_v}{r} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right] = \frac{c_v}{c_p - c_v} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$ podělením c_v bude

$A_{12} = \frac{1}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$ $a_{12} = \frac{1}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energeticki přehráven pro tih práce

IZOTERMICKÝ DĚJ
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Energetické veličiny A_{112}, A_{12}, Q_{12}

Z I. zákona termodynamiky platí

$dq = c_v dT + p dv = p dv = da$
 $dq = c_p dT - v dp = -v dp = da_i$

Práci objemovou a technickou lze odvodit z jejich definičních vztahů

$a_{12} = \int_1^2 p dv = \int_1^2 rT \frac{dv}{v} = rT \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$

$a_{112} = -\int_1^2 v dp = -\int_1^2 rT \frac{dp}{p} = rT \ln \frac{p_1}{p_2} = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$

$A_{12} = m r T \ln \frac{V_2}{V_1}$ Entropie $\int_1^2 ds = \int_1^2 \frac{dq}{T}$ $s_2 - s_1 = q_{12}/T$ $s_2 - s_1 = r \ln \frac{V_2}{V_1}$

$A_{112} = m r T \ln \frac{p_1}{p_2}$ $s_2 - s_1 = -r \ln \frac{p_2}{p_1} = r \ln \frac{p_1}{p_2}$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energeticki přehráven pro tih práce

ADIABATICKÝ DĚJ - PRÁCE
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Další rovnice změny stavu

$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa \Rightarrow \frac{rT_2 \cdot v_1}{rT_1 \cdot v_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1}$

$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{rT_1 \cdot p_2}{rT_2 \cdot p_1}\right)^\kappa$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

Práce objemová

$a_{12} = c_v (T_1 - T_2) = c_v T_1 \left[1 - \frac{T_2}{T_1}\right]$

$dq = c_v dT + da = 0$

$a_{12} = \frac{c_v}{r} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right] = \frac{c_v}{c_p - c_v} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$ podělením c_v bude

$A_{12} = \frac{1}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$ $a_{12} = \frac{1}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přívod pro ln práci

ADIABATICKÝ DĚJ- PRÁCE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Práce technická
 $dq = c_v \cdot dT + da = 0 \Rightarrow da = -c_v dT$
 $dq = c_p \cdot dT + da_i = 0 \Rightarrow da_i = -c_p dT$
 $da_i = -\kappa (c_v dT) = \kappa \cdot da$

$$A_{112} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right] \quad a_{112} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]$$

Teplota $Q_{12} = 0 \quad q_{12} = 0$

Adiabatický děj probíhá v tepelně izolované soustavě a velmi rychle. Lze se s ním setkat při teoretickém rozboru tepelných zařízení, viz

- komprese a expanze v pístových strojích
- expanze v dýzách, turbínách apod.

1 ... 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přívod pro ln práci

PRÁCE POLYTROPICKÉHO DĚJE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Objemová práce
 $A_{12} = \frac{1}{n-1} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$
 $a_{12} = \frac{1}{n-1} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$

Technická práce
 $A_{112} = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$
 $a_{112} = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$

1 ... 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přívod pro ln práci

ADIABATICKÝ DĚJ IZOENTROPICKÝ DĚJ
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\int_1^2 ds = 0$$

$s = konst.$

1 ... 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přívod pro ln práci

MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA POLYTROPICKÉHO DĚJE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Teplota
 Stavová rovnice ideálního plynu $p \cdot v = r \cdot T$
 Rovnice polytropu $p \cdot v^n = konst.$
 $ln p + n \cdot ln v = ln konst.$
 Po odečtení těchto rovnic $(1-n) p \cdot dv = r dT$

Po dosazení $p \cdot dv$ do 1. formy I. zákona termodynamiky
 $dq = c_v dT + p dv = c_v dT + \frac{r dT}{1-n}$
 $dq = \left(c_v + \frac{c_p - c_v}{1-n} \right) dT = c_v \frac{1-n+\kappa-1}{1-n} dT = c_v \frac{n-\kappa}{n-1} dT$
 $Q_{12} = m \cdot c_n (T_2 - T_1) \quad q_{12} = c_n (T_2 - T_1)$

Měrná tepelná kapacita polytropického děje $c_n = c_v \frac{n-\kappa}{n-1} \quad [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

1 ... 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přívod pro ln práci

POLYTROPICKÝ DĚJ
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$p \cdot v^n = konst.$
Technická polytropa
Pro řešení komprese a expanze Obecná polytropa
Rovnice změny stavu

$$p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Příklad výpočtu polytropického exponentu n

$$n = \frac{\ln \frac{p_2}{p_1}}{\ln \frac{p_2}{p_1} - \ln \frac{T_2}{T_1}}$$

1 ... 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přívod pro ln práci

POLYTROPICKÝ DĚJ V T-s DIAGRAMU
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 c_n \frac{dT}{T} = c_n \int_1^2 \frac{dT}{T}$$

$$s_2 - s_1 = c_n \ln \frac{T_2}{T_1}$$

1 ... 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

POLYTROPICKÝ DĚJ

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zobrazení obecného polytropického děje

$p \cdot v^n = konst.$ v $p-v$ diagramu

Izobara $n = 0$ $p \cdot v^0 = p = konst.$

Izochora $n = \infty$ $p \cdot v^\infty = p^\infty \cdot v = v = konst.$

Izoterma $n = 1$ $p \cdot v^1 = konst.$

Adiabata $n = \kappa$ $p \cdot v^\kappa = konst.$

Technická polytropa $n \in (1, \kappa)$

$p \cdot v^n = konst.$

Polytropický děj modeluje kompresi či expanzi plynů v tepelných zařízeních reálněji, než izotermický nebo adiabatický děj.

1...80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

PŘENOS TEPLA

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Přenos tepla při konečném rozdílu teplot v izolované soustavě

$dQ_V = dQ_N = dQ$

Změna entropie při ochlazení látky 1

$$dS_V = \frac{dQ_V}{T_V} = \frac{-dQ_V}{T_V} = -\frac{dQ}{T_V}$$

Změna entropie při ohřevu látky 2

$$dS_N = \frac{dQ_N}{T_N} = \frac{dQ}{T_N} = \frac{dQ}{T_N}$$

Celková změna entropie soustavy

$$dS = dS_V + dS_N = -\frac{dQ}{T_V} + \frac{dQ}{T_N} = dQ \left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T_V} \right) > 0$$

Entropie roste, přenos tepla je nevratný děj

1...80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

PŘEHLED

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při nevratných dějích soustava neprochází rovnovážnými stavy a při ději opačném se nevrátí do původního stavu.

Typické nevratné děje v termomechanice:

- Vznik tepla třením
- Přenos tepla při konečném rozdílu teplot
- Difúze plynů
- Vyrovnání konečných rozdílů tlaků
- Škrceň plynů a par

Důkaz nevratnosti samovolného děje v tepelně izolované soustavě je **nárůst entropie**.

1...80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

ŠKRCEŇ PLYNŮ A PAR

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Škrceň probíhá v kapiláře, ventilu, cloně ...

Pro děje v otevřené, izolované soustavě, bez konání technické práce platí z 2. formy I. zákona termodynamiky

$$dq = dh + da_i \Rightarrow 0 = dh + 0$$

$dh = 0$ $dh = 0$ $H_1 = H_2$ $h_1 = h_2$

Škrceň nahrazujeme **izoentalpickým dějem**. V průběhu děje dochází k poklesu entalpie.

Nevratnost děje potvrzuje nárůst entropie.

- Pro ideální plyn je izoentalpa totožná s izotermou $T_2 = T_1$, jelikož $di = c_p \cdot dT$ a $c_p = konst.$
- Pro reálné plyn (páry) může být $T_2 < T_1$ nebo $T_2 = T_1$ nebo $T_2 > T_1$

1...80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

VZNIK TEPLA TŘENÍM

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pro uzavřenou termodynamickou soustavu s reálným plynem platí:

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{dQ_{tr}}{T} + \frac{dQ_{ok}}{T}$$

Pro izolovanou soustavu lze psát

$$dS = \frac{dQ_{tr}}{T} = \frac{dA_{tr}}{T} \geq 0$$

V izolované soustavě entropie roste \Rightarrow tření je nevratný děj.

Nárůst entropie při adiabatické expanzi reálného plynu se třením je zřejmý také z T-s diagramu.

1...80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

PŘEHLED TEPELNÝCH CYKLŮ

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Cyklus (oběh) je několik po sobě jdoucích dějů, po jejichž vykonání se soustava vrátí do původního stavu

Rozlišujeme cykly

- Vratné / Nevratné
- Přímé / Obrácené

Vratné cykly - skládají se výhradně z vratných termodynamických dějů

Nevratné cykly - obsahují alespoň jeden nevratný termodynamický děj

Přímé cykly - jsou cykly tepelných motorů, slouží pro získávání práce, které probíhají v $p-v$ diagramu ve směru hodinových ručiček \curvearrowright

Nepřímé cykly - jsou cykly tepelných poháněných pracovních strojů (chladicích zařízení a tepelných čerpadel), které práci spotřebovávají a v $p-v$ diagramu probíhají obráceně \curvearrowleft

chladný zásobník

PŘÍMÝ CYKLUS

$+Q_H [J]$ přivedené teplo

$-Q_C [J]$ odvedené teplo

$+A_C [J]$ práce cyklu

1...90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro trh práce
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
ÚČINNOST INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$\eta = \frac{\text{Užitečnost}}{\text{Náklady}} = \frac{3\text{ kW}}{5\text{ kW}} = 0,6 = 60\%$

1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro trh práce
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
PŘÍMÝ CARNOTŮV CYKLUS INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Carnotův cyklus slouží k porovnávání účinnosti jiných cyklů

Pro 1 kg

Carnotův cyklus přímý:
 T_H, T_C zásobníky tepla
 1 - 2 izotermická expanze (pomalá)
 2 - 3 adiabatická expanze (rychlá)
 3 - 4 izotermická komprese (pomalá)
 4 - 1 adiabatická komprese (rychlá)

Předávané teplo - viz izotermický děj

$$dq = (c_v \cdot dT + p \cdot dv) = p \cdot dv = da$$

$$q_H = a_{12} = \int_1^2 p dv = \int_1^2 r T_H \frac{dv}{v} = r T_H \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$q_C = a_{34} = \int_3^4 p dv = \int_3^4 r T_C \frac{dv}{v} = r T_C \ln \frac{v_4}{v_3}$$

Práce cyklu

$$a_0 = q_H - |q_C|$$

$$a_0 = r T_H \ln \frac{v_2}{v_1} - r T_C \ln \frac{v_3}{v_4}$$

1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro trh práce
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
TERMICKÁ ÚČINNOST INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Termická účinnost η_t [-]

$$\eta_t = \frac{A_0}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_C|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

Spálení paliva
 Pracovní cyklus Motor
 Převodovka Kola Vozovka
 Chladný zásobník
 Výfuk

Parní stroj	20 %
Parní turbína	30 %
Benzinový spalovací motor	32 %
Naftový motor	43 %

Termická účinnost se teoreticky pohybuje v intervalu 0 až 1.
 Pro vyjádření v procentech je třeba účinnost vypočtenou dle uvedeného vzorce násobit hodnotou 100.

1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro trh práce
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
PŘÍMÝ CARNOTŮV CYKLUS INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pro vyjádření termické účinnosti přímého Carnotova cyklu vyjdeme z definice

$$\eta_t = \frac{a_0}{q_H} = \frac{q_H - |q_C|}{q_H} = 1 - \frac{|q_C|}{q_H}$$

kde $q_H = r T_H \ln \frac{v_2}{v_1}$ $q_C = r T_C \ln \frac{v_4}{v_3}$

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_C|}{q_H} = 1 - \frac{r T_C \ln \left(\frac{v_3}{v_4} \right)}{r T_H \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)}$$

jelikož pro adiabaty platí:

$$\frac{T_C}{T_H} = \frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^{\kappa-1}$$

$$\frac{T_C}{T_H} = \frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_4} \right)^{\kappa-1}$$

$$\frac{v_3}{v_4} = \frac{v_2}{v_1}$$

Po úpravě bude účinnost přímého Carnotova cyklu ve tvaru

$$\eta_{tc} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro trh práce
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
PŘÍMÝ TEPELNÝ CYKLUS INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Spalovací motor

- Palivo = zdroj tepla
- Užitek = práce na klikovém hřídeli
- Výfuk, chladič = odvod tepla

1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro trh práce
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
PŘÍMÝ CARNOTŮV CYKLUS p-v a T-S INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\eta_t = \frac{A_0}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

$$\eta_{tc} = \frac{A_0}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{T_3}{T_1}$$

1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetik přípraven pro tih práce

PŘÍMÝ CARNOTŮV CYKLUS TERMICKÁ ÚČINNOST

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Termická účinnost Carnotova cyklu

- Závisí na teplotách, nezávisí na druhu pracovní látky
- Roste s rostoucí teplotou T_H a klesající teplotou T_C (nelze jít pod nejnižší teplotu v okolí)
- Je vždy menší než 1 a pro $T_H = T_C$ je $\eta_c = 0$

η_{tc} je při stejných extrémních teplotách větší než u termická účinnost teoretických cyklů nebo skutečných motorů.

Benzinový motor	pro $T_H = 2500\text{ K}$, $T_C = 600\text{ K}$	
$\eta_{tc} = 0,76$	$\eta_{t,TEORIE} = 0,5$	$\eta_{t,skutečné} = 0,3$
Parostrojní zařízení	pro $T_H = 600\text{ K}$, $T_C = 300\text{ K}$	
$\eta_{tc} = 0,5$	$\eta_{t,TEORIE} = 0,3$	$\eta_{t,skutečné} < 0,3$

Konstruktéři mají snahu vyvíjet a upravovat tepelné stroje tak, aby se přiblížili Carnotovu cyklu.

Tento proces nazýváme CARNOTIZACE.

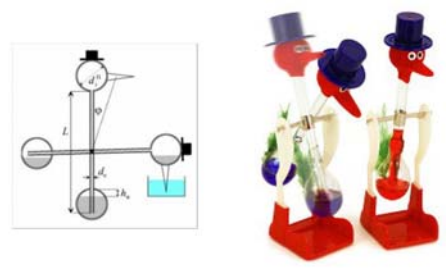
1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetik přípraven pro tih práce

PŘÍKLADY CARNOTOVA CYKLU

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VĚČNĚ PIJÍCÍ PTÁK



<http://www.dealextrême.com/p/novelty-dippy-drinking-bird-29233>

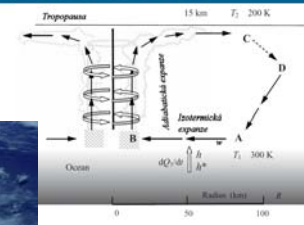
1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetik přípraven pro tih práce

PŘÍKLADY CARNOTOVA CYKLU

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TROPICKÁ CYKLÓNA



1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetik přípraven pro tih práce

OBRÁCENÝ TEPELNÝ CYKLUS

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Chladicí zařízení

- Potřebuje dodávat práci = kompresor s elektromotorem
- Užitek = chladicí výkon
- Odváděné teplo



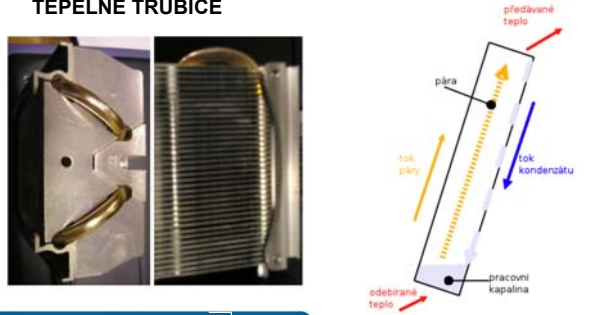
1... 100 101 102 103 104 105 106 107 108... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetik přípraven pro tih práce

PŘÍKLADY CARNOTOVA CYKLU

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TEPELNÉ TRUBICE



1... 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetik přípraven pro tih práce

OBRÁCENÝ TEPELNÝ CYKLUS

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelné čerpadlo

- Potřebuje dodávat práci = kompresor s elektromotorem
- Užitek = dodávané teplo
- Zdroj tepla = chladný zásobník



1... 100 101 102 103 104 105 106 107 108... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro Ith práci

OBRÁCENÝ CARNOTŮV CYKLUS

Slouží k porovnávání obrácených cyklů chladicích zařízení a tepelných čerpadel

Předávané teplo a práce cyklu

$$q_H = a_{41} = \int_4^1 p dv = \int_4^1 rT_H \frac{dv}{v} = rT_H \ln \frac{v_1}{v_4}$$

$$q_C = a_{23} = \int_2^3 p dv = \int_2^3 rT_C \frac{dv}{v} = rT_C \ln \frac{v_3}{v_2}$$

$$|a_o| = |q_H| - q_C = rT_H \ln \frac{v_1}{v_4} - rT_C \ln \frac{v_3}{v_2}$$

Pro 1 kg

Chladicí faktor ϵ_{ch} - Koefficient znásobení COP (Coefficient of performance) pro chladicí zařízení

$$\epsilon_{ch} = \frac{q_C}{|a_o|} = \frac{q_C}{q_H - q_C}$$

Carnot $\epsilon_{chC} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$

COP pro tepelná čerpadla (topný faktor ϵ_{top})

$$\epsilon_i = \frac{q_H}{|a_o|} = \frac{q_H}{q_H - q_C}$$

Carnot $\epsilon_{iC} = \frac{T_H}{T_H - T_C}$

1 ... 100 101 102 103 104 105 106 107 108 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro Ith práci

SMĚR PRŮBĚHU CYKLU

1 ... 100 101 102 103 104 105 106 107 108 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro Ith práci

OBRÁCENÝ CARNOTŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\eta_i = \frac{A_o}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

$$\eta_{iC} = \frac{A_o}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{T_3}{T_1}$$

1 ... 100 101 102 103 104 105 106 107 108 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro Ith práci

CARNOTOVA POROVNÁVACÍ ÚČINNOST

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\eta_{CP} = \frac{\eta_i}{\eta_{iC}} = \frac{1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}}{1 - \frac{T_C}{T_H}}$$

V případě Carnova cyklu $\eta_{CP} = 1$ $1 - \frac{|Q_C|}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$

Vyjadřuje o kolik je cyklus méně účinnější než Carnotův cyklus

Tepelný stroj je tím dokonalejší, čím bude menší rozdíl do účinnosti Carnotova cyklu

1 ... 100 101 102 103 104 105 106 107 108 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro Ith práci

EFEKTIVITA CYKLŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

efektivita = proč zařízení konstruují co za to platím

Motory, turbíny $\eta_i = \frac{A_o}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$ $\eta_{iC} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ Termická účinnost (0-1) Obvykle pod 0,5

Chladicí zařízení $\epsilon_{ch} = \frac{|Q_C|}{A_o}$ $\epsilon_{chC} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$ Chladicí faktor Koefficient znásobení COP - Coefficient of performance Obvykle 4 a více

Tepelná čerpadla $\epsilon_i = \frac{Q_H}{A_o}$ $\epsilon_{iC} = \frac{T_H}{T_H - T_C}$ Topný faktor Koefficient znásobení COP - Coefficient of performance Obvykle 4 a více

1 ... 100 101 102 103 104 105 106 107 108 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přípravek pro Ith práci

NEVRATNÝ CARNOTŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zavedeme dva nevratné děje do přímého Carnotova cyklu:

- Přenos tepla do Carnotova cyklu při izotermickém ději 1*-2*
- Přenos tepla z Carnotova cyklu při izotermickém ději 3*-4*

Teplo se přenáší z místa o teplotě vyšší do místa o teplotě nižší $\Rightarrow T_H > T_H^*$

Teplo se přenáší z místa o teplotě vyšší do místa o teplotě nižší $\Rightarrow T_C < T_C^*$

Snižování teploty T_H a zvyšování teploty T_C způsobuje zmenšování termické účinnosti (termickou účinnost zmenšují i další nevratné děje).

Termická účinnost nevratného Carnotova cyklu je menší, než termická účinnost vratného Carnotova cyklu a platí vztah

$$\eta_{iC}^* = 1 - \frac{T_C^*}{T_H^*} < 1 - \frac{T_C}{T_H} = \eta_{iC}$$

1 ... 100 101 102 103 104 105 106 107 108 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

NEVRATNÝ CARNOTŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

vratný NEvratný

práce a_o práce a_o^*

odvedené teplo q_c odvedené teplo q_c^*

$\eta_{IC} = 1 - \frac{T_c}{T_H} < 1 - \frac{T_c}{T_H} = \eta_{IC}$

1...109 110 111 112 113 114 115 116 117...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

II. ZÁKON TERMODYNAMIKY PRO DĚJE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odvození z Clausiova integrálu

$$\oint \frac{dq}{T} \leq 0 \Rightarrow \oint \frac{dq}{T} \leq \oint ds$$

kde $0 = \oint ds$

II. zákon termodynamiky pro děje,

kde dQ je teplo předávané při daném ději mezi soustavou a okolím

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad ds \geq \frac{dq}{T}$$

II. zákon termodynamiky pro děje v tepelně izolované soustavě

kde teplo předávané mezi soustavou a okolím je nulové $\Rightarrow dQ = 0$

$$dS \geq 0 \quad ds \geq 0$$

Princip vzrůstu entropie Tepelná smrt vesmíru

1...109 110 111 112 113 114 115 116 117...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

II. ZÁKON TERMODYNAMIKY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

-Práce -Teplo +Teplo

Voda Žádná práce

© The McGraw-Hill Companies, Inc., 1991

1...109 110 111 112 113 114 115 116 117...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

II. ZTD

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Horký zásobník $T_H = T_1$

Pracovní cyklus Motor $\pm A$

Chladný zásobník $T_c = T_2$

1...109 110 111 112 113 114 115 116 117...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

SLOVNÍ FORMY II. ZÁKONA TERMODYNAMIKY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Neexistuje perpetuum mobile 2. druhu
- Nelze získávat ze soustavy neživých látek práci tím, že ji ochlazujeme pod teplotu nejjednodušší látky v okolí (Kelvín)
- Teplo nemůže samovolně přecházet z tělesa o teplotě nižší na těleso o teplotě vyšší (Clausius)
- Nelze sestavit periodicky pracující stroj, který by odebíral teplo ze zásobníku a konal tomuto teplu ekvivalentní práci \Rightarrow Nutné 2 zásobníky tepla (Kelvin - Planck)
- Ideální oběh s největší účinností mezi dvěma teplotami je Carnotův oběh. Maximální účinnost tohoto oběhu závisí jen na teplotě a nezávisí na pracovní látce. Skládá se ze dvou izoterm a dvou adiabat.

William Kelvin (1824-1907) Rudolf Calusius (1822-1888) Sadi Carnot (1796-1832)

1...109 110 111 112 113 114 115 116 117...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

II. ZTD

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Horký zásobník $T_H = T_1$

Pracovní cyklus Chladicí zařízení $-A$

Chladný zásobník $T_c = T_2$

Horký zásobník $T_H = T_1$

Pracovní cyklus Tepelné čerpadlo $-A$

Chladný zásobník $T_c = T_2$

Horký zásobník $T_H = T_1$

Chladný zásobník $T_c = T_2$

1...109 110 111 112 113 114 115 116 117...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

II. ZTD

1 ... 109 110 111 112 113 114 115 116 117 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

KVALITA ENERGIE

1 ... 118 119 120 121 122 123 124 125 126 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

PERPETUUM MOBILE

Prvního druhu:

- Dělá práci větší než přivedené teplo
- Vstupy nejsou rovny výstupům
- Porušuje I. Zákon termodynamiky

Druhého druhu:

- Dělá práci rovnou přivedenému teplu
- Chybí chladný zásobník (ochlazení až na absolutní nulu)
- Porušuje II. zákon termodynamiky

1 ... 109 110 111 112 113 114 115 116 117 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

EXERGETICKÁ ÚČINNOST

II. zákon termodynamiky říká:

Nelze získávat ze soustavy neživých látek práci tím, že ji ochlázíme pod teplotu T_{∞} nejjchladnější látky v okolí.

Exergie E [J], měrná exergie e [J.kg⁻¹]
je využitelná část energie ve formě tepla

Anergie B [J], měrná anergie b [J.kg⁻¹]
je nevyužitelná část energie a platí:

$$q_{12} = e_{12} + b_{12}$$

Exergetická účinnost přímých cyklů je dána vztahem

$$\eta_e = \frac{a_o}{e_H}$$

$\eta_e > \eta_t$, Carnotův cyklus může mít až $\eta_e = 1$

η_e lépe vyjadřuje využití zařízení než η_t

η_e vyžaduje oproti η_t navíc znalost T_{∞}

η_e vyjadřuje ale stejnou skutečnost, jako η_t

1 ... 118 119 120 121 122 123 124 125 126 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

PERPETUUM MOBILE

Perpetuum mobile prvního druhu

Perpetuum mobile druhého druhu

Reálný stroj

1 ... 109 110 111 112 113 114 115 116 117 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

VYUŽITÍ TEPELNÉ ENERGIE

$$e = \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_H} \right) q_H$$

$$\dot{E} = \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_H} \right) \dot{Q}_H$$

1 ... 118 119 120 121 122 123 124 125 126 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

III. ZÁKON TERMODYNAMIKY

Nernstův tepelný teorém (1906)

Změna entropie čistých látek se s klesající teplotou blíží k nule.

Planck (1912)

Absolutní entropie každé kondenzované chemicky čisté látky má při 0 K nulovou hodnotu.

Matematický zápis: $\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$

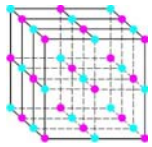
Pozn.: Ukázalo se, že to platí jen pro krystalické čisté látky a nikoliv pro amorfní látky nebo slitiny. Krystalické látky mají totiž atomy uspořádané, a proto jejich entropie může být menší nebo až nulová.

III. ZÁKON TERMODYNAMIKY

Entropie čistých krystalických látek při 0 K je nulová.

Pozn.: V praxi bývá $S = 0$ při $t = 0^\circ\text{C}$ a pro $t < 0^\circ\text{C}$ je $S < 0$.

Pozn.: Konečným počtem dějů nelze dosáhnout 0 K. V roce 1990 bylo dosaženo 8.10^{-10} K.



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

PRINCIP ČINNOSTI SKUTEČNÉHO PÍSTOVÉHO KOMPRESORU

Kompresory se škodným prostorem

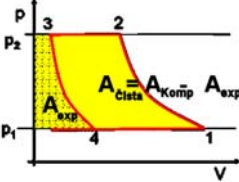
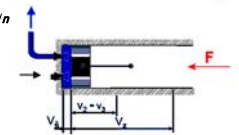
$\epsilon_0 = V_3/V_2$ poměrná velikost škodného prostoru
 $V_2 = V_1 - V_3$ zdvihový objem
 $V_{41} = V_4 - V_1$ nasávaný objem ($V_{41} < V_2$)

Objemová účinnost

$\eta_0 = \frac{V_{41}}{V_2} = \frac{V_2(1 + \epsilon_0) - V_4}{V_2} = 1 + \epsilon_0 - \frac{V_4}{V_2}$

$\frac{V_4}{V_3} = \frac{V_4}{\epsilon_0 V_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/n}$ $\frac{V_4}{V_2} = \epsilon_0 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/n}$

$\eta_0 = 1 - \epsilon_0 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/n} - 1\right]$ η_0 klesá s rostoucím tlakovým poměrem p_2/p_1





StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

TŘI ZÁKONY TERMODYNAMIKY

„Není možné zvítězit, je možné pouze dosáhnout nerozhodného výsledku.
 Nerozhodného výsledku lze dosáhnout jedině za předpokladu absolutní nuly.
 Není možné dosáhnout absolutní nuly.“

Walther Hermann Nernst (1864 - 1941)



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

KOMPRESORY SE ŠKODNÝM PROSTOREM

Teoretický příkon kompresoru při polytropické kompresi a expanzi

$$P = \frac{n}{n-1} p_1 \dot{V}_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] - \frac{n}{n-1} p_2 \dot{V}_2 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

$$P = \frac{n}{n-1} p_1 \dot{V}_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

Teplota po kompresi (z rovnice polytroty) $T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$ $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{max} = \left(\frac{T_{2,max}}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} = \epsilon_{P,max}$

- Z důvodu vysoké teploty po kompresi pro dané mazivo (mezní hodnoty pro kvalitní mazivo bývají 180 až 200 °C pozor nebezpečí vzplanutí oleje)
- Z důvodu klesající objemové účinnosti při vyšších tlakových poměrech p_2/p_1

VOLÍME VÍCESTUPŇOVOU KOMPRESI

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

IDEÁLNÍ 1-STUPŇOVÉ KOMPRESORY

Ideální 1-stupňové kompresory jsou:

- Rotační kompresory
- Pístové kompresory bez škodného prostoru

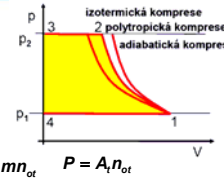
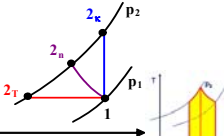
Práce kompresoru

$$A_0 = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = A_{112}$$

Příkon P [W] je funkcí $\dot{V} [m^3 \cdot s^{-1}]$ $\dot{V} = V n_{ot}$ $\dot{m} = m n_{ot}$ $P = A_1 n_{ot}$

Pro adiabatický děj $P = \frac{\kappa}{\kappa-1} p_1 \dot{V}_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]$

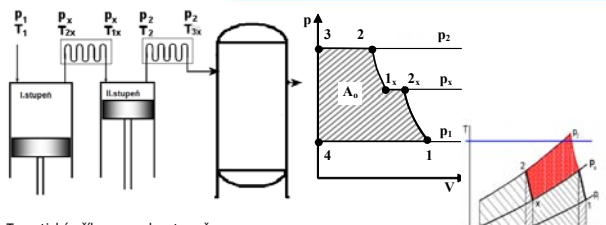
Pro polytropický děj $P = \frac{n}{n-1} p_1 \dot{V}_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

2-STUPŇOVÁ KOMPRESI

Teoretický příkon pro oba stupně

$$P = \frac{n}{n-1} \dot{m} r T_1 \left[1 - \left(\frac{p_x}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] + \frac{n}{n-1} \dot{m} r T_{1x} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_x}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$


StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Z-STUPŇOVÁ KOMPRESÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$Z = \left(\frac{p_x}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} + \left(\frac{p_2}{p_x}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Zavedeme substituci $m=(n-1)/n$, derivujeme Z dle p_x a derivaci položíme rovnou nule

$$\frac{m p_x^{m-1}}{p_1^m} - \frac{m p_2^m}{p_x^{m-1}} = 0 \Rightarrow p_x^{2m} = p_1^m p_2^m$$

$$p_x = \sqrt{p_1 p_2}$$

Optimální tlakový poměr

$$\epsilon_p = \frac{p_x}{p_1} = \frac{p_2}{p_x} = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$$

z-STUPŇOVÁ KOMPRESÍ - Tlakový poměr má být ve všech stupních stejný

$$\epsilon_p = \frac{p_x}{p_1} = \sqrt{\frac{P_{KONEČNÝ}}{P_{SACÍ}}}$$

1 ... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

CYKLY SPALOVACÍH MOTORŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zjednodušení zavedená u teoretických cyklů s ideálními plyny

- Množství a složení plynu v soustavě se nemění (uzavřená soustava)
- Cyklus probíhá s ideálními plyny, fyzikální vlastnosti (c_p, c_v, κ aj.) jsou nezávislé na teplotě
- Hoření nahrazujeme přívodem tepla z okolí
- Výfuk nahrazujeme odvodem tepla do okolí
- Jednotlivé děje nahrazujeme vratnými termodynamickými ději, komprese a expanze bývají adiabatické (nebo technické polytropy)

1 ... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Z-STUPŇOVÁ KOMPRESÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stanovení kompresního poměru

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{max} = \left(\frac{T_{2,max}}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} = \epsilon_{p,max}$$

Stanovení počtu stupňů

$$z' = \frac{\log \frac{p_2}{p_1}}{\log \epsilon_{p,max}}$$

z' zaokrouhlíme nahoru a dostaneme z

Vypočítáme skutečný kompresní poměr

$$\epsilon_p = z \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$$

Vypočítáme skutečný příkon kompresoru

$$P = \sum \dot{m} \cdot a_i = \frac{n}{n-1} \cdot p \cdot \dot{V} \cdot \left[\epsilon_p^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \cdot z$$

1 ... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

HISTORICKÝ VÝVOJ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Porovnání 90 let motorové techniky				
Ukazovatele	Motor závodní (1913)	Motor závodní (1992)	Motor závodní (2005)	Motor závodní (2005)
Typ motoru	4 válcový, 4 ventily	4 válcový, 4 ventily	4 válcový, 4 ventily	4 válcový, 4 ventily
Typ motoru	karburátor	elektronická ventilace	elektronická ventilace	elektronická ventilace
Základní otáčky (ot/min)	1100	1100	1100	1100
Základní výkon (kW)	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW)	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 1000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 2000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 3000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 4000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 5000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 6000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 7000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 8000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 9000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 10000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 11000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 12000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 13000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 14000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 15000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 16000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 17000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 18000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 19000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 20000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 21000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 22000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 23000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 24000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 25000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 26000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 27000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 28000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 29000 ot/min	100	1100	1100	1100
Max. výkon (kW) při 30000 ot/min	100	1100	1100	1100

Tlak ve válci [MPa] Průběh tlaku ve válci (P-v)

Vztáhný zdvihový objem válce V/(V₁+V₂)

1 ... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

DIAGRAM SKUTEČNÉHO KOMPRESORU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tlakové diagramy skutečných pístových kompresorů lze získat snímáním tlaku ve válci a snímáním úhlu pootočení klikové hřídele (přepočítává se na objem plynu ve válci).

1 ... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

OTTŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- 4-dobý motor 0-1-2-3-4-1-0
- 2-dobý motor 1-2-3-4-1

Zdvihový objem $V_2 = V_1 - V_2$

Kompresní objem $V_K = V_2$

Kompresní poměr $\epsilon = V_1 / V_2$

Izochorický přívod i odvod tepla

$$Q_H = mc_V (T_3 - T_2) \quad Q_C = mc_V (T_1 - T_4)$$

$$A_0 = Q_H - |Q_C| \quad \eta_i = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

$$\eta_i = 1 - \frac{mc_V (T_4 - T_1)}{mc_V (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

1 ... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energeticky připraven pro tih práci

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

OTTŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Ve vzorci pro termickou účinnost

- pokrátíme zlomek teplotou T_2
- 1. člen čitatele vynásobíme T_3/T_3

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_4/T_3 \cdot T_3/T_2 \cdot T_2/T_1}{T_3/T_2 - 1}$$

$T_2/T_2 = T_4/T_3$, viz důkaz: $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa-1} = \frac{T_4}{T_3}$ a pak lze psát

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{(T_3/T_2 - 1)}{T_3/T_2 - 1} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1}$$

$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{\kappa-1}$

$\eta_t = f(\kappa, \epsilon)$

η_t lze zvyšovat kompresním poměrem

1... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energeticky připraven pro tih práci

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

BRAYTONŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energeticky připraven pro tih práci

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

SKUTEČNÉ CYKLY SPALOVACÍCH MOTORŮ

Motor Škoda 1.4 MPI

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energeticky připraven pro tih práci

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

BRAYTONŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$Q_H = mc_p (T_3 - T_2)$
 $Q_C = mc_p (T_4 - T_1)$

Kompresní poměr $\epsilon = V_1/V_2$
 Tlakový poměr $\epsilon_p = p_2/p_1$
 Stupeň plnění $\phi = V_3/V_2$

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{mc_p (T_4 - T_1)}{mc_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{(T_4/T_1 - 1)}{(T_3/T_2 - 1)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1 - (\epsilon_p)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{\kappa-1}$$

$\eta_t = 1 - (\epsilon_p)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}$

$\eta_t = f(\kappa, \epsilon_p)$

1... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energeticky připraven pro tih práci

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

CYKLY PLYNOVÝCH TURBÍN

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Plynové turbíny se používají pro větší výkony. Rozlišujeme:

- Plynové turbíny se spalováním za konstantního tlaku nahrazované Braytonovým cyklem
George Brayton (1830 - 1892) americký strojný inženýr
- Plynové turbíny se spalováním za konstantního objemu nahrazované Humphreyovým cyklem

Mikroturbína

1... 127 128 129 130 131 132 133 134 135 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energeticky připraven pro tih práci

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

BRAYTONŮV CYKLUS - ÚČINNOST

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Typický tlakový poměr pro plynové turbíny

Tlakový poměr v praxi mezi 5 až 20, jsme omezeni maximální teplotou cca $T_{max} = 1600$ K

pro max A_0 $\epsilon_p = \left(\frac{T_{max}}{T_{min}}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-2}}$

1... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

HUMPHREYŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kompresní poměr $\varepsilon = V_1/V_2$ $Q_c = mc_p(T_1 - T_4)$ $Q_H = mc_v(T_3 - T_2)$
 Stupeň zvýšení tlaku $\Psi = p_3/p_2$

$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_H} = 1 - \frac{mc_p(T_4 - T_1)}{mc_v(T_3 - T_2)} = \dots = 1 - \frac{\kappa(\Psi^{\frac{1}{\kappa}} - 1)}{\varepsilon^{\kappa-1}(\Psi - 1)} \quad \eta_t = f(\kappa, \varepsilon, \Psi)$$

Se stejným kompresorem lze při izochorickém přívodu tepla dosáhnout vyšší teploty T_3 než u Braytonova cyklu a následně větší práci cyklu.

1 ... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

KOMPRESNÍ FAKTOR

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$Z = \frac{pV_m}{R_m T} = \frac{pv}{rT}$$

$$\lim_{p \rightarrow 0} Z = 1$$

Redukované veličiny

$$p_R = \frac{p}{p_{kr}} \quad T_R = \frac{T}{T_{kr}}$$

Kritický bod je bod na fázovém diagramu, který zakončuje křivku vyparování. Tento bod určuje **kritický stav látky**. Stavové veličiny p_{cr} , T_{cr} a V_{cr} v tomto bodě se nazývají **kritický tlak**, **kritická teplota** a **kritický objem**. Plyn, který má teplotu vyšší než je kritická teplota, nelze žádným stlačením zkapalnit.

1 ... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

POROVNÁNÍ CYKLU PLYNOVÝCH TURBÍN S CARNOTOVÝM CYKLEM

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Humphreyův cyklus** má při stejném ε větší η_t než Braytonův cyklus, ale vyžaduje složitější zařízení a prakticky se nepoužívá.
- Carnotův cyklus** má při stejných extrémních teplotách vždy největší termickou účinnost η_t .

1 ... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TERMODYNAMICKE PLOCHY PLYNŮ V SOŘADNICÍCH p-v-T

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Rovnice ideálních plynů** - neuvažují fázovou přeměnu
- Rovnice van der Waalse** - uvažují fázovou přeměnu, ale nepřesně (vyskytují se zde i záporné tlaky)
- Rovnice reálných látek** - jsou přesné (pevná fáze je hustší než kapalná)
- Rovnice pro H₂O** - jsou nejpřesnější, jelikož H₂O je nejpoužívanější (pevná fáze je řidší, než kapalná)

1 ... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IDEÁLNÍ PLYN

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zjednodušující předpoklady:

- Molekuly mají stejnou hmotnost, kulový tvar a stejný poloměr
- Objem molekul je zanedbatelný vůči celkovému objemu plynu
- Povrch molekul je dokonale hladký a molekuly jsou dokonale pružné
- Mezi srážkami na sebe molekuly silově nepůsobí (konají rovnoměrný přímočarý pohyb)
- Vnitřní energie U je pouze funkcí teploty $U=f(T)$

Reálný plyn se chová téměř jako ideální v případě dostatečně vysokých teplot a nízkých tlaků tj. model je platný přibližně pro řídké plyny za normálních termodynamických podmínek

Kompresní faktor

$$Z = \frac{pV_m}{R_m T} = \frac{pv}{rT}$$

Ideální plyn

$Z = 1$

Reálný plyn

$Z > 1$
 $Z = 1$
 $Z < 1$

1 ... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

SMĚS VZDUCHU A PALIVA A VÝFUKOVÉ PLYNY JAKO REÁLNÝ PLYN

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

```

Procedure CpCoefficient(fi,psi,y,dg,T,double,var
rp1,rp2,double,var ac,matcp);
(procedura pro výpočet koeficientu polynomu výpocitu Cp
fi .....=1)lamda (smesovací pomer)
psi ..... mol. pomer N/O vzduchu
y ..... mol. pomer H/C paliva
d ..... merna vlnkost vzduchu
gr ..... mol. pomer obsahu residuů v cervste smesi
t ..... teplota vyfukovych plynu [K]
(nutne pro bohate smesi- vliv obsahu CO)

rp1 ..... plynova konstanta cervste smesi [kJ/kg/K]
rp2 ..... plynova konstanta spalín [kJ/kg/K]
ac ..... koeficienty polynomu pro výpočet cp [kJ/kg/K ]
Function Fcp(t:double;integer):double; (výpočet merneho
tepla Cp)
Begin
T:=t/1000.0;
cp:=t*(ac[6,k]*t**ac[7,k]);
cp:=t*(ac[5,k]*cp);
cp:=t*(ac[4,k]*cp);
cp:=t*(ac[3,k]*cp);
cp:=t*(ac[2,k]*cp);
cp:=t*(ac[1,k]*cp);
Result := (ac[0,k]*cp);
End;
    
```

$r_{smesi} = 274,7 \text{ J/kgK}$ $\kappa = 1,321$
 $r_{spalin} = 289,1 \text{ J/kgK}$ $\kappa = 1,277$

1 ... 136 137 138 139 140 141 142 143 144 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro Ith práce
ZMĚNY SKUPENSTVÍ
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

plyn, pevná látka, kapalina

sublimace, desublimace, vypařování var, kapalnění, tuhnutí, tání

1 ... 143 146 147 148 149 150 151 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro Ith práce
p-T DIAGRAM
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$p_k = 22,06 \text{ MPa}$ $t_k = 373,95 \text{ }^\circ\text{C}$ $v_k = 0,003106 \text{ m}^3/\text{kg}$

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro Ith práce
OHŘEV LÁTKY PŘI KONSTANTNÍM TLAKU
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Izobarické vypařování je také izotermické

‘ Sytá kapalina
 ” Sytá pára
 Suchost páry $x = \frac{m'}{m}$
 Vlhkost páry $y = \frac{m'}{m} = \frac{m-m''}{m}$
 $y = 1 - x$

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro Ith práce
ANOMÁLIE VODY
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Roste-li teplota kapaliny, její hustota se zmenšuje
- To ovšem neplatí pro vodu při teplotě od 0°C do 4°C.**
- Tuto výjimku nazýváme **TEPLOTNÍ ANOMÁLIE VODY**
- Největší hustotu má voda o teplotě 4°C (přesně 3,98°C)
 - Ve velkých rybnících a jezerech má voda u dna tuto teplotu v zimě i v létě
 - Umožňuje proto rybám i dalším vodním živočichům přežít mrazy i horka

Rybník v létě, Rybník v zimě

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro Ith práce
 t_{23} T_{23} TEPLOTA VARU
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Teplota varu - je funkcí tlaku

Papinův hrnc

Var ve velkých nadmořských výškách

$h = 8000 \text{ m}$
 $p = p_N/3 = 34 \text{ kPa}$
 $T_{23} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiké připravovaní pro Ith práce
POUŽITÍ TABULEK A DIAGRAMŮ
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stavové rovnice par jsou složité proto se používají se **tabulky a diagramy**.

Používané parní tabulky <ul style="list-style-type: none"> Syté páry a syté kapaliny (mapují jen hodnoty 'a' a ") Přehřáté páry (mapují plochu přehřáté páry) 	Používané parní diagramy <ul style="list-style-type: none"> p-v diagram T-s diagram h-s diagram ale i p-t, p-h, T-h diagram aj.
---	---

VÝCHOZÍ VELIČINY pro konstrukci tabulek a diagramů:

- Naměřené veličiny **p-T-v** (včetně stavů syté kapaliny a syté páry)
- Naměřená závislost **$c_p = f(T, p)$** včetně t_{23}

CÍLOVÉ VELIČINY pro p-T: v, h, u, s

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

STAVOVÉ (ENERGETICKÉ) VELIČINY MOKRÉ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vychází se ze syté kapaliny (1 apostrof ') a syté páry (2 apostrofy ")

Veličiny **V, H, U, S** jsou aditivní a platí:

$$V_x = V' + V'' \quad H_x = H' + H'' \quad U_x = U' + U'' \quad S_x = S' + S''$$

$$m v_x = m' v' + m'' v'' \Rightarrow v_x = \frac{m'}{m} v' + \frac{m''}{m} v'' = (1-x)v' + x v''$$

Po úpravách platí:

$$v_x = v' + x (v'' - v')$$

$$h_x = h' + x (h'' - h')$$

$$u_x = u' + x (u'' - u')$$

$$s_x = s' + x (s'' - s')$$

Stavy mokré páry lze snadno a přesně počítat s tabulek syté kapaliny a syté páry, které nejsou rozsáhlé, jelikož mapují jen hodnoty ' a ". Používají se přitom:

- Uvedené rovnice přímek
- Interpolace v tabulkách

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 | 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

h-s DIAGRAM PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Izobary v oblasti mokré páry nejsou rovnoběžné.

V místě, kde jsou **izotermy rovnoběžné s izoentalpami**, je možné použít stavovou rovnici ideálního plynu.

Pro H₂O se v používá pouze výřez diagramu (část vlevo nahoře není užitečná), mokrá pára se počítá s tab. syté páry a kapaliny

1 ... 154 155 156 157 158 159 160 161 162 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

p-v DIAGRAM PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

x=0 dolní mezní křivka
se stavy syté kapaliny označované jedním apostrofem '

x=1 horní mezní křivka
se stavy syté páry označované dvěma apostrofy ''

Mokrá pára je směs syté kapaliny a syté páry

Izobarický var a-b je také děj izotermický

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 | 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

VODNÍ PÁRA = REALNÝ PLYN

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vodní pára je reálný plyn ve stavu blízkém zkapalnění.

1 ... 154 155 | 156 157 158 159 160 161 162 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

T-s DIAGRAM PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Izobary v oblasti mokré páry jsou rovnoběžné.

V místě, kde jsou **izotermy rovnoběžné s izoentalpami**, je možné použít stavovou rovnici ideálního plynu.

Plocha pod izobarou a-b je **měrné výparné teplo** l_{23} [J.kg⁻¹]

- mění se s teplotou
- pro T_{kr} je nulové

1 ... 145 146 147 148 149 150 151 | 152 153 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Abstrakt-energetik přípraven pro tih práce

VÝPOČTY S VODNÍ PÁROU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

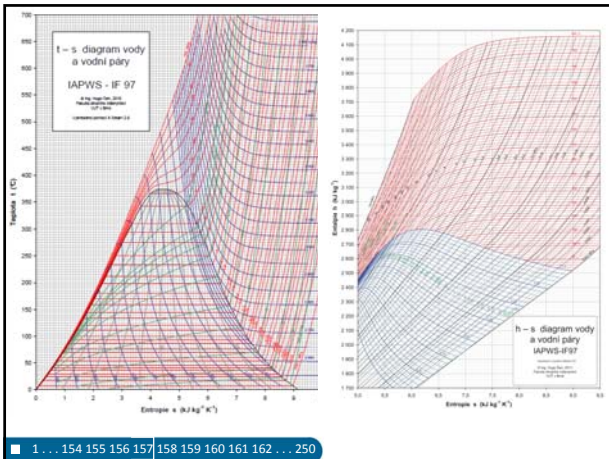
Ideální plyn:

1. Stavová rovnice
2. Vztahy mezi p, V, T
3. I. Zákon termodynamiky
4. II. Zákon termodynamiky

Vodní pára (reálný plyn):

1. Tabulky syté kapaliny a syté
2. Diagram h-s vodní páry
3. I. Zákon termodynamiky
4. II. Zákon termodynamiky
5. Definiční vztah entalpie $h = u + p \cdot v$
6. Musíme počítat v měrných veličinách: v, h, u, s, a, a_z , až výsledky přepočítáme na V, H, U, S, A, A_t

1 ... 154 155 156 | 157 158 159 160 161 162 ... 250



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOCHORICKÝ DĚJ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$a_{112} = \int_1^2 p dv = 0$

$v = \text{konst.}, dv = 0$ (tlakové nádoby, uzavřené soustavy)

$a_{112} = -\int_1^2 v dp = -v(p_2 - p_1)$

$dq = du + da = du \Rightarrow q_{12} = u_2 - u_1$

$u_1 = h_1 - p_1 v \quad u_2 = h_2 - p_2 v$

1 ... 154 155 156 157 158 159 160 161 162 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TABULKY SYTÉ KAPALINY A SYTÉ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1 ... 154 155 156 157 158 159 160 161 162 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOBARICKÝ DĚJ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$a_{112} = -\int_1^2 v dp = 0$

$p = \text{konst.}, dp = 0$ (výměníky tepla, vypařování)

$a_{112} = \int_1^2 p dv = p(v_2 - v_1)$

$dq = dh + da_i = dh \Rightarrow q_{12} = h_2 - h_1$

1 ... 154 155 156 157 158 159 160 161 162 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ŘEŠENÍ STAVŮ VODNÍ PÁRY NA POČÍTAČÍCH

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výpočtové rutiny IAPWS (jsou psané ve Fortranu - lze je přepsat do svých programů, nejsou však ošetřené vůči omylům při zadávání - počítají pak nesmyslné hodnoty)

Interaktivní grafický software (slouží k výpočtům stavů a základních termodynamických dějů vodní páry, pracuje na principu interpolace, lze jej rozšířit pro výpočty jiných látek)

1 ... 154 155 156 157 158 159 160 161 162 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetik přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOTERMICKÝ DĚJ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$T = \text{konst.}, dT = 0$

$ds = \frac{dq}{T} \Rightarrow q_{12} = \int_1^2 T ds = T(s_2 - s_1)$

$dq = di + da_i \Rightarrow a_{112} = q_{12} - (h_2 - h_1)$

$dq = du + da \Rightarrow a_{12} = q_{12} - (u_2 - u_1)$

$u_1 = h_1 - p_1 v_1 \quad u_2 = h_2 - p_2 v_2$

1 ... 154 155 156 157 158 159 160 161 162 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní energetik: přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOENTROPICKÝ DĚJ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$q_{12} = 0$

$ds = 0, dq = 0$, adiabatický děj bez tření je vratný izoentropický děj (teoretické řešení komprese, expanze)

$dq = dh + da_1 \Rightarrow a_{12} = -(h_2 - h_1)$

$dq = du + da \Rightarrow a_{12} = -(u_2 - u_1)$

$u_1 = h_1 - p_1 v_1 \quad u_2 = h_2 - p_2 v_2$

$s_1 = s_2 = s$

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní energetik: přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PARNÍ STROJ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní energetik: přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ADIABATICKÝ DĚJ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$dq_{OK} = 0, q_{TR} > 0$, adiabatický děj se třením je nevratný děj ($s_2^* > s_1$)

$a_{12}^* = h_1 - h_2^* \quad a_{12}^* = u_1 - u_2^*$

$q_{12}^* = q_{TR}$ ⇒ plocha pod křivkou 1-2*

Termodynamická účinnost expanze

$\eta_{td-Ex} = \frac{a_{12}^*}{a_{12}} = \frac{h_1 - h_2^*}{h_1 - h_2} < 1$

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní energetik: přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PAROSTROJNÍ ZAŘÍZENÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Parostrojní zařízení (parní turbína s příslušenstvím) se používá v **tepelných a jaderných elektrárnách** pro pohon **elektrického generátoru**. Jedná se o **velké stacionární turbíny** pro velké výkony, u kterých je pro nás významné i nepatrné zvýšení účinnosti. Pracovní látkou je **H₂O**.

Vlastní cyklus je principiálně **nezávislý na zdroji tepla**, kterým může být kotel na pevná (uhlí, biomasa), kapalná či plynná paliva (zemní plyn, bioplyn) nebo jaderný reaktor.

Vynalezena roku 1884 Sirem Charlesem Parsonsem

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní energetik: přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

IZOENTROPICKÝ DĚJ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$h = konst., dh = 0$ je nevratný děj, používá se pro řešení adiabatického **ŠKRCENÍ** par:

- ve ventilech při regulaci,
- v odpařovacích chladicích zřízeních

Smysl má počáteční a konečný stav.

$H_1 = H_2 \quad h_1 = h_2$

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutní energetik: přípraven pro tih práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

LAVALOVA TURBÍNA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zakladatel Švédské firmy Alfa Laval AB
<http://www.alfalaval.com/>

Gustaf de Laval
1875 - 1913

1888
30000 ot/min

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přívod pro 1 kWh práce

CARNOTŮV CYKLUS V OBLASTI MOKRÉ PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$q_H = T_H (s_1 - s_4)$
 $q_C = T_C (s_3 - s_2)$
 $\eta_t = 1 - |q_C|/q_H$
 $\eta_{tc} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$

T Turbína
 C Kondenzátor
 NČ Napájecí čerpadlo
 K Kotel
 G Generátor

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přívod pro 1 kWh práce

VLIV SNIŽOVÁNÍ TLAKU V KONDENZÁTORU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1...172 173 174 175 176 177 178 179 180...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přívod pro 1 kWh práce

RANKINEŮV-CLAUSIŮV CYKLUS S PŘEHŘEVEM PÁRY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$q_H = h_1 - h_5$ $q_C = h_4 - h_2$
 $a_T = h_1 - h_2$ $a_N = v \cdot (p_4 - p_5)$
 $\eta_t = \frac{a_T - |a_N|}{q_H} = \frac{a_O}{q_H} = \frac{(h_1 - h_2) + (h_4 - h_5)}{h_1 - h_5}$

E Ekonomizér
 K Kotel
 P Přehřívák

1 Ostrá pára 500-550 °C 13-15 MPa

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přívod pro 1 kWh práce

CHLAZENÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Chlazení lze provádět:

- Chladnější látkou v chladicích (termodynamický děj)
- Pomocí strojního chladicího zařízení kompresorového či ejetorového (tepelný cyklus)
- Pomocí absorpčního chladicího zařízení (tepelný cyklus)
- Dalšími způsoby

Cykly chladicích zařízení

Jsou obrácené, při nichž se práce spotřebovává. Jsou provozovány s chladivem, nejčastěji v oblasti par, kde se využívá teplo fázové přeměny.

Vhodná chladiva: NH₃, CO₂, R134a, 407c, 410a, 600a, (11, 12, 22) ...

1...172 173 174 175 176 177 178 179 180...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přívod pro 1 kWh práce

REÁLNÝ RANKINEŮV-CLAUSIŮV CYKLUS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

(a) Skutečný Rankinův-Clausiusův oběh zahrnující nevratnost dějů a tlakové a tepelné ztráty
 (b) Pouze nevratnost dějů v napájecím čerpadle a turbíně

1...163 164 165 166 167 168 169 170 171...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přívod pro 1 kWh práce

KOMPRESOROVÉ CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ ODPĀROVACÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

T_x je teplota ochlazované látky
 T_y je teplota okolního prostředí

Teplo se předává izobaricky (v oblasti páry)
 $dq = dh - v \cdot dp = dh$ a platí:

$q_H = h_3 - h_2$ $q_C = h_1 - h_4 = h_1 - h_3$

ϵ_{ch} - chladicí faktor ro ideální cyklus chladicího zřízení

$\epsilon_{ch} = \frac{q_C}{|q_H| - q_C} = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1}$

1...172 173 174 175 176 177 178 179 180...250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro Ith práci

KOMPRESOROVÉ TEPELNÉ ČERPADLO ODPAŘOVACÍ
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Může mít stejné uspořádání a stejný cyklus jako chladicí zařízení, ale

T_x je teplota z nízkopotenciálního zdroje
 T_y je teplota okolního prostředí

Teplu se předává izobaricky (v oblasti páry)
 $dq = dh - v \cdot dp = dh$ a platí:

$q_H = h_3 - h_2$ $q_C = h_1 - h_4 = h_1 - h_3$

ϵ_{top} - topný faktor pro ideální cyklus tepelného čerpadla

$$\epsilon_t = \frac{|q_H|}{|q_H - q_C|} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

1 ... 172 173 174 175 | 176 177 178 179 180 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro Ith práci

BEZROZMĚRNÁ RYCHLOST
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Reynoldsovo číslo

w [m·s⁻¹] rychlost
 L [m] charakteristický rozměr
 ν [m²·s⁻¹] kinematická viskozita

$$Re = \frac{w \cdot L}{\nu}$$

O. Reynolds
1842-1912

Re je bezrozměrná rychlost

a)

b)

1 ... 172 173 174 175 176 177 178 | 179 180 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro Ith práci

1-ROZMĚRNÉ ADIABATICKÉ PROUDĚNÍ
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Proudění plynů a par

- v potrubích
- ve zužujících se dýžích
- v Lavalových dýžích

vyskytujících se v lopatkových strojích apod. lze považovat za jednorozměrné. Pak nás zajímají jen **střední rychlosti** proudění v průtokových průřezech.

V této kapitole se zaměříme na proudění bez přenosu tepla, které řešíme jako **adiabatickou expanzi**.

Řešení vychází ze tří rovnic:

- Rovnice kontinuity
- Rovnice pohybové
- Rovnice energetické

1 ... 172 173 174 175 176 | 177 178 179 180 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro Ith práci

POHYBOVÁ ROVNICE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výsledná síla je dána součtem všech sil:

Síly na element

$$pS - (p + dp)(S + dS) + (p + dp/2) dS = -pS - pS - dpS - p dS - dp dS + p dS + \frac{dp dS}{2}$$

Výsledná síla je: $-S dp$

Výsledná síla způsobí zrychlení $dw/d\tau$

$$-S dp = dm \frac{dw}{d\tau} = \rho S dx \cdot \frac{dw}{d\tau}$$

Po dosazení bude:

$$-v \cdot dp = d \frac{w^2}{2}$$

Rovnice pohybová pro 1D proudění

Bernoulliho rovnice pro stlačitelné tekutiny

1 ... 172 173 174 175 176 177 178 179 | 180 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro Ith práci

ROVNICE KONTINUITY
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rozlišujeme proudění

- Laminární
- Turbulentní

Rychlostní profily v kanále

Dynamická mezní vrstva

O laminárním či turbulentním proudění rozhoduje **Reynoldsovo číslo**.

Rovnice kontinuity pro stlačitelné tekutiny

$$\dot{m} = \frac{S \cdot w}{v} = S \cdot w \cdot \rho = konst.$$

\dot{m} [kg·s⁻¹] hmotnostní tok
 w [m·s⁻¹] střední rychlost
 S [m²] průřez

1 ... 172 173 174 175 176 177 | 178 179 180 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro Ith práci

ENERGETICKÁ ROVNICE
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Proudění lze nejlépe řešit z **I. zákona termodynamiky** pro otevřenou termodynamickou soustavu

$$dq = dh + da_i = dh - v \cdot dp$$

Proudění považujeme za adiabatickou expanzi, pro kterou platí

$$0 = dh + da_i = dh - v \cdot dp$$

Rovnice energetická pro proudění má tudíž tvar

$$da_i = -dh$$

$$-v \cdot dp = -dh$$

$$-dh = d \frac{w^2}{2}$$

1 ... 172 173 174 175 176 177 178 179 180 | ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetický přípraven pro I. třídu
CELKOVÉ PARAMETRY PROUDU
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Celkové parametry proudu (klidové) jsou parametry stojící tekutiny (adiabaticky zabrzděné tekutiny). Označují se obvykle indexem „0“

Spojená pohybová a energetická rovnice má tvar $-dh = d \frac{w^2}{2}$

Po integraci bude $-(h - h_0) = \frac{w^2 - w_0^2}{2}$

Pro klidovou entalpii platí: $h_0 = h + \frac{w^2}{2}$

Pro klidovou teplotu ideálního plynu platí: $T_0 = T + \frac{w^2}{2c_p}$

Klidový tlak, měrný objem a hustotu ideálního plynu vypočteme ze vztahů:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad \frac{p}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v}\right)^\kappa \quad \rho_0 = \frac{1}{v_0}$$

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetický přípraven pro I. třídu
ZUŽUJÍCÍ SE DÝZA
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rovnici kontinuity můžeme nyní psát ve tvaru $\dot{m} = \frac{S}{v_1} \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{1}{\kappa}} \left[\frac{2\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)\right] = S \psi \sqrt{2 \frac{p_1}{v_1}}$

kde ψ je výtoková funkce, pro kterou platí $\psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}\right]} = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} [(\beta)^{\frac{2}{\kappa}} - (\beta)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}]}$

Provedeme-li 1. derivaci funkce ψ dle p/p_1 a položíme ji rovnu nule, dostaneme kritický tlakový poměr, při kterém je dosažena kritická rychlost w_K

$$\beta_K = \frac{p_K}{p_1} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetický přípraven pro I. třídu
MĚŘENÍ TEPLoty PROUDU
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$T_C = T_S + \frac{w^2}{2 \cdot c_p}$ $T_D = \frac{w^2}{2 \cdot c_p}$ $T_D = \frac{4 \cdot w^2}{2 \cdot c_p}$

$T_C = T_{S\infty} + \frac{w_\infty^2}{2 \cdot c_p}$ $T_S = T_C - 4 \cdot T_{D\infty}$

$T_C = T_i - (1 - \zeta) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot c}$

Restituční koeficient 0,8-0,95 určuje se cejchováním a závisí na zabudování a Machově čísle

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetický přípraven pro I. třídu
ZUŽUJÍCÍ SE DÝZA - IZOENTALPICKÝ SPÁD
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při proudění plynů nebo par konvergentní tryskou lze maximálně využít adiabatický spád daný rozdílem entalpií mezi body 1 a K (dosáhne rychlosti w_K) a zbytek neužitečného adiabatického spádu se ztratí volnou expanzí plynu do okolí za ústím trysky.

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetický přípraven pro I. třídu
ZUŽUJÍCÍ SE DÝZA
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Spojená pohybová a energetická rovnice má tvar $da_i = -dh = d \frac{w^2}{2}$

Po integraci od průřezu S_1 do průřezu S bude $h_1 - h = \frac{w^2 - w_1^2}{2} \Rightarrow w = \sqrt{2(h_1 - h) + w_1^2}$

Pro $w_1 = 0$ a adiabatický děj ideálního plynu je $w = \sqrt{2(h_1 - h)} = \sqrt{2a_1} = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]}$

Rychlost w dosadíme do rovnice kontinuity a dostaneme $\dot{m} = \frac{S}{v} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]}$ Do rovnice zavedeme a dostaneme ... $v = v_1 \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetický přípraven pro I. třídu
RYCHLOST ZVUKU
 evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Lze dokázat, že kritická rychlost w_K je rychlost zvuku a . $a = \sqrt{\kappa p v}$

Kritickou rychlost dostaneme pro kritický tlakový poměr $w_K = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_K}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]}$ kde $\beta_K = \frac{p_K}{p_1} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$

Dále převedeme parametry $p_1 v_1$ na $p_K v_K$ v místě w_K

$$p_1 v_1^\kappa = p_K v_K^\kappa \Rightarrow p_1 v_1 = p_K v_K \left(\frac{v_K}{v_1}\right)^{\kappa-1} \quad \text{kde} \quad \frac{v_K}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_K}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

$$p_1 v_1 = p_K v_K \left(\frac{p_1}{p_K}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = p_K v_K \frac{\kappa+1}{2}$$

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

KRITICKÁ RYCHLOST

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Pro $p_2 = p_1$, $p_2/p_1 = 1$, $w_2 = 0$
- Pro $p_k < p_2 < p_1$ (oblast I) $p_2/p_1 < p_2/p_1 < 1$, w_2 roste
- Pro $p_2 = p_k$, $p_2/p_1 = p_k/p_1$, $w_2 = w_k$
- Pro $p_2 < p_k$ (oblast II) $p_2/p_1 < p_k/p_1$, $w_2 = w_k$ čárkovaná čára

κ β_k
1,3 0,5457
1,4 0,5283
1,66 0,4881

V oblasti I je proudění podkritické
V oblasti II je proudění kritické (tekutina proudí na výstupu z dýzy rychlostí zvuku, signály se šíří též rychlostí zvuku, a_1 je ztrátová práce)

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

VÝPOČET LAVALOVY DÝZY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Kontrola nutnosti Lavalovy dýzy:
- Rychlosti:

$$w_k = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}$$

$$w_2 = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}$$
- Pára $w_k = \sqrt{2(h_1 - h_k)}$, $w_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$
- Objemy:

$$V_k = V_1 \left(\frac{p_1}{p_k} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$
- Pára Z diagramu / tabulek
- Průřezy: $\dot{m} = S_k w_k / V_k = S_2 w_2 / V_2$

Délka: $L = \frac{D_2 - D_k}{2 \cdot \tan \beta}$

1 ... 190 191 192 193 194 195 196 197 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

RYCHLOST ZVUKU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při relativním pohybu tělesa vůči tekutině nadzvukovou rychlostí w vznikají rázové vlny.
Čelo rázové vlny se šíří ve volném prostoru rychlostí zvuku a

MACHOVO ČÍSLO $Ma = \frac{w}{a}$

$Mach = \frac{\text{Rychlost objektu}}{\text{Rychlost zvuku}}$

$a = \sqrt{\kappa \cdot p \cdot v} = \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T}$

Prof. Dr. ERNST MACH
* 18. 2. 1838
Brno-Chřtice, ČR
† 9. 2. 1916
Harr, Německo

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

CHOVÁNÍ LAVALOVY DÝZY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Závěr pro fyzikální úvahy $\frac{dS}{S} = \frac{1 - Ma^2}{\kappa Ma^2} \frac{dp}{p}$
 $\frac{dw}{w} = \frac{v dp}{w^2}$

	$dS < 0$	$dS > 0$
$Ma < 1$	$dp < 0$	$dp > 0$
$w < a$	$dw > 0$	$dw < 0$
$Ma > 1$	$dp > 0$	$dp < 0$
$w > a$	$dw < 0$	$dw > 0$

1 ... 190 191 192 193 194 195 196 197 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

VÝPOČET ŽUŽIJÍCÍ SE DÝZY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Stanovení režimu proudění:
Pro $\beta = p_2/p_1 > \beta_k = p_k/p_1$ je podkritické proudění
Pro $\beta = p_2/p_1 < \beta_k = p_k/p_1$ je kritické proudění
- Výpočet w_2 : Pro ideální plyn

$$w_2 = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}$$

$$w_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$$
- Výpočet V_2 : Pro ideální plyn

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

$$V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_k} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$
- Výpočet \dot{m} : $\dot{m} = S_2 w_2 / V_2$

1 ... 181 182 183 184 185 186 187 188 189 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický příspěvek pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

CFD - APLIKACE - EXPERIMENTY

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1 ... 190 191 192 193 194 195 196 197 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro 10h práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PŘENOS TEPLA – SAMOSTATNÁ DISCIPLÍNA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Podobný rozdíl jako v mechanice mezi dynamikou a kinematikou.

Znamé pojmy: **TEPLO Q [J]** $Q = \dot{Q} \cdot \tau = \dot{q} \cdot S \cdot \tau$

Nové pojmy: **MĚRNÉ TEPLQ q [J.kg⁻¹]**
TEPELNÝ TOK Q̇ [W]
HUSTOTA TEPELNÉHO TOKU q̇ [W.m⁻²]

1 ... 190 191 192 193 | 194 195 196 197 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro 10h práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TEPELNÝ TOK VEDENÍM

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelný tok při přenosu tepla vedením je definován **FOURIEROVÝM ZÁKONEM**

Vektor **grad T** je dán vztahem

$$\text{grad } T = \vec{n} \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \quad |\text{grad } T| = \frac{\partial T}{\partial n}$$

n̄ [m] jednotkový vektor normály k izotermické ploše (směřující do míst s vyššími teplotami)

S [m²] izotermická plocha kolmá k tepelnému toku

λ [W.m⁻¹.K⁻¹] součinitel tepelné vodivosti (lze najít pro různé látky v tabulkách)

λ je konstanta pro ideální plyny
pro pevné látky a kapaliny
λ = f(T, p) pro reálné plyny (kapaliny při $\hat{T}p$)

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \text{grad } T$$

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T$$

1 ... 190 191 192 193 | 194 195 196 197 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro 10h práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TŘI ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- PŘENOS TEPLA VEDENÍM (KONDUKČÍ):** Kinetická energie neuspořádaného pohybu molekul se předává srážkami na sousední molekuly, a tak se přenáší tepelná energie. Vedení je v **pevných látkách**, ale i v kapalinách a plynech (především při vyloučení proudění). Přenos tepla vedením zvyšují volné elektrony (ionty v tekutinách).
- PŘENOS TEPLA KONVEKČÍ (PROUDĚNÍM):** Přemístěním molekul v prostoru v důsledku **nuceného či přirozeného proudění** se přenáší i jejich tepelná energie. Přenos tepla konvekcí tudíž probíhá v **tekutinách** (difúze v pevných látkách).
- PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM (RADIACÍ, SÁLÁNÍM):** Každý objekt s $T > 0$ K vyzářuje fotony, které jsou nositeli energie včetně tepelné. Fotony se šíří v **průhledném prostředí** rychlostí světla.

1 ... 190 191 192 193 | 194 195 196 197 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro 10h práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Součinitel tepelné vodivosti plynů $\lambda = 0$ až $0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Součinitel tepelné vodivosti kapalín $\lambda = 0$ až $1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Tekuté kovy až 100x větší

Součinitel tepelné vodivosti pevných látek $\lambda = 0$ až $400 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Čisté krystaly až 10 000
Elektrické vodiče mají λ větší

1 ... 190 191 192 193 | 194 195 196 197 | 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro 10h práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ZÁVISLOST V ČASE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rozlišujeme přenos tepla **STACIONÁRNÍ** a **NESTACIONÁRNÍ**

1 ... 190 191 192 193 | 194 195 196 197 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro 10h práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1 ... 190 191 192 193 | 194 195 196 197 | 198 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívod pro 1 m³ práce

DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE VEDENÍ TEPLA

EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND V ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

KARTÉZSKÝ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM

Teplota [J] do elementu přivedené $dQ_x + dQ_y + dQ_z$

Teplota [J] z elementu odvedené $dQ_x \cdot dx + dQ_y \cdot dy + dQ_z \cdot dz$

kde $dQ_x = \left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) \cdot (dy \cdot dz) \cdot dt$

$dQ_{x+dx} = dQ_x + \frac{\partial}{\partial x}(dQ_x) dx$

Teplota [J], které zůstane v elementu v důsledku vedení ve směru x $dQ_x - dQ_{x+dx} = -\frac{\partial}{\partial x}(dQ_x) dx = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) dx dy dz dt$

1 ... 199 200 201 202 203 204 205 206 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívod pro 1 m³ práce

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND V ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

• 3. druhu, Newtonova - Určuje rozložení součinitelů přestupu tepla na povrchu tělesa v čase. Často bývá $\alpha = konst.$

$\alpha = f(x_w, y_w, z_w, \tau)$

Rozdíly mezi OP 2. druhu a 3. druhu

- U podmínky 2. druhu $\dot{q}_w = konst.$ má čárkovaná tečna stále stejný sklon
- U podmínky 3. druhu $\alpha = konst.$ prochází čárkovaná tečna řídicím bodem R, viz důkaz:

$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_w = \alpha (T_w - T_\infty)$

$-\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_w = \frac{T_w - T_\infty}{\lambda/\alpha}$

1 ... 199 200 201 202 203 204 205 206 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívod pro 1 m³ práce

DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE VEDENÍ TEPLA

EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND V ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

I. zákon termodynamiky $dQ = dU + dA = dU + 0 \Rightarrow dQ = dU$

$dQ_y + dQ_z = dU$

Po dosažení za dQ_y, dQ_z, dU a pokrácení $dx, dy, dz, d\tau$ bude $\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right) + Q^* = c \cdot \rho \cdot \frac{dT}{dt}$

kde $\lambda = f(x, y, z, T)$ $c = f(x, y, z, T)$ $\rho = f(x, y, z, T)$

Pro izotropní látky jsou λ, c, ρ konstantní a dostaneme

OBECCNOU DR VEDENÍ TEPLA - I. zákon termodynamiky

$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{Q^*}{c \cdot \rho}$ Platí pro homogenní tuhé látky s vnitřními zdroji (i tekutiny)

$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$

a [m²s⁻¹] je teplotová vodivost a platí definice

1 ... 199 200 201 202 203 204 205 206 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívod pro 1 m³ práce

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND V ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

• OP 4. druhu - Ve styku dvou těles

a) Dokonalý styk těles $-\lambda_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial y}\right)_w = -\lambda_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial y}\right)_w$

b) Nedokonalý styk těles $\dot{q}_w = \frac{1}{R_K} (T_{w1} - T_{w2})$

R_K [m².K.W⁻¹] kontaktní tepelný odpor

Závisí na drsnosti, materiálu, tlaku mezi tělesy a druhu plynu v kontaktu.

R_K bývá tabelován

• OP 5. druhu - S fázovou přeměnou látky na povrchu

1 ... 199 200 201 202 203 204 205 206 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívod pro 1 m³ práce

POČÁTEČNÍ A OKRAJOVÉ PODMÍNKY

EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND V ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Řešením DR přímých úloh je rozložení teplot v prostoru a čase za pomoci počátečních (u nestacionárních úloh) a okrajových podmínek.
- Řešením DR nepřímých úloh je určení okrajových podmínek (OP) ze známého rozložení teplot v různých časových úrovních.

POČÁTEČNÍ PODMÍNKY

Určuje rozložení teplot na počátku děje pro $\tau = 0$. $T(x, y, z, \tau = 0) = f(x, y, z)$

Často je $T_0 = konst.$

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

- 1. druhu, Dirichletova - Určuje rozložení teplot na povrchu tělesa (index w), a to v čase. Často je $T_w = konst.$ $T_w = f(x_w, y_w, z_w, \tau)$
- 2. druhu, Neumannova - Určuje rozložení hustot tepelného toku na povrchu tělesa v čase. Často je $\dot{q}_w = konst.$ $\dot{q}_w = f(x_w, y_w, z_w, \tau)$

1 ... 199 200 201 202 203 204 205 206 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně energetický přívod pro 1 m³ práce

STACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA ROVINNOU STĚNOU NEBO TYČÍ

EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND V ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vydáme z diferenciální rovnice vedení tepla $\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)$

Pro stacionární 1-D vedení teplat: $\frac{d^2 T}{dx^2} = 0$

Řešení této DR je přímka $T = a_0 + a_1 x$

kde konstanty a_0, a_1 získáme z okr. pod.

$x = 0 \Rightarrow T = T_{w1}$

$x = \delta \Rightarrow T = T_{w2}$

Pro okrajové podmínky 1. druhu $T = T_{w1} + \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta} x$

dostaneme teplotní profil ve tvaru

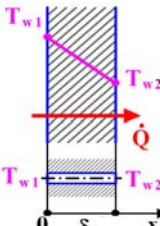
1 ... 199 200 201 202 203 204 205 206 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik-připraven-pro-10h-prace

STACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA ROVINNOU STĚNOU NEBO TYČÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Derivací uvedeného teplotního profilu dle souřadnice x dostaneme



$$T = T_{w1} + \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta} x \Rightarrow \frac{dT}{dx} = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta}$$

Pro tepelný tok platí

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta} \quad \dot{q} = -\lambda \cdot \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta}$$

Kratší odvození tepelného toku lze provést přímo z Fourierova zákona, kam dosadíme za dT a dx a dostaneme:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{T_{w2} - T_{w1}}{x_2 - x_1} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta}$$

Při tomto kratším odvození tepelného toku nezískáme bezprostředně informaci, že teplotní profil je přímka.

1...199 200 201 202 203 204 205 | 206 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik-připraven-pro-10h-prace

ANALOGIE PŘI ŘEŠENÍ DR VEDENÍ TEPLA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Mezi veličinami tepelnými a elektrickými existuje analogie, která nám můžeme pomoci při řešení úloh vedení tepla.

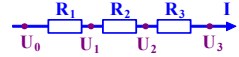
Pro vedení tepla platí Fourierův zákon $\dot{q} = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\delta}$

Pro elektrické obvody platí Ohmův zákon $I = \frac{U}{R}$

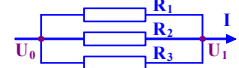
Je zřejmé, že:

- Elektrický proud je analogický hustotě tepelného toku
- Napětí či rozdíl napětí je analogický rozdílu teplot
- Elektrický odpor R je analogický tepelnému odporu $R_\lambda = \delta / \lambda$

Zapojení sériové



Zapojení paralelní



Poznátky z řešení elektrických obvodů můžeme využít při řešení složitějších úloh vedení tepla, a to skládáním jednodušších exaktních řešení DR

1...208 209 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik-připraven-pro-10h-prace

STACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA VÁLCOVOU STĚNOU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Konstanty a_0, a_1 logaritmického teplotního profilu získáme z OP.

Pro OP 1. druhu $r = r_1 \Rightarrow T_{w1} = a_0 + a_1 \ln r_1$
 platí: $r = r_2 \Rightarrow T_{w2} = a_0 + a_1 \ln r_2$

Po výpočtu konstant a_0, a_1 bude mít teplotní profil tvar

$$T = T_{w1} - \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\ln(r_2/r_1)} \ln r_1 + \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\ln(r_2/r_1)} \ln r$$

Derivace teplotního profilu dle r bude

$$\frac{dT}{dr} = \frac{1}{r} \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\ln(r_2/r_1)}$$

Pro tepelný tok platí

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot \frac{T_{w2} - T_{w1}}{r \ln(r_2/r_1)}$$

a po úpravách

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot L \cdot (T_{w1} - T_{w2})}{\ln(r_2/r_1)}$$

1...199 200 201 202 203 204 205 206 | 207 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik-připraven-pro-10h-prace

STACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA SLOŽENOU ROVINNOU STĚNOU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Hustota tepelného toku jednoduchou rovinnou stěnou je dána vztahem

$$\dot{q} = \frac{T_{w1} - T_{w2}}{\delta_1} = \frac{T_{w1} - T_{w2}}{R_{\lambda 1}}$$

Hustota tepelného toku složenou rovinnou stěnou s n vrstvami (tepelné odpory jsou řazeny sériově) je dána vztahem

$$\dot{q} = \frac{T_{w1} - T_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{T_{w1} - T_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^n R_{\lambda i}}$$

Tepelný odpor při vedení rovinnou stěnou $R_{\lambda i}$ [K.m².W⁻¹] je dán vztahem

$$R_{\lambda i} = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

1...208 209 | 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik-připraven-pro-10h-prace

STACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA VÁLCOVOU STĚNOU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Hustota tepelného toku je na vnitřním a vnějším povrchu trubky různá (viz obrázky), a proto definujeme

tepelný tok na 1 m délky trubky \dot{q}_L [W.m⁻¹]

$$\dot{q}_L = \frac{\dot{Q}}{L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (T_{w1} - T_{w2})}{\ln(r_2/r_1)}$$

Kratší odvození tepelného toku lze provést přímo z Fourierova zákona

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S(r) \cdot \frac{dT}{dr} = -\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot \frac{dT}{dr}$$

DR řešíme separací proměnných a dostaneme:

$$\int \dot{Q} \frac{dr}{r} = -\int \lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot dT \Rightarrow \dot{Q} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} = -\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_{w2} - T_{w1})$$

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot L \cdot (T_{w1} - T_{w2})}{\ln(r_2/r_1)}$$

Při tomto odvození nezískáme informaci o tvaru teplotního profilu.

1...199 200 201 202 203 204 205 206 207 | ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik-připraven-pro-10h-prace

STACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA SLOŽENOU VÁLCOVOU STĚNOU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelný tok jednoduchou válcovou stěnou na 1 m délky potrubí je dán vztahem

$$\dot{Q}_L = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1 \cdot (T_{w1} - T_{w2})}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{T_{w1} - T_{w2}}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Tepelný tok složenou válcovou stěnou na 1 m délky potrubí (tepelné odpory jsou řazeny sériově) je dán vztahem

$$\dot{Q}_L = \frac{T_{w1} - T_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} = \frac{T_{w1} - T_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^n R_{\lambda i}}$$

Tepelný odpor při vedení válcovou stěnou $R_{\lambda i}$ [K.m.W⁻¹] je dán vztahem

$$R_{\lambda i} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}$$

1...208 209 210 | 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ZÁKLADNÍ TYPY KONVEKCE

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Nucenou - vyvozenou ventilátorem, kompresorem, větrem, čerpadlem
Přirozenou - vyvozenou rozdílem hustot (v důsledku rozdílu teplot...)

α

Proudění - konvekce

```

    graph TD
      A[Proudění - konvekce] --> B[bez změny skupenství]
      A --> C[se změnou skupenství]
      B --> D[přirozená konvekce]
      B --> E[nucená konvekce]
      C --> F[kondenzace]
      C --> G[var]
    
```

1 ... 208 209 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

VÝZNAM PODOBNOSTI

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1 ... 208 209 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TEPELNÝ TOK PŘI PŘENOSU TEPLA KONVEKČÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

V potrubí (viz 1. zákon termodynamiky)

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p (T_{tek} - T_{ref})$$

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p (T_{tek} - T_{ref})$$

$$\dot{Q} = w \cdot S \cdot \rho \cdot c_p (T_{tek} - T_{ref})$$

Tok entalpie koridorem s pevnými hranicemi

Ve volném proudě v prostoru
Volné hranice a míšení tekutiny

V obecném proudě v prostoru
Složitě prostorové proudění

1 ... 208 209 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PODOBNOST PŘI NUCENÉ KONVEKCI

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Upravená rovnice pro dílo podělená rovnicí pro model má tvar

$$c_a c_T = c_l \frac{c_T}{c_l} \Rightarrow \frac{c_a c_L}{c_l} = 1$$

Po dosažení za měřítka dostaneme

$$\frac{\alpha_D L_D}{\lambda_D} = 1 \Rightarrow \frac{\alpha_D L_D}{\lambda_D} = \frac{\alpha_M L_M}{\lambda_M}$$

Podobný přestup tepla je pro $\alpha L / \lambda$ stejný na modelu i díle. Tento podíl je označován jako **Nusseltovo číslo**

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}$$

α [W.m⁻².K⁻¹] součinitel přestupu tepla
 L [m] charakteristický rozměr
 λ [W.m⁻¹.K⁻¹] tepelná vodivost tekutiny

Zjednodušené odvození Nusseltova čísla z DR přestupu tepla

$$\alpha \cdot (T_w - T_\infty) = -\lambda \cdot \left(\frac{dT}{dy} \right)_w$$

W. Nusselt 1882-1957
Nu je bezrozměrné vyjádření α

1 ... 208 209 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

TEPELNÝ TOK PŘI PŘESTUPU TEPLA MEZI PLOCHOU A TEKUTINOU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Budeme se zabývat hlavně přestupem tepla, který je dán **Newtonovým vztahem**

$$\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot (T_w - T_\infty) \quad \dot{q} = \alpha \cdot (T_w - T_\infty)$$

S [m²] plocha obtékaného povrchu
 α [W.m⁻².K⁻¹] součinitel přestupu tepla
 T_w [K] teplota povrchu
 T_∞ [K] teplota tekutiny

Součinitel přestupu tepla závisí na vlastnostech tekutiny, na tvaru obtékaného povrchu, na konkrétním místě na povrchu a především na **rychlosti proudění**

Nehledá se v tabulkách

Přirozená konvekce
Plyny $\alpha = 2 - 25 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
Kapaliny $\alpha = 50 - 1.000 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Konvekce s fázovou přeměnou $\alpha = 2.500 - 100.000 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

1 ... 208 209 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
Absolutně-energetický přístup pro I+D+O

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PODOBNOST PŘI NUCENÉ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PODOBNOSTNÍ ČÍSLO Z DR ENERGETICKÉ

$$w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

Z levé strany rovnice a z pravé strany rovnice dostaneme **Pecletovo číslo**

$$Pe = \frac{w \cdot L}{a}$$

w [m.s⁻¹] rychlost
 L [m] charakteristický rozměr
 a [m².s⁻¹] teplotová vodivost

Pe je poměrem přenosu tepla prouděním a vedením při konvekci

Výsledky řešení DR nebo experimentů se vyjadřují prostřednictvím KRITÉRIÁLNÍCH ROVNIC

$$Nu = f(Re, Eu, Pe, X, Y, Z)$$

Obecná kritériální rovnice pro nucenou konvekci
jsou bezrozměrné souřadnice
 $X = x/L$ $Y = y/L$ $Z = z/L$

Rychlost je obsažena v Re a Pe, a proto je vhodné jedno z těchto kritérií vyloučit. Platí:

$$Pe = \frac{w \cdot L}{a} = \frac{w \cdot L}{v} \cdot \frac{v}{a} = Re \cdot Pr$$

1 ... 208 209 210 211 212 213 214 215 216 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik připravil pro tih práce

PODOBNOST PŘI NUCENÉ KONVEKCI
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Je zřejmé, že Reynoldsovo číslo a Pecletovo číslo jsou navzájem vázány, tzv. **Prandtlovým číslem**

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$


ν [m²s⁻¹] kinematická viskozita
 a [m²s⁻¹] teplotová vodivost

Pr je fyzikální vlastnost, jelikož je funkcí jen fyzikálních vlastností a lze jej nalézt v tabulkách.

- Pro plyny $Pr \sim 1$, $Pr_{VZDUCHU} = 0,72$
- Pro kapaliny $Pr > 1$
- Pro tekuté kovy $Pr \ll 1$

Pozn.: Při laminárním režimu proudění přibližně platí $\delta/\delta_p \approx \sqrt{Pr}$ takže pro $Pr = 1$ je tloušťka dynamické δ a tepelné mezni vrstvy δ_p stejná $w = f(Ap)$, $Ap = f(w)$ z dalších úvah lze vynechat Eulerovo číslo, jelikož $Eu = f(Re)$

L. Prandtl
 1875-1953



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik připravil pro tih práce

PODOBNOST PŘI PŘIROZENÉ KONVEKCI
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zrychlení od vztakové síly dosadíme do DR pohybové a dostaneme

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g\gamma \Delta T$$

Z levé strany rovnice pohybové a z posledního členu vpravo dostaneme

$$Ar = \frac{g\gamma \Delta T L}{w^2}$$

Archimédovo číslo
 Při přirozené konvekcii nelze využívat rychlost proudění (je velice malá), proto je třeba Ar vynásobit Re^2 , které je rovněž obsaženo v DR pohybové


$$Ar \cdot Re^2 = \frac{g\gamma \Delta T L}{w^2} \cdot \frac{w^2 L^2}{\nu^2}$$

Výsledkem je **Grashofovo číslo** (F. Grashof 1826-1893)

$$Gr = \frac{g\gamma (T_w - T_\infty) L^3}{\nu^2}$$

Ar vyjadřuje poměr sil vztakových a setrvačných
Gr vyjadřuje vztah vztakových, třecích a setrvačných sil

Archimédes
 287-212 př.n.l.



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik připravil pro tih práce

PODOBNOST PŘI NUCENÉ KONVEKCI
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kriteriální rovnice pro nucenou konvekcii je:

$$Nu = f(Re, Pr, X, Y, Z)$$

Kriteriální rovnice pro nucenou konvekcii v podobné geometrické konfiguraci má tvar

$$Nu = f(Re, Pr)$$

Kriteriální rovnici vyjadřujeme často pomocí mocninné funkce

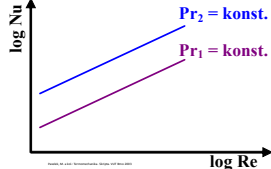
$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$$

Pro stejnou tekutinu pak platí

$$Nu = C \cdot Re^m$$

Konstanty C, m, n (nebo také konstanty pro jiný typ funkce) jsou výsledkem řešení DR nebo předmětem experimentálního výzkumu a lze je obvykle nalézt pro konkrétní geometrické útvary v literatuře.

- Pro laminární proudění $m = 0,5$
- Pro turbulentní proudění $m = 0,8$



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik připravil pro tih práce

PODOBNOST PŘI PŘIROZENÉ KONVEKCI
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obecná kriteriální rovnice pro přirozenou konvekcii má tvar

$$Nu = f(Re, Eu, Pe, Gr, X, Y, Z)$$

- po nahrazení Pe čísla Re a Pr ($Pe = Re \cdot Pr$),
- po vynechání Eu čísla, které je funkce Re ,
- po vynechání bezrozměrných souřadnic při řešení podobné geometrické konfigurace,
- a po vynechání Re čísla, které je funkcí Gr čísla (rychlost proudění je funkcí teplotního rozdílu)

dostaneme kriteriální rovnici pro přirozenou konvekcii ve tvaru:


$$Nu = f(Gr, Pr) \text{ často platí } Nu = C \cdot Gr^m \cdot Pr^n$$

Pro stejnou tekutinu lze psát

$$Nu = f(Ra) \text{ kde } Ra \text{ je tzv. Rayleighovo číslo } Ra = Gr \cdot Pr$$

Pozn.: Konstanty C, m, n lze obvykle pro konkrétní geometrické útvary nalézt v literatuře.

J.W.S. Rayleigh
 1842-1919



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik připravil pro tih práce

PODOBNOST PŘI PŘIROZENÉ KONVEKCI
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při přirozené konvekcii jsou DR přestupu tepla, energetická a kontinuity stejné. Do DR pohybové je třeba definovat **zrychlení od vztakových sil**.

Pro vztakovou sílu na jednotku objemu G [N.m⁻³] lze psát

$$G = -(\rho - \rho_\infty) g = -\rho_\infty \left(\frac{\rho}{\rho_\infty} - 1 \right) g$$

Pro izobarický děj ideálního plynu platí $\rho_\infty = p / (rT_\infty)$, $\rho = p / (rT)$ a pak bude

$$G = -\rho_\infty \left(\frac{T_\infty}{T} - 1 \right) g = \rho_\infty \frac{1}{T} (T - T_\infty) g$$

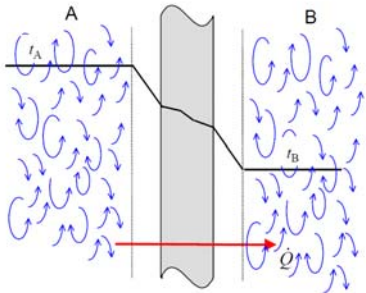
kde $1/T = \gamma$ [K⁻¹] je objemová roztažnost

$$\frac{G}{\rho_\infty} = g \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Pro zrychlení G [N.m⁻³] / ρ_∞ [kg.m⁻³] od vztakové síly platí vztah

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetik připravil pro tih práce

PROSTUP TEPLA
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro Ith práce

STACIONÁRNÍ PROSTUP TEPLA SLOŽENOU ROVINNOU STĚNOU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odvození tepelného odporu $R_{\alpha H}$ [$K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$] při konvekci na rovinné stěně z Newtonova vztahu

$$\dot{q} = \alpha_H (T_H - T_{w1}) \quad R_{\alpha H} = \frac{1}{\alpha_H}$$

Hustota tepelného toku při prostupu tepla složenou rovinnou stěnou je dána vztahem

$$\dot{q} = \frac{T_H - T_C}{\frac{1}{\alpha_H} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_C}} = \frac{T_H - T_C}{R_{\alpha H} + \sum_{i=1}^n R_{N_i} + R_{\alpha C}}$$

Můžeme psát

$$\dot{q} = u \cdot (T_H - T_C) \quad u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_H} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_C}}$$

kde u [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] je součinitel prostupu tepla rovinnou stěnou (používá se i značení k)

1 ... 217 218 219 220 221 222 223 224 225 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro Ith práce

ZÁKLADNÍ PROBLÉMY TEPELNÝCH VÝMĚNIKŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelný tok je přenášen tzv. **prostupem tepla** což představuje:

- Přestup tepla konvekci z horké tekutiny H do stěny
- Vedení tepla ve stěně (někdy i složené)
- Přestup tepla konvekci ze stěny do chladnější tekutiny C

Tepelný tok přenášený ve výměníku je dán vztahem

$$\dot{Q} = u \cdot S \cdot \Delta T_s$$

S [m^2] plocha výměníků (měla by být co nejmenší)

u [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] součinitel prostupu tepla

ΔT_s [K] střední teplotní spád (mění se podél plochy výměníku)

Pro výpočet tepelného toku nebo pro návrh plochy výměníku tepla je třeba stanovit **součinitel prostupu tepla u a střední teplotní spád ΔT_s**

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro Ith práce

STACIONÁRNÍ PROSTUP TEPLA SLOŽENOU VÁLCOVOU STĚNOU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odvození tepelného odporu $R_{\alpha C}$ [$K \cdot m \cdot W^{-1}$] při konvekci na válcové stěně z Newtonova vztahu

$$\dot{Q}_L = 2\pi r_{n+1} \alpha_C (T_{w,n+1} - T_C) \quad R_{\alpha C} = \frac{1}{2\pi r_{n+1} \alpha_C}$$

Tepelný tok na 1 m délky potrubí při prostupu tepla složenou válcovou stěnou popisuje vztah

$$\dot{Q}_L = \frac{2\pi (T_H - T_C)}{\frac{1}{r_1 \alpha_H} + \frac{1}{r_{n+1} \alpha_C} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} = \frac{T_H - T_C}{R_{\alpha H} + R_{\alpha C} + \sum_{i=1}^n R_{N_i}}$$

Lze psát:

$$\dot{Q}_L = u_L \cdot (T_H - T_C) \quad u_L = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1 \alpha_H} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{r_{n+1} \alpha_C}}$$

kde u_L [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] je součinitel prostupu tepla válcovou stěnou

1 ... 217 218 219 220 221 222 223 224 225 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro Ith práce

STŘEDNÍ TEPELOTNÍ SPÁD

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výměník souprůdný

Výměník protiprůdný

Tepelný tok uvolněný z teplejší tekutiny $d\dot{Q}_H = \dot{m}_H c_H dT_H$ vždy $dT_H < 0$

Tepelný tok dodaný chladnější tekutině $d\dot{Q}_C = \dot{m}_C c_C dT_C$ vždy $dT_C > 0$ pro protiproud, $dT_C < 0$ pro souprůdný

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro Ith práce

TYPY TEPELNÝCH VÝMĚNIKŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelné výměníky slouží k přenosu tepla mezi dvěma tekutinami, které bývají oddělené stěnou.

Použití tepelných výměníků:

- V elektrárnách a chemických
- V oblasti vytápění a chlazení
- V automobilech, letadlech ...

DĚLENÍ TEPELNÝCH VÝMĚNIKŮ

Dle charakteru proudění:

- Výměníky souprůdné
- Výměníky protiprůdné
- Výměníky s příčným proudem

Dle konstrukce:

- Výměníky plášťové (svazky trubek uvnitř pláště)
- Výměníky kompaktní (žebrované pro kapalina-plyn, plyn-plyn)
- A jiné

1 ... 217 218 219 220 221 222 223 224 225 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický příspěvek pro Ith práce

STŘEDNÍ LOGARITMICKÝ TEPELOTNÍ SPÁD

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výměník souprůdný

Výměník protiprůdný

Tepelný tok platí: $\dot{Q} = u \cdot S \cdot \Delta T_s$

kde **střední logaritmický teplotní spád** je dán vztahem:

$$\Delta T_s = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přístup pro I+D práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

POSTUP VÝPOČTU VÝMĚNÍKŮ TEPLA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Určení α_H, α_C např. z teorie podobnosti
- Určení λ a tloušťky stěny
- Výpočet součinitele prostupu tepla u
- Návrh teplot tekutin pro daný průtok tekutin
- Stanovení středního logaritmičského teplotního spádu ΔT_s
- Určení teplosměnné plochy výměníku S
- Návrh se řeší iteračně, předpoklady je třeba upřesňovat.

VIZUALIZACE PROUDĚNÍ V PLÁŠŤOVÝCH VÝMĚNÍCÍCH TEPLA

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přístup pro I+D práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

I. KIRCHHOFFŮV ZÁKON

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při dopadu zářivého toku na povrch může dojít k odrazu, pohlcení, nebo také k průchodu zářivého toku objektem. Pro energetickou bilanci platí

$$\dot{Q} = \dot{Q}_A + \dot{Q}_R + \dot{Q}_D$$

Úpravou dostaneme

$$1 = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}} + \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}} + \frac{\dot{Q}_D}{\dot{Q}}$$

I. KIRCHHOFFŮV ZÁKON má tvar

$$A + R + D = 1$$

Jedná se o zákon zachování energie, kde značí:

- A poměrnou pohltivost, $A = 1$ je dokonale černé těleso
- R poměrnou odrazivost, $R = 1$ je dokonale bílé těleso
- D poměrnou průteplivost, $D = 1$ je dokonale průteplivé těleso

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přístup pro I+D práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

ŠÍŘENÍ ZÁŘENÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Každý objekt je zdrojem **elektromagnetického záření**, které má vlnový charakter. Dle vlnové délky λ [m] rozlišujeme různé **typy záření**.

Pokud se většina zářivého toku přemění při dopadu na jiný objekt na tepelný tok, hovoříme o **tepelném záření**. To platí pro záření objektů o běžných teplotách včetně záření Slunce.

Záření se šíří **prostředím rychlostí c** , která je závislá na druhu prostředí. **Rychlost šíření záření ve vakuu c_0** má hodnotu $c_0 = (2,99792458 \pm 0,000000012) \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přístup pro I+D práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

I. KIRCHHOFFŮV ZÁKON

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$A = 1, R = 1$ nebo $D = 1$ NEEEXISTUJE

Téměř černé těleso lze realizovat černými matnými dutinami

Pevné látky (kromě slády, kazivce, kuchyňské soli ...) mají $D = 0$

$$A + R = 1$$

Dvoutomové plyny ($\text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{vzduch} \dots$) mají $D = 1$

Víceatomové plyny (vodní pára, CO_2, \dots) mají $D < 1$

$$A + R + D = 1$$

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přístup pro I+D práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

HUSTOTA ZÁŘIVÉHO TOKU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

HUSTOTA ZÁŘIVÉHO TOKU = ZÁŘIVOST E [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] je při úplné přeměně energie záření na teplo rovna **hustotě tepelného toku \dot{Q}** .

Zářivý tok \dot{Q} z určité plochy je pak dán součinem hustoty zářivého toku (zářivosti) E a plochy S

$$\dot{Q} = E \cdot S$$

Spektrální hustotu zářivého toku E_λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$] definujeme pro monochromatické záření (λ až $\lambda + d\lambda$)

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda}$$

Jedná se o hustotu zářivého toku (zářivost) pro danou vlnovou délku λ

- Kontinuální spektrum záření
- Absorpční sluneční spektrum (absorpce v plynech sluneční atmosféry)
- Emisní spektra alkalických kovů

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutně-energetický přístup pro I+D práce

evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

PLANCKŮV VYZAŘOVACÍ ZÁKON

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

S rostoucí teplotou roste spektrální hustota zářivého toku černého tělesa a maximální hodnota se posouvá ke kratším vlnovým délkám.

ZÁŘENÍ REÁLNÝCH ZDROJŮ

- Šedý zářič má E_λ pro každé λ menší než černé těleso, maximum je při stejné teplotě na stejné vlnové délce. Ideální šedý zářič neexistuje.
- Reálný zářič má E_λ v závislosti na λ značně proměnnou.
- Selektivní zářič září pouze v některých oblastech λ .
- Plyny a lasery vyzářují jen úzké spektrální čáry

1 ... 226 227 228 229 230 231 232 233 234 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípravení pro Ith práce

WIENŮV POSUNOVACÍ ZÁKON

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Wienův posunovací zákon získáme z Planckova vyzařovacího zákona derivací spektrální hustoty zářivého toku černého tělesa $E_{0,\lambda}$ dle vlnové délky λ a tuto derivaci položíme rovnou nule. Tím získáme průběh poloh **maxim izotermem** v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{0,\lambda}$ na vlnové délce λ .

$\frac{dE_{0,\lambda}}{d\lambda} = 0$

MATEMATICKÁ FORMULACE WIENOVA ZÁKONA

$\lambda_{MAX} \cdot T = konst.$

kde uvedená konstanta má hodnotu $2.8978 \cdot 10^{-3} [m \cdot K]$

SLOVNÍ FORMULACE WIENOVA ZÁKONA

S rostoucí teplotou zářiče se posouvá maximální hodnota spektrální hustoty zářivého toku ke kratším vlnovým délkám

Planckův zákon

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípravení pro Ith práce

VZÁJEMNÉ ZÁŘENÍ POVRCHŮ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výsledný tok zářivosti je dán rozdílem efektivních zářivosti $E_{12} = E_{eff1} - E_{eff2}$

$E_{12} = \frac{(E_1 + E_2 - \epsilon_1 E_2) \cdot (E_2 + E_1 - \epsilon_2 E_1)}{\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_1 \epsilon_2}$

$E_{12} = \frac{\epsilon_2 E_1 - \epsilon_1 E_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_1 \epsilon_2} = \frac{\epsilon_2 \epsilon_1 \sigma_0 T_1^4 - \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma_0 T_2^4}{\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_1 \epsilon_2}$

Pro hustotu tepelného toku zářením mezi dvěma nekonečně rozlehlými paralelními stěnami lze psát

$\dot{Q}_{12} = \sigma_0 \epsilon_{12} (T_1^4 - T_2^4)$

$\epsilon_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$

$\epsilon_{12} [-]$ zde značí součinitel vzájemné emisivity pro paralelní stěny

$\epsilon_1 = A_1$ $\epsilon_2 = A_2$
 $D_1 = 0$ $D_{ob} = 1$ $D_2 = 0$

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípravení pro Ith práce

STEFANŮV - BOLTZMANNŮV ZÁKON

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stefanův - Boltzmannův zákon získáme z Planckova vyzařovacího zákona integrací spektrální hustoty zářivého toku černého tělesa $E_{0,\lambda}$ přes celý rozsah vlnových délek λ , a to za konstantní teploty.

$E_0 = \int_0^\infty E_{0,\lambda} d\lambda$

MATEMATICKÁ FORMULACE STEFANOVA-BOLTZMANNOVA ZÁKONA

$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4$

$\sigma_0 = 5,6697 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
je Stefanova - Boltzmannova konstanta

SLOVNÍ FORMULACE STEFANOVA - BOLTZMANNOVA ZÁKONA

Hustota zářivého toku dokonale černého tělesa je úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty

Planckův zákon

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípravení pro Ith práce

ZÁŘENÍ MEZI POVRCHY, KTERÉ SE OBKLOPUJÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Povrch S_2 obklopuje povrch S_1

Povrch S_1 musí být vypuklý

$\dot{Q}_{12} = S_1 \cdot \sigma_0 \cdot \epsilon_{12} (T_1^4 - T_2^4)$

Pro tepelný tok zářením mezi povrchy, které se obklopují platí:

$\epsilon_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)}$

$\epsilon_{12} [-]$ je součinitel vzájemné emisivity pro povrchy, které se obklopují

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípravení pro Ith práce

STEFANŮV - BOLTZMANNŮV ZÁKON

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pokud se přemění zářivý tok při dopadu na objekt na tepelný tok, lze **Stefanův - Boltzmannův zákon** psát ve tvaru

$\dot{q}_0 = \sigma_0 \cdot T^4$ $\dot{Q}_0 = \sigma_0 \cdot S \cdot T^4$

Nedokonalé zářiče - šedá tělesa mají tepelný tok menší než zářiče dokonalé - černá tělesa a platí:

$\dot{q} = \epsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4$ $\dot{Q} = \epsilon \cdot \sigma_0 \cdot S \cdot T^4$

$\epsilon [-]$ poměrná zářivost - emisivita

Poměrná zářivost - emisivita

- Nabývá hodnotu od 0 do 1 ($\epsilon = 1$ je černé těleso, $\epsilon = 0$ je bílé těleso)
- Najdeme ji pro různé materiály v tabulkách
- Závisí také na úpravách povrchů, často i na směru vyzařování

Změna barvy bývá způsobena teplotou, ale i emisivitou nebo odraženým zářením

Termogram FSI VUT

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 ... 250

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz

Absolutní energetiké přípravení pro Ith práce

ZÁŘENÍ MALÉHO POVRCHU VE VELKÉM PROSTORU

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Povrch S_2 obklopuje povrch S_1

Povrch S_1 by měl být vypuklý

Pro tepelný tok zářením mezi povrchy, které se obklopují platí:

$\dot{Q}_{12} = S_1 \cdot \sigma_0 \cdot \epsilon_{12} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$

$S_1 \ll S_2$

$\epsilon_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} = \epsilon_1$

Pro tepelný tok zářením malého povrchu ve velkém prostoru platí:

$\dot{Q}_{12} = \epsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot S_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)$

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiků připravovaní pro trh práce

SKLENÍKOVÝ EFEKT

evropský sociální fond v ČR
 EVROPSKÁ UNIE
 OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Skleníkový efekt vzniká i u jiných materiálů. Známé jsou skleníkové plyny (H_2O , CO_2 , N_2O , O_3 ...) způsobující skleníkový efekt v atmosféře

Sluneční konstanta je 1369 W.m^{-2}

V atmosféře by mělo být optimální množství skleníkových plynů

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiků připravovaní pro trh práce

KOMBINACE ZPŮSOBŮ PŘENOSU TEPLA

evropský sociální fond v ČR
 EVROPSKÁ UNIE
 OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Místnost se vzduchem 20°C

29°C

- T_1 Pevná látka T_2 Jeden způsob Vedení
- T_1 Plyn T_2 Dva způsoby Proudění nebo Vedení
- T_1 Vakuum T_2 Jeden způsob Záření

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiků připravovaní pro trh práce

TERMORIZNÍ MĚŘENÍ

evropský sociální fond v ČR
 EVROPSKÁ UNIE
 OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Termovizní kamery pro bezdotykové měření povrchových teplot objektů na principu tepelného záření.

AMR AHLBORN

VarioCAM bez chlazení

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244

StudyEnergyWeb.fme.vutbr.cz
 Absolvent-energetiků připravovaní pro trh práce

TERMORIZNÍ MĚŘENÍ

evropský sociální fond v ČR
 EVROPSKÁ UNIE
 OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
 INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Termovizní měření ve teplárenství umožní identifikovat podzemní uložení rozvodů tepla, vadná místa s únikem teplé tekutiny a vadná místa tepelné izolace

Identifikace uložení rozvodů tepla pod vozovkou

Identifikace vadné tepelné izolace rozvodů tepla

1 ... 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244