



Termomechanika – cvičení 11

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



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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obsah

Voda a vodní pára – příklady

Rankin-Clausiův cyklus



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

Příklad 1

Topné těleso o objemu 0.5 [m³], naplněné sytou párou o tlaku 0.15 [MPa], bylo odstaveno. Po nějaké době vychladlo na teplotu 30 °C. Určete množství uvolněného tepla a konečný stav páry v tělese.

Při kreslení a náčrtu grafů je dobré vycházet ze základních předpokladů, které plynou ze zadání. V diagramu bude jedna izobara, jedna izoterma, a jelikož jde o děj isochorický (válcová nádrž nemění svůj objem), tedy v diagramech vody a vodní páry bude procházet počátečním a koncovým bodem navíc přímka konstantního objemu (isochora).

V úloze máme jednu izobaru a jednu izotermu, musíme zvážit jejich vzájemnou polohu. Na začátku děje je voda ve formě syté páry a tedy počáteční bod bude ležet na pravé mezní křivce. Pro tento bod můžeme vypsát hodnoty z tabulek:

Sytá pára - Vlastnosti počátečního stavu na mezi sytosti podle tlaku:

$$p_1 = 0.15 \text{ [MPa]}$$

$$t_1 = 111.35 \text{ [°C]}$$

$$v_1 = v_1'' = 1.159 \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$$

$$h_1 = h_1'' = 2693.1 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

$$s_1 = s_1'' = 7.2229 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}\text{]}$$



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

Z hodnot pro počáteční a koncový bod vidíme, že teplota na počátku děje je vyšší jako na konci:

$$t_1 > t_2$$

Tedy máme dvě izotermy, ze kterých jedna bude výš a druhá níž. Vypíšeme si hodnoty na mezi sytosti i pro koncový stav, tedy pro $t_2 = 30 [^{\circ}\text{C}]$

$$p_2 = 0.004247 [\text{MPa}]$$

$$v'_2 = 0.0010044 [\text{m}^3 \text{kg}^{-1}]$$

$$v''_2 = 32.88 [\text{m}^3 \text{kg}^{-1}]$$

$$h'_2 = 125.75 [\text{kJ m}^3]$$

$$h''_2 = 2555.6 [\text{kJ kg}^{-1}]$$

$$s'_2 = 0.4368 [\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

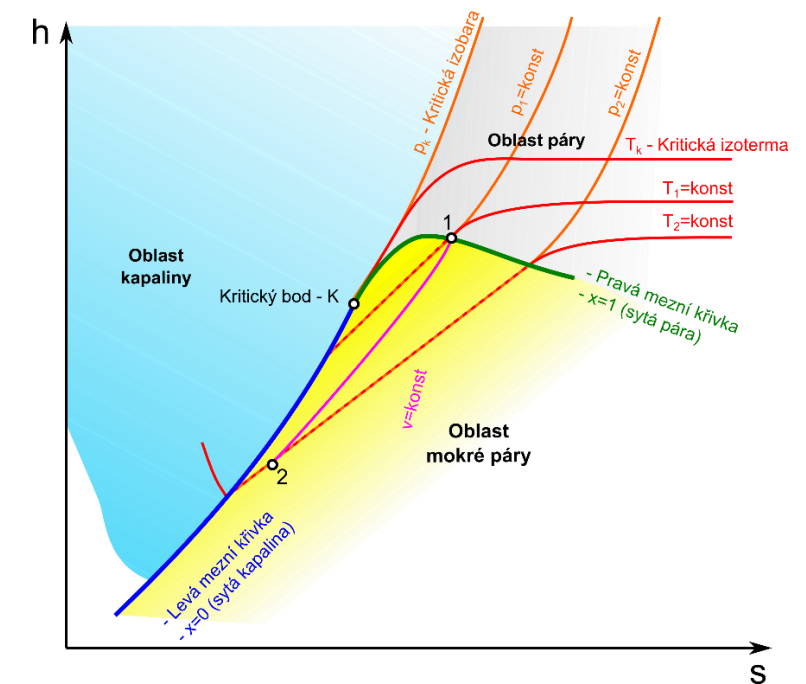
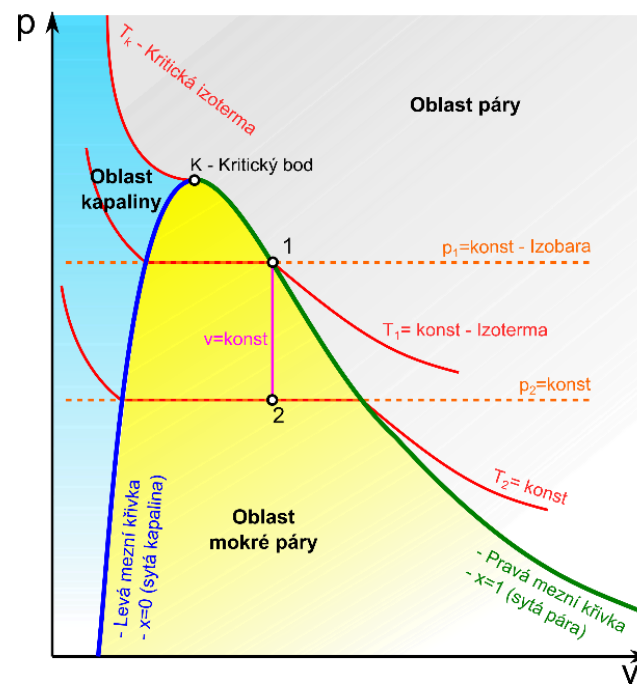
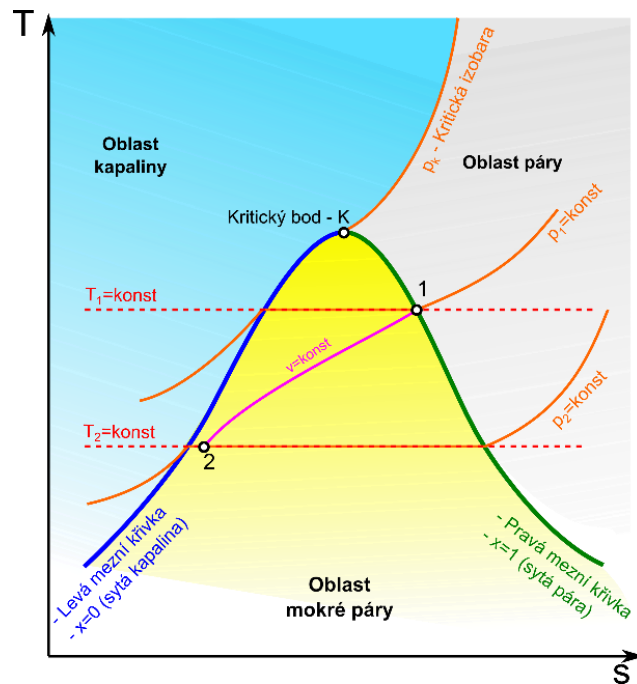
$$s''_2 = 8.4521 [\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

Vidíme, že i tlak na konci děje je nižší než na počátku. Pak je důležité si uvědomit, že průsečík křivky isochory a isobary $p_2 = \textit{konst}$ udává přesnou polohu bodu 2 (jelikož je objem konstantní, v bodě 2 bude mít stejnou hodnotu jako v bodě 1 tedy: $v_1 = v_2 = \textit{konst.}$). Známe již polohu isobary $p_2 = \textit{konst}$ a hodnotu měrného objemu v bodě 2. K určení polohy bodu 2 (v které oblasti páry se koncový bod nachází) potřebujeme ale nějakou referenci. Víme, že izobara $p_2 = \textit{konst}$ protíná i pravou mezní křivku. Z tabulek je možné určit hodnotu měrného objemu na pravé i levé mezní křivce pro tlak 0.004247 [MPa]:



$$v_{\text{syťá kapalina}} = 0.0010044 < v_1 = 1.159 < v_{\text{syťá pára}} = 32.88 \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$$

Při teplotě 30 [°C], která udává teplotu páry na konci děje, je hodnota měrného objemu, při které probíhá děj nižší, než hodnota měrného objemu syťé páry a tato hodnota je zároveň vyšší než hodnota měrného objemu syťé kapaliny. Křivka isochory $v_1 = v_2 = \text{konst}$ bude ležet mezi pravou a levou mezní křivkou. Koncový stav páry je tedy mokrý pára.



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

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Hodnotu měrného objemu na konci děje máme ze zadání:

$$v_2 = v_1 = v_1'' = 1.159 \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$$

Z této hodnoty je pak možné za pomoci vzorce dopočítat suchost v daném místě:

$$x = \frac{v_1'' - v_2'}{v_2'' - v_2'} = \frac{1.159 - 0.0010044}{32.88 - 0.0010044} = 0.0352 \text{ [-]}$$

Z pomoci hodnoty suchosti se pak dopočítají hodnoty entalpie a entropie na konci děje:

$$h_2 = h_2' + x(h_2'' - h_2') = 125.75 * 10^3 + 0.0352 * (2555.6 * 10^3 - 125.75 * 10^3) = 211.281 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

$$s_2 = s_2' + x(s_2'' - s_2') = 0.04368 * 10^3 + 0.0352 * (8.4521 * 10^3 - 0.04368 * 10^3) = 0.7189 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

K výpočtu uvolněného tepla využijeme první větu termodynamiky:

$$dq = du + pdv$$

$$v = konst \rightarrow dq = du$$

$$dq \Big|_{v=konst} = d(h - pv) \Big|_{v=konst}$$

$$q_{12} = h_2 - h_1 - v(p_2 - p_1)$$

$$q_{12} = 211.28 * 10^3 - 2693.1 * 10^3 + 1.159 * (0.15 * 10^6 - 0.004247 * 10^6) = -2.313 * 10^6 \text{ [J kg}^{-1}\text{]}$$

$$h = u + pv \rightarrow u = h - pv$$



Vypočítali jsme měrné odvedené teplo, tj. teplo odvedené 1 kg páry. Jelikož ale nemáme v tělese přesně jeden kilogram látky, musíme před dokončením výpočtu určit hmotnost páry:

$$m = \frac{V}{v} = \frac{0.5}{1.159} = 0.431 \text{ [kg]}$$

Pak násobením hodnoty hmotnosti a měrného odvedeného tepla dostáváme velikost teploty, která byla odebrána syté páře:

$$Q = m * q_{12} = 0.431 * (-2.313 * 10^6) = -0.997 * 10^6 \text{ [J]}$$



Příklad 2

Při škrcení páry ventilem klesl její tlak z 0.36 [MPa] na 0.2 [MPa]. Za ventilem byla naměřena teplota 130 [°C]. Určete teplotu, entropii, entalpii a měrný objem před ventilem.



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

Úplně prvním předpokladem, kterého při řešení úloh škrcení páry využijeme je, že:

ENTALPIE PÁRY JE PŘI ŠKRCENÍ KONSTANTNÍ

Při kreslení a náčrtu grafu je dobré vycházet ze základních předpokladů ze zadání. V diagramu tedy budou dvě izobary, jedna izoterma a jedna přímka konstantní entalpie, která bude protínat počáteční a koncový bod.

Při kreslení grafu si musíme nejprve určit, kde počáteční a koncový bod leží. Víme, že pro koncový bod platí následující hodnoty: $p_2 = 0.2 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$ a $t_2 = 130 \text{ [}^\circ\text{C]}$. V tomto stádiu výpočtu ale není možné jednoznačně prohlásit, kde koncový bod leží. Víme, že mezi pravou a levou mezní křivkou existuje izobara $p_2 = \textit{konst}$ a tedy zároveň existuje i izoterma $T = \textit{konst}$, která je totožná s touto izobarou. Teplotu odpovídající této izotermě vyčteme z tabulek – Vlastnosti na mezi sytosti dle tlaku, pro $p_2 = 0.2 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$ – a tou je hodnota $120.21 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Hodnota teploty pro tlak p_2 na mezi sytosti je ale menší než je teplota v zadání. Z charakteru grafu je tedy jasné, že izoterma pro $130 \text{ [}^\circ\text{C]}$ protne izobaru pro 0.2 [MPa] v oblasti přehřáté páry.



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

Z t_2 a p_2 je tedy jasné, že se nacházíme v jednofázové oblasti páry a pro další veličiny platí následující:

$$v_2 = 0.9104 \text{ [m}^3 \text{ kg}^{-1}\text{]}$$

$$h_2 = 2727.3 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

$$s_2 = 7.1719 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

Je třeba vzít v úvahu, že na konci děje je voda ve formě páry, tedy nacházíme se v oblasti páry. Taky víme, že děj probíhá při konstantní entalpii, tedy můžeme vést přes bod 2 přímku konstantní entalpie a tam, kde se tato přímka kříží s izobarou $p_1 = konst$ leží bod 1.

Problém nastává, když nakreslíme bod 2 libovolně na izobaru $p_2 = konst$ a pak nakreslíme přímku konstantní entalpie (růžová). Když bod 2 nakreslíme blíže k pravé mezní křivce, tak nám přímka konstantní entalpie protne izobaru $p_1 = konst$ v oblasti mokré páry, tedy počáteční stav páry bude mokrá pára. Když bod 2 nakreslíme dále od pravé mezní křivky, tak přímka konstantní entalpie protne izobaru $p_1 = konst$ v oblasti páry, tedy počáteční stav páry bude pára. Popřípadě, když bod 1 nakreslíme na stejnou úroveň s místem, kde se protíná izobara $p_1 = konst$ a pravá mezní křivka, tak přímka konstantní entalpie protne izobaru $p_1 = konst$ v místě, kde protíná pravou mezní křivku a počáteční stav páry bude syťá pára. Jak tedy určit počáteční stav páry a nakreslit správně graf?



Jak bylo zmíněno výše, při škrcení uvažujeme konstantní entalpii (entalpie na konci děje je rovna entalpii na začátku děje):

$$h = h_1 = h_2 = 2727.3 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

Podobně jako v případě teploty i při určování tohoto bodu budeme vycházet z nějaké reference. Víme, že izobara $p_1 = \textit{konst}$ protíná pravou i levou mezní křivku a tedy dostaneme rovnou několik možných referenčních hodnot. Z vlastností na mezi sytosti podle tlaku pro p_1 :

$$t_1 = 139.86 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$v'_1 = 0.0010796 \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$$

$$v''_1 = 0.5105 \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$$

$$h'_1 = 588.57 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

$$h''_1 = 2733.3 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

$$s'_1 = 1.7378 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

$$s''_1 = 6.9307 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

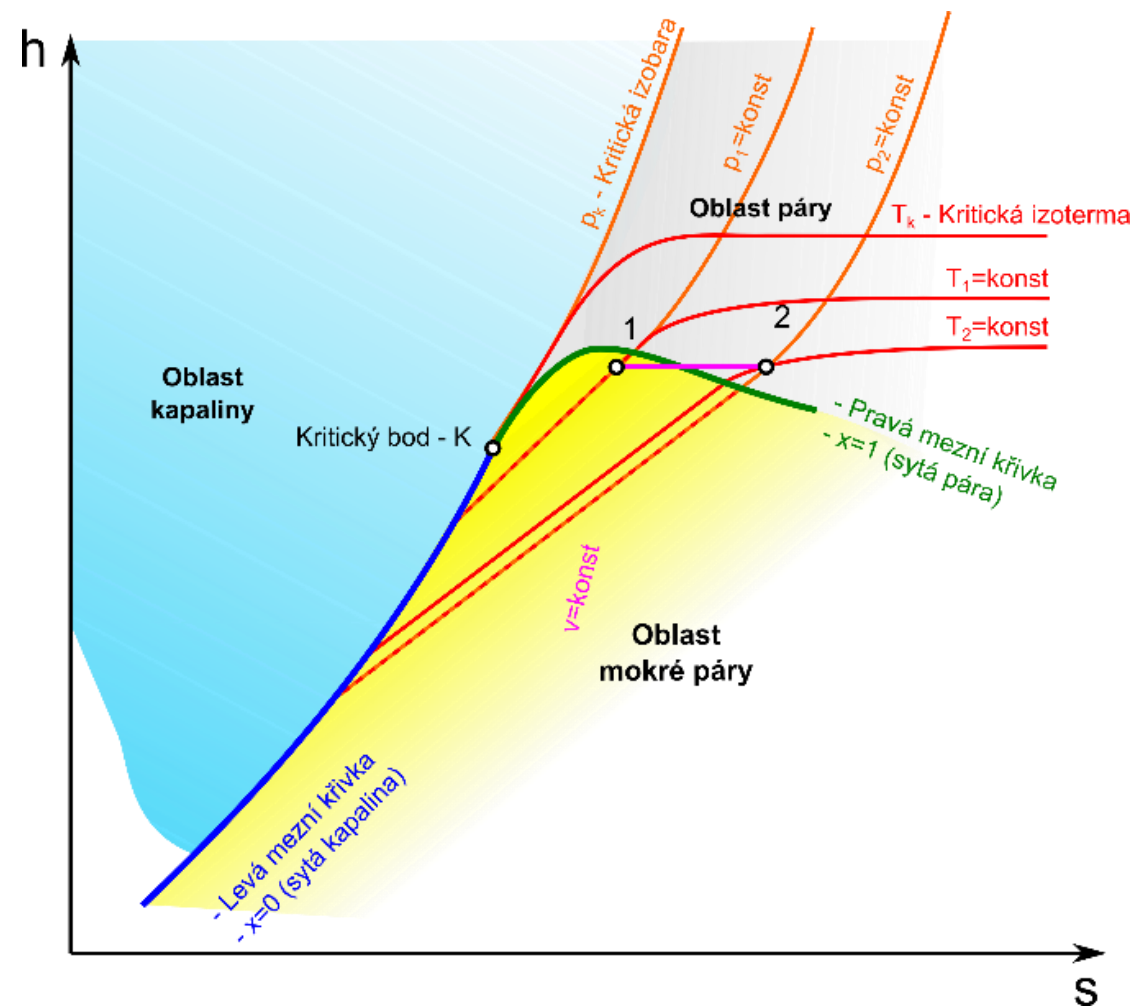
Z uvedených hodnot jsou nejvhodnější právě hodnoty entalpie, protože víme, že izobaru $p_1 = \textit{konst}$ protnou přímky konstantní entalpie pro hodnoty h'_1 , h''_1 a h_1 .

Po zvážení vzájemné relace těchto hodnot

$$h''_1 > h > h'_1$$

můžeme prohlásit, že průsečík přímky konstantní entalpie h_1 a izobary p_1 bude mezi pravou a levou mezní křivkou a tedy v oblasti mokré páry.





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

Ted', když víme, že počáteční bod 1 leží v oblasti mokré páry a známe hodnoty entalpie v daném bodě, pak můžeme vypočítat suchost páry:

$$x = \frac{h_1 - h'_1}{h''_1 - h'_1} = \frac{2727.3 - 588.57}{2733.3 - 588.57} = 0.9974 [-]$$

Dále dopočítáme hodnoty měrného objemu a měrné entropie:

$$v_1 = v'_1 + x (v''_1 - v'_1) = 0.0010796 + 0.9974 * (0.5105 - 0.0010796) = 0.509 [m^3 kg^{-1}]$$

$$s_1 = s'_1 + x (s''_1 - s'_1) = 1.7378 + 0.9974 * (6.9307 - 1.7378) = 6.917 [kJ kg^{-1} K^{-1}]$$

Jelikož jsme v oblasti mokré páry, tak teplota v daném bodě bude rovna teplotě na mezi sytosti tedy:

$$t_1 = 139.86 [^{\circ}C]$$



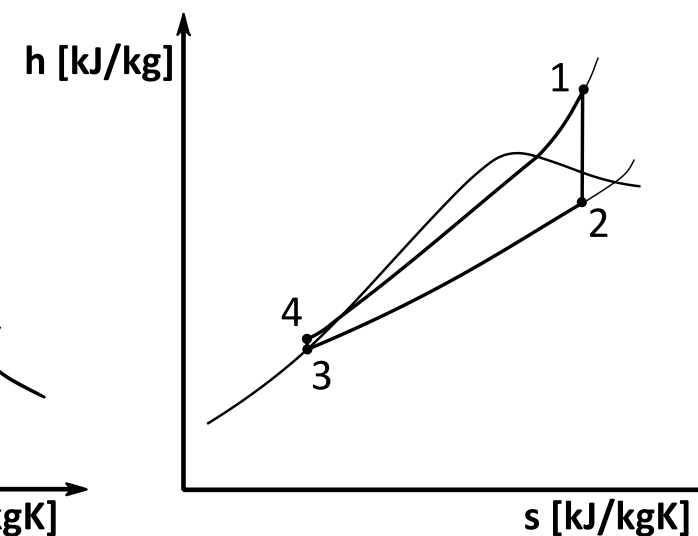
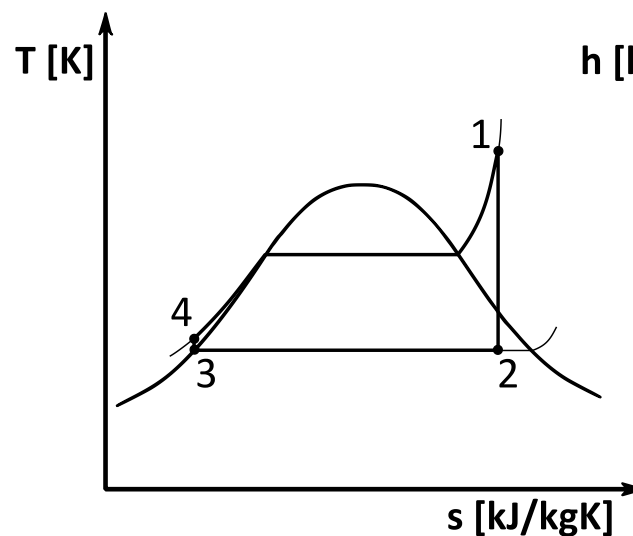
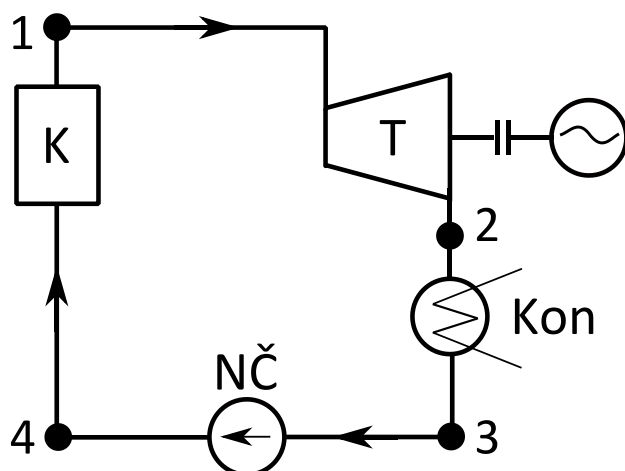
RANKIN-CLAUISŮV CYKLUS



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

R-C cyklus sestává z napájecího čerpadla (NČ), kotle (K), parní turbíny (T) a kondenzátoru (Kon)

- V NČ se stlačuje napájecí voda, tj. nastavuje se zde tlak při kterém následně probíhá var vody v kotli
- V kotli dochází k dohřátí napájecí vody na teplotu sytosti, následnému odparu a poté k přehřátí páry – ta následně vstupuje do turbíny (pára vstupující do turbíny se nazývá admisní pára)
- V turbíně pára expanduje, tj. mění se její energie na energii mechanickou
- V kondenzátoru dochází k odvodu tepla a ke kondenzaci emisní páry



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

V ideálním případě (tj. beze ztrát):

- 1-2 izoentropická („adiabatická“) expanze
- 2-3 izobarický odvod tepla (kondenzace)
- 3-4 izoentropické (adiabatické) stlačení napájecí vody
- 4-1 izobarický přívod tepla v kotli (dohřátí vody, odpaření – změna stavu, přehřátí páry)



Příklad 3

Určete výkon a účinnost elektrárny s kondenzační turbínou. Přivedený tepelný tok je 1000 MW, teplota a tlak admisní páry je 560 °C a 18 MPa, teplota kondenzace je 25 °C. Výpočet proveďte bez a s uvažováním ztrát. Při výpočtu cyklu se ztrátami uvažujte termodynamickou účinnost turbíny 93% a termodynamickou účinnost napájecího čerpadla 85%.



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

Výkon turbíny se vypočítá dle známého vztahu:

$$P = \dot{m} a_t^T$$

Technickou práci turbíny lze určit dle 1. zákona termodynamiky:

$$dq \Big|_{\text{adiabatický děj}} = dh + da_t = 0 \rightarrow da_t = -dh \rightarrow a_t^T = -(h_2 - h_1) = h_1 - h_2$$

Výchozí bod (tj. stav admisní páry) se nachází v oblasti přehřáté páry (teplota $t_1 > t_K$ a zároveň tlak $p_1 < p_K$). Entalpii v tomto bodě určíme z tabulek termodynamických vlastností vody a vodní páry, a to konkrétně z části pro jednofázovou oblast:

$$h_1(p_1, t_1) = 3\,446.6 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

Abychom mohli určit entalpii po expanzi (tj. entalpii emisní páry), musíme nejprve určit, v jakém stavu je pára po expanzi. Způsob tohoto určení jsme již podrobně probírali u předchozích příkladů, proto jen stručně:

$$s_1 = s_2$$

$$s_1(p_1, t_1) = 6\,442.7 \text{ [J kg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

$$s'_2(t_2, x = 0) = 367.3 \text{ [J kg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

$$s''_2(t_2, x = 1) = 8556.8 \text{ [J kg}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

$$s'_2 < s_2 < s''_2 \rightarrow \text{na výstupu z turbíny je mokrá pára}$$



Pro určení entalpie emisní páry je nutné znát její suchost:

$$x = \frac{s_1 - s'_2}{s''_2 - s'_2} = \frac{6442.7 - 367.3}{8559.8 - 367.3} = 0.7418 [-]$$

Entalpie emisní páry:

$$h_2 = h'_2 + x (h''_2 - h'_2) = 104.84 * 10^3 + 0.7418 (2\,546.5 - 104.84) * 10^3 = 1916.1 * 10^3 [J\,kg^{-1}]$$

Technická práce turbíny je tedy:

$$a_t^T = h_1 - h_2 = 3446.6 - 1916.1 = 1530.5 [kJ\,kg^{-1}]$$

Pro výpočet výkonu musíme znát kromě technické práce i hmotnostní tok. Ten lze určit následovně:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_{př}}$$

$\dot{Q}_{př}$ značí přivedený tepelný tok – ten je znám ze zadání. $q_{př}$ je měrné přivedené teplo, to vypočítáme následovně (pozn.: graficky by se jednalo o plochu pod křivkou 4-5-6-1 v T-s diagramu):

$$dq \Big|_{p=konst} = dh + da_t = dh \rightarrow q_{př} = h_1 - h_4$$



Entalpii v bodě 1 známe, neznáme ovšem entalpii v bodě 4 (tj. na výstupu z napájecího čerpadla). Zaměříme se tedy na děj 3-4, což je stlačování vody (v bodě 3 je sytá kapalina, v bodě 4 stlačená kapalina). Využijeme první zákon termodynamiky, přičemž uvažujeme, že stlačování probíhá adiabaticky:

$$dq \Big|_{\text{adiabatický děj}} = dh + da_t = 0 \rightarrow dh = -da_t$$

$$\int_3^4 dh = - \int_3^4 da_t = - \int_3^4 (-vdp) = \int_3^4 vdp$$

Kapaliny jsou obecně obtížně stlačitelné, tj. můžeme pro zjednodušení předpokládat, že hustota se nemění, tedy:

$$\rho = konst \rightarrow v = \frac{1}{\rho} = konst$$

$$h_4 - h_3 = v_3(p_4 - p_3) \rightarrow h_4 = h_3 + v_3(p_4 - p_3)$$

$$h_3(t_2, x = 0) = 104.84 * 10^3 [J kg^{-1}]$$

$$v_3(t_2, x = 0) = 0.001003 [m^3 kg^{-1}]$$

$$p_3(t_2) = 3.17 * 10^3 [Pa]$$

$$h_4 = 104.84 * 10^3 + 0.001003 * (18 * 10^6 - 3.170 * 10^3) = 122.9 * 10^3 [J kg^{-1}]$$



Přivedené teplo lze tedy vypočítat následovně:

$$q_{př} = h_1 - h_4 = 3446.6 - 122.9 = 3\,323.7 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

Hmotnostní tok:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_{př}} = \frac{1000 * 10^6}{3323.7 * 10^3} = 300.9 \text{ [kg s}^{-1}\text{]}$$

Výkon turbíny je tedy:

$$P^T = \dot{m} a_t^T = 300.9 * 1530.5 * 10^3 = 460.5 \text{ [MW]}$$

Výkon čerpadla lze vypočítat analogicky k výpočtu výkonu turbíny, tj.:

$$P^{NČ} = \dot{m} a_t^{NČ} = \dot{m} (h_3 - h_4) = 300.9 * (104.84 - 122.9) * 10^3 = -5\,434.3 \text{ [kW]}$$

Výkon cyklu:

$$P = P^T - |P^{NČ}| = 460.5 * 10^6 - |-5434.3 * 10^3| = 455.07 \text{ [MW]}$$

Tepelná účinnost cyklu:

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_{od}|}{q_p}$$



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

Odvedené teplo lze vypočítat následovně:

$$q_{od} = \int_2^3 dh = h_3 - h_2 = 104.84 - 1916.1 = -1\,811.3 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

Tepelná účinnost je tedy:

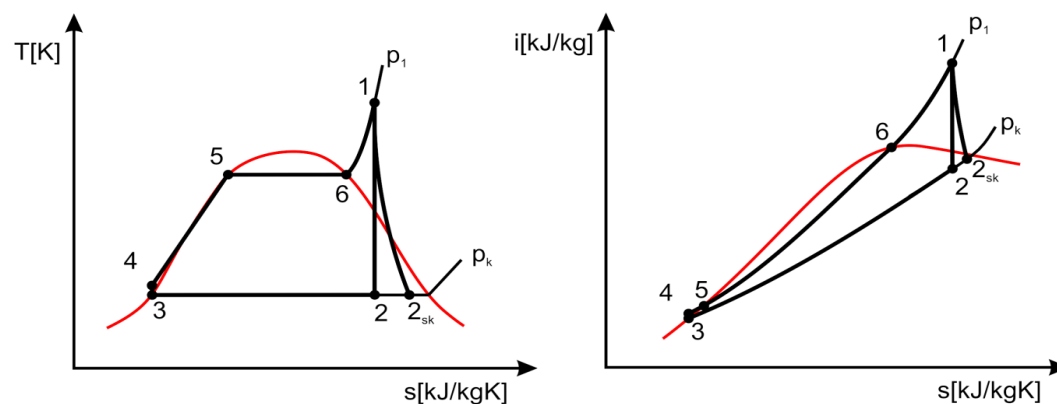
$$\eta_t = 1 - \frac{|q_o|}{q_p} = 1 - \frac{|-1811.3|}{3323.7} = 0.455 \rightarrow 45.5 \%$$



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

Rankin-Clausiiův cyklus se ztrátami

Skutečný cyklus se od ideálního liší tím, že zahrnuje ztráty. Následující obrázek ukazuje srovnání cyklu beze ztrát a se ztrátami (body s indexem sk). Ve skutečném cyklu neprobíhá expanze ani komprese izoentropicky!



Skutečný výkon turbíny se vypočítá dle vztahu:

$$P = \dot{m}_{sk} a_{t,sk}^T$$

Skutečná práce turbíny se vypočítá dle vztahu:

$$a_{t,sk}^T = \eta_{td}^T * a_t^T = 0.93 * 1530.5 = 1423.4 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$



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

Skutečný hmotnostní průtok se vypočítá dle vztahu:

$$\dot{m}_{sk} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_{př,sk}}$$

Skutečná měrné přivedené teplo se vypočítá ze vztahu:

$$q_{př,sk} = h_1 - h_{4,sk}$$

Pro určení hodnoty entalpie v bodě 4sk musíme znát skutečnou práci čerpadla, neboť:

$$a_{t,sk}^{NČ} = \frac{a_t^{NČ}}{\eta_{NČ}}$$

$$|a_{t,sk}^{NČ}| = |h_{4,sk} - h_3| \rightarrow h_{4,sk} = |a_{t,sk}^{NČ}| + h_3 = \frac{|a_t^{NČ}|}{\eta_{NČ}} + h_3$$

$$h_{4,sk} = \frac{|104.84 - 122.89|}{0.85} + 104.84 = 126.1 [kJ kg^{-1}]$$



Skutečné měrné přivedené teplo je tedy:

$$q_{př,sk} = h_1 - h_{4,sk} = 3446.6 - 126.1 = 3320.5 [kJ kg^{-1}]$$

Skutečný hmotnostní tok:

$$\dot{m}_{sk} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_{př,sk}} = \frac{1000 * 10^6}{03320.5 * 10^3} = 301.2 [kg s^{-1}]$$

Skutečný výkon turbíny:

$$P_{sk}^T = \dot{m}_{sk} * a_{t,sk}^T = 301.2 * 1423.4 * 10^3 = 428.73 [MW]$$

Skutečný výkon čerpadla:

$$P_{sk}^{NČ} = \dot{m}_{sk} * a_{t,sk}^{NČ} = \dot{m}_{sk} * (h_3 - h_{4,sk}) = 301.2 * (104.84 * 10^3 - 122.9 * 10^3) = -5 439.7 [kW]$$

Skutečný výkon cyklu:

$$P_{sk} = P_{sk}^T - |P_{sk}^{NČ}| = 428.73 * 10^3 - |-5439.7| = -423 290.3 [kW]$$



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

Skutečná účinnost cyklu:

$$\eta_{t,sk} = 1 - \frac{|q_{od,sk}|}{q_{př,sk}}$$

Skutečné měrné odvedené teplo:

$$q_{od,sk} = h_3 - h_{2,sk}$$

Hodnotu entalpie v bodě 2sk získáme pomocí termodynamické účinnosti turbíny:

$$\eta_{td}^T = \frac{a_{t,sk}^T}{a_t^T} = \frac{h_1 - h_{2,sk}}{h_1 - h_2} \rightarrow h_{2,sk} = h_1 - \eta_{td}^T(h_1 - h_2)$$

$$h_{2,sk} = 3446.6 - 0.93 * (3446.6 - 1916.1) = 2023.2 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

Nyní můžeme dopočítat měrné odvedené teplo:

$$q_{od,sk} = 104.84 - 2023.2 = -1918.4 \text{ [kJ kg}^{-1}\text{]}$$

Skutečná účinnost cyklu je tedy:

$$\eta_{t,sk} = 1 - \frac{|-1918.4|}{3320.5} = 0.42 \rightarrow 42\%$$



DĚKUJI ZA POZORNOST



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


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY