

12.3 Osnovne termodinamičke promene stanja realnih radnih materija – (tečnost-para)

- Analiziraju se samo ravnotežne (kvazistatične) promene stanja
- Na primeru voda – vodena para
- Posmatra se realna radna materija – realan fluid (tečnost – para) koja se nalazi ili u „prostom“ ili „prostom“ protočnom termodinamičkom sistemu
- Šta se želi pronaći?

$$\begin{aligned}
 Q_{1-2} &= f_1(\text{veličina stanja}) && \text{– predatu količinu toplote tokom nekog procesa u funkciji veličina stanja} \\
 W_{V,1-2} &= f_2(\text{veličina stanja}) && \text{– izvršen zapreminski rad tokom nekog procesa u funkciji veličina stanja} \\
 W_{\text{teh},1-2} &= f_3(\text{veličina stanja}) && \text{– izvršen tehnički rad tokom nekog procesa u funkciji veličina stanja}
 \end{aligned}$$

- Pomoću kojih zakona i definicija se izvode željene zakonitosti
- (Koji izrazi "važe"?)

1. Osnovne definicije za slučaj ravnomernih promena

$$\begin{aligned}
 Q_{1-2} &= \int_1^2 T \, dS \\
 W_{V,1-2} &= - \int_1^2 p \, dV \\
 W_{\text{teh},1-2} &= \int_1^2 V \, dp \quad \leftarrow \text{za „prost“ protočni termo-mehanički sistem}
 \end{aligned}$$

2. Prvi zakon termodinamike

Za "prost" zatvoren termo-mehanički sistem

$$\delta Q + \delta W_V = dU$$

Za ravnotežne promene

$$T \, dS - p \, dV = dU$$

integraljenjem promena od početnog (polaznog) do krajnjeg (dostignutog) stanja

$$Q_{1-2} + W_{V,1-2} = U_2 - U_1$$

Formalno

$$Q_{1-2} + W_{\text{teh},1-2} = H_2 - H_1$$

Za "prost" protočni termo-mehanički sistem

$$\Phi + P_{\text{teh}} = q_m (h_2 - h_1)$$

Integraljenjem po vremenu

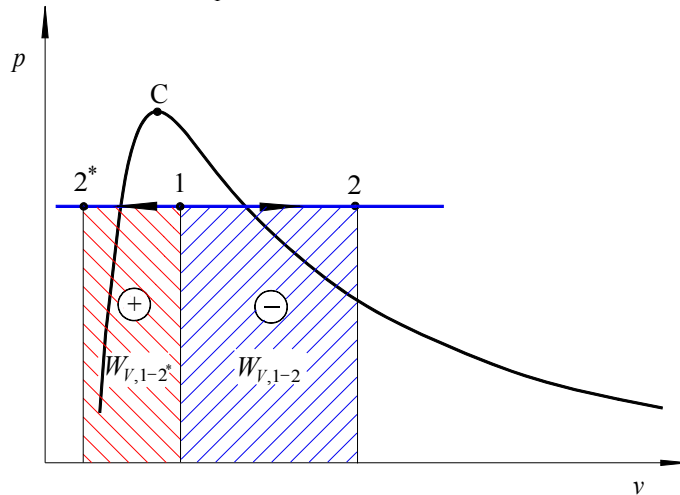
$$Q_{1-2} + W_{\text{teh},1-2} = m (h_2 - h_1)$$

$$Q_{1-2} + W_{\text{teh},1-2} = H_2 - H_1$$

12.3.1 Izobarska promena stanja realnog fluida ($p = \text{idem}$, $dp = 0$)

Izvršen zapreminski rad

$$W_{V,1-2} = -\int_1^2 p dV = -p(V_2 - V_1) = -mp(v_2 - v_1)$$

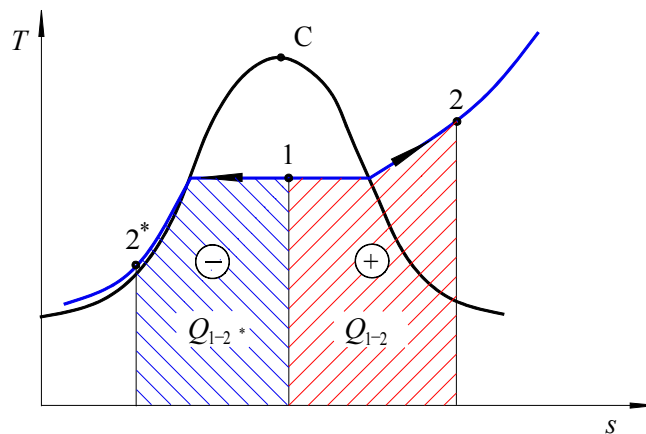


Izvršen tehnički rad

$$W_{\text{teh},1-2} = \int_1^2 V dp = 0$$

Predata količina toplote

$$Q_{1-2} = \int_1^2 T dS = ?$$

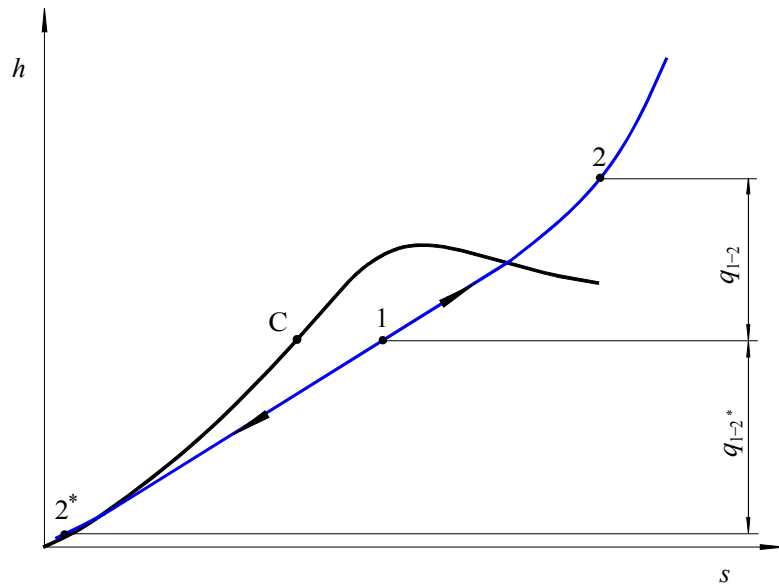


- Prema Prvom zakonu termodinamike:

$$Q_{1-2} + W_{\text{teh},1-2} = H_2 - H_1 \quad \Rightarrow \quad Q_{1-2} = m(h_2 - h_1)$$

$$q_{1-2} = h_2 - h_1$$

$$Q_{1-2} = m[(u_2 - u_1) + (p_2 v_2 - p_1 v_1)]$$

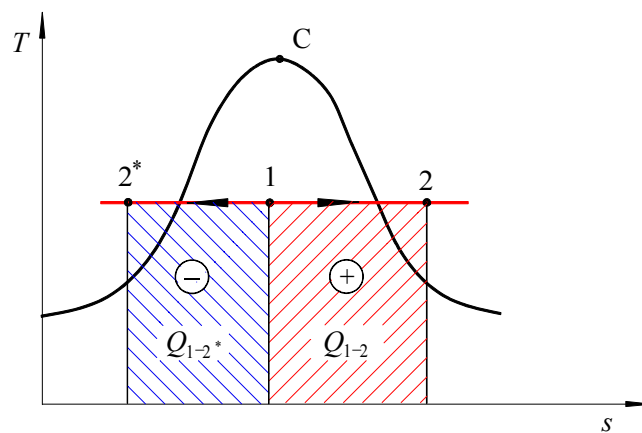


12.3.2 Izotemska (izotemperaturske) promena stanja realnog fluida ($T = \text{idem}$, $dT = 0$)

Predata količina toplote

$$Q_{1-2} = \int_1^2 \delta Q = \int_1^2 T dS \Rightarrow$$

$$Q_{1-2} = T(S_2 - S_1) = mT(s_2 - s_1)$$



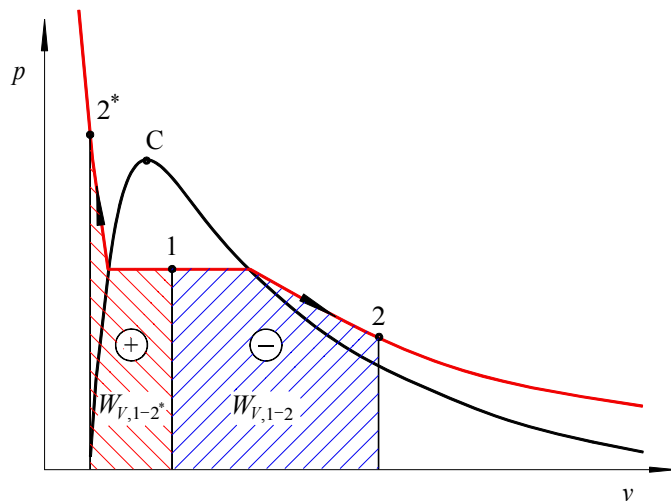
Izvršen zapreminski rad

$$W_{V,1-2} = - \int_1^2 p dV = ?$$

- Prema Prvom zakonu termodinamike:

$$Q_{1-2} + W_{V,1-2} = U_2 - U_1 \Rightarrow$$

$$W_{V,1-2} = m[(u_2 - u_1) - T(s_2 - s_1)]$$



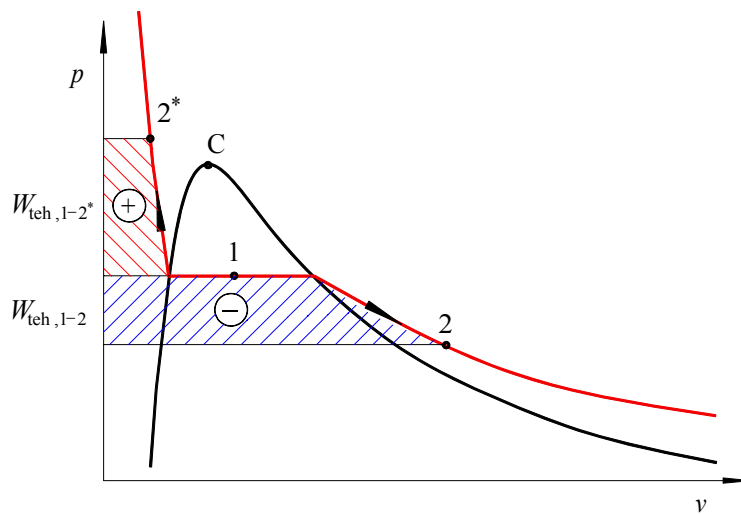
Izvršen tehnički rad

$$W_{\text{teh},1-2} = - \int_1^2 V dp = ?$$

- Prema Prvom zakonu termodinamike:

$$Q_{1-2} + W_{\text{teh},1-2} = H_2 - H_1 \quad \Rightarrow$$

$$W_{\text{teh},1-2} = m[(h_2 - h_1) - T(s_2 - s_1)]$$



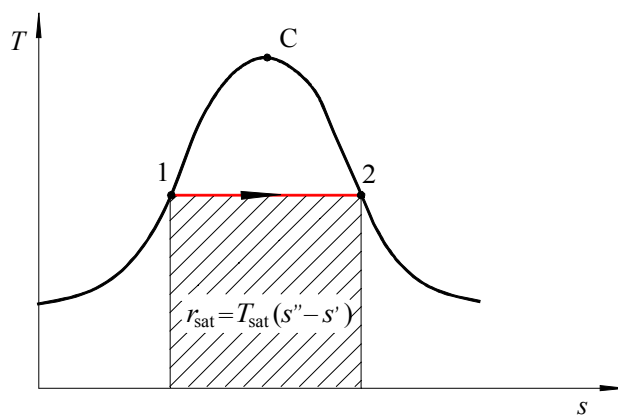
Specijalan slučaj – toplota isparavanja (kondenzovanja) - r_{sat}

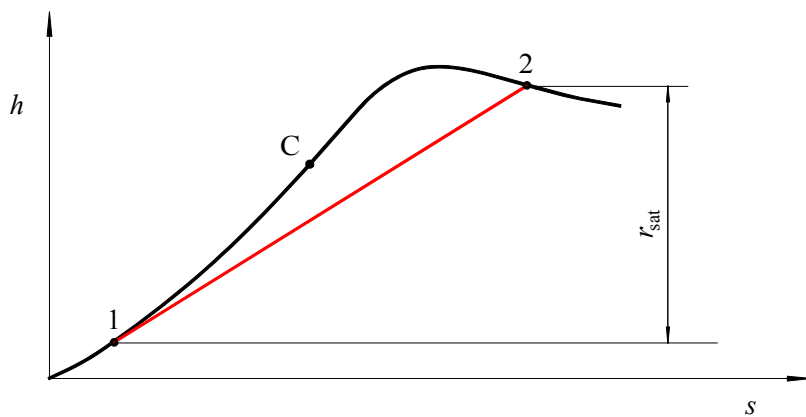
$$r_{\text{sat}} = h_2 - h_1 \quad \Rightarrow$$

$$r_{\text{sat}} = h'' - h'$$

$$r_{\text{sat}} = T_{\text{sat}}(s'' - s')$$

$$r_{\text{sat}} = u'' - u' + p(v'' - v')$$





$$r_{\text{sat}} = h_2 - h_1 = h'' - h'$$

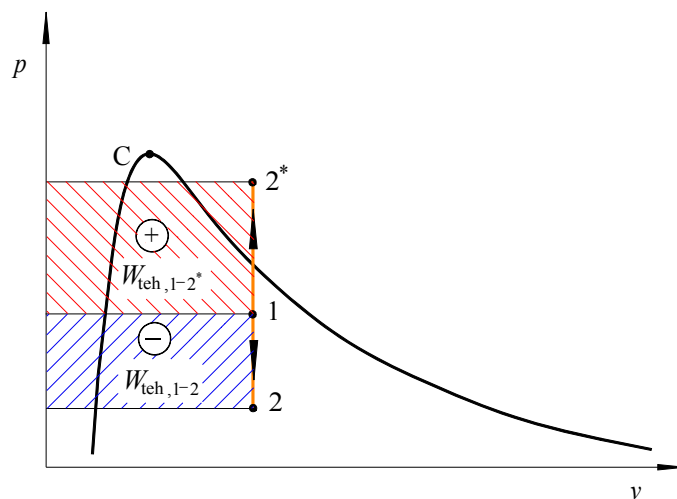
12.3.3 Izohorska promena stanja realnog fluida ($V = \text{idem}$, $dV = 0$)

Izvršen zapreminski rad

$$W_{V,1-2} = -\int_1^2 p dV = 0$$

Izvršen tehnički rad

$$W_{\text{teh},1-2} = \int_1^2 V dp = V(p_2 - p_1)$$



Predana količina toplote

$$Q_{1-2} = \int_1^2 T dS = ?$$

- Prema Prvom zakonu termodinamike:

$$Q_{1-2} + W_{V,1-2} = U_2 - U_1$$

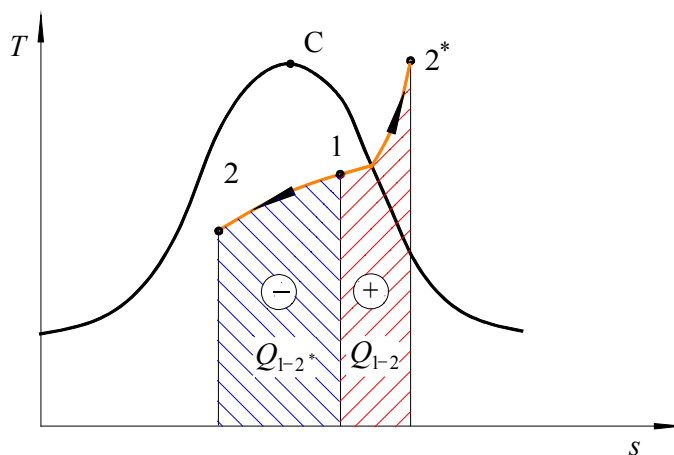
$$\Rightarrow$$

$$Q_{1-2} = m(u_2 - u_1)$$

$$q_{1-2} = u_2 - u_1$$

ili

$$Q_{1-2} = m[(h_2 - h_1) - (p_2 v_2 - p_1 v_1)]$$



12.3.4 Adijabatska (adijatermska) ravnotežna promena stanja realnog fluida ($\delta q = 0$, $q_{1-2} = 0$, $Q_{1-2} = 0$)

Za ravnotežne promene stanja (kvazistatične), ova promena je istovremeno i izentropska.

$$\delta q = T ds \Rightarrow ds = 0 \Rightarrow s = \text{idem}$$

Predata količina toplote

$$Q_{1-2} = \int_1^2 T dS = 0$$

Izvršen zapreminski rad

$$W_{V,1-2} = - \int_1^2 p dV = ?$$

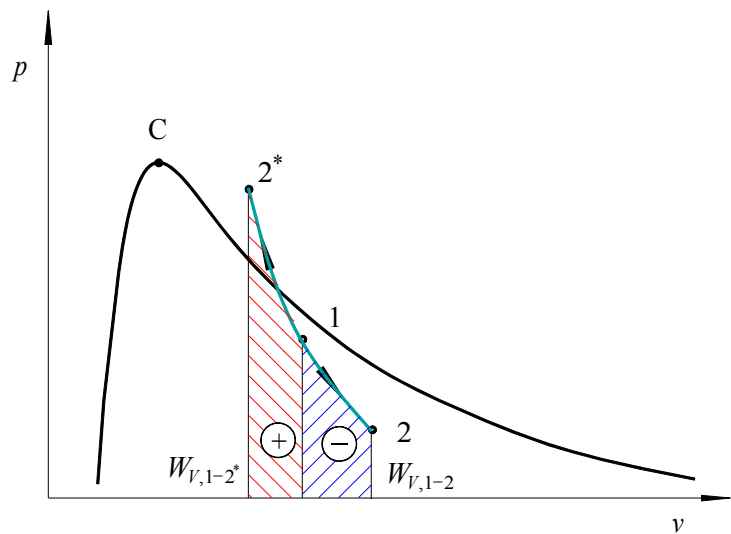
- Prema Prvom zakonu termodinamike:

$$Q_{1-2} + W_{V,1-2} = U_2 - U_1$$

$$\Rightarrow$$

$$W_{V,1-2} = U_2 - U_1$$

$$w_{V,1-2} = u_2 - u_1$$



Izvršen tehnički rad

$$W_{\text{teh},1-2} = \int_1^2 V dp = ?$$

- Prema Prvom zakonu termodinamike:

$$Q_{1-2} + W_{\text{teh},1-2} = H_2 - H_1$$

$$\Rightarrow$$

$$W_{\text{teh},1-2} = H_2 - H_1$$

$$w_{\text{teh},1-2} = h_2 - h_1$$

