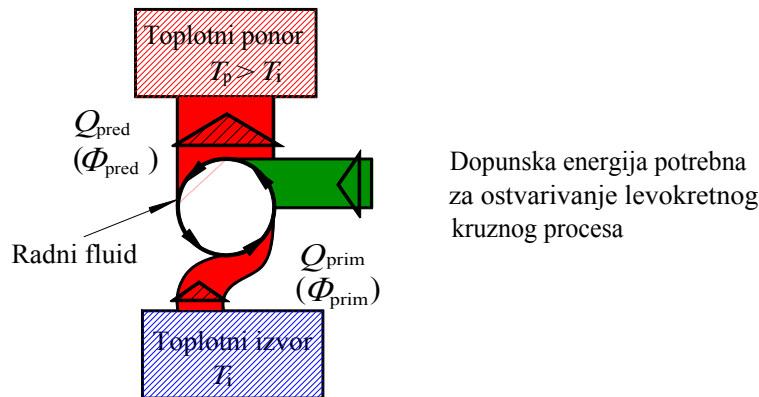


6. Termodinamička analiza levokretnih kompresionih rashladnih postrojenja sa tečnošću-parom

6.1 Uvod

Opšta šema energetskih tokova levokretnih kružnih procesa



- Svrha postojanja levokretnih kružnih procesa je:
 - **Hlađenje** nesavršeno (toplotno) izolovanih prostora – hladnjače, frižideri, razne prostorije u letnjem periodu – i namensko hlađenje (postupci zamrzavanja proizvoda, pravljenje leda,...) različitih materija na temperature niže od temperature okolnog prostora
 - **Grejanje** – obično samo za zagrevanje prostora – nadoknađivanje toplotnih „gubitaka“

6.2 Kompresiona postrojenja levokretnih kružnih procesa

- Dopunska energija – mehanički rad (mehanička snaga)
- Ukoliko služe za **hlađenje**, mera (energetskog) kvaliteta levokretnog kružnog procesa opisuje se **stepenom (ili koeficijentom) hlađenja**

$$\boxed{\varepsilon_h = \frac{\Phi_{\text{prim}}}{P_{\text{kp}}} = \frac{Q_{\text{prim}}}{W_{\text{kp}}}} \quad \left(= \frac{\text{željeno energetsko dejstvo TDS na okolinu}}{\text{neophodno energetsko dejstvo okoline na TDS}} \right)$$

$\varepsilon_h = COP_R$ - Coefficient Of Performance of Refrigerater

Φ_{prim} – rashladna snaga ili rashladni učinak postrojenja

P_{kp} – mehanička snaga potrebna za ostvarivanje kružnog procesa

- Ukoliko služe za **grejanje**, mera (energetskog) kvaliteta levokretnog kružnog procesa opisuje se **stepenom (ili koeficijentom) grejanja**

$$\boxed{\varepsilon_g = \frac{|\Phi_{\text{pred}}|}{P_{\text{kp}}} = \frac{|Q_{\text{pred}}|}{W_{\text{kp}}}} \quad \left(= \frac{\text{željeno energetsko dejstvo TDS na okolinu}}{\text{neophodno energetsko dejstvo okoline na TDS}} \right)$$

$\varepsilon_g = COP_{\text{HP}}$ - *Coefficient Of Performance of Heat Pump*

Φ_{prim} – grejna (toplotna) snaga ili grejni (toplotni) učinak postrojenja

P_{kp} – mehanička snaga potrebna za ostvarivanje kružnog procesa

6.3 Parna kompresiona rashladna postrojenja

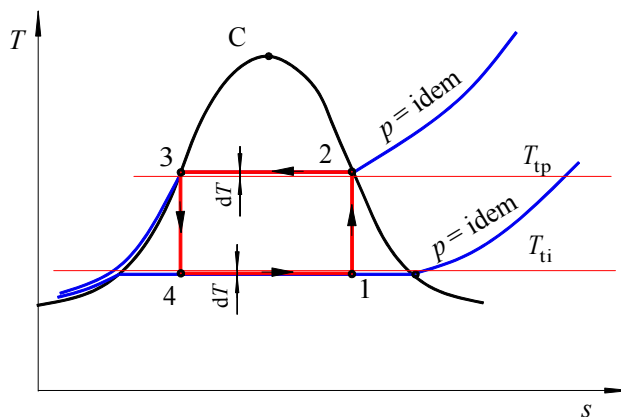
6.3.1 Karnoov (Carnot) kružni proces

- Kao i kod desnokretnih, Karnoov levokreti kružni proces je termodinamički „najbolji“ levokretni kružni proces – povratni kružni proces
- Levokretni Karnoov kružni proces, kao i desnokretni, sastoji se od 4 povratne promene stanja:

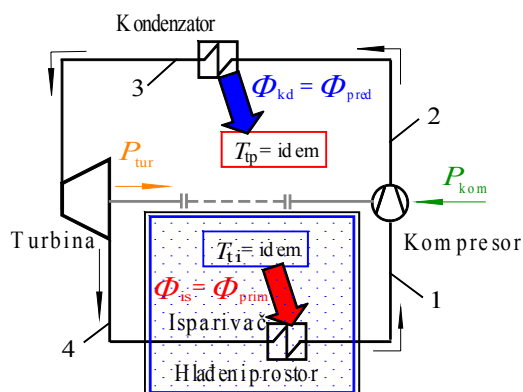
1-2	izentropske kompresije	$s = \text{idem}$	
2-3	izotermnog „hlađenja“	$T = \text{idem}$	$T_2 = T_3 = T_p = \text{idem}$
3-4	izentropske ekspanzije	$s = \text{idem}$	
4-1	izotermnog „zagrevanja“	$T = \text{idem}$	$T_4 = T_1 = T_i = \text{idem}$

- I levokretni Karnoov kružni proces je povratni kružni proces

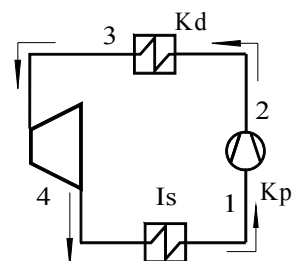
$$\Delta S_{\text{is}} = \Delta S_{\text{ti}} + \Delta S_{\text{tp}} + \Delta S_{\text{rs}} = 0$$



Detaljna šema postrojenja



Šema postrojenja

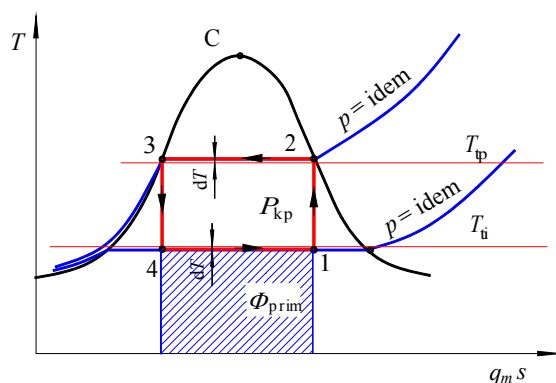


- **RASHLADNA SNAGA** – toplotni protok sa toplotnog izvora na rashladni fluid (primljeni toplotni protok)

$$\Phi_{hl} = \Phi_{prim} = \Phi_{is} = q_m (h_1 - h_4) = q_m T_{Ti} (s_1 - s_4) \quad (p = idem)$$

ili RASHLADNI UČINAK – količina toplote koju rashladni fluid u isparivaču primi od toplotnog izvora

$$Q_{hl} = Q_{prim} = Q_{is} = Q_{4-1} = m(h_1 - h_4) = m T_{Ti} (s_1 - s_4) \quad (p = idem)$$

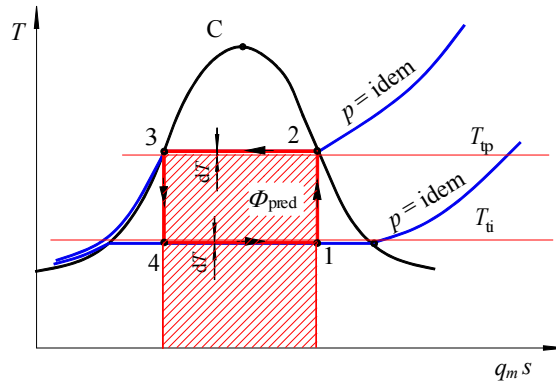


- Predati toplotni protok – toplotni protok sa rashladnog fluida na toplotni ponor

$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{Kd} = q_m (h_2 - h_3) = q_m T_{Tp} (s_2 - s_3) \quad (p = idem)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{Kd} = m(h_2 - h_3) = m T_{Tp} (s_2 - s_3) \quad (p = idem)$$



- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

$$P_{\text{kom}} = q_m (h_2 - h_1) \quad (s = \text{idem})$$

ili rad uloženi za pogon kompresora

$$W_{\text{kom}} = m(h_2 - h_1) \quad (s = \text{idem})$$

- Mehanička snaga koju pri izentropskom i ravnotežnom širenju u turbini para preda vratilu

$$|P_{\text{tur}}| = q_m (h_3 - h_4) \quad (s = \text{idem})$$

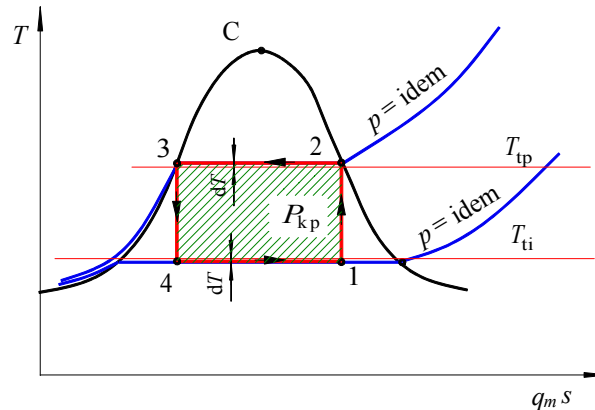
ili rad koju pri izentropskom i ravnotežnom širenju u turbini para preda vratilu („dobijeni“ rad)

$$|W_{\text{tur}}| = m(h_3 - h_4) \quad (s = \text{idem})$$

- Mehanička snaga potrebna za ostvarivanje levokretnog kružnog procesa

$$P_{\text{kp}} = P_{\text{kom}} - |P_{\text{tur}}| = q_m [(h_2 - h_1) - (h_3 - h_4)]$$

$$P_{\text{kp}} = |\Phi_{\text{pred}}| - \Phi_{\text{prim}} = \Phi_{\text{Kd}} - \Phi_{\text{ls}} = q_m [(h_2 - h_3) - (h_1 - h_2)] = q_m (s_2 - s_3)(T_{\text{Ti}} - T_{\text{Tp}})$$



- Koeficijent hlađenja

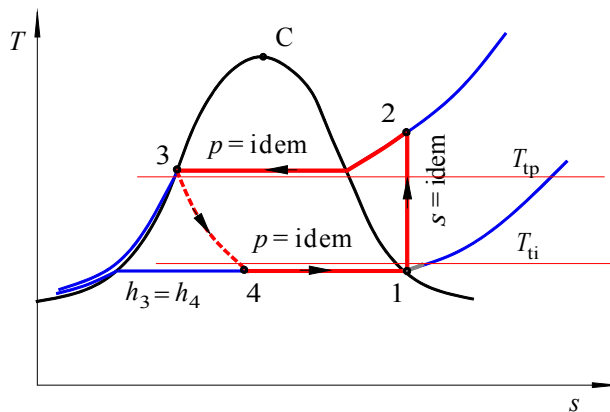
$$\varepsilon_{\text{h,Carnot}} = \varepsilon_{\text{h,C}} = \frac{\Phi_{\text{prim}}}{P_{\text{kp}}} = \frac{\Phi_{\text{prim}}}{|\Phi_{\text{pred}}| - \Phi_{\text{prim}}} =$$

$$\varepsilon_{\text{h,c}} = \frac{T_i (S_1 - S_4)}{T_p (S_2 - S_3) - T_p (S_1 - S_4)} = \frac{T_i}{T_p - T_i}$$

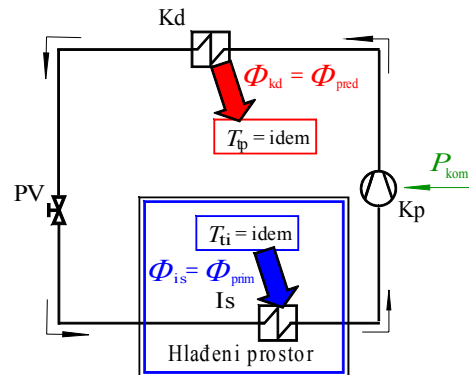
- Zbog činjenice da je proces isparavanja, odnosno kondenzacije realnog fluida izobarsko-izotermički proces, izotermički procesi 2-3 i 4-1 se relativno lako ostvaruju
- Tehnički problemi se javljaju pri ostvarivanju procesa izentropskog sabijanja vlažne pare 1-2, odnosno, njenog izentropskog sabijanja širenja 3-4.
 - Rad koji radni fluid izvrši u turbini $W_{izvrš}$ je veoma mali, dvofazne mešavine tehički nepodobni radi fluidi, a turbina (ili ekspanzioni cilindar je veoma skup uređaj), proces 2-3
 - ⇒ turbina se zamenjuje sa (mnogo jeftinijim) prigušnim ventilom
 - Kompresor usisava vlažnu paru – isti problemi i kod Rankin-Klauzijusovog procesa – proces 1-2 , → stanje 1, pomera se u desno do stanja suve ili čak predrežane pare. To se obezbeđuje ili automatskim upravljanjem (regulacijom) procesa ili ugradnjom dopunskog uređaja – odvajača tečnosti (pare).

6.3.2 Parno kompresiono rashladno postrojenje sa prigušnim ventilom i sa usavanjem (suvo)zasićene pare u kompresor – idelan ciklus

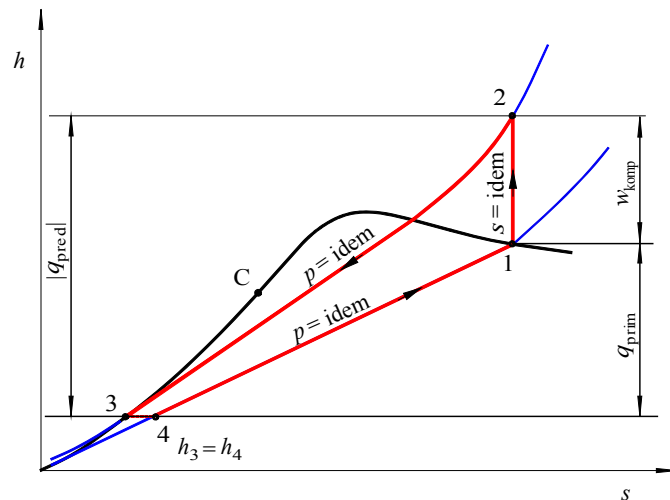
Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu



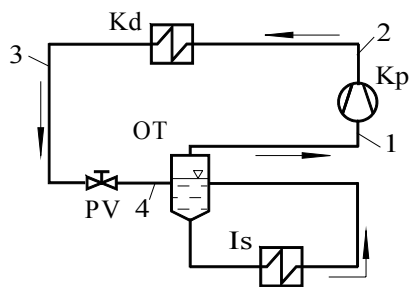
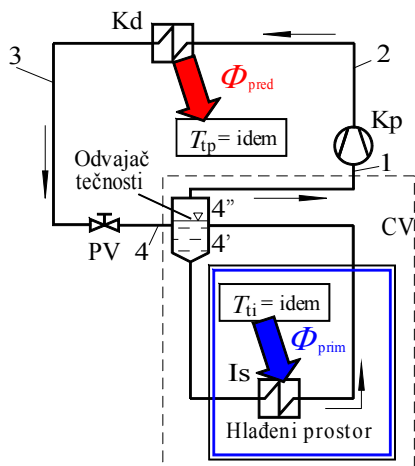
Šema postrojenja (Termodinamika)



Prikaz procesa u $h-s$ koordinatnom sistemu



Šema postrojenja (Primenjena termodinamika, Rashladna postrojenja, ...) - parno kompresiono rashladno postrojenje sa prigušnim ventilom i sa odvajačem tečnosti

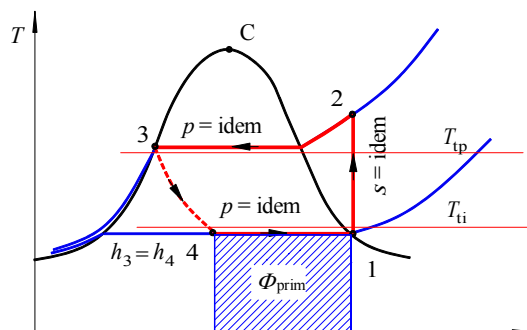


Rashladna snaga

$$\Phi_{hl} = \Phi_{prim} = \Phi_{ls} = q_m (h_1 - h_4)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl} = Q_{prim} = Q_{ls} = Q_{4-1} = m(h_1 - h_4)$$

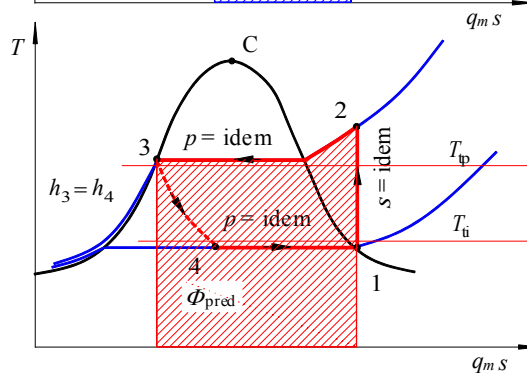


- Predati toplotni protok – toplotni protok sa rashladnog fluida na toplotni ponor

$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{Kd} = q_m (h_2 - h_3)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{Kd} = m(h_2 - h_3)$$

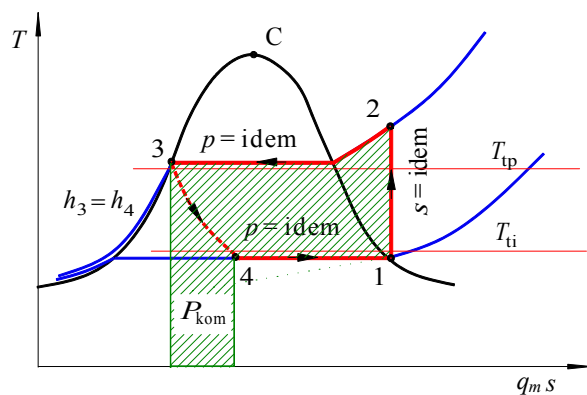


- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

$$P_{kom} = |\Phi_{pred}| - \Phi_{prim} = \Phi_{Kd} - \Phi_{ls} = q_m (h_2 - h_1)$$

ili rad uloženi za pogon kompresora

$$W_{kom} = W_{teh,1-2} = |Q_{pred}| - Q_{prim} = Q_{Kd} - Q_{ls} = m(h_2 - h_1)$$



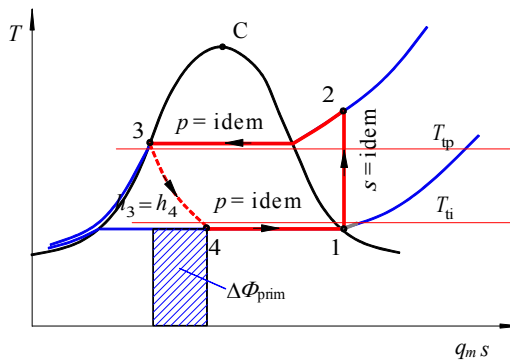
- Koeficijent hlađenja

$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{\text{prim}}}{P_{\text{kp}}} = \frac{\Phi_{\text{is}}}{P_{\text{kom}}} = \frac{q_m(h_1 - h_4)}{q_m(h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

- Termodinamička analiza

Zamenom turbine sa prigušnim ventilom, istovremeno se smanjuje rashladna snaga postrojenja za

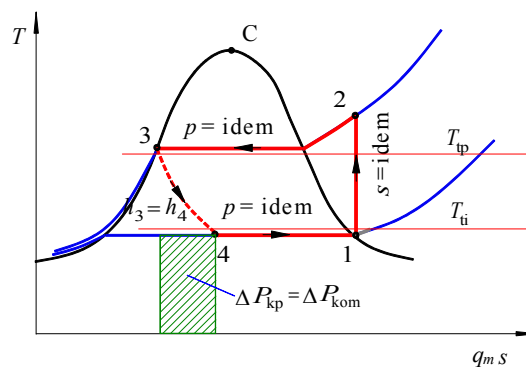
$$\Delta \Phi_{\text{prim}} = \Delta \Phi_{\text{is}} = q_m T_{\text{Ti}} (s_4 - s_3)$$



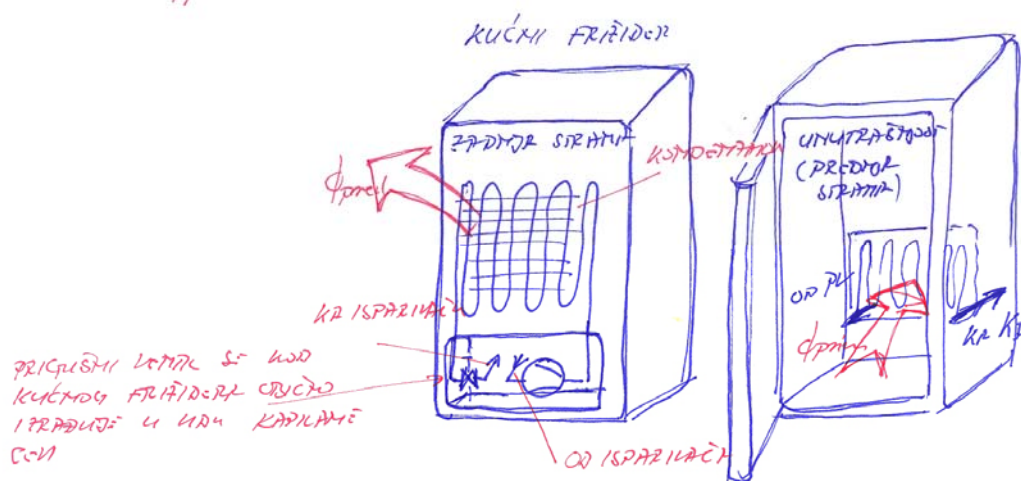
i za isti iznos povećava potrebna mehanička snaga potrebna za pogon kompresora

$$\Delta P_{\text{kom}} = q_m T_{\text{Ti}} (s_4 - s_3),$$

pa se koeficijent hlađenja tako smanjuje po dva osnova



Primer postrojenja – tzv. “kućni” frižider

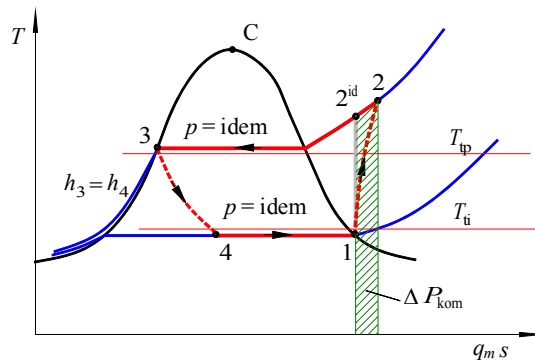
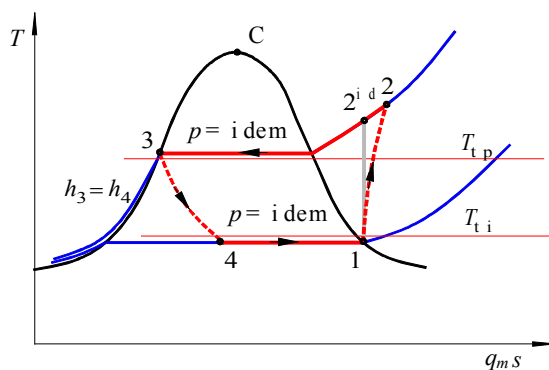


6.3.3 Nepovratnosti u procesima kompresiono rashladnih postrojenja – realan ciklus

Iako su i pri procesima predaje toplote (kondenzator, isparivač), neizostavno prisutni disipativni efekti, pa ovi procesi realno nisu izobarski, ova odstupanja su beznačajna, pa se obično ne uzimaju u obzir.

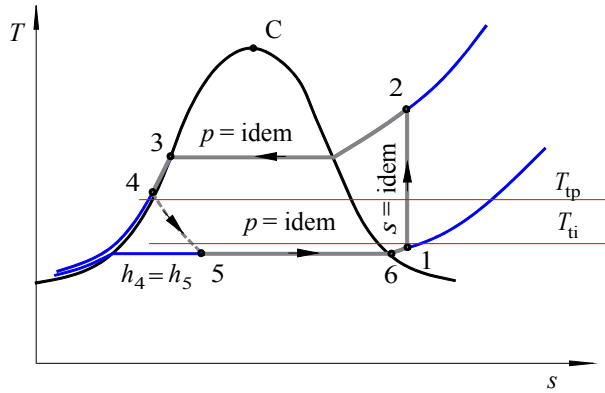
Najveća odstupanje „realnog“ od „idealnog“ procesa dešava se u procesu adijaterskog sabijanja pare u kompresoru. Pri tom, odvijanje procesa u mehaničkoj neravnoteži predstavlja glavni uzročnik njegove nepovratnosti i povećanja entropije.

To dalje ima za posledicu povećanje mehaničke snage potrebne za pogon kompresora ΔP_{kom} .

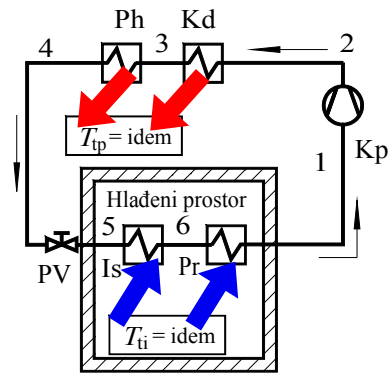


6.3.4 Parno kompresiono rashladno postrojenje sa pothlađivanjem kondenzata, prigušnim ventilom i usavanjem pregrejane pare u kompresor

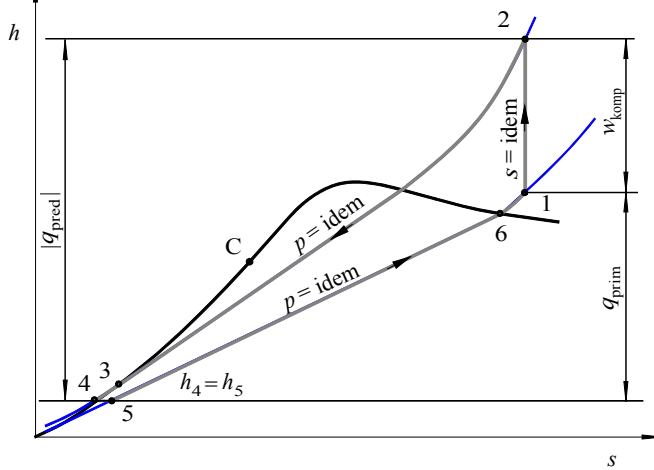
Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu



Šema postrojenja



Prikaz procesa u $h-s$ koordinatnom sistemu



$$\Phi_{\text{prim}} = q_m (h_1 - h_6)$$

$$Q_{\text{prim}} = Q_{\text{is}} + Q_{\text{pr}} = Q_{4-6} + Q_{6-1} = m(h_1 - h_6)$$

$$\Phi_{\text{pred}} = q_m (h_4 - h_2)$$

$$Q_{\text{pred}} = Q_{\text{kd}} + Q_{\text{ph}} = Q_{2-3} + Q_{3-4} = m(h_4 - h_2)$$

$$P_{\text{komp}} = q_m (h_2 - h_1)$$

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

- Koeficijent hlađenja

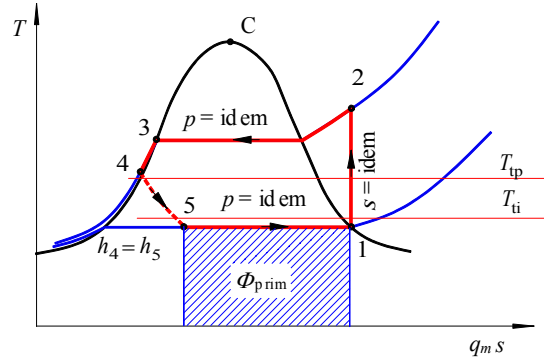
$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{\text{prim}}}{P_{\text{komp}}} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1}$$

- Rashladna snaga (primljeni toplotni protok)

$$\Phi_{hl} = \Phi_{prim} = \Phi_{ls} = q_m(h_1 - h_5)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl} = Q_{prim} = Q_{ls} = Q_{4-1} = m(h_1 - h_5)$$



- Predati toplotni protok

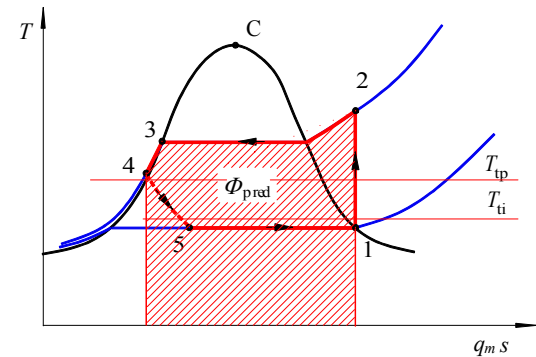
$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{Kd} + \Phi_{Ph}$$

$$|\Phi_{pred}| = q_m(h_3 - h_2) + q_m(h_4 - h_3) = q_m(h_4 - h_2)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru i potplađivaču preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{Kd} + Q_{Ph}$$

$$|Q_{pred}| = m(h_3 - h_2) + m(h_4 - h_3) = m(h_4 - h_2)$$

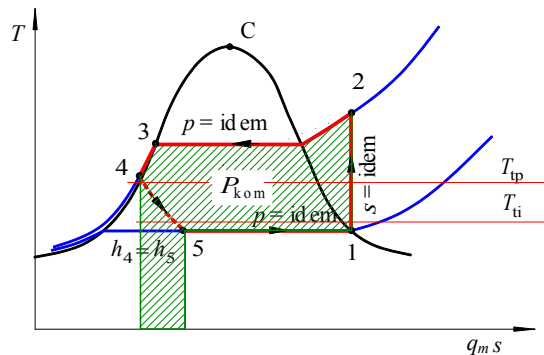


- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora ili rad uložena za pogon kompresora

$$P_{komp} = q_m(h_2 - h_1)$$

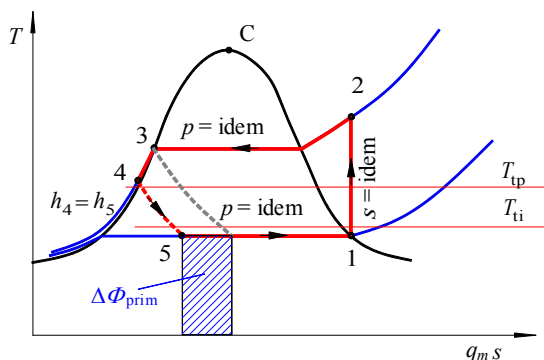
ili rad uložena za pogon kompresora

$$W_{kom} = W_{teh, 1-2} = m(h_2 - h_1)$$



- Koeficijent hlađenja

$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{prim}}{P_{kp}} = \frac{\Phi_{ls}}{P_{kom}} = \frac{q_m(h_1 - h_5)}{q_m(h_2 - h_1)} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1}$$



- Termodinamička analiza

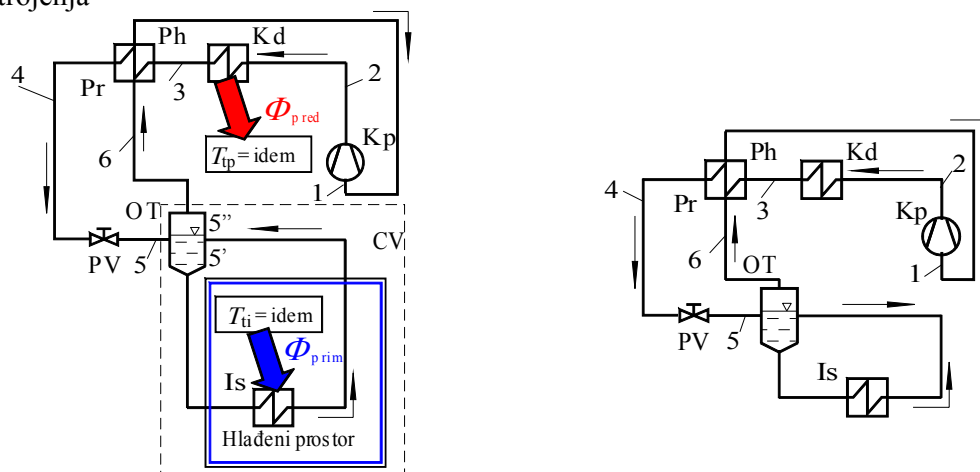
Rashladna snaga postrojenja postrojenja sa potplađivanjem kondenzata u odnosu na rashladno postrojenje bez potplađivanja kondenzata (6.3.2), veća je za

$$\Delta \Phi_{prim} = \Delta \Phi_{ls} = q_m(h_3 - h_4) = q_m(h_3 - h_5),$$

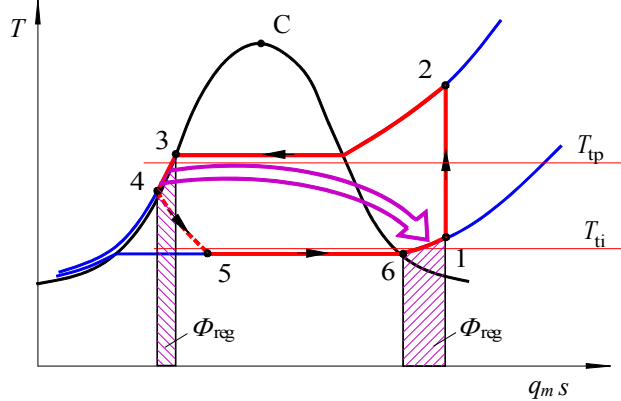
dok mehanička snaga potrebna za pogon kompresora P_{kom} , ostala je nepromenjena.

6.4.2 Regenerativno pothlađivanje – pothlađivanjem kondenzata, pregrevanjem suve pare po izlasku iz isparivača

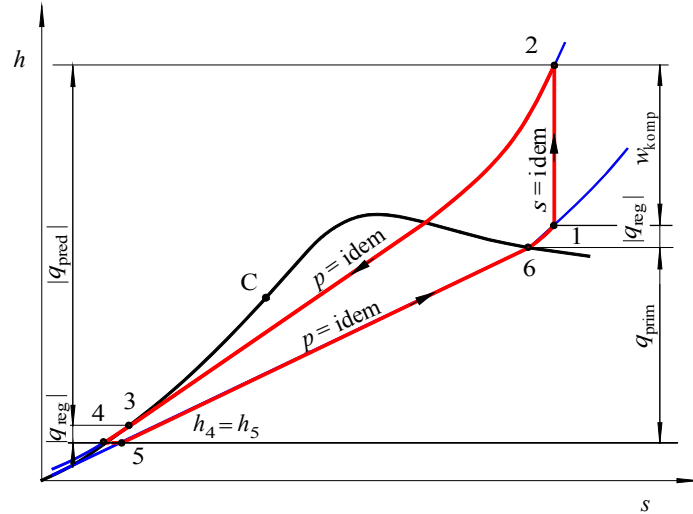
Šema postrojenja



Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu



Prikaz procesa u $h-s$ koordinatnom sistemu

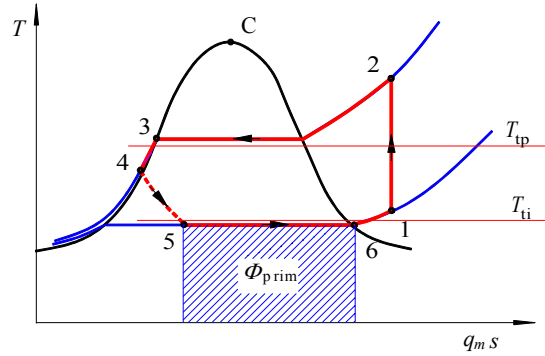


- Rashladna snaga

$$\Phi_{hl} = \Phi_{prim} = \Phi_{ls} = q_m(h_6 - h_5)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl} = Q_{prim} = Q_{ls} = Q_{5-6} = m(h_6 - h_5)$$

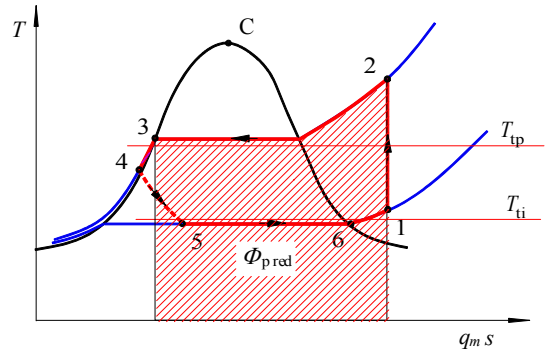


- Predati toplotni protok

$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{kd} = q_m(h_2 - h_3)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{kd} = m(h_2 - h_3)$$

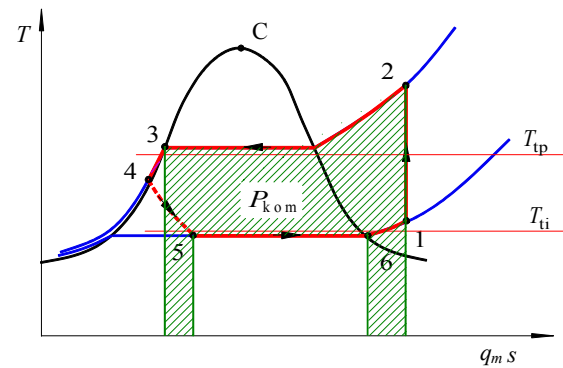


- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

$$P_{komp} = q_m(h_2 - h_1)$$

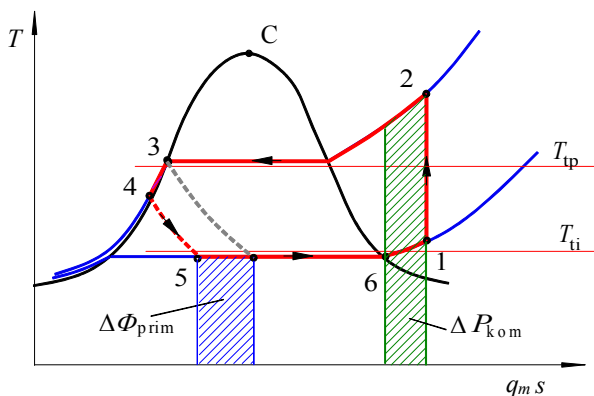
ili rad uložen za pogon kompresora

$$W_{kom} = W_{teh,1-2} = m(h_2 - h_1)$$



- Koeficijent hlađenja

$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{prim}}{P_{kp}} = \frac{\Phi_{ls}}{P_{kom}} = \frac{q_m(h_6 - h_5)}{q_m(h_2 - h_1)} = \frac{h_6 - h_5}{h_2 - h_1}$$



- Termodinamička analiza

Rashladna snaga postrojenja sa regenerativnim pothlađivanjem kondenzata, u odnosu na rashladno postrojenje bez pothlađivanja kondenzata, veća je za

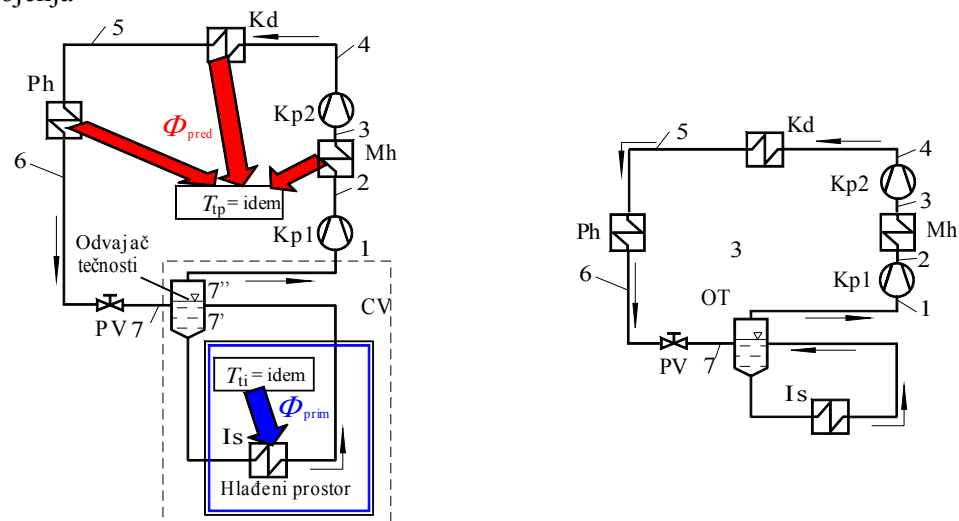
$$\Delta \Phi_{prim} = \Delta \Phi_{ls} = q_m(h_3 - h_4) = q_m(h_3 - h_5)$$

Istovremeno povećanja se potrebe za mehaničkom snagom za pogon kompresora P_{kom} .

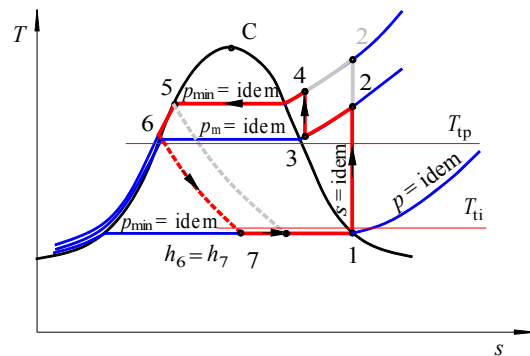
6.4.3 Višestepenim sabijanjem sa međuhlađenjem

6.4.3.1 Višestepenim sabijanjem sa „spoljašnjim“ međuhlađenjem

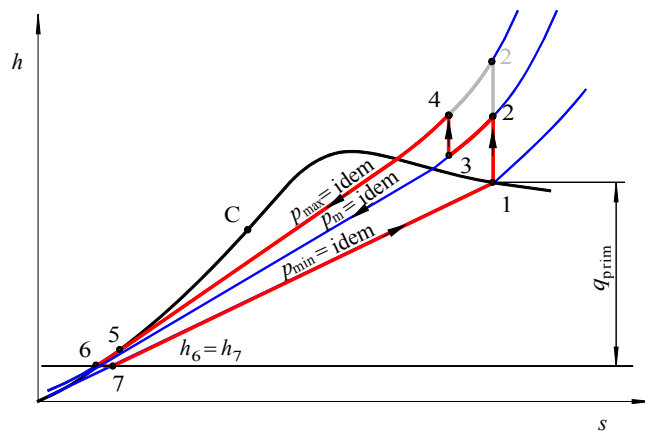
Šema postrojenja



Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu



Prikaz procesa u $h-s$ koordinatnom sistemu

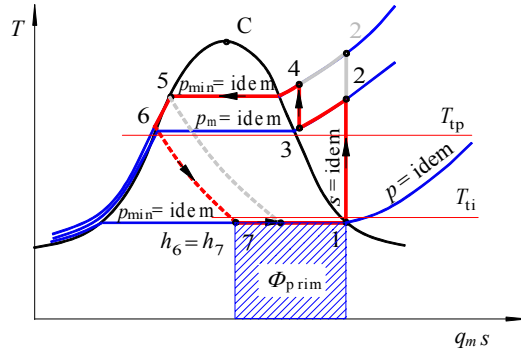


Rashladna snaga

$$\Phi_{hl} = \Phi_{prim} = \Phi_{ls} = q_m (h_1 - h_7)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl} = Q_{prim} = Q_{ls} = Q_{7-1} = m(h_1 - h_7)$$



- Predati toplotni protok

$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{Mh} + \Phi_{Kd} + \Phi_{Ph}$$

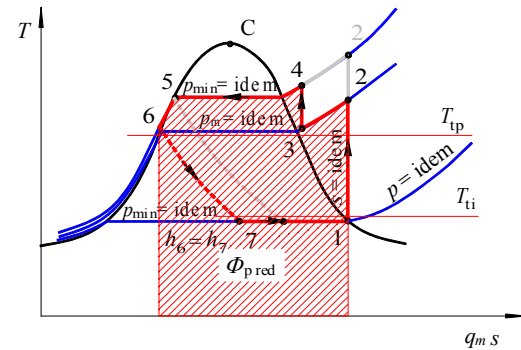
$$|\Phi_{pred}| = q_m [(h_2 - h_3) + (h_4 - h_5) + (h_5 - h_6)]$$

$$|\Phi_{pred}| = q_m [(h_2 - h_3) + (h_4 - h_6)]$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{Mh} + Q_{Kd} + Q_{Ph}$$

$$|Q_{pred}| = m[(h_2 - h_3) + (h_4 - h_6)]$$



- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

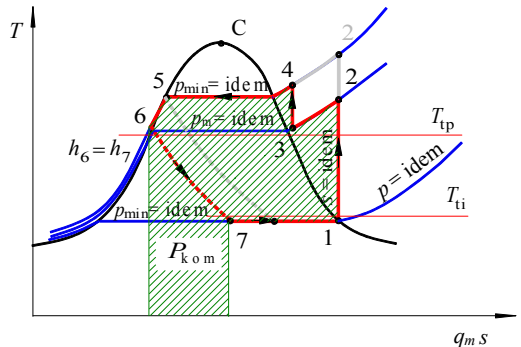
$$P_{kom} = P_{kom,1} + P_{kom,2}$$

$$P_{kom} = q_m [(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)]$$

ili rad uloženi za pogon kompresora

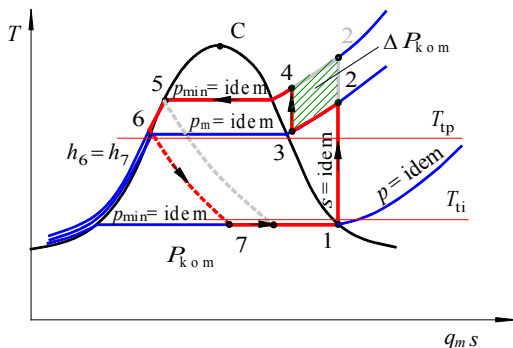
$$W_{kom} = W_{kom,1} + W_{kom,2}$$

$$W_{kom} = m[(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)]$$



- Koeficijent hlađenja

$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{prim}}{P_{kp}} = \frac{\Phi_{ls}}{P_{kom,1} + P_{kom,2}} = \frac{q_m (h_7 - h_1)}{q_m (h_2 - h_1) + q_m (h_4 - h_3)} = \frac{(h_7 - h_1)}{(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)}$$

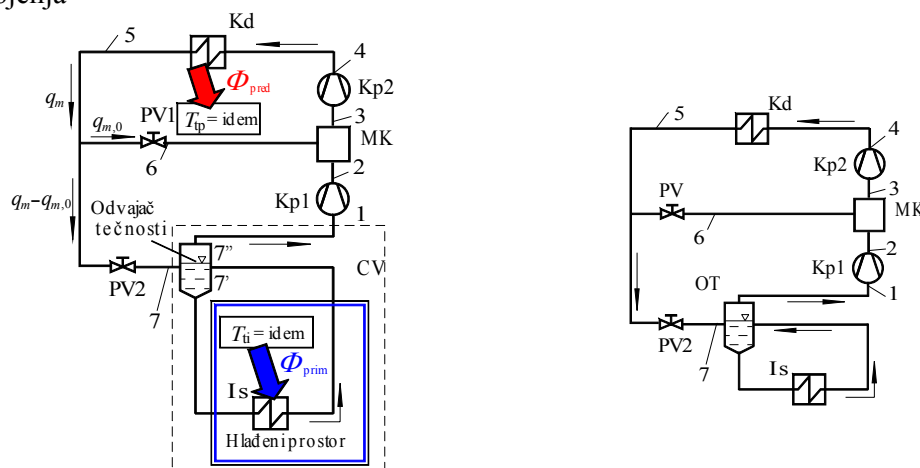


- Termodinamička analiza

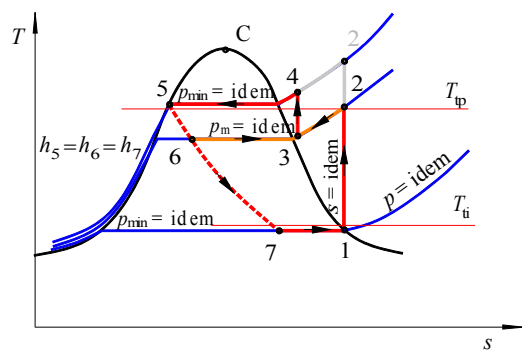
Višestepenim sabijanjem sa međuhlađenjem, uz nepromenjenu rashladnu snagu postrojenjem, smanjuje se potreba za mehaničkom snagom za pogon kompresora za ΔP_{kom} (videti sliku).

6.4.3.2 Višestepenim sabijanjem sa „unutrašnjim“ međuhlađenjem - I

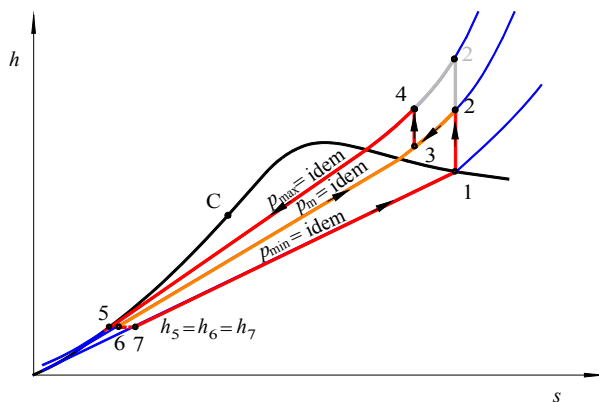
Šema postrojenja



Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu



Prikaz procesa u $h-s$ koordinatnom sistemu

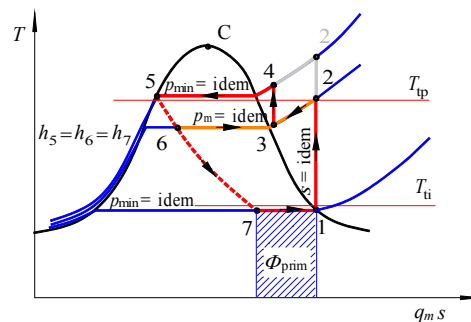


- Rashladna snaga

$$\Phi_{hl} = \Phi_{prim} = \Phi_{Is} = (q_m - q_{m,0})(h_1 - h_7)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl} = Q_{prim} = Q_{Is} = Q_{7-1} = (m - m_0)(h_1 - h_7)$$

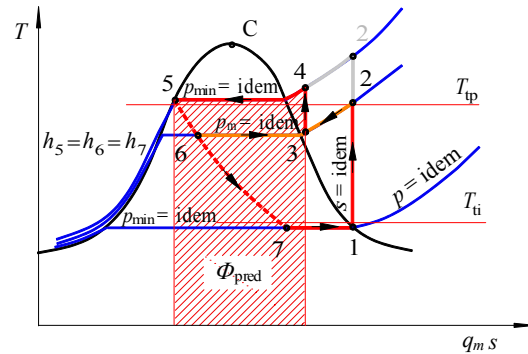


- Predati toplotni protok

$$|\Phi_{\text{pred}}| = \Phi_{\text{Kd}} = q_m (h_4 - h_5)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{\text{pred}}| = Q_{\text{Kd}} = m(h_4 - h_5)$$



- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

$$P_{\text{kom}} = P_{\text{kom},1} + P_{\text{kom},2} = (q_m - q_{m,0})(h_2 - h_1) + q_m(h_4 - h_3)$$

ili rad uloženi za pogon kompresora

$$W_{\text{kom}} = W_{\text{kom},1} + W_{\text{kom},2} = (m - m_0)(h_2 - h_1) + m(h_4 - h_3)$$

- Energetski bilans za mešnu komoru

$$q_{m,0}h_6 + (q_m - q_{m,0})h_2 = q_m h_3$$

- Koeficijent hlađenja

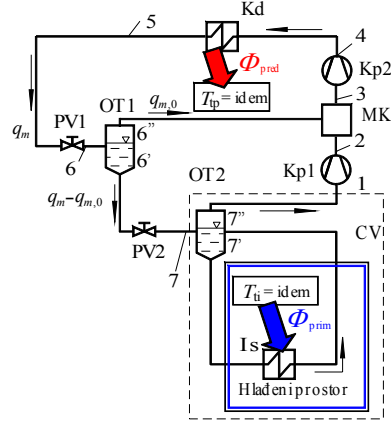
$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{\text{prim}}}{P_{\text{kp}}} = \frac{\Phi_{\text{ls}}}{P_{\text{kom},1} + P_{\text{kom},2}} = \frac{(q_m - q_{m,0})(h_1 - h_7)}{(q_m - q_{m,0})(h_2 - h_1) + q_m(h_4 - h_3)}$$

- Termodinamička analiza

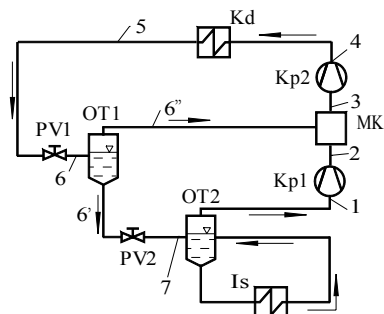
- Višestepenim sabijanjem sa međuhlađenjem, smanjuje se potreba za mehaničkom snagom za pogon kompresora P_{kom} , ali se smanjuje i rashladnu snagu postrojenja Φ_{hl} .
- Odnos između masnih protoka $q_{m,0}$ i q_m , određen je odnosima između vrednosti pritiska p_{max} , p_m i p_{min} . Što je vrednost pritiska p_m bliže pritisku p_{max} , to će ovaj protok biti manji.

6.4.3.3 Višestepenim sabijanjem sa „unutrašnjim“ međuhladenjem - II

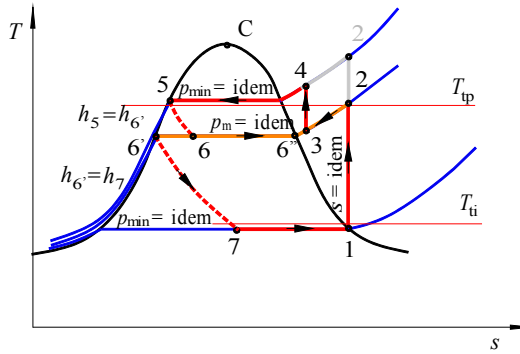
Detaljna šema postrojenja



Šema postrojenja



Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu



- Maseni protoci

$$q_{m,0} = q_m x_6$$

$$q_m - q_{m,0} = q_m (1 - x_6)$$

- Rashladna snaga

$$\Phi_{hl} = \Phi_{prim} = \Phi_{ls} = (q_m - q_{m,0})(h_1 - h_7) = q_m (1 - x_6)(h_1 - h_7)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl} = Q_{prim} = Q_{ls} = Q_{7-1} = (m - m_0)(h_1 - h_7) = m(1 - x_6)(h_1 - h_7)$$

- Predati toplotni protok

$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{Kd} = q_m (h_4 - h_5)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{Kd} = m(h_4 - h_5)$$

- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

$$P_{\text{kom}} = P_{\text{kom},1} + P_{\text{kom},2} = (q_m - q_{m,0})(h_2 - h_1) + q_m(h_4 - h_3)$$

ili rad uloženi za pogon kompresora

$$W_{\text{kom}} = W_{\text{kom},1} + W_{\text{kom},2} = (m - m_0)(h_2 - h_1) + m(h_4 - h_3)$$

- Energetski bilans za mešnu komoru

$$q_{m,0}h_{6'} + (q_m - q_{m,0})h_2 = q_m h_3$$

$$q_m x_6 h_{6'} + q_m (1 - x_6) h_2 = q_m h_3$$

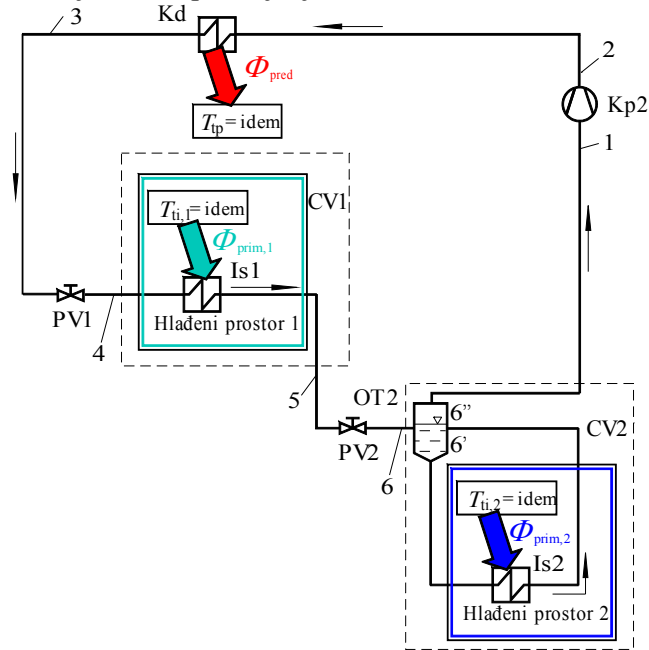
- Koeficijent hlađenja

$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{\text{prim}}}{P_{\text{kp}}} = \frac{\Phi_{\text{ls}}}{P_{\text{kom},1} + P_{\text{kom},2}} = \frac{(q_m - q_{m,0})(h_1 - h_7)}{(q_m - q_{m,0})(h_2 - h_1) + q_m(h_4 - h_3)}$$

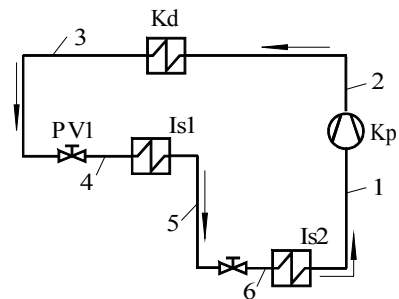
6.5 Rashladni ciklusi „frižidera-zamrzivača“

6.5.1 Parno kompresiono rashladno postrojenje sa dvostepenim isparavanjem i jednostepenom kompresijom pare - I

Detaljna šema postrojenja



Šema postrojenja



Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu

- Rashladna snaga frižiderskog isparivača („visoke“ temperature)

$$\Phi_{hl}^{vt} = \Phi_{prim,1} = \Phi_{ls,1} = q_m(h_5 - h_4)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl}^{vt} = Q_{prim,1} = Q_{ls,1} = Q_{4-5} = m(h_5 - h_4)$$

- Rashladna snaga isparivača u zamrzivaču („niske“ temperature)

$$\Phi_{hl}^{nt} = \Phi_{prim,2} = \Phi_{ls,2} = q_m(h_1 - h_6)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl}^{nt} = Q_{prim,2} = Q_{ls,2} = Q_{6-1} = m(h_1 - h_6)$$

- Predati toplotni protok

$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{Kd} = q_m(h_2 - h_3)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{Kd} = m(h_2 - h_3)$$

- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

$$P_{komp} = q_m(h_2 - h_1)$$

ili rad uloženi za pogon kompresora

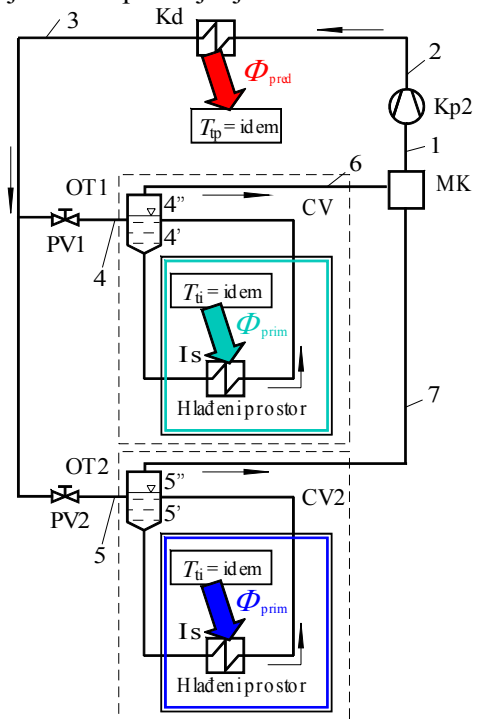
$$W_{kom} = W_{teh,1-2} = m(h_2 - h_1)$$

- Koeficijent hlađenja

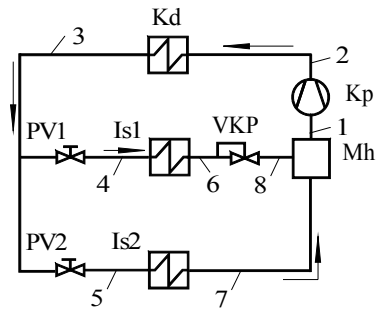
$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{prim}}{P_{kp}} = \frac{\Phi_{prim,1} + \Phi_{prim,2}}{P_{kom}} = \frac{\Phi_{hl}^{vt} + \Phi_{hl}^{nt}}{P_{kom}} = \frac{\Phi_{ls,1} + \Phi_{ls,2}}{P_{kom}} = \frac{q_m[(h_5 - h_4) + (h_1 - h_6)]}{q_m(h_2 - h_1)}$$

6.5.2 Parno kompresiono rashladno postrojenje sa dvostepenim isparavanjem i jednostepenom kompresijom pare - II

Detaljna šema postrojenja



Šema postrojenja



Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu

- Rashladna snaga frižiderskog isparivača („visoke“ temperature)

$$\Phi_{hl}^{vt} = \Phi_{prim,1} = \Phi_{ls,1} = q_{m,0}(h_6 - h_4)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl}^{vt} = Q_{prim,1} = Q_{ls,1} = Q_{4-6} = m_0(h_6 - h_4)$$

- Rashladna snaga isparivača u zamrzivaču („niske“ temperature)

$$\Phi_{hl}^{nt} = \Phi_{prim,2} = \Phi_{ls,2} = (q_m - q_{m,0})(h_7 - h_5)$$

ili rashladni učinak

$$Q_{hl}^{nt} = Q_{prim,2} = Q_{ls,2} = Q_{5-7} = (m - m_0)(h_7 - h_5)$$

- Predati toplotni protok

$$|\Phi_{pred}| = \Phi_{kd} = q_m(h_2 - h_3)$$

ili količina toplote koju rashladni fluid u kondenzatoru preda toplotnom ponoru

$$|Q_{pred}| = Q_{kd} = m(h_2 - h_3)$$

- Mehanička snaga uložena za pogon kompresora

$$P_{komp} = q_m(h_2 - h_1)$$

ili rad uloženi za pogon kompresora

$$W_{kom} = W_{teh,1-2} = m(h_2 - h_1)$$

- Koeficijent hlađenja

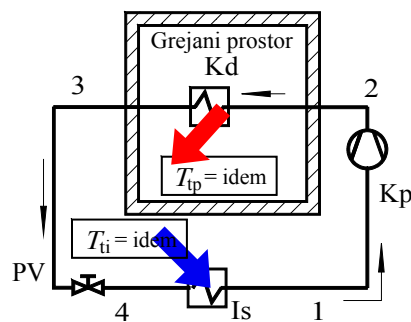
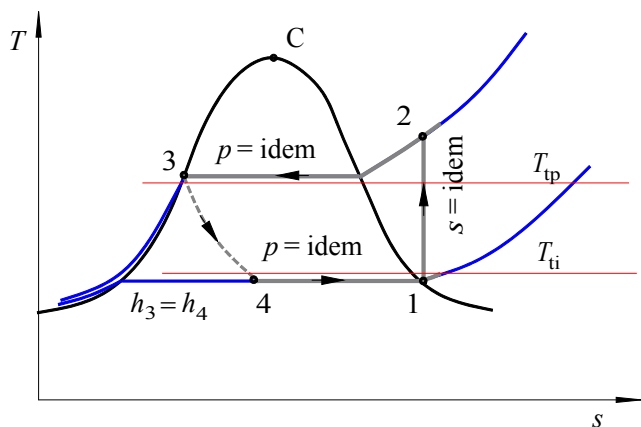
$$\varepsilon_h = \frac{\Phi_{prim}}{P_{kp}} = \frac{\Phi_{prim,1} + \Phi_{prim,2}}{P_{kom}} = \frac{\Phi_{hl}^{vt} + \Phi_{hl}^{nt}}{P_{kom}} = \frac{\Phi_{ls,1} + \Phi_{ls,2}}{P_{kom}} = \frac{q_{m,0}(h_6 - h_4) + (q_m - q_{m,0})(h_7 - h_5)}{q_m(h_2 - h_1)}$$

6.6 Postrojenje za termodinamičko grejanje – toplotne pumpe

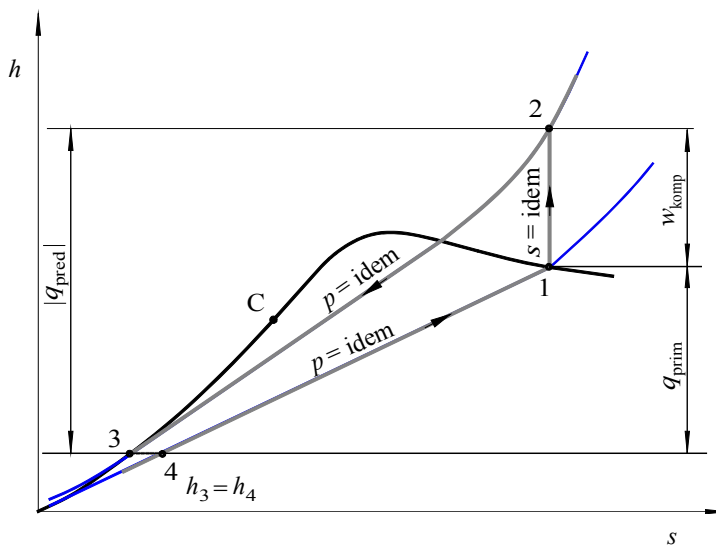
- Parno kompresiono rashladno postrojenje sa ili bez pothlađivanja kondenzata, prigušnim ventilom i usavanjem suve ili pregrejane pare u kompresor
- Svrha postrojenja – zagrevanje nekog medijuma – najčešće vodu, vode (bazeni), ...

Prikaz procesa u $T-s$ koordinatnom sistemu

Šema postrojenja



Prikaz procesa u $h-s$ koordinatnom sistemu



- Količina toplote koju rashladni fluid preda (predati toplotni protok) – **GREJNI (TOPLOTNI) UČINAK**

$$Q_{\text{pred}} = Q_{2-3} = m(h_3 - h_2) \quad \Phi_{\text{pred}} = q_m(h_3 - h_2) \quad (p = \text{idem})$$

- Količina toplote koju rashladni fluid primi (primljeni toplotni protok)

$$Q_{\text{prim}} = Q_{4-1} = m(h_1 - h_4) \quad \Phi_{\text{prim}} = q_m(h_1 - h_4) \quad (p = \text{idem})$$

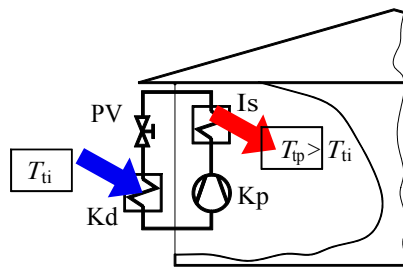
- Rad uložen za pogon kompresora (mehanička snaga uložena za pogon kompresora)

$$W_{\text{komp}} = W_{\text{teh},1-2} = m(h_2 - h_1) \quad P_{\text{komp}} = q_m(h_2 - h_1) \quad (s = \text{idem})$$

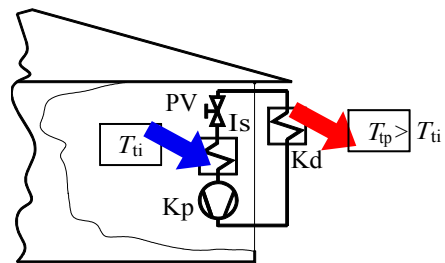
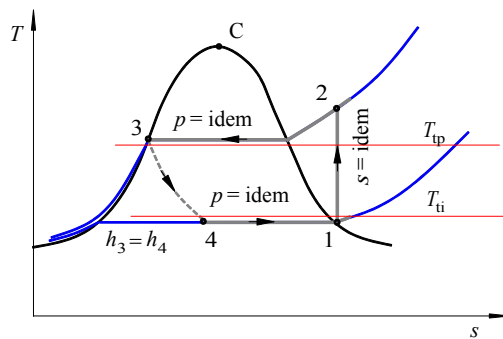
- Koeficijent grejanja

$$\varepsilon_g = \frac{|\Phi_{\text{pred}}|}{P_{\text{komp}}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

6.4.4 Princip rada kućnih klima uređaja



Grejanje vazduha u prostorijama (zimski period) – toplotna pumpa



Hlađenje vazduha u prostorijama (letnji period) – rashladni uređaj

