

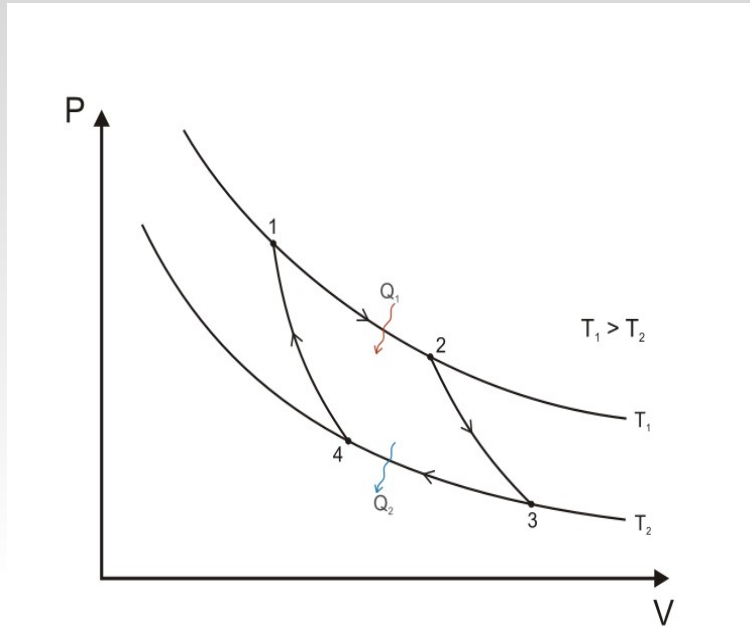
# **RANKINOV KROŽNI PROCES**

## **Seminar za predmet JTE**

Rok Krpan  
16.12.2010

Mentor: izr. prof. Iztok Tiselj

# Carnotov krožni proces

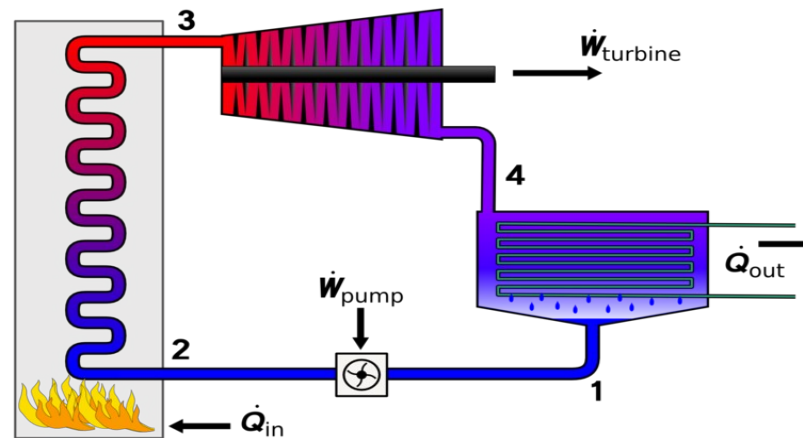
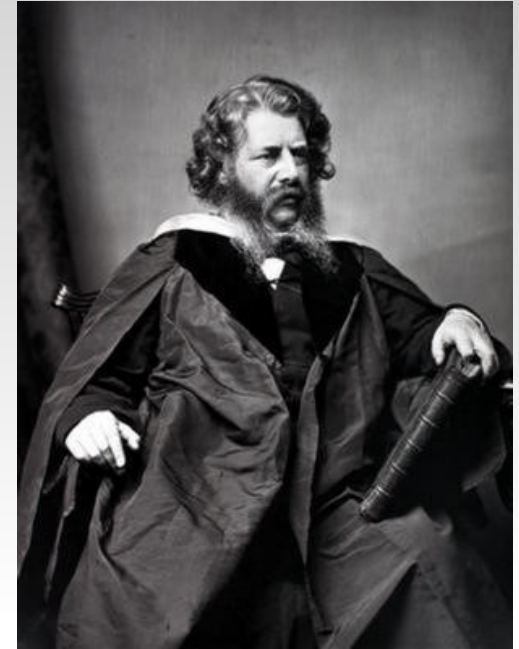


Iz štirih sprememb: dveh izotermnih in dveh izentropnih (reverzibilnih adiabatnih) sprememb:

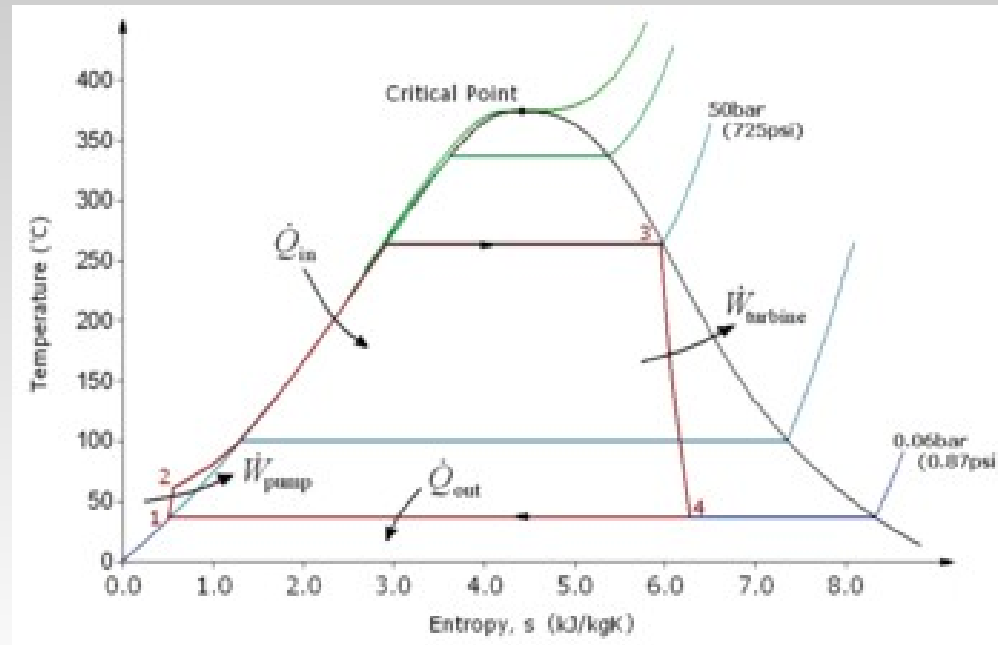
- 1 – 2 delovna snov prejema toploto pri konstantni  $T$
- 2 – 3 izentropno raztezanje delovne snovi, uparjanje
- 3 – 4 delovna snov odda toploto pri konstantni  $T$
- 4 – 1 izentropno stiskanje delovne snovi, utekočinjenje

# Rankinov krožni proces

- › škot William John Macquorn Rankine
- › Toplotni stroj
- › Toplota je iz zunanjega vira dovedena zaprtemu krogu
- › Imenovan tudi praktični Carnotov cikel



Glavne naprave Rankinovega cikla



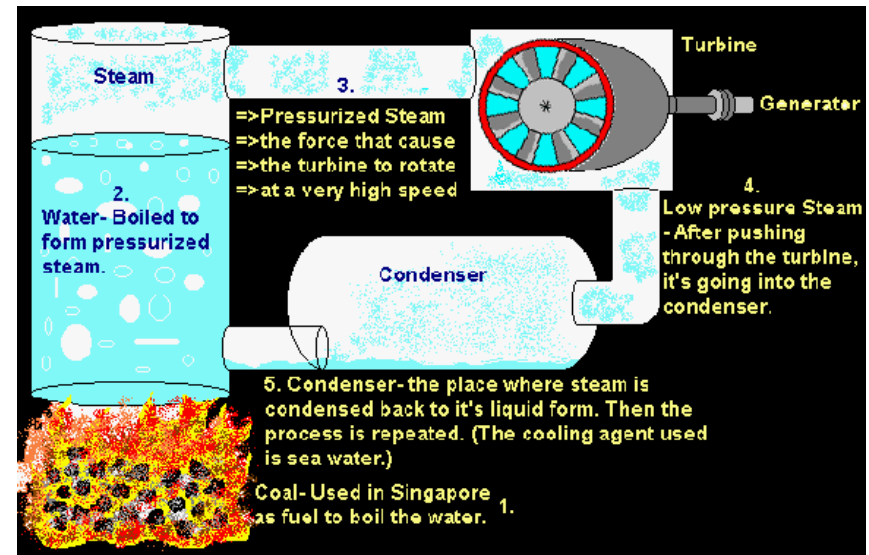
Rankinov cikel je sestavljen iz štirih sprememb oz. procesov: dveh izotermnih in dveh izobarnih:

- **Proces 1-2:** Voda v tekočem stanju je prečrpana z nizkega na visok tlak
- **Proces 2-3:** Pri konstantnem visokem tlaku je voda v uparjalniku uparjena v suho nasičeno paro.
- **Proces 3-4:** Suha nasičena para se razširi pri prehodu skozi turbino. Ta proces pari zniža pritisk in temperaturo, pojavi se kondenzacija.
- **Proces 4-1:** »Mokra« para kondenzira v kondenzatorju pri konstantnem tlaku.

- › Črpanje sredstva skozi cikel v tekočem stanju zahteva malo energije potrebne za njegovo kroženje - večji izkoristek cikla
- › Moč črpalke okrog 2% moči turbine
  - NEK: pri črpanju se poveča specifična entalpija vode za 8,5 kJ/kg, tlak pa se poveča na 7,8 Mpa.
  - V HP turbini padec tlaka za 5 MPa, v LP za 0,9 MPa
- › Izkoristek odvisen tudi od delovnega sredstva
  - NEK: na izhodu uparjalnika: 278°C, 6,23 Mpa
  - Parne tabele: voda pri 280°C ima parni tlak 6,419 MPa

Sekundarni krog

- Pri krožnem procesu je vložena energija enaka oddani energiji
- Energija uparjanja je v glavnem odvzeta v vakuumskem kondenzatorju:
  - velik padec entalpije razširjajoče se pare
  - Večja količina razpoložljive energije



Sprememba entalpije:

$$\Delta H = \Delta E + V\Delta p + p\Delta V$$

$$\Delta H = \Delta Q ; p = konst$$

$G = \Phi_M$  masni pretok [kg/s]  
 $h$  specifična entalpija [J/kg]

Vhodni toplotni tok:

$$\frac{P_V}{G} = h_3 - h_2$$

Izhodni toplotni tok:

$$\frac{P_I}{G} = h_4 - h_1$$

Mehanična moč črpalke (dovedena v sistem) in turbine (odvedena iz sistema):

$$\frac{P_{\check{c}rp}}{G} = h_2 - h_1 \approx \frac{V_1 \Delta p}{\eta_{\check{c}rp}} = \frac{V_1 (p_2 - p_1)}{\eta_{\check{c}rp}}$$

$$\frac{P_{tur}}{G} = h_3 - h_4 = (h_3 - h_{4s}) \times \eta_{tur}$$

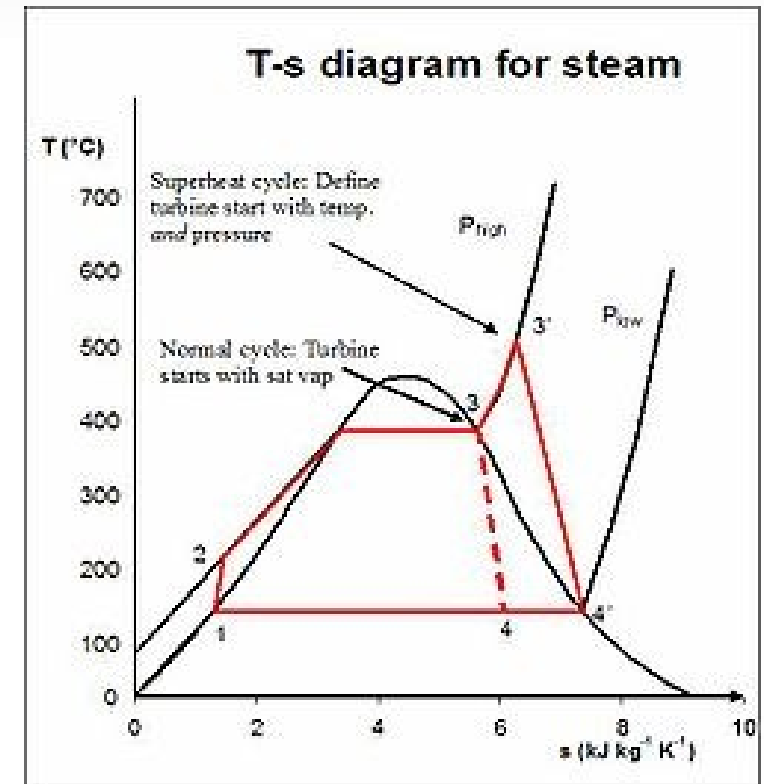
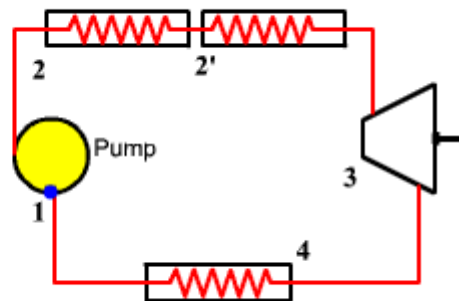
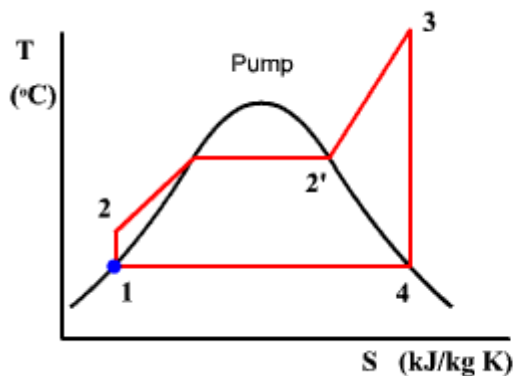
Izkoristek:

$$\eta_{term} = \frac{P_{tur} - P_{\check{c}rp}}{P_N} \approx \frac{P_{tur}}{P_N}$$

# Pregret Rankinov cikel

- Tvorba kapljic ob razpenjanju in kondenzaciji pare.
- Pri velikih hitrosti lopatic turbine, vodne kapljice povzročajo erozijo lopatic.
- Način preprečitve je pregretje pare.
- S pregretjem pare se poveča izkoristek, saj se poveča povprečna temperatura dodajanja toplote:

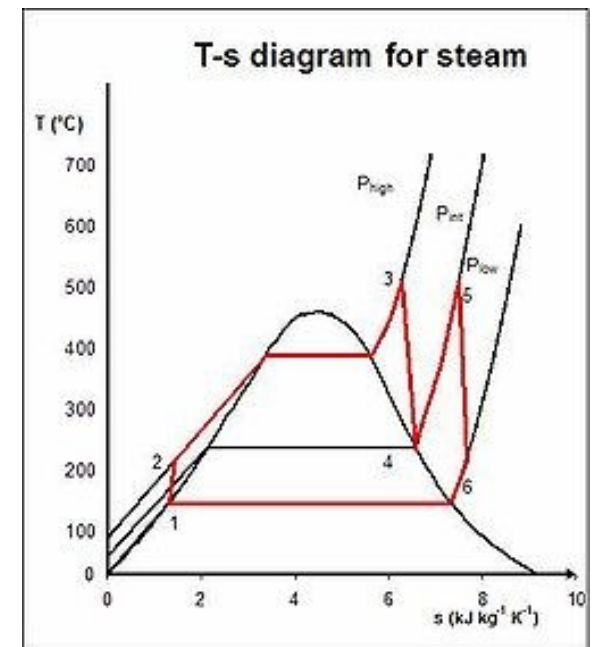
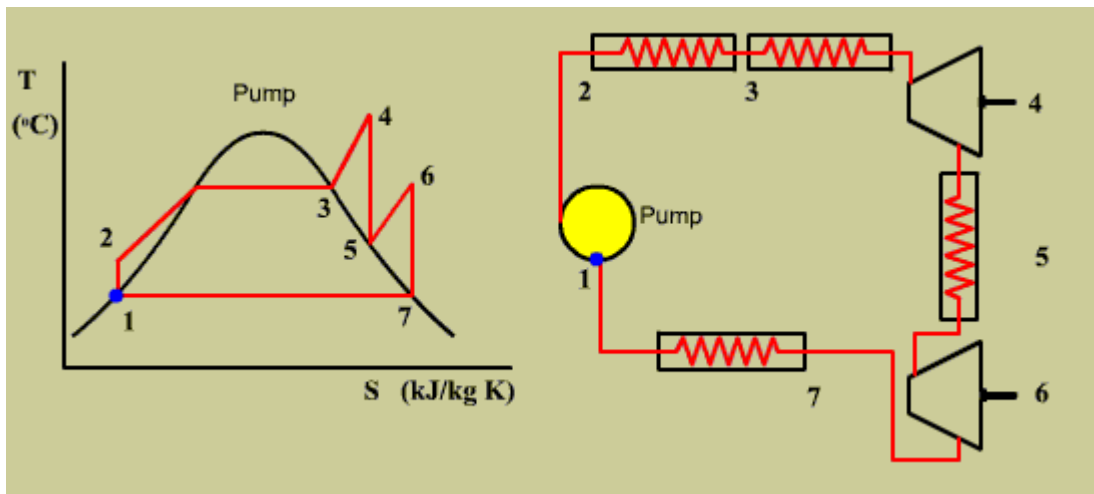
$$\left( \bar{T}_{in} = \frac{\int_2^3 T dQ}{Q_{in}} \right)$$





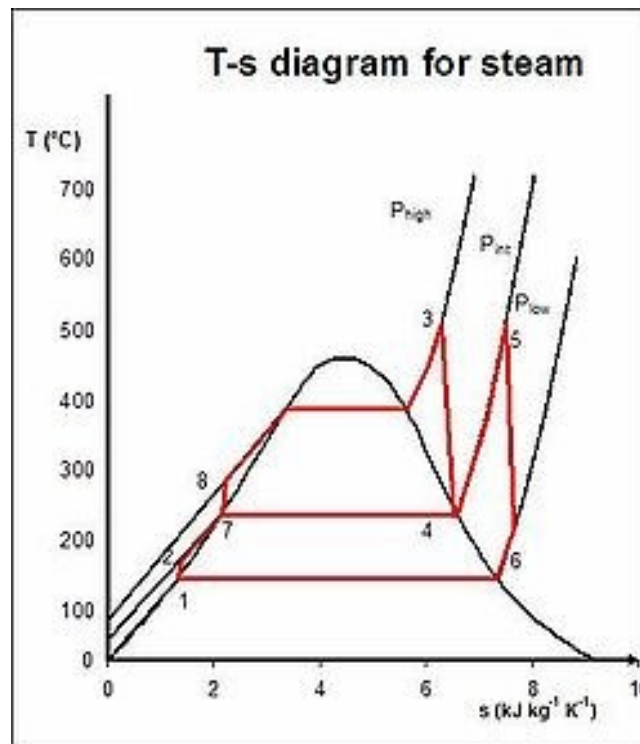
# Pregret Rankinov cikel s pogretjem

- Dve turbini delujeta v vrsti. Prva prejme paro iz uparjalnika pri visokem pritisku.
- Po prehodu skozi visokotlačno turbino je para ponovno segreti, preden vstopi v drugo, nizkotlačno turbino.
- Večji izkoristek, način za preprečevanje kondenzacije in uničevanje lopatic.



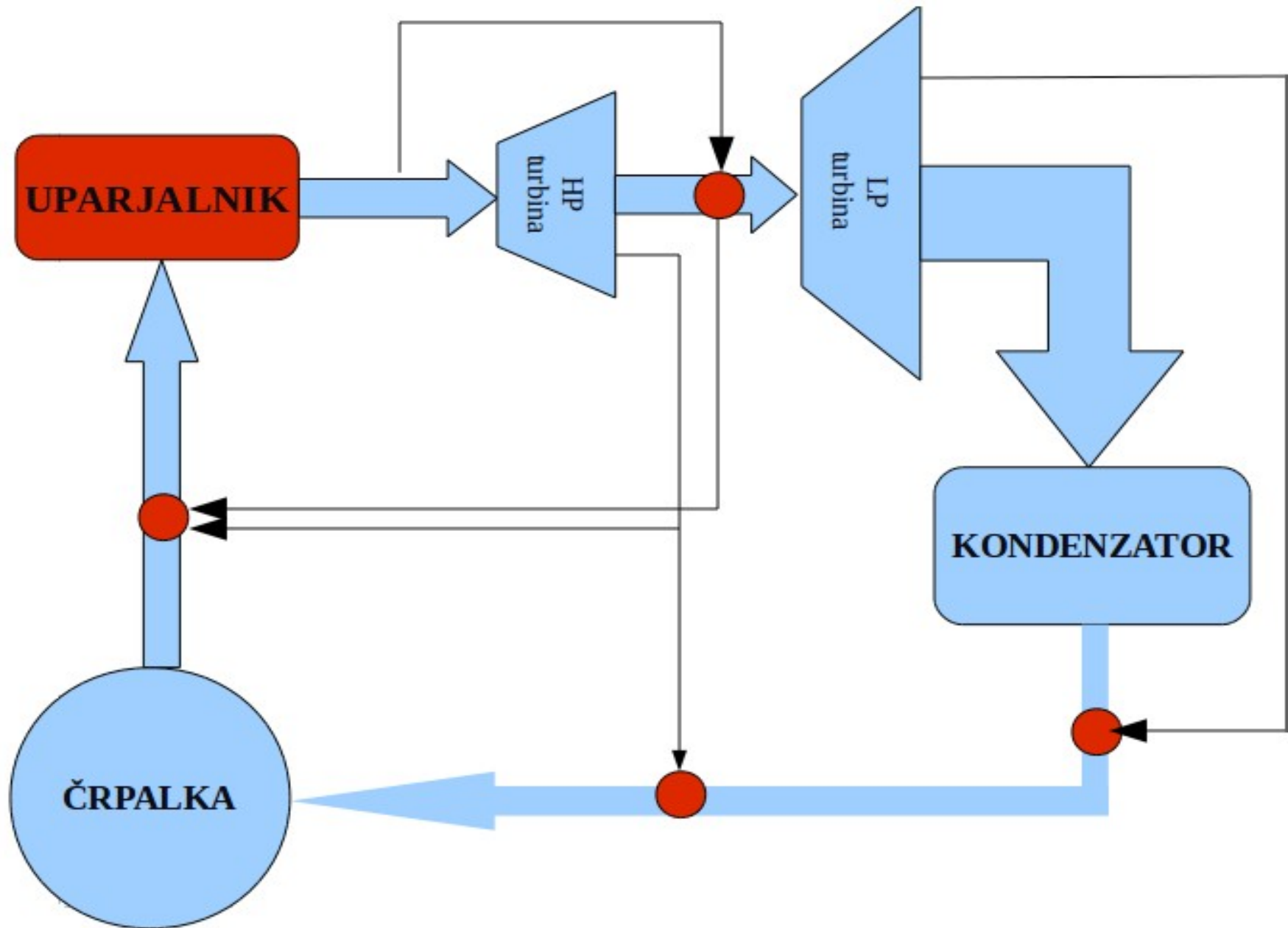
# Pregret Rankinov cikel s pogretjem in predgretjem (Regenerativni Rankinov cikel)

- Delovna tekočina je po izhodu iz kondenzatorja pogreta s paro iz vročega dela kroga.
- Del pare med turbinama ali iz turbin je voden do grelnikov napajalne vode na poti iz kondenzatorja do uparjalnika.
- S tem se izboljša učinkovitost cikla, saj zaradi večstopenjskega gretja napajalne vode se toplotni tok v cikel pojavi pri višji temperaturi.



# SKICA RANKINOVEGA KROŽNEGA PROCESA NEK

## Sekundarni krog



# NALOGA

Na vstopu v visokotlačno turbino imamo masni tok pare  $\Phi_M = 1000 \text{ kg/s}$  s specifično entalpijo  $h_1 = 2775 \text{ kJ/kg}$  ( $p = 6.23 \text{ MPa}$ ,  $T = 278^\circ\text{C}$ ).

Na izstopu iz visokotlačne turbine ima zmes pare in kapljic specifično entalpijo  $h_2 = 2519 \text{ kJ/kg}$  ( $p = 0.999 \text{ MPa}$ ,  $T = 179.2^\circ\text{C}$ ). Iz zmesi odstranimo kapljice, kar znaša 13% masnega deleža (za to ni potreben vložek energije) in dobimo paro s specifično entalpijo  $h_3 = 2755 \text{ kJ/kg}$  ( $p = 0.999 \text{ MPa}$ ,  $T = 179.2^\circ\text{C}$ ).

To peljemo na nizekotlačno turbino. Tam para ekspandira in na izhodu iz nizekotlačne turbine ima specifično entalpijo  $h_4 = 2331 \text{ kJ/kg}$  ( $p = 5000 \text{ Pa}$ ,  $T = 33.2^\circ\text{C}$  - v tej pari je precejšen delež kapljic).

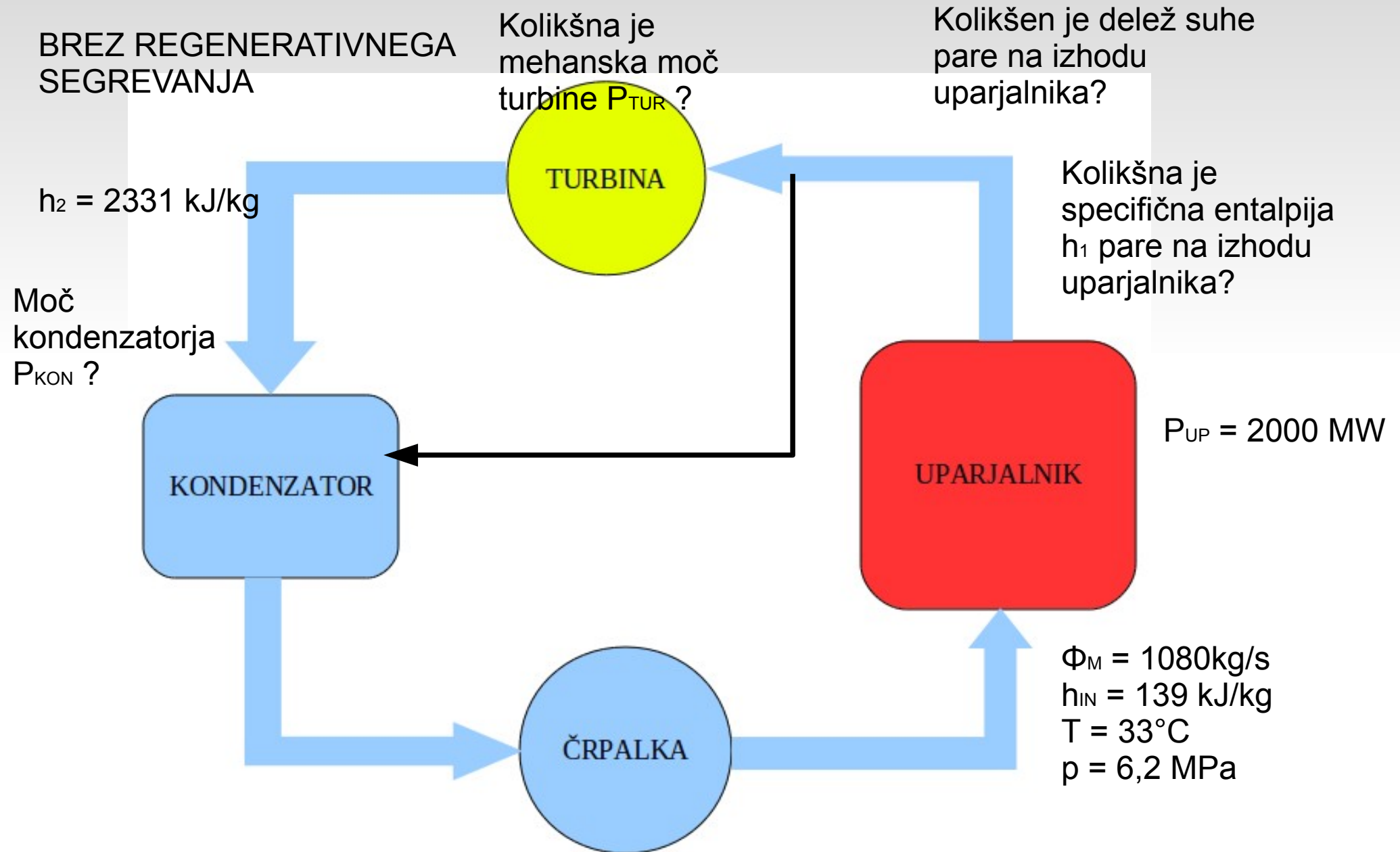
Izračunaj mehansko moč visoko in nizekotlačne turbine.

# NALOGA

Izračunaj moč istih turbin, če na vstopu v visokotlačno turbino odvzamemo 10% pare in jo uporabimo za pregrevanje pare na izhodu iz visokotlačne turbine.

Predpostavi 100% izkoristek pregrevalnika pare.

# Pomen regenerativnega segrevanja napajalne vode



# Pomen regenerativnega segrevanja napajalne vode

Z REGENERATIVNIM  
SEGREVANJEM

