

# Tutorial za Rankineov kružni proces by Airmiha

Rankineov kružni proces je onaj koji se provodi u termoelektranama.

Karakteristične veličine koje su zadane u zadacima i za koje treba znati gdje ih pripasati su :

1. **Specifične entalpije vode ( $h'$ ) i pare ( $h''$ )** -> Ove veličine se očitavaju iz parnih tablica (u praksi to znači da MORAJU biti zadane u zadatku).

2. **Entalpije radnog fluida (smjese pare i vode)** -> Ili su zadane ili se izračunavaju iz prethodnih specifičnih entalpija pomoću formule:  $h = h' + x(h' - h'')$ , gdje je  $x$  postotak pare u fluidu

3. **Specifične entropije** -> zadane

4. **Entropije radnog fluida** -> Služe samo da bismo mogli izračunati  $x$ .

5. **Tlakovi** - u računu bitni samo kod pumpe, ali važni za razumijevanje zadatka

Sljedeća formula je jako bitna :

$$h = h' + x ( h' - h'' ) \text{ (a isto vrijedi i za } s \text{ i } v)$$

Ona nam govori kolika je entropija (entalpija) smjese vode i pare ( to je stanje 4, tj. izlazak iz turbine). Uočite kako je  $h = h'$  kad je  $x=0$  ( nema pare) i  $h=h''$  kad je  $x=1$  (nema vode )

**Parne tablice** - Fluid pri određenom tlaku i temperaturi ima određenu entropiju i entalpiju. Inženjeri su izračunali kolike su te entropije i entalpije za razne kombinacije temperatura i tlakova, ali za čistu vodu ili paru. Kod smjese vode i pare (stanje pri izlasku iz turbine) prave entalpije i entropije su linearne kombinacije ovih specifičnih, ovisno o vrijednosti  $x$ , prema gore navedenoj formuli. Kad su u zadacima zadani tlakovi i temperature oni nisu bitni u računu. Prije su studenti imali parne tablice kod sebe i morali pomoću tih tlakova i temperatura očitavati specifične entalpije i entropije vode ili pare. Nama je to zadano. Zašto su tlakovi i temperature bitni?

Uvijek su zadani entropija i entalpije i vode i pare pri :

1. Visokom tlaku i nekoj visokoj temperaturi
2. Niskom tlaku i niskoj temperaturi

Važno je znati da:

Visoki tlak vlada od izlaska iz pumpe do ulaska u turbinu (stanja 2, 3).

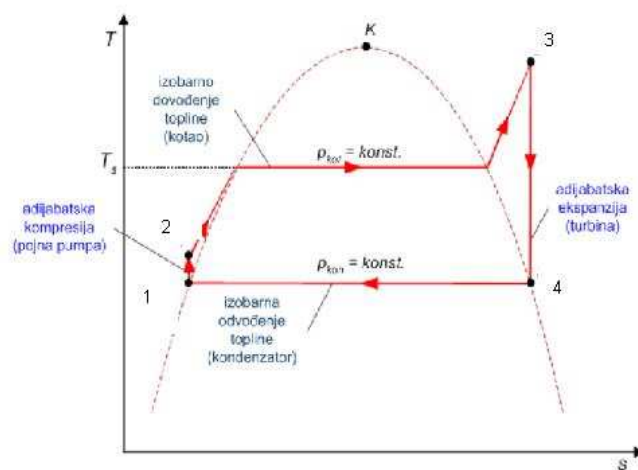
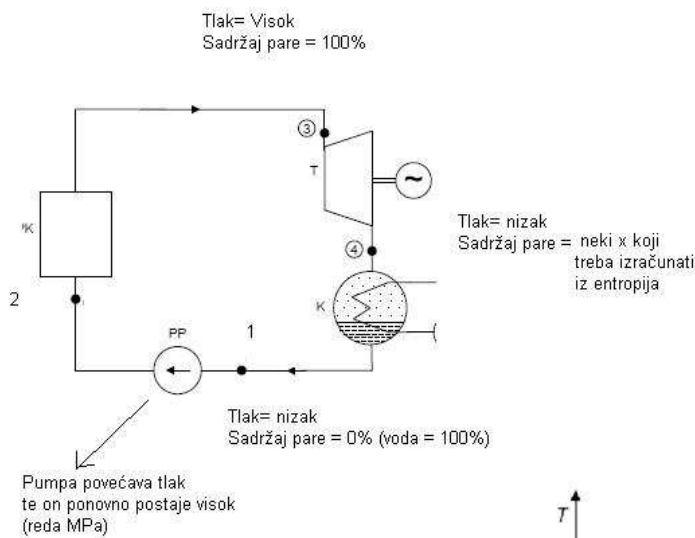
Niski tlak vlada od izlaska iz turbine do ulaska u pumpu (stanja 4, 1) - Ovdje treba paziti jer pri stanju

4 imamo smjesu pare i vode dok se pri stanju 1 radi isključivo o vodi.

Entropije se u praksi zadaju samo za onaj slučaj izlaska iz turbine.

$s_4' = s_1'$  ;  $s_4'' = s_1''$  (Jer su pri istom tlaku i temperaturi)

Oprez ! Na T-s dijagramu ćete primijetiti kako se entropija između stanja 4 i 1 smanjuje (jer se u kondenzatoru odvodi toplina), ali specifične entropije i entalpije su iste. Prave entropije i entalpije su različite jer u stanju 4 imamo smjesu vode i pare (radimo preko onog x-a), dok u stanju 1 imamo vodu.



Počnimo pratiti proces pri izlasku pare iz kotla (stanje 3).

### Stanje 3 :

Stanje 3 je stanje radnog fluida nakon izlaza iz kotla i prije ulaska u turbinu.

- Tlak je visok (reda MPa). Ovaj je tlak jednak sve od izlaska iz pumpe pa do ekspanzije u turbini
- Fluid se sastoji samo od vodene pare ( $x = 100\%$ , tj.  $x = 1$ )
- Entalpija  $h_3$  jednaka je, dakle, specifičnoj entalpiji pare  $h''$  (pri visokom tlaku)

### Stanje 4

Para je pomogla napraviti koristan rad u turbini, ekspanzirala, i na putu je prema kondenzatoru. To više nije čista para nego smjesa pare i vode. Pošto je para ekspanzirala, tlak je nizak, reda kPa.

*Dva slučaja:*

1. *Proces u turbini je idealan*
2. *Turbina ima unutrašnji stupanj djelovanja*

U oba slučaja na početku postupamo ovako:

Nađemo entalpiju  $h_4$  idealne ekspanzije u turbini. Postavljamo ovakvu hipotezu:

Proces u turbini je povratljiv (idealno) (izentropski).  $s_3 = s_4$  (nema promjene entropije u turbini)

Pomoću ove činjenice se može izračunati sadržaj pare  $x$  prije ulaska u kondenzator:

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

$s = s_3 = s_4$  i mora biti zadan, a  $s'$  i  $s''$  su specifične entropije vode i pare (moraju biti zadane)

Sad pomoću  $x$ -a i specifičnih entalpija izračunamo entalpiju nakon izlaza iz turbine :

$$h_4 = h' + x(h'' - h')$$

Ukoliko proces zaista jest idealan, ovo je naša entalpija  $h_4$ .

Ukoliko turbina ima unutrašnji stupanj djelovanja stvarni rad koji će obaviti bit će manji od idealnog:   
stupanj djelovanja =  **$w(\text{realni}) / w(\text{idealni}) = (h_3 - h_{4r}) / (h_3 - h_4)$**

Iz ove formule dobijemo pravi  $h_4$  ( $h_{4r}$ , tj. realni)

### Stanje 1

U kondenzatoru se radni fluid ohladio i dolazi do pumpe. U idealnom procesu pumpa radi s čistom vodom, dakle sadržaj pare je 0 ( $x = 0$ ). Tlak je naravno, nizak.

Entalpija  $h_1$  ovog stanja je eksplicitno zadana ili može biti "zakamuflirano" zadana ako su zadane specifične entalpije vode i pare za niski tlak. U tom slučaju ona je jednaka specifičnoj entalpiji vode  $h'$

### Stanje 2

Pumpa je povećala tlak vode. Dio rada koji je dobiven iz turbine trebalo je uložiti u pumpanje. Svaki rad koji elektrana (korisnik) ulaže, negativan je.

$$w(\text{pumpe}) = v * (p_1 - p_2)$$

$v$  je specifični volumen vode ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) ; *ponekad ne mora biti zadan kao  $v$ , nego kao  $v'$  pri niskom tlaku (reda kPa) no pošto je  $x=0$  kod ulaska u pumpu,  $v = v'$*

Ako je zadana gustoća vode :  $v = 1/\text{gustoća}$

Pošto smo uložili rad dodali smo entalpiju u sustav i entalpija  $h_2$  bit će uvećana za  $w(\text{pumpe})$  :  $h_1 = h_2 + w(\text{pumpe})$

Radni fluid (voda) ulazi u kotao s entalpijom  $h_2$ .

- Ukoliko pumpa ima svoj stupanj djelovanja trebat će uložiti više energije za njezin rad:

stupanj djelovanja = uloženi rad (idealni) / uloženi rad (realni) ; *Uočiti kako je ovo obrnuto nego kod turbine i sasvim je logično zašto)*

### Stanje 3

U kotlu se voda zagrijala i isparila. Toplina koju je trebalo predati treba biti dostatna za (ovo je samo informativno, ali uglavnom nebitno za zadatak)

1. Dizanje temperature vode do 100' C
2. Isparivanje vode

Time se vraćamo u stanje 3.

Ono što se traži u zadacima:

1. *Stupanj djelovanja (efikasnost ciklusa)* -> omjer korisnog rada (umanjen za rad koji smo utrošili na pumpanje) i uložene topline

korisni rad =  $h_3 - h_4$  (rad dobiven u turbini); ukoliko proces nije idealan računati s  $h_{4r}$

Pošto smo dio rada izgubili na pumpanje korisni rad treba umanjiti za apsolutnu vrijednost rada pumpanja.

uložena toplina =  $h_3 - h_2$  (voda je ušla u kotao s entalpijom  $h_2$  i dobili smo paru s entalpijom  $h_3$  koja ulazi u turbinu)

Dakle, tražena korisnost jest:

Korisnost =  $(h_3 - h_4 - \text{abs}[w(\text{pumpe})]) / h_3 - h_2$

*Napomena: Korisnost je obično oko 0,3*

2. *Rad turbine, uložena toplina u kotlu, rad pumpe* - sve ovo je već dobiveno u gornjim točkama

3. *Maseni protok radnog fluida (ili snaga turbine ili kotla ako je zadan protok)*

**$P$  (snaga) =  $m'$  (protok u kg/s) \*  $w$  (ako se radi o snazi turbine) ili  $q$  (ako se radi o snazi kotla)**

Što reći o T-s i h-s dijagramu?

h-s dijagram prikazuje sve ovo gore navedeno (entalpije) i nije pretjerano koristan, korisnije je znati skicirati shemu elektrane.

T-s dijagram - pokazuje kako je u kotlu potrebno uložiti energiju za zagrijavanje vode i njeno isparivanje

Kod njega je bitno znati da su one dvije paralelne linije izobare (linije stalnih tlakova) i uočiti da je entropija konstantna u turbini.