

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

ANALIZA IZKORISTKOV TERMOELEKTRARN

Poročilo za vaje **Konvencionalni viri električne energije**

Poročilo izdelal: **MITJA ALIČ**

Izvajalec vaj: viš. pred. mag. Samo Gašperič

Študijsko leto **2015/16**

KVEE

Povzetek

V vsakdanjem življenju želimo izkoristiti vsak trenutek, iz vsake stvari pridobiti največ kar je možno. Tako je tudi pri elektrarnah. Iz vložene energije jo želimo prejeti čim več. Preko Perpetum mobile ne moremo iti, zato se zavedamo, da iz vložene energije ne bomo prejeli vse nazaj. Kot inženirji to načrtujemo že v naprej in se zavedamo posledic. V vsakem delu TE se seveda pojavijo izgube katere moramo kriti sami in se jih zavedati pri načrtovanju. V tem seminarju se bom posvetil prav izkoristkom posameznih delov v termo elektrarnah.

Ključne besede: anergija, eksnergija, generator, krožni proces, lastna raba elektrarne, segrevalni kotel, turbina

Kazalo

1. Uvod	6
2. Krožni proces.....	7
3. Napajalna črpalka	8
4. Kotel	9
5. Turbina	13
5.1 Notranji izkoristek	13
5.2 Mehanični izkoristek.....	14
6. Generator	15
7. Lastna raba.....	16
8. Zaključek	17
9. Viri.....	18

KVEE

Seznam uporabljenih kratic

EE	električna energija
HE	hidro elektrarna
g	gorivo
JE	jedrska elektrarna
TE	termoelektrarna
z	zrak

Seznam uporabljenih simbolov

B	anergija [kJ]
Δh	teoretična sprememba entalpije na maso [kJ/kg]
E	eksergija [kJ]
E_{odv}	eksergija, ki se izgubi [kJ]
e_g	eksergija goriva na maso [kJ/kg]
e_{plini}	eksergija plinov na maso [kJ/kg]
e_z	eksergija zraka na maso [kJ/kg]
ξ_k	ekserzijski izkoristek kotla
h	entalpija na maso [kJ/kg]
$h_{1,2,3,4}$	entalpija na maso v točkah s slike 1 [kJ/kg]
h_{dej}	realna sprememba entalpije na maso [kJ/kg]
h_i	entalpija dovedena z gorivom na maso [kJ/kg]
h_{izgub}	izgube prikazane z entalpijo na maso [kJ/kg]
h_g	entalpija goriva na maso [kJ/kg]
h_p	entalpija pare na maso [kJ/kg]
h_{plini}	entalpija plinov na maso [kJ/kg]
h_v	entalpija vode na maso [kJ/kg]
h_z	entalpija zraka na maso [kJ/kg]
m_g	masa goriva [kg]
m_p	masa pare [kg]
m_{plini}	masa plinov [kg]
m_v	masa vode [kg]
m_z	masa zraka [kg]

KVEE

$\eta_{\check{c}}$	izkoristek črpalke
η_{elementa}	izkoristek posameznega elementa
η_{gen}	izkoristek generatorja
η_k	izkoristek kotla
η_{kp}	izkoristek krožnega procesa
η_{lr}	izkoristek glede pridobljene in porabljene moči
η_{meh}	mehanični izkoristek
η_{not}	notranji izkoristek
η_{TE}	celoten izkoristek TE
P_{Cu}	izgube v bakru [kW]
P_e	moč na sklopki [kW]
P_{Fe}	izgube v železu [kW]
P_i	notranja moč turbine [kW]
P_{im}	izgube v motorju [kW]
P_{it}	izgube v turbini [kW]
P_{gen}	moč generatorja [kW]
P_{lr}	moč za lastno rabo [kW]
P_{prej}	prejeta moč [kW]
P_0	teoretična moč turbine [kW]
p	tlak [Pa]
Q_{odv}	toplota, ki se zgubi [kJ]
s	entropija na maso [kJ/(kg K)]
T	temperatura [°C]
T_m	srednja temperatura [°C]
T_{plini}	temperatura izhodnih plinov [°C]
$T_{1,2,3,4}$	temperatura v točki s slike 1 [°C]
U	napetost [V]
W	energija [kJ]

KVEE

1. Uvod

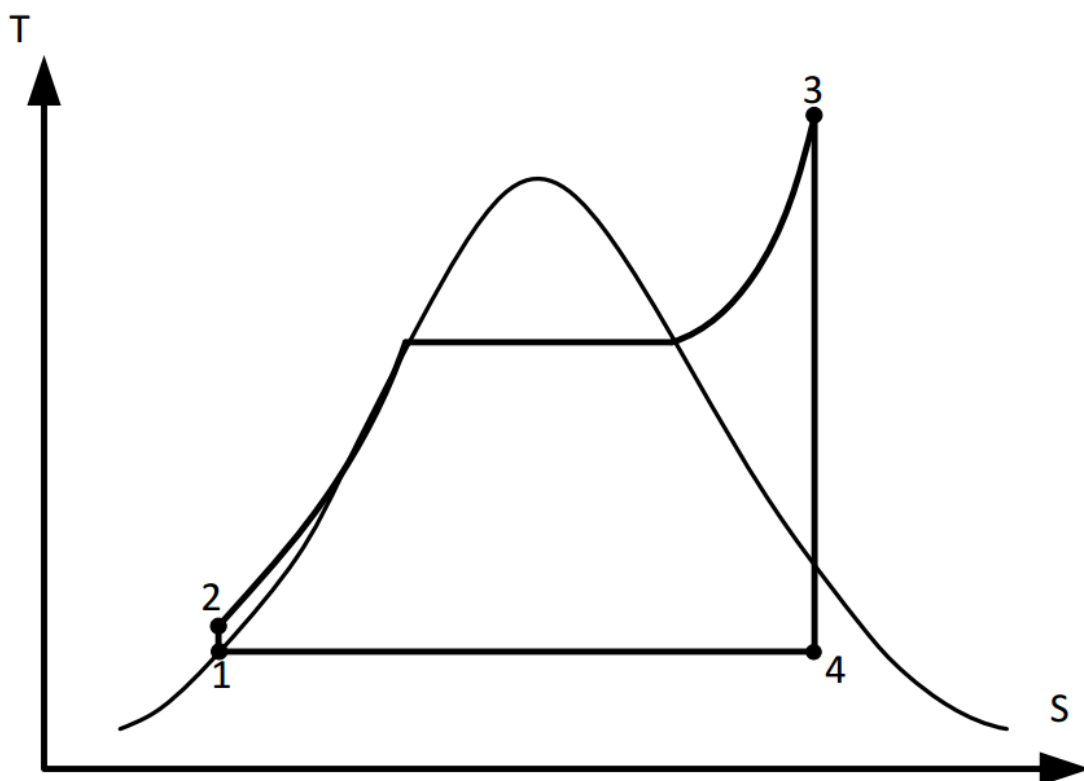
Elektroenergetski sistem delimo na proizvodne enote, prenosno omrežje, distribucijska omrežja ter porabniška omrežja. EE proizvajajo proizvodne enote, ki jo preko prenosnega omrežja pripeljejo do uporabnika. Imamo konvencionalne in alternativne električne vire. Konvencionalni viri EE so JE, TE in HE. TE se delijo glede na uporabo goriva. S sežiganjem goriva to je lahko premog, nafta ali zemeljski plin, se v kotlu segreva in pregreva vodo, katera ekspandira v turbini, jo s tem žene in turbina poganja generator. Generator mehansko moč, ki jo prejme od turbine, pretvori v EE. V vsakem elementu TE se pojavijo določene izgube. TE pa za svoje delovanje tudi potrebuje EE, s katero napaja elemente TE da lahko delujejo. Opisal bom izkoristke posameznih elementov TE, kateri so po desetletjih študij inženirjev na zelo visokem izkoristku. Opisal bom tudi krožni proces vode oz. pare, kateri najbolj vpliva na končni izkoristek TE.

KVEE

2. Krožni proces

Vsak ponovljiv proces, ki ob pretvarjanju energije vrača sistem v začetno stanje imenujemo krožni proces. Krožni proces je viden s slike 1. Izkoristek krožnega procesa je razmerje med prosto močjo in dovedenim toplotnim tokom. Izkoristek po sliki 1 je:

$$\eta_{kp} = \frac{h_3 - h_4 - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$$



Slika 1: s(T) diagram parnega krožnega procesa[5]

3. Napajalna črpalka

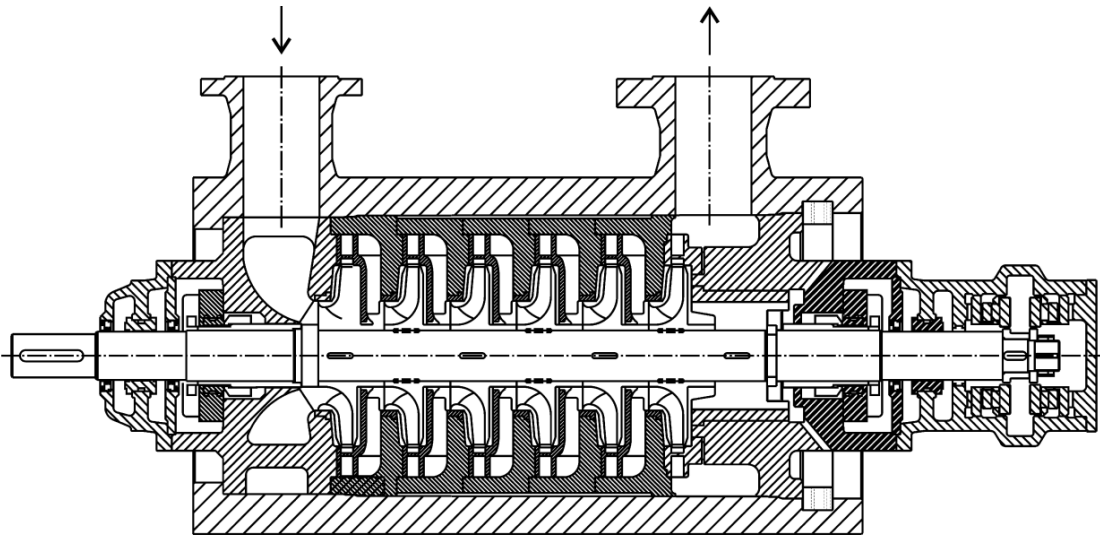
Črpalke se v krožnem procesu uporablja za:

- Napajalna črpalka za parni kotel
- Črpalka za kondenzat iz kondenzatorja
- Črpalka za hladilno vodo

Črpalko sestavlja elektromotor in turbina, ki poganja medij. S slike 1 vidimo delovanje napajalne črpalke iz točke 1 v točko 2. Izkoristek lete je tako odvisen od pogonskega motorja in izkoristka turbine, ki dvigne vodi tlak. Izgube v napajalni črpalki se pojavljajo zaradi spremembe višine(potencialna energija), iztočne izgube(kinetična energija) in tlačne izgube v cevovodih.[1]

Izkoristek je tako:

$$\eta_{\text{črp}} = 1 - \frac{P_{it} + P_{im}}{P_{prej}} =$$

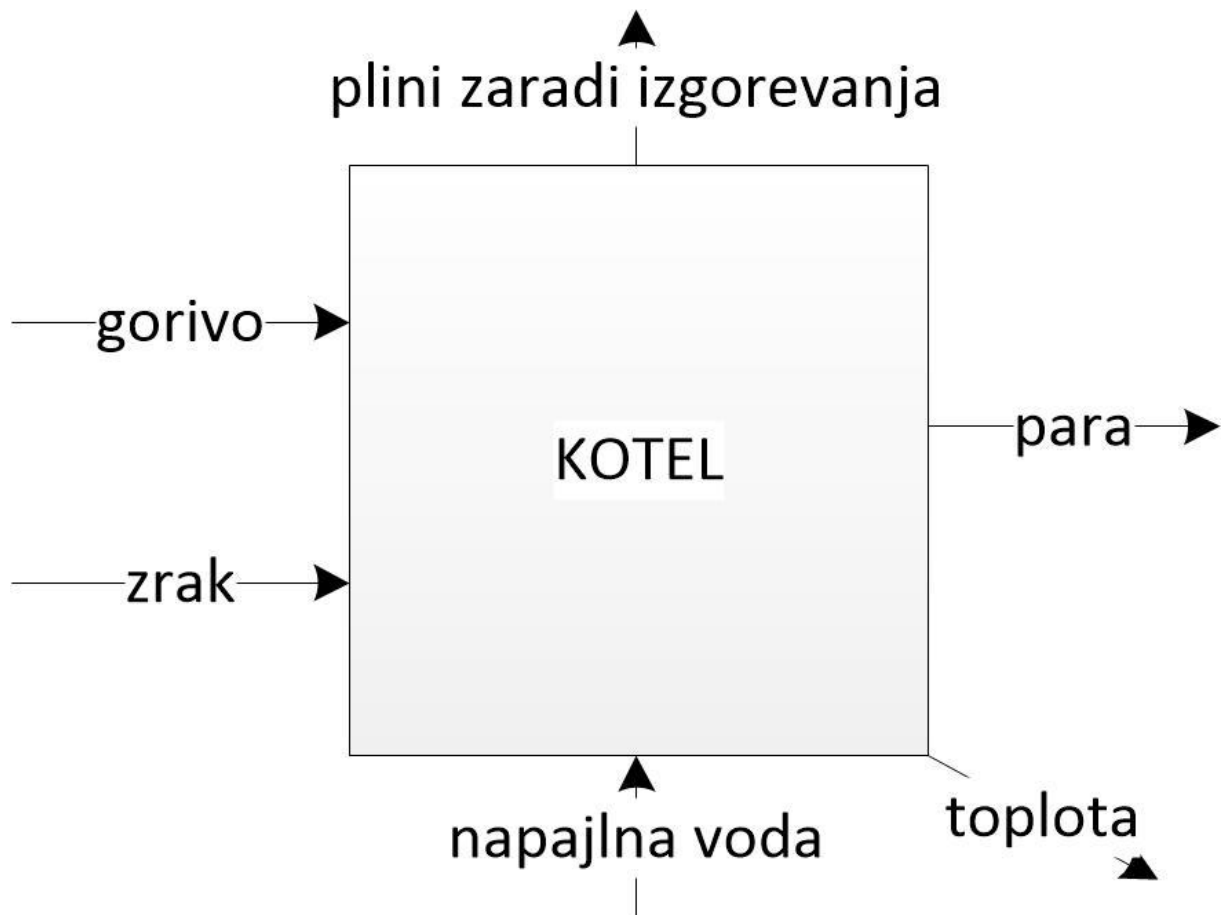


Slika 2 Primer turbine napajalne kotlovske črpalke[1]

KVEE

4. Kotel

Naloga kotla je, da toploto zgorelega goriva dovede vodi in pari. V kotlu želimo z gorivom čim bolje segreti vodo, ki jo nato peljemo na turbino.



Slika 3: Shema kotla[2]

Vsaka snov (razen izgubna toplota) ima svojo maso entropijo in temperaturo. V kotlu ni transformacije v mehanično energijo, zato mora biti dovedena toplota enaka odvedeni:

$$m_g h_g(T_1) + m_z h_z(T_1) + m_v h_v(T_2) = m_p h_p(T_3) + m_{plini} h_{plini}(T_{plini}) + Q_{odv}$$

KVEE

Definirajmo energijo dovedene z gorivom kot:

$$m_g h_i = m_g h_g(T_1) + m_z h_z(T_1) - m_{plini} h_{plini}(T_1)$$

Pri čemer upoštevajmo, da sta masi vode in pare enaki.

$$m_g h_i = m_p (h_p - h_v) + m_{plini} (h_{plini}(T_{plini}) - h_{plini}(T_1)) + Q_{odv}$$

S stališča proizvodnje pare je koristna toplota samo prvi člen in izkoristek lahko definiramo kot:

$$\eta_k = \frac{m_p (h_3 - h_1)}{m_g h_i} = 1 - \frac{m_p (h_{plini}(T_{plini}) - h_{plini}(T_1)) + Q_{odv}}{m_g h_i}$$

Če želimo dobiti čim boljši izkoristek, moramo izhodno temperaturo plinov čim bolj ohladiti, ne smemo pa je znižati pod temperaturo kondenzacije vode, saj bi žveplov dioksid tvoril z vodo žvepleno kislino, ki povzroča korozijo.

Energijski izkoristek pa nam nič ne pove o popolnosti transformacije energije goriva glede na drugi zakon termodinamike. Določiti moramo se eksergijski izkoristek kotla.

Eksergija je energija, ki se lahko pri dani okolico v celoti pretvori v drugo obliko energije.[2]

Anergija je energija, ki se ne da pretvoriti v eksergijo.

Vsaka energija je sestavljena iz eksergije in anergije.

$$W = E + B$$

Po sliki 3 napišimo enačbo eksergije:

$$m_g e_g + m_z e_z + m_v e_2 = m_p e_3 + m_{plini} e_{plini} + E_{odv}$$

Ker ima zrak, ki ga dovajamo v kotel temperaturo okolice, nima eksergije. Eksergije plinov zgorevanja na izhodu kotla ne izrabljamo, ker se plini mešajo z okoliškim zrakom in tako izgubimo eksergijo. Eksergijski izkoristek je tako:

$$\xi_k = \frac{m_p (e_3 - e_2)}{m_g e_g}$$

Iz energijskega izkoristka izrazimo razmerja mas in vstavimo v zgornjo enačbo ter dobimo:

$$\xi_k = \frac{h_i}{e_g} \eta_k \frac{e_3 - e_2}{h_3 - h_2}$$

Razliko eksergij je mogoče izračunati po enačbi:

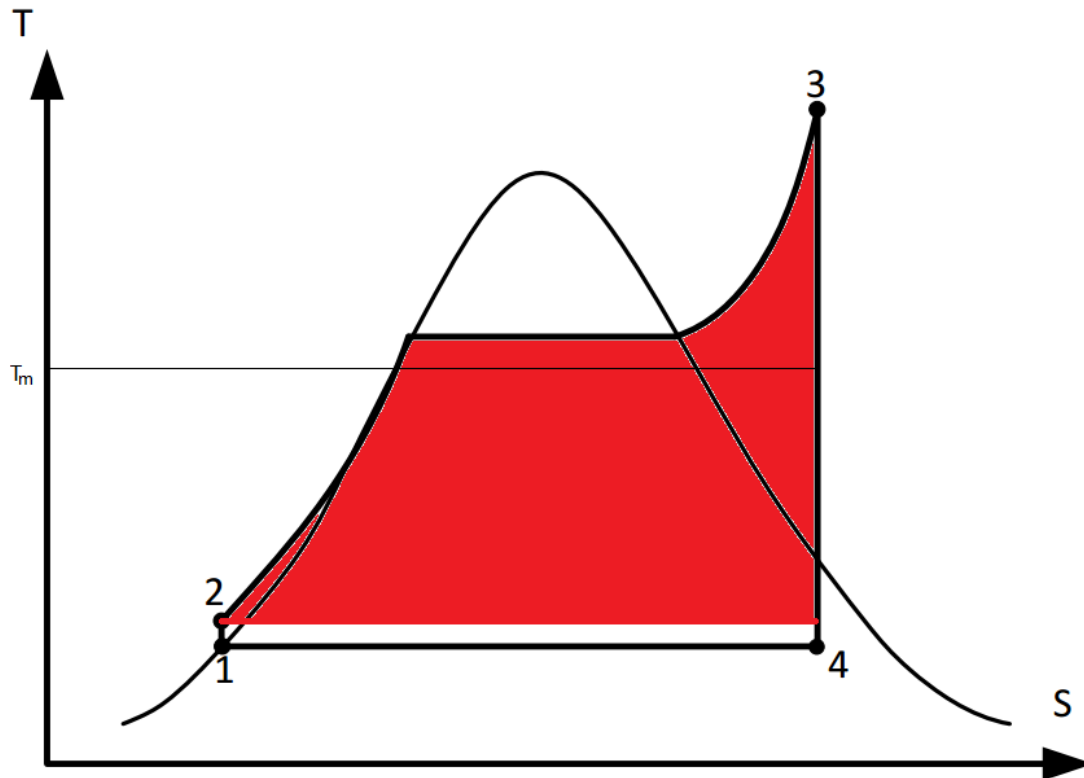
$$e_3 - e_2 = h_3 - h_2 - T_1 (s_3 - s_2)$$

Vstavimo v izkoristek in dobimo:

KVEE

$$\xi_k = \frac{h_i}{e_g} \eta_k \left(1 - T_3 \frac{s_3 - s_1}{h_3 - h_2} \right)$$

Definirajmo še srednjo temperaturo. V kotlu je voda prejela energijo $q_{23} = h_3 - h_2$. To energijo lahko označimo kot površino na diagramu slike 5.



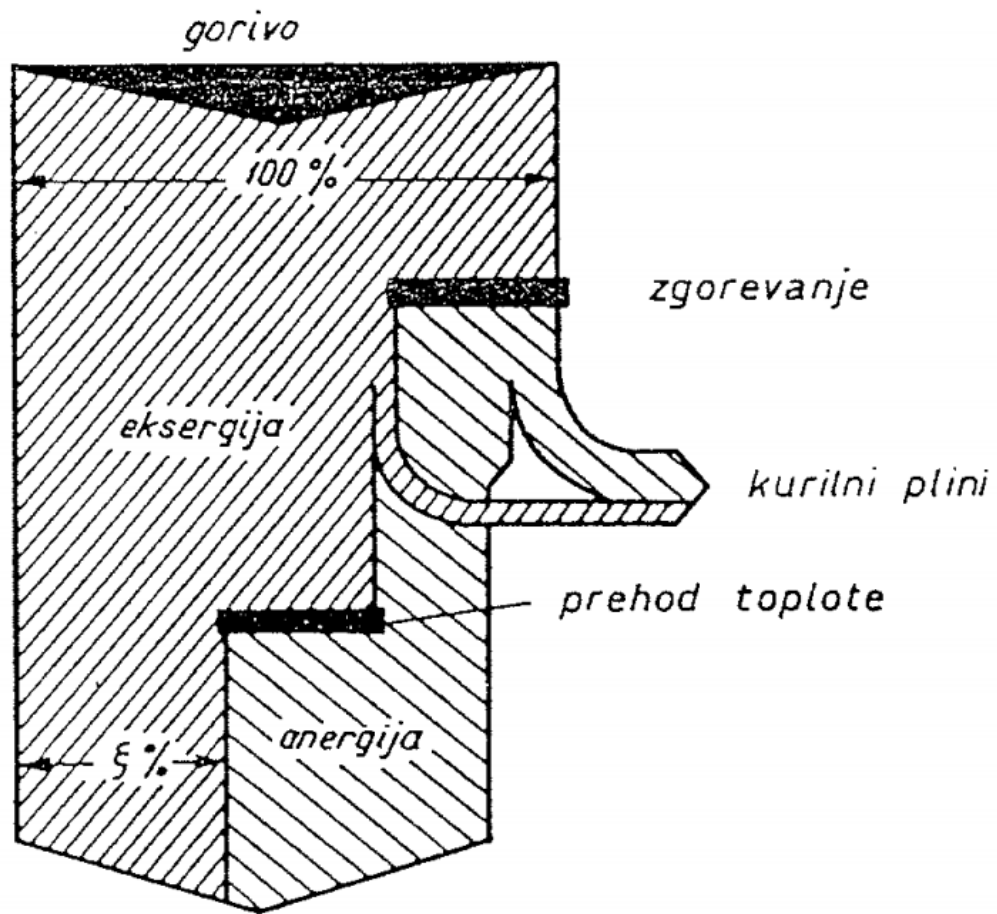
Slika 4 s-T diagram za predstavitev T_m

Srednjo temperaturo lahko izračunamo sledeče:

$$T_m = \frac{h_3 - h_2}{s_3 - s_2}$$

Vstavimo v enačbo za izkoristek in dobimo končno enačbo za izračun izkoristka.

$$\xi_k = \frac{h_i}{e_g} \eta_k \left(1 - \frac{T_3}{T_m} \right)$$

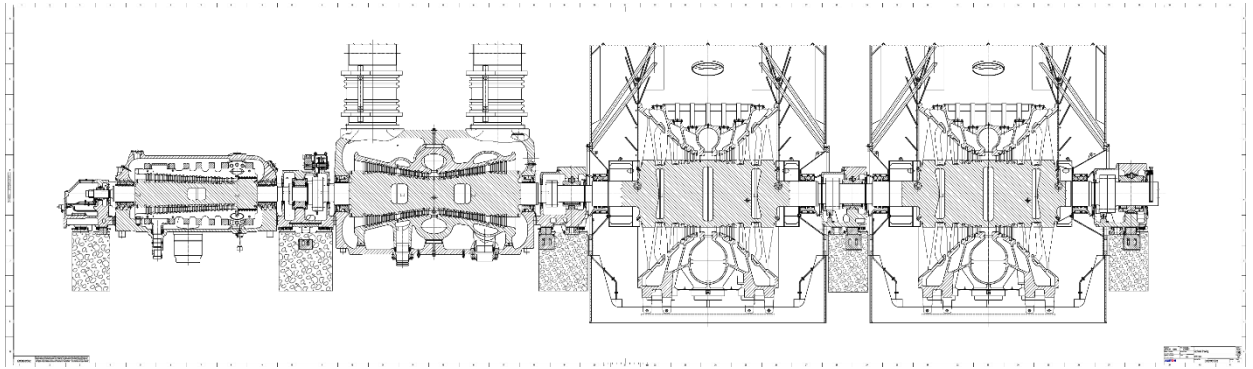


Slika 5: Pretok energije v parnem kotlu[2]

KVEE

5. Turbina

Izkoristek turbina lahko predstavimo kot dva izkoristka, notranji in mehanični, ki sta med seboj neodvisna.[3]



Slika 6 Turbina TE Šoštanj bloka 6 [3]

5.1 Notranji izkoristek

Toplotne ali notranje izgube predstavljajo:

- izgube v šobah in vodilih lopatic
- izgube v delovanju lopatic
- izgube zaradi propuščana
- izgube zaradi uhajanja toplote

Teoretični toplotni padec od stanja pregrete pare in temperature (točka 3 na sliki 1) do tlaka v kondenzatorju (točka 4) zanaša Δh . V cevovodu od parnega kotla do turbine, se para ohladi do temperature $T_3 - \Delta T$ (na sliki 1 izgub v cevovodih ni prikazanih vendar so približno od 5-10 °C), prav tako pade tudi tlak. Padec tlaka je odvisen od dolžine cevovoda, števila kolen, ventilov itd. Tlačne izgube so lahko tudi do 15 barov. Razpoložljiv padec na turbini je tako manjši od teoretičnega. Izgube se pojavijo tudi pri ekspanziji pare. To so izgube v šobah, trenju rotorja in ventilacije...

Izkoristek je tako razmerje med teoretičnim toplotnim padcem in dejanskim.[2]

$$\eta_{notr} = \frac{h_{dej}}{\Delta h} = 1 - \frac{h_{izgub}}{\Delta h}$$

KVEE

5.2 Mehanični izkoristek

Ta izkoristek je definiran kot razmerje moči na sklopki turbine in notranji moči turbine.

$$\eta_{meh} = \frac{P_e}{P_i}$$

Kjer je P_e moč na sklopki in P_i notranja moč turbine. Efektivna moč turbine pa je tako podana z enačbo:

$$P_e = \eta_{meh} P_i = \eta_{meh} \eta_{notr} P_0 = \eta_{meh} \eta_{notr} (h_3 - h_4)$$

Kjer je P_0 teoretična moč turbine.

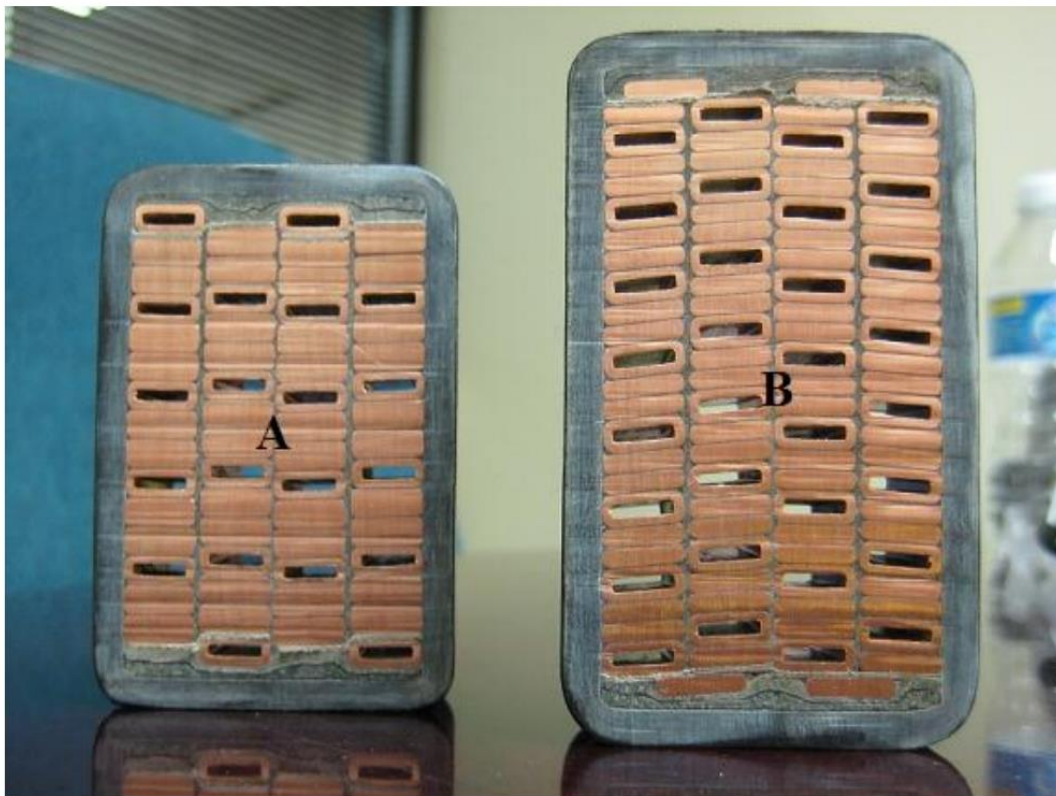
KVEE

6. Generator

Za generator se v TE uporablja generator s cilindričnim rotorjem imenovan turbo generator. Generator ima praktično izkoristek 100%. Izgube v generatorju se pojavljajo zaradi trenja in ventilacije. To so mehanske izgube. Imamo pa še električne, ki nastanejo zaradi izgub v železu in v bakru. Izgube v bakru so pri velikih generatorjih tako velike, da je potrebno navitja hladiti vendar izkoristki so se vedno večji od 93%.

Izkoristek je določen kot:

$$\eta_{gen} = 1 - \frac{P_{Fe} + P_{Cu}}{P_{prej}}$$



Slika 7 V statorskem navitju je v nekaterih vodnikih prostor za dovod hladilne tekočine (vodik)[4]

KVEE

7. Lastna raba

Vsaka elektrarna pa za svoje delovanje potrebuje elektriko, ali druge energente s katerimi lahko začne obratovanje. Da TE zažene jo je potrebno najprej zagreti za kar se uporablja fosilna goriva. Za delovanje črpalk, ki poganjajo vodo oz. paro po cevovodih TE porabijo do 7% proizvedene moči, kar bi lahko, tudi vključili v izkoristek.[1]

$$\eta_{lr} = 1 - \frac{P_{lr}}{P_{gen}}$$

KVEE

8. Zaključek

Predstavil sem vam izkoristke posameznih elementov TE. Da dobimo končni izkoristek je potrebno vse izkoristke zmnožiti med seboj, kar nam da končni izkoristek, ki je razmerje med vloženo energijo in prejeto električno energijo, ki jo želimo pridobiti.

$$\eta_{TE} = \prod \eta_{elementa} = \eta_{kp} \eta_{\check{c}} \xi_k \eta_{not} \eta_{meh} \eta_{gen} \eta_{lr}$$

Tabela 1 Razpon izkoristkov[1]

Izkoristek	Vrednost	
η_{kp}	0.48-0.65	Izkoristek krožnega procesa
$\eta_{\check{c}}$	0.70-0.90	Izkoristek napajalne črpalke
η_k	0.82-0.90	Izkoristek kotla
ξ_k	~0.85	Eksergijski izkoristek kotla
η_{not}	0.85-0.90	Notranji izkoristek turbine
η_{meh}	0.95	Mehanski izkoristek turbine
η_{gen}	0.96-0.98 (če jih hladimo z vodikom) drugače 0.95-0.97	Izkoristek generatorja
$\eta_{last\ raba}$	0.92-0.97	Izkoristek zaradi lastne rabe
η_{TE}	0.35-0.44	Končni izkoristek TE

9. Viri

- [1] Energetski sistemi- preskrba z električno energijo in toploto, M.Tuma, M. Sekvačnik, Univerza v Ljubljani, 2004
- [2] Energetski pretvorniki 2, B. Orel, Univerza v Ljubljani, 1993
- [3] <http://www.te-sostanj.si/si/proizvodnja/parne-turbine/turbina-bloka-6>
- [4] Menjava rotorja glavnega generatorja v NEK, Primož Habinc, Univerza v Mariboru, 2012
- [5] Vaje za predmet: Konvencionalni viri električne energije, Samo Gašperič, Univerza v Ljubljani, 2015