

УВОД У ЕНЕРГЕТИКУ

Л5-2 часа. ПАРНЕ ТУРБИНЕ

Проф. др Милан Петровић, Катедра за термоенергетику

Садржај:

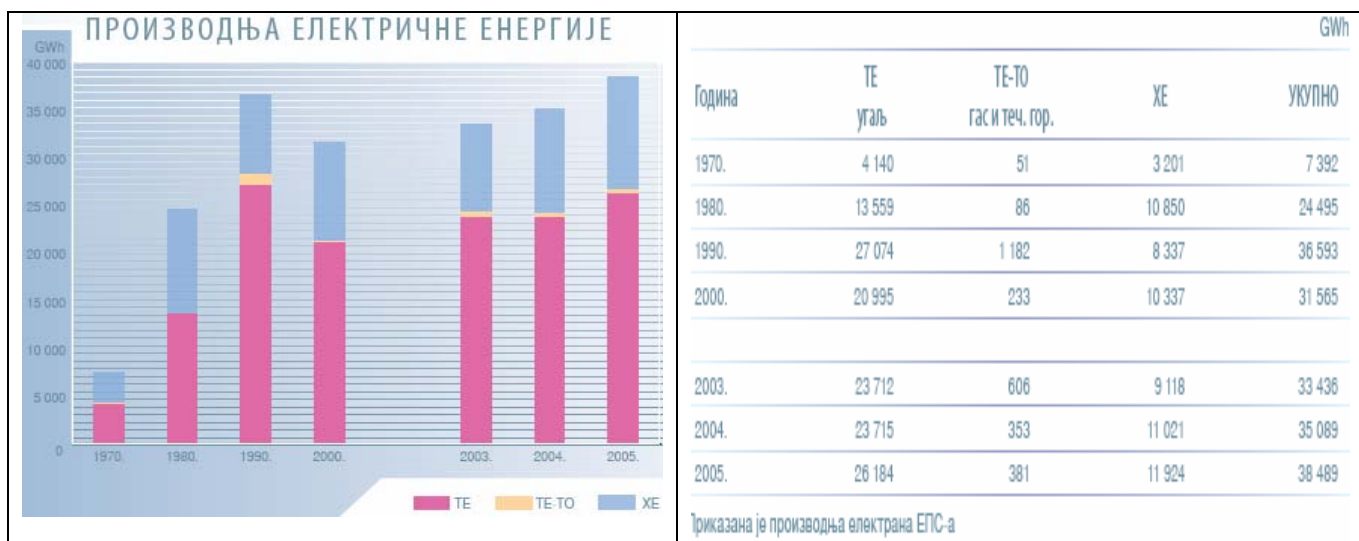
Примена парних турбина. Принцип рада. Топлотна шема парног блока. Главни уређаји и процеси у њима. Основни термодинамички параметри. Степен корисности парног блока. Специфична потрошња топлоте и горива.

5.1 Примена парних турбина

Најважнија примена парних турбина је у енергетици за производњу ел. Енергије. У Србији је од укупно 8355 MW енергетских капацитета 5524 MW (66%) инсталисано у термоелктранама са праним турбинама у којима се произведе око 70 % е. енергије.



Сл. 1 – Инсталисани енергетски капацитети у Србији



Сл. 2 -Производња ел. енергије у електранама у Србији

Парне турбине се примењују још и:

- Индустији
- Комуналној енергетици
- Бродске погонске машине

5.2 Принцип рада. Топлотна шема парног блока. Главни уређаји и процеси у њима

Парне турбине раде у склопу термоелектрана са парним блоковима.

Парни блок је постројење у коме се хемијска енергија горива прво претвара у топлоту а топлота се затим трансформише у механички рад и даље у ел. енергију.

Да би се из топлотне енергије добио механички рад мора се обавити термодинамички кружни циклус. Парни блокови раде по Rankin-Klauzjusovom кружном циклусу. Radno telo koje obavlja ciklus je voda i vodena para.

Za dobijanje mehaničkog rada iz toplote mora postojati izvor toplote u kojem se iz hemijske energije goriva dobija toplota, koja se predaje radnom telu

Kod parnog bloka se toplota dovodi u **parnom kotlu**. U parnom kotlu sagoreva fosilno gorivo (ugalj, tečno ili gasovito) obrazujući produkte sagorevanja na visokoj temperaturi. Sa druge strane se dovodi napojna voda u kotao pod visokim pritiskom koja onda struji kroz korlovske cevi. Produkti sagorevanja struje oko kotlovskih cevi predajući toplotu napojnoj vodi koja se zagreva, isparava i pregreva do visokih temperatura (oko 540 °C). Para se dalje odvodi u parnu turbinu. U nuklearnim elektranama se toplota dobija sagorevanjem nuklearnog goriva.

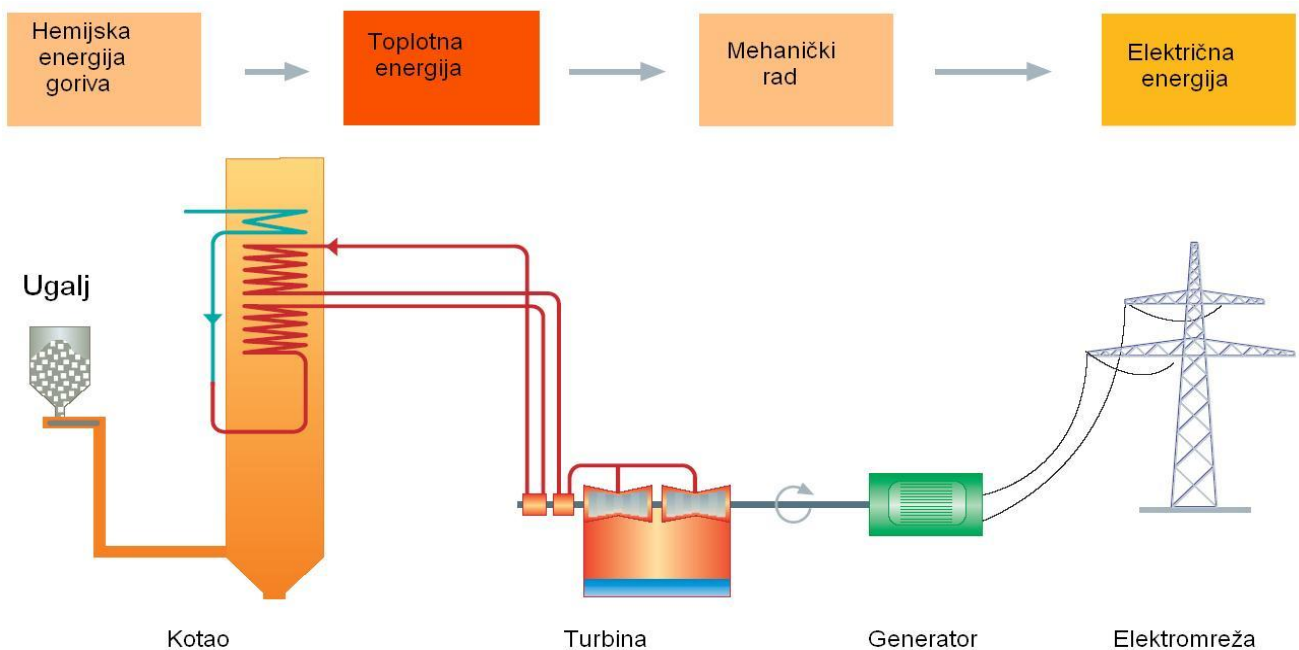
Парне турбине су машине које претварају топлотну енергију у кинетичку енергију уређене fluidне струје а потом ову у механички рад у облику обртања ротора. Radna mašina, koju turbina kao pogonska mašina pokreće, može biti generator u kojem se mehanički rad pretvara u električnu energiju.

Парна турбина заједно са покретном машином назива се **turboagregat**. Ovo je i najčešći slučaj.

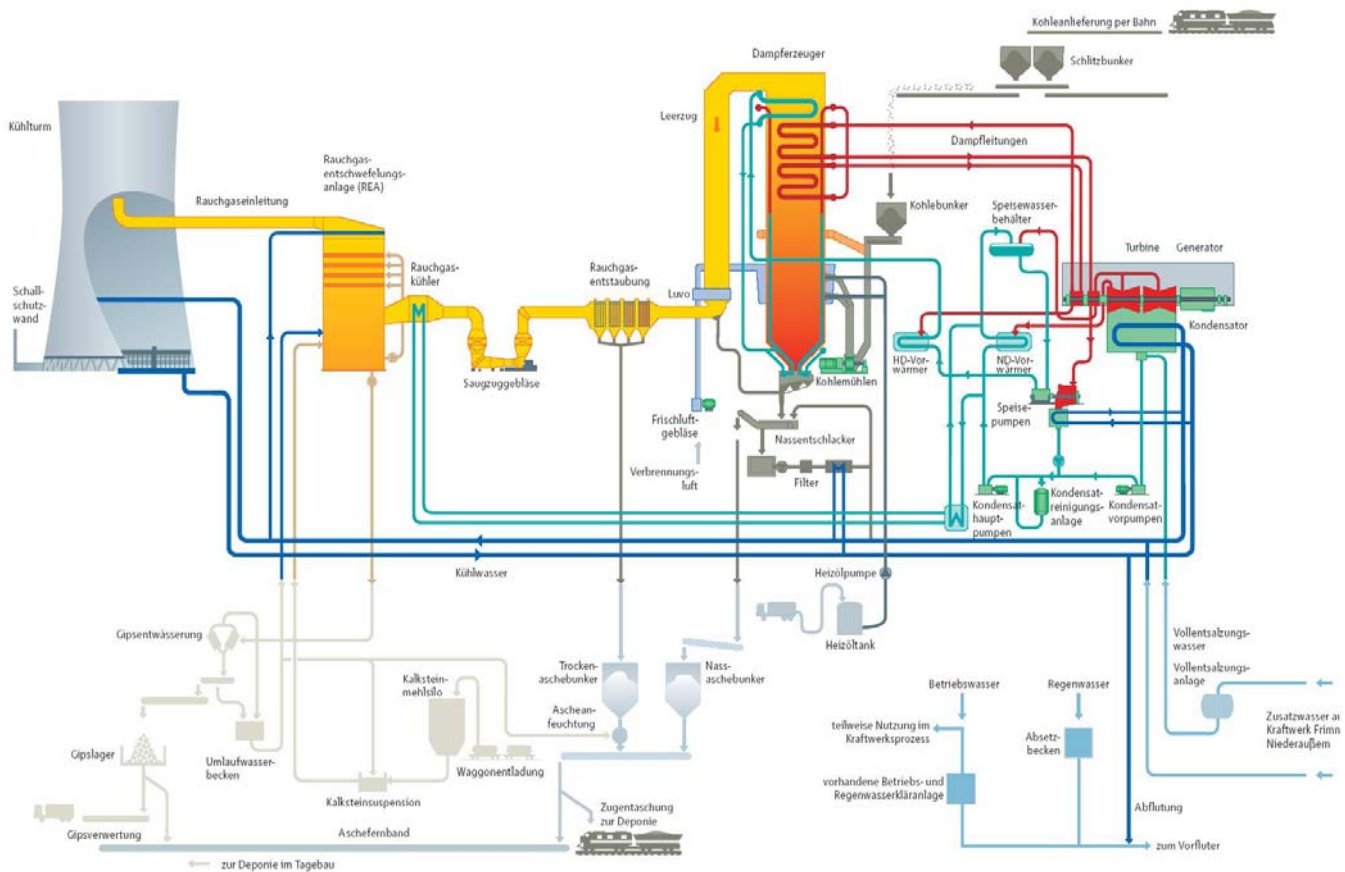
No parna turbina može pokretati i neki turbokompresor ili služiti za pokretanje raznih saobraćajnih sredstava.

Pored toga mora postojati i toplotni ponor tj. uređaj u kojem se toplota koja nije mogla biti pretvorena u mehanički рад odvodi i predaje okolini. Ovaj uređaj kod parnog bloka je **kondenzator**. U kondenzator dolazi odrađena para iz turbine na niskoj temperaturi (oko 30 °C) . Para se kondenzује а toplota kondenzacije odvodi u okolinu rashladnom vodom.

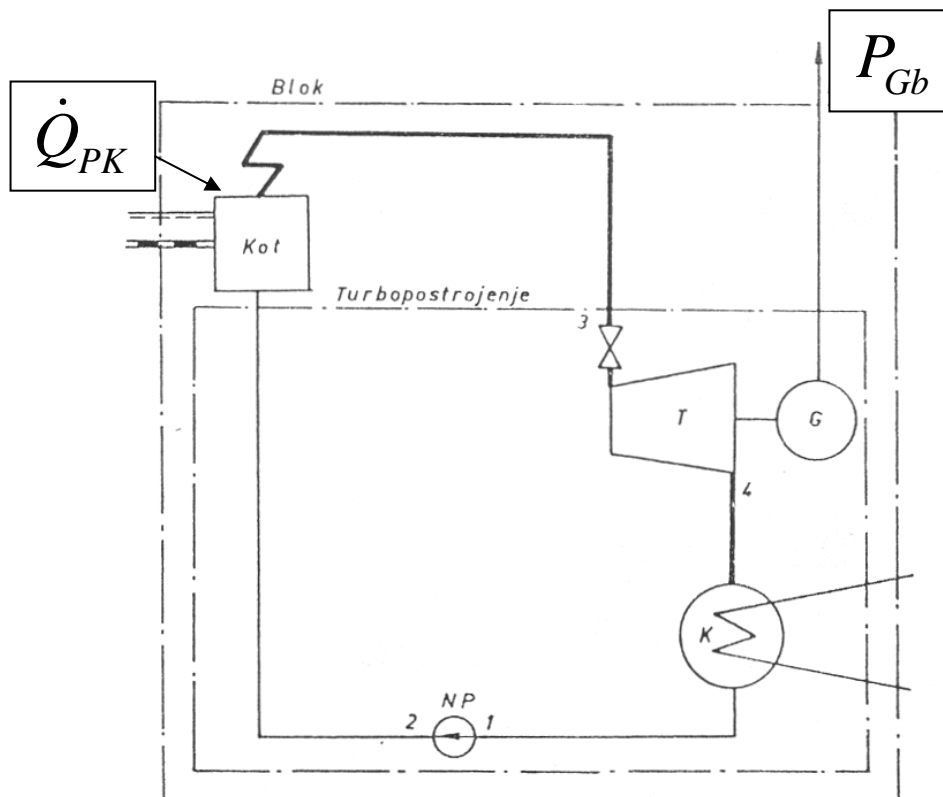
Za obavljanje kružnog ciklusa potreban je povišenje pritiska koje se obavlja u **napojnoj pumpi**.



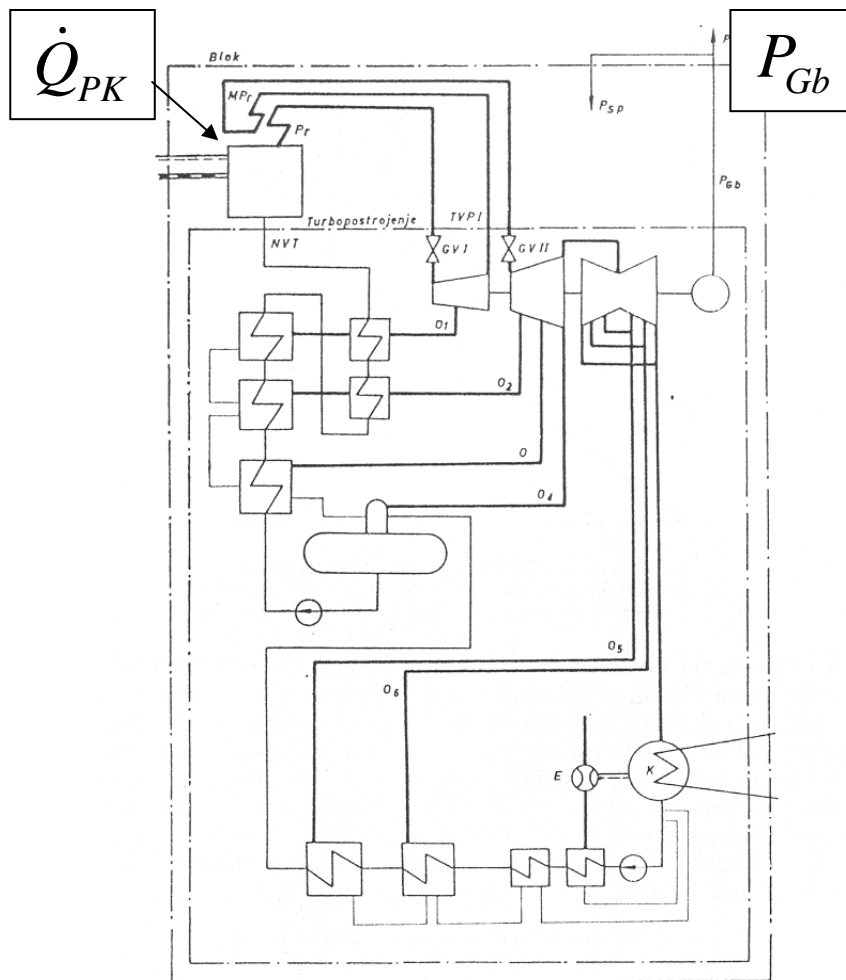
Сл. 3 - Принцип рада парног блока



Сл. 4 - Tehnološka šema parnog bloka



Сл. 5 - Osnovna toplotna šema parnog bloka sa kondenzacionom parnom turbinom



Sl. 6 - Osnovna toplotna šema i definicija kontrolnih granica za parni blok i turbopostrojenje sa dogrevanjem

5.3 Osnovi i glavni termodinamički parametri parnog bloka

Osnovi termodinamički parametri parnog bloka su oni parametri koji u potpunosti definišu termodinamički ciklus po kojem postrojenje radi.

Za postrojenje kao na sl. 5 to su:

- p_{GVI} — pritisak pare ispred glavnog ventila turbine visokog pritiska,
- t_{GVI} — temperatura pare ispred glavnog ventila turbine visokog pritiska,
- p_{PK} — pritisak pare na priрубnici turbine i kondenzatora

I kod složenijeg postrojenja (sl. 6) se mogu kao osnovni termodinamički parametri označiti one osnovne veličine stanja koje određuju ciklus po kojem radi ovakav blok. To su sledeće veličine:

- p_{GVI} — pritisak pare ispred glavnog ventila turbine visokog pritiska,
- t_{GVI} — temperatura pare ispred glavnog ventila turbine visokog pritiska,
- p_{GVII} — pritisak pare ispred glavnog ventila turbine srednjeg pritiska u koju ulazi para iza dogrejača,
- t_{GVII} — temperatura dogrejene pare ispred glavnog ventila turbine srednjeg pritiska,
- p_{PK} — pritisak pare na priрубnici turbine i kondenzatora,
- p_{NV} — pritisak napojne vode iza poslednjeg zagrejača i
- t_{NV} — temperatura napone vode iza poslednjeg zagrejača.

Stepen korisnosti turbopostrojenja η_{TPb} za parni blok kao na sl. 5 i 6 pokazuje koji se deo dovedene toplote transformiše u el. energiju i predstavlja odnos dobijene el. energije u jedinici vremena P_{Gb} dovedene količine toplote turbopostrojenju $\dot{Q}_{TP,dov}$ u jedinici vremena.

$$\eta_{TPb} = \frac{P_{Gb}}{\dot{Q}_{TP,dov}}.$$

Stepen korisnosti parnog bloka η_{Bb} predstavlja odnos između dobijene el. energije u jedinici vremena P_{Gb} dovedene količine toplote u parnom kotlu \dot{Q}_{PK} u jedinici vremena.

$$\eta_{Bb} = \frac{P_{Gb}}{\dot{Q}_{PK}}$$

Zbog toplotnih gubitaka u kotlu sagorevanjem goriva mora se dovesti veća količina toplote od one koja se preda pari, odnosno dovede turbopostrojenju. Ako je η_{PK} stepen korisnosti parnog kotla biće:

$$\eta_{Bb} = \frac{P_{Gb}}{\dot{Q}_{PK}} = \frac{P_{Gb}}{\dot{Q}_{PK} / \eta_{PK}} = \eta_{TPb} \eta_{PK}$$

Stepen korisnosti parnog bloka je jednak proizvodu između stepena korisnosti parnog turbopostrojenja i stepene korisnosti parnog kotla.

Table 1- Orjentacione vrednosti osnovnih termodinamičkih parametara i stepena korisnosti za parna turbopostrojenja različitih snaga

Maksimalna trajna snaga MW	30	50	60	100	200	600
Pritisak ispre turbine bar	40	40	60	105	105	178
Temperatura ispred turbine °C	450	450	480	540	540	540
Temperatura iza dogrejača °C					540	540
Temperatura napojne vode °C	165	179	196	232	244	250
Stepen korisnosti turbopostrejnja bruto %	34,8	36,7	37,4	40,4	44,2	46
Pritisak u kondenzatoru ata	0,042					

Specifična potrošnja toplote predstavlja odnos između dovedene količine toplote parnom bloku i proizvedene el.energije u jedinici vremena:

$$q_{Bb} = \frac{\dot{Q}_{PK}}{P_{Gb}}$$

I pokazuje koliko je jedinica toplote potrebno dovesti da bi se proizvela jedinica el. energije.

Ako je H_d toplotna moć goriva izražena u $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$ onda se može odrediti maseni protok goriva \dot{M}_G i specifična potrošnja goriva po jedinici el. energije:

$$b_{Gb} = \frac{\dot{Q}_{PK} / H_d}{P_{Gb}} = \frac{\dot{M}_G}{P_{Gb}}$$

i može se izraziti u kg goriva po kWh el. energije.

Ukoliko je dalje poznata cena goriva [din/kg], lako se mogu odrediti troškovi goriva po svakom proizvedenom kWh el. energije.

5.4 Priincip rada i osnovni elementi parnih turbina

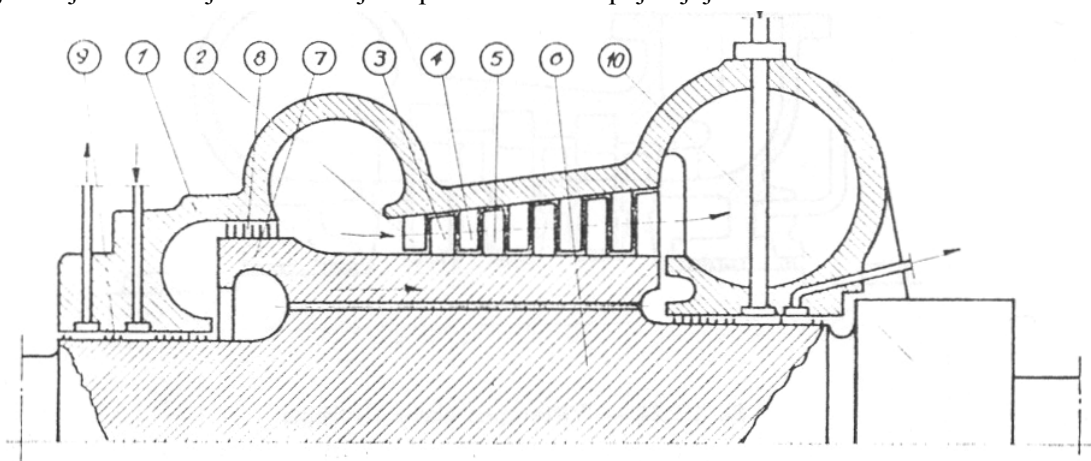
Kako se kod parnih turbina mora prvo toplotna energija pretvoriti u kinetičku energiju uređene fluidne struje, to one moraju imati takve elemente u kojima se to može postići. Pretvaranje toplotne energije u kinetičku energiju uređene fluidne struje može se ostvariti jednim adijabatskim procesom širenja pri čemu pritisak opada a brzina strujanja raste. Za takav adijabatski gazodinamički proces moraju postojati kanali čiji se preseči menjaju na odgovarajući način. Ti kanali čine onda sprovedni aparat ili nepokretnu rešetku (pretkola) jedne turbine. U sprovednom aparatu se para ili gas ubrzavaju da bi povećanom brzinom ušli u radno kolo.

U radnom kolu se može dalje nastaviti proces pretvaranja toplotne energije u kinetičku energiju uređene fluidne struje. Ovo se ostvaruje daljim širenjem radnog fluida i povećavanjem brzine. Ovakve turbine se nazivaju **reakcionim**. Kod **akcionih** turbina se kompletna transformacija toplotne energije obavi u pretkolu a u radnom kolu se samo promeni pravac strujanja bez promene intenziteta brzine.

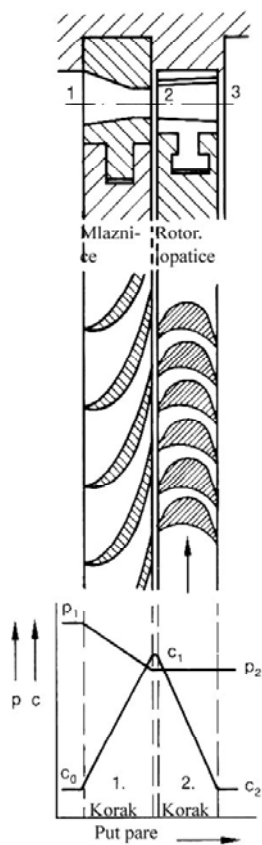
Oblik kanala radnog kola mora biti takav da se ostvari još jedan važan proces. To je proces prenošenja kinetičke energije fluidne struje na rotor. Ovo se može postići samo na taj način ako se pri strujanju fluida kroz kanale radnog kola pojave sile. To se postiže naročitim oblikom lopatica koje se nalaze poredane po obimu radnog kola.

Dva bitna funkcionalna elementa svake turbine su dakle nepokretno pretkolo sa sprovednim lopaticama poredanim po njegovom obimu i radno kolo sa radnim lopaticama isto tako poredanim po njegovom obimu. Sprovedne i radne lopatice poredane po obimu pretkola i kola čine kanale u kojima se vrše određene termodinamičke promene i prenos energije. One se obično nazivaju rešetka pretkola i rešetka kola.

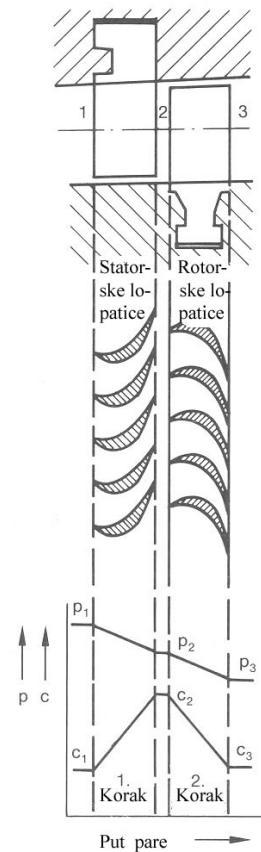
Razume se da svaka turbina pored ova dva najvažnija funkcionalna elementa mora imati i druge uglavnom konstruktivne elemente. Naime, jedno ili više radnih kola moraju biti pričvršćeni za vratilo kojim se obrtni moment preko spojnice prenosi na pokretnu radnu mašinu. Vratilo sa radnim kolom ili sa više radnih kola naziva se rotor turbine. Da ne bi radni fluid izlazio u okolinu unutrašnjost turbine mora biti zarvorena. U ovu svrhu služi oklop turbine koji istovremeno štiti rotor od oštećenja i od stranih tela i služi kao zaštita od dodira. Na mestima gde rotor izlazi iz oklopa mora se isto tako sprečiti s jedne strane dodir pokretnog vratila i nepokretnog oklopa a s druge strane gubitak radnog tela u okolinu. Zbog toga se na tim mestima predviđaju uglavnom najčešće bezdodirni zaptivači — labirinti. Za aksijalno i radijalno vođenje rotora tj. da bi se osigurao aksijalni i radijalni zazori pri obrtanju, moraju postojati radijalna i aksijalna ležišta. Ona istovremeno služe za primanje radijalnih i aksijalnih sila koje se pri radu turbine pojavljuju.



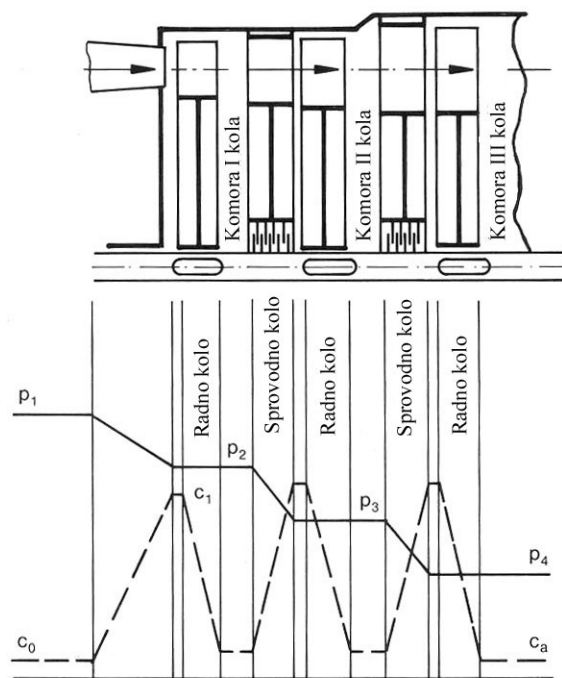
Sl. 7 — Višestupna turbina. 1 — Oklop (kućište). 2 — Rešetka pretkola I stupnja odn. sprovedni aparat I stupnja. 3 — Rešetka kola I stupnja odn. pokretni venac lopatica I stupnja. 4 — Rešetka pretkola II stupnja. 5 — Rešetka kola II stupnja. 6 — Dobošasti rotor. 7 — Izravnjač osnih sila. 8 — Labirintski zaptivač. 9 — Labirintski zaptivač. 10 — Ležište.



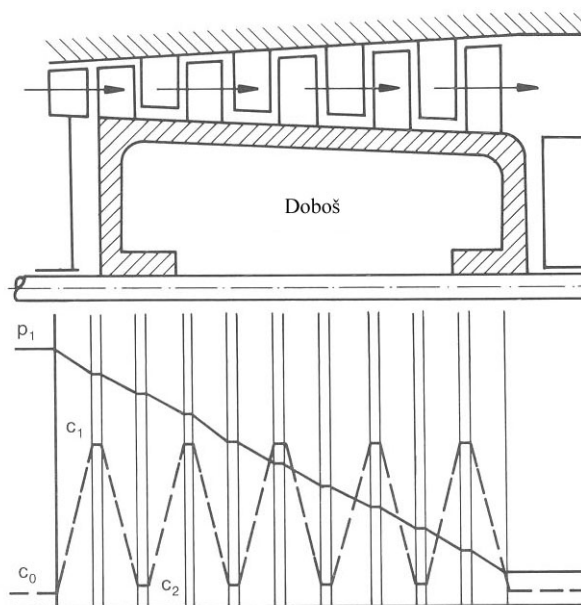
*Uzdužni presek akcionog stupnja
sa tokom promene pritiska i brzine*



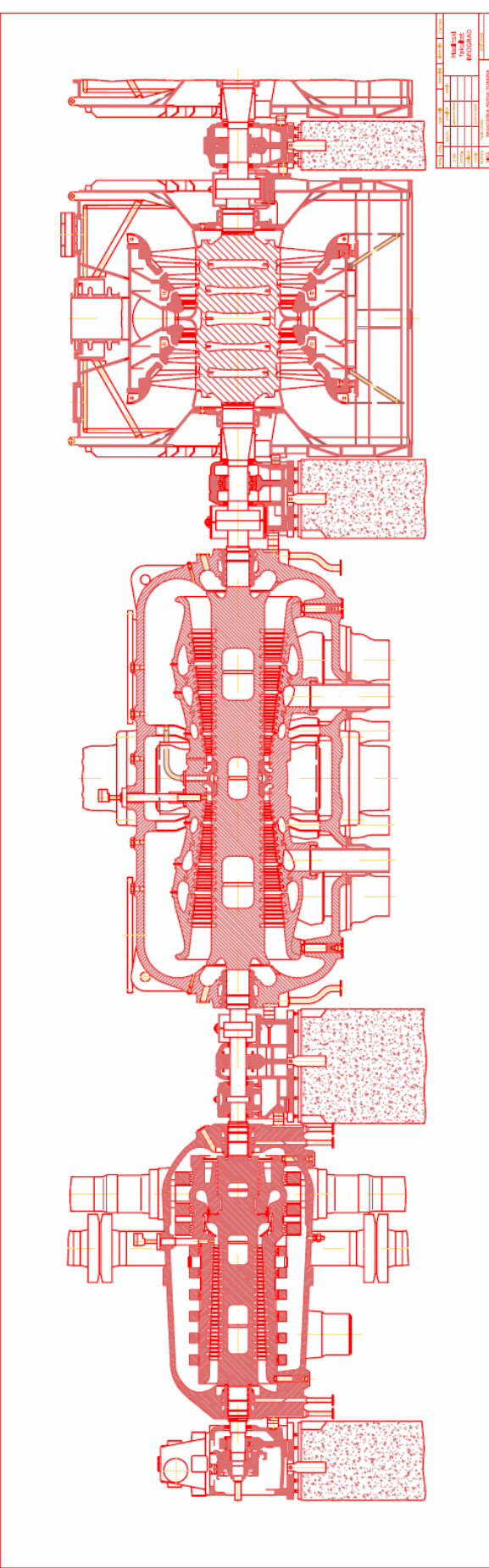
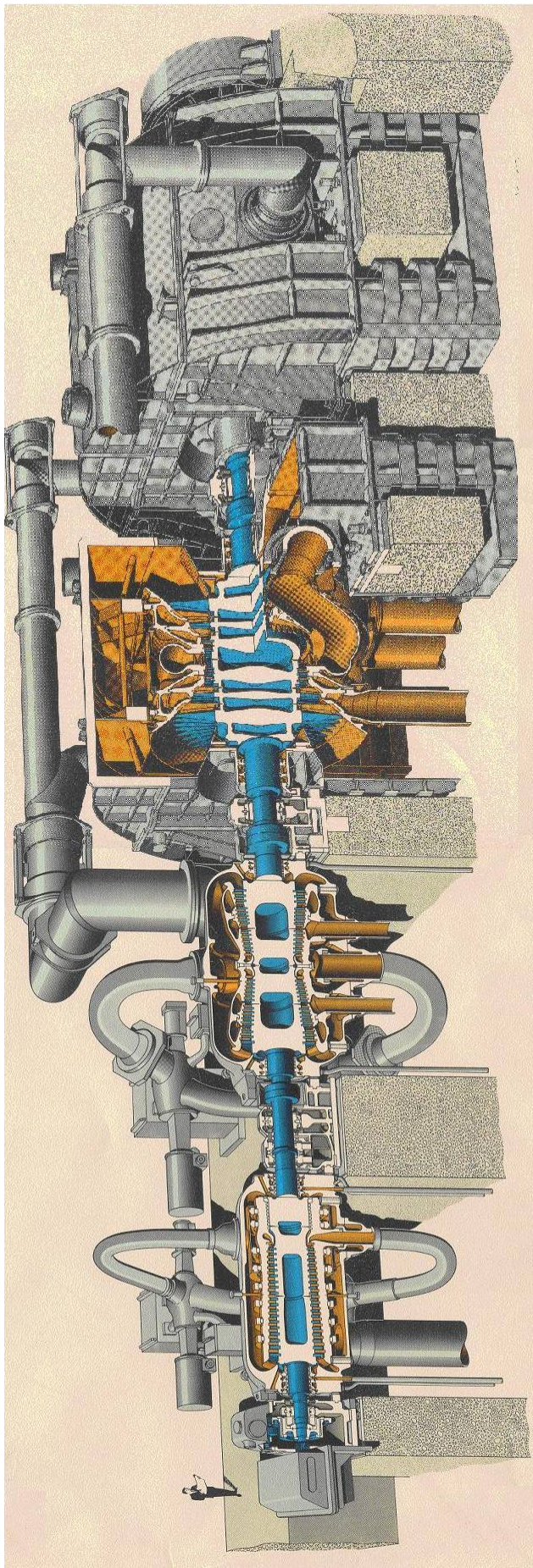
*Uzdužni presek reakcionog stupnja
sa tokom promene pritiska i brzine*



Akciona višestupna turbina



Reakciona turbina sa 5 stupnjeva



Parna turbina velike snage (iznad 600 MW)