

# UVOD U ENERGETIKU

L5-2 časa. PARNE TURBINE

Prof. dr Milan Petrović, Katedra za termoenergetiku, Kabinet 131

## Sadržaj:

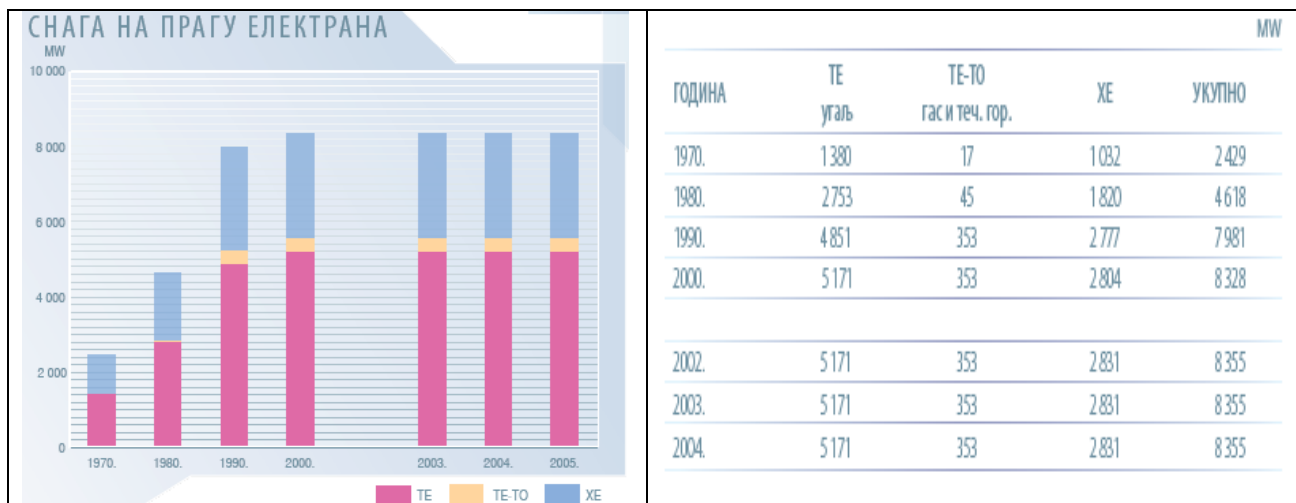
Primena parnih turbina. Princip rada. Toplotna šema parnog bloka. Glavni uređaji i procesi u njima. Osnovni termodinamički parametri. Step en korisnosti parnog bloka. Specifična potrošnja toplote i goriva.

## 5.1 Primena parnih turbina

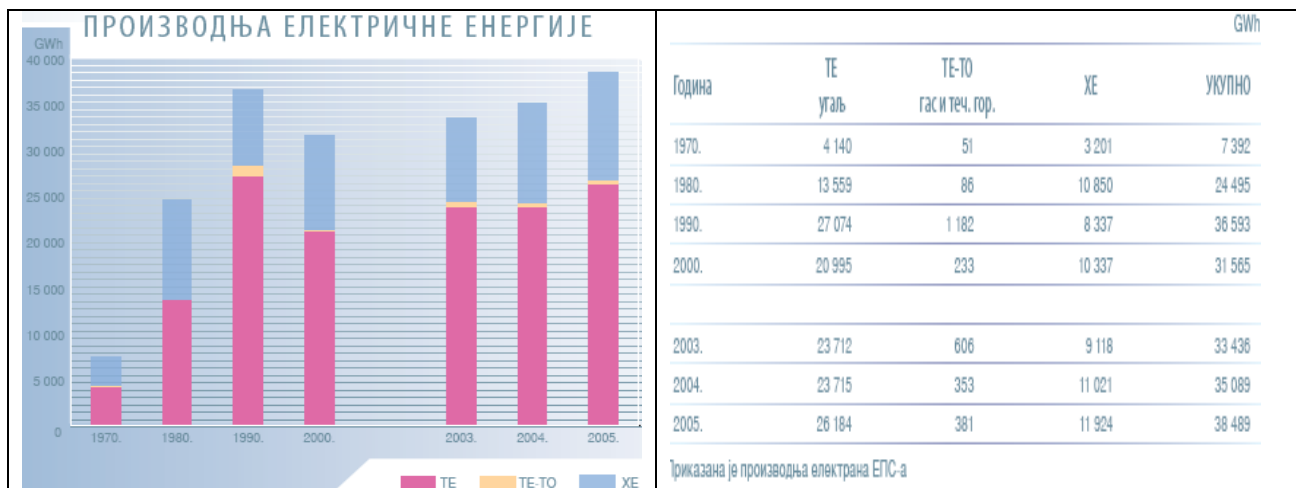
Najvažnija primena parnih turbina je u energetici za proizvodnju el. energije. U Srbiji je od ukupno 8355 MW energetskih kapaciteta 5524 MW (66%) instalisano u termoelektranama sa pranim turbinama u kojima se proizvode oko 70 % el. energije (sl.1 i 2).

Parne turbine se primenjuju još i u:

- Industriji,
- komunalnoj energetici,
- kao brodske pogonske mašine.



Sl. 1 – Instalirani energetski kapaciteti u Srbiji



Sl. 2 -Proizvodnja el. energije u elektranama u Srbiji

## 5.2 Princip rada. Toplotna šema parnog bloka. Glavni uređaji i procesi u njima

Parne turbine rade u sklopu termoelektrana sa parnim blokovima.

Parni blok je postrojenje u kome se hemijska energija goriva prvo pretvara u toplotu a zatim se toplota transformiše u mehanički rad i dalje u el. energiju.

Da bi se iz toplotne energije dobio mehanički rad mora se obaviti termodinamički kružni ciklus. Parni blokovi rade po **Rankin-Klauzjusovom** kružnom ciklusu. 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

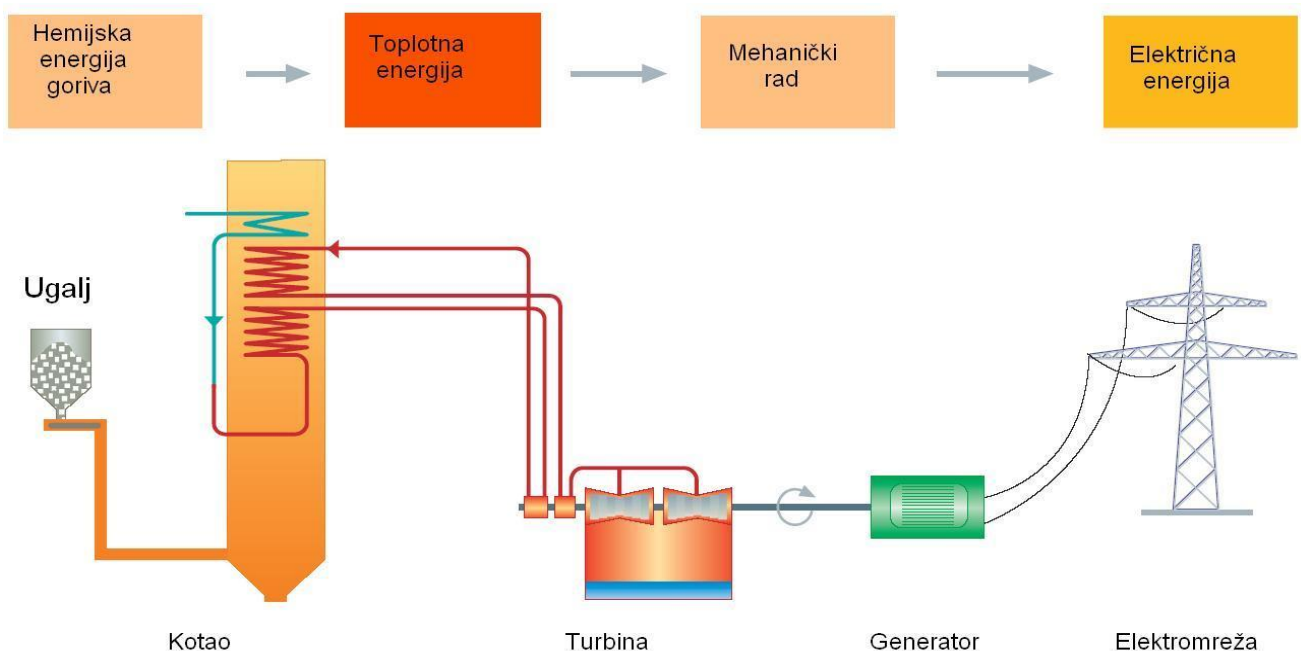
Kod parnog bloka se toplota dovodi u **parnom kotlu**. U parnom kotlu sagoreva fosilno gorivo (ugalj, tečno ili gasovito) obrazujući produkte sagorevanja na visokoj temperaturi. Sa druge strane u kotao se dovodi napojna voda pod visokim pritiskom koja onda struji kroz kotlovске cevi. Produkti sagorevanja 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 iz nuklearnog goriva.

**Parne turbine** su mašine koje pretvaraju toplotnu energiju u kinetičku energiju uređene fluidne struje a potom ovu u mehanički rad u obliku obrtanja rotora. Turbina pokreće dalje generator u kojem se mehanički rad pretvara u električnu energiju. Parna turbina zajedno sa generatorom se naziva **turboagregat**.

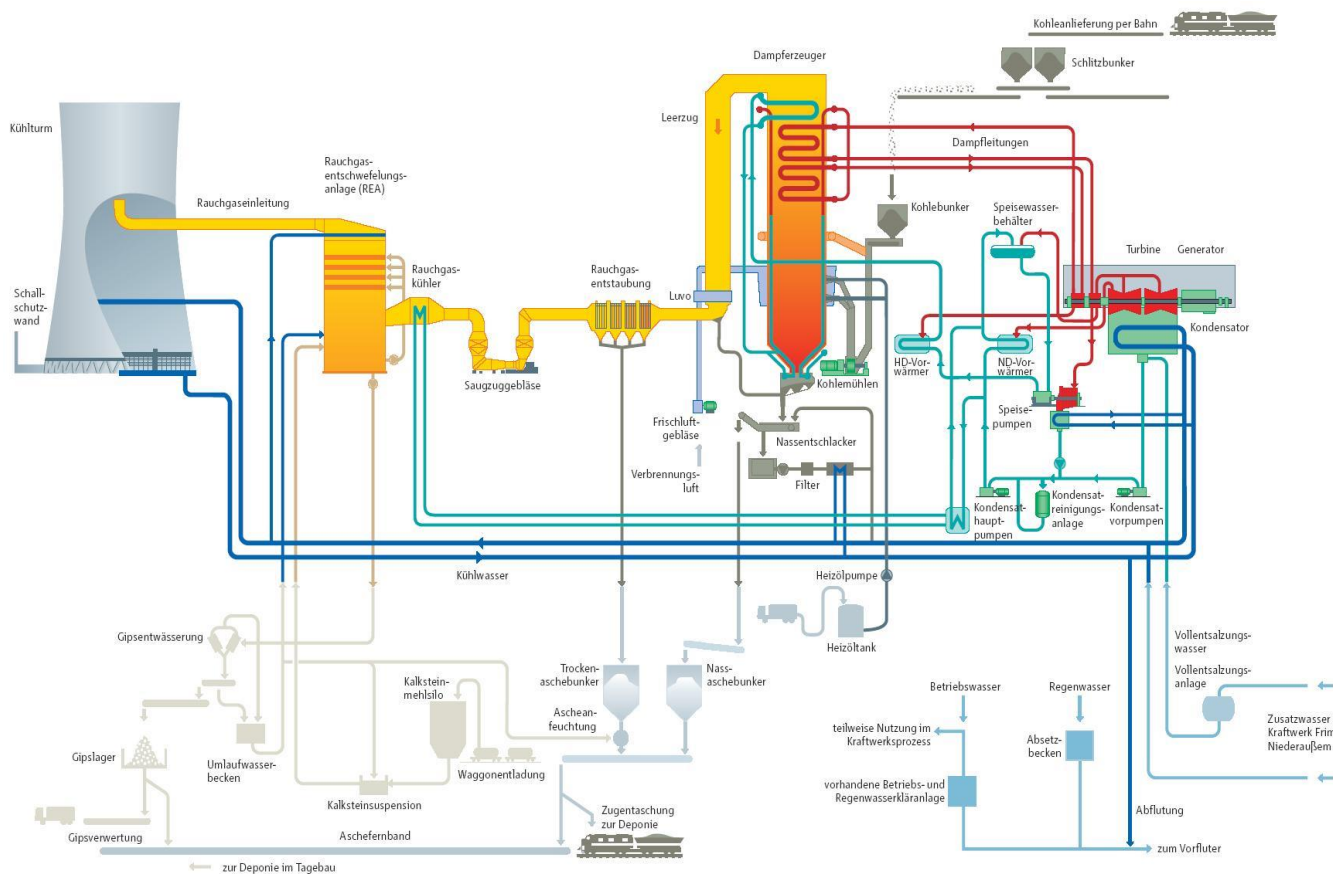
No parna turbina može da pokreće i neku drugu radnu mašinu (umesto generatora) ili da služi za pokretanje raznih saobraćajnih sredstava.

Pored toga mora postojati i toplotni ponor tj. uređaj u kojem se toplota koja nije mogla biti pretvorena u mehanički rad 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 kondenzuje a toplota kondenzacije odvodi u okolinu rashladnom vodom.

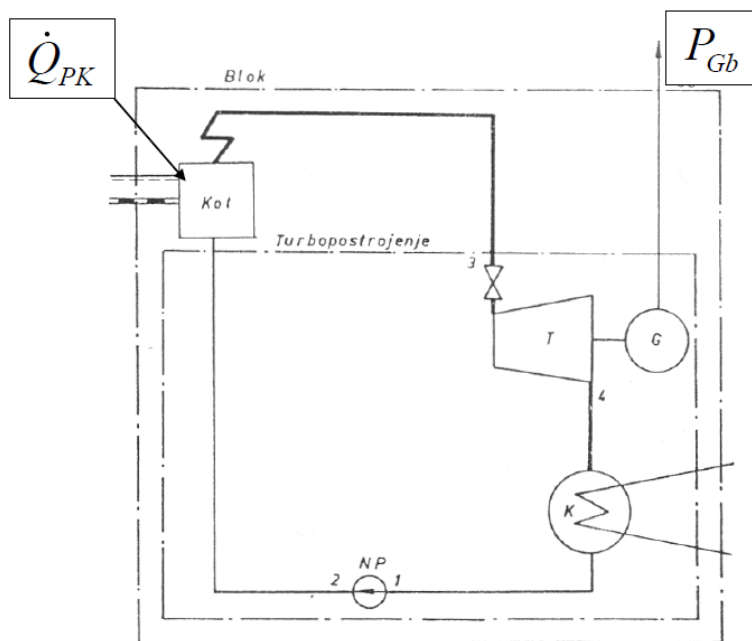
Za obavljanje kružnog ciklusa potreban je povišenje pritiska koje se obavlja u **napojnoj pumpi**.



Сл. 3 - Princip rada parnog bloka



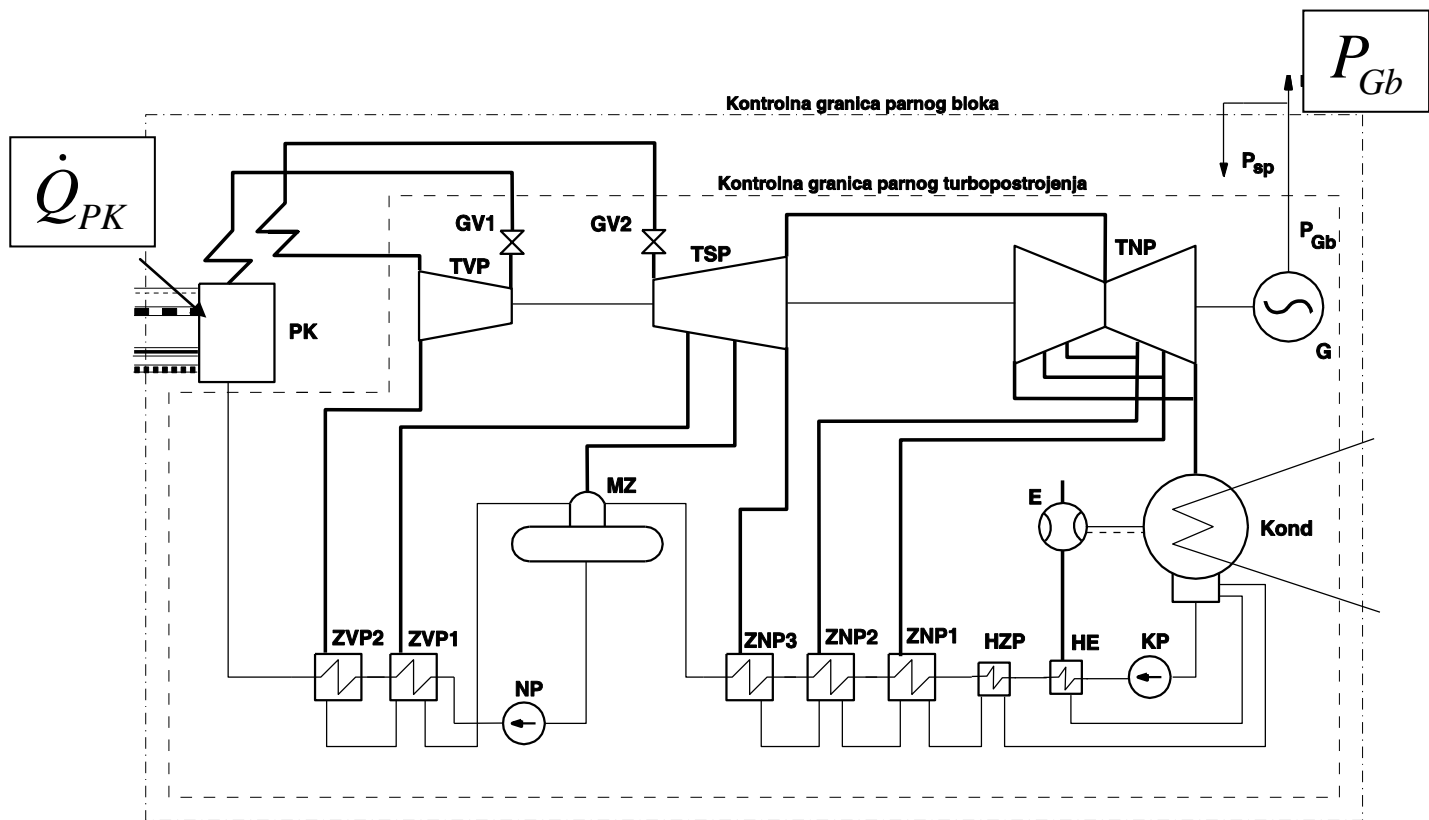
Сл. 4 - Tehnološka šema parnog bloka



Сл. 5 - Osnovna toplotna šema i T,s- dijagram procesa parnog bloka

Parna turbina sa generatorom, kondenzatorom i napojnom pumpom čini **parno turbopostrojenje**. Parno turbopostrojenje sa parnim kotlom čini **parni blok**.

Na sl. 5 je dat šematski prikaz i T,s-diagram najjednostavnijeg parnog bloka. Na sl. 6 je data toplotna šema komplikovanijeg bloka sa dogrevanjem pare i oduzimanjem apare radi zagrevanja napojne vode.



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

### 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:

$p_{GV}$  - pritisak pare ispred glavnog ventila turbine visokog pritiska,

$t_{GV}$  - 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,

$t_{GVII}$  - temperatura dogrejane pare ispred glavnog ventila turbine srednjeg pritiska,

$p_{PK}$  - pritisak pare na priрубnici turbine i kondenzatora,

$p_{NV}$  - pritisak napojne vode na ulazu u kotao

$t_{NV}$  - temperatura napone vode u kotao.

Table 1- Orijentacione vrednosti osnovnih termodinamičkih parametara za blokove 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
Pritisak u kondenzatoru ata	0,042					

U tabeli 1 su prikazane orijentacione vrednosti osnovnih termodinamičkih parametara za blokove različitih snaga .

Glavni termodinamički parametri pokazuju kvalitet parnog bloka u pogledu transformacije toplote u el. energiju. Ovde ćemo definisati stepen korisnosti bloka i specifičnu potrošnju toplote bloka.

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

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

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 prizvela 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.

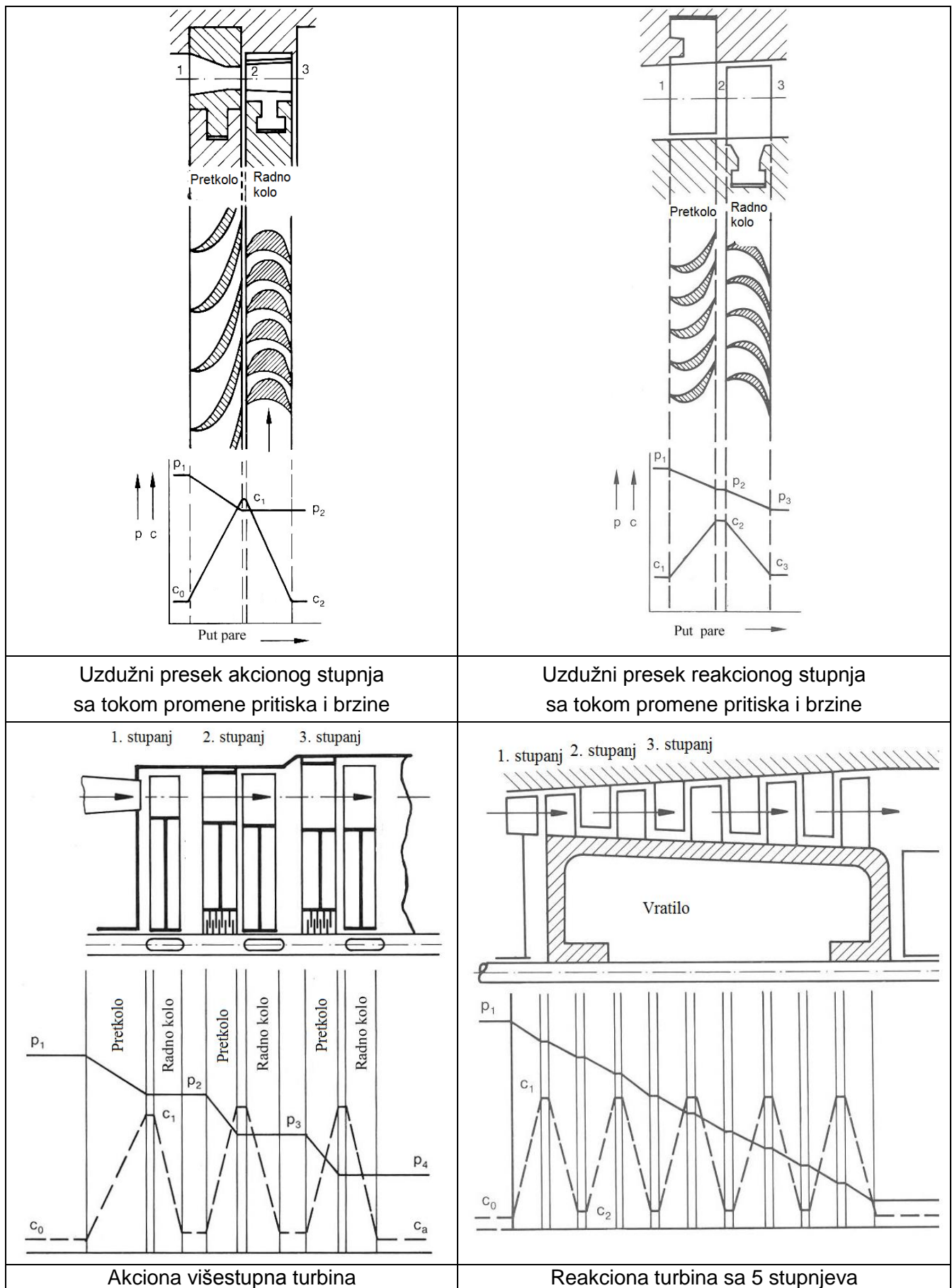
## 5.4 Princip rada i osnovni elementi parnih turbina

Kod parnih turbina se prvo toplotna energija pretvori u kinetičku energiju uređene fluidne struje. To pretvaranje se može ostvariti jednim adijabatskim procesom širenja pri čemu pritisak i temperatura opadaju a brzina strujanja raste. Za takav adijabatski gasodinamički proces moraju postojati kanali koji se **sužavaju**, odnosno, čiji se preseki smanjuju. Ti kanali čine **spvodni aparat (pretkolo)** jedne turbine. U spvodnom aparatu se para ubrzava da bi povećanom brzinom ušla 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 poređane po obimu radnog kola.

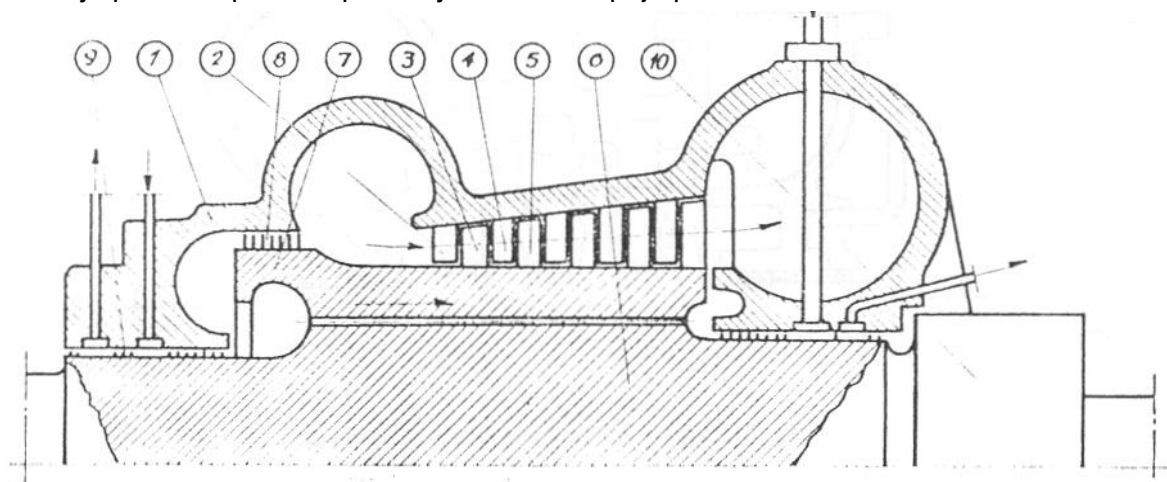
Pretkolo i radno kolo čine **stupanj** turbine kao osnovi funkcionalni element. Turbine mogu imati jedan ili više stupnjeva. Moderne turbine uvek imaju veći broj stupnjeva. Na sl. 7 su prikazani uzdužni preseki akcionog i reakcionog stupnja sa tokom promene pritiska i brzine kao i preseki višestupnih turbina.



Sl. 7. Akcione i reakcione parne turbine

Svaka turbina, pored stupnjeva, 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 radnu mašinu (na primer generator). 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 bezdodirne **zaptivke**. 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 javljaju pri radu turbine.

Na sl. 8 je prikazan podužni presek jedne višestupnje parne turbine sa osnovim delovima.



Sl. 8 - Višestupna parna turbina. 1 - Oklop (kućište). 2 - Pretkolo 1. stupnja. 3 Radno kolo 1. stupnja. 4 – Pretkolo 2. stupnja. 5 – Radno kolo 2. stupnja 6 – Vratilo. 7 - Izravnjač osnih sila. 8 – Zaptivka, 9 - Zaptivka. 10 - Ležište.

Na sl. 9 je prikazana jedna moderna turbina velike snage.



