

## УВОД У ЕНЕРГЕТИКУ

**6 ГАСНЕ ТУРБИНЕ**, Л6-2 часа.

Проф. др Милан Петровић, Катедра: Термоенергетика, Кабинет: 131

### Садржај:

Примена гасних турбина. Принцип рада. Топлотне шеме гасног блока. Главни уређаји и процеси у њима. Степен корисности гасног блока. Комбинована постројења гасне и парне турбине.

## 6. 1 Istorijski razvoj gasnih turbina

**1791. John Barber.** Prvi patent gasne turbine.

Posle niza patenata krajem XIX i početkom XX veka, 30-tih godina XX veka počela ozbiljnija primena u energetici.

**1930. Frank Whittle.** Patent turbomlaznog avionskog motora. 1937. u V. Britaniji testiran uspešno prvi avionski turbomotor prema projektu Whittle-a 1941. ugrađen turbomotor W-1 u avion.

**1936. Hans von Ohain** prikazao u Nemačkoj prvi model avionskog motora. Po njegovim projektima izradjen motor koji je ugrađen u avion He-178 firme Heinkel 1939. To je bio prvi avion koji je avgusta 1939. poleteo sa turbomotorom.

Posle II svetskog rada ubrzan razvoj da krajem XX veka gasna turbina doživela pravu ekspanziju u primeni.

## 6.2 Princip rada gasnog bloka

Gasne turbine rade po Joule-ovom ciklusu. Osnovna toplotna šema gasne turbine otvorenog toka prikazana je na slici 6.1.

Kod ovog postrojenja:

- turbokompresor **C** usisava vazduh iz atmosfere i sabija ga od stanja 1 do stanja 2.
- Sabijeni vazduh se zatim odvodi u grejnu komoru **GK**, u koju se ubrizgava gorivo.
- Sagorevanjem goriva u sabijenom vazduhu radno telo se zagreva od temperature  $t_2$  do temperature  $t_3$  pri približno konstantnom pritisku. Pri ovome se ne menjaju samo termodinamičke veličine stanja već i hemijski sastav radnog tela.
- Produkti sagorevanja eksandiraju u gasnoj turbini **GT** od stanja 3, do približno atmosferskog pritiska (stanje 4).
- Mehanički rad, koji se pri tom dobija, koristi se za pokretanje turbokompresora i generatora.
- Produkti sagorevanja se iz turbine ispuštaju u atmosferu gde se hlade do temperature okoline (proces 4-1).

S obzirom da u turbini eksandiraju produkti sagorevanja, kao gorivo kod gasnih turbina otvorenog toka se može koristiti samo pogodno kvalitetno tečno ili gasovito gorivo kako bi se izbegla erozija i korozija lopatica turbine.

## 6.3 Osnovni termodinamički parametri gasnog bloka otvorenog toka

Pod osnovnim termodinamičkim parametrima gasnog bloka podrazumevaju se parametri koji potpuno definišu kružni ciklus po kojem postrojenje radi.

Gasni blok radi po *Joule*-ovom ciklusu pa je potrebno definisati veličine stanja u tačkama 1, 2s, 3, 4s.

Za gasni blok otvorenog toka osnovni termodinamički parametri su:

- $p_1$  - pritisak na ulazu u kompresor (atmosferski)
- $t_1$  - temperatura na ulazu u kompresor (atmosferski)
- $p_2$  - pritisak na izlazu iz kompresora (od nekoliko bar do 30 bar)
- $t_3$  - temperatura na ulazu u turbinu (od 900 do 1500 °C)

Umesto pritiska  $p_2$  može se uvesti stepen kompresije  $\Pi = \frac{p_2}{p_1}$ .

#### 6.4 Glavni termodinamički parametri gasnog bloka otvorenog toka

Glavni termodinamički parametri pokazuju kvalitet postrojenja u pogledu transformacije toplote u rad, odnosno, električnu energiju. Ovi parametri se nazivaju termodinamičkim zbog toga što najviše zavise od termodinamičkih veličina stanja sa kojima blok radi.

Glavni termodinamički parametri gasnog bloka su:

- $L_{Gb}$  - specifični rad generatora bruto. To je el. rad koji se dobije na priključcima generatora po jedinici radnog tela na ulazu u kompresor. Njemu za zadati protok odgovara snaga generatora bruto.
- $\eta_{Bb}$  - stepen korisnosti bloka bruto. To je odnos dobijenog rada na priključcima generatora i dovedene toplote. Ovaj parametar pokazuje koji se deo dovedene toplote transformiše u koristan rad.
- $q_{Bb}$  - specifična potrošnja toplote bloka bruto. To je ona količina toplote koju treba dovesti kroz kontrolnu granicu bloku da bi se u njemu dobila jedinica rada na izlazu iz kontrolne granice.

Snaga generagora bruto:

$$P_{Gb} = \dot{M}L_{Gb}$$

Stepen korisnosti bloka bruto:

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

Specifična potrošnja toplote bloka bruto:

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

Ako je  $H_d$  donja toplotna moć goriva maseni protok goriva, koji gasna turbina troši u jedinici vremena će biti:

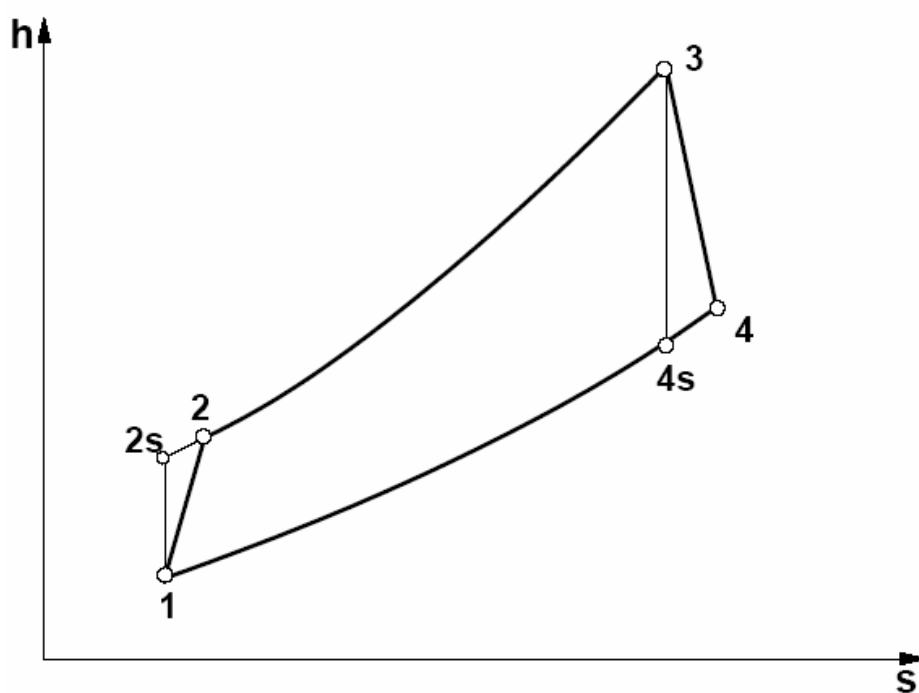
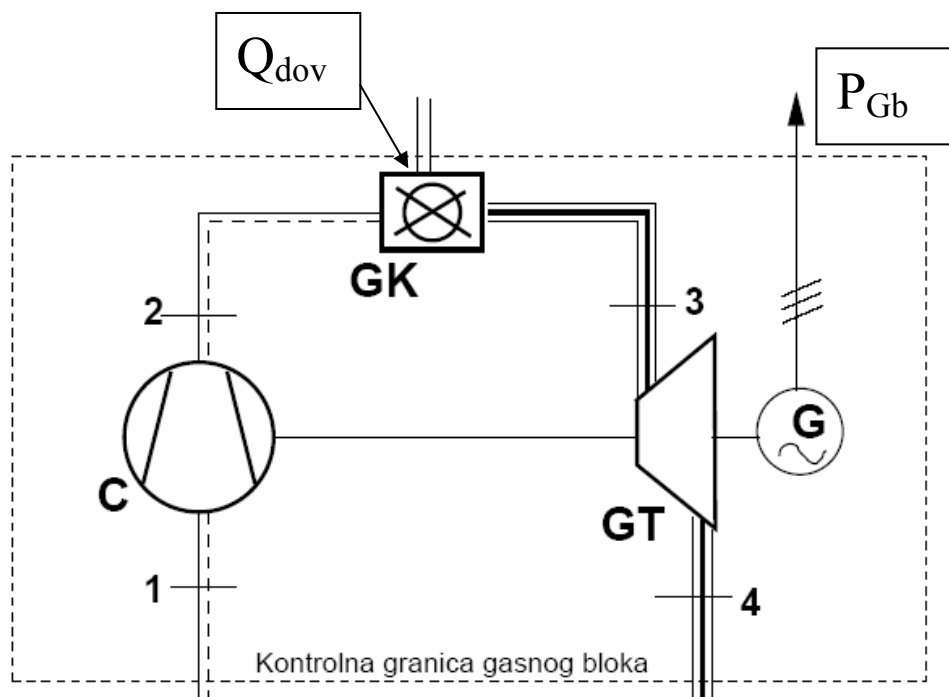
$$M_G = \frac{\dot{Q}_{dov}}{H_d}$$

a specifična potrošnja goriva

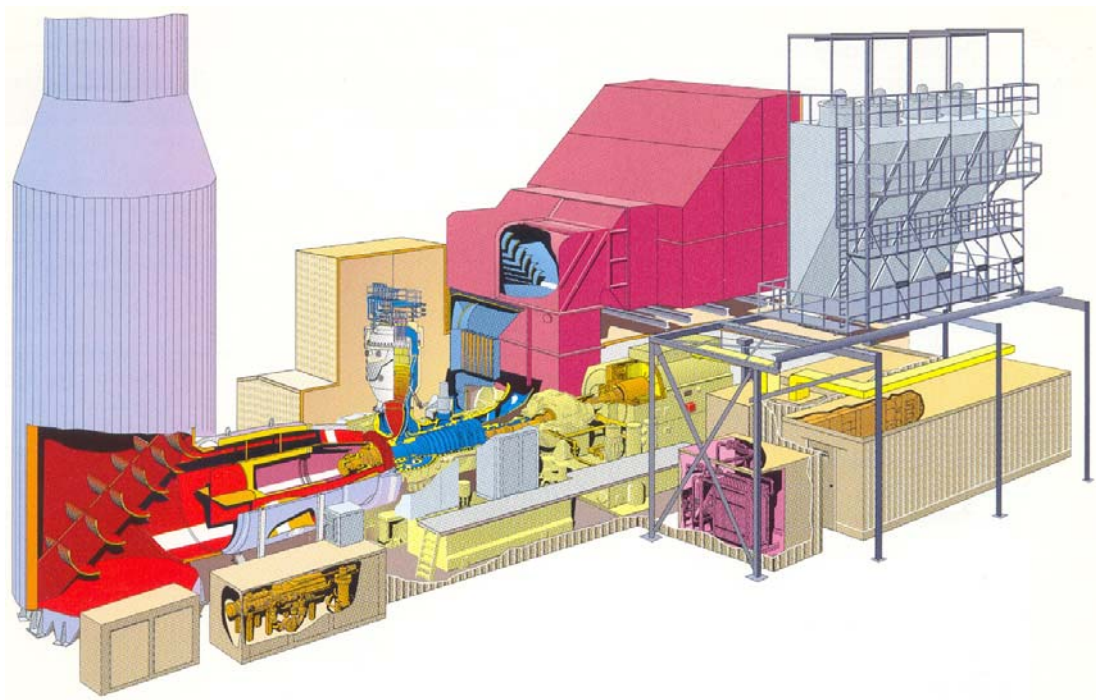
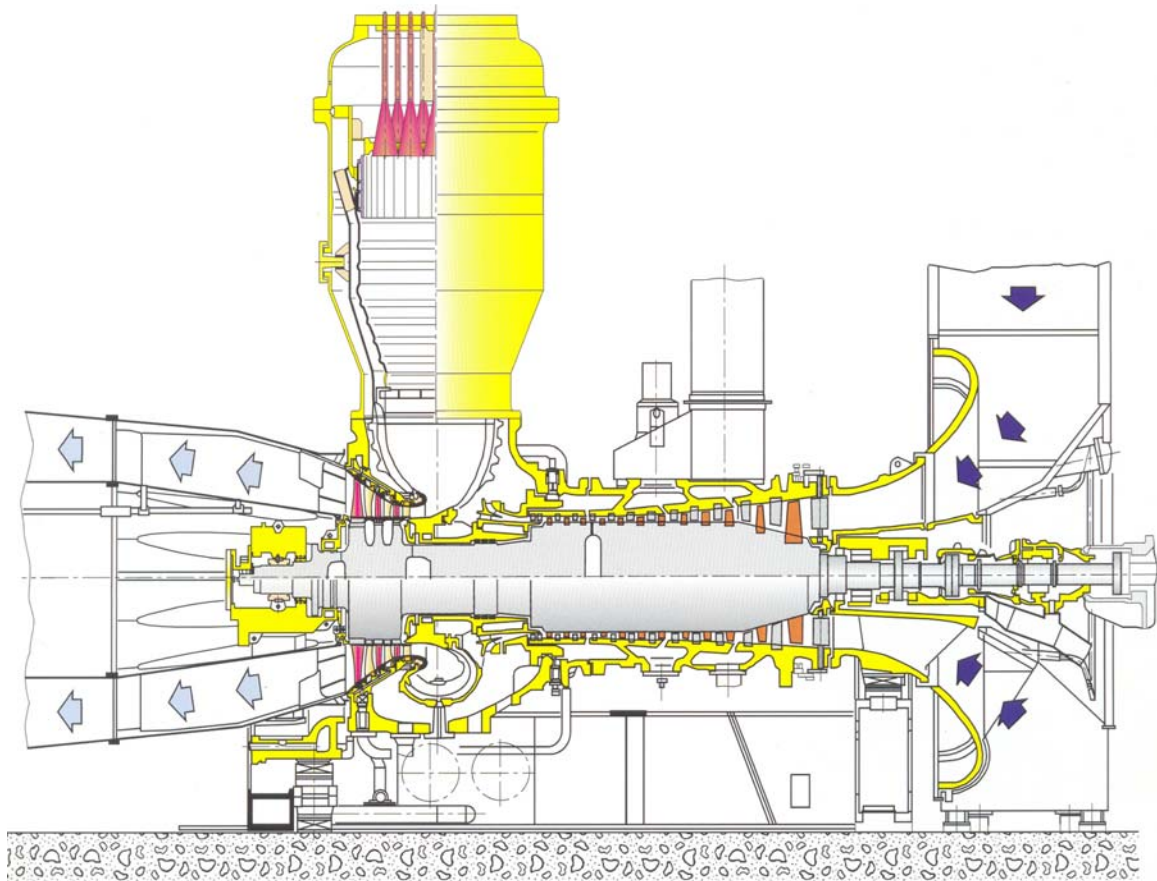
$$b_{Gb} = \frac{\dot{M}_G}{P_{Gb}}$$

i može se izraziti u m<sup>3</sup> goriva po kWh el. energije.

Ukoliko je dalje poznata cena goriva [din/m<sup>3</sup>], lako se mogu odrediti troškovi goriva po svakom proizvedenom kWh el. energije.



Sl. 6.1 - Toplotna šema gasnog bloka otvorenog toka i  $h,s$ -dijagram procesa



Sl. 6.2 - Gasna turbina snage 60 MW

## 6.5 Kombinovano postrojenje gasne i parne turbine

Kod kombinovanog postrojenja gasne i parne turbine gasovi sa izlaza iz gasne turbine se vode u kotao utilizator KU gde se njihovim hladjenjem proizvodi pregrejana para za proces u klasičnom parnom postrojenju.

Na ovaj način su iskorišćene dobre strane gasnog i parnog ciklusa:

- toplota se dovodi sagorevanjem goriva u grejnoj komori gasnog bloka pri visokim srednjim temperaturama a
- odvodi se iz ciklusa u kondenzatoru parnog bloka pri konstantnoj temperaturi (temperatura kondenzacije) koja je samo malo viša od temperature okoline.

Eliminisane su loše strane oba ciklusa:

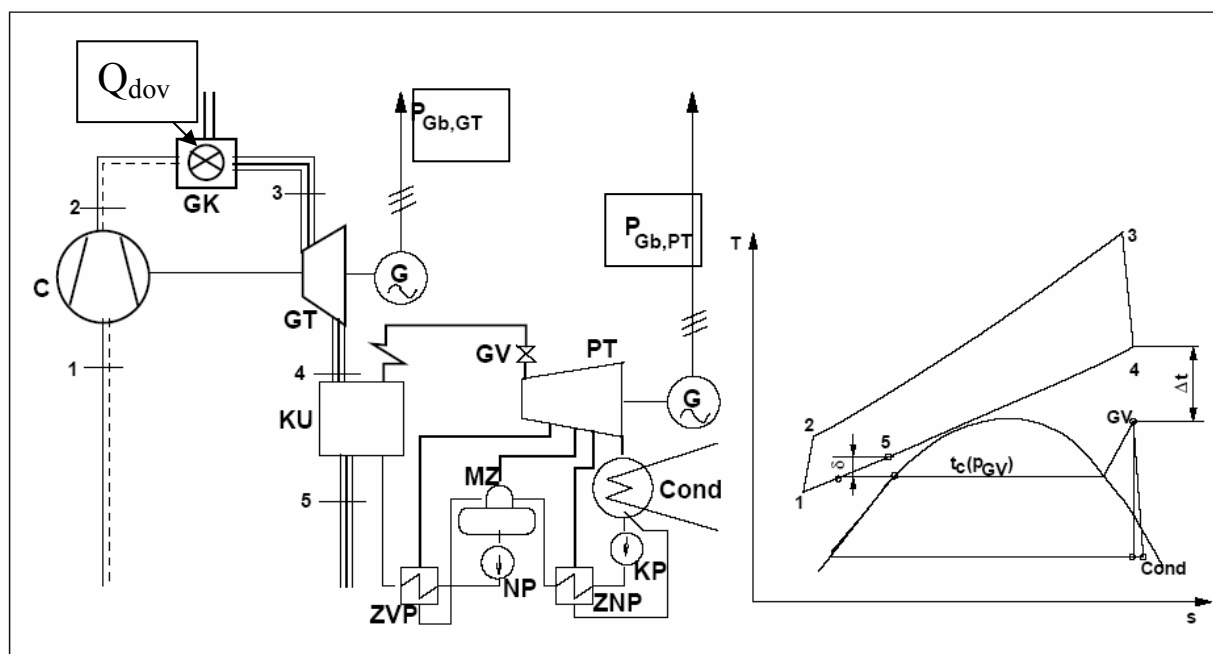
- odvođenje toplote pri visokim srednjim temperaturama kod gasnog ciklusa i
- dovodjenje toplote pri niskim srednjim temperaturama kod parnog ciklusa.

Stepen korisnosti kombinovanog postrojenja bruto se definiše kao odnos ukupno dobijenog električne snage na priključcima generatora gasne turbine  $P_{Gb,GT}$  i generatora parne turbine  $P_{Gb,PT}$  prema ukupno dovedenoj količini toplote u grejnoj komori u jedinici vremena  $\dot{Q}_{dov}$ :

$$\eta_{KPb} = \frac{P_{Gb,GT} + P_{Gb,PT}}{\dot{Q}_{dov}}$$

Odnos snage gasnog bloka prema snazi parnog bloka je po redu veličine:  $P_{Gb,GT}:P_{Gb,PT}=2:1$ . S obzirom da se električna energija u parnom bloku dobija od otpadne toplote iz gasnog bloka stepen korisnosti kombinovanog postrojenja je oko 1,5 puta veći od stepena korisnosti odgovarajućeg gasnog bloka.

Kod novih kombinovanih postrojenja danas (2007. god.) dostignut je stepen korisnosti  $\eta_{KPb}=0.58$  - 0.61, tako da su ovo toplotne mašine sa apsolutno najvišim stepenom korisnosti.



Sl. 6.3 Toplotna šema i T,s- dijagram procesa kombinovanog postrojenja gasne (GT) i parne (PT) turbine

## 6.6 Primena gasnih turbina u energetici

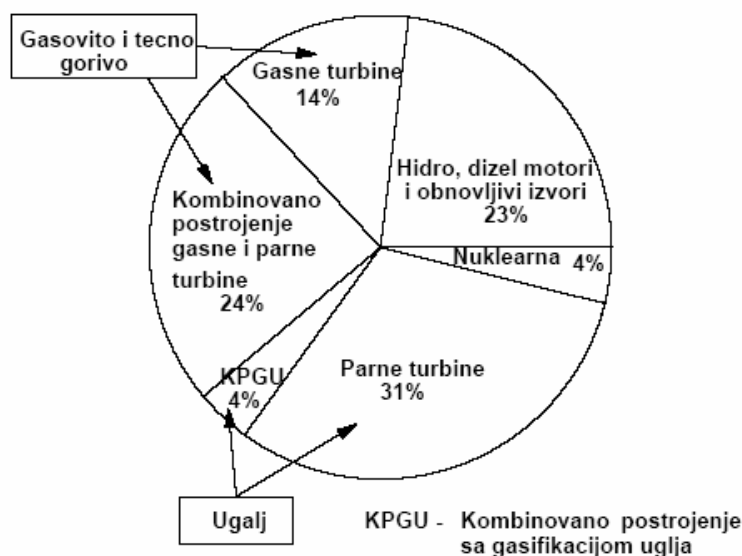
U odnosu na konkurentski parni blok gasna turbina ima čitav niz prednosti:

- jednostavnije postrojenje sa daleko manjim brojem komponenata.
- jeftinije i brže se gradi
- visoka pouzdanost rada,
- lako i ekonomično održavanje.
- brzo startovanje,
- ostvaruje se veoma visok stepen automatizacije,
- nije potrebna voda za hladjenje,
- odlične osobine u pogledu emisije zbog čega se postrojenja sa gasnim turbinama mogu graditi i neposredno uz potrošače električne energije, pa i u centrima velikih gradova.
- veliki raspon snaga: od mikro gasnih turbina snage od nekoliko desetina kW do velikih gasnih turbina snage do 300MW. Na ovaj način se svaki specifični zahtev može zadovoljiti na najbolji način.

Pored čitavog niza prednosti gasna turbina ima i jedan veliki nedostatak:

- gorivo mora biti kvalitetno i skupo tečno ili gasovito, pošto produkti sagorevanja struje kroz turbinu, primena uglja je isključena.

Zbog ovoga parna turbina i dalje igra veliku ulogu u energetici.

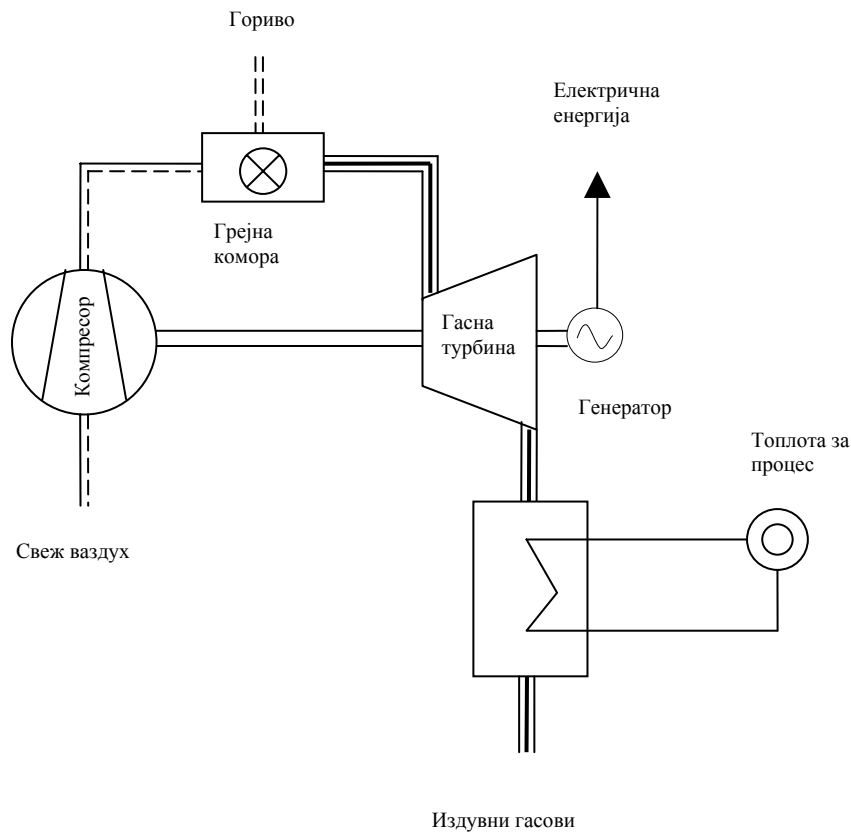


Sl. 6.4 - Pregled primenjenih energetskih tehnologija u periodu 1997-2006. u svetu

Sa slike 6.4 se vidi da je gasna turbina primenjena u 42 % energetska kapaciteta izgrađenih u periodu 1997-2006. god. u svetu što pokazuje da je gasna turbina igra veoma važnu ulogu u energetici.

## 6.7 Primena gasnih turbina u industrijskoj i komunalnoj energetici

Veoma značajna i velika za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije. Gasovi sa izlaza iz gasne turbine se koriste za zagrevanje tople vode za daljinsko grejanje ili za proizvodnju tehnološke pare za industrijski proces. Na ovaj način se može postići stepen korisnosti i preko 80 %.



Sl. 6.5 - Primena gasne turbine za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije

## 6.8 Primena gasnih turbina za pogon aviona

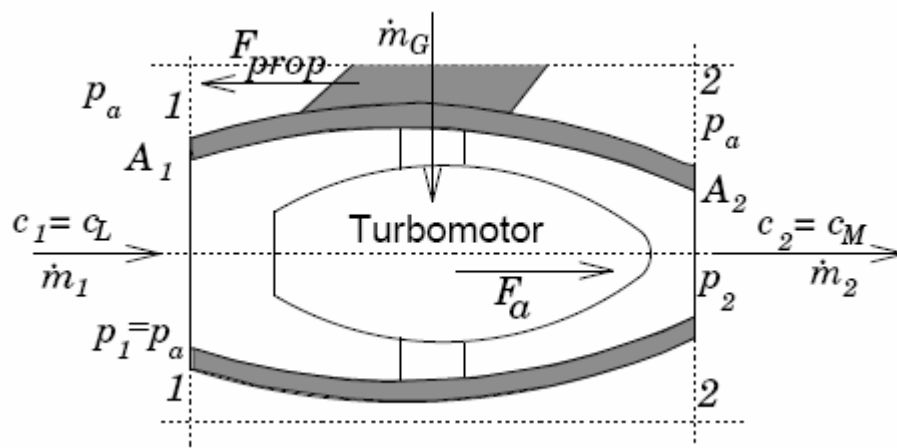
Pogon aviona predstavlja vrlo važnu oblast primene gasnih turbina. Ovde su gasne turbine neprikosnovene, potisnuvši skoro potpuno konkurentne pogonske mašine. Motor SUS se održao samo još za pogon malih sportskih aviona. Zbog značaja ove primene a naročito zbog njenog vojnog aspekta, danas se ulažu velika sredstva u razvoj gasnih turbina.

Zahtevi koji se postavljaju pred motor za pogon aviona a koje gasna turbina ispunjava na najbolji način su:

- pouzdanost rada,
- mala specifična težina mašine,
- ekonomičnost u potrošnji goriva,
- ekonomičnost u održavanju.

Kod turbomlaznih motora gasna turbina služi kao generator mlaza velike brzine. Sila potiska ili propulzije se dobija na bazi promene (povećanju) količine kretanja vazduha koji usisa:

$$F_{prop} = \dot{m}(c_M - c_L)$$



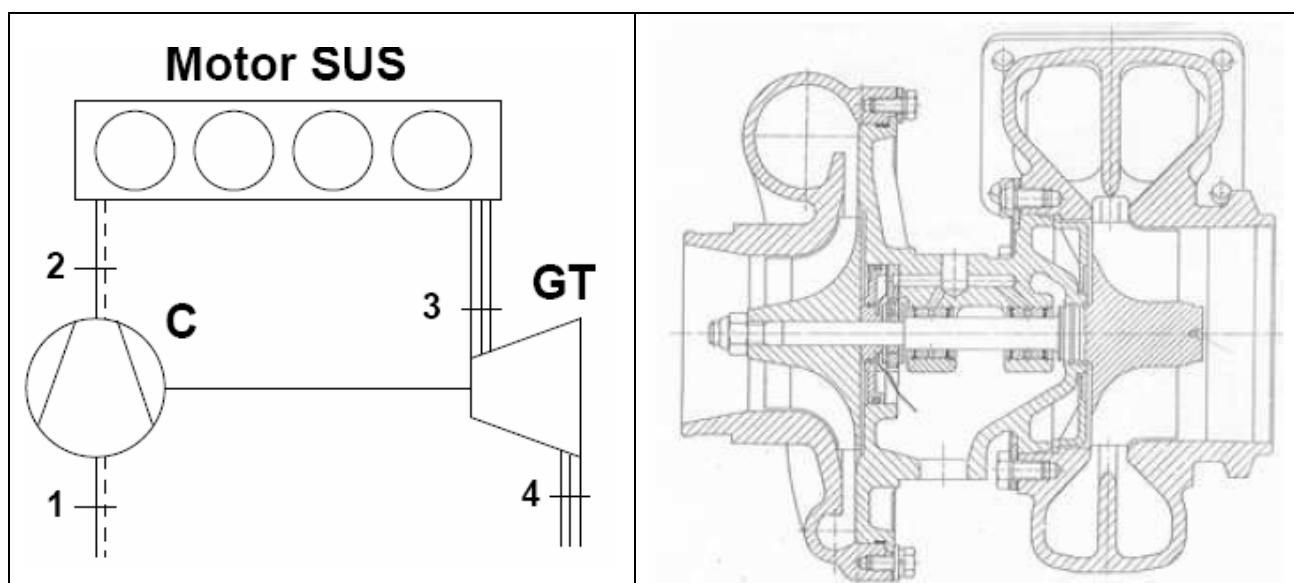
Sl. 6.6 – Princip rada avionske gasne turbine

## 6.9 Primena za pogon vozila

U prošlosti bilo više uglavnom neuspelih pokušaja. I pored svih dobrih strana gasna turbina, pri sadašnjem stanju razvoja, ima veću potrošnju goriva nego motor SUS što je razlog neuspeha.

Ipak i danas se primenjuje, uglavnom u SAD, kod nekih teških kamiona i za pogon nekih tenkova.

Kod automobila se gasna turbina primenjuje za turbopunjenje.



Sl. 6.7 Šema turbopunjenog motora SUS I presek turbopunjača

## 6.10 Druge primene gasnih turbina

Gasna turbina se primenjuje i za pogon brodova i vozova ali u manjoj meri od drugih pogonskih mašina (motora SUS I elektromotora)