

# GLAVNI SUSTAVI PLINSKE TURBINE MS6001FA U TE-TO ZAGREB

Mr. sc. Miroslav Šander, Zagreb

UDK 621.165:621.311.22  
PREGLEDNI ČLANAK

Plinska turbina MS6001FA od 70 MW je ugrađena u kombikogeneracijsko postrojenje u TE - TO Zagreb. Turbina je kompleksno postrojenje koje uključuje čitav niz sustava i podsustava. Iako se pogonska stanja turbine kontroliraju i povratni signali šalju u upravljački sustav SPEEDTRONIC pa se čini da su svi drugi sustavi od drugorazredne važnosti, ovdje želimo pokazati kako upravljački sustav ne može funkcionirati i djelovati bez ovih drugih sustava te da su oni za ispravan pogon turbine isto tako važni kao i upravljački sustav. Naravno da se ovdje ne mogu obuhvatiti svi sustavi niti podsustavi, a i samoj podjeli se može pristupiti na drugi način. Ovdje govorimo o sustavu ulja za podmazivanje, sustavu hidrauličkog ulja i ulja za izvrštavanje te uz njih vezane; ulazne privodne lopatice (IGV), sustavu plinskog goriva, sustavu tekućeg goriva. Ulazne privodne lopatice (IGV), sustav plinskog goriva, sustav tekućeg goriva, mogu se sami za sebe uzeti kao glavni sustavi plinske turbine, što ovdje nije učinjeno jer bi tada te sustave morali puno detaljnije obraditi. Uredaji za praćenje i vodenje turbine su oni koji direktno služe računalnom sustavu SPEEDTRONIC, a koji obuhvaćaju sve komponente koje se koriste za praćenje i pri vodenju plinske turbine, tj.: mjerenje temperature, indikaciju vibracija, mjerenje brzine vrtnje, detekciju plamena, paljenje. Također je obraden sustav za upuštanje.

**Ključne riječi:** TE-TO Zagreb, glavni sustavi, plinske turbine.

## 1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE TURBINE MS6001FA PODUZEĆA GE

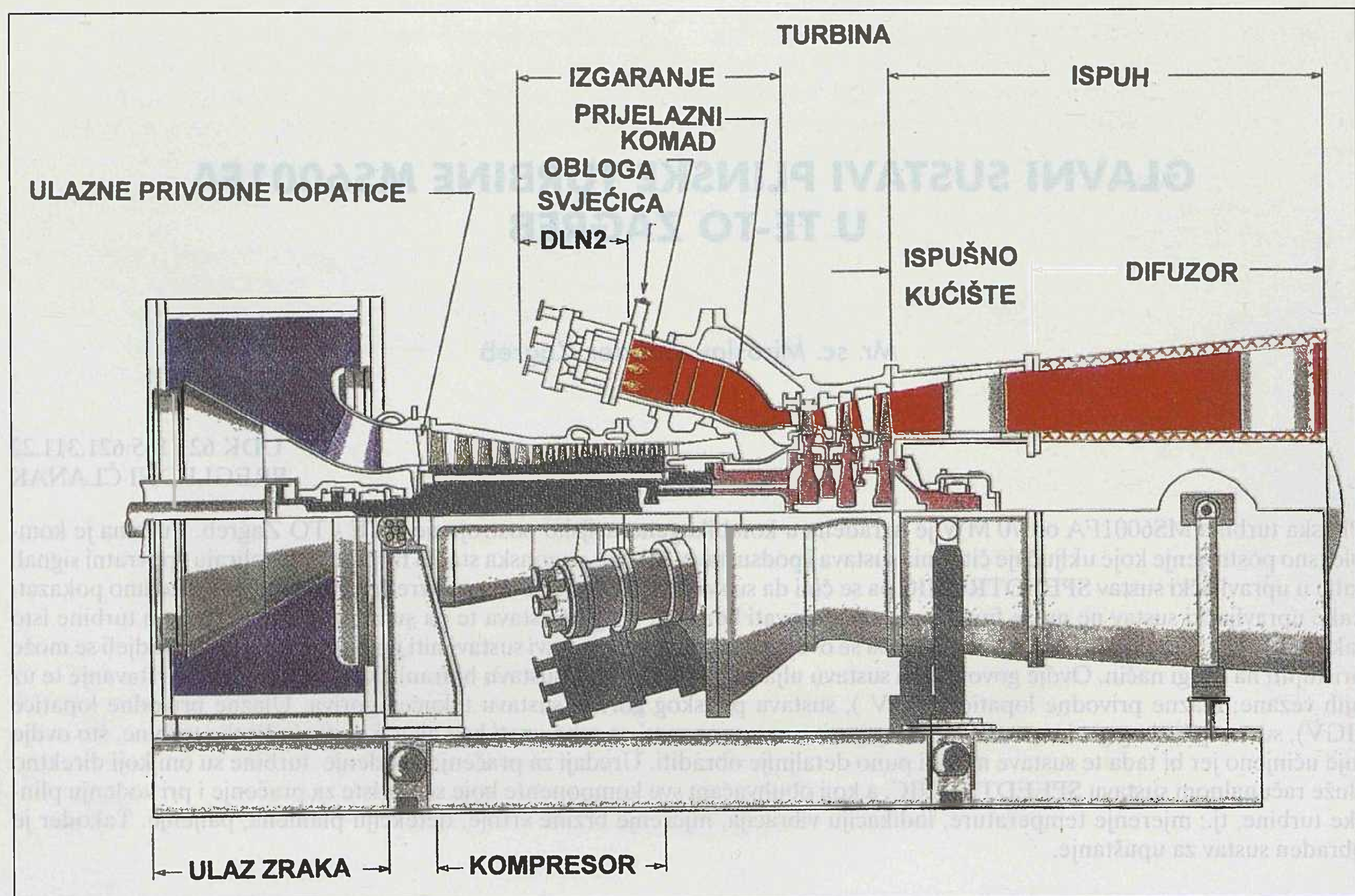
Plinska turbina MS6001FA s visokim stupnjem djelovanja za teške pogonske uvjete je razvijena po zakonitostima aerodinamičke sličnosti iz MS7001FA i MS9001FA plinskih turbina u poduzeću GE. U konstrukciji ona koristi najnoviju tehnologiju turbina za zrakoplove s temperaturama izgaranja od 1283 °C a može se primijeniti za tržišta s mrežom od 50 Hz i 60 Hz, budući da pogoni generator preko reduktora na kompresorskom završetku. Ona proizvodi snagu od 70 MW u otvorenom procesu uz stupanj djelovanja veći od 34 %. Turbina se gradi sa svim dodatnim uređajima da bi se omogućila brza i troškovno učinkovita montaža, a ujedno omogućuje jednostavna rješenja pri dogradnji u kombinirana postrojenja i IGCC (Integrirani sustav kombi postrojenja s rasplinjavanjem ugljena).

Konfiguracija plinske turbine 6FA uključuje kompresor s 18 stupnjeva, šest komora izgaranja te tri stupnja turbine (sl. 1). Osovina je oslonjena u dva ležaja kao i kod 7FA, 9FA, 5P i 6B GE tipova plinskih turbina. Ovaj koncept konstrukcije zajednički navedenim turbinama je napravljen da bi se poboljšalo održavanje turbine. Pet kućišnih dijelova formira strukturnu ljusku; ulazno kućište, kompresorsko kućište, kompresorsko izlazno kućište, turbinska ljuska i ispušna kon-

strukcija. Kompresorski rotor koristi NiCrMoV i CrMoV legure pri konstrukciji rotora, slično kao i na 7FA. Kompresorski oduzimni zrak, koji ne treba vanjske hladnjake, osigurava rashladni zrak za lopatice prva dva turbinska stupnja i za turbinska sapništa sva tri stupnja.

Sustav izgaranja se sastoji iz šest komora izgaranja koje su slične konstrukcijski i s 9FA te mogu koristiti zajedničke komponente (sapnice, vrtložnike, kape i poklopce). Značajka sustava izgaranja je u tome da su lopatice sapnica prvog stupnja cjelobrojni višekratnik s brojem gorionika. Time se osigurava ponovljiva toplinska razdioba od komore do komore koja se nastavlja prema sapnicama prvog stupnja. Turbinski rotor je po aerodinamičkoj sličnosti razvijen iz 7FA. Turbinska kola, odstojnici i stražnja osovina su izrađeni od legure INCO 706 s vijčanim spojevima INCO 718, slično kao i 7FA. Poput kompresora, turbinski rotor također ima ispjeskarene prirubničke površine za pojačani prijenos momenta (1).

Reduktor 6FA između turbine i generatora je razvijen u Njemačkoj sa proizvođačem reduktorskih prijenosa svjetske reputacije Renk AG. Konstrukcijski je reduktor riješen sa zupčanicima koji su horizontalni i suprotno djeluju, a prenose snagu od 90 MW. Izlazna snaga iz 6FA plinske turbine ide preko elastičnih spojki na pogonski zupčanik veće brzine vrtnje. Pogonjeni zupčanik niže brzine vrtnje pogoni generator s krutom



Slika 1. Presjek plinske turbine

spojkom vezanom na osovinu generatora pri čemu je brzina vrtnje generatora 3000 okretaja po minuti. Reduktor 6FA isporučuje se s dvostrukim kosim ozubljenjem. Osovine reduktorskih zupčanika visoke i niske brzine vrtnje su postavljene u rukavce presvučene bijelom kovinom. U ležajno kućište su integralno ugrađeni prolazi za termoparove i osjetnike vibracija. U reduktoru je konstrukcijski dograđen stroj za okretanje osovine u svrhu upuštanja turbine te za sporo okretanje prilikom prekida pogona.

Generator koji se ugrađuje s 6FA turbinom je GE model 7A6C. Generator 7A6C je paketne izvedbe, montiran je na postolje. On se može prilagoditi za motorni start ili opcijama statičkog starta te se može primijeniti na frekvenciju 50 Hz ili 60 Hz. Primjena turbine 6FA se očekuje u rasponu srednjih i temeljnih opterećenja pri čemu su plinske turbine dio kombiniranih i kogeneracijskih postrojenja. Uzevši ove zahtjeve u obzir plinska turbina 6FA kao i 7FA je projektirana za primjenu u kombi procesima sa sljedećim karakteristikama:

- Turbina prigoni na hladnom kraju što dozvoljava da se ispuh usmjerava aksijalno u kotao na ispušne plinove.
- Pomoćni paketi postrojenja su montirani u tvornici na odvojena postolja zbog lakše montaže i održavanja.
- Turbinska oplata izvan postolja osigurava više prostora za održavanje i bolju kontrolu buke.

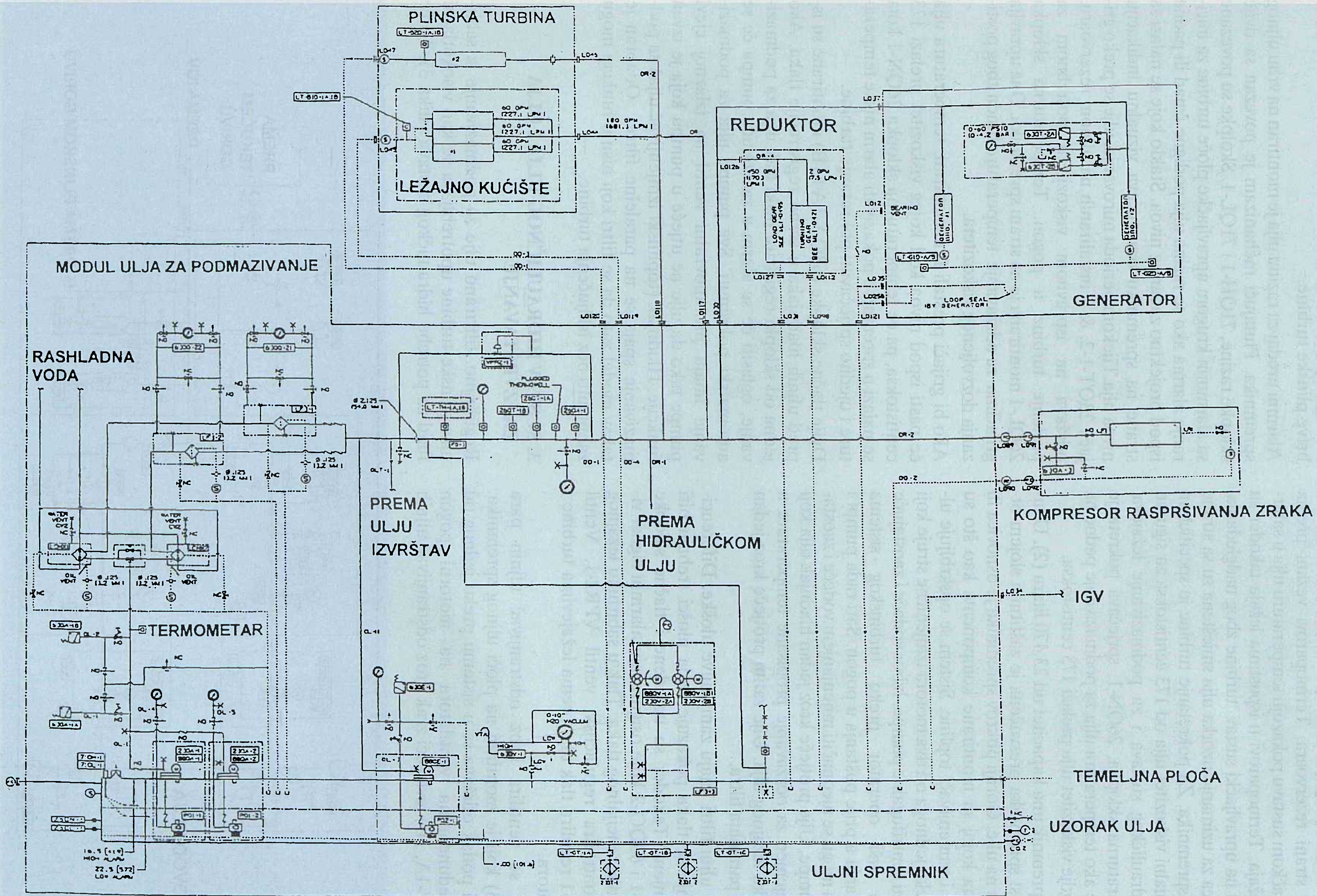
Zrak ulazi u jedinicu kroz standardni jednostupanjski filter s više elemenata lociran iznad generatora, a svrha mu je zaštititi plinsku turbinu od zaprljanja. Ispušni plinovi iz plinske turbine idu kroz aksijalni ispušni difuzor, prolaze kroz prigušivače buke, potom ulaze u kotao na ispušne plinove ili idu kroz dimnjak.

Kao što je rečeno, izlazna snaga osovine se prenosi preko elastične spojke priključene na hladnom kraju te preko pogonskog zupčanika više brzine vrtnje u reduktoru. Pogonjeni zupčanik niže brzine vrtnje pogoni generator preko krute spojke. Stroj za okretanje i za odvajanje pri upuštanju je priključen na slijepom kraju pogonskog zupčanika.

## 2. SUSTAV ULJA ZA PODMAZIVANJE

Glavne komponente uključuju (slika 2):

1. Spremnik ulja za podmazivanje kao osnovno postolje pomoćnog modula.
2. Dvije centrifugalne pumpe (PQ-1 i PQ 1-2), koje pokreću električni motori izmjenične struje (88QA-1 i 88QA -2).
3. Havarijska uljna pumpa (PQ2-1) s motorom istosmjerne struje (88QE-1).
4. Sklop dvostrukog uljnog izmjenjivača topline.
5. Dva paralelna uljna filtra (LF3-1 i LF3-2).
6. Regulator tlaka sabirnika ležajeva ( VPR 2-1).
7. Odstranjivač uljnih para (LF3-3) s redundantnim motornim ventilatorom (88QV-1A i 88QV-1VB).



Slika 2. Sustav ulja za podmazivanje

Temperatura uljnog spremnika pokazuje se na termometru na strani rezervoara. Termoparovi vezani prema upravljačkom sustavu pokazuju temperaturu ulja u sabirniku ležaja. Termoparovi u ispuštima ležaja također su spojeni na upravljački sustav turbine zbog nadgledanja. Vrtašca za uzimanje uzorka ulja smještena su sa strane uljnog spremnika. Za pokretanje turbine je specificiran maksimalni viskozitet ulja od 173 centistoksa za siguran rad hidrauličkog sustava i za podmazivanje ležajeva. Temperaturna sklopka, 26QN-1, sprječava pokretanje turbine ako temperatura ulja za podmazivanje padne na točku gdje viskozitet ulja prelazi 173 centistoksa.

Uljni spremnik ima kapacitet od 23.470 litara (2). Unutrašnjost spremnika presvučena je zaštitnim slojem otpornim na ulje. Gornji pokrov spremnika je osnovica ili ploča na kojoj su montirane komponente kao što su pumpe i izmjenjivači topline. Sistem se opskrbljuje uljem preko jednoga od dva motora izmjenične struje koji pokreću centrifugalne pumpe. Izbor vodeće i zaostajuće pumpe vrši operator preko turbinskog sistema upravljanja a prije puštanja u pogon. Sati rada pumpi i motora mogu se ujednačiti mijenjanjem vodeće i zaostajuće pumpe. Ulje protječe kroz jedan hladnjak ulja koji je namjenjen za održavanje propisane temperature u sabirniku ležajnog ulja. Ulje zatim protječe kroz jedan od dva paralelna filtra.

Dvojni uljni filtri imaju zamjenjive uloške. Diferencijalni mjerac tlaka pokazuje kada ulošci trebaju biti zamijenjeni. Također su ugrađene i tlačne sklopke 63QQ-1 i 63QQ-2 koje osiguravaju alarmni signal visokog diferencijalnog tlaka. Tlak u sabirniku ležajnog ulja kontrolira regulacijski ventil VPR2-1. Ventil VPR2-1 regulira tlak ulja prema ležajevima turbine i generatora.

Sistem se ventilira kroz odstranjivač uljnih para (LF3-3) koji je montiran na ploči uljnog spremnika. Lagani potlak održava se u sistemu preko jednog od dva redundantna ventilatora na motorni pogon (88QV-1A, 1B) izvlačeći zrak kroz odstranjivač uljnih

para. Ovaj potlak povlači brtveni zrak kroz ležajne brtve plinske turbine.

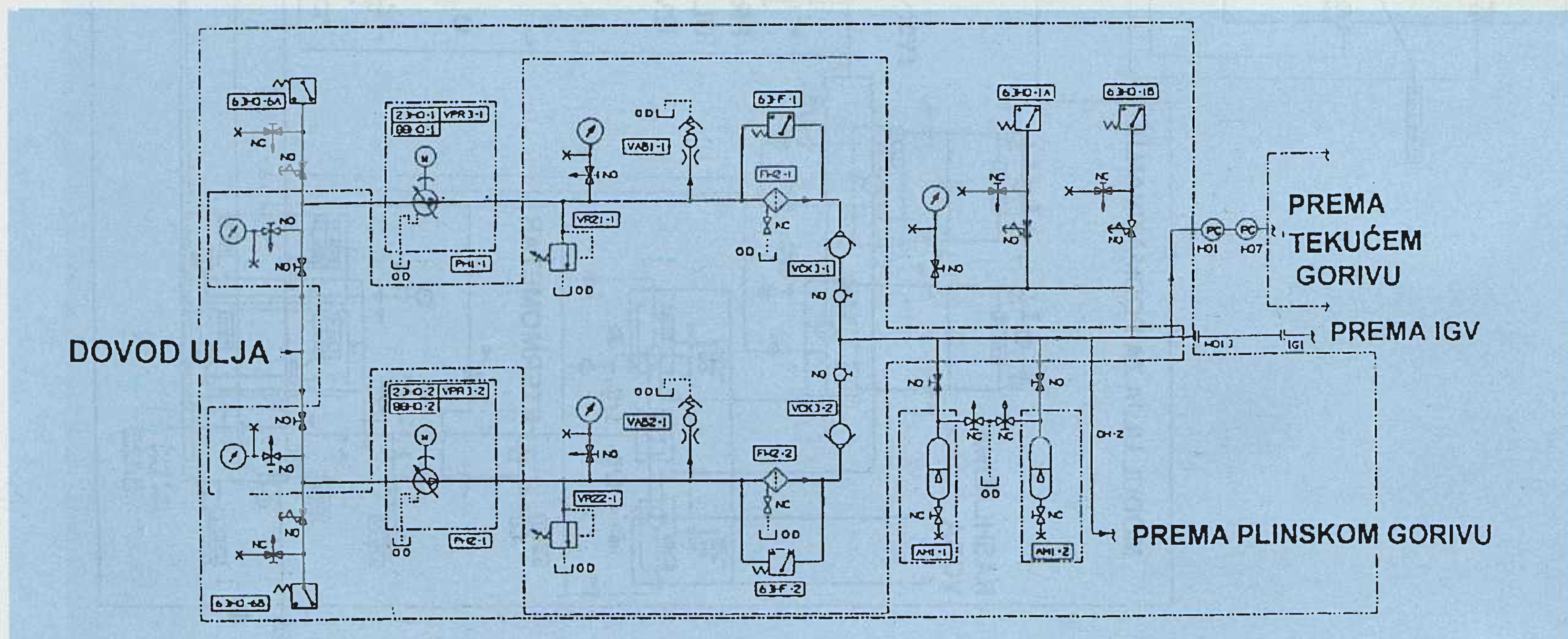
Alarmni uređaj za razinu ulja je montiran na vrhu uljnog spremnika. Plutajući mehanizam je povezan sa dvije sklopke razine, 71QH-1 i 71QL-1. Sklopke su povezane sa alarmnim krugom upravljačke ploče turbine za iniciranje alarma ako se razina ulja podigne iznad ili padne ispod projektno zadanog nivoa. Staklo koje se nalazi sa strane na spremniku omogućava vizualnu indikaciju nivoa ulja. Tijekom perioda mirovanja, ulje se preko grijača 23QT-1-2, & 3 instaliranih na uljnom rezervoaru, održava na ispravnom viskozitetu potrebnom za puštanje turbine u pogon. Temperaturna sklopka 26QL-1 montirana je na strani spremnika. Ona upravlja grijačima za održavanje temperature fluida zbog postizanja dozvoljenog viskoziteta.

Ako bi grijači prestali funkcionirati, temperatura ulja će pasti ispod nivoa kod kojeg viskozitet prelazi 173 centistoksa, pa će temperaturna sklopka 26QN-1 koja se nalazi u spremniku pokazivati alarm niske temperature i ujedno sprječavati pokretanje turbine.

Dvije tlačne sklopke (63QA-1A i 1B) montirane su ispred uljnih hladnjaka u svrhu registracije tlaka. Ako jedna od sklopki registrira niski tlak ulja za podmazivanje, oglasiti će se alarm a zaostajuća pumpa će se automatski pokrenuti. Sve pumpe ulja za podmazivanje imaju protupovratni ventil na izlaznoj cjevi pumpe tako da ulje ne utječe u pumpu koja je izvan funkcije. Hladnjak (toplinski izmjenjivač ulja) za podmazivanje spaja se na paralelne filtre. Odabran je takav model zato da se filtri koji nisu u funkciji mogu zamijeniti bez isključenja turbine.

### 3. SUSTAV HIDRAULIČNOG ULJA I ULJA ZA IZVRŠTAVANJE

Regulirano, filtrirano ulje za podmazivanje iz sabirnika plinske turbine upotrebljava se kao visokotlačni fluid za potrebe hidrauličkog sustava (slika 3). To će



Slika 3. Sustav hidrauličkog ulja

ulje ići dvjema paralelnim stazama zavisno o tome koja je pumpa vodeća, a koja zaostajuća. Obje staze sadrže iste komponente. Prva komponenta na koju dolazi ulje je ulazna tlačna sklopka (63HQ-6A ili 63HQ-6B). Ove sklopke će signalizirati znak upozorenja ako padne tlak na ulazu u pumpu pa će se time spriječiti kavitacija pumpe (3).

Ulje se zatim pumpa na hidraulički opskrbni razdjelnik pomoću dvije tlačno kompenzirane pumpe promjenjivog volumena (PH1-1 i PH2-1). Svaka pumpa se pogoni vlastitim motorom izmjenične struje. Operater turbine kontrolira redoslijed pumpi i određuje koja vodi, a koja zaostaje. Određivanjem pumpe koja vodi i pumpe koja zaostaje balansira se rad pumpi i motora. Dio sklopa pumpe/motora je i grijač (23HQ-1 ili 23HQ-2) koji radi dok motori ne rade kako bi se spriječila kondenzacija i smrzavanje.

Hidraulično ulje se pumpa kroz jednu od dvije strujne staze u hidraulički dobavni razdjelnik, ovisno o tome koja je pumpa u pogonu. Razdjelnik je konstruiran tako da se na njega mogu montirati i međusobno povezivati (određeni) broj manjih komponenti. U sklopu razdjelnika su smješteni sigurnosni ventili, odzračni ventili, nepovratne zaklopke, filtri i sklopke diferencijalnog tlaka. Sigurnosni ventili (VR21-1 i VR22-1) štite hidrauličke pumpe od oštećenja u slučaju zakazivanja pumpe ili tlačnog kompenzatora. Odzračni ventili (VAB1-1 i VAB2-1) odzračuju (odvode) zrak koji bi se mogao naći u tlačnim cjevovodima pumpe.

Poslije prolaza kroz razdjelnik, a u sklopu razdjelnika su smješteni sigurnosni ventili, odzračni ventili, nepovratne zaklopke, filtri i sklopke diferencijalnog tlaka, visokotlačni fluid (ulje) ide na sustav filtara (FH2-1 i FH2-2) te postaje visokotlačno regulacijsko ulje. Hidraulički sustav filtara sprječava onečišćenje regulacijskih uređaja. U slučaju pada tlaka na bilo kojem filtarskom sustavu, tj. kad tlak dosegne 4.14 bara, sklopke diferencijalnog tlaka (63HF-1 i 63HF-2) pokreću alarm.

Svaki krug pumpe iza svog filtra također sadrži nepovratni ventil (VCK3-1 ili VCK3-2) koji sprečava protok ulja iz pumpe u pogonu u pumpu koja nije u pogonu. Ti nepovratni ventili također drže hidrauličke linije ispunjenima kad je turbina obustavila rad. Na izlazu iz sklopa razvodnika, sustav također sadrži dva akumulatora (AH1-1 i AH1-2) da bi se održao tlak u sustavu za vrijeme prijelaznih stanja kao što je stanje djelovanja ventila. Oni su tako projektirani da mogu riješiti najgore slučajeve prijelaznih stanja a da se ipak mogu pravodobno puniti. Konačno, tu su i dvije tlačne sklopke (63HQ-1A i 63HQ-1B) koje mjere hidraulički tlak točno prije no što se on odašilje u hidrauličko-regulacijski sustav. Ako bilo koja od tih sklopki izmjeri nizak tlak, pokrenut će hidraulična pumpa što "zaostaje" i uključit će se alarm.

Sustav regulacije plinske turbine i sustav zaštite plinske turbine su nadzirani sustavom upravljanja

SPEEDTRONIC pomoću elektro-hidrauličkih uređaja. To je izvedeno tako da bi se osigurale potrebne sile za rad regulacijskih i zaštitnih uređaja koji su smješteni na plinskoj turbini i njoj pridruženim modulima.

Ova se oprema sastoji od raznih ventila za gorivo i ulaznih privodnih lopatica kompresora koje mijenjaju svoj položaj. Elektro-hidraulični uređaji se sastoje od servo-ventila koji djeluju tako da moduliraju izvršni element koji reagira na pogonske zahtjeve postrojenja i hidromehaničkih releja razvodnika i elektromagnetski pogonjenih ventila izvrštavanja koji rade tako da prekidaju djelovanje regulacijskih servo-ventila i izvrštavaju izvršni član u slučaju obustave rada. Druge komponente uključuju tlačne sklopke, hidraulične akumulatora, nepovratne ventile, mjerne prigušnice protoka, ručno pogonjeni ventil izvrštavanja i hidraulične cilindre koji pozicioniraju završne elemente.

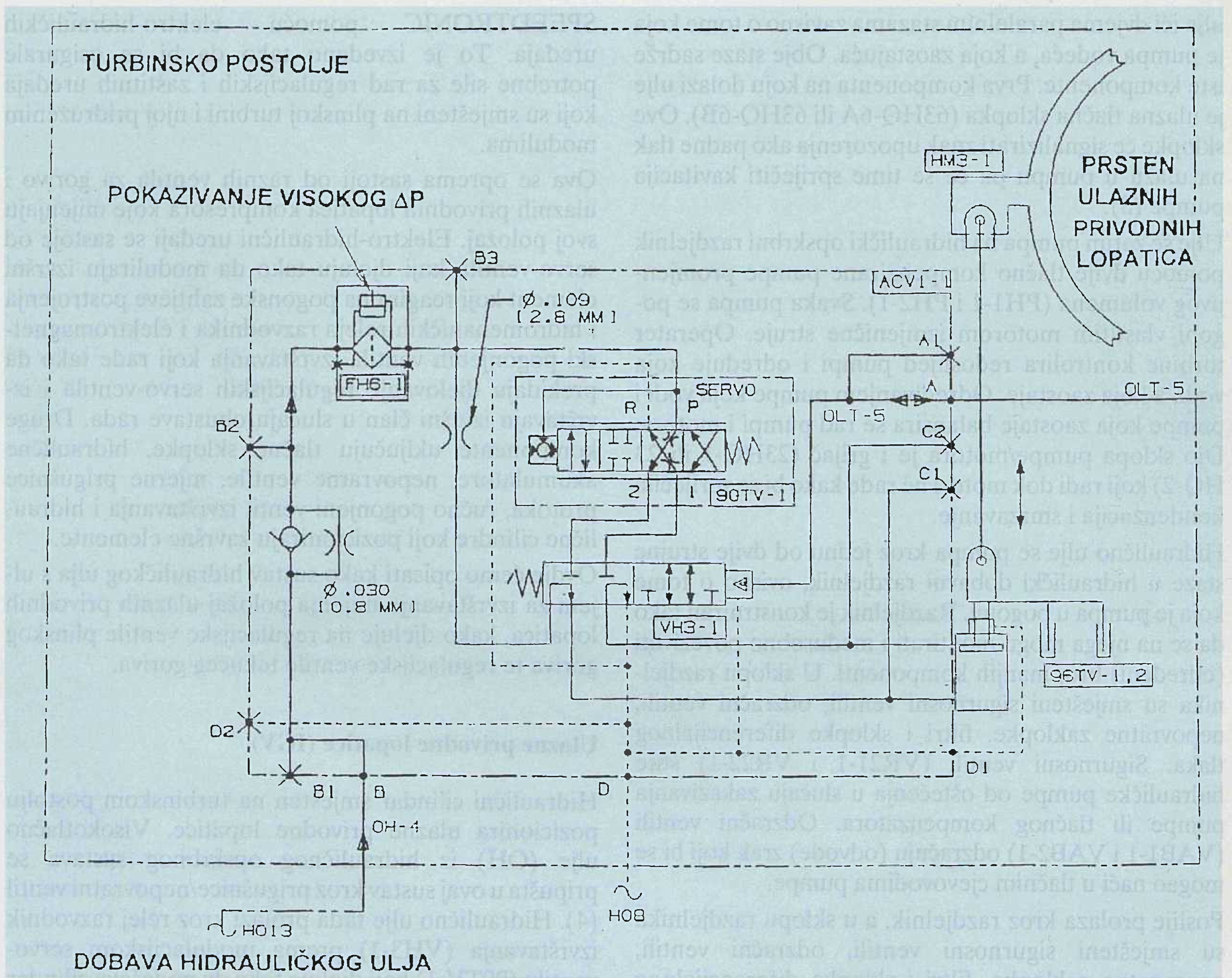
Ovdje ćemo opisati kako sustav hidrauličkog ulja s uljem za izvrštavanje mijenja položaj ulaznih privodnih lopatica, kako djeluje na regulacijske ventile plinskog goriva te regulacijske ventile tekućeg goriva.

### Ulazne privodne lopatice (IGV)

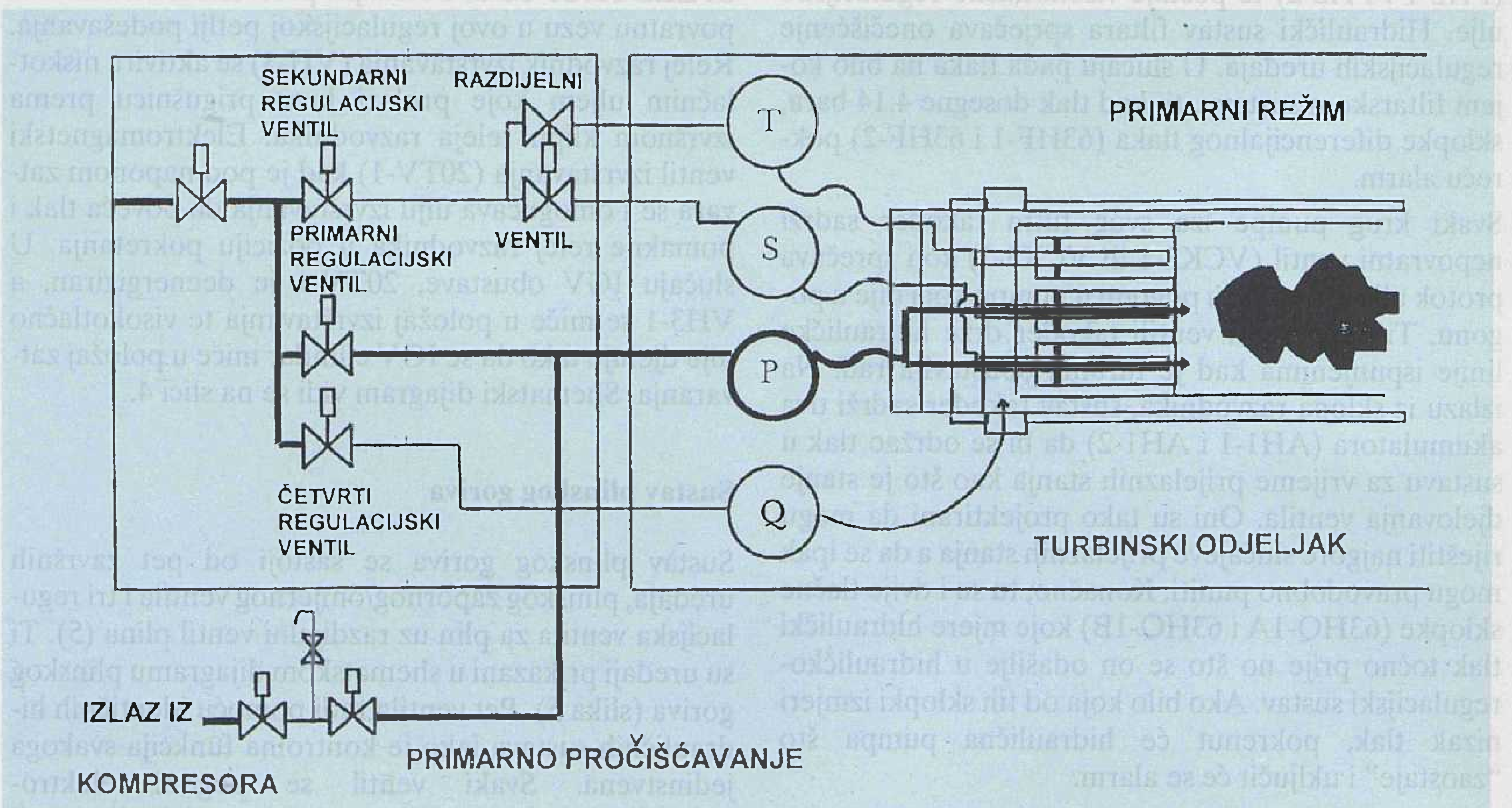
Hidraulični cilindar smješten na turbinskom postolju pozicionira ulazne privodne lopatice. Visokotlačno ulje (OH) iz hidrauličnog opskrbnog sustava se pripušta u ovaj sustav kroz prigušnice/nepovratni ventil (4). Hidraulično ulje tada prolazi kroz relej razvodnik izvrštavanja (VH3-1) prema modulacijskom servo-ventilu (90TV-1) koji djeluje tako da podešava cilindar kao odgovor na naredbu namještanja iz SPEEDTRONIC-a. Položajni pretvornici se brinu za povratnu vezu u ovoj regulacijskoj petlji podešavanja. Relej razvodnik izvrštavanja (VH-3) se aktivira niskotlačnim uljem koje prolazi kroz prigušnicu prema izvršnom klipule releja razvodnika. Elektromagnetski ventil izvrštavanja (20TV-1) kad je pod naponom zatvara se i omogućava ulju izvrštavanja da poveća tlak i pomakne relej razvodnika u poziciju pokretanja. U slučaju IGV obustave, 20TV-1 je deenergiziran, a VH3-1 se miče u položaj izvrštavanja te visokotlačno ulje djeluje tako da se IGV cilindar miče u položaj zatvaranja. Shematski dijagram vidi se na slici 4.

### Sustav plinskog goriva

Sustav plinskog goriva se sastoji od pet završnih uređaja, plinskog zapornog/omjernog ventila i tri regulacijska ventila za plin uz razdjelni ventil plina (5). Ti su uređaji prikazani u shematskom dijagramu plinskog goriva (slika 5). Pet ventila radi pomoću identičnih hidrauličnih sustava iako je kontrolna funkcija svakoga jedinstvena. Svaki ventil se pogoni elektro-hidrauličnim servo-ventilom tako da pozicionira ventil kao odziv na položajnu naredbu iz regulacijskog sus-



Slika 4. Ulazne privodne lopatice



Slika 5. Sustav plinskog goriva

tava SPEEDTRONIC-a (5). Svaki ventil ima pretvornike koji omogućavaju povratni signal. Visokotlačno ulje prolazi kroz filtre svakog od servo-ventila. Plinsko gorivo prolazi prvo kroz zaporno omjerni ventil ili glavni ventil, nakon čega se dijeli u tri grane prema tri regulacijska ventila plina; primarni, sekundarni i kvaterni (četvrti) regulacijski ventil plina. Iza sekundarnog regulacijskog ventila plina gorivo nailazi na razdjelni ventil plina koji dijeli sekundarni plin na sekundarni i tercijarni plin. Sustav suhog niskog NO<sub>x</sub> ili DLN2 se upravo sastoji u raspoređivanju razdiobe plina kroz ove četiri plinske linije pomoću tri regulacijska ventila plina i razdjelnog ventila plina te razdiobi u sapnice plina i konačno izgaranju u komorama izgaranja s ciljem postizanja što nižeg NO<sub>x</sub>.

#### Sustav tekućeg goriva

Sustav tekućeg goriva se sastoji od raznih zapornih i regulacijskih ventila. Ti su uređaji prikazani u shematskom dijagramu tekućeg goriva (slika 6).

Ventile pokreću identični hidraulični sustavi iako je regulacijska funkcija svakog jedinstvena. Svaki ventil radi pomoću elektro-hidrauličkog servo-ventila koji radi tako da pozicionira ventil kao odgovor na pozicijsku naredbu iz regulacijskog sustava SPEEDTRONIC-a (6). Svaki ventil ima pretvornike koji omogućavaju povratni signal. Visokotlačno ulje prolazi preko filtara na svaki servo-ventil.

#### 4. UREĐAJI ZA PRAĆENJE I VOĐENJE TURBINE

Uređaji za praćenje i vođenje turbine (oni služe pri upravljanju, ali ne upravljaju ili ne vode turbinu jer to čini računalni sustav koji se sastoji od računalnih jezgri) obuhvaćaju sve komponente koji se koriste za praćenje i pri vođenju plinske turbine. Uređaji su

smješteni u ulaznim i ispušnim prostorima i postavljeni na plinskoturbinsku jedinicu, s funkcijama koje uključuju (7):

- mjerenje temperature
- indikacija vibracija
- mjerenje brzine vrtnje
- detekciju plamena
- paljenje da bi došlo do izgaranja.

Na prednjoj stijenci ulaznog prostora postavljeni su termoparovi za mjerenja ulazne temperature kompresora (CT-IF-1A i B, 2A i B), koji na ulaz kompresora javljaju temperaturu okoline (sl. 7).

U ispušnom prostoru postavljeni su termoparovi za kontrolu i zaštitu turbinskog ispuha (TT-XD-1 do 21), a primarna im je funkcija mjerenje temperature turbinskog ispuha oko svih 360, a preko izračuna u računalu i na svih šest (6) gorionika. Odabrani slogovi od po sedam (7) termoparova koji se spajaju su na tri (3) jezgre <RST> na Speedtronicu, a da bi se monitoru izgaranja te funkcijama regulacije ispušne temperature, alarma i izvrštavanja osigurali ulazni podaci o temperaturi.

Indikacija vibracija ležaja - pomoću osjetnika brzine (seizmički tip):

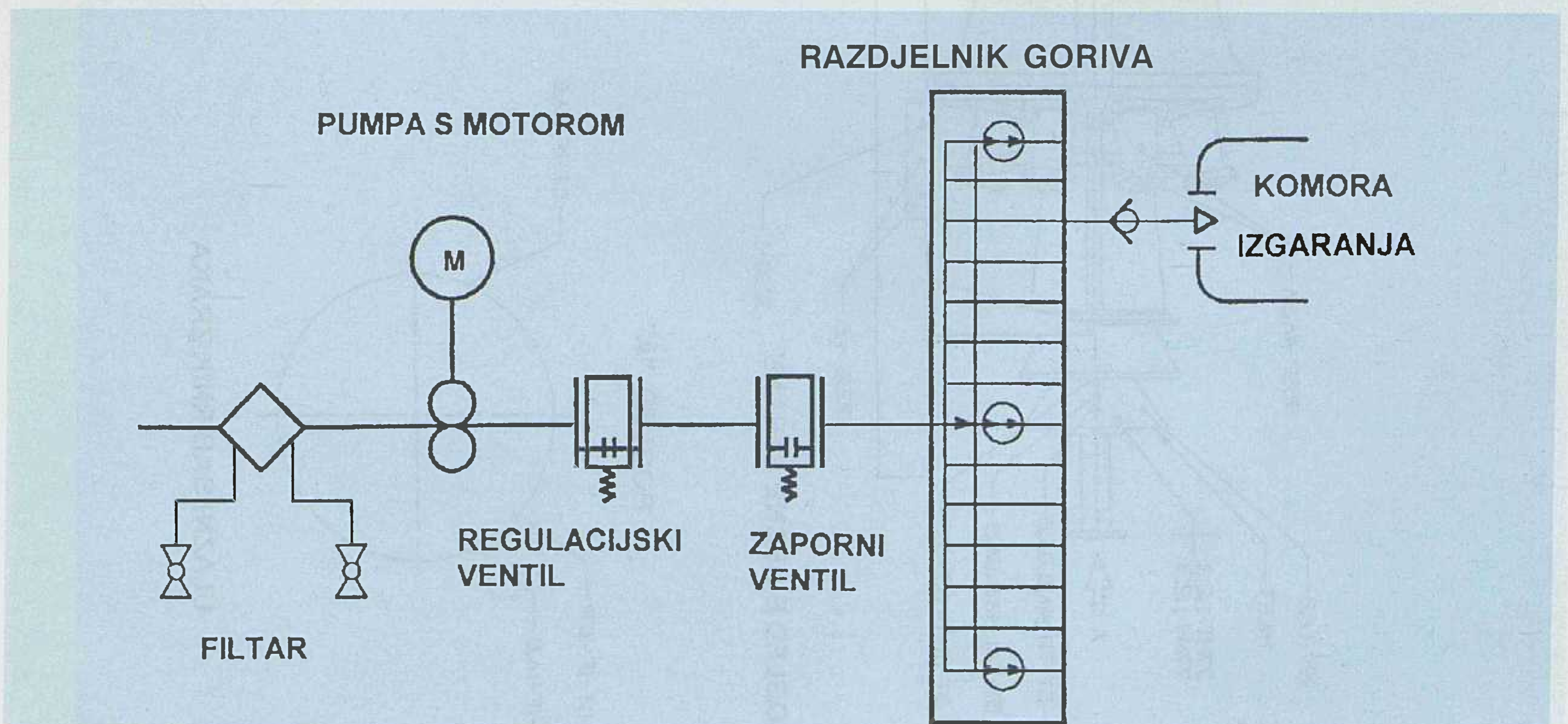
Kućište ležaja br. 1 - (39V-1A, 1B)

Kućište ležaja br. 2 - (39V-2A, 2B).

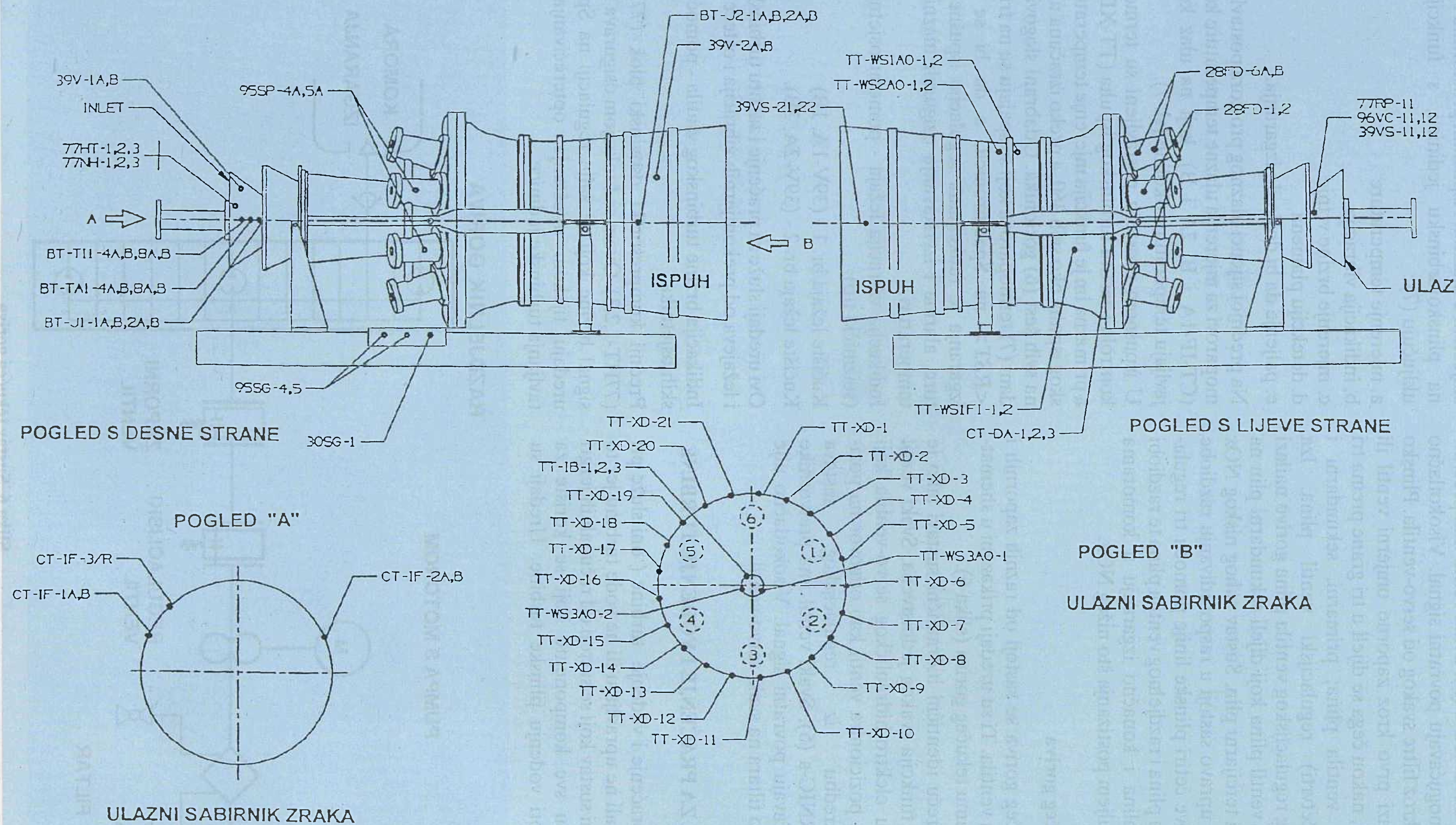
Ovi uređaji služe za praćenje i zaštitu turbinskog rotora i ležajeva od prekomjernih vibracija i oštećenja.

Indikacija brzine turbinskog vratila - pomoću magnet-skih osjetnika:

Prednji kompresorski osovinski blok (77NH-1,2,3) (77HT-1,2,3). Ovom se funkcijom osigurava referentni signal brzine koji se šalje regulaciji na Speedtronic uređaju tijekom upuštanja, opterećivanja i obustavljanja turbinske jedinice.



Slika 6. Sustav tekućeg goriva



Slika 7. Uredaji za praćenje i vođenje turbine



Indikacija temperature - pomoću preciznih termoparova:

Izlaz kompresora - (CT-DA-1,2 i 3). Funkcija je ovih termoparova da daju korigiranu referentnu temperaturu na izlazu kompresora za postavnu vrijednost kompresorskog izlaznog tlaka tijekom regulacije ulaznim privodnim lopaticama i tijekom regulacije brzinom vrtnje.

Pri turbinskom rotoru ili prostorima kola:

Prvi stupanj stražnji vanjski (TT-WS1AO-1,2), Prvi stupanj prednji unutarnji (TT-WS1FI-1,2), Drugi stupanj stražnji vanjski (TT-WS2AO-1,2), Treći stupanj stražnji vanjski (TT-WS3AO-1,2), Unutarnja turbinska oplata (TT-IB-1). Ova funkcija namijenjena je zaštiti dijelova turbine u vrućoj zoni, poput sapnica, rotorskih lopatica i kola od previsokih temperatura tijekom upuštanja, normalnog pogona i obustave.

Detekcija plamena - pomoću osjetnika s ultraljubičastim zračenjem: Detektori plamena (28FD-1, 2, 6A i 6B) u komorama izgaranja 1, 2 i 6. Funkcija detektora plamena je pokazivanje prisutnosti plamena u komorama izgaranja tijekom upuštanja i normalnog pogona turbine.

Paljenje u komorama izgaranja - pomoću sljedećih uređaja : Svjećica (95SP-4A, 5A) u komorama 4 i 5. Uzbuda paljenja (95SG-4 i 5) je postavljena na turbinsko postolje.

Funkcija ovih uređaja su paljenje u komorama i uspostavljanje izgaranja tijekom upuštanja turbine.

### Posebne opcije

#### *Praćenje vibracija ležaja*

Korištenje bezkontaktnih osjetnika: Kućište ležaja br. 1 - (39VS-11, 12) (radijalni) i (96VC-11, 12) (aksijalni); (77RP-11) (ključni fazor), Kućište ležaja br. 2 - (39VS-21, 22) (radijalni).

#### *Termoparovi kovine ležaja*

Radikalni (klizni) i aksijalni (odrivni) ležajevi turbinske jedinice opremljeni su termoparovima za bijelu kovinu ležaja koji imaju funkciju praćenja "stvarne" temperature ležaja u radu i emitiraju alarm ako je temperatura kovine previsoka. Ova je funkcija predviđena da zaštiti turbinske ležajeve i površinu rotorskog rukavca od pregrijavanja i otkaza. Termoparovi su postavljeni na sljedeća mjesta: Glavni radikalni ležaj br. 1 - (BT-J1-1A, 1B, 2A, 2B), Glavni radikalni ležaj br. 2 - (BT-J2-1A, 1B, 2A, 2B), Aksijalni ležaj - aktivna površina - (BT-TA1-4A, B, 8A, B), Aksijalni ležaj - neaktivna površina - (BT-TI1-4A, B, 8A, B)

#### *Uređaj za praćenje radnih karakteristika turbine*

Zona ljevkastog kućišta kompresorskog ulaza ima postavljene sonde ukupnog tlaka i otpornički davač temperature (RTD) postavljene za praćenje radnih karakteristika kompresora u radu turbinske jedinice. Vrijednosti ulaznog kompresorskog tlaka i tempera-

ture moraju se mjeriti kako bi se ispunila funkcija praćenja radnih karakteristika turbine. Sustav obuhvaća sljedeću opremu:

- a. Ulazni prostor RTD (CT-IF-3/R)
- b. Sonde ukupnog i statičkog tlaka
- c. Razdjelnik monitora za praćenje radnih karakteristika s armaturama i hvatačima kondenzata
- d. Davače tlaka koji mjere:
  - ukupni tlak ulaznog zraka (96CS-1)
  - diferencijalni tlak ljevkastog kućišta (96BD-1)
  - barometarski tlak (96AP-1A, 1B, 1C)
  - izlazni kompresorski tlak (96CD-1, 1B, 1C)
  - ispušni tlak (96EP-1).

Navedeni davači tlaka postavljeni su na razdjelnik monitora radnih karakteristika koji je smješten izvan turbinskog postolja u neposrednoj blizini turbinskog odjeljka i ispušnih prostora. Osjetni vodovi tlaka idu od prostora do davačkih priključaka razdjelnika monitora.

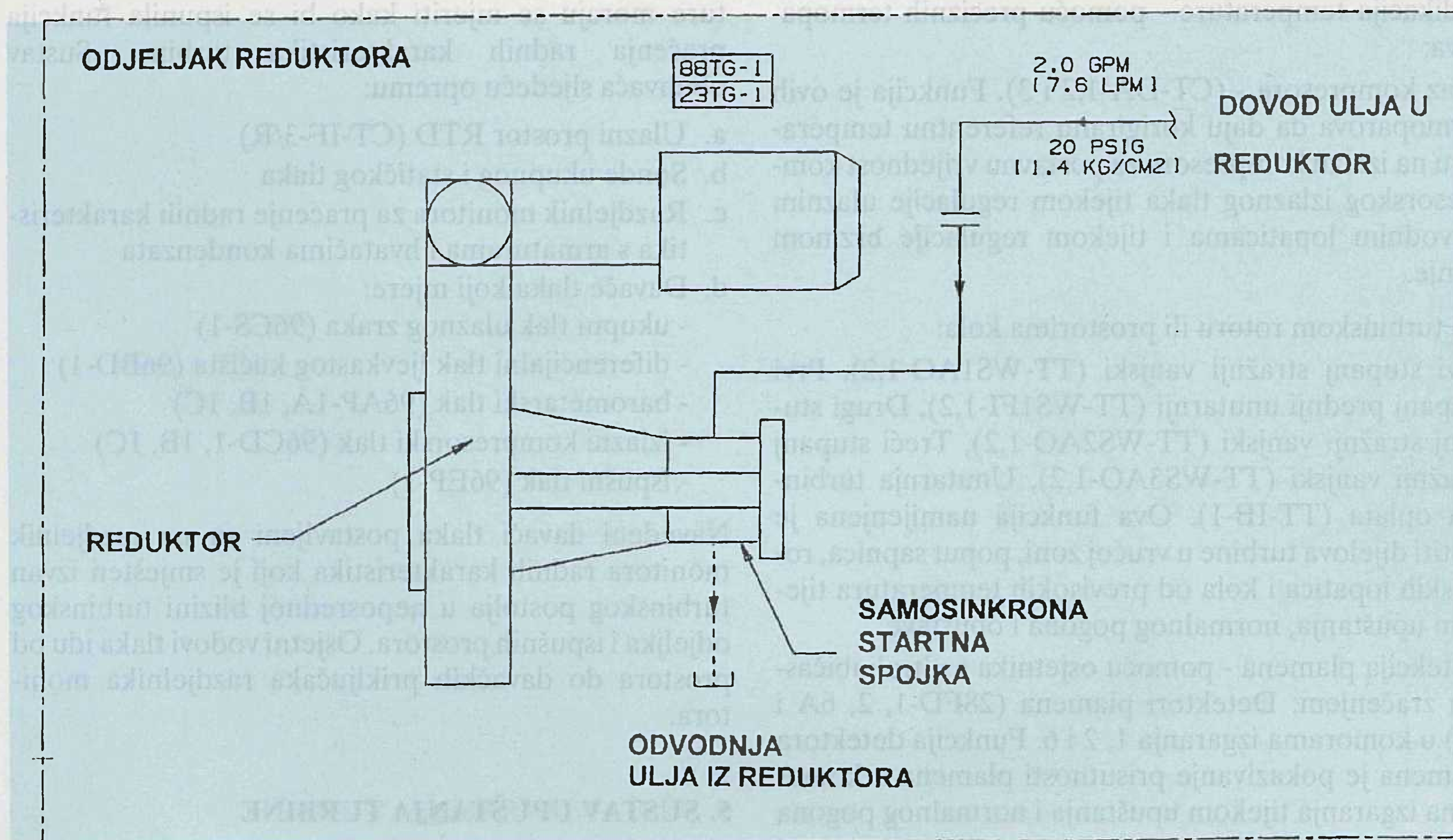
## 5. SUSTAV UPUŠTANJA TURBINE

Sustav upuštanja se sastoji od invertora komutirajućeg opterećenja ( LCI ) koji je prigon s prilagodljivom brzinom vrtnje a koristi se pri regulaciji brzine vrtnje sinhronih motora od nule do nazivne brzine vrtnje (8). Prigon se sastoji od statičke konverzije energije i mikroprocesorskih regulacijskih uređaja. LCI je funkcijski regenerativni inverter, reguliran strujom, hladen tekućinom. On koristi nepovratne mostove istosmjernje struje s tiristorskom regulacijom u ulaznim i izlaznim konverterima snage. Zadatak LCI je da omogući okretati tj. podizati brzinu vrtnje turbine / generatora pri čemu generator postaje motor koji vrti turbinu sve dok se ne postigne 90% od nazivne brzine vrtnje.

Stroj za okretanje osigurava potrebnu snagu za rotaciju i odvajanje turbine prije nego što je pustimo u pogon, tj. prije nego će LCI stupiti u igru, a ujedno osigurava nastavak okretanja rotora, nakon prestanka rada turbine, čime se sprječava deformacija rotora.

Stroj za okretanje sastoji se od asinhronog elektromotora, reduktora i spojke koja se odvaja povećanjem broja okretaja, a pokreće osovinu kroz slijepi kraj malog zupčanika reduktora (sl. 8). Stroj za okretanje polako okreće turbinu približno 7 okr/m (9). Spojka je samo-aktivirajuća bilo za vrijeme postupka pri odvajanju turbine ili za vrijeme postupka osiguranja nastavka rada rotora te se otpušta uvijek kada rotor turbine / generatora premašuje pogonsku brzinu "stroja za okretanje", tj. brzinu od 7 okr/m.

Sustav uzbude generatora pogonjenog plinskom turbinom obavlja dvije različite funkcije na ovoj turbini. Od brzine vrtnje stroja za okretanje do 90 % brzine vrtnje, uzbuda osigurava promjenjivu uzbudu generatorskom rotoru. Za vrijeme tog perioda ( LCI ) Inverter komutiranog opterećenja opskrbljuje izmjeničnom strujom



Slika 8. Stroj za okretanje turbine s reduktorom

(AC) stezaljke generatora da bi generator djelovao kao sinhroni motor te da bi doveo turbinu na sinhronu brzinu vrtnje. Kad rotirajuća oprema postigne 95 % brzine vrtnje, uzbudnik osigurava uzbudu da bi se regulirao izmjenični napon na stezaljkama generatora.

Pri upuštanju od brzine vrtnje stroja za okretanje do 90 % brzine vrtnje generator se vozi kao motor da bi pokretao turbinu i kompresor. LCI Invertor komutiranog opterećenja upravlja za to vrijeme generatorom tako da koristi promjenjivu izmjeničnu frekvenciju i napon na stezaljkama generatora. U trenutku kad je brzina vrtnje postigla 60 % turbina je samoodrživa pa LCI manje doprinosi. Pri upuštanju uzbudnik šalje izlaznu struju prema generatorskom polju da bi u startu podržavao generator kao motor. Postignućem oko 90 % brzine vrtnje LCI i EX2000 obustavljaju, a turbina regulira brzinu vrtnje.

Pri 95 %-tnoj brzini vrtnje starta EX2000 ( digitalni sustav uzbude ) te radi na regulaciji napona izmjenične struje generatora tako da kontrolira veličinu uzbudnog polja (10). Tiristorski (SCR) Moduli konverzije energije ( PCM = Power Conversion Modules ) se koriste za ispravljanje izmjenične u istosmjernu električnu energiju. Istosmjerna struja se dobavlja rotoru, tj. generatorskom polju.

## 6. ZAKLJUČNO O GLAVNIM SUSTAVIMA TURBINE

Upravljački sustav SPEEDTRONIC Mark V sadrži veći broj upravljačkih, regulacijskih, zaštitnih i sustava koji su projektirani za pouzdan i siguran pogon plinske turbine.

Upravljanje plinskom turbinom obuhvaća upuštanje (start), ubrzanje, brzinu vrtnje, temperaturu, obustavu i funkcije ručnog upravljanja. Senzori nadziru brzinu vrtnje turbine, izlaznu temperaturu, tlak na izlazu iz kompresora i druge parametre koji određuju pogonsko stanje turbine. Kada je nužna promjena pogonskog stanja turbine zbog promjene opterećenja ili okolišnih uvjeta, regulacija mijenja protok goriva u turbinu. Na primjer, ako izlazna temperatura teži prekoračenju dopuštene vrijednosti za dano pogonsko stanje, sustav upravljanja temperaturom smanjuje količinu goriva koja se dobavlja turbini i time ograničava izlaznu temperaturu.

Pogonska stanja turbine se kontroliraju i kao povratni signali šalju u upravljački sustav SPEEDTRONIC. Postoje tri glavna upravljanja turbinom - upuštanje, brzina i temperatura - koje mogu biti u funkciji za vrijeme pogona turbine. Izlaz ovih upravljačkih petlji je spojen na logički sklop minimalne vrijednosti. Sekundarna upravljanja su ubrzanje te ručno vođenje. Otvorenost ventila za dovod goriva FSR (Fuel Stroke Reference) je upravljački signal za količinu protoka goriva. Selektivna logička vrata minimalne vrijednosti spajaju izlazne signale šest načina upravljanja s FSR; najniža izlazna vrijednost FSR izlaznog signala iz šest upravljačkih petlji može proći kroz logički sklop prema sustavu upravljanja gorivom kao upravljački FSR. Upravljački FSR će uspostaviti ulaznu količinu goriva u turbinu prema iznosu koji zahtijeva režim koji trenutno upravlja (upuštanje, brzina, temperatura, ubrzanje te ručno vođenje). Samo jedno od upravljanja (ili načina upravljanja turbinom) će voditi turbinu u

određenom trenutku, a upravljanje, tj. režim upravljanja koji u tom trenutku postaje regulacijska petlja, ili mod koji upravlja sa FSR bit će prikazan na zaslonu.

Regulacija upuštanja sigurno dovodi turbinu od brzine vrtnje nula do radne brzine osiguravajući točno količinu goriva koja je potrebna za uspostavu plamena i ubrzanje turbine na takav način da se smanji zamor dijelova na stazi vrućih plinova za vrijeme te faze. To obuhvaća ispravno određivanje slijeda signala naredbi pomoćnim uređajima, uređaju za start i sustavu regulacije goriva. Budući da sigurno i uspješno upuštanje ovisi o ispravnom funkcioniranju opreme plinske turbine, važno je verificirati stanje izabranih uređaja u sekvenci. Više regulacijskih logičkih krugova ne samo da je pridruženo upravljačkim uređajima sustava regulacije nego omogućuje zaštitnim krugovima da se postignu dopuštena stanja prije početka procesa.

## LITERATURA

- [1] J. RAMACHANDRAN i M. C. CONWAY, "MS6001FA - Novija tehnologija 70 MW plinskih turbina klase 50 Hz / 60 Hz - GER - 3765B", GE POWER SYSTEMS, NY 1995.
- [2] LS 4040 " Lubrication system " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [3] HS 4040 " Hydraulic Supply system " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [4] GEK 106910 " Variable Inlet Guide Vane system " Gas turbine, General Electric Company, April 1998.
- [5] GEK 106853 " Fuel Gas Control System " Gas turbine, General Electric Company, March, 1998.
- [6] LF 4040 " Liquid Fuel System " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [7] B00458 " Turbine Control Devices " Gas turbine, General Electric Company, March, 1999.
- [8] GEH-6373 " Load Commutated Inverter " Users Manual, General Electric Company, March, 1998.
- [9] SS 4040 " Starting System " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [10] GEH-6120 " EX200 Digital Exciter "Users Manual, General Electric Company, November, 1994.
- [11] A00023 rev.A " Fundamentals of Speedtronic Mark V control system ", General Electric Company, 16. 08. 1994.

## MAIN GAS TURBINE SYSTEMS IN THPP ZAGREB

Gas turbine MS6001FA of 70 MW was built in a combined generation plant THPP Zagreb. The turbine is a complex plant including a whole range of systems and subsystems. Although the turbine's operation state is controlled and back signals are sent to the SPEEDTRONIC management system so that all other systems seem to be of secondary importance, the intention here is to show that a management system cannot operate without those other systems

as regards the turbine's proper operation. Of course, all systems and subsystems cannot be mentioned here and the division itself can't be done in any other way. This time it is about the lubrication oil system, hydraulic and trip oil systems and the related input generation valves, gas fuel and liquid fuel systems. They can be taken as the main gas turbine systems, which has not been done here because in that case the evaluation should be more detailed. The equipment for control and turbine management directly serves the SPEEDTRONIC computer system and contains all components for the control and management of gas turbines, i.e. temperature measurement, vibration indication, rotating speed measurement, fire detection, switching. The launching system is also elaborated.

## HAUPTKONSTRUKTIONSSÄTZE DER GASTURBINE MS6001FA IM WÄRMEKRAFTWERK ZAGREB

Die 70 MW Gasturbine MS6001FA ist ein Bestandteil der Kombi-Erzeugungsanlage im Wärmekraftwerk (TE-TO) ZAGREB. Die Turbine ist eine aus vielen Konstruktionshauptsätzen und kleineren Sätzen zusammengesetzte Anlage. Obwohl die Betriebszustände der Turbine kontrolliert sind, wobei rückwirkende Signale in den Steuerungssatz SPEEDTRONIC gesandt werden, und dabei andere Sätze als sekundär erscheinen, ist man hier bestrebt zu zeigen daß der Steuerungssatz ohne diese übrigen Sätze nicht seine Aufgabe erfüllen kann auch nicht wirkungsfähig ist, da sie für den eiwandfreien Betrieb der Turbine genau so wichtig sind wie der Steuersatz. Selbsverständlich können hier nicht alle Sätze mit den dazugehörigen kleineren Sätzen umfasst werden, da die Gliederung nicht anderswie durchzuführen ist. Hier ist die Rede vom Schmierölsatz, dem Hidraulikölsatz und dem Auskuppelungölsatz, und mit diesen Sätzen verbundenen Eintrittslaufschauffeln(IGV), weiters vom Gas- und Flüssigbrennstoffsatz. Eintrittslaufschauffeln (IGV), Gasbrennstoffzusammensetzung und Flüssigbrennstoffsatz können selbstständig als Gasturbinenhauptsätze genommen werden, was hier nicht der Fall ist, sonst müssten wir diese Sätze in wesentlichen Einzelheiten bearbeiten. Gemeint als Nachführungs- und Steuerungsanlagen sind jene die unmittelbar dem Rechnersystem SPEEDTRONIC dienen und alle Bestandteile für die Nachführung und Steuerung umfassen, d.h. Temperaturmessungen, Anzeige der Schwingungen, Drehgeschwindigkeitsmessungen, Flammen- und Zündungsnachweiss. Der Inbetriebnamesatz ist ebenfalls bearbeitet.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Miroslav Šander, dipl. ing.**  
**Elektroprojekt**  
**Alexandra von Humboldta 4**  
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
2001-06-11.