

# PARNA TURBINA U KOMBIKOGENERACIJSKOM POSTROJENJU TE-TO ZAGREB

Mr. sc. Miroslav Š a n d e r, Zagreb

UDK 621.165:621.311.22  
PREGLEDNI ČLANAK

Kondenzacijska turbina bez međupregrijanja proizvodnje ABB - Karlovac je ugrađena u kombikogeneracijsko postrojenje TE -TO Zagreb. Postrojenje se sastoji od dvije MS6001FA plinske turbine s generatorima te dva kotla na ispušne plinove, jedne parne turbine s jednim privodom pare. Para za parnu turbinu se proizvodi u kotlu na ispušne plinove korištenjem ispušne topline proizvedene u plinskoj turbini. Kombi - Kogeneracijsko postrojenje će generirati 200 MW električne energije te paru za mrežno grijanje i industrijsku paru. U daljnjem tekstu se daje tehnički opis parne turbine uz projektno - konstrukcijske karakteristike turbine. Također su opisani; ulje na parnoturbinskom postrojenju, uređaji za zaštitu turbine, brtvena para, odvodnjavanje i kondenzacija. Unutar opisa parnoturbinskog postrojenja nastojalo se je podastrijeti što više temeljnih tehničkih podataka. Posebna pažnja je posvećena upravljačkom sustavu cjelokupnog kombikogeneracijskog postrojenja DCS-u, da bi se u relaciji spram DCS-a naznačili zadaci Marka V - upravljačkog sustava plinske turbine, a potom Turboturna - upravljačkog sustava - parne turbine. Pogon i vođenje parne turbine preko DCS sustava i Turboturna obrađeno je kroz upuštanje, normalni pogon i u obustavi parne turbine.

**Ključne riječi:** TE-TO Zagreb, parna turbina, kombi-kogeneracijsko postrojenje.

## 1. KONSTRUKCIJA PARNE TURBINE

Parna turbina u TE -TO je akcijskog tipa, kondenzacijska (gledati sliku 1, iako ne pokazuje presjek turbine ona dovoljno ilustrira ideju konstrukcije turbine), bez međupregrijanja, ima 19 stupnjeva i dvostruko oduzimanje, a ima tri funkcije:

- okreće generator za proizvodnju električne energije.
- opskrbljuje parom za grijanje na prvom reguliranom oduzimanju za industrijske potrošače.
- opskrbljuje parom za grijanje na drugom reguliranom oduzimanju za mrežno grijanje.

Da bi se odvojio dovod pare od turbine postavljena su na turbinu dva brzozatvarajuća ventila (BZV) K3MAA11AA001 i K3MAA11AA002 čijim zatvaranjem se odvaja VT para iz kotla na ispušne plinove KIP-a od visokotlačnog (VT) dijela turbine. Para nakon BZV-a odlazi na sustav od četiri regulacijska ventila koji usmjeruju, odvajaju, reguliraju i upravljaju protokom pare prema parnoj turbini. Svaki od četiri regulacijska ventila K3MAA11AA101, 2, 3, 4 pripušta paru u jednu od četiri grupe ulaznih sapnica prvog stupnja ili regulacijskog stupnja visokotlačnog dijela turbine. Kroz stupnjeve od 1 do 8 para struji u smjeru od generatora prema prednjem ležaju. Para se preusmjerava unutar VT kućišta i onda prolazi kroz stupnjeve 9, 10 i 11 te završava strujanje u VT dijelu turbine [1].

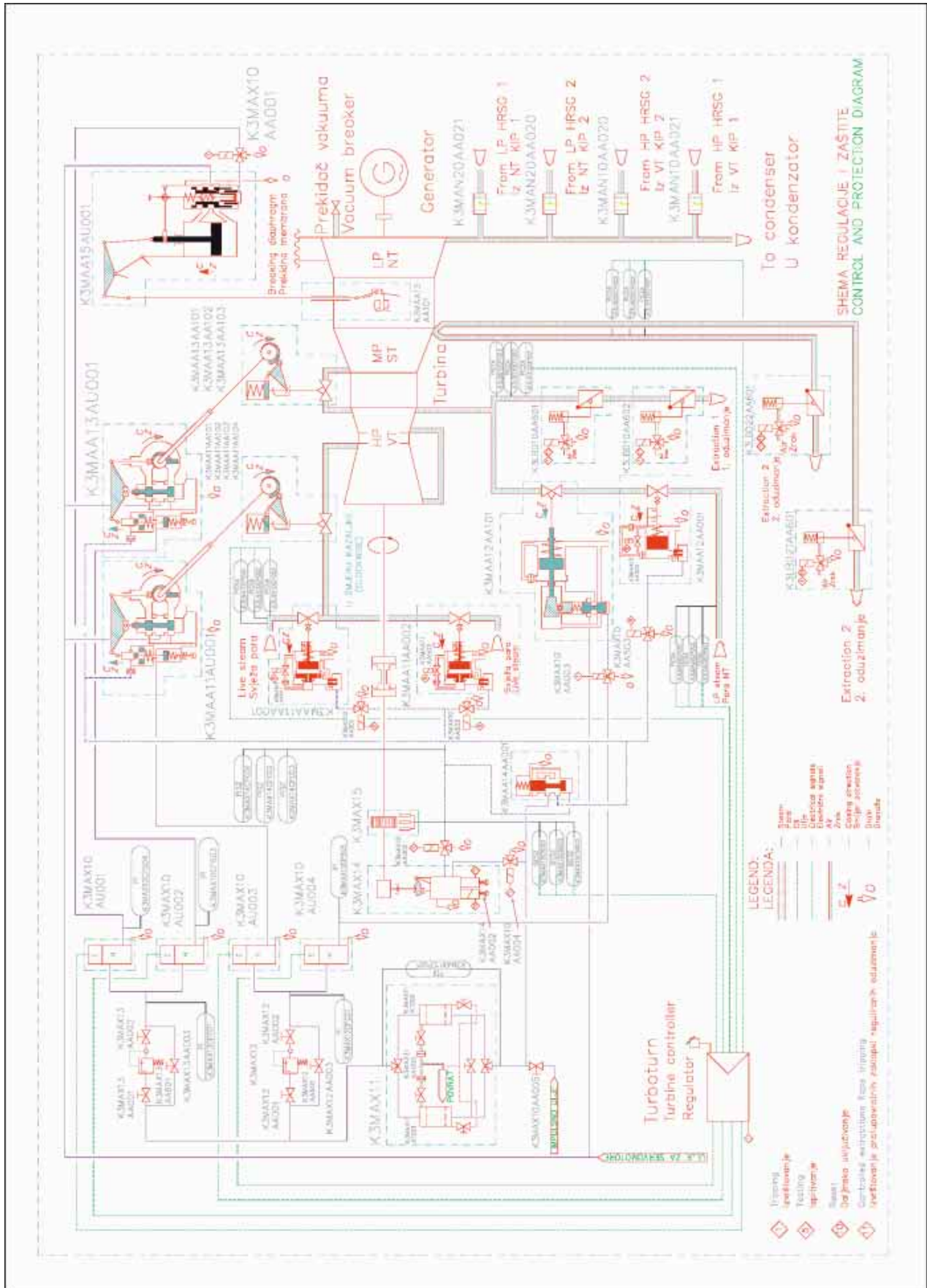
Između stupnjeva 11 i 12 je prvo regulirano oduzimanje. Para se dozvoljava strujanje u dva smjera, ovisno o pogonskom režimu turbine i potrošnji oduzimane pare:

- iz turbine, da bi se opskrbili parom industrijski potrošači.
- u turbinu, osiguravši iz kotla na ispušne plinove KIP-a NT pregrijanu paru.

Para ulazi u stupanj 12 turbine kroz NT parni ventil K3MAA12AA001 (BZV) te kroz NT regulacijski ventil K3MAA12AA101. Para tada odlazi u ST (srednjotlačni) dio turbine kroz tri regulacijska ventila (K3MAA13AA101, 102, 103 razvodni ventil pare). ST (srednjotlačni) dio turbine se sastoji od stupnjeva 12, 13, 14 te 15, pri čemu je stupanj 12 regulacijski stupanj. Para struji u smjeru prema generatoru.

Između stupnjeva 15 i 16 su dvije druge regulirane oduzimanje linije. Para se raspodjeljuje potrošačima koji koriste paru radi grijanja, tj. za toplovodnu mrežu. Para završava svoj put kroz turbinu prolazeći kroz niskotlačni dio turbine koji obuhvaća stupnjeve 16, 17, 18 te 19 sa stupnjem 16 kao regulacijskim stupnjem. U ovom dijelu para također struji prema generatoru. Prije nego uđe u stupanj 16 umjesto uobičajnih razvodnih ventila montirana je dijafragma K3MAA15AA101, tj. zakretni disk da bi razvodio paru po stupnju. Disk se zakreće da bi regulirao protok pare u NT dio turbine. Usporede li se izvedbe razvoda pare s ventilima i zakretnom dijafragmom može se zaključiti da kod dijafragme nema skretanja toka pare koja prolazi kroz niskotlačni razvod. Zbog toga je izvedba sa zakretnom dijafragmom kraća, a i kućište turbine je znatno jednostavnije (2). Poslije prolaska kroz zadnji stupanj (stupanj 19) para se ispuhuje u kondenzator.

Rotor je jednostavni otkivak u monobloku koji uključuje zajedno s osovinom diskove, priрубnice za spojku te odrivne



Slika 1. Shema regulacije i zaštite parne turbine

ploče za odzivni ležaj. Na prednjem kraju je produžetak na kojem je smješten centrifugalni izvrstilač. Lopatičje za stupnjeve 1 - 14 je pričvršćeno na diskove pomoću "T" oblikovanih korijena, a lopatice su obodno postavljene u diskove. Lopatičje za stupnjeve 15 - 19 je pričvršćeno na diskove pomoću korijena u obliku jele, a lopatice su obodno postavljene u diskove. Stupnjevi 1 - 14 su integralno obređeni s bandažom. Lopatice stupnjeva od 15 do 19 su slobodno stojeće lopatice bez bandaže ili nekog drugog sprežanja. Turbinski rotor se oslanja radijalno u dva ležaja, a u aksijalnom položaju se održava s odzivnim ležajem koji je aktivan u dva smjera. U prednjem ležajnom bloku su smješteni prednji radijalni klizni ležaj te odzivni ležaj, a uz njih rotorske uljne brtve, štitičnik za toplinu, uređaj za izvrštavanje te druge osjetne sonde. U stražnjem ležajnom bloku su smješteni stražnji radijalni klizni ležaj te spojka za generator, a uz njih rotorske uljne brtve, stroj za okretanje te druge osjetne sonde.

## 2. OSNOVNI TEHNIČKI PODACI O PARNOJ TURBINI

Maksimalna snaga turbine je 66 MW, a maksimalno dozvoljeno opterećenje je 70 MW, proizvođač je ABB iz Karlovca. Nazivna brzina vrtnje je  $3000 \text{ min}^{-1}$ , a kritične brzine vrtnje za samu turbinu su  $1600 \text{ min}^{-1}$  -  $3700 \text{ min}^{-1}$ , no zajedničke kritične brzine s generatorom su  $n_{k1} = 1100 \text{ min}^{-1}$ ,  $n_{k2} = 1100 \text{ min}^{-1}$  do  $1600 \text{ min}^{-1}$ ,  $n_{k3} = 2500 \text{ min}^{-1}$ ,  $n_{k4} = 4000 \text{ min}^{-1}$ . Tlak pare i temperatura za pogon turbine su  $90.8 \text{ bar}/539^\circ\text{C}$ , a maksimalno kratkotrajno mogu ići do  $95 \text{ bar}/553^\circ\text{C}$ . Pod ovim maksimalno trajno se misli najviše 50 sati godišnje te ne više od 10 minuta u svakom pojedinačnom slučaju. Niskotlačna para iz kotla u turbinu je  $10 \text{ bara} / 288^\circ\text{C}$ , maksimalno može ići do  $11 \text{ bar} / 300^\circ\text{C}$ , a maksimalni protok pare je  $27 \text{ t/h}$ . Tlak prvog oduzimanja je  $10 \pm 0.5 \text{ bara}$ , a protok pare od 0 do  $140 \text{ t/h}$ . Tlak drugog oduzimanja je  $2.5 \text{ bara}$ , a količina od 0 do  $130 \text{ t/h}$ . Para izlazi u kondenzator pod tlakom od  $0.0444 \text{ bara}$ , a maksimalna količina je  $171 \text{ t/h}$ . Generator za parnu turbinu je dvopolni, s  $3000$  okretaja po minuti, trofazni,  $50 \text{ Hz}$ , potuno zatvoren, hlađen vodom.

## 3. ULJE NA PARNOTURBINSKOM POSTROJENJU

Funkcija sustava za podmazivanje uljem kod parne turbine je opskrbljivati uljem ležajeve parne turbine i ležajeve generatora, dobavljati hidrauličko ulje za turbinske regulacijske i zaštitne uređaje. Sustav osigurava opskrbu čistim uljem s prihvatljivom temperaturom nužnom za ispravno podmazivanje i hlađenje turbinskih i generatorskih ležajeva te pod dovoljnim tlakom za regulacijske funkcije i funkcije izvrštavanja. Mazanjem ležajeva turbine i generatora postižemo smanjivanje mehaničkih gubitaka agregata zbog trenja. Ulje za mazanje odvodi iz ležajnih rukavaca rotora turbine toplinu, koja se kroz rotor provodi iz protočnog dijela turbine [3]. Opskrbljivanje radnim uljem uređaja za regulaciju i zaštitu turbine također je zadatak uljnog sustava. Pri tom ulje služi bilo kao radni medij hidrauličkih uređaja, bilo kao medij za prenošenje informacija i signala za upravljanje. Ispiranje nečistoća iz ležajnih postolja i hidrauličkih uređaja te odvođenje nečistoća filtriranjem ili centrifugiranjem ubrajamo u sporedne zadatke uljnog sustava. Zaštita od korozije elemenata koji su oplahivani uljem postiže se također djelovanjem sustava, te je i to jedan od njegovih za-

adata. Osnovna shema uljnog sustava prikazana je na slici 2, a izvedba uljnog modula na slici 3.

Glavne uljne pumpe K3MAV10AP010 i K3MAV20AP010 stvaraju tlak za ležajeve te hidrauličke regulacijske uređaje za vrijeme upuštanja i normalnog pogona. Za vrijeme obustave, kada se turbina okreće pomoću stroja za okretanje, ulje pod tlakom se dobavlja iz pomoćne uljne pumpe K3MAV30AP020, ali samo u turbinske i generatorske ležajeve. Glavne i pomoćne uljne pumpe su centrifugalne pumpe pogonjene pomoću elektromotora na izmjeničnu struju. Funkcija havarijske uljne pumpe K3MAV60AP010 s elektromotorom na istosmjernu struju je da dobavlja ulje pod tlakom samo u ležajeve turbine i generatora u slučaju gubitka napajanja električnom energijom glavnih i pomoćne pumpe.

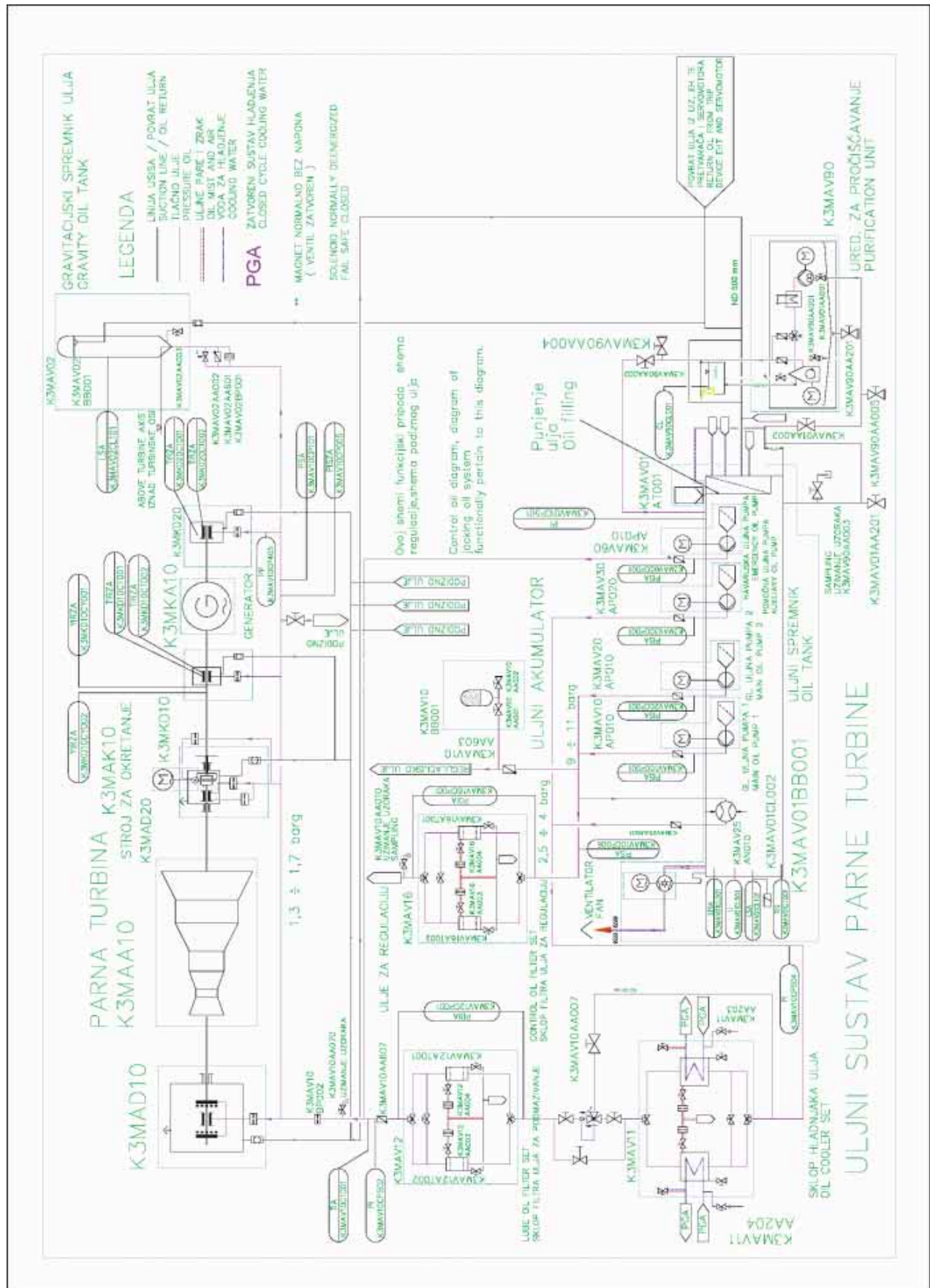
Sustav uključuje uređaj za pročišćavanje ulja K3MAV90 s centrifugom da bi se odvojile sve nečistoće od ulja uključujući i vodu, a na principu razlike u gustoći. Uređaj ima električne grijače koji mogu zagrijati ulje prije puštanja u pogon. Također je u sustavu ugrađen uljni akumulator K3MAV10BB001 radi eliminacije privremenih padova tlaka za vrijeme prijelaznih stanja hidrauličkog regulacijskog sustava. Različiti filtri unutar sustava za podmazivanje uljem osiguravaju da ulje ostane čisto od zagađivača koji bi mogli ugroziti prolaze ulja s vrlo uskim tolerancama.

Sustav podizajnog ulja ubacuje ulje pod visokim tlakom izravno pod rukavce ležajeva turbine i generatora. Time se postiže tlačno podmazivanje kod kojega se rotor diže nekoliko stotinki milimetra te počinje plivati na prisilno stvorenom uljnom filmu. Podizajno ulje se koristi samo pri pokretanju turbine kada se rotor okreće niskom brzinom vrtnje. Pomoću podizajnog ulja izbjegava se polusuho trenje te veliki početni moment uređaja za okretanje. Ugrađene su dvije pumpe za podizajno ulje K3MAV50AP001 i 002. U radu je dovoljna jedna od njih, a druga je pričuva od 100%. Pumpa potiskuje ulje u sabirnik, a iz sabirnika preko preljevnog ventila K3MAV70AA001 se održava stalni tlak od  $270 \text{ barg}$ . Iz sabirnika se podizajno ulje razvodi ležajevima turbine i generatora. Razdioba se udešava pomoću ventila za regulaciju K3MAV53AA001, 002, 003, 004, 005 i 006 i to tako da se u trenutku uključivanja pumpe pomoću komparatora prati pomicanje rukavca rotora turbine i generatora prema gore.

## 4. UREĐAJI ZA ZAŠTITU TURBINE

Sustav zaštite (slika1) nadgleda pogonske parametre koji postaju opasni ako njihova vrijednost prekorači zadane granične vrijednosti (4). U tom slučaju zaštita trenutno zatvara brzozatvarajuće ventile (BZV) VT K3MAA11AA001 i K3MAA11AA002 te K3MAA12AA001 NT pare kao i ostale zaporne ventile na cjevovodima za dovođenje i odvođenje turbinske pare. Turbina izvrštava te neće sama od sebe automatski ponovno krenuti čak ako se je parametar koji je izazvao poremećaj vratio u normalno stanje. Uz električke (Turboturn), pneumatske, mehaničke članove, glavni članovi sustava zaštite su; centrifugalni izvrstilač, elektromagnetski ventili, ventili VT svježe pare, ventili NT pare, protupovratne zaklopke u cjevovodima oduzimanja, sigurnosni ventili, prekidna membrana i prekidač vakuuma.

Centrifugalni izvrstilač je smješten u nastavku rotora s prednje strane. On štiti turbinu od prekomjerne brzine vrtnje, a glavna komponenta mu je svornjak koji iskače pri brzini vrtnje od  $3300 \text{ min}^{-1}$  te preko uređaja za izvrštavanje izbacuje turbinu iz pogona.



Slika 2. Uljni sustav parne turbine



Elektromagnetski ventili smješteni u uljovodu ispred i iza uređaja za izvrštavanje izbacuju turbinu električkim impulsom iz elektronskog sustava regulacije (Turboturna). Oni izvrštavaju turbinu pri povećanju brzine na 3360 min<sup>-1</sup>, povećanju tlaka na prvom reguliranom oduzimanju na 12.5 bara, povećanju tlaka na drugom reguliranom oduzimanju na 4 bara, povećanju tlaka u kondenzatoru na 0.5 bara, povećanju temperature ležajeva na 120°C, povećanju vibracija na 180 (m pp, aksijalnom pomaku rotora prema naprijed ili natrag za 0.6 mm, smanjenju tlaka ulja za regulaciju na 7 barg, smanjenju tlaka ulja za podmazivanje na 0.8 barg te smanjenju razine ulja u spremniku na 1030 mm ispod gornje konture spremnika.

Turbina ima 2 brzozatvarajuća ventila (BZV) K3MAA11AA001 i K3MAA11AA002 visokotlačne svježe pare NO 250. U parnom dijelu je sito koje štiti turbinu od čestica koje se eventualno mogu pojaviti u parovodu. BZV-i su ili potpuno otvoreni ili potpuno zatvoreni i to tako da se otvaraju čim se napne uređaj za izvrštavanje, a zatvaraju se kad taj uređaj odapne. Zatvaranje je trenutačno sa svrhom zaštite turbine. Ventil se sastoji od parnog i hidrauličkog dijela (slika 4). Kada je ventil zatvoren opruga u hidrauličkom dijelu potiskuje glavu vretena na sjedište vretena, a stožac na sjedište ventila. Tlak pare pomaže pri zatvaranju. Pri otvaranju ventila hidraulika najprije pomiče samo vreteno, tj. obavlja predotvaranje tako da se samo kroz otvor u sjedištu vretena pune parom svi parovodi i drugi parni prostori između ventila svježe pare i zatvorenih regulacijskih ventila te se izjednačuju tlakovi. Nakon toga hidraulički servomotor bez velikih otpora pomiče vreteno do kraja i tako potpuno otvara ventil. Hidraulički dio ventila je jednostrani klipni servomotor. BZV se otvara djelovanjem tlaka ulja, a zatvara silom opruge.

Ventil pare NT K3MAA12AA001 je prvi zaporni član na ulazu NT pare iz niskotlačnog sustava KIP-a. Kao i BZV on može biti samo zatvoren ili samo otvoren.

Protupovratne zaklopke u cjevovodima za oduzimanje pare štite turbinu od povratnog strujanja. Ukupno su ugrađene 4 zaklopke i to 2 zaklopke K3LBD10AA601, K3LBD10AA602 u seriji u cjevovod prvog reguliranog oduzimanja (slika 1), a u cjevovod drugog reguliranog oduzimanja 2 zaklopke paralelno K3LBD21AA601, K3LBD22AA601, tj. u svaki cjevovod po jednu zaklopku.

Tri sigurnosna ventila na cjevovodima reguliranog oduzimanja štite kućište turbine i cjevovoda od prevelikog tlaka. Prvi sigurnosni ventil K3LBY10AA701 je na prvom oduzimanju, a druga dva K3LBY21AA70, K3LBY22AA701 (slika 5), su na drugom oduzimanju. Sigurnosni ventil na prvom oduzimanju otvara na 12 bara, a na drugom oduzimanju otvaraju na 3.3 bara. Prekidna membrana štiti ispušni dio turbine i plašt kondenzatora od pretlaka. Membrana puca pri tlaku pare od 1.2 bara te ispušta paru u prostor strojarnice.

## 5. BRTVENA PARA, ODVODNJAVANJE I KONDENZACIJA

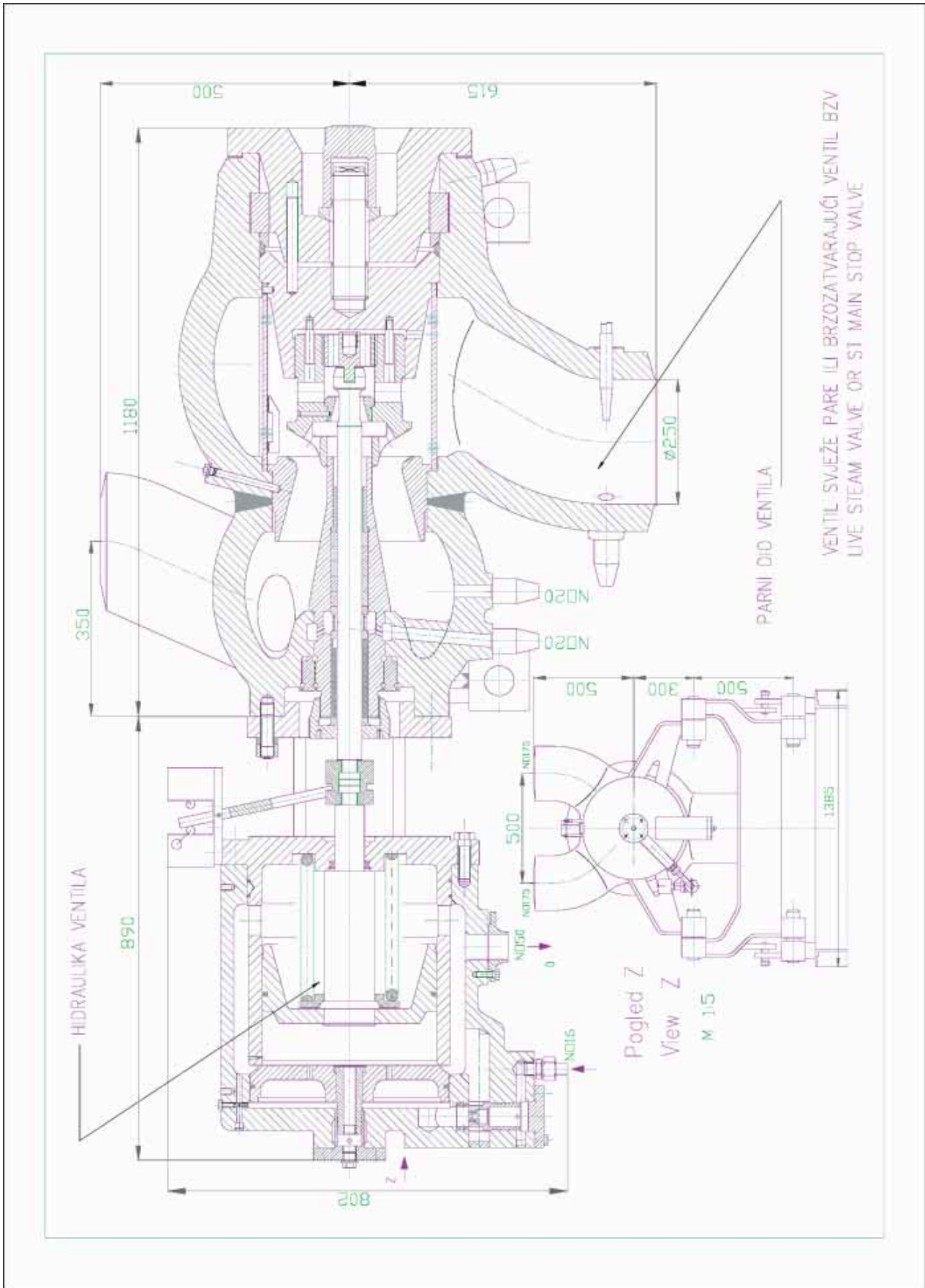
Na mjestima gdje pokretni dijelovi turbine, kao što su rotor i vretena ventila, izlaze iz parnog prostora, ugrađene su brtvenice da bi spriječile pari izlaz u prostor strojarnice ili prodor zraka u parne prostore pod potlakom (5). Nijedna brtvenica ne obustavlja strujanje u potpunosti, dapače manja protjecanja se toleriraju radi pokretljivosti. Sustav brtvene pare služi da bi razveo brtvenu paru kamo treba, a na kraju u kondenzator brtvene pare K3MAW40AC010 (slika

6). Zaporna para se dovodi iz sustava svježe pare, samo za vrijeme starta parne turbine i za vrijeme rada pod malim opterećenjem. Pri startu turbine je praktički u svim dijelovima turbine vakuum pa se mora dovoditi para u sve brtvenice da bi se spriječio prodor zraka. Dovođenje zaporne pare regulira pneumatski regulacijski ventil K3MAW10AA101 (slika 5). Brtvena para vrućeg dijela stroja je para za prednju labirintnu brtvu, cjevovod K3MAW20BR020 i para brtvenica razvoda svježe pare K3MAW20BR021. U tome dijelu je para više temperature što je primjereno dijelovima koje oplakuje. Tu je moguće strujanje u oba smjera; kada je opterećenje veće para izlazi iz turbine, a kada turbina starta ili radi s malom snagom dovodi se zaporna para. Cjevovod K3MAW30BR010 ostvaruje izravnu komunikaciju prvog dijela prednje labirintne brtve turbine s cjevovodom prvog reguliranog oduzimanja.

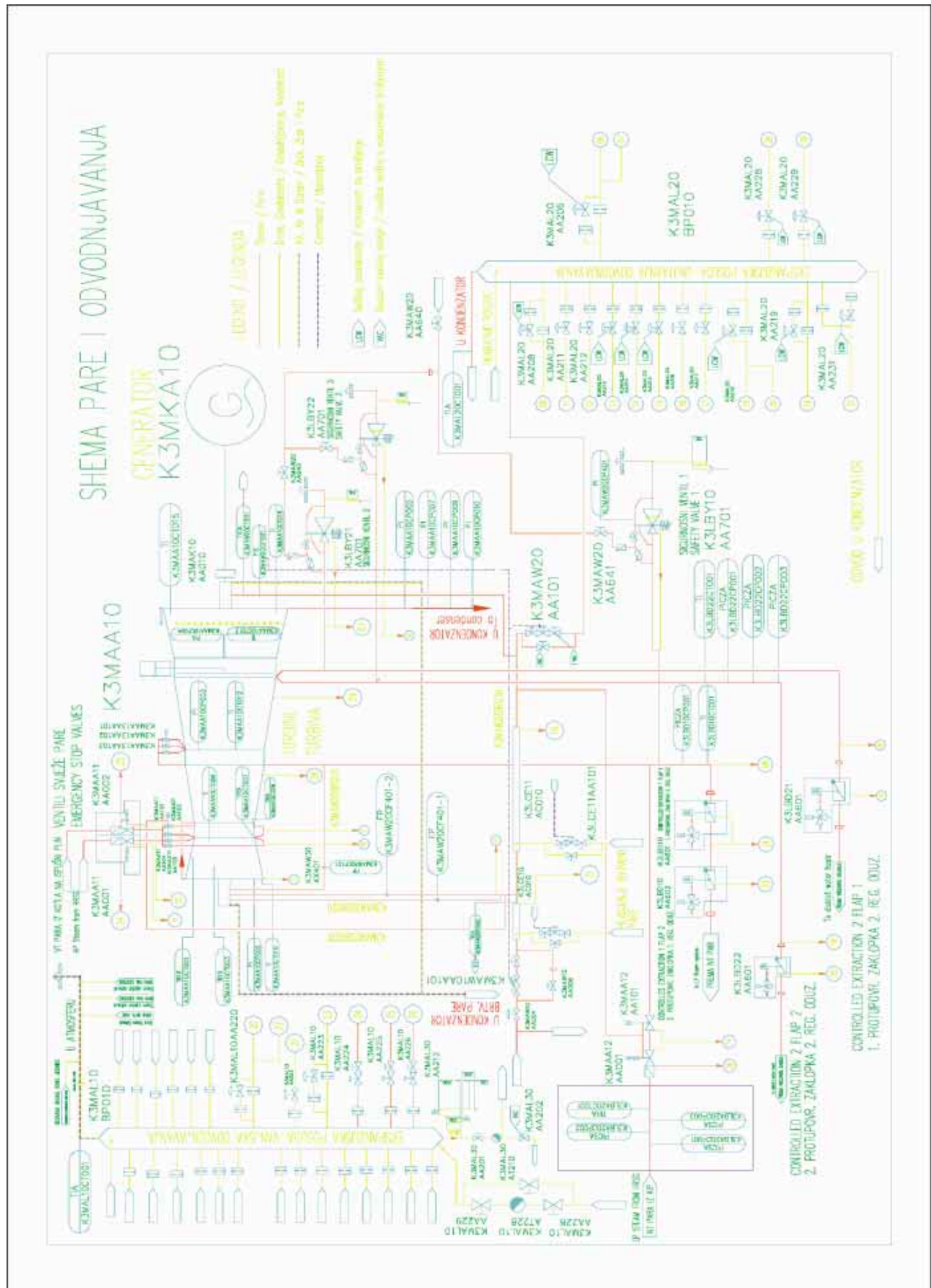
Brtvena para za stražnju labirintnu brtvu se dovodi kroz cijev K3MAW20BR030. U stražnju brtvu je potrebno uvijek dovoditi paru jer je izlaz iz turbine pod vakuumom, bez obzira na opterećenje. Toj pari se mora regulirati temperatura što se čini pomoću kondenzata za hlađenje koji se ubrizgava kroz regulacijski ventil K3LCE11AA101. Na taj su dio cjevovoda priključene brtvenice sigurnosnih ventila 1,2 i 3 te brtvenice ventila pare NT. Povećanjem opterećenja turbine se kod nekog opterećenja prekida dovođenje zaporne pare kroz ventil K3MAW10AA101 jer kroz prednju labirintnu brtvenicu izlazi dovoljno pare i za stražnju. Još većim povećanjem opterećenja javlja se u sustavu brtvene pare suvišak, pa se ta suvišna para ispušta kroz regulacijski ventil brtvene pare K3MAW20AA101 u posudu unutarnjih odvodnjavanja. Krajnje brtve, tj. dijelovi prednje i stražnje labirintne brtve koji se nalaze uz sama ležajna postolja, povezane su cjevovodom odsisavanja na kondenzator brtvene pare K3MAW40AC010.

### Sustav za kondenzaciju

Što je dublji vakuum u kondenzatoru to je veći stupanj djelovanja, a uz dobar vakuum čak 27% toplinskog pada se može odvijati u području vakuuma (6). Na slici 6 se vidi kondenzator K3MAG10AC010, radni ejektor K3MAJ10 i K3MAJ20, startni ejektor K3MAJ30, kondenzator brtvene pare K3MAW40AC010 te uređaje za uvođenje pare mimo voda K3MAN10AA020, 021 te K3MAN20AA020, 020. Ejektor i u kondenzacijskom sustavu izvlače zrak i ostale ne-kondenzirajuće plinove te ih izbacuju u atmosferu. U postrojenju su ugrađena 2 istovjetna radna ejektora, jedan od njih je dovoljan za normalni pogon dok je drugi 100% pričuvna. Ejektor je, ustvari, dvostupanjski mlazni kompresor koji se sastoji od kondenzatorskog i atmosferskog stupnja. Strujni aparat svakog od stupnjeva se sastoji od sapnica, komora za miješanje i difuzora. Radni medij je para od 15 bara koja se privodi kroz parno sito i ventile prigušivanja, a oni mogu regulirati ulazni tlak za svaki stupanj posebno. Parni mlaz nadzvučne brzine koji se formira na izlazu iz sapnice kondenzatorskog stupnja usisava smjesu pare i plinova koji ne mogu kondenzirati iz kondenzatora. U komori za miješanje nastaje nova smjesa, koja se u difuzoru komprimira na tlak od 0.2 do 0.3 bara abs. Ta smjesa ulazi u hladnjak kondenzatorskog stupnja gdje se veći dio pare kondenzira, pri čemu kondenzat odlazi u kondenzator kroz sifon. Ostatak smjese koji nije kondenzirao se usisava kroz sapnicu atmosferskog stupnja iz hladnjaka kondenzatorskog stupnja. U komori za miješanje opet nastaje smjesa

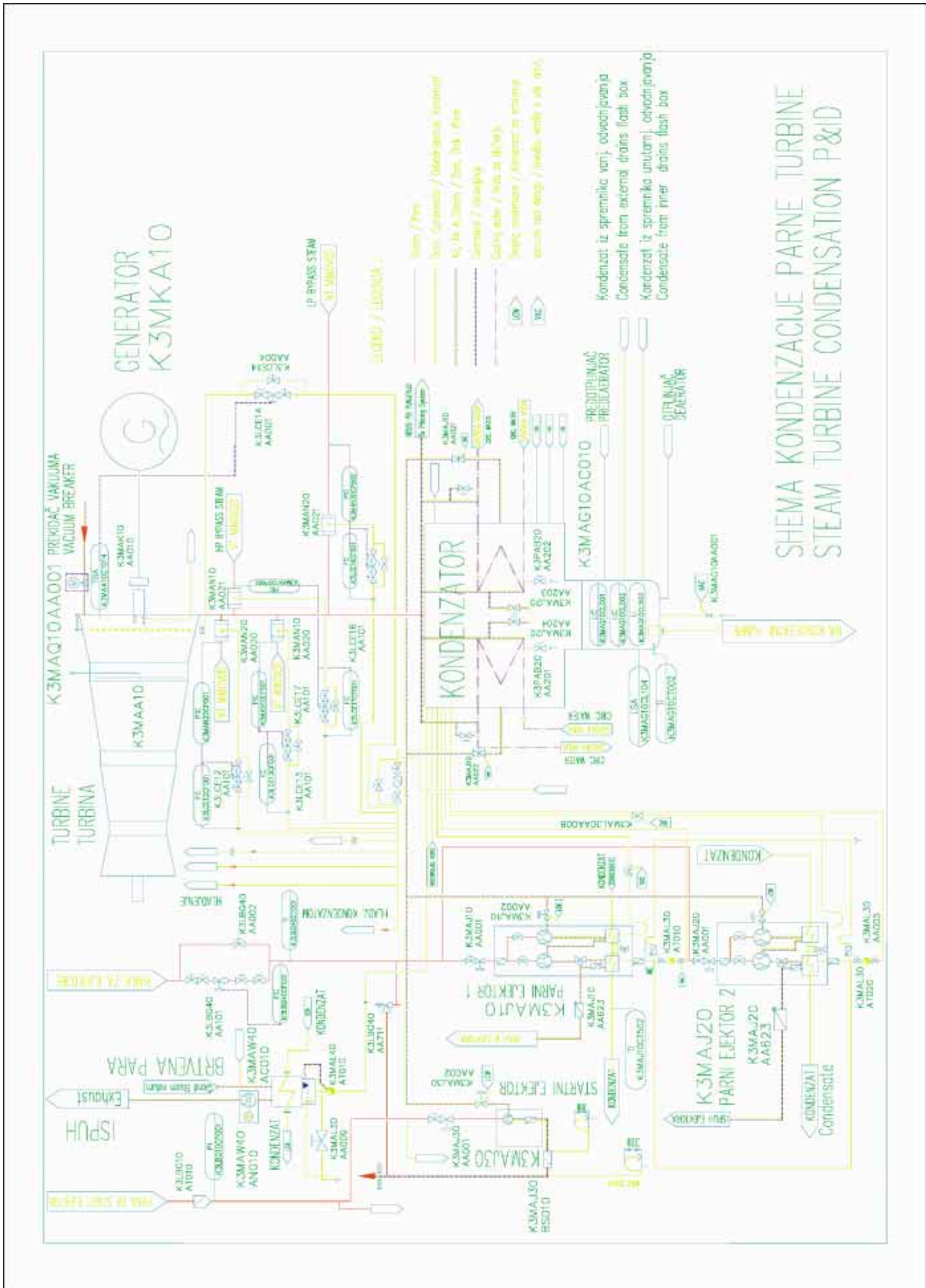


Slika 4. Ventil svježe pare ili brzotvarajući ventil - BZV



Slika 5. Shema pare i odvodnjavanja parne turbine





Slika 6. Shema kondenzacije parne turbine

radne pare i medija usisanog iz kondenzatorskog stupnja. Ta se smjesa u difuzoru atmosferskog stupnja komprimira na tlak nešto veći od atmosferskog te s tim tlakom ulazi u hladnjak atmosferskog stupnja. U hladnjaku se opet kondenzira glavnina pare iz smjese čiji kondenzat odlazi kroz kondenzni lonac u kondenzator. Ostatak smjese koji sadrži nekondenzirajuće plinove (zrak) se ispuhuje u atmosferu.

## 6. REGULACIJA PARNE TURBINE

Sustav regulacije automatski upravlja protjecanjem pare kroz turbinu sa svrhom održavanja glavnih pogonskih parametara turbine, tj. on mora (7):

- održavati zadanu brzinu vrtnje ili zadano opterećenje ako je agregat sinkroniziran,
- regulirati tlak VT i NT pare,
- regulirati tlak 1. i 2. reguliranog oduzimanja pare.

Uređaji za regulaciju (slika 1) ujedno omogućuju vođenje pogona agregata tj. automatsko upuštanje, opterećivanje i obustavu. Uređaji za regulaciju parne turbine također imaju određene zaštitne funkcije. Sve ide preko ABB regulacijskog sustava TURBOTURN koji prima signale o:

- brzini vrtnje preko davača K3MAX15,
- tlaku VT pare preko davača K3LBA10CP001, K3LBA10CP002, K3LBA10CP003,
- tlaku NT pare preko davača K3LBA20CP001, K3LBA20CP002, K3LBA20CP003,
- tlaku 1. reguliranog oduzimanja preko davača K3LBD10CP001, 002 i 003,
- tlaku 2. reguliranog oduzimanja preko davača K3LBD22CP001, 002 i 003.

Ove električne signale koji su dobiveni iz mehaničkih, regulator obrađuje u povratne električne signale za pomicanje izvršnih organa. Elektrohidraulički E/H pretvornici primaju električne signale iz procesora te ih pretvaraju u hidrauličke signale potrebne za pomicanje hidrauličkih servomotora. E/H pretvornici su uređaji koji električne signale od 4 do 20 mA iz regulatora pretvaraju u promjene tlaka ulja od 1 do 3 barg. Ulazno ulje je stabilizirano na tlaku 5-( 0.2 barg te dva puta filtrirano. Turbina ima 4 pretvornika:

- E/H pretvornik K3MAX10AU003 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP502 kojim se upravlja pomacima razvoda VT,
- E/H pretvornik K3MAX10AU002 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP503 kojim se upravlja pomacima razvoda ST,
- E/H pretvornik K3MAX10AU001 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP504 koji upravlja razvodom pare NT,
- E/H pretvornik K3MAX10AU004 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP505 kojim se upravlja regulacijskim ventilom pare NT.

Iza E/H pretvornika su smješteni hidrauličko - mehanički izvršni članovi sustava za regulaciju:

- VT RAZVOD s 4 regulacijska ventila K3MAA11AA101, 2, 3, 4 s razvodnom osovinom i krilnim servomotorom K3MAA11AU001 sa zadatkom regulacije protjecanja pare kroz VT dio turbine,

- ST RAZVOD s 3 regulacijska ventila K3MAA13AA101, 2, 3 s razvodnom osovinom i krilnim servomotorom K3MAA13AU001 sa zadatkom regulacije protjecanja pare kroz ST dio turbine,
- NT RAZVOD s zakretnom dijafragmom K3MAA15AA101 i klipnim servomotorom K3MAA15AU001 sa zadatkom regulacije protjecanja pare kroz NT dio turbine,
- REGULACIJSKI VENTIL PARE NT s klipnim hidrauličkim servomotorom K3MAA12AA101s zadatkom uvođenja NT pare u turbinu iz KIP-a.

Regulacijski sustav parne turbine je povezan autonomni sustav. Povezanost sustava znači da se bilo koji od poremećaja savladava istodobnim pomicanjem načelno svih izvršnih organa, a autonomnost sustava znači da se pri reguliranju jedne od veličina koja je pod nadzorom sustava ne izazivaju poremećaji na drugim veličinama. Ovaj turbogenerator može biti u otočnom pogonu ili u paralelnom radu na mreži. U otočnom pogonu zadatak regulacije je samo brzina vrtnje. U paralelnom radu na mreži generator je sinkroniziran pa je njegova brzina vrtnje zadana frekvencijom mreže, pa TE-TO regulator regulira snagu koju agregat baca u mrežu. Turbina je kondenzacijska s dva regulirana oduzimanja pare, međutim regulacija tlaka bilo kojeg od oba oduzimanja ne mora biti uključena, pa ako su regulacije oduzimanja isključene, turbina radi kao čisto kondenzacijski stroj. Ulje za hidrauliku se dovodi iz općeg uljnog sustava zajedničkog za regulaciju i podmazivanje. Hidrauličko ulje ima dvije funkcije; kao energent za pomicanje servomotora te kao impulsno ulje, tj. signal o nekom stanju.

## 7. UPRAVLJAČKI SUSTAVI POSTROJENJA

Upravljački sustav u TE-TO ZAGREB je mikroprocesorski digitalni sustav s redundantnom sabirnicom podataka, komunikatorima, procesorima, operatorskim konzolama te s računalom postrojenja. Sustav za cjelokupno postrojenje uključuje:

- Distribuirani upravljački sustav DCS (DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM),
- Mark V upravljački sustav za plinsku turbinu i njen generator,
- ABB Turboturn upravljački sustav za parnu turbinu.

Distribuirani upravljački sustav DCS je primarni sustav za upravljanje, prikupljanje podataka, dojavljivanje, te sustav sučelja za postrojenje. DCS obavlja modulativne i diskretne logičke funkcije na većini procesa i opreme postrojenja. Distribuirani upravljački sustav DCS također služi kao operatorsko sučelje prema Mark V upravljačkom sustavu plinske turbine i Turboturnu upravljačkom sustavu parne turbine [8]. DCS za TE-TO ZAGREB je projektiran tako da je osigurano centralizirano upravljanje i nadzor iz Centralne upravljačke sobe. DCS je kombinacija kompjutorskih procesorskih jedinica i zaslona/upravljačkih terminala (konzola) koji su povezani na zajedničku redundantnu sabirnicu podataka. Koncept sustava je "distribuiran = raspodijeljen", tj. bazira se na činjenici da sustavom upravlja nekoliko nezavisnih procesora nasuprot konceptu jednog centralnog procesora koji upravlja cijelom termoelektranom. DCS ima sposobnost zaprimanja informacija od transmitera i sklopki (procesnih ulaza ili inputa), zatim donošenja odluka na bazi tih informacija (centralna logika) te mijenjanja procesa s pokretanjem regulacijskih ventila, motora upuštanja/-zau-

**Tablica 1. Sekvence kombikogeneracijskog postrojenja**

K0CJD00EA001	Glavna sekvenca koordinacije postrojenja
K0PGC00EC001	Sekvenca zatvorenog sustava hlađenja
K0PAB00EC001	Sekvenca sustava hlađenja savskom vodom
K3MAY00EA001	Parnoturbinska sekvenca
K3LCB20EC001	Sekvenca kondenzata
K3LBA10EC001	Zajednička para
K1CJD10EA001	Sekvenca plinske turbine 1
K1CJD10EC001	Sekvenca VT KIP1 (kotla na ispušne plinove 1)
K1CJD10EC002	Sekvenca niskog tlaka NT KIP1
K0EKT10EC001	Sekvenca grijanja plina pri startu plinske turbine 1
K2CJD10EA001	Sekvenca plinske turbine 2
K2CJD10EC001	Sekvenca VT KIP2 (kotla na ispušne plinove 2)
K2CJD10EC002	Sekvenca NT KIP2 (kotla na ispušne plinove 2)
K0EKT20EC001	Sekvenca grijanja plina pri startu plinske turbine 2
K0NDA00EC001	Sekvenca vrelovodnog grijača za grijanje grada

stavljanja, operativnih prekidača u rasklopištima itd., tj. procesnih izlaza (outputa). U kombinaciji s ovim osnovnim procesima, DCS također dozvoljava operateru da utječe na promjene u procesu pomoću akcija pokrenutih iz operatorске konzole. Te akcije uključuju prilagođavanje procesnih postavnih vrijednosti, režima rada, odabira opreme, inicijaliziranje sekvencijalnog upravljanja te ručno upravljanje odabranim procesnim sustavima.

DCS također komunicira s drugim nezavisnim upravljačkim pogonskim sustavima što znači da procesne informacije u tim sustavima mogu također biti dostupne i DCS-u. Time se omogućava upravljanje i nadziranje različitih sustava iz jednog središnjeg mjesta. Iako se sustav sastoji od vlastitih komponenata te komponenata u drugim sustavima, pogonsko osoblje može nadzirati i upravljati postrojenjem termoelektrane iz jedne središnje strateške lokacije. DCS kombi procesa sadrži komponente nužne za upravljanje KIP-a, tj. kotla na ispušne plinove, kondenzata, sustava napojne vode te parnog sustava. Pored toga DCS je povezan s upravljačkim sustavima plinske i parne turbine preko izuzetno brze prometnice "modbusa". Sustav se hardverski sastoji od elektronike, ormara, upravljačkog ožičenja i ožičenja napajanja strujom, upravljačkih procesora, napajanja energijom i međuvezama nužnim za upravljanje pri upuštanju, pogonu i obustavi postrojenja. Pogonsko osoblje ili operator je u interaktivnoj vezi s DCS-om preko zaslona s visokim razlučivanjem. Procesna grafika osigurava pogled na detalje sustava i opreme te se brine o dinamici nadzornih i upravljačkih procesnih podataka koji se pojavljuju na monitoru.

#### Mark V upravljački sustav plinske turbine

Mark V upravljački sustav upravlja svim operativnim funkcijama plinske turbine te pomoćnim sustavima plinske turbine [9]. To je digitalni procesor koji se služi programskim softverskim instrukcijama za upravljanje komponentama plinske turbine, a ulazne naredbe prima od operatora iz DCS (centralne komande) u smislu da je DCS koordinator nad cjelokupnim postrojenjem, a Mark V je potpuno autonomni upravljački sustav plinske turbine. Sustav također nadzire ključne elemente sustava plinske turbine te automatski za-

počinje korektivnu akciju radi održavanja pogona turbine, ili da bi izvrstio turbinu i time spriječio štetu na opremi i komponentama opreme.

#### ABB Turboturn upravljački sustav - Parna turbina

ABB Turboturn upravljački sustav - za parnu turbinu upravlja svim pogonskim funkcijama parne turbine i generatora. Za razliku od Marka V koji se primjenjuje na plinskoj turbini s njenim generatorom, ovaj sustav ne upravlja pomoćnim sustavima parne turbine. Pomoćnim sustavima upravlja i vodi ih DCS. Zajedničko operatorsko sučelje je postavljeno u centralnoj komandi (CCR).

#### 8. POGON I VOĐENJE PARNE TURBINE PREKO DCS-a

Automatski sekvencijalni program je tako složen da omogućuje upuštanje i obustavu cjelokupnog postrojenja uz minimalnu akciju operatora postrojenja. Program osigurava nadzorne signale prema upravljačkim podsustavima kombikogeneracijskog postrojenja sa svrhom koordinacije pri upuštanju i obustavi postrojenja. Upuštanje može biti automatsko, poluautomatsko ili ručno, ali mora biti pouzdano i ponovljivo (10). Automatsko upuštanje i obustava postrojenja se upravljaju pomoću Glavne Sekvence za koordinaciju postrojenja i 14 podsekvenci kako sljedi prema tablici 1.

MASTER - Glavna sekvenca koordinacije postrojenja radi samo kao nadzorni program za vrijeme starta (upuštanja) i obustave postrojenja. Budući da Glavna sekvenca ne radi neprekidno, sve međublokade i zaštitne funkcije su implementirane na neprekidno aktivne podgrupe, zatvorene petlje, ili na programske segmente na razini prigona. Svaki od glavnih sustava kao što je to kondenzat ima svoj vlastiti podgrupni upravljački sekvencijalni program pored sistemski specifičnih zatvorenih i otvorenih petlji kontinuiranih upravljačkih funkcija. Ova osobina omogućava da se sa svakim podsustavom radi nezavisno, ako se to želi.

DCS je konfiguriran tako da sprječava ili ograničava djelovanje (operaciju) određenih sekvenci ako odgovarajući uvjeti nisu zadovoljeni ili ako određena oprema u potpunosti ne stoji na raspolaganju. Tako primjerice raspoloživost kon-

denzatora određuje da li jedna ili obje PLINSKA TURBINA/ KOTAO NA ISPUŠNE PLINOVE može startati.

Operatorski predodabir omogućava konfiguraciju Mastera - Glavne sekvence tako da se starta ili obustavlja jedna plinska turbina s kotlom ili obje plinske turbine s kotlovima. On isto tako omogućava upuštanje/obustavu parne turbine ili pogon tako da je samo kondenzator u službi. Po svršetku glavne sekvence, plinske turbine i parna turbina se oslobađaju za upravljanje opterećenjem u zatvorenoj petlji, a ona upravlja izlaznom električnom snagom te oduzimanjima pare bazirajući se na zadanim vrijednostima od strane operatera kombikogeneracijskog postrojenja. Za vrijeme obustave Glavna sekvenca će obustaviti odabrane turbine i glavne podsustave. Neki pomoćni sustavi (kao što su ulje za podmazivanje i rashladna voda) moraju nastaviti s radom u produženom vremenskom razmaku poslije same obustave da bi osigurali hlađenje turbina, a isto tako moraju raditi ponovno prije starta [11]. Pored toga sustavi koji podržavaju ove pomoćne sustave ili sustavi koji podržavaju potencijalne akcije operatera postrojenja unutar prvih 8 sati od obustave, također nastavljaju s radom (primjerice napojna voda i kondenzat).

Vođenje parne turbine u pogonu se obavlja preko logičke sekvence PARNA TURBINA. Sekvenca parne turbine je normalni način vođenja turbine. Budući da parna turbina prolazi kroz različite pogonske modove, sam pogon turbine zahtijeva obavljanje određenih akcija prije upuštanja turbine, za vrijeme sekvence parne turbine te nakon što je sekvenca postigla OM5 (REGULACIJA OPTEREĆENJA). Upravljački sustav Turboturn sadrži svu logiku vezanu uz zaštitu parne turbine, regulaciju brzine vrtnje te uz zatvorene regulacijske petlje direktno povezane sa upuštanjem, obustavom, zaletom, regulacijskim ventilima ulazne i oduzimanje pare. DCS sadrži svu logiku parne turbine vezanu uz rad pomoćnih postrojenja parne turbine te uz sekvence upuštanja i obustave. DCS je isporučen u kompletu s pogonskim zaslonskim prikazima te prikazima pogonskih i upravljačkih alarma parne turbine i njenih pomoćnih postrojenja.

Operativni modovi (OM) parnoturbinske sekvence koji se mogu odabrati od strane pogonskog operatera su dani u tablici 2.

Prije starta postrojenja ili starta parne turbine, operator mora odabrati željeni operativni mod turbine. U slučaju propusta odabira operativnog moda može se dogoditi da cijela sekvenca PLINSKA TURBINA ostane visiti. Parnoturbinska sekvenca je tako projektirana da automatski stane na odabranom operativnom modu. To znači da ako je odabran OM2 (Mimovodi parne turbine su u radu), onda će sekven-

**Tablica 2. Operativni modovi (OM) parnoturbinske sekvence**

OM0	Parna turbina miruje tj. ona je isključena
OM1	Parna turbina je na stroju za okretanje
OM2	Mimovodi parne turbine su u radu
OM3	Program zaleta parne turbine
OM4	Uzbuđivanje i sinkronizacija generatora parne turbine
OM5	Uključena je regulacija opterećenja

ca tako djelovati da dovede parnu turbinu i pomoćna postrojenja parne turbine do OM2. Kada je jednom OM2 postignut, smatra se da je parnoturbinska sekvenca završena. Da bi se promijenilo u drugi operativni mod, operator mora odabrati novi operativni mod te ponovno inicirati parnoturbinsku sekvencu.

Sekvenca parne turbine je projektirana tako da su potrebne dvije ručne akcije operatera da bi se sekvenca nastavila. Sekvenca parne turbine automatski starta havarijsku uljnu pumpu K3MAV60AP010 da bi se pokazalo da je ova u pogonskom stanju prije nego što će se dozvoliti parnoj turbini da ide na stroj za okretanje. Operator mora potvrditi ovu zaštitnu akciju, a da bi postavio pumpu u automatski rad te nastavio sa sljedom. Druga akcija je prilikom uključivanja turbinskog sigurnosnog sustava kada se parnoturbinski releji izvrštavanja moraju resetirati da bi se nastavilo. Propust da iniciraju ove ručne akcije će dovesti do toga da će parnoturbinska sekvenca propustiti obavljanje sljedećeg koraka, što će uzrokovati da parna turbina prestane s opterećivanjem. Željeni operativni mod parne turbine se mora pažljivo odabrati da bi se spriječio automatski prijelaz parne turbine u mod koji se ne želi. Tako, naprimjer, ako se želi mod OM2, a operator uđe u OM3, sekvenca će automatski dizati brzinu vrtnje parne turbine dok god se ne isključi.

### **Regulacijsko-operativni modovi PT (Parne turbine)**

Kada sekvenca parne turbine postigne OM5, operator može odabrati jedan od sljedećih regulacijsko-operativnih modova parne turbine:

#### *A. Regulacija opterećenja*

Ovo je regulacijski mod koji PT sekvenca automatski odabire. Kada je jednom regulacija opterećenja uključena operator će prilagođivati regulator opterećenja upravljačke stanice da bi dobio željenu izlaznu snagu u MW. Treba primijetiti da vođenje pogona parne turbine u ovom modu pozicionira regulacijske ventile parne turbine u fiksni položaj. Promjena tlaka ispred regulacijskih ventila će dovesti do varijacije u MW. Snaga (u MW) se ne regulira na postavnu vrijednost korištenjem zatvorene regulacijske petlje.

#### *B. Regulacija prvog oduzimanja*

Kad god je potrebno izvoziti industrijsku paru, operator će ručno uključiti regulator prvog oduzimanja. Kada je regulator oduzimanja uključen zadana točka namještanja se postavlja unutar Turboturna. Ukoliko operator treba podesiti tlak na desetbarskom sabirniku (10 bara), može se koristiti DCS za uspostavu nove zadane vrijednosti daljinskim uključivanjem točke namještanja regulatora. Normalni pogonski tlak je 9.0 barg. Pretpostavlja se da će se parna turbina normalno voditi u ovom modu.

#### *C. Regulacija drugog oduzimanja*

Kada je potrebna para za pogon vrelvodnog zagrijača, operator će ručno uključiti regulator drugog oduzimanja. Kada je regulator oduzimanja uključen zadana točka namještanja se postavlja unutar Turboturna. Ukoliko operator treba podesiti tlak na dvaipolbarskom (2.5 bara) sabirniku, može se koristiti DCS za uspostavu nove zadane vrijednosti daljinskim uključivanjem točke namještanja regulatora. Normalni pogonski tlak je 1.5 barg. Pretpostavlja se da će se parna turbina normalno voditi u ovom modu.

#### D. Regulacija ulaznog tlaka

Kada se parna turbina vodi regulacijom ulaznog tlaka, protutlak na kotlu za ispušne plinove KIP, tj. tlak u VT bubnju kotla će biti reguliran od strane parne turbine [12]. U ovom modu KIP se zaštićuje od naglih smanjenja parnog protoka. Kad je regulator uključen, točke namještanja ili zadane vrijednosti regulacijskih ventila na mimovodu prate postavne vrijednosti ulaznog tlaka tako da su 1.0 bar iznad ulaznog tlaka u turbinu kod vodećeg kotla, a 2.0 bara iznad ulaznog tlaka u turbinu kod zaostajućeg kotla.

Operator postrojenja je taj koji ručno uključuje regulator ulaznog tlaka. Kada je regulator ulaznog tlaka uključen zadana točka namještanja se postavlja unutar Turboturna. Ukoliko operator treba podesiti ulazni tlak, može koristiti DCS za uspostavu nove zadane vrijednosti daljinskim uključivanjem točke namještanja regulatora. Očekuje se da će točka namještanja visokog tlaka biti postavljena tako da održava tlak u VT bubnju kotla na ispušne plinove na normalnom pogonskom tlaku od 93.9 barg. Pretpostavlja se da će se parna turbina raditi u ovom modu kada oduzimanje nije potrebno.

Zbog interakcije različitih turbinskih regulacijskih modova gošpomenuti regulatori ne mogu djelovati istodobno. Unutarnja logika DCS isključuje mogućnost uključivanja regulatora koji ne mogu djelovati istovremeno. Tablica 3. definira pogonske modove regulatora koji mogu djelovati istodobno:

#### Ostali ručni odabiri operatora parne turbine

Pripuštanje NT pare se inicira ručno od strane operatora. Kad je jednom BZV NT pare K3MAA12AA001 otvoren, Turboturn kontrolira točku namještanja za tlak. Ovoj točki namještanja operator ne može pristupiti.

#### Vanjski signali za izvrštavanje parne turbine

Pored unutarnje zaštite parne turbine, parna turbina će izvršiti na sljedeće vanjske signale izvrštavanja:

- Izvrštavanje po visoko - visoka razina u bubnju kotla na ispušne plinove,
- Potisnuto tipkalo za havarijsko izvrštavanje parne turbine,
- Potisnuto tipkalo za prekid dovoda goriva plinskoj turbini.

### 9. ZAKLJUČNO O UPUŠTANJU I POGONU TURBINE

Kritični dio eksploatacijskog vijeka turbine su upuštanja. Iz perioda upuštanja turbine potječe većina kvarova i pojava niskocikličnog zamora povezanih s brojem startova te načinom pokretanja. Prije upuštanja parne turbine, operator mora odrediti koje startne uvjete / procedure mora slijediti, tj. da li se radi o vrućem, toplom ili hladnom upuštaju.

Iz dijagrama upuštanja vide se promjene pogonskih parametara u zavisnosti od vremena. Glavni čimbenici koji se dugoročno moraju pratiti pri upuštaju i pogonu radi postizanja što veće pouzdanosti, raspoloživosti, održavanja te dugotrajnosti stroja su temperaturna naprezanja i deformacije, vibracije i relativno izduženje. Uzrok temperaturnih naprezanja je nestacionarni pogon tj. ona nastaju pri upuštaju ili obustavi, pri promjeni opterećenja turbine ili pri promjeni parametara pare. Temperaturna naprezanja se pribrajaju naprezanjima uzrokovanih tlakom i centrifugalnom silom. Da bi se produžio životni vijek turbine potrebno je temperaturna naprezanja ograničiti, što se postiže strogim praćenjem gradjenata opterećivanja. Temperature kućišta turbine na najsigurniji način daje uvid u temperaturna naprezanja te su najvažniji kriterij za određivanje pozitivne brzine odvijanja promjene opterećenja ili brzine vrtnje. Temperature kućišta se mjere na ulaznom kućištu na osam mjesta na osnovi kojih mjerenja se računaju temperaturne razlike. Ukoliko temperaturne diferencije prekoračuju dozvoljene, može doći do trajne deformacije kućišta, pretjeranih naprezanja vijaka, propuštanja pare na razdjelnoj plohi itd.

Tablica 3. Pogonski modovi regulatora koji mogu djelovati istodobno

Regulacijsko-operativni modovi PT (Parne turbine)	Regulator	
	Regulacija Opterećenja	Regulacija ulaznog tlaka
Opterećenje	Uključeno	
Oduzimanje 1	X	X
Oduzimanje 2	X	X
Ulazni tlak		Uključeno
X - Dozvoljeno istovremeno djelovanje. Ručno se uključuje prema potrebi.		

Tablica 4. Uvjeti upuštanja parnoturbinskog agregata

Vrsta upuštanja parne turbine	Uvjeti za vrstu upuštanja
Vrući start	Temp. unutarnje stijenke ulaznog dijela kućišta 1. stupnja veća od 300°C
Topli start	Temp. unutarnje stijenke ulaznog dijela kućišta 1. stupnja veća 150°C, a manja od 300°C
Hladni start	Temp. unutarnje stijenke ulaznog dijela kućišta 1. stupnja manja od 150°C

Prevelike vibracije ukazuju na neispravnu geometriju stroja; pogrješke pri centriranju, loše uravnotežen rotor, iskrivljen rotor, dodirivanje dijelova rotora i statora, lom, ispadanje lopatica.

Prevelika relativna izduženja ili skraćivanja rotora u odnosu na stator nastaju pri nagloj promjeni protjecajne količine pare kroz protočni aparat turbine ili u slučaju toplinskih udara. Pri projektiranju turbine takve pojave su uzete u obzir te su dobivene vrijednosti za maksimalno produljenje rotora od 5 mm, a maksimalno skraćivanje od 3 mm.

Uz uobičajne kontrole prije starta (napon, instrumentni zrak, voda za hlađenje itd.) prvi koraci pri upuštanju su uljni sustav te stroj za okretanje K3MAK10. Kada se rotor ne okreće on se zbog vlastite težine savije. Progib je veći ukoliko je mirujući rotor vruć. Ta deformacija ne mora biti trajna i može se eliminirati radom stroja za okretanje. Nakon stroja za okretanje se pušta kondenzator otvaranjem zasuna na vodu za hlađenje. Kondenzatne pumpe startaju ako u sakupljaču kondenzata ima dovoljno kondenzata. Proizvodnja pare počinje u KIP-u nakon starta plinskih turbina, pri čemu sve armature za vanjska i unutarnja odvodnjavanja moraju biti otvorene. Startni ejektor se pušta u pogon otvaranjem ventila za radnu paru i ventila za odsisavanje zraka. On odmah počinje stvarati vakuum u radnom prostoru kondenzatora, a ostaje u pogonu samo u prvo vrijeme starta parne turbine, dok se ne postigne vakuum od 80%. Zatim se aktivira cjelokupni sustav brtvene pare, ali se prvo dovodi zaporna para pri čemu se ubrzava proces stvaranja vakuuma. Pri startu kombi postrojenja kotlovi na ispušne plinove (KIP) proizvode paru, ali parametri pare još nisu postignuti pa se, naravno, ta para ne može pustiti kroz turbinu. Dakle, za vrijeme starta rade mimovodi, a uvjeti za njihov rad su rashladna voda kroz kondenzator, pogon kondenzatnih pumpi uz regulaciju razine u sakupljaču kondenzata te pogon nekog od ejektora uz postignuti vakuum najmanje od 50%.

Regulacijski ventil tlaka za KIP1 u VT mimovodu K1MAN10AA101 (ispred uređaja za uvođenje mimovodne pare u kondenzator) ima zadatak, nakon što je para kroz mimovod uvedena u kondenzator, dizati tlak VT pare, tj. tlak u VT bubnju kotla na ispušne plinove.

Može se reći da u ovom periodu upuštanja regulacijski ventili K1MAN10AA101 za VT i K1MAN20AA101 za NT vode tlakove prema 90.8 bara i 10 bara uz dopuštene gradijente povećanja tlaka u VT i NT bubnju. Slično vrijedi za drugi kotao i njegov mimovod. Kada su tlakovi u VT i NT bubnju kotla 1 izjednačeni s tlakovima VT i NT bubnjeva kotla 2, mogu se otvarati ventili za pripuštanje pare u turbinu.

Za vrijeme automatskog starta parne turbine regulacijski sustav će odrediti gdje držati brzinu vrtnje da bi se kontroliralo naprezanje u parnoj turbini. DCS će razmotriti dozvole starta turbine pa ako one zadovoljavaju, startat će parnu turbinu:

- Slijed odvodnje glavne pare kompletan,
- Protok VT pare dovoljan za prazni hod turbine,
- Para koja se uvodi postigla pregrijanje više od 42°C,
- Zadovoljeni zahtjevi regulacijskog sustava na temperaturu i tlak pare,
- Temperatura pare iznad 350°C,
- Temperatura pare viša od temperature metala parne turbine.

U trenutku kad su ovi uvjeti zadovoljeni upravljački sustav počinje okretati turbinu te primjenjuje gradijent brzine koji se bazira na ograničenju naprezanja parne turbine. Turbina se upućuje postupnim otvaranjem regulacijskih ventila VT razvoda pri čemu para ubrzava okretanje rotora, a stroj za okretanje se automatski otkvači od rotora. Regulacija turbine će držati brzinu vrtnje na predodređenoj vrijednosti u slučaju da indeks naprezanja premašuje zadanu vrijednost. Upravljački sustav također kontrolira gradijent opterećivanja, a isto tako i automatsku odvodnju turbine. Regulacijski ventili VT razvoda K3MAA11AA101, 2, 3, 4 sada preuzimaju zadaću držanja tlaka u VT sustavu, a budući da K3MAA11AA101, 2, 3, 4 i dalje otvaraju, mimovodni regulacijski ventili K1MAN10AA101 i K1MAN20AA101 će zatvarati.

Povećanje brzine vrtnje je postupno do postizanja sinkrone brzine, a traje 60 minuta. Porast brzine vrtnje ima predah na brzini od 875 okretaja u minuti koji traje 10 minuta. U tom predahu posada treba kontrolirati vibracije, relativno istežanje te pokraj same turbine osluškivati da li je došlo do pojave neobičnih šumova. Treba primijetiti da se razina turbinskih vibracija može podignuti za vrijeme ubrzanja, tj. pri prolazu kroz kritične brzine vrtnje, a onda pri završetku prolaza pasti na normalnu razinu. Vršci tih povećanih razina vibracija moraju biti ispod točke za alarm, a nakon prolaza kroz kritične brzine vrtnje ionako će se smanjiti vrlo brzo.

U trenutku kad je zatvoren prekidač generatora, na vrijeme namještanja VT mimovodnog ventila se dodaje 1.0 bar tako da nova vrijednost postaje 32.7 bar pretlaka. Točka namještanja mimovoda je postavljena na novu vrijednost da bi se naprezanja parne turbine održala unutar zadanih granica. Vodeća plinska turbina se opterećuje na bazi brzine naprezanja parne turbine pri čemu se koristi temperatura turbinskog metala za izračun naprezanje. Gradijent opterećivanja je približno 1MW/min, ali će automatika već u prvom trenutku nakon sinkronizacije opteretiti generator s približno 5 MW da bi se osigurali od povratnog toka električne energije. Za vrijeme opterećivanja i dalje se povećavaju temperatura i tlak pare. Nominalni parametri se postižu prije postizanja punog opterećenja. Kad je postignuto opterećenje od 10 MW (15% od nazivne snage) zatvaraju se armature za odvodnjavanje. Regulacija 1. i 2. oduzimanja može se aktivirati pri opterećenju većem od 20 MW.

## LITERATURA

- [1] ABB "Parna turbina i kondenzator - priručnik za obuku pogonskog osoblja" ABB-Karlovac 2000.
- [2] Z.-ELČIĆ "Parne turbine" izdanje ABB-a, Karlovac 1995 .
- [3] B.-J.-HAMROCK "Fundamentals of fluid film Lubrication" McGraw-Hill, New York 1994.
- [4] P.-PROFOS "Die Regelung von Dampfanlagen" Springer-Verlag, Berlin, 1962 .
- [5] JOHN-F.-LEE "Theory and design of steam and gas turbines" McGraw - Hill Co. 1954.
- [6] A.-SCHWARZENBACH "Handbuchreihe Energie - Dampfturbinen" Verlag TUV Rheinland, Koln 1987.
- [7] W.-TRAUPEL "Thermische Turbomaschinen, Band 1" Springer - Verlag, Berlin, 1977.
- [8] Siemens "DCS Manual - TE-TO Zagreb CCCPP Project" Zagreb, 2000.

- [9] D.-JOHNSON, -R.-W.-MILLER, -T.-ASHLEY "SPEEDTRONIC MARK V gas turbine control system" GE - Schenectady, NY, 1995.
- [10] K.-W.-MAYERS "Plant Automation and operation TETO-K-SD-CJA-0001 for Combined cycle Power Project Zagreb" Parsons-Power, October 2001.
- [11] K.-W.-MAYERS "Plant Master Autosequencer TETO-K-SD-CJD-0001 for Combined cycle Power Project Zagreb" Parsons - Power, November 2001.
- [12] K.-C-McKENRICK "HP and LP Steam system - TETO-K-SD-LBA-0001", Parsons - Power, May 2000.

### STEAM TURBINE IN COGENERATION PLANT TE-TO ZAGREB

Condensation turbine without preheating produced by ABB-Karlovac was built into the cogeneration plant TE-TO Zagreb. The station consists of two MS6001FA gas turbines with generators and two boilers using exhausted gases, a single gas turbine with one steam conductor. Steam needed for the turbine is produced in the boiler on exhausted gases using exhausted heat produced in a gas turbine. The plant is going to produce 200 MW of electric energy and steam for network heating and industrial steam. Further in the text there is a technical description of the steam turbine as well as project and technical characteristics. Described are oil in steam-turbine facility, equipment for turbine protection, gasket steam, draining and condensation. Within the description of the steam-turbine facility as many as possible technical data are given. Special attention was given to the control and management system of the entire cogeneration plant DCS, and its relation to MarkoV, i.e. gas turbine control system and to Turboturn, i.e. steam turbine control system. Operation and control of steam turbine using DCS and Turboturn is evaluated through start up, normal operation and non-operation of the steam turbine.

### DIE DAMPFTURBINE In der KOMBI-mit ERZEUGUNG-SANLAGE DES WÄRMEKRAFTWERKES ZAGREB

Die Kondensationsturbine ohne Zwischenüberhitzung, erzeugt von ABB/Karlovac (Kroatien) ist in die Kombi-Mit-erzeugungsanlage des Wärmekraftwerkes Zagreb eingebaut. Diese Anlage besteht aus zwei Gasturbinen vom Typ MS6001FA mit Generatoren, sowie zwei Abgaskesseln, und der Dampfturbine mit einem Dampfzulauf.

Der Dampf für die Dampfturbine wird im Abgaswärme der Gasturbine nutzenden Kessel erzeugt. Kombi-erzeugende Anlage wird 200 MW elektrischer Energie und Dampf für das Wärmenetz sowie für die Industrie erzeugen. Weiters werden im Text die technische Beschreibung und die Projekt- und Konstruktions-eigenschaften dieser Dampfturbine gegeben. Ebenfalls sind beschrieben worden: das Öl der Dampfturbinenanlage, die Schutz Einrichtung der Turbine, der Labyrinthdichtungsdampf, die Entwässerung und die Kondensation. In der Beschreibung der Dampfturbinenanlage war man bestrebt so viele technische Grundangaben zu unterbreiten wie nur möglich. Besondere Aufmerksamkeit war dem DCS d.h. dem Steuerungssatz der ganzen Kombierzeugungsanlage gewidmet, um gegenüber dem DCS die Aufgaben vom Mark V -dem Steuerungssatz der Gasturbine- und danach den Turboturm -den Steuerungssatz der Dampfturbine- zu betonen. Der Betrieb und die Steuerung der Dampfturbine über dem DCS und dem Turboturm sind mittels Anweisungen bezüglich Inbetriebnahme, Normalbetrieb und Einstellen der Dampfturbine bearbeitet worden.

Naslov pisca:

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

Uredništvo primilo rukopis:  
2002-08-11.