

# KOTAO NA ISPUŠNE PLINOVE U KOMBIKOGENERACIJSKOM POSTROJENJU TE-TO ZAGREB

Miroslav Š a n d e r, Zagreb

UDK 621.18:621.311.22  
PREGLEDNI ČLANAK

Kombikogeneracijsko postrojenje TE -TO Zagreb se sastoji od dvije plinske turbine i jedne kondenzacijske turbine bez međupregrijanja. Postrojenje se sastoji od mehanički integrirane, višeosovinske kombikogeneracijske opreme za proizvodnju električne energije projektirane za dnevno upuštanje i obustavu uz bazno opterećenje ili djelomično opterećenje. Postrojenje se sastoji od dvije MS6001FA plinske turbine s generatorima te dva kotla na ispušne plinove, jedne parne turbine s jednim privodom pare, vodom hlađenog kondenzatora na ispuhu parne turbine. 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.

**Ključne riječi:** TE-TO Zagreb, kombikogeneracijsko postrojenje, kotao, ispušni plinovi.

## 1. UVODNI OPIS KOTLA NA ISPUŠNE PLINOVE

Vrući ispušni plinovi iz plinske turbine MS6001F ( 70 MW ) struje kroz difuzor direktno u kotao na ispušne plinove (KIP) kroz horizontalni ulazni kanal (1). Ispušni plinovi uvedeni u KIP se jednoliko raspodjeljuju te skreću prema gore. Vertikalno vrući plin prolazi preko horizontalno posloženih površina za prijelaz topline gdje se hladi. Potom ohlađeni ispušni plin ulazi u gornji prijelazni dio kotla na ispušne plinove koji ga vodi kroz zaklopku dimnjaka (zaštita od kiše) u dimnjak (slika 1). Toplina oduzeta od vrućeg plina se koristi za:

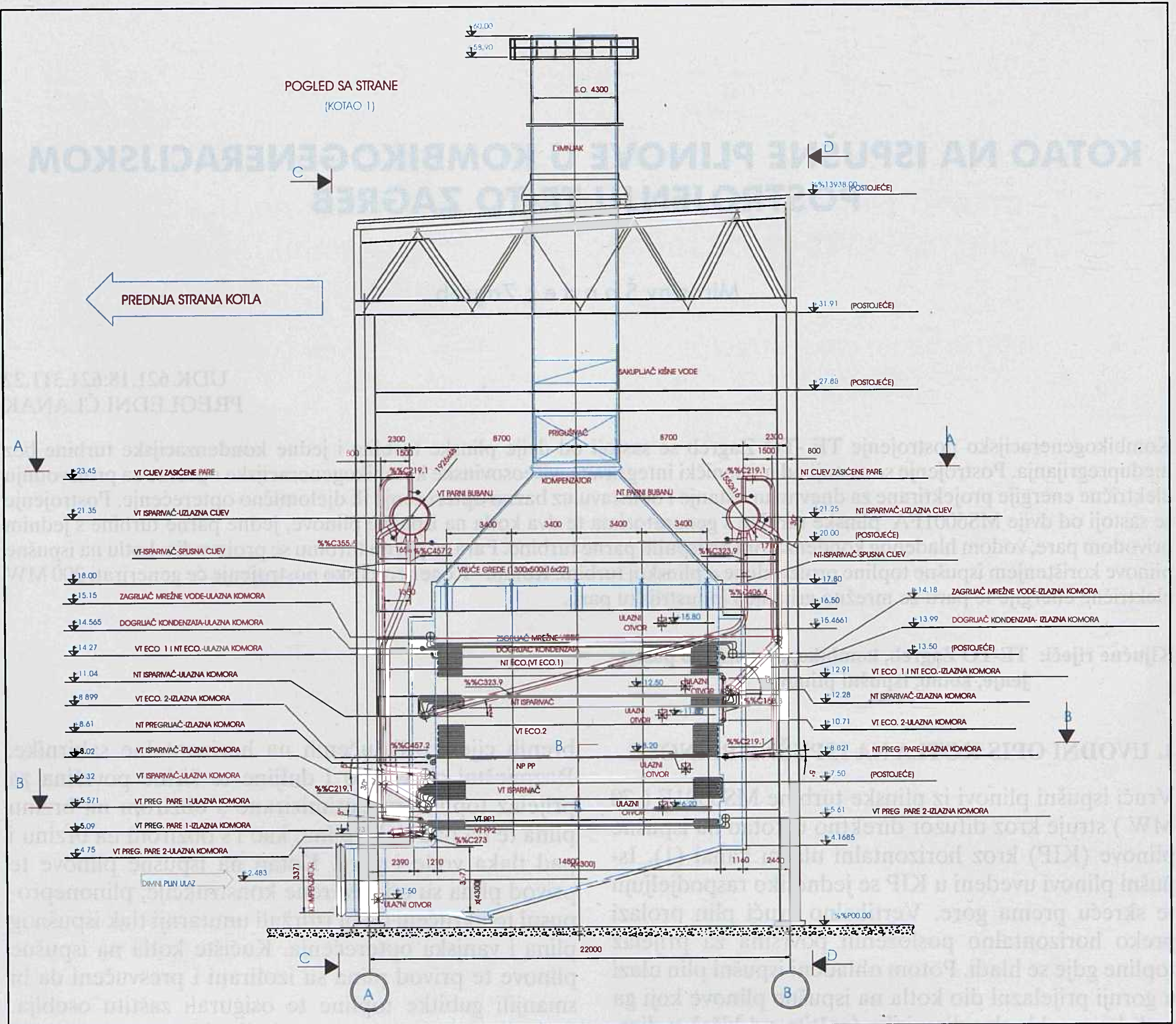
- Pregrijavanje zasićene pare od temperature zasićenja u bubnju do potrebne temperature pregrijanja pare. Ovaj prijelaz topline se zbiva u sekcijama pregrijača.
- Isparavanje napojne vode da bi se dobila zasićena para. Ovaj prijelaz topline se zbiva u sekcijama isparivača koji su povezani s odgovarajućim bubnjevima (prirodna cirkulacija).
- Grijanje napojne vode do temperature upravo ispod temperature zasićenja u odgovarajućim bubnjevima. Ovaj prijelaz topline se zbiva u sekcijama ekonomajzera.
- Predgrijavanje ili dogrijavanje kondenzatne vode do temperature koja je potrebna u otplinjaču.
- Predgrijavanje vode za sustav mrežnog ili vrelovodnog predgrijanja do uvjeta za vrelovodni grijač (ili mrežni grijač).

Sve površine za prijelaz topline su složene u tvornički predfabriciranim modulima. Moduli se sastoje od ore-

brenih cijevi priključenih na horizontalne sabirnike. Razmještaj cijevi kao i duljine te širine površina za prijelaz topline su optimizirane s obzirom na brzinu plina te na pad tlaka plina, kao i s obzirom na brzinu i pad tlaka vode i pare. Kotao na ispušne plinove te privod plina su od zavarene konstrukcije, plinonepropusni te ukrućeni da bi izdržali unutarnji tlak ispušnog plina i vanjska opterećenja. Kućište kotla na ispušne plinove te privod plina su izolirani i presvućeni da bi smanjili gubitke topline te osigurali zaštitu osoblja. Izolacija i presvlaka su primijenjeni na unutarnjoj strani. Kućište kotla na ispušne plinove uključujući ulazne i izlazne vodove je projektirano tako da izdrži toplinsko širenje te unutarnji tlak plina i temperaturu. Kućište se sastoji od unutarnje izolacije, podstave i vanjskog kućišta. Penetrirajući dijelovi kućišta kao što su cijevi u kojima se diže voda te cijevi napojne vode su u potpunosti zabrtvljeni s pokrovom ekspanzijskog tipa ili brtvilom. Postranične stijenke kućišta imaju pristupna vrata za održavanje (2). Parni bubanj te sustav cjevovoda na kotlu su također izolirani i presvućeni u skladu s projektnim zahtjevima. Sustav platformi, stepeništa, penjalica te pristupnih vrata je ugrađen radi pristupa za preglede i održavanje ventila i instrumentacije.

## 2. PROJEKTNO-KONSTRUKCIJSKE KARAKTERISTIKE KOTLA

Kotao na ispušne plinove (KIP) će koristiti toplinu sadržanu u ispušnom plinu plinske turbine da bi se postigli pogonski uvjeti pri loženju plinske turbine zemnim plinom.



Slika 1. Kotao na ispušne plinove – pogled sa strane

Tablica 1. Pogonski uvjeti kotla

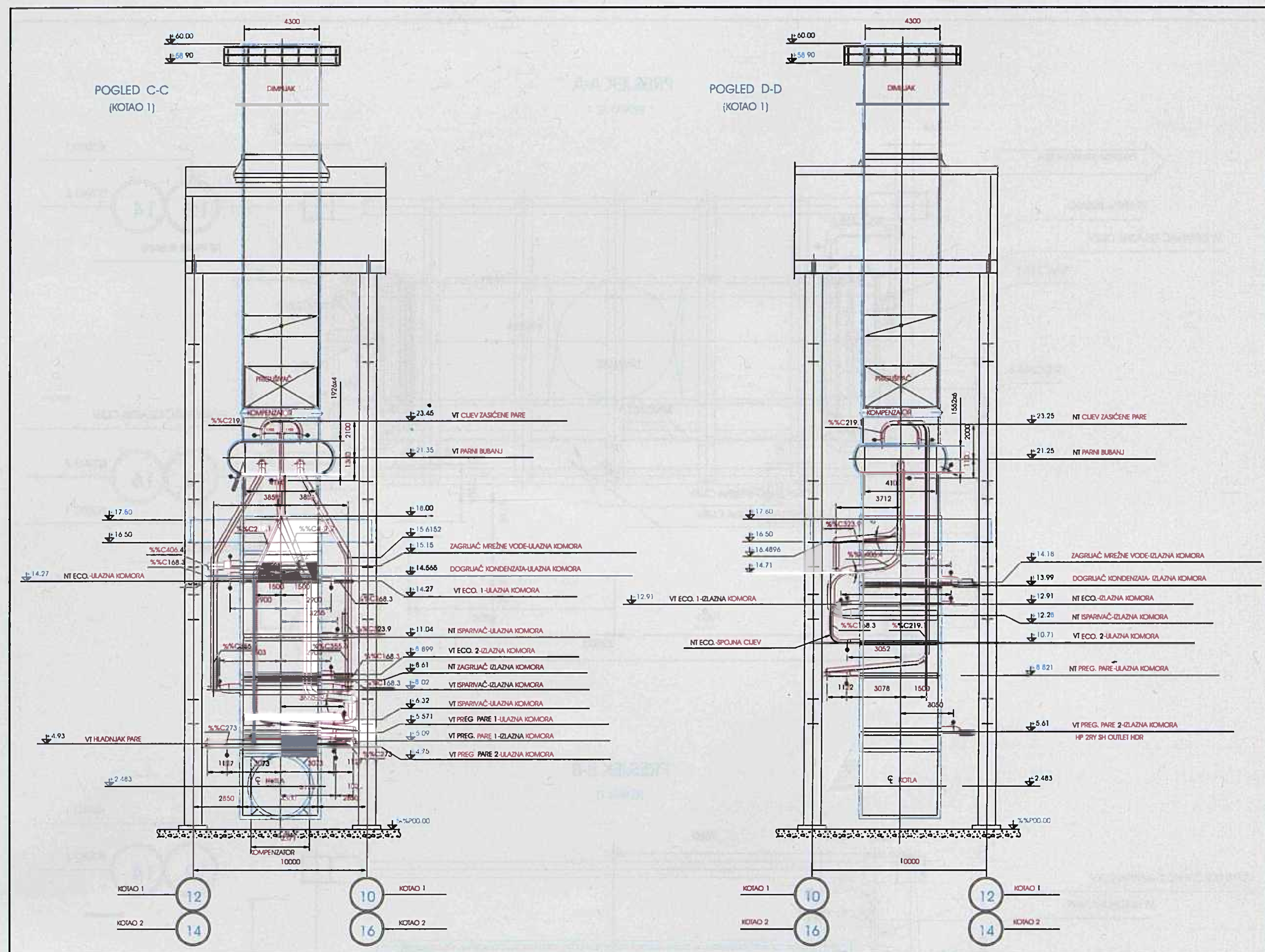
	Visoki tlak	Niski tlak
Protok pare (kg/s) / (t/h)	30.19 / 108.7	3.75 / 13.5
Temperatura pare (°C)	539.6	285.2
Tlak pare (bar)	94.9	10.3
Ulazna temp. ekonomajzera	107.6 °C	109.1 °C
Tlak napojne vode	110 bar	19 bar
Ispuštanje (odmuljivanje)	0 %	0 %

Tablica 2. Pogonski uvjeti na ispuhu iz plinske turbine

Uvjeti	Jedinice	Loženje prirodnim plinom
Gorivo		prirodni plin (zemni plin)
Okolna temperatura	°C	15
Relativna vlažnost	%	60
Ispušna temperatura plinske turbine	°C	593.2
Ispušni protok plinske turbine	(kg/s) / (t/h)	203.94 / 734.2
Ispušna temperatura iz kotla	°C	96 (u režimu 1) 106 (u režimu 2)
Ispušna analiza		
Ar	vol %	0.90
N2	vol %	74.54
O2	vol %	12.80
CO2	vol %	3.64
H2O	vol %	8.12

**Ekonomajzeri**

VT i NT ekonomajzeri su horizontalne cijevi, spiralno orebrene, protustrujnog protočnog tipa. Iza prvog stupnja napojne pumpe odvaja se napojna voda prema NT ekonomajzeru (ili zagrijaču napojne vode), a izlaz napojne pumpe dobavlja vodu prema VT ekonomajzeru 1 iza kojeg dolazi na VT ekonomajzer 2.



Slika 2. Kotao na ispušne plinove – pogled na kotao prema VT bubnju i NT bubnju

### Isparivači (uključujući parne bubnjeve)

VT i NT isparivači su horizontalne cijevi, spiralno orebene, paralelnog protoka. Krug cirkulacije ili optoka vode se sastoji od parnog bubnja, silaznih cijevi, dobavnih cijevi, isparivačkih i uzlaznih cijevi.

Osnovni sustav funkcionira kako slijedi: Napojna voda iz parnog bubnja se vodi u ulazni sabirnik isparivača preko silaznih cijevi. Miješavina vode i pare se generira u horizontalnim isparivačima prijelazom topline te struji od isparivačkog izlaznog sabirnika prema parnom bubnju kroz uzlazne cijevi.

### Bubnjevi

Bubanj ima svrhu izdvajanja zasićene pare (3). Bubnjevi su zavarene izvedbe, a uključuju cijevne priključke na koje su navareni prestrujni, parni, odmuljni, odzračni te dozirni cjevovodi, ulazni otvor za čovjeka, priključke za napojni vod, kontinuirano odso-ljavanje i preljev, priključke za vodokaze te priključke za mjernu i regulacijsku tehniku. Mješavina vode i pare ulazi u bubanj kroz uzlazne cijevi te se sakuplja u komori podijeljenoj s vertikalnim limovima za usmjeravanje. Primarna separacija vode i pare se obavlja

gravitacijom. Mokra para se diže te prolazi kroz primarne odvajače pare, onda kroz odvajače pare koji su montirani na vrhu bubnja gdje se posljednja vlažna para izdvaja.

### Pregrijači

Pregrijačke sekcije su horizontalne cijevi, spiralno orebene, protustrujnog protoka te konvekcijskog tipa. Pregrijačke sekcije su locirane u najvišoj temperaturnoj zoni plina blizu ulaza strujne staze vrućeg plina u kotao na ispušne plinove. Materijali su odabrani tako da zadovolje zahtjeve pogonskih uvjeta. Regulacija temperature pregrijane pare u pregrijaču kotla na ispušne plinove je pomoću ubrizgavanja napojne vode (sl. 3), locirana između primarnog i sekundarnog pregrijača.

### Predgrijači (ili dogrijači) kondenzata

Predgrijači kondenzata su horizontalne cijevi, spiralno orebene, protustrujnog protoka te konvekcijskog tipa. Predgrijač kondenzata je smješten u niskotemperaturnoj zoni ispušnih plinova kotla na ispušne plinove.



## Dimovod i dimnjak

Dimnjak je projektiran tako da može izdržati vjetrove koji se mogu pojaviti u zagrebačkom području kao i zemljotrese. Također konstrukcija dimnjaka ne dozvoljava pojavu rezonantnih vibracija preko širokog raspona protoka dimnih plinova te brzine vjetra.

## Zaklopka ili zapornica dimnjaka

Po jedna zaklopka ili zapornica dimnjaka kotla na ispušne plinove s dva motora se postavlja na svaki kotao. Zaklopka dimnjaka kotla na ispušne plinove mora biti otvorena za vrijeme pogona da bi omogućila evakuaciju ispušnih plinova iz KIP-a za vrijeme pogona kombikogeneracijskog procesa. Međutim, zapornica dimnjaka će biti potpuno zatvorena pod slijedećim uvjetima:

- (1) Zapornica dimnjaka je potpuno zatvorena da bi spriječila prodor kišne vode u kotao na ispušne plinove za vrijeme radova održavanja na KIP-u ili na plinskim turbinama.
- (2) Kad se kotao na ispušne plinove drži u vrućim/toplim uvjetima za vrijeme vrućih/toplih perioda obustave.

Sigurnosni ventili, smješteni na parnim bubnjevima te na izlaznim cijevima pregrijača su namješteni za otvaranje u slijedu. Primarna svrha sigurnosnih ventila je spriječiti preveliki tlak u bubnjevima kotla na ispušne plinove te pregrijaču. Na ulazima i izlazima sigurnosnih ventila ne smije biti nikakvih prepreka. Pregrijač se štiti tako da su pregrijački sigurnosni ventili namješteni da otvaraju prije sigurnosnih ventila na parnom bubnju. Sigurnosni ventil na VT pregrijaču otvara na 102 bara, dok dva sigurnosna ventila na VT bubnju otvaraju na 105 bara i 108 bara. Na NT pregrijaču sigurnosni ventil otvara na 12.8 bara, dok dva sigurnosna ventila na NT bubnju otvaraju na 14.5 bara i 16.2 bara.

Odzračivanja, odvodnjavanja i sustav odsoljavanja KIP-a obuhvaćaju po jedan spremnik za odsoljavanja ili odmuljivanje za svaki kotao na ispušne plinove s priključnim cjevovodima, motorom ili zrakom pogonjene ventile, ručne ventile odvodnjavanja, cijevi za odzračivanje spremnika, cijevi za odvodnju te nužnu instrumentaciju. Primarna svrha odzračivanja, odvodnjavanja i sustava odmuljivanja KIP-a je odzračiti u atmosferu parni sustav KIP-a i bubnjeva KIP-a te usmjeriti pridruženu odvodnju i odsoljavanje (ili odmuljivanje) prema spremniku za odmuljivanje za vrijeme starta, normalnog pogona te obustave.

## Sustav napojne vode

Za dobavu vode u kotao na ispušne plinove pod određenim tlakom predviđene su napojne pumpe s elektromotornim pogonom. S obzirom na dvije razine tlaka u kotlu predviđena su i dva tlačna sustava, tj. VT i NT s time da se oba tlaka ostvaruju na istoj pumpi. Kotlovski sustav sadržava četiri pumpe spojene na zajednički kolektor, a svaka pumpa ima kapacitet od 50 %

ukupne potrebne količine napojne vode za oba kotla kombikogeneracijskog postrojenja TE-TO. Voda iz napojnog spremnika dotječe na napojne pumpe, a od njih se dobavlja u odgovarajući kotlovski zagrijač vode. Iz VT napojnog cjevovoda dio vode se oduzima za ustrcavanje u hladnjak pare iza prve sekcije VT pregrijača radi održavanja konstantne temperature svježe pare na 539,6 °C, a dio napojne vode za rashladni sustav redukcijske stanice tlaka 90/10 bar u sklopu postrojenja. Pumpa je preko elastične spojke spojena na pogonski elektromotor. Napojne pumpe su opremljene svim potrebnim uređajima za zaštitu uljnog sustava podmazivanja, rotora, ležajeva, protoka vode, kavitacije i ostalog što osigurava pouzdan rad u svim pogonskim uvjetima. Pumpe su također toplinski i zvučno izolirane kako bi se buka održala u dozvoljenim granicama.

## 3. PROBLEMATIKA VODE I PARE KIP-a

Pri kondicioniranju kotlovske napojne vode tvrdoća vode može prouzročiti formiranje kamenca na isparivačkim površinama te suvišni mulj ako ona nije odgovarajuće tretirana. Tvrdoća vode također može prouzročiti taloženje kamenca u grijačima napojne vode ili ekonomajzerima te u cjevovodima napojne vode. Tvrdoća vode je suma kalcija i magnezija u vode. Tvrdoća vode se još izražava kao tvrdoća kalcija i tvrdoća magnezija. Da bi se tvrdoća podijelila na ovaj način nužno je odrediti kalcij te ukupnu tvrdoću. Razlika je onda magnezijaska tvrdoća. Tvrdoća vode se primjećuje po uništavanju sapunice i formiranju kamenca (5).

Stvaranje kamenca i muljnog taloga na površinama kotla je najozbiljniji problem koji se susreće kod generiranja pare. Cilj većine vanjskih procesa pripreme vode je odstraniti iz kotlovske napojne vode tvari koje stvaraju te naslage. Primarni uzrok formiranja kamenca je smanjena razina topivosti povećanjem temperature. Soli koje stvaraju naslagu manje su topive s višim temperaturama kotla. Nijedna vanjska metoda toplinske i kemijske pripreme vode nema tako visoku temperaturu kao što je temperatura kotlovske vode. Stoga kako se temperatura napojne vode diže prema operativnim temperaturama i operativnim koncentracijama kotlovske vode, topivost soli koje stvaraju kamenac se premašuje pa one kristaliziraju iz otopine kao kamenac na kotlovskim površinama prijenosa topline. Kotlovski kamenac stvara problem pri pogonu kotla jer naslage kamenca dovode do slabijeg vođenja topline. Prisutstvo kamenca je ekvivalentno širenju tankog filma izolacije na putu prijelaza topline od visokotemperaturnih ispušnih plinova prema kotlovskoj vodi. Prisutnost toplinski izolirajućeg materijala degradira prijelaz topline i uzrokuje gubitak u stupnju djelovanja kotla. Temperatura ispušnih plinova u dimnjaku se može povećati jer kotao apsorbira manje topline. Viša temperatura plinova na izlazu iz dimnjaka znači gubitak toplinske energije koju se trebale preuzeti izmjenjivačke cijevi u kotlu.



## Kalcij i magnezij

Kalcijeve i magnezijeve soli su najčešći izvor poteškoća s kotlovskim kamenjem. Unutarnja kemijska priprema se koristi da bi spriječila taloženje i formiranje kamenca iz ostatne tvrdoće tj. koncentracija preostalih u napojnoj vodi te da bi održala toplinske površine kotla čistim. Najčešći izvor kamenca je raspadanje kalcijevog bikarbonata te stvaranje kalcijevog karbonata pod utjecajem topline. Izlučivanje kalcijevog karbonata se redovito događa da bi potom formirao kamenac tamo gdje kotlovska voda sadrži znatne količine kalcijevog bikarbonata. Opisano djelovanje uzrokuje formiranje taloga na napojnim cijevima i ekonomajzeru. Kalcijev fosfat i kalcijev silikat se također često talože kao kotlovski kamenac. Kalcijev silikat se može oformiti kombinacijom iz kalcijevog silikata koji je prirodno prisutan ili kao rezultat uporabe natrijevog silikata prilikom unutarnje pripreme.

## Krutine

Otopljene krutine se ne mogu odstraniti filtracijom. Lebdeće krutine su one koje nisu u pravoj otopini pa se mogu odstraniti filtracijom. Ukupne krutine su ukupna suma lebdećih i otopljenih krutina. Krutine u kotlovskoj vodi mogu biti magnetske i nemagnetske. Podrijetlo otopljenih krutina u kotlovskoj vodi leži u otapajućoj akciji vode u kontaktu s mineralima iz zemlje ili kotlovskim komponentama. Lebdeće krutine su male čestice netopive materije, mehanički uvedene turbulentnim djelovanjem vode na krutine ili kotlovske komponente. Lebdeće krutine su zamjetljive u kotlovskoj vodi. Te krutine mogu po svojoj naravi biti korozivne ili sudjelovati u formiranju kamenca na kotlovskim površinama prijelaza topline. Iz tih razloga lebdeće krutine se moraju eliminirati iz vode. Otopljene krutine su obično sulfati, bikarbonati, zatim kloridi kalcija, magnezija i natrija.

## Ulje

Ulje se obično ne može naći u kotlovskoj napojnoj vodi, ono se može uvesti u napojnu vodu propuštanjem uljnih brtvi na pumpi ili parnoj turbini. Ulje se može također uvući u opremu parnog ciklusa tijekom aktivnosti održavanja. Ulje pluta na vodi. Jasno je da se samo mala količina ulja prisutna u parnom bubnju može odstraniti odsoljivanjem ili odmuljivanjem. Praktično je nemoguće dobiti reprezentativni uzorak kotlovske vode za testiranje sadržaja ulja. Uzorci koji će se koristiti za testiranje sadržaja ulja mogu se uzeti iz kondenzata ili kotlovske napojne vode. Neki od najtežih pogonskih problema na kotlu poput uvijanja, puknuća, lokalnog pregrijavanja, pjenjenja, naglog ključanja te formiranje kamenca mogu se pripisati prisutnosti ulja u kotlovskoj napojnoj vodi. Pregrijavanja kotlovskih grijačkih površina zbog ulja se događa jer ulje formira

tanki film na površini. Uljni film djeluje kao izolator koji sprječava prijelaz topline. Sprječavanje prijelaza topline dovodi do povećanja temperature metala cijevi. Složena ulja mogu prouzročiti pjenjenje kotlovske vode. Nečista para koja se dobiva iz takve vode može zaprljati cijevi pregrijača, turbinske lopatice, začepiti cjevčice te odsjeći ili zaprljati drugu opremu gdje se događa prijelaz topline. Ulje se kotlovskoj vodi mora držati na apsolutnom minimumu. Nijedna metoda unutarnjeg kondicioniranja se ne može uspješno uhvatiti ukoštac s problemom ulja što znači da se ulje mora odstraniti prije ulaska u kotao. Različite vrste opreme su na raspolaganju za odstranjivanje ulja, uključujući mehaničke i kemijske metode. Mehaničke metode se mogu primijeniti na paru i kondenzat, dok su kemijske metode ograničene samo na kondenzat.

## Čistoća pare ili pojava odnošenja "Carry - Over"

Para koja izlazi iz kotla može nositi kapljice vode (mehaničko odnošenje ili Carry - Over ) ili soli kotla s parom. Zbroj odnošenja soli i odnošenja kapljica vode s parom je ukupno odnošenje ili "Carry-Over". Kako kotlovska voda prelazi u paru, formiraju se talozi u pregrijačima, nepovratnim ventilima, cjevovodima ili u parnoj turbini. Talozima djeluju kao izolatori na površinama prijelaza topline čime se diže temperatura metala cijevi. Stvaranjem taloga na turbinskim regulacijskim ventilima nastaju ozbiljni gubici u stupnju djelovanja turbine te mogu dovesti do havarije. Najčešći uzrok "Carryovera" ili odnošenja se može naći u nepravilnom pogonu što je povezano s pjenjenjem ili potiskivanjem ( priming ) te s prevelikom razinom vode u bubnju. U svim ovim slučajevima prevelike količine vode ulaze u parni separator te smanjuju njegovu efikasnost. Priming (potiskivanje) i pjenjenje su uvijek nepoželjni te mogu biti opasni, a njihov uzrok se uvijek mora istražiti da bi se poduzela korektivna akcija. Ako se događa "Carryover" zbog nekompletne separacije pare ili ohlađivanja nečistom parom, pregrijač će sigurno biti zaprljan i oštećen. Povećanje pada tlaka preko pregrijača ili gubitak cijevi na pregrijaču su siguran znak mogućeg odnošenja ili Carryovera.

## Pjenjenje i potiskivanje (priming)

Pjenjenje je stvaranje velike količine pjene ili mjehura u kotlu zbog nemogućnosti parnih mjehura da srašćuju i da nestaju. Nastala para može potpuno ispuniti prostor bubnja ili može biti relativno manje dubine u bubnju. U oba slučaja pjenjenje uzrokuje znatno obuhvaćanje vode pa para po svom sadržaju postaje mokra. Što je para mokrija to ona vuče više krutina prema pregrijačima. Pjenjenje se događa zbog previše otopljenih krutina ili lebdećih krutina u vodi. Nagla ili dramatična promjena opterećenja također može dovesti do pjenjenja. Potiskivanje karakterizira napuštanje velikih količina vode iz bubnja s parom te obično s prisutnim muljem što stvara probleme na

cjevovodima pare i u parnoj turbini. Potiskivanje je na-  
silnije nego pjenjenje. Ono je slično naglom ključanju u  
otvorenom loncu. Događa se istodobno s pjenjenjem.  
Visoke razine vode u bubnju potiču potiskivanje.

#### 4. PRIPREMA VODE, DOZIRANJE KEMIKALIJA I UZIMANJE UZORAKA

Funkcija pripreme vode uz kemijsku kontrolu je  
sprječavanje pogonskih problema KIP-a, te da se ke-  
mijski pripremi napojna voda za ulazak u bubnjeve  
KIP-a, a da bi se minimizirala korozija unutar parnog  
procesa.

Za pripremu napojne vode koristi se povratni kondenzat  
te dodatna demineralizirana voda. Kvaliteta demineralizirane  
vode će zadovoljavati zahtjevima iz M407G u VGB:

Tablica 3. Kvaliteta demineralizirane vode

vodljivost (pri 25 °C)	≤ 0.08 μ S / cm
sadržaj Si O <sub>2</sub>	≤ 0.010 mg / l
sadržaj Na	≤ 0.005 mg / l
otopljeni organski ugljik	≤ 0.2 mg / l

Tablica 4. Kvaliteta napojne vode i kondenzata prema VGB  
standardu

vodljivost (iza kationskog izmjenjivača)	≤ 0.2 μ S / cm
pH	> 9
sadržaj kisika (O <sub>2</sub> )	≤ 0.02 mg / kg
sadržaj željeza (Fe)	≤ 0.02 mg / kg
sadržaj bakra (Cu)	≤ 0.003 mg / kg
sadržaj Si O <sub>2</sub>	≤ 0.02 mg / kg

Tablica 5. Kotlovska voda

pH	> 9.5 - 10.5
vodljivost (iza kationskog izmjenjivača)	< 150 μ S / cm
sadržaj P O <sub>4</sub>	< 6 mg / l
sadržaj Si O <sub>2</sub>	< 1.8 mg / l

Tablica 6. Kvaliteta pare

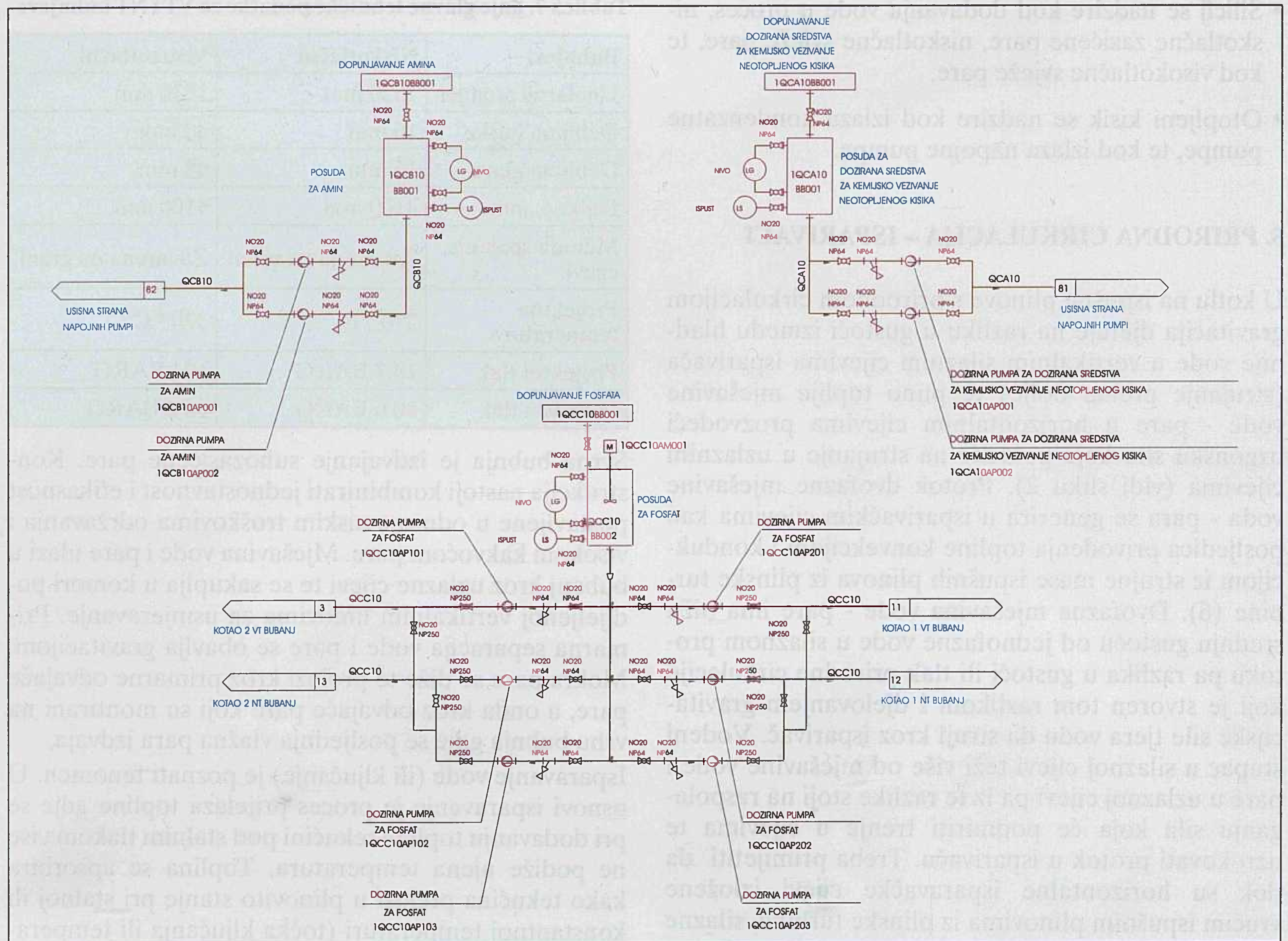
vodljivost (iza kationskog izmjenjivača)	≤ 0.2 μ S / cm
sadržaj Si O <sub>2</sub>	< 0.02 mg / kg
sadržaj željeza (Fe)	≤ 0.02 mg / kg
sadržaj bakra (Cu)	≤ 0.003 mg / kg
sadržaj Na	≤ 0.01 mg / kg

Prevelika vrijednost pH, tj. kiselost može prouzročiti  
kemijsko razaranje metala kotla te gubitak metala.  
Korozija je opća pojava na površini kotla ali lokalizirana  
u napadu. Jedna od mjera sprječavanja korozije je  
neutralizacija kiselosti pomoću lužnatih spojeva. U pri-  
premi kotlovske vode, taj način se često koristi za te  
svrhe. Izuzev specijalnih slučajeva korozijskih napada  
koji uključuju pogon kotla pod visokim tlakom,  
iskustvo je pokazalo da je poželjno održavati povišenu  
pH vrijednost kotlovske vode. Povišena pH vrijednost  
onemogućuje napad na metal kotla, a također održava  
minimalni alkalni karakter kotlovske vode te izluči-  
vanje soli koje nastaju pri unutarnjoj pripremi.

Toplinska priprema napojne vode je sastavni dio pri-  
preme vode na ovom kotlu. Pod pojmom "toplinska pri-  
prema napojne vode" podrazumijeva se proces  
zagrijavanja smjese povratnog kondenzata i dodatne  
demineralizirane vode na temperaturu zasićenja uz  
odgovarajući tlak (uglavnom veći od atmosferskog), a  
radi otplinjavanja svih plinova otopljenih u vodi, odnosno  
kondenzatu, a u prvom redu uzročnika korozije kisika  
(O<sub>2</sub>) i ugljikovih (IV)-oksida (CO<sub>2</sub>). Smjesa kondenzata i  
dodatne vode preko predgrijača kondenzata dovodi se u  
toplinski otplinjač u kojem se raspršuje preko niza  
ugrađenih kaskada. Istodobno se u toplinski otplinjač  
vraća topla voda iz zagrijača plina i iz vrelovodnog zagri-  
jača. Za zagrijavanje na radnu temperaturu u otplinjač se  
uvodi niskotlačna para iz niskotlačnog oduzimanja parne  
turbine ili niskotlačnog razdjelnika pare. Toplinski ot-  
plinjač je postavljen na napojni spremnik. Opremljen je  
potrebim priključcima za dovod mješavine kondenzata i  
dodatne vode (regulacija dotoka izvedena je prema  
održavanju stalne razine u napojnom spremniku), odvo-  
dom otparka, sigurnosnim ventilom, te mjernim instru-  
mentima (manometar i termometar).

Vodena para za pogon turbina (kondenzacijskih i pro-  
tutlačnih) mora zadovoljiti određene uvjete kvalitete.  
Ukoliko se niskotlačna para (oduzimana iz turbine)  
koristi kao tehnološka para u industriji, treba voditi  
računa i o specifičnim zahtjevima te industrije. Pri-  
premljena napojna voda zagrijana je na 109 °C, iz nje su  
fizikalnim putem odstranjeni plinovi (O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>). No, ta  
voda još uvijek ne zadovoljava propisane uvjete  
kakvoće. Stoga se vrši kondicioniranje doziranjem ke-  
mikalija za alkaliziranje i kemijsko vezanje ostatnog  
kisika. Na TE-TO kemijski regulacijski sustav se sastoji  
od spremnika za miješanje, volumetrijskih pumpi s  
pridruženim ventilima, cjevovoda, instrumentacije i  
regulacije. Kondicioniranje napojne vode vrši se  
hlapivim alkalnim sredstvima - aminima i eliminoxom,  
tj. odstranjivačem kisika. Dok amini podižu pH-  
vrijednost, eliminox veže ostatni kisik i ujedno podiže  
pH-vrijednost napojne vode. Kako su ovo hlapiva sred-  
stva doziranje se vrši u usisne vodove napojnih pumpi, s  
tim da je rad dozirnih pumpi u sprezi s radom napojnih  
pumpi. Amin se ubacuje u usisnu stranu napojne pumpe  
da bi održao pH vrijednost na željenoj vrijednosti od 9.0  
do 9.3 te da bi općenito minimizirao koroziju.





Slika 6. Shema doziranja kemikalija

### Priprema bubnja

Kotlovsku vodu potrebno je kondicionirati doziranjem natrijevog fosfata  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  u bubanj kotla. Predviđeno je zasebno doziranje u VT bubanj i NT bubanj, a svaki od ukupno 6 uređaja je kapacitiran za 100%tni učin. Dozirni uređaj uključuje spremnik pripravljene kemikalije za doziranje (potrebne koncentracije) s ručnom miješalicom, dozirnu pumpu s usisnom košarom na usisnoj cijevi i preljevnim ventilom, te svu potrebnu mjerno-regulacijsku i sigurnosnu armaturu, za manualno upravljanje uređajem. Uređaj je tako koncipiran da su ispunjeni svi uvjeti u pogledu zaštite pogonskog osoblja. Uređaj je pakete izvedbe. Fosfati se injektiraju direktno u bubanj. Ubacivanje fosfata se automatski kontrolira prilagođavanjem hoda pumpi injektiranja te s povratnim signalom iz sustava analize koji mjeri pH vrijednost bubnjeva. Fosfati idu u kombinaciju s tvrdoćom vode te daju laki mulj koji se izlučuje i odstranjuje iz bubnja odmuljivanjem.

### Sustav za analizu vode i uzimanje uzoraka

Funkcija sustava za analizu vode i uzimanje uzoraka je kontinuirani monitoring parnog procesa. Funkcija sustava je prikupljanje, priprema i analiza parnih i

vodenih tokova iz KIP-a, kondenzata, napojne kotlovske vode, zatvorenog kruga rashladne vode te opskrbe demi vodom. Pogonsko osoblje koristi analize da bi ocijenilo uvjete kemijskih procesa te da bi moglo poduzeti korektivne akcije s kojima će izbjeći štete na postrojenju.

Sustav uzimanja uzoraka vode i pare te njihova analiza je projektirana za sljedeće stavke:

- pH se nadzire na izlazu iz kondenzatne pumpe, na izlazu iz napojne pumpe, kod niskotlačnog odmuljivanja kotla na ispušne plinove, te kod visokotlačnog odmuljivanja kotla na ispušne plinove.
- Specifična vodljivost se nadzire kod dodavanja vode, mrežne vode (vrelovoda) na izlazu iz kondenzatne pumpe, kod niskotlačne zasićene pare kotla na ispušne plinove, niskotlačne svježe pare, kod niskotlačnog odmuljivanja kotla na ispušne plinove, na izlazu iz napojne pumpe, visokotlačne zasićene pare, visokotlačne svježe pare, te kod visokotlačnog odmuljivanja kotla na ispušne plinove.
- Kationska vodljivost se nadzire kod izlaza kondenzatne pumpe, niskotlačne zasićene pare, niskotlačne svježe pare, visokotlačne zasićene pare te kod visokotlačne svježe pare.

- Silicij se nadzire kod dodavanja vode u proces, niskotlačne zasićene pare, niskotlačne svježe pare, te kod visokotlačne svježe pare.
- Otopljeni kisik se nadzire kod izlaza kondenzatne pumpe, te kod izlaza napojne pumpe.

## 5. PRIRODNA CIRKULACIJA – ISPARIVAČI

U kotlu na ispušne plinove s prirodnom cirkulacijom gravitacija djeluje na razliku u gustoći između hladnije vode u vertikalnim silaznim cijevima isparivača (strujanje prema dolje) te puno toplije mješavine vode - pare u horizontalnim cijevima proizvedeći uzgonsku silu koja pokreće na strujanje u uzlaznim cijevima (vidi sliku 2). Protok dvofazne mješavine voda - para se generira u isparivačkim cijevima kao posljedica privođenja topline konvekcijom i kondukcijom iz strujne mase ispušnih plinova iz plinske turbine (6). Dvofazna mješavina vode - pare ima nižu srednju gustoću od jednofazne vode u silaznom protoku pa razlika u gustoći ili tlak prirodne cirkulacije koji je stvoren tom razlikom i djelovanjem gravitacijske sile tjera vodu da struji kroz isparivač. Vodeni stupac u silaznoj cijevi teži više od mješavine vode i pare u uzlaznoj cijevi pa iz te razlike stoji na raspolaganju sila koja će podmiriti trenje u cijevima te uzrokovati protok u isparivaču. Treba primijetiti da dok su horizontalne isparivačke cijevi izložene vrućim ispušnim plinovima iz plinske turbine, silazne cijevi se nalaze izvan kućišta kotla na ispušne plinove. Kako se voda grije u isparivačkim cijevima, stvaraju se parni mjehuri pa se mješavina pare i vode diže jer ju u silaznim cijevima težina gušće vode prisiljava zagrijanu mješavinu da se diže prema uzlaznim cijevima (sl. 4 i 5), čime se uspostavlja cirkulacija ili optok. Da bi se osigurala cirkulacija bez prekida, također je bitno da se cijelo vrijeme održi zahtijevana razina vode u parnom bubnju (7). Razlika između kote parnog bubnja te dna sabirnika isparivača je takva da osigurava dovoljnu cirkulaciju. Prirodna cirkulacija je efikasnija kada postoji znatna razlika u gustoći između faze zasićene vode i faze zasićene pare. Promjeri, lokacija te broj cijevi, kao i razmještaj cijevi te njihov razmak su pažljivo evaluirani i odabrani da bi se osigurala pouzdana prirodna cirkulacija u isparivaču, te da bi se postigao pouzdan rad kotla na ispušne plinove u svim režimima rada. Povećana prirodna cirkulacija se dobiva također, kada nema parnih mjehura u silaznim cijevima čime se maksimizira razlika u gustoći (6).

VT i NT isparivačke cijevi su horizontalne cijevi, spiralno orebrene. Krug cirkulacije ili optoka vode se sastoji od parnog bubnja, silaznih dobavnih cijevi, isparivačkih i uzlaznih cijevi. Mješavina vode i pare se generira u horizontalnim isparivačima prijelazom topline te struji od isparivačkog izlaznog sabirnika prema parnom bubnju kroz uzlazne cijevi.

Tablica 7. daje glavne tehničke podatke za VT i NT bubnjeve

Bubnjevi	Niskotlačni	Visokotlačni
Unutarnji promjer	1520 mm	1830 mm
Debljina ljske	16 mm	48 mm
Debljina glave	16 mm	48 mm
Duljina, mm	4100 mm	4100 mm
Metoda spajanja cijevi	Zavarena na grani	Zavarena na grani
Projektna temperatura	210 ° C	320 ° C
Projektni tlak	14.7 BARG	104 BARG
Pogonski tlak	10.6 BARG	96.2 BARG

Svrha bubnja je izdvajanje suhozasićene pare. Konstrukcija nastoji kombinirati jednostavnost i efikasnost postavljene u odnos s niskim troškovima održavanja i visokom kakvoćom pare. Mješavina vode i pare ulazi u bubanj kroz uzlazne cijevi te se sakuplja u komori podijeljenoj vertikalnim limovima za usmjeravanje. Primarna separacija vode i pare se obavlja gravitacijom. Mokra para se diže te prolazi kroz primarne odvajače pare, a onda kroz odvajače pare koji su montirani na vrhu bubnja gdje se posljednja vlažna para izdvaja.

Isparavanje vode (ili ključanje) je poznati fenomen. U osnovi isparavanje je proces prijelaza topline gdje se pri dodavanju topline tekućini pod stalnim tlakom više ne podiže njena temperatura. Toplina se apsorbira kako tekućina prelazi u plinovito stanje pri stalnoj ili konstantnoj temperaturi (točka ključanja ili temperatura zasićenja). Brzina prijelaza topline je visoka pa je stoga isparavanje vrlo dobar način hlađenja površina kotla na ispušne plinove izloženih visokoj ulaznoj toplini sadržanoj u ispuhu plinske turbine.

Fenomen isparavanja (ključanja) je povezan s određenim izazovnim aspektima:

- iznenadno urušavanje ključanja kod vrlo visokih ulaznih promjena topline
- potencijalne fluktuacije protoka koje se mogu dogoditi u pari - vodenom protoku
- učinkovita separacija pare od protoka vode
- značajna razlika u gustoći između grijanih površina (cijevi) te negrijanih površina (cijevi).

Razlika u gustoći generira protok vode prema grijanoj cijevi u dobro poznatoj petlji prirodne cirkulacije ili optoka isparivača kotla na ispušne plinove. Protočno ključanje i konvektivno ključanje koje se nalazi u gotovo svim sustavima generiranja pare je kompleksni fenomen koji uključuje blisku interakciju strujanja fluida s dvije faze, gravitaciju, fenomen materijala te mehanizme prijelaza topline pri isparavanju. Mješavina vode i pare napreduje kroz seriju protočnih struktura ili oblika: mjehuraste, mješovite te prstenaste. To je rezultat kompleksnih interakcija površinskih sila, međuslojnih fenomena, pada tlaka, gustoće vode - pare, te efekata količine gibanja povezanih s ponašanjem površinskog vrenja.

## 6. SUSTAVI REGULACIJE KIP-a

### Sustavi regulacije razine u VT bubnju KIP-a

Sustav regulacije razine u VT bubnju održava razinu napojne vode u bubnju unutar zadanih granica, bez obzira na promjene opterećenja. Normalno sustav regulacije razine u kotlu na ispušne plinove obuhvaća regulaciju uz punu snagu i regulaciju uz minimalnu snagu. Kada je protok pare mali, regulacija u bubnju se regulira jednokomponentnom regulacijom koristeći mjerenje razine u VT bubnju. Ako je protok pare veći od namještene vrijednosti, razina u bubnju se regulira trokomponentnom regulacijom koristeći:

- protok svježe pare (K1LBA10CF001)
- protok napojne vode (K1LAB60CF001)
- razinu u VT bubnju kotla na ispušne plinove (K1HAD10CL001).

Mjera razine u bubnju je normalna razina vode (NRV) odabrana i kompenzirana na promjene tlaka u bubnju (gledati sliku 4 na kojoj zbog preglednosti nisu označena mjerenja u KKS-u nego samo regulacijski ventili). Kompenzirani signal se uspoređuje s ručno namještenom vrijednošću regulatora razine. Izlazni signal iz regulatora će prilagoditi protok napojne vode koja je prošla VT ekonomajzer 1 i VT ekonomajzer 2 preko regulacijskih ventila razine prema VT bubnju tako da uzme u obzir stvarnu razinu bubnja (K1HAD10CL001), koja je modificirana trenutačnim protokom pare (K1LBA10CFOO1) i ulaznim visokotlačnim protokom napojne vode (K1LAB10CFOO1). Ventil za regulaciju pri niskom opterećenju (K1HAD10AA102) koristi se za protoke napojne vode u području 0-30% nazivnog protoka, a ventil za regulaciju pune snage (K1HAD10AA101) koristi se do 100% paralelno s ventilom za nisko opterećenje (7). Prijelaz od niskog opterećenja na puni teret je automatski, prije nego ventil za regulaciju niskog opterećenja dosegne svoju punu otvorenost (vidi sliku 4).

### Sustav regulacije kontinuiranog odsoljavanja VT bubnja

Sustav regulacije kontinuiranog odsoljavanja VT bubnja kotla na ispušne plinove ima zadatak da održava razinu u bubnju za vrijeme upuštanja, obustave i normalnog pogona ako razina nastoji prijeći namještenu vrijednost. Ako je razina u bubnju znatno viša od namještene vrijednosti, regulacijski ventil kontinuiranog odsoljavanja (K1LCQ31AA001) se otvara i ispušta vodu iz bubnja u ekspander odsoljavanja. Za zaštitu od porasta razine uslijed bujanja razine u bubnju, s plinskom turbinom pri upuštanju u pogon, namještenu vrijednost razine u bubnju moguće je promijeniti (vidi sliku 4). Sustav regulacije kontinuiranog odsoljavanja VT bubnja kotla na ispušne plinove zasniva se na jednokomponentnoj regulaciji, koristeći mjerenje razine u VT bubnju (K1HAD10CL001).

### Sustav regulacije temperature VT pare KIP- a

Sustav regulacije temperature VT pare kotla na ispušne plinove ima zadatak da održava temperaturu VT pregrijane pare unutar zadanih granica. Mjerenje temperature u glavnom parovodu uspoređuje se s namještenom vrijednošću i u slučaju odstupanja signal djeluje na regulacijski ventil za uštrcavanje vode (K1LAE1010AA101). Ako temperatura svježe pare raste iznad namještene vrijednosti, u ohlađivač se uštrcava voda pomoću regulacijskog ventila. Zaštitna petlja sprječava prekomjerno uštrcavanje vode tako da temperatura iz ohlađivača ne može biti niža od temperature zasićenja. To znači, ako je temperatura na izlazu iz ohlađivača niža za 10 °C od temperature zasićenja u bubnju, zaštitna petlja djeluje na regulacijski ventil za uštrcavanje vode koji se automatski zatvara (vidi sliku 4). Mjerenje ide preko:

- temperatura VT pregrijane svježe pare (K1LBA10CT001),
- temperatura na izlazu iz ohlađivača VT svježe pare (K1HAH10CT002).

### Sustav regulacije razine u NT bubnju KIP- a

Sustav regulacije razine u NT bubnju kotla na ispušne plinove održava razinu napojne vode u bubnju unutar zadanih granica, bez obzira na promjene opterećenja. Kada je protok pare mali, regulacija u bubnju se regulira jednokomponentnom regulacijom koristeći mjerenje razine u NT bubnju. Ako je protok pare veći od namještene vrijednosti, razina u bubnju se regulira trokomponentnom regulacijom, a te tri komponente su:

- protok svježe pare (K1LBA50CF001),
- protok napojne vode (K1LAB50CF011),
- razina u NT bubnju kotla na ispušne plinove (K1HAD50CL011).

Mjera razine u bubnju je normalna razina vode (NRV) odabrana i kompenzirana na promjene tlaka u bubnju. Kompenzirani signal se uspoređuje s ručno namještenom vrijednošću regulatora razine. Izlazni signal iz regulatora će prilagoditi protok napojne vode koja je prošla NT ekonomajzer preko regulacijskog ventila razine (K1HAD50AA111) prema NT bubnju tako da uzme u obzir stvarnu razinu bubnja (K1HAD59CL011), koja je modificirana trenutačnim protokom NT pare (K1LBA50CFO11) i ulaznim niskotlačnim protokom napojne vode (K1LAB50CFO11). Ventil za regulaciju razine NT bubnja (K1HAD50AA111) je izvršni organ ove trokomponentne regulacije (vidi sliku 5).

### Sustav regulacije razine u NT bubnju kontinuiranim odsoljavanjem KIP-a

Sustav regulacije kontinuiranog odsoljavanja NT bubnja KIP-a ima zadatak da održava razinu u bubnju za vrijeme upuštanja, obustave i normalnog pogona ako

razina nastoji prijeći namještenu vrijednost. Ako je razina u bubnju znatno viša od namještene vrijednosti, regulacijski ventil kontinuiranog odsoljavanja (K1LCQ50AA011) se otvara i ispušta vodu iz bubnja u ekspander odsoljavanja (vidi sliku). Za zaštitu od porasta razine zbog bujanja razine u bubnju, s plinskom turbinom pri upuštanju, namještenu vrijednost razine u bubnju moguće je promijeniti. Sustav regulacije kontinuiranog odsoljavanja NT bubnja kotla na ispušne plinove zasniva se na jednočlanoj regulaciji, koristeći mjerenje razine u NT bubnju (K1HAD50CL011). Znači da regulacijski ventil kontinuiranog odsoljavanja (K1LCQ50AA011) pomaže pri regulaciji razine pri izrazito povećanoj razini vode u bubnju.

### Sustav regulacije temperature recirkulacije vode predgrijača kondenzata

Sustav regulacije temperature recirkulacije vode predgrijača održava temperaturu recirkulacije vode predgrijača unutar propisanih granica. Izmjerena temperatura vode na ulazu u predgrijač (K1LCA50CT001) uspoređuje se s namještenom vrijednošću i regulacijski ventil recirkulirajuće vode (K1LCA75AA101) se prilagođava pomoću tog signala odstupanja. Ako je temperatura vode na ulazu u predgrijač znatno viša od namještene vrijednosti, regulacijski ventil recirkulirajuće vode se zatvara pa pumpe za recirkulaciju kondenzata K1LCA60AP001 i K1LCA70AP001 guraju manje kondenzata natrag u recirkulaciju. Ako je temperatura vode na ulazu u predgrijač niža od namještene vrijednosti, regulacijski ventil (K1LCA75AA101) recirkulirajuće vode se otvara pa pumpe za recirkulaciju kondenzata guraju više kondenzata natrag u recirkulaciju. Sustav regulacije recirkulirajuće vode predgrijača zasniva se na jed-nokomponentnoj regulaciji, koristeći mjerenje člana ulazne temperature u zagrijač (K1LCA50CT001)

## 7. ZAKLJUČNO O UPUŠTANJU KOTLA NA ISPUŠNE PLINOVE

Kad su nužne dozvole zadovoljene, KIP starta u skladu s odobrenim pogonskim uputstvima. Za vrijeme upuštanja plinske turbine, svi vrući plinovi izgaranja se skreću prema kotlu na ispušne plinove. To će osigurati toplinu potrebnu za dizanje tlaka i temperature u kotlu. Kako se vrućim plinovima dozvoljava ulaz u kotao, raste tlak u svakoj sekciji kotla pa će bubnjevi početi "bujati". Za vrijeme početnog hladnog upuštanja turbine, VT i NT bubnjevi su namješteni na nisku razinu (5 cm iznad apsolutnog minimuma niska - niska razina) da bi mogli prihvatiti ovu ekspanziju vode u sustavu (8). Bubnjevi se mogu ispustiti pomoću regulacijskog ventila kontinuiranog odsoljavanja (K1LCQ3AA001) u slučaju uvjeta visoka - visoka razina da bi se kontrolirao nagli rast u razini zbog ove

ekspanzije. To se normalno obavlja postavljanjem startnih ispusnih ventila u automatiku, a VT bubnju se omogućuje tlak manji od 17,5 bara u pretlaku. Automatski regulacijski ventili razine također kontroliraju razinu u bubnju. Kad je protok VT pare veći od 30 % MCR (maksimalnog kontinuiranog opterećenja) VT i NT regulatori razine bubnja će prijeći na trokomponentnu regulaciju. VT i NT bubnjevi se odzračuju pri upuštanju da bi se odstranili nekondenzirajući plinovi. Ove odzrake se zatvaraju na 2 bara kod VT bubnja, a na 0.5 bara kod NT bubnja.

U cijevima VT i NT pare su motorima pogonjeni ventili odvodnjavanja, za vrijeme upuštanja otvoreni, da bi kontinuirano odstranjivali kondenzat, jer se cijevi početno griju na pogonsku temperaturu te je time omogućeno početno zagrijavnje staze parnog protoka. Ventili će biti zatvoreni, kad se kondenzat više ne ispušta iz parne cijevi prije ventila odvodnjavanja, i pri tlakovima i temperaturama parne cijevi kada se u njoj ne može pojaviti kondenzat. Kao rezultat, zagrijavanje parnih linija je postignuto kroz odgovarajući sljedni postupak s ventilima odvodnjavanja na parnim linijama.

Kako se preko ispušnog plina dovodi dodatna toplinska energija, tlak i temperatura nastavlja s porastom uz postojeće uvjete bubnja. U trenutku kad je uspostavljena proizvodnja pare u KIP-u, para generirana u VT bubnju će se polako preko predgrijača pripuštati u glavni sustav pare pa usmjeriti prema vodom hlađenom kondenzatoru, mimoilazeći parnu turbinu, a sa zadanim gradijentom tlakom KIP-a, dok pogonski uvjeti ne dozvole upuštanje parne turbine. Para u mimovodnom sustavu (bypassu) se hladi te joj se reducira tlak prije nego se pripusti u kondenzator.

## LITERATURA

- [1] M. ŠANDER: "Glavni sustavi plinske turbine MS6001FA u TE-TO Zagreb", ENERGIJA, časopis Hrvatske elektroprivrede, prosinac 2001.
- [2] Operation and Maintenance Manual – Heat Recovery Steam Generator, TE-TO ZAGREB CCCP, Korea Heavy Industries & Construction CO. Ltd., Korea 2000
- [3] Para - njeno generiranje i korištenje, Babcock & Wilcox, 40. izdanje, 1992.
- [4] ASME Section VII - Preporuke za brigu o kotlovima u elektranama, izdanje 1998.
- [5] S. T. POWELL: "Water conditioning for industry", McGRAW-HILL Co., New York, 1954.
- [6] Waste Heat Boiler Deskbook, V. Ganapathy, The Fairmont Press Inc. 1991.
- [7] The Heat Recovery Steam Generator Dilemma, Natural or Assisted Circulation, Technology Report, Europower, Spring 1993.
- [8] Training Manual – Heat Recovery Steam Generator, TE-TO ZAGREB CCCP, Korea Heavy Industries & Construction CO. Ltd., Korea 2000.

## **BOILER USING FLUE GASSES IN A COMBINED COGENERATION PLANT**

Combined cogeneration plant TE-TO Zagreb is composed of two gas turbines and one condensing turbine without interim heating. The facility consists of mechanically integrated, multi-axe combined cogeneration equipment for electric energy production designed for daily start and stop by base or partial load. The plant includes two MS6001FA gas turbines with generators and two boilers using flue gases, one steam turbine with a steam inlet, water cooled condenser on the steam turbine release. The steam for steam turbine is produced in a flue gas-using boiler from the heat produced in the gas turbine. Combined cogeneration plant is going to produce 200 MW of electric energy and steam for the district heating network as well as industrial steam.

## **DER ABGASKESSEL IM KOMBI-MITERZRUGENDEN VERFAHREN**

Kombi-miterzrugendes Verfahren im "TE-TO Zagreb" besteht aus zwei Gasturbinen und einer Kondensationsturbine ohne Zwischenüberhitzung. Die Anlage setzt sich aus mechanisch integrierter, mehrachsigen Kombi-Miterzrugenden stromerzeugenden Ausrüstung, geplant

für tägliche Inbetriebnahme und Einstellung bei einer Grund- oder Teilweisebelastung. Die Anlage besteht aus zwei Gasturbinen vom Typ MS6001FA mit Generatoren, sowie zwei Abgaskesseln, einer Dampfturbine mit einem Dampfzulauf, einem Wassergekühlten Kondensator am Tiefdruchende der Dampfturbine. Der Dampf für die Dampfturbine wird im Abgaskessel welcher die Abgaswärme der Dampfturbine nutzt. Kombi-miterzrugende wird 200 MW elektrischer Energie und Dampf für den Wärmenetz und Industrie erzeugen.

Naslov pisca:

**Miroslav Šander, dipl. ing.  
ELEKTROPROJEKT  
Alexandera von Humboldta 4  
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
2002-04-25.