

**Бојан Глигоријевић, Боре Јеџдић,  
Мирјана Првуловић, Милан Проколаб,  
Борис Каџавић, Драган Јовановић**

**Институт Гоша д. о. о., Београд, Србија**

## **Нискотемпературна корозија у вреловодним котловским постројењима**

Стручни рад  
UDC: 621.1:620.193.46/.47

*У току експлоатације дошло је до оштећења цеви еко-пакећа вреловодног котловског постројења које функционише у режиму са периодичним прекидима у раду. Циљ овог рада је да се утврди узрок оштећења цеви који је настао са стираних димних гасова. Извршене су хемијске анализе мазута, дейозија и димних гасова, мерење рН вредности раствора дейозија и квалитативна оптичко-микроскопска анализа дейозија. Поред тога су дефинисани и услови под којима је постројење радило. Резултати су показали значајне количине звожђа у дейозију, као и ниску рН вредности раствора дейозија. Оштећења цеви су највероватније била последица ниско-температурних корозионих процеса у току рада и у периодима прекида рада постројења. Препорука је да је корозионо оштећење котловских цеви било интензивније у периодима прекида рада постројења.*

**Кључне речи:** *вреловодна котловска постројења, мазут, дейозиј, ниско-температурна корозија, дијагностика*

### **Увод**

Анализе показују да ће у наредних 20 година потребе становништва за електричном енергијом порасти за 60% [1]. С обзиром на доминантну улогу фосилних горива, када је реч о производњи електричне енергије, очекује се да ће њихова примена са садашњим степеном економског и индустријског развоја у будућности бити већа. Проблеми сагоревања тешких горива типа мазута су повезани са емисијом штетних гасова и корозијом материјала [3]. Зато је последњих неколико декада појачана заинтересованост научне јавности и компанија у овој области за смањењем негативних утицаја који се испољавају током процеса сагоревања тешких горива како би њихова примена била одржива. У литератури као главни агенси корозије материјала са стране димних гасова се наводе хемијски елементи натријум, волфрам и сумпор,

који се налазе у тешким горивима типа мазута у различитим хемијско-структурним формама [2–4, 6, 7]. У постројењима која раде без прекида и која као радни флуид користе прегрејану водену пару могућа је истовремена појава високотемпературне и нискотемпературне корозије. *J. Barosso, et al.* су вршили испитивања ових видова на лабораторијском и нивоу целог постројења, као и процес формирања цевних депозита [2, 5]. Поред ових постоје и испитивања других аутора на постројењима сличног типа [3, 6, 7]. *S. Bludszuweit, et al.* су објавили прегледни рад у коме дају објашњење могућих услова за појаву високотемпературне корозије [8]. Када је температура површине металних цеви кроз које се размењује топлота са радним флуидом изнад 873 К и однос  $\text{Na/V}$  у оксиду депонованом на површини метала између 0,15 и 0,45 [9] тада постоје услови да се деградација цеви одвија механизмом високотемпературне *ванадијумске* корозије.

У постројењима која као радни флуид користе врелу воду, а која ће бити предмет разматрања у овом раду (табл. 1), у нормалним условима рада појава високотемпературне корозије је искључена, због нижих температура које владају на

**Таблица 1. Технички параметри вреловодног котловског постројења**

Година производње	1978.
Врста горива	Мазут
Максимална снага	11,6 MW
Радни флуид	Врела вода
Радни притисак	1,6 МПа
Улазна температура радног флуида	363 К
Ишлазна температура радног флуида	413 К

површинама метала кроз које се остварује размена топлоте између димних гасова и радног флуида. У овим постројењима, у зависности од режима рада (без прекида или са периодима прекида у раду) могућа је појава два вида нискотемпературне корозије са стране димних гасова: *cold-end* и *dew point*. Механизам одвијања ових видова корозије је сличан, док кинетика процеса може да се разликује, а с тим и ниво и врста оштећења које проузрокују. Термин *cold-end* корозија се у литератури често односи на корозију хладних делова постројења која отпочиње након кондензовања пара киселина из димних гасова и њиховог депоновања на површине метала у току рада постројења. Термином *dew point* корозија означен је корозиони процес који отпочиње након кондензовања водене паре из ваздуха и реакције депозита са кондензатом у периоду прекида рада постројења. Разлика је терминолошке природе и уведена је због једноставности и разликовања корозионих процеса који се одвијају у току рада и у периодима прекида рада постројења. Истраживања су показала да су од посебног значаја за појаву *cold-end* корозије удели водене паре и  $\text{SO}_3$  у димним гасовима, као и температура површине металне цеви [10, 11]. За појаву *dew point* корозије је важна способност депозита да у реакцији са кондензованом воденом паром створи средину у којој ће доћи до одвијања самог процеса [11].

Наша претходна искуства су везана за испитивања природе оштећења екранских цеви вреловодног котловског постројења са стране воде [12]. У овом раду је испитан узрок оштећења цеви економајзерског дела са стране димних гасова. Постро-

јење је функционисало са периодичним прекидима у раду. Тежиште испитивања је стављено на карактеризацију депозита, мазута, гасовитих продуката сагоревања и услова средине који су могли да владају током рада постројења.

### Експериментални детаљи

Извршен је визуелни преглед вреловодног котловског постројења. Направљен је фотографски запис економајзерског дела постројења у коме су примећене повећане наслаге (депозити) на цевима еко-пакета. Репрезентативни део цеви еко-пакета, видно прекривен дебљим слојем омотача од наслага, је извађен сечењем. Узорковање депозита за анализу у облику праха обављено је полимерним алатом, пажљиво и насумично са површинских слојева омотача од наслага. При томе није дошло до механичког контакта полимерног алата са површином цеви испод наслага. Узорак депозита није механички и/или хемијско-термички третиран, како би задржао оригиналну величину честица, фазно-структурне и хемијске особине. Након узорковања, прах депозита је анализиран оптичком микроскопијом. Потом је урађена хемијска анализа на процентуални масени садржај Na, Mg, V, Ni, Mn, сулфатних врста, слободне сумпорне киселине и одређена је рН вредност 3%-ног раствора депозита. Хемијски састав 1 kg течног горива типа мазута, које је те грејне сезоне коришћено, анализиран је на садржај Na, V и S. Одређена је доња топлотна моћ горива, угљенични остатак, садржај воде и талоба (табл. 2). Мерења састава димних гасова и температуре у тачки у којој гасови напуштају постројење су обављана током грејне сезоне. Репрезентативни резултати ових мерења, као и хемијски састав материјала од кога су цеви еко-пакета направљене, су приказани у табл. 3 и 4.

Таблица 2. Резултати испитивања мазута

Особина	Вредност	Метода
Доња топлотна вредност	40,9006 MJ/kg	DIN 51603
Густина на 15 °C	0,9599 g/cm <sup>3</sup>	SRPS B.H8.015
Садржај сумпора	1,958–2,890% [m/m]	SRPS ISO 8754
Садржај воде и талоба	<0,1% [v/v]	SRPS B.H8. 150/83
Угљенични остатак	8,34% [m/m]	SRPS ISO 10370
Садржај натријума	29,50 mg/kg	UOP 800/79
Садржај ванадијума	98,59 mg/kg	UOP 800/79

### Резултати

Радни услови којима су изложене цеви вреловодног котла са пламено-димне стране су дефинисани температуром и саставом продуката сагоревања коришћеног

горива. Температура продуката сагоревања опада по току гасова, од ложишта, које представља термички најоптерећенију зону, до загрејача воде. Измерене вредности температуре у тачки у којој димни гасови напуштају котловско постројење у току грејне сезоне су се кретале у интервалу између 593 К и 643 К.

Хемијска анализа мазута је показала да су елементи Na, V и S, који се сматрају главним агенсима нискотемпературне корозије у котловским постројењима, у количинама које се могу сматрати довољним за настајање корозионих процеса (табл. 2) [2]. Мазут анализираног хемијског састава се у литератури обично назива нискованадијумским мазутом (*regular low-vanadium fuel oil*). Измерени процентуални садржај сумпора је износио од 1,958 мас. % до 2,890 мас. %. То указује на могућност да је током грејне сезоне коришћен мазут различитог квалитета. Садржај Na (29,5 mg/kg) и V (98,59 mg/kg) одговарају количинама при којима ови елементи могу у значајној мери да допринесу нискотемпературним корозионим процесима [2].

Просечни састав димних гасова који је измерен током грејне сезоне дат је у табл. 3.

**Таблица 3. Масени састав димних гасова при максималном оптерећењу вреловодног котла**

Врста гаса	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Удео гаса	12,13%	20 ppm	283 ppm	283 ppm	0,0	4,97%

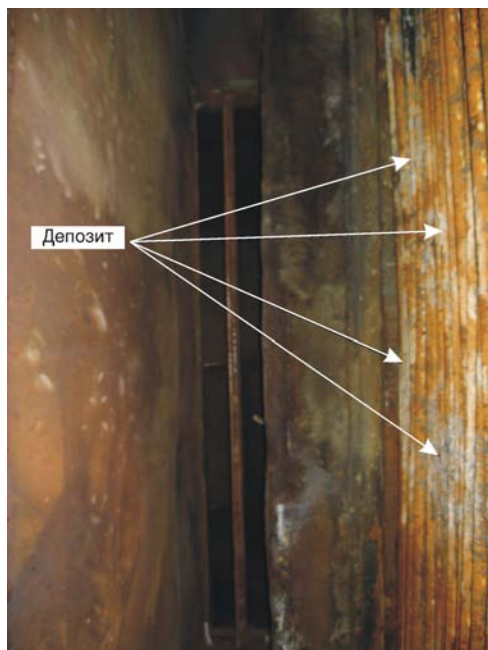
Хемијски састав челика P235G1TH (SRPS EN 50112:1994) од кога су цеви направљене приказан је у табл. 4.

**Таблица 4. Хемијски састав материјала цеви еко-пакета вреловодног котла**

	C <sub>max</sub>	Si	Mn <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
SRPS EN 50112:1994	0,17	0,10–0,350	0,40	0,05	0,05
Измерене вредности	0,16	0,28	0,38	0,021	0,022

На сл. 1 дат је приказ задњег дела економајзера вреловодног котловског постројења. Средишњи део слике представља плафон са отвором кроз који димни гасови напуштају економајзерски део, док се на десној страни могу приметити цеви еко-пакета највећим делом прекривене браонкасто-жутим корозионим продуктом, највероватније неком формом оксида гвожђа (Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub>). Поред Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub> могу се приметити и значајне количине депозита сиво-беле боје, који местимично прекрива површине цеви у свим деловима еко-пакета, од пода до плафона, без правилности, како је на слици приказано. Оштећење цеви се везује за појаву сиво-белог депозита.

На сл. 2 је приказана извађена цев еко-пакета са које је извршено узорковање депозита за потребе анализе. Релјеф површине омотача од депозита је изразито груб. Површински слојеви се карактеришу израженом макропорозношћу и врло лако се уклањају полимерним алатом, што указује на слабију кохезију честица депозита и



Слика 1. Задњи део економајзера  
(поглед на плафон)



Слика 2. Цев еко-пакета вреловодног  
котловског постројења са површинским  
депозитом

на то да је већ тада било могуће добити фини прах депозита за анализу. Међутим, тежина уклањања депозита је била све већа идући ка граници депозит/метална цев у радијалном правцу.

Резултати испитивања депозита дати су у табл. 5. Процентуални садржаји елемената Na и V, се могу сматрати повишеним у односу на њихов садржај у мазуту. Процентуални садржај Fe износи око 30%. Ова вредност је значајна с

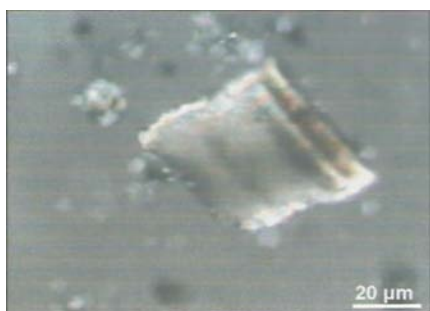
обзиром да нормално мазут не садржи Fe у већим количинама, већ на нивоу нечистоћа, које могу бити последица складиштења у челичним резервоарима. Измерене

Таблица 5. Резултати испитивања депозита

Параметар	Садржај [%]	Метода
Na	0,1654	–
Mg	0,0314	–
V	0,510	DM 10-0/13
Ni	0,270	–
Mn	0,153	–
Fe	29,60	–
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	51,51	DM 10-0/16
HCO <sub>3</sub>	<0,05	DM 10-0/29
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	<0,025	DM 10-0/29
Слободна H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,70	–
pH (3%-ни раствор депозита)	1,75–2,68	Потенциометријска метода

вредности рН су се кретале у интервалу између 1,75 и 2,68. Анализа показује да се око половине депозита састоји из сулфатних једињења.

Слика 3 представља микрофотографију анализираног праха депозита са приближно оригиналном величином честица (коју је имао пре узорковања са исечене цеви еко-пакета). Димензије честица варирају од неколико  $\mu\text{m}$  до приближно 50  $\mu\text{m}$ . Поред тога резултати указују на могућност да појединачне честице праха депозита у ствари представљају комплексне агрегате (смеше) различитих једињења, што је чест случај када су депозити у котловским постројењима у питању.



**Слика 3. Слојевити микс агрегат  
анхидридског састава; пропуштена  
светлост, имерзија, X N  
(унакрсно поларизована светлост)**

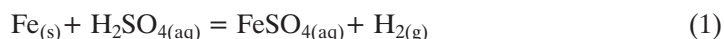
### Дискусија

Све мере које се предузимају у циљу смањења негативних утицаја корозионих процеса у котловским постројењима се углавном своде на смањење утицаја штетних примеса у горивима, а то се најчешће изводи смањењем њиховог садржаја и/или њиховим превођењем у мање штетне облике и/или повећањем рН вредности средине. У првом реду се мисли на штетне примесе S и V код постројења која користе мазут као гориво или прецизније на штетне продукте процеса сагоревања мазута,  $\text{SO}_{3(g)}$  и ванадијумове оксиде. Постоји читав спектар мера које се могу предузети за ублажавање корозије у

котловским постројењима, али нису све подједнако ефикасне. Разлози су углавном економске природе или сложеност њиховог спровођења. Да би се применила било која мера за ублажавање негативног утицаја корозионих процеса и правилно одредила оштећења, неопходно је утврдити механизам процеса стварања депозита и услове средине при којима се он одвија. Процес стварања депозита се може, у одређеној мери, објаснити идентификацијом компонената депозита. Пошто се сагоревање у котловском постројењу одвија у оксидационој атмосфери (вишак ваздуха) разматрани су случајеви реакција између продуката који настају само под тим условима.

Хемијска анализа депозита је показала да је масени удео сулфатних једињења био нешто изнад 50%, и да су поред тога нађени карбонати и бикарбонати, чија укупна количина није прелазила један промил. Компоненте које су чиниле остатак депозита нису идентификоване и оне ће касније бити разматране са теоријског становишта. Сулфатна једињења садржана у депозиту су, због једноставности, подељена на две групе. Због своје специфичности, прву групу чини сулфат гвожђа ( $\text{FeSO}_4$ ), а другу, сулфати алкалних, земноалкалних и осталих елемената. Потребно је одредити могући начин настанка сулфата прве и друге групе, што ће за последицу имати јаснији одговор на питање шта је довело до појаве оштећења цеви еко-пакета.  $\text{FeSO}_4$ , генерално, може настати на два могућа начина. Први је у реакцији оксида гвожђа са

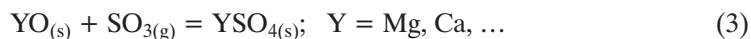
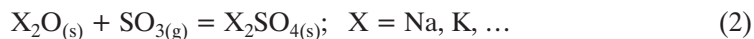
$\text{SO}_{3(g)}$ , а други, у нискотемпературном корозионом процесу који се може приказати следећом сумарном реакцијом [5, 11]:



Први начин је мало вероватан из више разлога. Оксиди гвожђа могу постојати на површинама металних цеви, као резултат атмосферске оксидације челика, или могу настати у процесу сагоревања мазута који садржи Fe у траговима, нпр. као резултат складиштења мазута у челичним резервоарима и др. Једини стабилни оксид гвожђа који може да реагује са  $\text{SO}_{3(g)}$  и оформи сулфат је FeO, с обзиром да је улога стабилног оксида  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  да врши каталитичко стварање  $\text{SO}_{3(g)}$  у реакцији са  $\text{SO}_{2(g)}$ , како ће касније бити показано. Количине  $\text{SO}_{3(g)}$  у димним гасовима су мале и износе највише неколико десетина ppm.  $\text{SO}_{3(g)}$  реагује, поред FeO, са  $\text{H}_2\text{O}$ , оксидима алкалних, земноалкалних и других елемената итд. И поред мале количине  $\text{SO}_{3(g)}$  у димним гасовима, само мала фракција те количине је доступна FeO да у реакцији оформи  $\text{FeSO}_4$ . То имплицира да су мало вероватни услови за стварање целе количине  $\text{FeSO}_4$  овим механизмом. Не може да се искључи да је један део  $\text{FeSO}_4$  у депозиту настао на овај начин. С друге стране, за разлику од оксида, количине Fe у челичној цеви могу се сматрати неограниченим извором за стварање  $\text{FeSO}_4$ . С обзиром да раствор сумпорне киселине остварује знатно бољи контакт са металном површином цеви него  $\text{SO}_{3(g)}$  и да корозиони процеси могу бити јако интензивни, претпоставка је да је вероватно већа количина  $\text{FeSO}_4$  настала механизмом који је дат реакцијом (1). У узорку депозита је измерена значајна количина Fe и износила је око 30% (табл. 3). С обзиром на претпоставку да је већи садржај Fe у депозиту настао у реакцији челичне цеви са раствором сумпорне киселине, потребно је анализирати услове који доводе до њене појаве и да ли су они у посматраном постројењу постојали. У овом разматрању треба узети у обзир и то да је вреловодно котловско постројење радило у режиму са периодичним прекидима у раду.

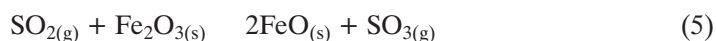
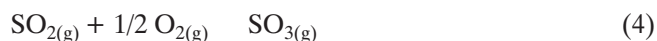
У току рада постројења у димним гасовима  $\text{SO}_{3(g)}$  реагује са  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  стварајући раствор сумпорне киселине који се кондензује и депонује по површини металних цеви [5, 10, 11, 13]. Кондензација раствора сумпорне киселине из димних гасова се одвија у тренутку када температура површине челичних цеви падне испод тачке росе раствора сумпорне киселине. Тада се оштећење цеви одвија механизмом *cold-end* корозије тј. реакцијом (1). Уколико се упореди интервал температуре радног флуида (табл. 1) са тачком росе раствора сумпорне киселине из литературе (приближно између 393 K и 433 K, што зависи од садржаја  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  и  $\text{SO}_{3(g)}$  у димним гасовима) и претпостави да је температура површина цеви једнака температури радног флуида, долази се до закључка да су услови за појаву *cold-end* корозије највероватније били испуњени.

Сулфати алкалних и земноалкалних елемената (друга група сулфата), пре свих Na, K, Mg и Ca настају реакцијама (2) и (3) њихових оксида са  $\text{SO}_{3(g)}$  у димним гасовима. Њихово стварање је значајно са аспекта стварања депозита који у периоду прекида рада постројења може у реакцији са водом да ствара раствор сумпорне киселине, што се може објаснити на следећи начин [11]:



У периодима прекида рада котловског постројења, када се при хлађењу постројења достигне тачка росе водене паре, влага из ваздуха се кондензује по површини металних цеви. Затим реагује са сулфатима друге групе (оформљеним током рада постројења), када настаје раствор сумпорне киселине. Тада рН вредност средине опада, а оштећење материјала се одвија процесом (реакција 1) који смо означили са *dew point* корозија (ствара се кисела средина). У овом случају се каже да депозит реагује кисело или се једноставно зове *кисели* депозит. рН вредност 3%-ног раствора узорка депозита је показатељ да ли може да дође до овог типа корозије. Измерене вредности, приказане у табл. 3, такву могућност потврђују.

Највећи утицај на нискотемпературну корозију има једињење  $SO_{3(g)}$  па је важно с те стране осврнути се на процес образовања овог једињења које се може остварити према реакцијама (4–6):



Тада каталитичко дејство  $V_2O_{5(s)}$  у облику честица у димним гасовима или депонованог по цевима, као и  $Fe_2O_{3(s)}$  на површини металних цеви, долази до изражаја. Што је виши садржај  $SO_{3(g)}$ , zasiћеност димних гасова са њима је већа, па је и температура (тачка росе) при којој може доћи до кондензовања сумпорне киселине линеарно виша [5]. Повећани садржај  $SO_{3(g)}$  утиче активније на процес формирања депозита који ће садржати сулфате способне да реагују кисело у периодима прекида рада постројења. Већи садржај сулфата, који могу да хидролизују и стварају водоничне јоне, значи и ниже вредности рН депозита за време прекида рада постројења, а тиме и интензивнију деградацију материјала од кога су цеви начињене. На повећање садржаја  $SO_{3(g)}$  у димним гасовима највише утичу вишак кисеоника за сагоревање, садржај оксида V и Fe, садржај  $SO_{2(g)}$  у димним гасовима, па тиме и сумпора у мазуту. Садржај  $H_2O_{(g)}$  у димним гасовима је битан јер водена пара учествује са  $SO_{3(g)}$  у реакцији формирања сумпорне киселине. Што је садржај влаге у димним гасовима већи, то су и услови за кондензовање повољнији и температура при којој ће доћи до кондензације ће бити виша (тачка росе). Присуство мањих честица депозита је важно са становишта њиховог каталитичког дејства на стварање  $SO_{3(g)}$ . Мале честице ефикасније обављају конверзију  $SO_{2(g)}$  у  $SO_{3(g)}$  према реакцијама (5) и (6). Те честице прелазе већа растојања са димним гасовима на путу кроз постројење, па је и њихово дејство дуготрајније за разлику од већих честица, а приликом депоновања на цевима еко-пакета дају већу површину на којој се ефикасније обавља каталитичка конверзија  $SO_{2(g)}$  у  $SO_{3(g)}$ .



Депозит на котловским цевима представља врло сложен систем који се поред сулфата може састојати из низа других компонената [14]. Које су то компоненте пре свега зависи од процеса формирања депозита и услова под којима се одвија. Због тога је врло важно извршити његову што прецизнију карактеризацију, што захтева примену више различитих метода испитивања. Познавањем компонената од којих је сачињен депозит може да се утврди да ли у систему долази до корозионих оштећења, као и која је природа тих оштећења. Само на основу хемијске анализе није могуће прецизно дефинисати све компоненте депозита. На пример, уколико је хемијском анализом утврђено присуство сулфата у депозиту, не може се конкретно утврдити о којим врстама сулфата је реч, што може бити од битног значаја за дефинисање механизма оштећења. Уколико се одреде процентуални удели елемената у депозиту који могу да чине сулфате, као нпр. Fe, Na, K, Mg и Mn, онда се на теоријској основи могу претпоставити могуће комбинације. Међутим, поменути елементи су способни да формирају просте и комплексне оксиде, што уноси додатне тешкоће у анализи. Даље, специфични услови који владају у вреловодним котловским постројењима проузрокују велике брзине хлађења на металним цевима, а ниске температуре цеви нису погодне за кристализацију одређених фаза, што имплицира да нека једињења могу бити у аморфном стању. Овакве фазе не могу бити откривене појединим техникама. Ако се узме у обзир да се нека хемијска једињења, попут ванадијумових оксида, налазе у врло малим количинама, а представљају врло важну компоненту за одређивање механизма оштећења, онда је јасно да примена садашњих стандардних метода једињења није довољна.

### **Закључак**

У раду је испитан узрок настанка оштећења на цевима вреловодног котловског постројења у економајзерском делу на основу карактеризације мазута, депозита са котловских цеви, димних гасова и услова под којима је постројење радило. Оштећење цеви еко-пакета је највероватније последица нискотемпературних корозионих процеса који су се јављали у току рада котловског постројења (*cold-end* корозија) и у периодима прекида рада постројења (*dew point* корозија). Повишен садржај гвожђа, ниска вредност рН 3%-ног раствора депозита, као и висок садржај сумпорних једињења то потврђују. Присуство честица натријума и ванадијума у депозиту указује на њихову значајну улогу током одвијања корозионих процеса. Није било могуће прецизно утврдити који корозиони процес доминира, али се претпоставља да је корозионо оштећење котловских цеви било интензивније у периодима прекида рада постројења.

### **Захвалница**

Рад је урађен у оквиру реализације пројекта 19205 „Истраживање могућности оптимизације рада и ревитализације хабајућих делова вентилационог млина термоелектране Дрмно-Костолац”, који је суфинансиран од стране Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије.

## Литература

- [1] \*\*\*, EIA, International Energy Outlook 2000, Energy Information Administration, US Department of Energy, Washington, 2000
- [2] Barroso, J., Barreras, F., Ballester J., Behaviour of a High-Capacity Steam Boiler Using Heavy Fuel Oil, Part I: High Temperature Corrosion, *Fuel Processing Technology*, 86 (2004), 22, 89-105
- [3] Rahman, M. M., *et al.*, Evaluation of Fuel Chemical Additives to Reduce Corrosion and Stack Emission in SWCC Power Plants, Presented at 4<sup>th</sup> SWCC Acquired Experience Symposium, Jeddah, Saudi Arabia, 2005
- [4] Wright, I. G., Hot Corrosion in Coal- and Oil-Fired Boilers, Chapter: Corrosion in Fossil Fuel Power Plants, in: Metal Handbook, 1987, Vol. 13/I, 995
- [5] Barreras, F., Barroso, J., Behaviour of a High-Capacity Steam Boiler Using Heavy Fuel Oil, Part II: Cold-End Corrosion, *Fuel Processing Technology*, 86 (2004), 2, 107-121
- [6] Mayan Kutty, P. C., Dalvi, A. G., Evaluation of Chemical Fuel Additives to Control Corrosion and Emission in Dual Purpose Desal/Power Plants, Presented at IDA Conference, Abu Dhabi, 1995
- [7] Andijani, I., Malik, A. U., Sulfur and Vanadium Induced Hot Corrosion of Boiler Tubes, Saline Water Conversion Corporation, Research & Development Center, Presented at "Chemistry & Industry" Conference, King Saud University, Riyadh, 2004
- [8] Bludszweit, S., *et al.*, Mechanisms of High Temperature Corrosion in Turbochargers of Modern Four-Stroke Marine Engines, *Proceedings*, Motor Ship Conference, Amsterdam, 2000, 1-22
- [9] Vögtle, G., Einsatz von Kraftstoffen schlechter Qualität in Dieselmotoren, *Schiff & Hafen*, (1978), 8, 690-692
- [10] Ganapathy, V., Cold End Corrosion: Causes and Cures, *Hydrocarbon Processing*, 68 (1989), Jan., 57-59
- [11] Ошљанац, Б., Неки корозиони проблеми пламено–димне стране котла, *Инжињеринг и век конструкција*, 7 (2007), 2, 96–100
- [12] Катавић, Б., Јегдић, Б., Анализа оштећења екранских цеви ложишта вреловодног котла, *Заваривање и заварене конструкције*, 52 (2007), 4, 123–130
- [13] Huijbregts, W. M. M., Leferink, R., Latest Advances in the Understanding of Acid Dew Point Corrosion: Corrosion and Stress Corrosion Cracking in Combustion Gas Condensates, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 51 (2004), 3, 173-188
- [14] Otsuka, N., Effects of Fuel Impurities on the Fireside Corrosion of Boiler Tubes in Advanced Power Generating Systems – a Thermodynamic Calculation of Deposit Chemistry, *Corrosion Science*, 44 (2002), 2, 265-283

**Abstract**

## **Low-Temperature Corrosion in Water Boiler Systems**

by

*Bojan GLIGORIJEVIĆ, Bore JEGDIĆ,  
Mirjana PRVULOVIĆ, Milan PROKOLAB,  
Boris KATAVIĆ, and Dragan JOVANOVIĆ*

**GOŠA Institute, Belgrade, Serbia**

During the exploitation steel tubes were damaged in economizer of the water boiler system, which works in the regime with periodic shutdowns. The aim of this work was to determine the cause of steel-tubes damage on the flue gas side of the water-boiler system. Chemical analysis of heavy fuel oil, deposit and flue gases were employed, pH measurements of deposit water solution as well as qualitative optical microscopy. Additionally, the water-boiler working conditions were analyzed. Results have shown significant presence of Fe species in deposit and low pH values of deposit solution. Damages were probably caused by the low temperature corrosion. The assumption is that the damages were more intensive during the water boiler shutdowns periods.

*Key words: water boiler systems, heavy fuel oil, deposit, low temperature corrosion, diagnostics*

*Одговорни аутор* / Corresponding author (B. Gligorijević)  
E-mail: bojan.gligorijevic@institutgosa.rs