Ispitivanje ispravnosti automatskih mernih sistema za kontinualno merenje emisije u TE Nikola Tesla A na bloku A6 u periodu od 2012. do 2016. godine

Termoelektrana „Nikola Tesla A“, smeštena na desnoj obali Save nadomak Obrenovca, predstavlja najveću termoelektranu u Srbiji, sa šest blokova, instalisane snage 1.650 MWel. U okviru IPA 2008 programa Evropske komisije pod nazivom „Equipment for Continuous Emissions Monitoring System at Electric Power Industry of Serbia (EPS) – TENT“, u termoelektranama „Nikola Tesla A“, „Nikola Tesla B“ i „Kolubara“ tokom 2011. i 2012. godine uvedeno je kontinualno merenje emisije zagađujućih materija u vazduh. Kontinualno merenje emisije vrši se automatskim mernim sistemom (AMS) kojim se osiguravaju podaci o koncentraciji i masenom protoku zagađujuće materije u otpadnom gasu tokom neprekidnog rada postrojenja [1].

1 Uvod

U TE „Nikola Tesla A“ na bloku A6 kontinualnim merenjem obuhvaćene su glavne zagađujuće materije: sumpor dioksid (SO_2), ugljen monoksid (CO), oksidi azota (NO_x) i praškaste materije. Radi vrednovanja i ocene kontinualnog merenja uvedeno je i merenje tzv. perifernih parametara, odnosno parametara stanja otpadnog gasa: temperature, pritiska, zapreminskog protoka, sadržaja vlage i sadržaja kiseonika (O_2).

Uredbom o graničnim vrednostima emisija zagađujućih materija u vazduh iz postrojenja za sagorevanje [2] definisana je najveća dozvoljena količina zagađujuće materije sadržana u otpadnom gasu koja može biti emitovana u vazduh (GVE – granična vrednost emisije). U cilju poređenja sa graničnim vrednostima emisije, rezultati merenja izraženi kao masena koncentracija zagađujućih materija u otpadnom gasu preračunavaju se na jedinicu zapremine suvih otpadnih gasova, normalne uslove (temperatura 273,15 K i pritisak 101,3 kPa) i referentni udeo kiseonika u otpadnom gasu, koji za postrojenja za sagorevanje čvrstog goriva iznosi 6 %.

2 SRPS EN 14181 - Obezbeđenje kvaliteta automatskih mernih sistema

Za trajno ugrađene automatske merne sisteme (AMS) na stacionarnim izvorima zagađenja, Evropska direktiva o industrijskim emisijama IED [3] zahteva obezbeđenje kvaliteta u skladu sa Evropskom normom EN 14181 [4]. Uspostavljaju se tri nivoa kvaliteta AMS (QAL1, QAL2 i QAL3) kojima se definišu postupci za ispunjavanje zahteva za sertifikaciju, verifikaciju, kalibraciju i

stalnu proveru AMS tokom njegovog rada, kao i zahteva za mernu nesigurnost koja je definisana zakonskom regulativom. Kao dodatni četvrti nivo propisan je godišnji kontrolni test (AST - annual surveillance test) u cilju provere performansi, varijabilnosti i validnosti kalibracione funkcije AMS-a. Za obezbeđenje kvaliteta AMS-a za praškaste materije CEN je izdao i standard EN 13284-2 [5] koji se poziva na EN 14181 i primenjuje se samo u skladu sa njim.

2.1 QAL1 - Obezbeđenje poverenja nivoa 1

Postupak za obezbeđenje poverenja nivoa 1 (QAL1) se koristi da bi se pokazala potencijalna podobnost AMS-a pre nego što se postavi na merno mesto. AMS mora da zadovolji zahteve standarda SRPS EN ISO 14956 [6] i SRPS EN 15267-3 [7] u kojima su definisani postupci koji obuhvataju zahteve QAL1 standarda SRPS EN 14181. Korišćenjem ovih standarda potrebno je dokazati da ukupna merna nesigurnost dobijenih rezultata zadovoljava zahteve propisane zakonskom regulativom [1], [3].

Ako je instrument testiran na odgovarajući način u skladu sa SRPS EN 15267-3 onda se može smatrati da automatski ispunjava zahteve QAL1 (sve dok delokrug testova standarda SRPS EN 15267-3 potvrđuje da je instrument odgovarajući za tip procesa na određenoj postrojenju). U tim slučajevima rezultati QAL1 koji prate sertifikaciju AMS-a mogu da se koriste bez daljih proračuna i predstavljaju ulazne podatke za obezbeđenje poverenja nivoa 3 (QAL3). Ako takvi podaci nisu raspoloživi za određeni AMS oni se mogu zameniti podacima koji su dati u proizvođačkim specifikacijama sličnih AMS-a.

2.2 QAL2 - Obezbeđenje poverenja nivoa 2

Kalibracija AMS se vrši u skladu sa procedurom obezbeđenja poverenja nivoa 2 (QAL2) koja je data standardom SRPS EN 14181. Procedura obuhvata seriju paralelnih merenja (najmanje 15) sa standardnim referentnim metodama (SRM). Određuje se kalibraciona funkcija na osnovu SRM i AMS dobijenih rezultata i definiše se validni opseg kalibracije, a zatim se sprovodi test varijabilnosti AMS vrednosti radi provere usaglašenosti sa zahtevanom mernom nesigurnošću. Pre sprovođenja QAL2 neophodno je da AMS bude postavljen na reprezentativnom mernom mestu, u skladu sa SRPS EN 15259 [8].

Kalibracija AMS vrši se najmanje jednom u 5 godina, a u slučaju neke značajne promene u funkcionisanju postrojenja ili intervencije na AMS koja može imati uticaj na pouzdanost rezultata, QAL2 je neophodno sprovesti u periodu od 6 meseci od tih promena.

Zahtev standarda SRPS EN 14181 je da se u sklopu QAL2 i AST jednom godišnje sprovodi. test funkcionalnosti. Testove sprovodi kompetentna akreditovana laboratorija sa dozvolom nadležnog ministarstva, najviše 30 dana pre paralelnih merenja u okviru QAL2 i AST. Cilj je da se kroz seriju provera pokaže da AMS ispunjava propisane zahteve i da je funkcionalno spreman za paralelna merenja. U Tabeli 1 prikazane su pojedinačne provere u okviru funkcionalnog testa za ekstraktivni i ne-ekstraktivni AMS. Standard SRPS EN 15267-3 propisuje procedure ovih testova i provera AMS.

Tabela 1. Testovi funkcionalnosti AMS

Test	Ekstraktivni AMS	Ne-ekstraktivni AMS
Poravnanje i čistoća		✓
Sistem za uzorkovanje	✓	
Dokumentacija i zapisi	✓	✓
Oppluživanje	✓	✓
Test zaptivenosti	✓	
Provera nule i "span"-a	✓	✓
Linearnost	✓	✓
Smetnje	✓	✓
Vreme odziva	✓	✓

Pored kalibracije automatskih mernih sistema koji mere koncentracije zagađujućih materija za koje je propisano kontinualno merenje zakonskom regulativom, preporuka je da se u okviru QAL2 vrši i kalibracija tzv. perifernih AMS. Periferni parametri (sadržaj kiseonika, sadržaj valge, temperatura i pritisak otpadnog gasa) su neophodni za svođenje merenih vrednosti na standardne uslove.

2.3 Godišnji kontrolni test (AST)

Godišnji kontrolni test (AST) ima za cilj proveru varijabilnosti i validnosti kalibracione funkcije određene u okviru QAL2. Takođe, svrha AST je da pokaže da merna oprema funkcioniše ispravno i da njene performanse i dalje ispunjavaju zahtevane kriterijume. Test funkcionalnosti se sprovodi na isti način kao za QAL2 od strane akreditovane, i od nadležnog ministarstva ovlašćene laboratorije. AST test obuhvata najmanje 5 paralelnih merenja SRM-AMS. Procedura za sprovođenje paralelnih merenja je ista kao za QAL2.

2.4 QAL3 - Obezbeđenje poverenja nivoa 3

Nakon sertifikacije (QAL1) i kalibracije (QAL2), neophodno je sprovesti stalnu kontrolu kvaliteta AMS-a (QAL3). Tokom svog rada AMS može početi da odstupa i postati manje precizan. Ta nestabilnost može biti izazvana kontaminacijama na samom AMS (zaprljanost optike (sočiva), zamućenost filtera, itd.), što izaziva sistematsko odstupanje. Sa druge strane, AMS je podložan kratkotrajnim varijacijama u stabilnosti i preciznosti pod uticajem faktora kao što su promene u ambijentalnoj temperaturi i pritisku. Te varijacije izazivaju tzv. slučajno odstupanje, koje do nekog stepena može biti prihvatljivo. Stoga, QAL3 zahteva sprovođenje procedure koja obuhvata:

- merenje (provera) nulte i "span" vrednosti;
- izradu kontrolnih karata;

- propisivanje granica upozorenja i granica akcije na kontrolnim kartama, odnosno propisivanje kriterijuma kada je potrebno pokrenuti korektivne mere za otklanjanje neprihvatljivih odstupanja.

Kontrolne karte zahtevaju redovne i idealno učestale provere. Redovna merenja na nultoj i referentnoj tački ("span") predstavljaju osnov QAL3 procedure. Učestalost provere AMS u okviru QAL3 procedure je definisana da bude jednom u toku intervala održavanja. Interval održavanja određuje se tokom sertifikacije AMS-a (QAL1) prema SRPS EN 15267-3. Na osnovu kontrolnih karata može se pratiti trend merenih vrednosti i uvideti kada je neophodno podešavanje AMS-a. Takođe obaveza operatera je da obezbedi da AMS radi u okviru validnog kalibracionog opsega.

3 Automatski merni sistemi za kontinualno merenje emisije na bloku A6

3.1 AMS za praškaste materije

U TE „Nikola Tesla A“ na bloku A6 za kontinualno merenje emisije praškastih materija instaliran je optički uređaj DR-290, Durag GmbH, koji se sastoji od optičke jedinice (primopredajnik), reflektora, kontrolne jedinice i kompresora za vazdušno čišćenje. Uređaj meri slabljenje inteziteta emitovane svetlosti kroz optički put usled interakcije zračenja sa praškastim materijama u otpadnom gasu. Fizička veličina koju uređaj meri je transparentcija, odnosno odnos inteziteta početnog i reflektovanog zračenja. Iz transparentcije izračunava se ekstinkcija kao negativan logaritam transparentcije. Parametrizacija uređaja vrši se preko kontrolne jedinice.

3.2 AMS za CO, NO_x i SO₂

AMS za gasovite polutante (CO, NO_x i SO₂) se sastoji od sonde za uzorkovanje, grejane linije za transport uzorka, sistema za kondicioniranje otpadnog gasa i gasnog analizator Ultramat 23, Siemens. Osim glavnih zagađujućih materija analizator meri i zapreminske udele kiseonika (O₂) i ugljen dioksida (CO₂), radi svođenja rezultata merenja na referentne uslove. Merna tehnika gasnog analizatora za CO, NO_x, SO₂ i CO₂ je nedisperzivna infracrvena spektrometrija (NDIR), dok se za određivanje zapreminskog udela kiseonika koristi elektrohemijski senzor (EC).

4 SRM metode

4.1 SRM za praškaste materije

AMS za praškaste materije ne meri direktno koncentraciju praškastih materija već određenu fizičku veličinu, pa je direktna kalibracija referentnim materijalom neizvodljiva. S toga se kalibracija vrši direktnim poređenjem AMS vrednosti sa rezultatima dobijenim standardnom referentnom metodom (SRM), što je u slučaju praškastih materija manualna gravimetrijska metoda: SRPS EN 13284-1 [9] i SRPS ISO 9096 [10].

Merenje koncentracija praškastih materija standardnom referentnom metodom (SRM) vršeno je izokinetički u mernoj ravni kvadratnog poprečnog preseka (5 m x 5 m) u 20 definisanih mernih tačaka. Merna ravan se nalazi na dimnom kanalu posle elektrostatičkog fil-

tera i ventilatora dimnog gasa i ima pet mernih otvora. Kao i kod svake gravimetrijske metoda, koncentracija praškastih materija se izračunava na osnovu razlika masa pre i posle merenja (masa filtera i masa čestica prašine u rastvoru od ispiranja delova uzvodno od filtera) i zapremine uzorkovanog otpadnog gasa. Šema aparature za uzorkovanje prikazana je na Slici 1.

Slika 1: Šema aparature za izokinetičko uzorkovanje praškastih materija (1-mlaznica sa filterom i S Pito cev, 2-sonda, 3-hladnjak sa kondenzatorom, 4-silika gel, 5-automatski izokinetički uzorkivač)

4.2 SRM za CO, NO_x i SO₂

Masene koncentracije ugljen monoksida (CO) i oksida azota (NO_x) merene su automatskim metodama gasnim analizatorom PG-250, Horiba. Standardna referentna metoda za određivanje masene koncentracije ugljen monoksida jeste metoda SRPS EN 15058 [11] čija je merna tehnika nedisperzivna infracrvena spektrometrija (NDIR), dok za određivanje masene koncentracije oksida azota (NO_x), SRM metoda SRPS EN 14792 [12] primenjuje hemiluminiscenciju (CLS) kao mernu tehniku. Merna aparatura se sastoji od grejane sonde za uzorkovanje, grejane linije, kondicionera otpadnog gasa i gasnog analizatora. Akvizicija podataka vrši se preko integrisanog data logera.

Standardna referentna metoda za određivanje masene koncentracije SO₂ je metoda SRPS EN 14791 [13] koja opisuje manuelno uzorkovanje i određivanje sadržaja SO₂ torinskom analitičkom metodom. Aparaturu za uzorkovanje čine grejana sonda sa grejanim filterom, grejane linije, dve ispiralice sa apsorpcionim rastvorom (0,3% vodonik-peroksid H₂O₂), silika gelom, pumpom, rotametrom, gasnim satom sa merenjem temperature i pritiska (Slika 2).

Slika 2: Šema aparature za uzorkovanje SO₂ (1-mlaznica, 2-sonda, 3-filter, 4-silika gel, 5-ventil, 6-by-pass ventil, 7-pumpa, 8-gasni sat, 9-ispiralice, 10-rotametar, 11-merač temperature i pritiska)

5 Rezultati ispitivanja

Inicijalna kalibracija (QAL2 procedura) za navedene parametre izvršena je u aprilu 2012. godine. Izvršeno je po 16 uporednih merenja na osnovu kojih su određene kalibracione funkcije i izvršen test varijabilnosti.

Slika 3: Kalibraciona funkcija za ugljen monoksid (CO) na bloku A6

5.1 Ugljen monoksid (CO)

Kalibraciona funkcija u obliku $y=1,4x+0,9$ prikazana je grafički na Slici 3. Granična vrednost emisije (GVE) i 95% interval poverenja (CI), koji su neophodni podaci za određivanje kalibracione funkcije i sprovođenje testa varijabilnosti, definisani su zakonskom regulativom. Za ugljen monoksid, prema Uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh iz postrojenja za sagorevanje [2] i Uredbi o merenjima emisija zagađujućih materija u vazduh iz stacionarnih izvora zagađivanja [1], pomenute vrednosti iznose: GVE=250 mg/m³ i CI=10%. Postupak sprovođenja QAL2 procedure definisan u standardu SRPS EN 14181.

Slika 4: Kalibraciona funkcija za okside azota (NO_x) na bloku A6

5.2 Oksidi azota (NO_x)

Kalibraciona funkcija u obliku $y=0,98x-5,9$ prikazana je grafički na Slici 4. granična vrednost emisije (GVE) i 95% interval poverenja (CI) iznose: GVE=500 mg/m^3 i CI=20%.

5.3 Sumpor dioksid (SO_2)

Kalibraciona funkcija u obliku $y=1,0x+7,0$ prikazana je grafički na Slici 5. Granična vrednost emisije (GVE) i 95% interval poverenja (CI) iznose: GVE=400 mg/m^3 i CI=20%.

Slika 5: Kalibraciona funkcija za sumpor dioksid (SO_2) na bloku A6

5.4 Praškaste materije

Kalibraciona funkcija u obliku $y=35,9x+0,36$ prikazana je grafički na Slici 6. Granična vrednost emisije (GVE) i 95% interval poverenja (CI) iznose: GVE=50 mg/m^3 i CI=300%.

Slika 6: Kalibraciona funkcija za praškaste materije na bloku A6

Na Slici 6 može se primetiti da je koeficijent korelacije $r^2=0,82$ manji od 0,9. Koeficijent korelacije nije obavezujući kriterijum koji se mora ispuniti, ali vrednost veća od 0,9 predstavlja dobar indi-

kator o validnosti kalibracione funkcije. Vrednost $r^2 < 0,9$ ne znači automatski da QAL2 nije uspešno sproveden, već test varijabilnosti predstavlja krajnju indikaciju uspešnosti [14]. U ovom slučaju kalibraciona funkcija je prošla test varijabilnosti uprkos manjoj vrednosti koeficijenta korelacije od 0,9.

6 Zaključak

Tokom 2012. godine u TE „Nikola Tesla A“ na bloku A6, uspešno su implementirani automatski merni sistemi za kontinualno merenje emisije zagađujućih materija u vazduh. Obezbeđenje kvaliteta AMS-a u skladu sa SRPS EN 14181 otvorilo je novo poglavlje monitoringa emisije zagađujućih materija u vazduh u termoelektanama u Srbiji. Kontinualno merenje emisije postalo je obaveza zahtevana evropskom i nacionalnom regulativom, naročito za velike stacionarne izvore zagađivanja.

Sprovedena QAL2 procedura od strane Laboratorije za zaštitu životne i radne sredine Rudarskog instituta, potvrdila je ispravnost i funkcionalnost automatskih mernih sistema. Tokom naredne četiri godine sprovedeni su AST testovi koji su potvrdili varijabilnost i validnost kalibracionih funkcija, kao i da je preciznost AMS i dalje u zahtevanim okvirima, odnosno da AMS vrednosti i dalje isunjavaju zahteve za mernu nesigurnost koji su definisani zakonskom regulativom.

Literatura

- [1] Uredba o merenjima emisija zagađujućih materija u vazduh iz stacionarnih izvora zagađivanja, Službeni glasnik Republike Srbije 5/16, 2016.;
- [2] Uredba o graničnim vrednostima emisija zagađujućih materija u vazduh iz postrojenja za sagorevanje, Službeni glasnik Republike Srbije 6/16, 2016;
- [3] Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control), European Commission, 2010;
- [4] SRPS EN 14181:2015, Emisije iz stacionarnih izvora – Obezbeđenje kvaliteta automatskih mernih Sistema, Institut za standardizaciju Srbije, 2015;
- [5] SRPS EN 13284-2:2009, Emisije iz stacionarnih izvora – Određivanje prašine u opsegu niskih masenih koncentracija - Deo 2: Automatizovani merni sistemi, Institut za standardizaciju Srbije, 2009;
- [6] SRPS EN ISO 14956:2010, Kvalitet vazduha - Vrednovanje pogodnosti merne procedure poređenjem sa zahtevanom mernom nesigurnošću, Institut za standardizaciju Srbije, 2010;
- [7] SRPS EN 15267-3:2010, Kvalitet vazduha - Sertifikacija automatizovanih mernih sistema - Deo 3: Kriterijumi za performanse i procedure ispitivanja automatizovanih mernih sistema za monitoring emisije iz stacionarnih izvora, Institut za standardizaciju Srbije, 2010;
- [8] SRPS EN 15259:2010, Kvalitet vazduha - Merenje emisije iz stacionarnih izvora - Zahtevi za merne preseke i ravni i za ciljeve merenja, planiranje i izveštavanje, Institut za standardizaciju Srbije, 2010;
- [9] SRPS EN 13284-1:2009, Emisije iz stacionarnih izvora -

Određivanje prašine u opsegu niskih masenih koncentracija - Deo 1: Manuelna gravimetrijska metoda, Institut za standardizaciju Srbije, 2009;

[10] *SRPS ISO 9096:2010, Emisije iz stacionarnih izvora - Manuelno određivanje masene koncentracije praškastih materija*, Institut za standardizaciju Srbije, 2010;

[11] *SRPS EN 15058:2009, Emisije iz stacionarnih izvora - Određivanje masene koncentracije ugljen-monoksida (CO) – Referentna metoda: nedisperzivna infracrvena spektrometrija*, Institut za standardizaciju Srbije, 2009;

[12] *SRPS EN 14792:2009, Emisije iz stacionarnih izvora - Određivanje masene koncentracije oksida azota (NO_x) – Referentna metoda: hemiluminiscencija*, Institut za standardizaciju Srbije, 2009;

[13] *SRPS EN 14791:2009, Emisije iz stacionarnih izvora - Određivanje masene koncentracije sumpordioksida – Referentna metoda*, Institut za standardizaciju Srbije, 2009;

[14] *Technical Guidance Note M20, Quality assurance of continuous emission monitoring systems - application of EN 14181 and BS EN 13284-2*, Environment Agency UK, 2015.

Autor

Marko PAVLOVIĆ
Rudarski institut d.o.o.
Batajnički put 2, 11080 Beograd
marko.pavlovic@ribeograd.ac.rs

Mihajlo GIGOV
Rudarski institut d.o.o.
Batajnički put 2, 11080 Beograd

Sandra PETKOVIĆ
Rudarski institut d.o.o.
Batajnički put 2, 11080 Beograd

Miroslav SOFRENIĆ
Rudarski institut d.o.o.
Batajnički put 2, 11080 Beograd

Izdanja SMEITS-a