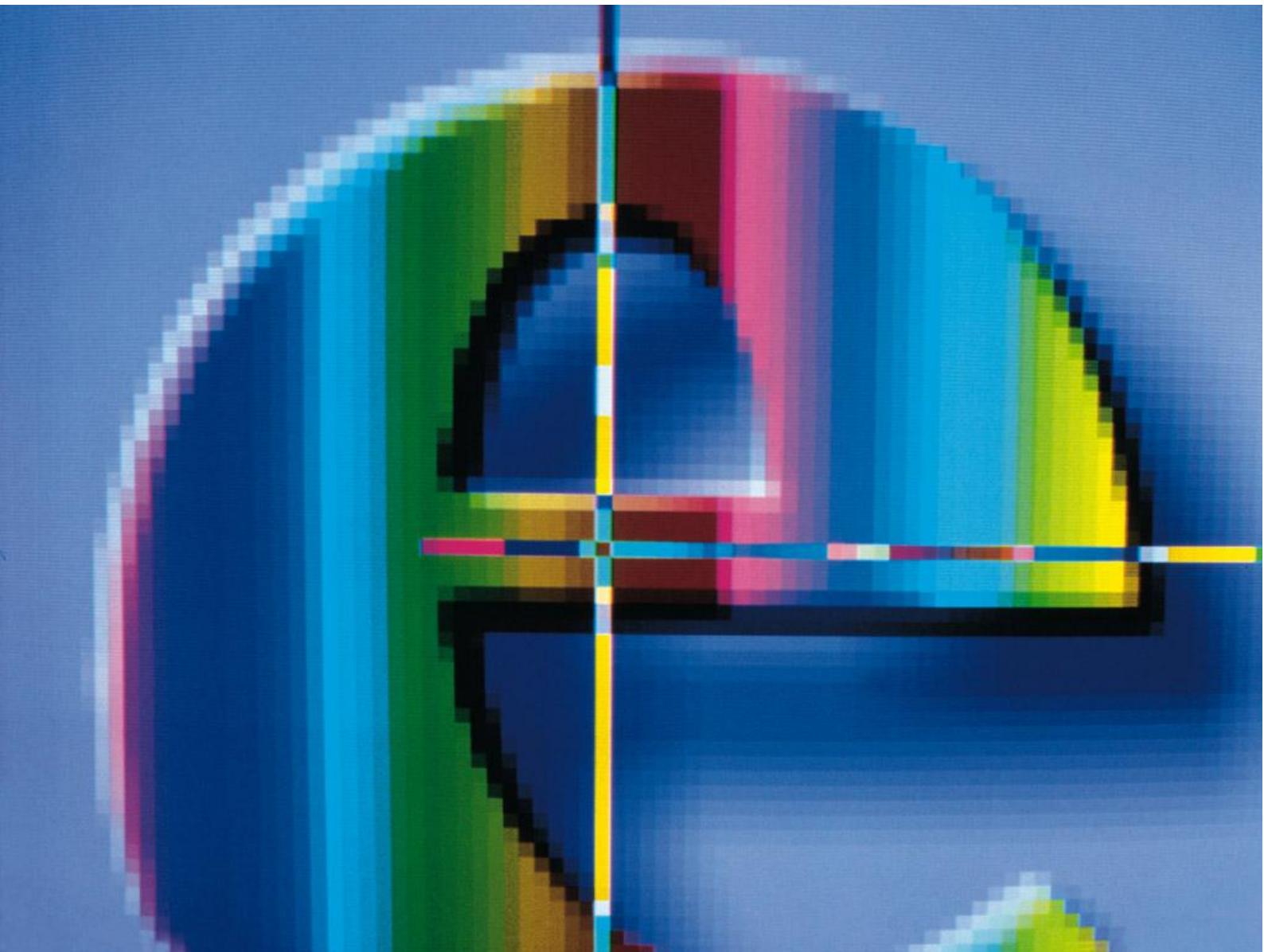


**GODIŠNJA PROVJERA
AUTOMATSKOG MJERNOG
SUSTAVA ZA KONTINUIRANO
MJERENJE EMISIJA U ZRAK
IZ
ISPUSTA BLOKA C TE-TO SISAK**



Zagreb, 2025.



Naručitelj:

HEP PROIZVODNJA d.o.o.
Sektor za termoelektrane
Pogon TE-TO Sisak
Industrijska cesta 10
44010 Sisak

Radni nalog:

I-02-2234_23

Naslov:

**GODIŠNJA PROVJERA AUTOMATSKOG MJERNOG SUSTAVA ZA KONTINUIRANO
MJERENJE EMISIJA U ZRAK IZ ISPUSTA BLOKA C TE-TO SISAK**

Ispitivanja proveli:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.
Borna Glückselig, mag. ing. agr.

Obrada rezultata mjerenja:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.

Direktor odjela za mjerenja i analitiku:

Bojan Abramović, dipl. ing.

Direktor:

Elvis Cukon, dipl. ing. stroj., MBA

Zagreb, 3. 12. 2025.

SADRŽAJ

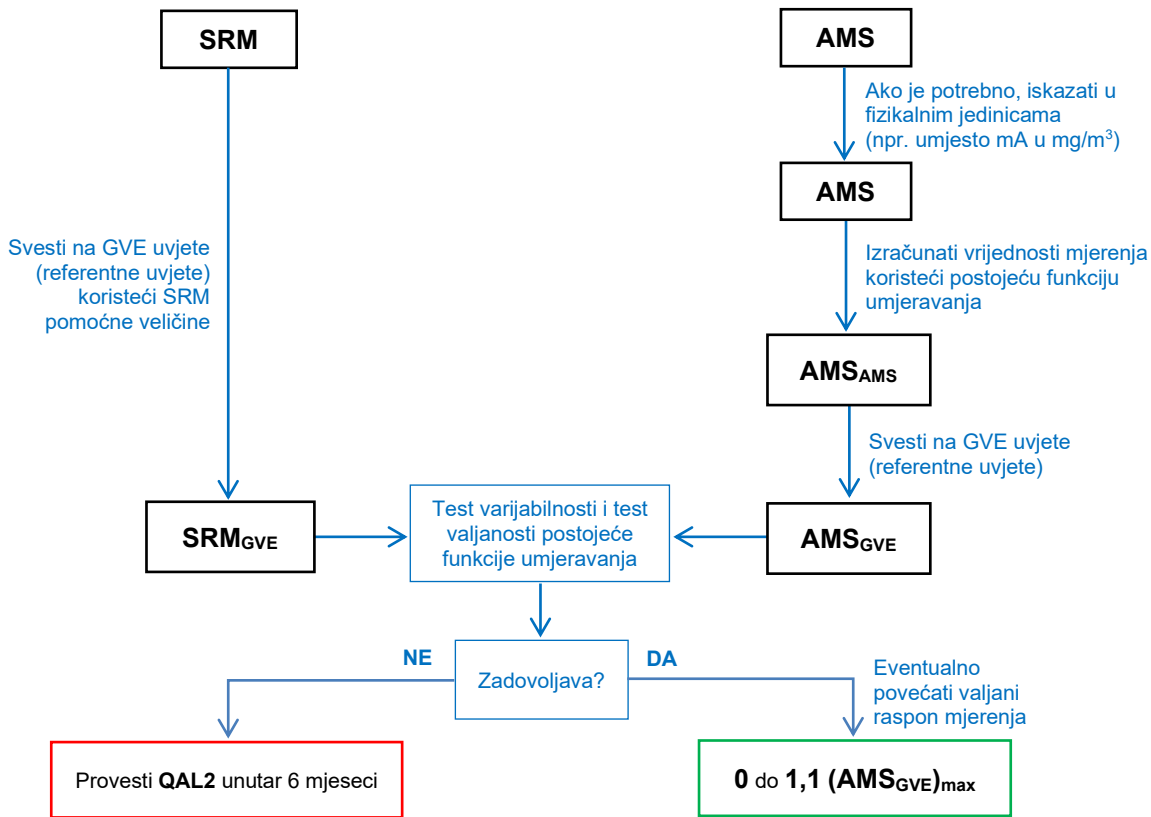
1. UVOD	2
2. AUTOMATSKI MJERNI SUSTAVI	3
2.1. MJERNI UREĐAJI	3
2.1.1. Mjerenje temperature dimnih plinova Pt100 osjetnikom.....	3
2.1.2. Mjerenje protoka uređajem DURAG D-FL 100	4
2.1.3. Mjerenje CO, NO i O ₂ sustavom ABB AO2020 i Bühler Bunox konverterom.....	5
2.2. AMS RAČUNALO	7
3. REZULTATI	8
3.1. REZULTATI PARALELNIH MJERENJA	10
3.1.1. Mjerenje O ₂ uređajem ABB AO2020 Magnos 206	11
3.1.2. Provjera konstante vlažnosti dimnih plinova	12
3.1.3. Mjerenje NO _x uređajem ABB AO2020 Uras 26.....	13
3.1.4. Mjerenje CO uređajem ABB AO2020 Uras 26	14
4. ZAKLJUČAK	15
<u>KRATICE I INDEKSI</u>	16
<u>POJMOVNIK</u>	18

PRILOG

- A. L2-I-02-2234_23/25 EKONERG - *Laboratorij za mjerenje emisija: Izvještaj o mjerenju emisija iz ispusta bloka C TE-TO Sisak, 3. prosinac 2025.*

1. UVOD

Godišnja provjera uređaja automatskog mjernog sustava (AMS) za kontinuirano mjerenje emisija u zrak iz ispusta bloka C TE-TO Sisak provedena su prema postupku AST (engl. *Annual Surveillance Test*) norme HRN EN 14181:2014. Dijagram toka godišnje provjere (AST) dan je na sl. 1, a pregled AMS uređaja dan je u tab. 1.



Sl. 1: Dijagram toka godišnje provjere AMS uređaja prema AST HRN EN 14181:2014

Tab. 1: Pregled AMS uređaja ispusta bloka C TE-TO Sisak

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispustu)	protok (brzina), Q	DURAG D-FL 100 (serijski br: 1241755)
	temperatura, ϑ	mikroprocesorska jedinica D-FL 100-20 M (serijski br: 1240313) PT100 TTH300-Y0/OPT (serijski br: 6157951)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (8 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljičkov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav ABB AO2020 s modulom Uras 26 za mjerenje NO (serijski broj: 3.358261.1) i modulom Magnus 206 za mjerenje O_2 (serijski broj: 3.358265.1)
	dušikov monoksid, NO	
	kisik, O_2	Bühler Bunox katalitički konverter za pretvorbu NO_2 u NO

Kao što se vidi iz dijagrama toka na sl. 1, AST postupak (godišnja provjera) temelji se na usporedbi rezultata paralelnih mjerenja između AMS uređaja i kontrolnih mjerenja koja su provedena standardnim referentnim metodama (skraćeno SRM).

Kontrolni proračun volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O , %) te mjerenja protoka dimnih plinova (Q , m^3/h), temperature dimnih plinova (ϑ , $^{\circ}C$), volumnog udjela ugljičnog monoksida

u suhim dimnim plinovima (CO , ppm), volumnog udjela dušikovih oksida u suhim dimnim plinovima (NO_x , ppm) i volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima (O_2 , %) proveo je *Laboratorij za mjerenje emisija* tvrtke EKONERG d.o.o.

EKONERG d.o.o., *Odjel za mjerenja i analitiku, Laboratorij za mjerenje emisija* akreditirani je ispitni laboratorij prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017 od strane *Hrvatske akreditacijske agencije* u području opisanom u prilogu *Potvrde o akreditaciji br. 1194*. Rješenjem *Ministarstva zaštite okoliša i energetike*¹ od 12. lipnja 2019. godine, EKONERG-u je dozvoljeno obavljanje provjere ispravnosti mjernih sustava za kontinuirano mjerenje emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora sukladno zahtjevima norme HRN EN 14181 za 10 referentnih metoda (mzozt.gov.hr).

Opis postrojenja bloka C TE-TO Sisak, tehničke značajke izvora emisija, primijenjene metode mjerenja i korišteni kontrolni mjerni uređaji te rezultati kontrolnih mjerenja dani su u izvještaju *Laboratorija za mjerenje emisija* u **Prilogu A**. Sastavni dio izvještaja *Laboratorija za mjerenje emisija* je i plan mjerenja u kojem je opisan izgled mjernog mjesta i priključaka za kontrolna mjerenja, dan je oblik i dimenzije mjernog presjeka, broj mjernih linija i raspored točaka mjerenja po mjernoj ravnini ispusta.

2. AUTOMATSKI MJERNI SUSTAVI

Automatski mjerni sustav (AMS) ispusta bloka C TE-TO Sisak sastoji se od: sonde za uzorkovanje dimnih plinova s grijanom glavom i grijanim crijevom, mjernih uređaja u ispustu dimnih plinova (DURAG D-FL 100 za mjerenje protoka dimnih plinova s integriranim Pt100 osjetnikom za mjerenje temperature dimnih plinova) i klimatiziranog ormara unutar kojeg se nalazi: sustav za kontinuiranu pripremu suhog uzorka dimnih plinova, Bühler Bunox katalitički konverter za pretvorbu NO_2 u NO te ekstraktivni modularni analizatorski sustav ABB AO2020 za mjerenje CO , NO (modul Uras 26) i O_2 (modul Magnos 206).

Izmjereni signali AMS uređaja se putem sustava za prijenos i pretvorbu podataka proslijeđuju AMS računalu (s programom DURAG D-EMS 2000 i WIN D-EVA) koje je smješteno u upravljačkoj prostoriji bloka C gdje se vrši obrada, prikaz, izvješćivanje i pohrana izmjerenih emisijskih veličina.

2.1. Mjerni uređaji

2.1.1. Mjerenje temperature dimnih plinova Pt100 osjetnikom

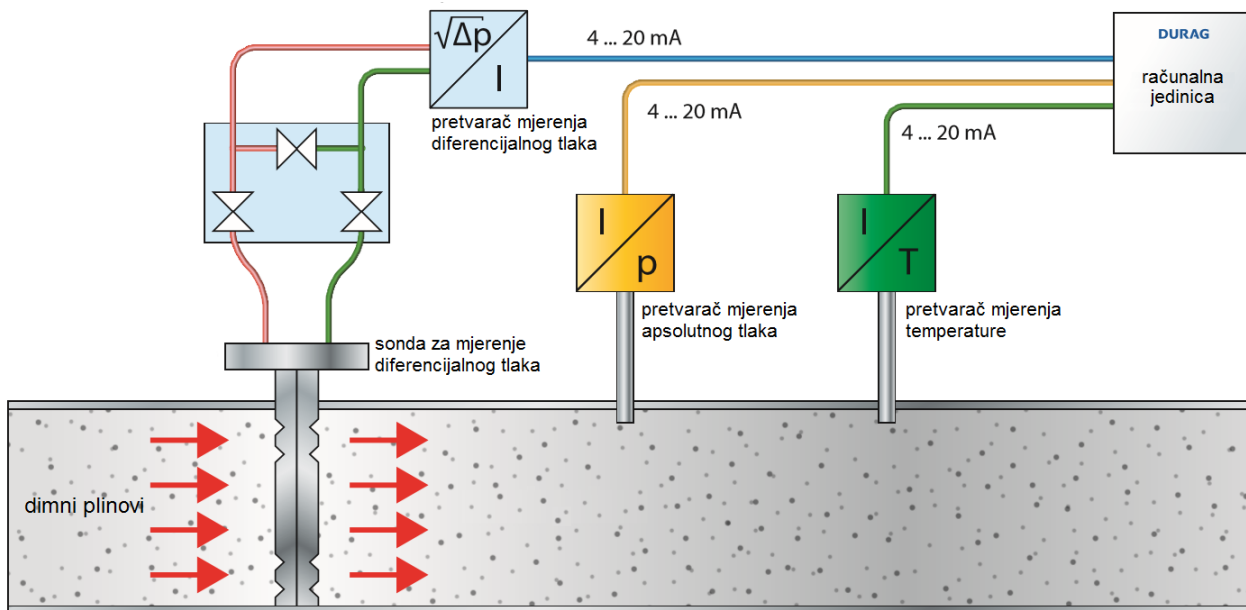
Otporni osjetnik Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova integriran je u uređaj za mjerenje protoka dimnih plinova DURAG D-FL 100.

Metoda mjerenja temperature otpornim termometrom zasniva se na fizikalnom svojstvu promjene električnog otpora metala (platina, od tuda oznaka Pt) s temperaturom. Kod temperature $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ otporni termometar tipa Pt100 ima električni otpor $100\ \Omega$. Kroz otporni termometar se provodi konstantna električna struja koja generira pad napona ovisan o otporu, a time i o temperaturi. Mjerenjem naponskog signala za poznatu struju izračunava se otpor, odnosno temperatura. Kako se uslijed prolaska električne struje kroz osjetnik razvija Jouleova toplina, dolazi do povišenja temperature samog otpornog elementa zbog čega je temperatura koja se detektira osjetnikom veća od stvarne temperature medija. Greška uslijed samozagrijavanja ovisi o izvedbi otpornog osjetnika (klasi), a može se kretati od zanemarivih vrijednosti pa do $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

¹ Temeljem članka 34. i članka 35. *Zakona o ustrojstvu i djelokrugu tijela državne uprave* („Narodne novine“, broj 85/20), od 22. srpnja 2020. *Ministarstvo zaštite okoliša i energetike* nastavlja s radom kao *Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja*. Temeljem članka 15. *Zakona o ustrojstvu i djelokrugu tijela državne uprave* („Narodne novine“, broj 57/2024), od 16. svibnja 2024. *Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije* preuzima poslove iz djelokruga dosadašnjeg *Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja*.

2.1.2. Mjerenje protoka uređajem DURAG D-FL 100

Mjerenje brzine (protoka) dimnih plinova vrši se neekstraktivnim (lat. *in-situ*) uređajem DURAG D-FL 100 koji je shematski prikazan na sl. 2.



Sl. 2: Shematski prikaz principa mjerenja brzine uređajem DURAG D-FL 100

Temeljem izmjerenih vrijednosti diferencijalnog tlaka, apsolutnog tlaka i temperature u ispustu dimnih plinova, računalska jedinica izračunava brzinu a prema zadanoj geometriji ispusta i protok dimnih plinova. DURAG D-FL 100 protok mjerni u vlažnim dimnim plinovima, a vrijednost brzine strujanja i protoka dimnih plinova izračunava se prema sljedećim jednadžbama:

$$v = k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}, \quad (1)$$

$$\rho = \rho_n \cdot \frac{p}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T}, \quad (2)$$

$$Q_n = \frac{0,020763 \cdot D^2 \cdot k}{\sqrt{\rho_n}} \cdot \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{(273,15 + \vartheta)}} \cdot \sqrt{\Delta p}, \quad (3)$$

gdje je:

Q_n ; m³/h; protok dimnih plinova pri normiranom stanju (273,15 K i 1013,25 hPa),

k ; -; korekcijski koeficijent Pitot sonde; $k = 0,7878$,

Δp ; mbar; diferencijalni tlak u ispustu (mjeren Pitot sondom),

ρ ; kg/m³; gustoća dimnih plinova,

ρ_n ; kg/m³; gustoća dimnih plinova pri normiranom stanju; $\rho_n = 1,27$ kg/m³,

p ; mbar; apsolutni tlak u ispustu dimnih plinova (mjeren osjetnikom tlaka),

p_n ; mbar; tlak normiranog stanja; $p_n = 1013,25$ hPa,

T_n ; K; temperatura normiranog stanja; $T_n = 273,15$ K,

- T ; K; temperatura dimnih plinova; $T = \vartheta + 273,15$ K,
 D ; mm; promjer ispusta; $D = 6000$ mm,
 ϑ ; °C; temperatura dimnih plinova (mjerena otpornim osjetnikom Pt100).

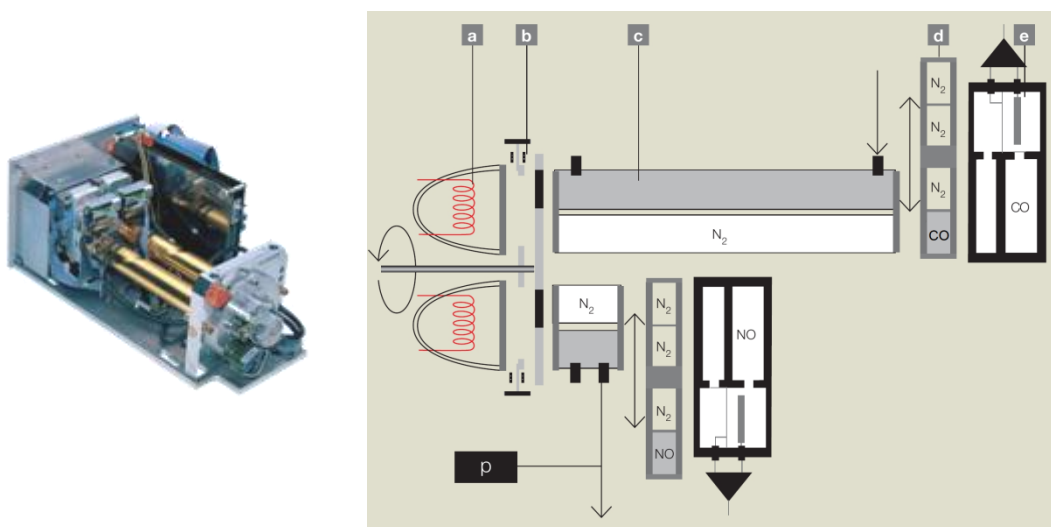
2.1.3. Mjerenje CO, NO i O₂ sustavom ABB AO2020 i Bühler Bunox konverterom

Mjerenje volumnih udjela CO, NO (NO_x kao NO) i O₂ u suhim dimnim plinovima vrši se pomoću višekomponentnog analizatorskog sustava ekstraktivnog tipa ABB AO2020 koji je prikazan na sl. 3.



Sl. 3: Višekomponentni modularni analizatorski sustav ABB AO2020

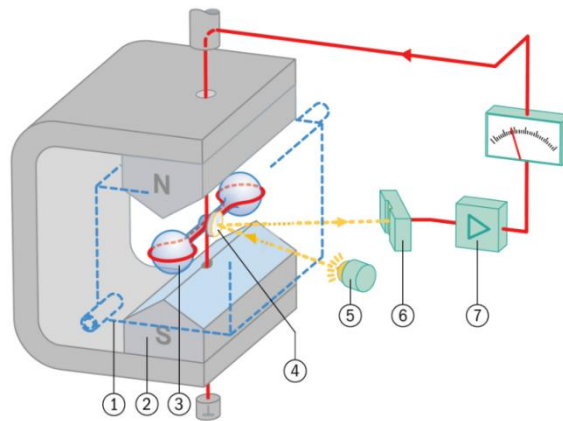
Modul Uras 26 mjeri volumne udjele CO i NO metodom ne-disperzivne infracrvene apsorpcije (engl. *Non-Dispersive Infra-Red* - NDIR). NDIR mjerna metoda se zasniva na pojavi da molekule plinova koje se sastoje od različitih atoma apsorbiraju infracrveno zračenje različitih valnih duljina. Mjerenje volumnih koncentracija CO i NO se vrši nakon filtriranja dijela spektra u kojem je apsorpcija pojedinog plina najveća. Modul Uras 26 prikazan je na sl. 4.



Sl. 4: Modul Uras 26 s NDIR metodom mjerenja CO i NO

a: izvor infracrvenog zračenja; **b:** rotirajuća blenda; **c:** mjerna ćelija (ispod se nalazi referentna ćelija); **d:** punjenja s referentnim plinovima (njem. *Küvette*) za provjeru nule i mjernog raspona uređaja; **e:** detektor infracrvenog zračenja punjen plinom s membranskim kondenzatorom

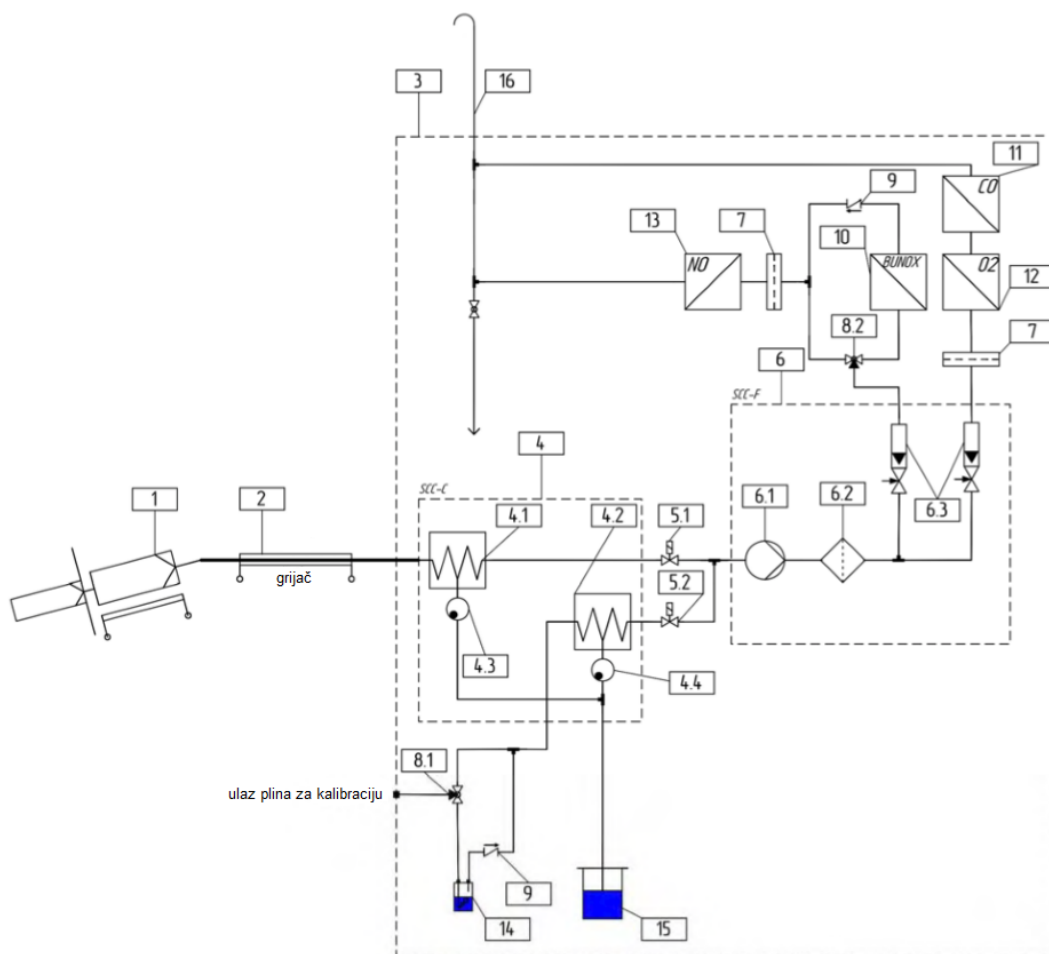
Molekule kisika ne apsorbiraju infracrveno zračenje jer se sastoje od istih atoma te se za mjerenje volumnog udjela O_2 u modulu Magnos 206 koristi paramagnetska metoda koja je shematski prikazana na sl. 5. Propuštanjem dimnih plinova kroz jako magnetsko polje koje se mijenja zbog paramagnetskih svojstava kisika rezultira zakretanjem dijamagnetskog² utega (dvije šuplje sfere na sl. 5). Uređaj optičko-elektronički kompenzira zakret utega, a mjerljivi napor kompenzacije je proporcionalan koncentraciji O_2 .



Sl. 5: Modul s paramagnetskom metodom mjerenja O_2
1: mjerna ćelija; 2: magnetsko polje; 3: ovješeni dijamagnetski uteg;
4: zrcalo; 5: izvor svjetlosti; 6: detektor; 7: kompenzacijsko pojačalo

Kako je u sklopu mjernog sustava ugrađen Bühler Bunox katalitički konverter koji vrši pretvorbu NO_2 u NO prije dobave uzorka dimnih plinova u modul Uras 26, AMS efektivno mjeri NO_x (NO_x iskazan kao NO). Sustav za mjerenje emisija CO , NO_x i O_2 prikazan je na sl. 6.

² Dijamagnetične tvari u vanjskom magnetskom polju formiraju kružno gibanje elektrona oko jezgre što rezultira magnetskim poljem suprotnim vanjskom magnetskom polju. Stoga magnetsko polje odbija dijamagnetične tvari.



Sl. 6: Shematski prikaz sustava za mjerenje CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima

1: grijana glava sa sondom za uzorkovanje dimnih plinova; 2: grijano crijevo; 3: klimatizirani ormar; 4: dvostupanjski hladnjak; 6: podsustav za dobavu uzorkovanih dimnih plinova; 7: vodonepropusni ventil; 8.2: prenosni ventil; 10: NO_2 konverter; 11: mjerna ćelija volumnog udjela CO ; 12: mjerna ćelija volumnog udjela O_2 ; 13: mjerna ćelija volumnog udjela NO ; 14: ovlaživač plinova za kalibraciju uređaja; 15: spremnik kondenzata; 16: odušak uzorkovanih dimnih plinova

2.2. AMS RAČUNALO

AMS računalo s programom DURAG D-EMS 2000 služi za obradu, prikaz, izvješćivanje i pohranu izmjerenih emisijskih veličina. Kako je svaki analogni strujni signal (4 mA - 20 mA) izmjerenih veličina (CO , NO , O_2 , Q i ϑ) lineariziran, to znači da su i digitalni signali ovih veličina također linearni. Stoga za izračun tzv. „sirovih“ fizikalnih veličina računalo koristi jednadžbe pravca (tzv. regresijske pravce) koji se određuju umjeravanjem. Računalo vrši preračun „sirovih“ fizikalnih emisijskih veličina na referentne uvjete koji odgovaraju volumenu suhih plinova ($H_2O = 0\%$) kod referentnog sadržaja kisika ($O_2 = 15\%$) pri $0\text{ }^\circ\text{C}$ i $1013,25\text{ hPa}$. Računalo potom računa tzv. provjerene vrijednosti emisija tako što od važećih³ vrijednosti emisija svedenih na referentne uvjete oduzme mjernu nesigurnost. Ovako izračunate provjerene srednje satne vrijednosti se koriste za daljnji izračun prosječnih vrijednosti koje se potom uspoređuju s graničnim vrijednostima emisija (GVE). Postavke algoritma za izračun emisijskih veličina dane su u tab. 2. Tumač oznaka mjernih jedinica (npr. $\%_{\text{sdp}}$, $\text{m}_n^3_{\text{vdp}}$) dan je u poglavlju KRATICE I INDEKSI.

³ Izuzimaju se vrijednosti izmjerene tijekom upuštanja u rad i prestanka rada postrojenja te u slučaju opterećenja manjeg od 70%.

Tab. 2: Izračun emisijskih veličina u algoritmu emisijskog računala (10. listopada 2023.)

Mjerena veličina	Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA	Izračun mjerene („sirove“) vrijednosti	Korekcijski koeficijenti za svodenje na referentne (GVE) uvjete			
			k_{O_2}	k_{H_2O}	k_{ϑ}	k_p
CO	0 - 250 mg/m ³ _{sdp}	$CO = 15,625 \cdot (mA) - 62,5$	DA	-	-	-
NO	0 - 230,48 mg/m ³ _{sdp}	$NO = 14,405 \cdot (mA) - 57,62$	-	-	-	-
NO_x	-	$NO_x = NO \cdot 1,533$	DA	-	-	-
O_2	0 - 25 % _{sdp}	$O_2 = 1,5625 \cdot (mA) - 6,25$	-	-	-	-
ϑ	0 - 400 °C	$\vartheta = 25 \cdot (mA) - 100$	-	-	-	-
Q	0 - 2 044 470,5 m ³ _{vdh} /h	$Q = 127 779,4 \cdot (mA) - 511 117,5$	DA	DA	-	-
H_2O	-	$H_2O = 8 \%$	-	-	-	-

OZNAKE UZ KOREKCIJSKE KOEFICIJENTE

DA: korekcijski koeficijent se koristi i treba ga koristiti,

NE: korekcijski koeficijent se ne koristi a treba ga koristiti,

- : korekcijski koeficijent se ne koristi i ne treba ga koristiti.

Preračun koncentracija plinovitih onečišćujućih tvari (CO i NO_x) na referentne uvjete vrši se množenjem izmjerene (tzv. „sirove“) vrijednosti s korekcijskim koeficijentom k_{O_2} . Preračun protoka dimnih plinova (Q) na referentne uvjete vrši se dijeljenjem izmjerene vrijednosti s koeficijentima k_{H_2O} i k_{O_2} (korekcijske faktore k_{ϑ} i k_p uređaj interno izračunava u sklopu izlazne vrijednosti). Pri tome se korekcijski koeficijenti računaju na sljedeći način:

$$k_{O_2} = \frac{21\% - 15\%}{21\% - O_2}; \quad k_{H_2O} = \frac{100\%}{100\% - H_2O}; \quad k_{\vartheta} = \frac{273,15 + \vartheta}{273,15}; \quad k_p = \frac{p}{1013,25} \quad (4)$$

gdje je:

 O_2 ; %; volumni udio kisika u suhim dimnim plinovima, H_2O ; %; volumni udio vodene pare (vlage) u vlažnim dimnim plinovima, ϑ ; °C; temperatura dimnih plinova, p ; hPa; tlak dimnih plinova u ispustu.**3. REZULTATI**

Godišnja provjera (AST) temelji se na rezultatima paralelnih mjerenja, a utvrđuje ispravnost mjerenja AMS uređaja prema rezultatima testa valjanosti regresijskog pravca određenog tijekom umjeravanja i testa varijabilnosti.

Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 42/2021), odnosno Direktivi 2010/75/EU od 24. studenog 2010. o industrijskim emisijama (integrirano sprečavanje i kontrola onečišćenja) propisane su polovine dvostranih 95 %-tnih intervala pouzdanosti AMS uređaja koje su iskazane kao postotci (P) od graničnih vrijednosti emisija (GVE). Kako je mjerna nesigurnost polovina ukupnog intervala pouzdanosti (I), tada se propisana standardna devijacija σ_0 računa na sljedeći način:

$$\sigma_0 = \frac{I}{2 \cdot 1,96} = \frac{P \cdot GVE}{1,96}. \quad (5)$$

GVE i mjerna nesigurnost σ_0 iskazane su kod referentnog stanja što znači da i testovi varijabilnosti AMS uređaja moraju biti provedeni s vrijednostima mjerenja AMS i SRM uređaja svedenim na referentne uvjete.

Kako GVE za O_2 i H_2O nije propisana, korištena je takozvana virtualna granična vrijednost emisije prema preporuci *Technical Guidance Note M20 Version 2.4, Quality assurance of continuous emission monitoring systems - application of EN 14181 and BS EN 13284-2 (Environment Agency, April 2012)*.

Uredbom o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari iz nepokretnih izvora (NN 42/2021) i Direktivom 2010/75/EU nisu propisani intervali pouzdanosti AMS uređaja za mjerenje temperature. Osim toga, uređaji za mjerenje temperature nisu tipični uređaj za mjerenje emisija te zato nemaju QAL1 tipsko odobrenje. Stoga je mjerna nesigurnost AMS uređaja za mjerenje temperature dimnih plinova (u_{ϑ}) određena prema sljedećem izrazu:

$$u_{\vartheta} = \sqrt{\left(\frac{4,6 \text{ °C}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{4,0 \text{ °C}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 3,52 \text{ °C}, \quad (6)$$

gdje je:

- u_{ϑ} ; °C; kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova u ispustu,
- 4,6 °C; granična greška otpornog termometra Pt100 klase C kod 400 °C prema IEC 60751:2009⁴,
- 4,0 °C; procijenjena granična greška uređaja za prijenos i obradu signala otpornog termometra Pt100.

Radi određivanja intervala pouzdanosti AMS uređaja za mjerenje brzine, korištena je dozvoljena kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja DURAG D-FL 100 prema QAL1 tipskom odobrenju koja sukladno zahtjevu norme EN 15267-3 iznosi 7,5 % mjernog raspona. Dakle, za standardnu devijaciju (σ_0) protoka dimnih plinova usvojena je mjerna nesigurnost (u_Q)⁵ u iznosu od $\pm 77\,471 \text{ m}_{\text{ref}}^3/\text{h}$.

Pregled korištenih mjernih nesigurnosti dan je u tab. 3. Rezultati AST su dani u nastavku po AMS uređajima.

Tab. 3: Propisane i korištene mjerne nesigurnosti pojedinih AMS mjerenih veličina

Veličina	GVE	P	Mjerni raspon	Proširena mjerna nesigurnost	σ_0
H_2O	30 % _{vdp} ¹⁾	10 %		$\pm 3,0 \text{ %}_{\text{vdp}}$	$\pm 1,53 \text{ %}_{\text{vdp}}$
ϑ			0 - 400 °C		$\pm 3,52 \text{ °C}$
O_2	21 % _{sdp} ¹⁾	10 %		$\pm 2,1 \text{ %}_{\text{sdp}}$	$\pm 1,07 \text{ %}_{\text{sdp}}$
CO	100 mg/m ³ _{ref}	10 %		$\pm 10 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$	$\pm 5,10 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$
NO _x	50 mg/m ³ _{ref}	20 %		$\pm 10 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$	$\pm 5,10 \text{ mg/m}^3_{\text{ref}}$
Q					$\pm 77\,471 \text{ m}^3_{\text{ref}}/\text{h}$

¹⁾ Virtualna GVE prema *Technical Guidance Note M20 Version 2.4, Quality assurance of continuous emission monitoring systems - application of EN 14181 and BS EN 13284-2, Environment Agency, April 2012*

⁴ HRN EN 60751:2009: Industrijski platinasti otporni termometri i platinasta toplinska osjetila (osjetila temperature) (IEC 60751:2008; EN 60751:2008).

⁵ Pri preračunu mjernog raspona brzine (protoka) uređaja DURAG D-FL 100 na referentne uvjete korištena je vrijednost temperature dimnih plinova od 110 °C i vrijednost volumnog sadržaja vlage u dimnim plinovima od 7 %, a korekcijski koeficijenti za tlak te volumni udio kisika u dimnim plinovima iznose 1.

3.1. REZULTATI PARALELNIH MJERENJA

12. studenog 2025. godine EKONERG-ov *Laboratorij za mjerenje emisija* je u ispustu dimnih plinova izvršio pet paralelnih mjerenja (M1-M5): temperature (ϑ), protoka dimnih plinova (Q), volumnih udjela CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima te je izračunat volumni udio vlage (H_2O) u dimnim plinovima. Pregled izmjerenih, tzv. „sirovih“, vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja dan je u tab. 4 i tab. 5.

Izmjerene vrijednosti AMS uređaja za mjerenje temperature i protoka dimnih plinova nisu bile raspoložive.

Tab. 4: Emisije iz mjernog presjeka prije izmjerene SRM uređajima

SRM	ϑ	H_2O	Q	O_2	CO	NO_x kao NO
	°C	% _{vdp}	m_n^3 vdp/h	% _{sdp}	mg/ m_n^3 sdp	mg/ m_n^3 sdp
M1	113	6,76	1 503 064	15,12	0,9	30,2
M2	113	6,75	1 501 541	15,14	0,2	29,6
M3	113	6,75	1 500 057	15,13	0,2	30,1
M4	113	6,77	1 493 039	15,12	0,4	29,6
M5	114	6,80	1 489 299	15,11	0,2	29,6

Tab. 5: Emisije iz mjernog presjeka izmjerene AMS uređajima

AMS	ϑ	H_2O	Q	O_2	CO	NO_x kao NO
	°C	% _{vdp}	m_n^3 vdp/h	% _{sdp}	mg/ m_n^3 sdp	mg/ m_n^3 sdp
M1	-	8	-	15,05	0,4	26,6
M2	-	8	-	15,06	0,2	26,5
M3	-	8	-	15,06	0,2	26,2
M4	-	8	-	15,07	0,2	26,2
M5	-	8	-	15,07	0,1	26,2

Pregled vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja svedenih na referentne (GVE) uvjete (volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 15 % pri 0 °C i 1013,25 hPa) potrebne za testove varijabilnosti i valjanosti linearnih regresija dan je u tab. 6. Kako pomoćne veličine (ϑ , O_2 i H_2O) ne bi utjecale na prolaznost pojedinih AMS uređaja kod testova varijabilnosti i valjanosti linearnih regresija, prilikom svođenja tzv. „sirovih“ vrijednosti AMS uređaja na referentne (GVE) uvjete korištene su vrijednosti pomoćnih veličina mjerene SRM uređajima. Dakle, umjesto vrijednosti AMS uređaja iz tab. 6 korištene su „sirove“ vrijednosti AMS uređaja svedene na referentne uvjete korištenjem vrijednosti pomoćnih veličina mjerenih SRM uređajima.

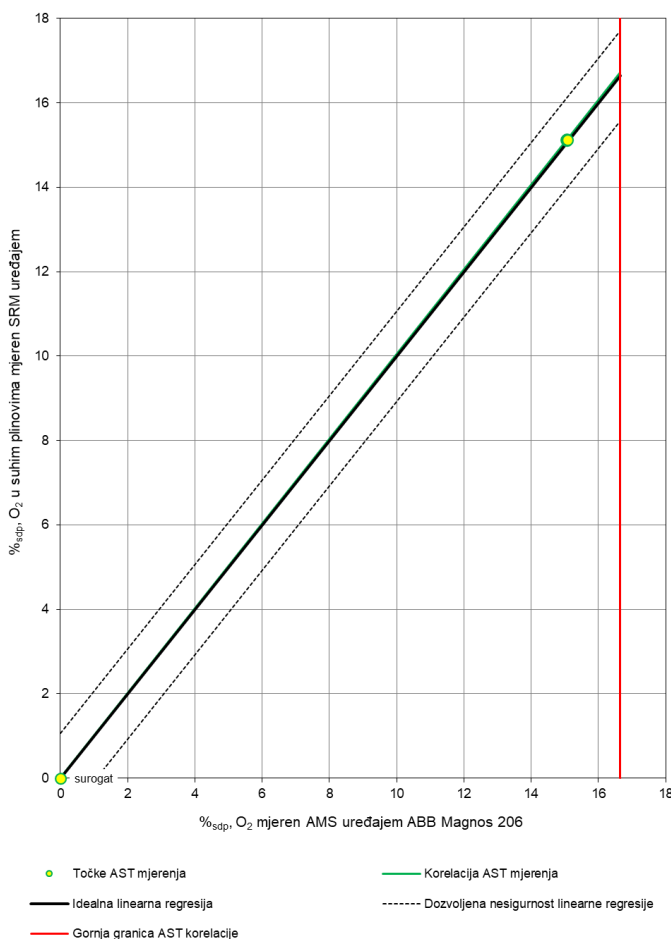
Tab. 6: Vrijednosti emisija iz ispusta izmjerene SRM i AMS uređajima svedene na referentne (GVE) uvjete

SRM	Q	CO	NO_x
	m^3_{ref}/h	mg/ m^3_{ref}	mg/ m^3_{ref}
M1	1 372 344	0,9	47,1
M2	1 368 252	0,2	46,3
M3	1 368 638	0,2	47,0
M4	1 363 477	0,4	46,2
M5	1 362 622	0,2	46,0

AMS	Q	CO	NO_x
	m^3_{ref}/h	mg/ m^3_{ref}	mg/ m^3_{ref}
M1	-	0,4	41,1
M2	-	0,2	41,0
M3	-	0,2	40,6
M4	-	0,2	40,6
M5	-	0,1	40,7

3.1.1. Mjerenje O₂ uređajem ABB AO2020 Magnos 206

Na sl. 7 je prikazan odnos idealnog regresijskog pravca (AMS = SRM) i korelacije utvrđene na temelju rezultata pet (M1-M5) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke. U tab. 7 su dani rezultati testova varijabilnosti i valjanosti linearne regresije.



Sl. 7: Odnos utvrđene AST korelacije i idealnog regresijskog pravca AMS uređaja ABB AO2020 Magnos 206 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

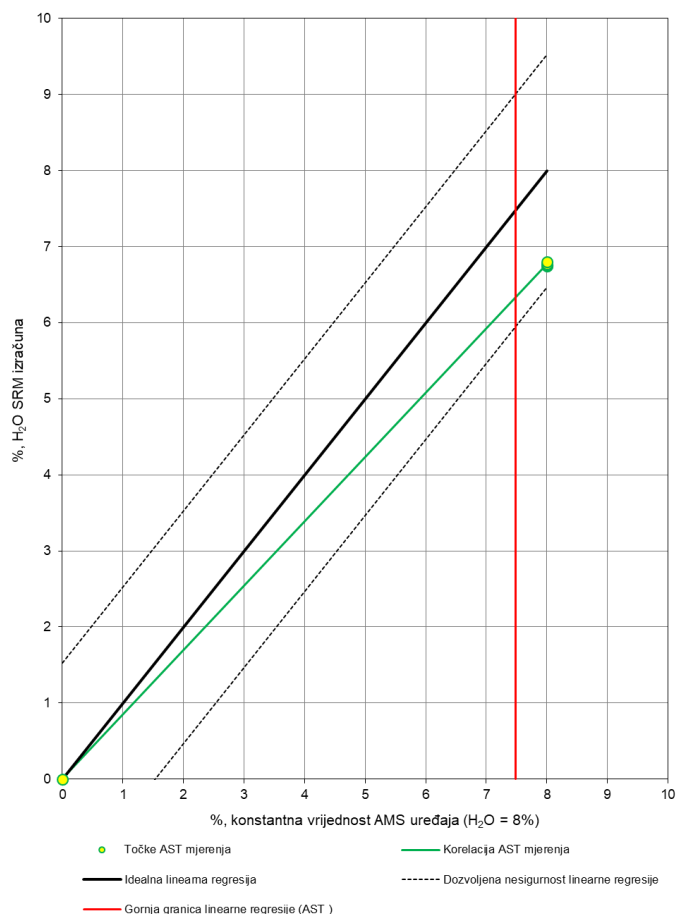
Tab. 7: Test varijabilnosti i test valjanosti linearne regresije AMS uređaja ABB AO2020 Magnos 206 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

AMS = a _{QAL2} + b _{QAL2} · AMS _{old} AMS = min + $\frac{max - min}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA)				AST test varijabilnosti				AST test valjanosti linearne regresije		
a _{QAL2}	b _{QAL2}	min	max	s _D	σ ₀	k _v	1,5 · σ ₀ · k _v	$ D_{sr} \leq \frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot S_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$		
%sdp	-	%sdp	%sdp	0,02	1,07	0,92	1,47	D _{sr}	t _{0,95;(N-1)}	$\frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot S_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$
0	1	0	25	Zadovoljava				Zadovoljava		

Kao što se vidi iz tab. 7, AMS uređaj ABB AO2020 Magnos 206 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi testove varijabilnosti i valjanosti linearne regresije. Postojeći regresijski pravac je valjan u rasponu od 0 %sdp do 17,0 %sdp. Ovaj raspon, utvrđen tijekom prošlog umjeravanja (QAL2), veći je od valjanog raspona mjerenja utvrđenog tijekom AST-a.

3.1.2. Provjera konstante vlažnosti dimnih plinova

Na sl. 8 je prikazan odnos idealnog regresijskog pravca (AMS = SRM) i korelacije utvrđene na temelju rezultata pet (M1-M5) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke. U tab. 8 su dani rezultati testova varijabilnosti i valjanosti fiktivne linearne regresije.



Sl. 8: Odnos utvrđene AST korelacije i idealnog regresijskog pravca za usvojenu konstantu vlažnosti dimnih plinova

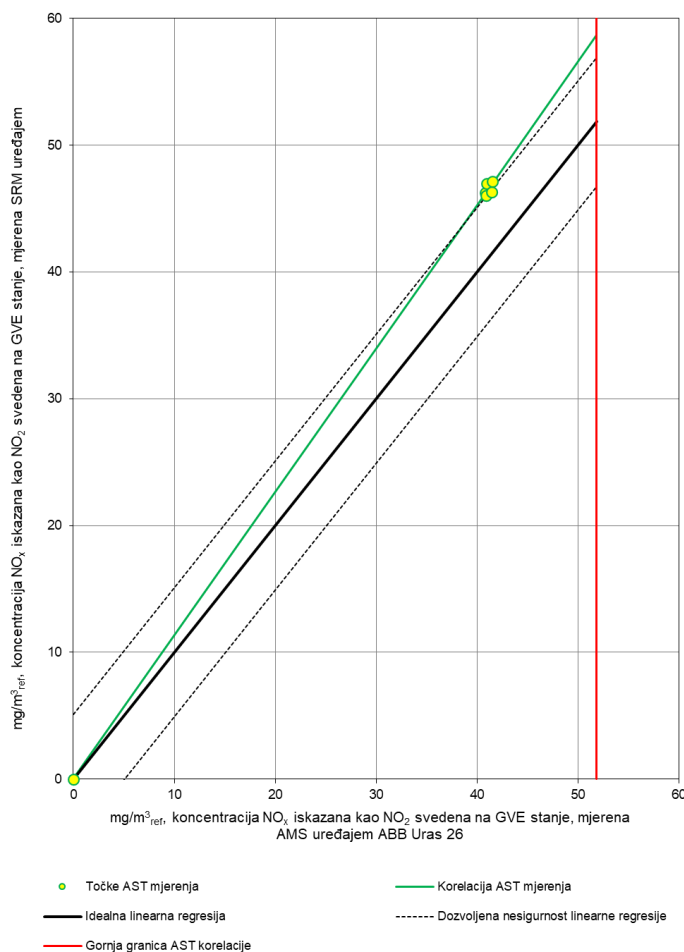
Tab. 8: Test varijabilnosti i test valjanosti fiktivne linearne regresije za usvojenu konstantu vlažnosti dimnih plinova

AMS = $a_{QAL2} + b_{QAL2} \cdot AMS_{old}$ AMS = 8 %				AST test varijabilnosti				AST test valjanosti linearne regresije		
				$s_D \leq 1,5 \cdot \sigma_0 \cdot k_v$				$ D_{SR} \leq \frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot s_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$		
a_{QAL2}	b_{QAL2}	min	max	s_D	σ_0	k_v	$1,5 \cdot \sigma_0 \cdot k_v$	$ D_{SR} $	$t_{0,95;(N-1)}$	$\frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot s_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$
%vdp	-	%vdp	%vdp	0,02	1,53	0,92	2,10	1,23	2,13	1,55
0	1	-	-	Zadovoljava				Zadovoljava		

Kao što se vidi iz tab. 8, usvojena konstanta vlažnosti dimnih plinova (H_2O) uspješno prolazi testove varijabilnosti i valjanosti linearne regresije. Postojeća konstantna vrijednost $H_2O = 8\%_{vdp}$ koja je upisana u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000 se može zadržati.

3.1.3. Mjerenje NO_x uređajem ABB AO2020 Uras 26

Na sl. 9 je prikazan odnos idealnog regresijskog pravca (AMS = SRM) i korelacije utvrđene na temelju rezultata pet (M1-M5) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke. U tab. 9 su dani rezultati testova varijabilnosti i valjanosti linearne regresije.



Sl. 9: Odnos utvrđene AST korelacije i idealnog regresijskog pravca AMS uređaja ABB AO2020 Uras 26 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

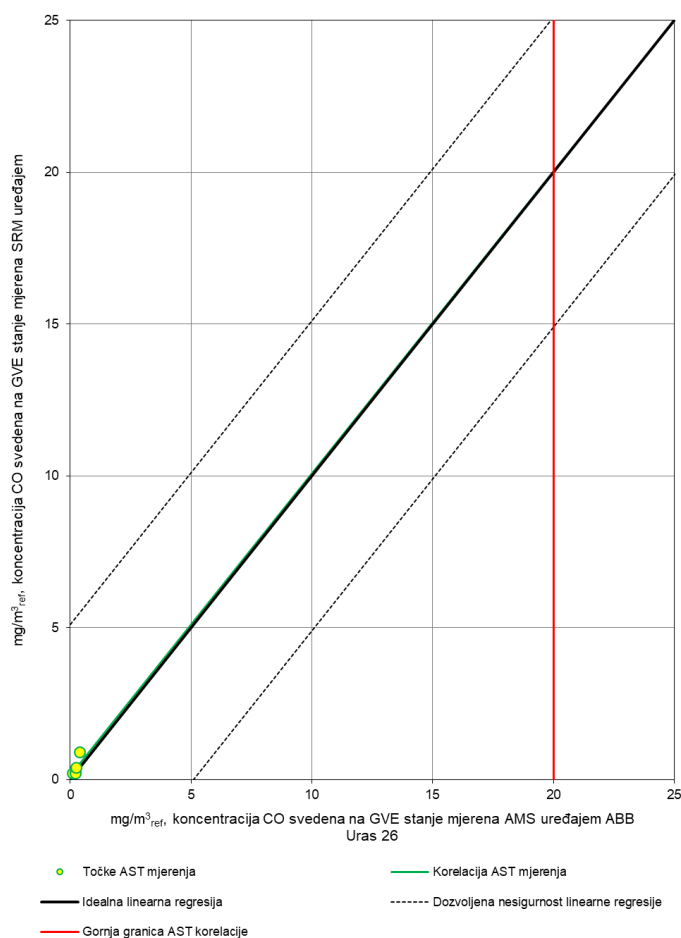
Tab. 9: Test varijabilnosti i test valjanosti linearne regresije AMS uređaja ABB AO2020 Uras 26 za mjerenje NO_x (NO_x kao NO) u suhim dimnim plinovima

AMS = a _{QAL2} + b _{QAL2} · AMS _{old}				AST test varijabilnosti				AST test valjanosti linearne regresije		
AMS = min + $\frac{max - min}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA)				$s_D \leq 1,5 \cdot \sigma_0 \cdot k_v$				$ D_{sr} \leq \frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot S_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$		
a _{QAL2}	b _{QAL2}	min	max	s _D	σ ₀	k _v	1,5 · σ ₀ · k _v	D _{sr}	t _{0,95;(N-1)}	$\frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot S_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$
mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	0,42	5,10	0,92	7,01	5,41	2,13	5,50
0	0,9219	0	230,48	Zadovoljava				Zadovoljava		

Kao što se vidi iz tab. 9, AMS uređaj ABB AO2020 Uras 26 za mjerenje NO_x kao NO u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi testove varijabilnosti i valjanosti linearne regresije. Postojeći regresijski pravac je valjan u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 49,3 mg/m³_{ref}. Ovaj raspon, utvrđen tijekom AST postupka, veći je od raspona mjerenja (0 mg/m³_{ref} do 44,8 mg/m³_{ref}) utvrđenog tijekom prošlog umjeravanja (QAL2).

3.1.4. Mjerenje CO uređajem ABB AO2020 Uras 26

Na sl. 10 je prikazan odnos idealnog regresijskog pravca (AMS = SRM) i korelacije utvrđene na temelju rezultata pet (M1-M5) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke. U tab. 10 su dani rezultati testova varijabilnosti i valjanosti linearne regresije.



Sl. 10: Odnos utvrđene AST korelacije i idealnog regresijskog pravca AMS uređaja ABB AO2020 Uras 26 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

Tab. 10: Test varijabilnosti i test valjanosti linearne regresije AMS uređaja ABB AO2020 Uras 26 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

AMS = $a_{\text{QAL2}} + b_{\text{QAL2}} \cdot \text{AMS}_{\text{old}}$ AMS = $\min + \frac{\max - \min}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$				AST test varijabilnosti				AST test valjanosti linearne regresije		
				$s_D \leq 1,5 \cdot \sigma_0 \cdot k_v$				$ D_{\text{SR}} \leq \frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot s_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$		
a_{QAL2}	b_{QAL2}	min	max	s_D	σ_0	k_v	$1,5 \cdot \sigma_0 \cdot k_v$	$ D_{\text{SR}} $	$t_{0,95;(N-1)}$	$\frac{t_{0,95;(N-1)} \cdot s_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$
mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	0,21	5,10	0,92	7,01	0,16	2,13	5,30
0	1	0	250	Zadovoljava				Zadovoljava		

Kao što se vidi iz tab. 10, AMS uređaj ABB AO2020 Uras 26 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi testove varijabilnosti i valjanosti linearne regresije. Postojeći regresijski pravac je valjan u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 20,0 mg/m³_{ref}. Ovaj raspon, utvrđen tijekom AST postupka, isti je kao i raspon mjerenja utvrđen tijekom prošlog umjeravanja (QAL2).

4. ZAKLJUČAK

Godišnja provjera uređaja za kontinuirano mjerenje emisija u zrak iz ispusta bloka C TE-TO Sisak provedena je sukladno postupku AST norme HRN EN 14181:2014. Kako bi se osigurala potrebna kvaliteta mjerenja AST postupak obuhvaća: funkcionalnu provjeru mjernih uređaja, test varijabilnosti i test valjanosti linearne regresije temeljem rezultata paralelnih mjerenja.

Temeljna zadaća godišnje provjere kvalitete mjerenja AST postupkom zasniva se na provođenju testa valjanosti linearne regresije kojim se utvrđuje zadovoljava li utvrđena korelacija mjerenja zakonom propisano odstupanje od idealnog regresijskog pravca (AMS = SRM) i provođenju testa varijabilnosti kojim se utvrđuje zadovoljava li AMS uređaj zakonom propisanu mjernu nesigurnost.

Rezultati godišnje provjere dani su u tab. 11.

Tab. 11: Rezultati godišnje provjere uređaja AMS bloka C TE-TO Sisak

Mjerena veličina	Postojeće postavke sustava AMS prije REA	Napomena
Ugljikov monoksid <i>CO</i>	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 250 mg/m ³	Uređaj zadovoljava AST.
Dušikovi oksidi <i>NO_x</i>	Minimum: 0 mg/m ³ Maksimum: 230,48 mg/m ³	Uređaj zadovoljava AST.
Kisik <i>O₂</i>	Minimum: 0 % Maksimum: 25 %	Uređaj zadovoljava AST.
Vlažnost plinova <i>H₂O</i>	Konstanta: 8 %	Postojeća konstanta se može zadržati.

KRATICE I INDEKSI

AMS	engl. <i>Automated Measuring System</i> , Automatski Mjerni Sustav ili sustav za kontinuirano mjerenje emisije u zrak, isto što i CEMS.
CEMS	sustav za kontinuirano mjerenja emisija u zrak (engl. <i>Continuous Emissions Monitoring System</i>), isto što i AMS.
C_{ref}	emisija (općenito, bilo koja emisijska veličina) svedena na volumen suhih plinova kod referentnog udjela O_2 u suhim plinovima pri 0 °C i 1013,25 hPa.
HAA	Hrvatska Akreditacijska Agencija.
m^3	metar kubni.
m^3_{isp}	normi m^3 koji se odnosi na stanje u ispustu, odnosno m^3 kod tlaka i temperature u ispustu.
m_n^3	normirani m^3 , predstavlja količinu (broj molekula) idealnog plina koja kod 273,15 K (0 °C) i 1013,25 hPa bar zauzima volumen od 1 m^3 .
$m_n^3_{sdp}$	normirani m^3 koji se odnosi na suhe plinove pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu.
$m_n^3_{vdp}$	normirani m^3 koji se odnosi na vlažne plinove pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu.
m^3_{vdp}	m^3 koji se odnosi na vlažne plinove pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu.
m^3_{ref}	normirani m^3 koji se odnosi na suhe plinove pri referentnom sadržaju O_2 - odnosno m^3 sveden na referentne uvjete plinova prema <i>Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora</i> (NN 42/2021). Na primjer, za ispušt blok C TE-TO Sisak m^3 pri referentnom stanju (m^3_{ref}) se odnosi na volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 15 % pri 0 °C i 1013,25 hPa.
%	volumni udio iskazan u postotku.
$\%_{sdp}$	volumni udio u suhom plinu pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu iskazan u postotku.
$\%_{vdp}$	volumni udio u vlažnom plinu pri sadržaju O_2 mjerenom u ispustu iskazan u postotku.
ppm	engl. <i>parts per million</i> , udio u milijun, ovdje se radi o volumnom udjelu, 1 ppm = 10^{-4} %.
SL	engl. <i>scattered light</i> , raspršena svjetlost.
SRM	engl. <i>Standard Reference Method</i> , Standardna Referentna Metoda.

in-situ	lat. <i>in situ</i> ; engl. <i>in place</i> , na samom mjestu, analiza otpadnih plinova pri kojoj je analizator smješten na mjestu uzorkovanja (na kanalu, ispustu) a mjerenje se provodi direktno u mjerenoj tvari, bilo u točki, liniji ili djelu volumena unutar kanala (ispusta).
s_D	standardna devijacija razlika vrijednosti izmjerenih AMS i SRM uređajima.
σ_0	mjerna nesigurnost iskazana kao standardna devijacija.
k_v	$k_v = \sqrt{\frac{\chi_{0,5;(N-1)}^2}{N-1}}$, gdje je $\chi_{0,5;(N-1)}^2$ varijabla hi-kvadrat razdiobe za vjerojatnost 50 % i $N-1$ stupnjeva slobode, a N je broj paralelnih mjerenja (AMS i SRM).
D_{sr}	srednja vrijednost razlika između vrijednosti izmjerenih AMS i SRM uređajima.
$t_{0,95;(N-1)}$	varijabla (jednostrane) Studentove razdiobe za vjerojatnost 95 % i $N-1$ stupnjeva slobode, gdje je N broj paralelnih mjerenja (AMS i SRM).

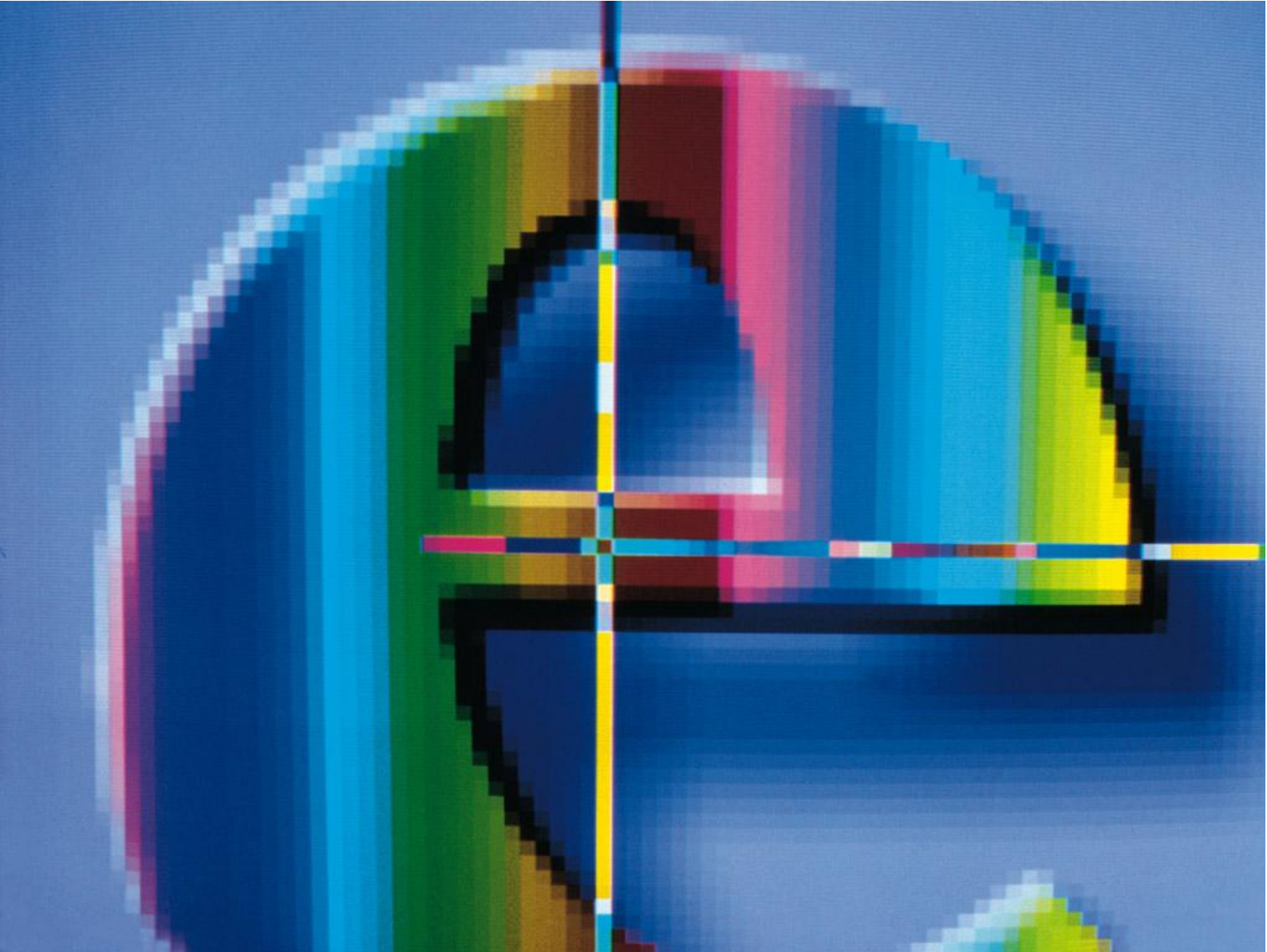
POJMOVNIK

- umjeravanje** Prema *Međunarodnom mjeriteljskom rječniku (International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM), Joint Committee for Guides on Metrology-200:2008)* umjeravanje je radnja kojom se pod određenim uvjetima u prvome koraku uspostavlja odnos između vrijednosti veličine s mjernim nesigurnostima koje daju mjerni etaloni i odgovarajućih pokazivanja kojima su pridružene mjerne nesigurnosti, a u drugome koraku ti se podatci upotrebljavaju za uspostavljanje odnosa za dobivanje mjernog rezultata iz pokazivanja. Umjeravanje je pojam koji se povezuje s pojmom mjerne sljedivosti, budući da se ona ostvaruje neprekinutim lancem umjeravanja. Prema međunarodnoj normi HRN EN ISO/IEC 17025, sva oprema koja se upotrebljava za ispitivanja i/ili umjeravanja, uključujući opremu za pomoćna mjerenja (npr. okolišnih uvjeta) koja ima važan učinak na točnost ili valjanost rezultata ispitivanja, umjeravanja ili uzorkovanja mora se prije stavljanja u rad umjeriti. Umjeravanje mjerila provodi se mjernim etalonima, tj. mjerilima koja služe kao referenca za utvrđivanje vrijednosti veličina i pridružene mjerne nesigurnosti za dodjelu mjernih rezultata druge veličine iste vrste, uspostavljajući mjeriteljsku sljedivost. Mjerni etalon precizniji je od mjerila, na višoj je razini hijerarhijske ljestvice sljedivosti i ima manju mjernu nesigurnost od mjerila koja se njime umjeravaju. Umjeravanjem mjerila se dobije informacija koliko uređaj odstupa od vrijednosti koja bi se dobila mjerenjem s primarnim etalom (etalon prema kojemu se ostvaruje sljedivost, tj. kojemu je mjerna nesigurnost jednaka nuli), a ovisno o uređaju i druge važne informacije za utvrđivanje kako se pokazivanje mjerila može dovesti u vezu s primarnim etalom (npr. informacija o otklonu termometra). Laboratoriji koji provode umjeravanja nazivaju se umjernim laboratorijima (engl. *calibration laboratories*), a razlikuju se nacionalni umjerni laboratoriji, koji su dužni osigurati sljedivost mjernih veličina na nacionalnoj razini, i ostali umjerni laboratoriji kojima je glavna uloga ostvarivanje sljedivosti za mjerenja koja provode Laboratoriji za mjerenje emisija.
- ugađanje** Ugađanje ne treba brkati s umjeravanjem. Ugađanje se često pogrešno naziva samoumjeravanjem (engl. *self-calibration*) ili ovjeravanjem umjeravanja (engl. *verification of calibration*). Događa se da je neke instrumente prije puštanja u pogon potrebno postaviti kako bi se uopće moglo provesti mjerenje. U tom smislu, uobičajeno se u govoru kaže da se instrument „kalibrira“ (ponekad se čak koristi i riječ „baždari“). Međutim, ovakvo postavljanje instrumenta u rad nije umjeravanje, budući da nema uspostavljanja nikakvog odnosa između vrijednosti veličine s mjernim nesigurnostima. Ponekad se pri takvom postavljanju koriste odgovarajući (certificirani) referentni materijali, ali ni u tom slučaju nije riječ o umjeravanju, nego o nužnom postupku postavljanja instrumenta u rad, da bi se on mogao pripremiti za mjerenja koja daju primjerene rezultate.
- varijabilnost** Varijabilnost je standardna devijacija razlika između umjerenih vrijednosti AMS uređaja i SRM uređajem izmjerenih vrijednosti. Varijabilnost se računa samo za parove vrijednosti izmjerenih tijekom paralelnih mjerenja, a surogat točke ili druge vrijednosti korištene tijekom određivanja funkcije umjeravanja ne uzimaju se u obzir.

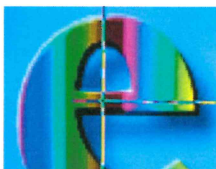
PRILOG A

Izveštaj o mjerenju emisija iz ispusta bloka C TE-TO Sisak, EKONERG - Laboratorij za mjerenje emisija, izvještaj L2-I-02-2234_23/25, 3. prosinac 2025.

**IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA
IZ ISPUSTA BLOKA C TE-TO SISAK**



Zagreb, 2025.



EKONERG d.o.o. ♦ Odjel za mjerenja i analitiku
Laboratorij za mjerenje emisija, Koranska 5, HR-10000 Zagreb
Tel: +385 (0)1 6000-111; Faks: +385 (0)1 6171-560



Naručitelj: **HEP PROIZVODNJA d.o.o.**
Sektor za termoelektrane
Pogon TE-TO Sisak
Industrijska cesta 10
44010 Sisak

Ugovor br.: U2700-43/22

Radni nalog: I-02-2234_23/25

Oznaka izvještaja: L2-I-02-2234_23/25

Plan mjerenja: L2-I-02-2234_23/25-P

Naslov:

IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA IZ ISPUSTA BLOKA C TE-TO SISAK

Ispitivanja proveli: Andrej Slavica, mag. ing. mech.
Borna Glückselig, mag. ing. agr.

Izvještaj izradio: Andrej Slavica, mag. ing. mech.

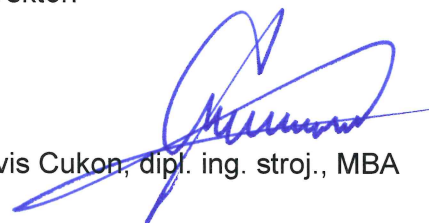
Voditelj Laboratorija za mjerenje emisija: 
Mato Papić, dipl. ing. univ. spec.

Direktor Odjela za mjerenje i analitiku:



Bojan Abramović, dipl. ing. stroj.

Direktor:



Elvis Cukon, dipl. ing. stroj., MBA

Zagreb, 3. 12. 2025.



SADRŽAJ

1. SVRHA MJERENJA.....	13
1.1. NARUČITELJ.....	13
1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA.....	13
1.3. LOKACIJA MJERENJA.....	13
1.4. MJERENA POSTROJENJA.....	13
1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA.....	14
1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVAT NA MJERENJU.....	15
2. POSTROJENJE.....	16
2.1. OPIS POSTROJENJA.....	16
2.2. SASTAV GORIVA.....	16
2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA.....	16
3. MJERNO MJESTO.....	17
3.1. MJERNI PRESJEK I MJERNI PRIKLJUČCI.....	18
4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI.....	19
4.1. ODREĐIVANJE STANJA OTPADNIH PLINOVA.....	19
4.1.1 Brzina, tlak i temperatura dimnih plinova.....	19
4.1.2 Vlažnost plinova.....	20
4.2. MJERENJE EMISIJA PLINOVITIH TVARI.....	20

PRILOG

B. Plan mjerenja.



1. OSNOVNI PODATCI O IZVOĐAČU MJERENJA

Mjerenje emisija iz ispusta bloka C TE-TO Sisak proveo je *Laboratorij za mjerenje emisija* tvrtke EKONERG d.o.o.

EKONERG d.o.o., *Odjel za mjerenja i analitiku, Laboratorij za mjerenje emisija* akreditirani je ispitni laboratorij prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017 od strane *Hrvatske akreditacijske agencije* u području opisanom u prilogu *Potvrde o akreditaciji br. 1194*. Rješenjem *Ministarstva zaštite okoliša i energetike*¹ od 12. lipnja 2019. godine, EKONERG-u je dozvoljeno obavljanje provjere ispravnosti mjernih sustava za kontinuirano mjerenje emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora sukladno zahtjevima norme HRN EN 14181 za 10 referentnih metoda (mzozt.gov.hr).

2. OSNOVNI PODATCI I TEHNIČKE ZNAČAJKE IZVORA ONEČIŠĆENJA

Blok C je kombi kogeneracijski blok Termoelektrane-toplane Sisak (TE-TO Sisak). Plinsko-turbinski agregat (plinska turbina i generator električne energije) kao gorivo isključivo koristi prirodni plin te proizvodi električnu energiju uz istovremeno korištenje otpadne topline ispušnih plinova iz plinske turbine za proizvodnju vodene pare u kotlu na ispušne plinove (takozvani kotao utilizator). Vodena para se koristi za proizvodnju električne energije u parno-turbinskom agregatu (parna turbina i generator električne energije), a manjim dijelom i za snabdijevanje potrošača centraliziranog toplinskog sustava (CTS) grada Siska toplinskom energijom. Glavne tehničke značajke bloka C TE-TO Sisak dane su u tab. 1.

Tab. 1: Tehničke značajke bloka C TE-TO Sisak

Blok C	godina puštanja u rad:	2015.
	ukupna nazivna električna snaga:	235 MW
	nazivna toplinska snaga:	50 MW
Plinsko-turbinski agregat	nazivna ulazna toplinska snaga goriva:	465,7 MW
	nazivna električna snaga:	157 MW
Kotao na ispušne plinove	nazivni protok svježe pare visokog tlaka:	232 t/h (73,5 bar i 525,3 °C)
	nazivni protok svježe pare niskog tlaka:	57,4 t/h (6,1 bar i 204,8 °C)
Parni turbo-agregat	nazivna električna snaga:	78 MW
	nazivni protok pare oduzimanja za CTS grada Siska:	65 t/h (16 bar i 300 °C)

Dimni plinovi bloka C ispuštaju se kroz dimnjak visine 65 m (ispust Z4 prema *Rješenju o izmjeni i dopuni uvjeta okolišne dozvole*²). Osnovni podatci i tehničke značajke izvora onečišćenja dobiveni su od osoblja postrojenja TE-TO Sisak, odnosno navedeni su prema *Rješenju o izmjeni i dopuni uvjeta okolišne dozvole (veljača 2022.)*.

3. OPSEG MJERENJA

Svrha mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak je godišnja provjera uređaja sustava za kontinuirano mjerenje emisija koji iz ispusta bloka C TE-TO Sisak mjere: NO_x , O_2 , CO , brzinu (protok) i temperaturu plinova.

¹ Temeljem članka 34. i članka 35. *Zakona o ustrojstvu i djelokrugu tijela državne uprave* („Narodne novine“, broj 85/20), od 22. srpnja 2020. *Ministarstvo zaštite okoliša i energetike* nastavlja s radom kao *Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja*. Temeljem članka 15. *Zakona o ustrojstvu i djelokrugu tijela državne uprave* („Narodne novine“, broj 57/2024), od 16. svibnja 2024. *Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije* preuzima poslove iz djelokruga dosadašnjeg *Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja*.

² *Rješenje o izmjeni i dopuni uvjeta okolišne dozvole za postojeće TE-TO Sisak*; *Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja*, KLASA: UP/I-351-02/19-45/02, URBROJ: 517-05-1-3-1-22-27 od 9. veljače 2022.



Godišnja provjera AMS uređaja provodi se sukladno normi HRN EN 14181:2014 prema postupku AST (engl. *Annual Surveillance Test*) na temelju usporedbe rezultata paralelnih mjerenja AMS uređaja i kontrolnih mjerenja *Laboratorija za mjerenje emisija* koja su provedena standardnim referentnim metodama (engl. *Standard Reference Method - SRM*).

Kod stanja u ispustu mjerena je: temperatura plinova (ϑ , °C), tlak plinova (p , hPa), brzina plinova (v , m/s) te su proračunski dobivene vrijednosti volumnog sadržaja vodene pare (H_2O , %), a u suhim plinovima je mjereno: volumni udio kisika (O_2 , %), volumni udio ugljikovog dioksida (CO_2 , %), volumni udio ugljikovog monoksida (CO , ppm) i volumni udio dušikovih oksida (NO_x , ppm).

4. PRIMIJENJENE METODE I MJERNI UREĐAJI

Metode i oprema korištena tijekom mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak dani su u tab. 2. Mjerno mjesto, mjerni presjek i mjerni priključci u kojima su provedena mjerenja zadovoljavaju zahtjeve norme HRN EN 15259. Izgled mjernog mjesta i priključaka za kontrolna mjerenja, oblik i dimenzije mjernog presjeka, broj mjernih linija te raspored mjernih točki po mjernoj ravnini ispusta dimnih plinova dan je u **Prilogu B**.

Tab. 2: Metode i glavna oprema korištena pri mjerenju

Mjerena veličina	Metoda uzorkovanja	Metoda mjerenja	Glavna korištena oprema
O_2^*	HRN EN 15259:2008	HRN EN 14789:2017	Grijana glava sa sondom za uzorkovanje i grijano crijevo (lab. oznaka E.U. 25.2), hladnjak M&C PSS-5 (lab. oznaka 29.3), analizator HORIBA PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1).
CO^*		HRN EN 15058:2017	
CO_2^*		HRN ISO 12039:2020	
NO_x^*		HRN EN 14792:2017	
brzina i protok*		HRN EN ISO 16911-1:2013	SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).
temperatura*		interna metoda eLAB-PE-106	Otporni Pt100 osjetnik u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1), termoelement tipa K u sklopu sonde za uzorkovanje otpadnih plinova (lab. oznaka E.U. 1.3.4) spojen na ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2).
temperatura okoline		interna metoda eLAB-PE-106	ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2) i NTC temperaturni osjetnik (lab. oznaka E.U. 21.7).
tlak u ispustu			Osjetnici tlaka u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).
tlak okoline			Barometar u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).

* Akreditirane metode *Laboratorija za mjerenje emisija*

4.1. MJERENJE SASTAVA PLINOVA

Analizator HORIBA PG-350E mjeri volumne udjele CO i CO_2 metodom nedisperzivne infracrvene apsorpcije (engl. *non-dispersive infrared method - NDIR*), dok se mjerenje volumnog udjela NO_x provodi metodom kemijske luminiscencije. Volumni udjel O_2 mjereno je paramagnetskom metodom. Analizator dimnih plinova HORIBA PG-350 prikazan je na sl. 1.

Provjera analizatora plinova HORIBA PG-350E referentnim plinovima vršena je dva puta, prije i nakon serije mjerenja.



Sl. 1: Višekomponentni analizator dimnih plinova HORIBA PG-350

4.2. ODREĐIVANJE VOLUMNOG UDJELA VODENE PARE

Volumni udio vodene pare (vlage) u dimnim plinovima (H_2O) izračunat je prema internoj metodi *eLAB-PE-108 Računsko određivanje vlage*. U sklopu ulaznih veličina izračuna korišteni su: izmjerene vrijednosti volumnih koncentracija O_2 u suhim dimnim plinovima, prikupljeni podatci o temperaturi, tlaku i relativnoj vlažnosti zraka³ te izvještaj o kvaliteti prirodnog plina distribucijskog sustava tvrtke PLINACRO d.o.o. (www.plinacro.hr).

4.3. MJERENJE BRZINE PLINOVA

Mjerenja brzine plinova provedena su prema normi HRN EN ISO 16911-1:2013 uređajem SICK GRAVIMAT u čijoj sondi je integrirana Pitot sonda s tri otvora za određivanje brzine strujanja i kuta nastrujavanja.

4.4. MJERENJE TEMPERATURE PLINOVA

Mjerenja temperature plinova provedena su otpornim osjetnikom Pt100 koji je sastavni dio uređaja SICK GRAVIMAT SHC 501.

Dodatno su provedena mjerenja temperature plinova u jednoj (referentnoj) točki poprečnog mjernog presjeka otpornim termoelementom tipa K ugrađenim u sondu za uzorkovanje otpadnih plinova uz pomoć univerzalnog mjernog instrumenta AHLBORN ALMEMO 2590-4S.

4.5. TLAK PLINOVA U ISPUSTU

Tlak plinova (p , hPa) u mjernom presjeku određen je prema sljedećoj jednadžbi:

$$p = (p_{10} + p_0) - \frac{\rho \cdot v^2}{200}, \quad (1)$$

gdje je:

- v , m/s; brzina dimnih plinova u ispuštu mjerena SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- p_{10} , hPa; totalni pretlak mjerena SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- p_0 , hPa; barometarski tlak mjerena SICK GRAVIMAT-om SHC 501,

³ Podatci o stanju okolišnog zraka (temperatura, tlak i relativna vlažnost) na ulazu u kompresor plinske turbine prikupljeni su iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000.



ρ , kg/m³; gustoća vlažnih dimnih plinova kod stanja u ispustu. Gustoća je funkcija od sastava vlažnih dimnih plinova te tlaka (p) i temperature (ϑ) u ispustu.

Gustoća vlažnih dimnih plinova određena je na temelju izmjerenih veličina (p_{10} , p_0 , ϑ) SICK GRAVIMAT-om SHC 501, analizatorom PG-350E izmjerenog volumnog sastava suhih dimnih plinova (O_2 , CO_2 , ostatak N_2) i izračunatog volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O).

4.6. BAROMETARSKI TLAK I TEMPERATURA OKOLINE

Barometarski tlak (p_0) je mjereno uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501, a temperatura okoline mjerena je NTC osjetnikom spojenim na univerzalni mjerni instrument AHLBORN ALMEMO 2590-4S.

5. REŽIMI RADA ZA VRIJEME MJERENJA

Mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz ispusta plinske turbine bloka C provedena su 12. studenog 2025. godine. Pregled provedenih mjerenja dan je u tab. 3.

Tab. 3: Pregled mjerenja emisija iz bloka C TE-TO Sisak

Oznaka mjerenja	Datum i bruto periodi mjerenja			Potrošnja prirodnog plina ⁴ m ³ /h	Radna snaga generatora plinske turbine MW	Relativno opterećenje ⁵ %	Stanje okoline	
							p	ϑ
	datum	od	do				hPa	°C
M1	12. 11. 2025.	9:10	10:16	44 470	149,8	95,4	1 009	33
M2		10:20	11:27	44 466	149,8	95,4	1 009	31
M3		11:30	12:36	44 470	150,1	95,6	1 008	30
M4		12:40	13:47	44 378	149,9	95,5	1 008	30
M5		13:50	14:56	44 297	149,6	95,3	1 008	30

6. REZULTATI MJERENJA

12. studenog 2025. godine u mjernom presjeku ispusta izvršeno je pet mjerenja (M1-M5): temperature (ϑ), tlaka (p), brzine dimnih plinova (v) te volumnih udjela CO_2 , CO , NO_x i O_2 u suhim dimnim plinovima.

Rezultati mjerenja veličina u ispustu i rezultati izračuna sadržaja vlage (H_2O) u dimnim plinovima dani su u tab. 5. Uz vrijednosti svih izmjerenih veličina iskazana je proširena mjerna nesigurnost (uz razinu pouzdanosti od 95 %).

U tab. 6 su dani rezultati mjerenja i mjerna nesigurnost rezultata (nivo pouzdanosti 95 %) svedeni na referentne ili tzv. GVE uvjete, odnosno rezultati i mjerna nesigurnost su iskazani za suhe dimne plinove kod normiranog stanja (1013,25 hPa i 0 °C) i 15 % kisika u suhim dimnim plinovima. Svođenje na referentne ili tzv. GVE uvjete vrši se na sljedeći način:

$$C_{\text{ref}} = C_{\text{n,sdp}} \cdot \frac{21 \% - 15 \%}{21 \% - O_2}, \quad (2)$$

⁴ Potrošnja prirodnog plina iskazana je pri 0 °C i 1013,25 hPa.

⁵ Prema nazivnoj električnoj snazi generatora plinske turbine od 157 MW.



$$Q = v \cdot A, \quad (3)$$

$$Q_{\text{ref}} = Q \cdot \frac{273,15}{\vartheta + 273,15} \cdot \frac{p}{1013,25} \cdot \frac{100\% - H_2O}{100\%} \cdot \frac{21\% - O_2}{21\% - 15\%}, \quad (4)$$

gdje je:

- $C_{n,sdp}$; mg/m³; izmjerena masena koncentracija emisije (CO ili NO_x) u suhim dimnim plinovima kod (približno) normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa),
- C_{ref} ; mg/m³; masena koncentracija emisije (CO ili NO_x) po jedinici volumena suhih dimnih plinova ($H_2O = 0\%$) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i referentnog volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 15 %,
- Q ; m³/s; izmjereni volumni protok vlažnih dimnih plinova (H_2O) kod temperature (ϑ), tlaka (p) i volumnog udjela kisika (O_2) u ispustu,
- Q_{ref} ; m³/s; volumni protok suhih dimni plinova ($H_2O = 0\%$) kod normiranog stanja (0 °C i 1013,25 hPa) i volumnog udjela kisika u suhim dimnim plinovima od 15 %,
- v ; m/s; izmjerena brzina dimnih plinova u ispustu,
- A ; m²; površina poprečnog mjernog presjeka ispusta ($A = 28,274 \text{ m}^2$).

Tab. 4: Rezultati mjerenja u ispustu i izračuna sadržaja vlage u dimnim plinovima

Mjerenje	ϑ^*	p	v^*	H_2O
	°C	hPa	m/s	%
M1	113 ±1	1 002 ±6	21,1 ±0,2	6,76
M2	113 ±1	1 001 ±6	21,1 ±0,2	6,75
M3	113 ±1	1 000 ±6	21,1 ±0,2	6,75
M4	113 ±1	1 000 ±6	21,0 ±0,2	6,77
M5	114 ±1	1 000 ±6	21,0 ±0,2	6,80

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

Tab. 5: Rezultati mjerenja sastava suhih dimnih plinova

Mjerenje	O_2^*	CO_2^*	CO^*	NO_x^* kao NO_2
	%	%	mg/m ³	mg/m ³
M1	15,12 ±0,29	3,37 ±0,26	0,9 ±1,2	46 ±2
M2	15,14 ±0,29	3,36 ±0,26	0,2 ±1,2	45 ±2
M3	15,13 ±0,29	3,36 ±0,26	0,2 ±1,2	46 ±2
M4	15,12 ±0,29	3,36 ±0,26	0,4 ±1,2	45 ±2
M5	15,11 ±0,29	3,35 ±0,26	0,2 ±1,2	45 ±2

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija



Tab. 6: Rezultati mjerenja svedeni na referentne uvjete

Mjerenje	Q_{ref}^*	CO_{ref}^*	NO_{xref}^*
	m ³ /s	mg/m ³	mg/m ³
M1	381,2 ±21,3	0,9 ±1,2	47 ±3
M2	380,1 ±21,3	0,2 ±1,2	46 ±3
M3	380,2 ±21,3	0,2 ±1,2	47 ±3
M4	378,7 ±21,2	0,4 ±1,2	46 ±3
M5	378,5 ±21,1	0,2 ±1,2	46 ±3

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija



PRILOG

B. Plan mjerenja





PLAN MJERENJA EMISIJA IZ ISPUSTA BLOKA C TE-TO SISAK

Oznaka plana mjerenja: L2-I-02-2234_23/25-P

Zagreb, 10. 11. 2025.



Naručitelj: **HEP PROIZVODNJA d.o.o.**
Sektor za termoelektrane
Pogon TE-TO Sisak
Industrijska cesta 10
44010 Sisak

Radni nalog: I-02-2234_23

Vlasnik izvora: Hrvatska elektroprivreda d.d.
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb

Objekt: plinska turbina bloka C TE-TO Sisak

Lokacija: TE-TO Sisak, Industrijska cesta 10

Vrsta mjerenja: emisijska

Svrha: Mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz ispusta bloka C TE-TO Sisak radi godišnje provjere uređaja za kontinuirano mjerenje emisija prema normi HRN EN 14181:2014.



SADRŽAJ

1. SVRHA MJERENJA.....	13
1.1. NARUČITELJ.....	13
1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA.....	13
1.3. LOKACIJA MJERENJA.....	13
1.4. MJERENA POSTROJENJA.....	13
1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA.....	14
1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVAT NA MJERENJU.....	15
2. POSTROJENJE.....	16
2.1. OPIS POSTROJENJA.....	16
2.2. SASTAV GORIVA.....	16
2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA.....	16
3. MJERNO MJESTO.....	17
3.1. MJERNI PRESJEK I MJERNI PRIKLJUČCI.....	18
4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI.....	19
4.1. ODREĐIVANJE STANJA OTPADNIH PLINOVA.....	19
4.1.1 Brzina, tlak i temperatura dimnih plinova.....	19
4.1.2 Vlažnost plinova.....	20
4.2. MJERENJE EMISIJA PLINOVITIH TVARI.....	20



1. SVRHA MJERENJA

Svrha mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz ispusta bloka C TE-TO Sisak je godišnja provjera uređaja automatskih mjernih sustava (engl. *Automated Measuring System - AMS*) prema postupku AST (engl. *Annual Surveillance Test*) norme HRN EN 14181:2014. Pregled AMS uređaja dan je u tab. P 1.

Tab. P 1: Pregled AMS uređaja ispusta bloka C TE-TO Sisak

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispustu)	protok (brzina), Q	DURAG D-FL 100 (serijski br. 1241755)
	temperatura, ϑ	mikroprocesorska jedinica D-FL 100-20 M (serijski br. 1240313) PT100 TTH300-Y0/OPT (serijski br. 6157951)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (8 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljikov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav ABB AO2020 s modulom Uras 26 za mjerenje NO (serijski broj: 3.358261.1) i modulom Magnus 206 za mjerenje O_2 (serijski broj: 3.358265.1) Bühler Bunox katalitički konverter za pretvorbu NO_2 u NO
	dušikov monoksid, NO	
	kisik, O_2	

1.1. NARUČITELJ

HEP PROIZVODNJA d.o.o.
Sektor za termoelektrane
Pogon TE-TO Sisak
Industrijska cesta 10
44010 Sisak

1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA

kontakt osoba: Ivana Roksa, dipl. ing. univ. spec. oecoing.
Koordinator zaštite okoliša
telefon: 044/514289, 099/8152238
e-pošta: ivana.roksa@hep.hr

kontakt osoba: Mateja Mankas, mag. ing. oecoing.
telefon: 044/514279, 099/5280401
e-pošta: mateja.mankas@hep.hr

1.3. LOKACIJA MJERENJA

TE-TO Sisak, Industrijska cesta 10, 44010 Sisak.

1.4. MJERENA POSTROJENJA

Emisije iz ispusta dimnih plinova bloka C TE-TO Sisak.



1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA

Prema dogovoru s *Naručiteljem* paralelna mjerenja iz ispusta bloka C TE-TO Sisak provesti će se 12. studenog 2025. godine.

Prije provedbe godišnje provjere (AST) uređaja automatskih mjernih sustava *Naručitelj* treba uspostaviti nivo osiguranja kvalitete QAL3 (engl. *Quality Assurance Level 3*) kojim dokazuje da održava zahtijevanu kvalitetu mjernih rezultata AMS uređaja. *Naručitelj* mora osigurati provedbu provjere funkcionalnosti svih AMS uređaja prije provođenja godišnje provjere. Tijekom provjere funkcionalnosti potrebno je provesti aktivnosti navedene u tab. P 2.

Tab. P 2: Aktivnosti prilikom ispitivanja funkcionalnosti prije QAL2 ili AST

Aktivnost	Ekstraktivni AMS	Ne-ekstraktivni AMS
1. Centriranost i čistoća		X
2. Sistem za uzorkovanje	X	
3. Dokumentacija i zapisi	X	X
4. Lakoća održavanja	X	X
5. Provjera nepropusnosti	X	
6. Provjera nule i raspona	X	X
7. Linearnost	X	X
8. Interferencije	X	X
9. Klizanje nule i raspona (QAL3)	X	X
10. Vrijeme odziva	X	X
11. Izvještaji	X	X

Koordinaciju između *Izvođača* i ovlaštenog servisera na sebe preuzima *Naručitelj*, a zapise o provedenim radovima dati će na raspolaganje *Izvođaču* mjerenja. *Naručitelj* će osigurati i *Izvođaču* dati na raspolaganje podatke o stanju i podešenosti svih mjernih krugova uređaja koji su predmet godišnje provjere (uređaji navedeni u tab. P 1).

Mjerenja emisija će se provesti pri zatečenim režimima rada bloka C koja primarno ovise o potražnji električne i toplinske energije, ali prije provođenja svakog pojedinačnog mjerenja *Naručitelj* mora osigurati rad izvora onečišćenja s pretežno nepromjenjivim uvjetima rada pri opterećenju generatora plinske turbine većem od 70 %.

Za svako provedeno mjerenje *Naručitelj* će *Izvođaču* predati minutne vrijednosti svih mjerenih veličina u elektroničkoj formi prikladnoj za daljnju obradu u MS Excel-u (npr. *txt* ili *csv*). Podatci koje treba dostaviti iz baze podataka emisijskog računala (DURAG D-EMS 2000) su sljedeći:

- minutne prosječne vrijednosti analognog signala:
 - O₂, mA,
 - CO, mA,
 - NO, mA,
 - Q, mA,
 - ϑ, mA.
- izmjerene („sirove“) minutne prosječne vrijednosti:
 - O₂, %,
 - CO, mg/m³,



- h) NO, mg/m³,
- i) Q, m³/h,
- j) H₂O, % (konstanta upisana u algoritam emisijskog računala),
- k) θ, °C.

3. „normirane“ minutne prosječne vrijednosti:

- l) CO, mg/m³_{ref},
- m) NO_x, mg/m³_{ref},
- n) Q, m³_{ref}/h,

Također, za svako provedeno mjerenje *Naručitelj* će *Izvođaču* predati prosječne minutne vrijednosti iz sustava Siemens SPPA-T3000 u elektroničkoj formi prikladnoj za daljnju obradu u Excel-u (npr. *txt* ili *csv*) prema sljedećim KKS oznakama:

- o) C1MBP10CP005||XQ01, tlak prirodnog plina, bar,
- p) C1MBP10CT001||XQ01, temperatura prirodnog plina, °C,
- q) C1MBP10FF003||XQ01, protok prirodnog plina, m³/h,
- r) C1MBL11CM001||XQ01, relativna vlažnost zraka ispred filtra, %,
- s) C1MBL11CT010||XQ01, temperatura zraka ispred filtra, °C,
- t) C1MBA11CT901||ZQ01, temperatura zraka ispred kompresora turbine, °C,
- u) C1MBA11CP101||XQ01, tlak zraka ispred kompresora turbine, mbar,
- v) C1MBY10CE901||XQ01, radna snaga generatora plinske turbine, MW.

Naručitelj će osigurati pristup mjernim priključcima, osigurati izvore električnog napajanja (220 V, 16 A) te osigurati odgovarajuću rasvjetu na lokacijama mjerenja u slučaju provedbe mjerenja noću. *Naručitelj* će osigurati uvjete za rad *Izvođaču* i van redovnog radnog vremena.

1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVAT NA MJERENJU

Voditelj tima za mjerenje: Andrej Slavica, mag. ing. mech.
Borna Glückselig, mag. ing. agr.



2. POSTROJENJE

2.1. OPIS POSTROJENJA

Blok C je kombi kogeneracijski blok Termoelektrane-toplane Sisak (TE-TO Sisak). Plinsko-turbinski agregat (plinska turbina i generator električne energije) kao gorivo isključivo koristi prirodni plin te proizvodi električnu energiju uz istovremeno korištenje otpadne topline ispušnih plinova iz plinske turbine za proizvodnju vodene pare u kotlu na ispušne plinove (takozvani kotao ulizator). Vodena para se koristi za proizvodnju električne energije u parno-turbinskom agregatu (parna turbina i generator električne energije), a manjim dijelom i za snabdijevanje potrošača centraliziranog toplinskog sustava (CTS) grada Siska toplinskom energijom.

Dimni plinovi bloka C ispuštaju se kroz dimnjak visine 65 m (ispust Z4 prema *Rješenju o izmjeni i dopuni uvjeta okolišne dozvole za postojeće TE-TO Sisak*) koji je prikazan na sl. P 1.



Sl. P 1: Ispust dimnih plinova i kotlovnica bloka C TE-TO Sisak

2.2. SASTAV GORIVA

Laboratorijski izvještaj o sastavu prirodnog plina u čvornoj točki *MRS Sisak stream 1* može se preuzeti s Internet stranice operatora plinskoga transportnog sustava PLINACRO d.o.o (www.plinacro.hr).

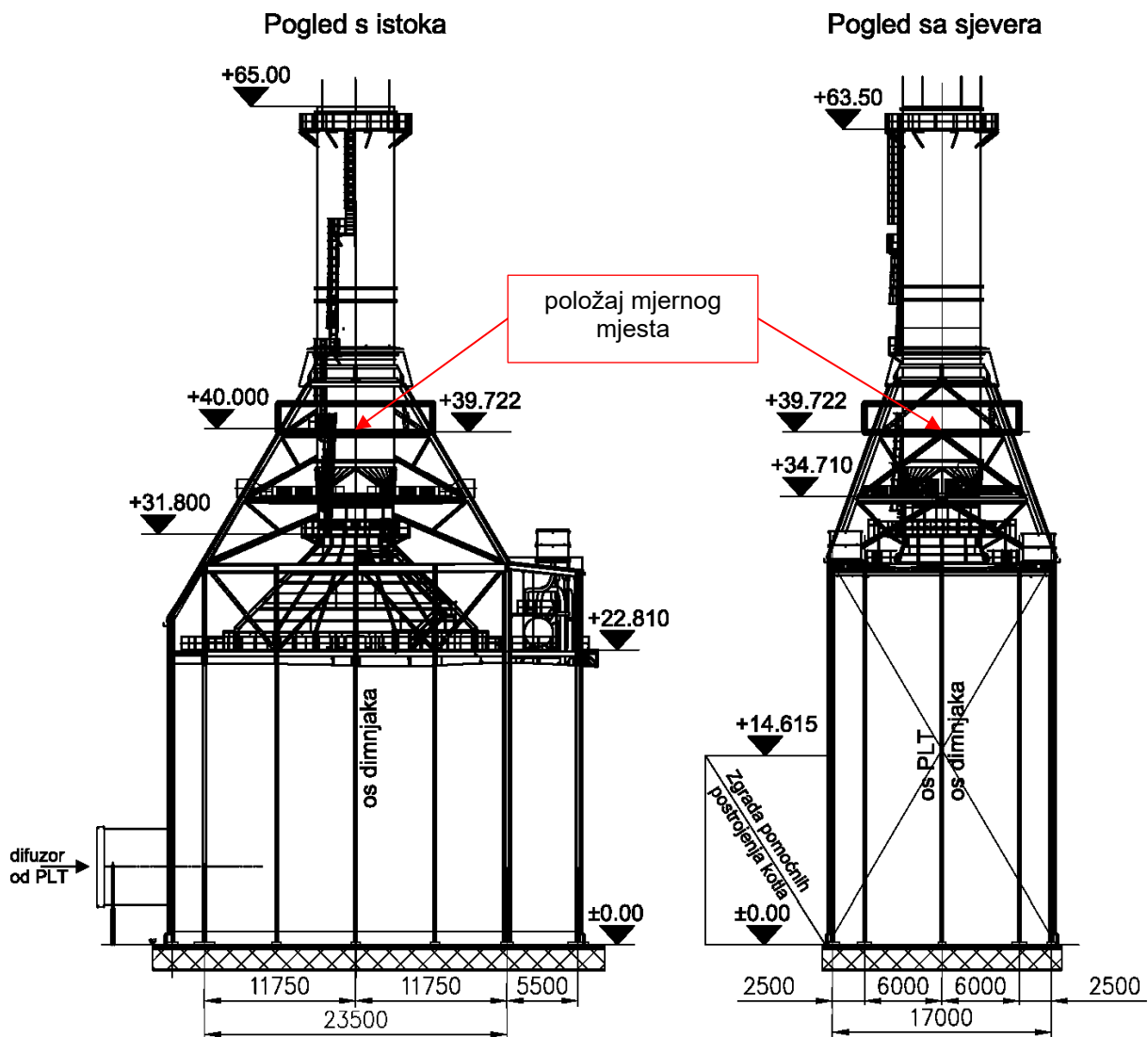
2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA

Plinska turbina bloka C opremljena je takozvanim suhim komorama izgaranja (engl. *Dry Low NO_x - DLN*) radi smanjenja emisije dušikovih oksida.



3. MJERNO MJESTO

Mjerno mjesto nalazi se na najvišoj razini (galerija na koti 40 m; vidi sl. P 2) unutar kotlovnice. Mjernom mjestu se može pristupiti od razine na kojoj se nalazi kontejner automatskog mjernog sustava (vrh vanjskog stepeništa na sl. P 1; kota 22,81 m na sl. P 2) putem unutarnjeg stepeništa (do galerije na koti 34,7 m; vidi sl. P 2) te potom pomoću vertikalne penjalice. Unutar kotlovnice nalazi se ovisno vitlo koje može poslužiti za transport mjerne opreme od razine tla do kote 22,81 m na sl. P 2.

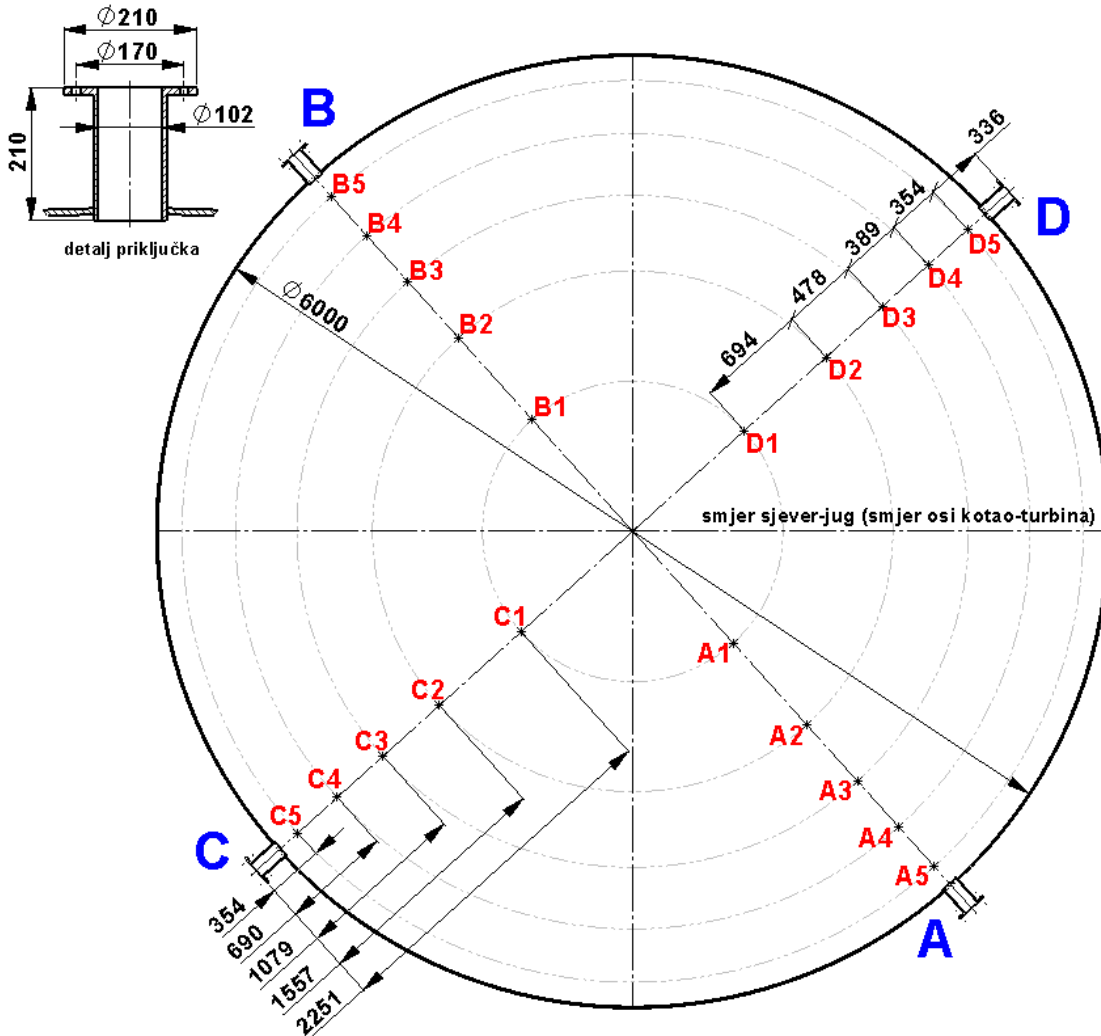


Sl. P 2: Pogled na kotlovnicu i položaj mjernog mjesta unutar kotlovnice



3.1. MJERNI PRESJEK I MJERNI PRIKLJUČCI

Mjerni presjek ispusta plinske turbine bloka C je kružnog poprečnog presjeka unutarnjeg promjera 6 m, a predloženi raspored mjernih osi i mjernih točaka dan je na sl. P 3.



Sl. P 3: Raspored mjernih točki po presjeku ispusta dimnih plinova bloka C

U plaštu ispusta dimnih plinova izvedena su 4 mjerna priključka koji su dostatni za potrebe uzorkovanja dimnih plinova i mjerenja brzine strujanja dimnih plinova. Četiri mjerna priključka (označeni A, B, C i D na sl. P 3) na ispustu kotla plinske turbine bloka C izvedeni su od čelične cijevi unutarnjeg promjera 102 mm.

Kao što se vidi na sl. P 3, mjerni priključci su izvedeni u skladu sa zahtjevima normi HRN EN 15259:2008 i HRN EN 13284-1:2017.

Kako je prilikom prethodnih mjerenja⁶ utvrđen homogen sastav plinova, uzorkovanje radi određivanja sastava dimnih plinova se može vršiti u jednoj (reprezentativnoj) točki poprečnog presjeka.

⁶ Izvještaj *Mjerenje emisija u zrak iz kombi kogeneracijskog bloka C u TE-TO Sisak (L5/I-02-2152_2)*, veljača 2017. godine.



4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI

Godišnja provjera AMS uređaja provodit će se u trajanju do najviše mjesec dana. Minimalno neto vrijeme svih mjerenja iznositi će 2,5 sata, što je jednako ukupnom trajanju od 5 ispravnih mjerenja po 30 minuta tj. minimalnim zahtjevima prema normi HRN EN 14181:2014. U ovisnosti o onečišćujućoj tvari i njenoj koncentraciji, očekivano (bruto) trajanje pojedinog mjerenja je 1 h i 15 minuta. Mjerne metode i instrumenti koji će biti korišteni za provedbu kontrolnih mjerenja navedene su u tab. P 3.

Tab. P 3: Metode i oprema za mjerenje

Mjerena veličina	Metoda uzorkovanja	Metoda mjerenja	Glavna korištena oprema
O_2	HRN EN 15259:2008	HRN EN 14789:2017	Grijana glava sa sondom za uzorkovanje i grijano crijevo (lab. oznaka E.U. 25.2), hladnjak M&C PSS-5 (lab. oznaka 29.3), analizator HORIBA PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1).
CO		HRN EN 15058:2017	
CO_2		HRN ISO 12039:2020	
NO_x		HRN EN 14792:2017	
H_2O		interna metoda eLAB-PE-108	Laboratorijski izvještaj o sastavu prirodnog plina u čvornoj točki <i>MRS Sisak stream 1</i> treba preuzeti s Internet stranice operatora plinskoga transportnog sustava PLINACRO d.o.o (www.plinacro.hr). Podatke o tlaku, temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka treba mjeriti psihrometrom AHLBORN FNAD 46-3 ili prikupiti iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000.
brzina		HRN EN ISO 16911-1:2013	SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).
temperatura		interna metoda eLAB-PE-106	Pt100 osjetnik u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1), termoelement tipa K u sklopu sonde za uzorkovanje otpadnih plinova (lab. oznaka E.U. 1.3.5) spojen na ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2).
tlak u ispustu			Osjetnici tlaka u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).
stanje okoline			ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.2), NTC temperaturni osjetnik (lab. oznaka E.U. 21.7) ili psihrometar AHLBORN FNAD 46-3, barometar u sklopu SICK GRAVIMAT-a SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1) ili psihrometar AHLBORN FNAD 46-3.

4.1. ODREĐIVANJE STANJA OTPADNIH PLINOVA

4.1.1 Brzina, tlak i temperatura dimnih plinova

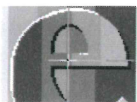
Najmanje 5 mjerenja brzine strujanja dimnih plinova, tlaka i temperature plinova provesti će se istovremeno u 20 točaka mjernog presjeka u neto trajanju od 60 minuta (3 minute po točki) uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501 prema radnom postupku *eLAB-PE-105 - Mjerenje emisija krutih čestica GRAVIMAT-om*.

Tlak plinova (p , hPa) u mjernom presjeku bit će određen prema sljedećoj jednadžbi:

$$p = (p_{10} + p_0) - \frac{\rho \cdot v^2}{200}, \quad (5)$$

gdje je:

- v , m/s; brzina dimnih plinova u ispustu mjerena SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
- p_{10} , hPa; totalni pretlak mjeran SICK GRAVIMAT-om SHC 501,



- p_0 , hPa; barometarski tlak mjeren SICK GRAVIMAT-om SHC 501,
 ρ , kg/m³; gustoća vlažnih dimnih plinova kod stanja u ispustu. Gustoća je funkcija od sastava vlažnih dimnih plinova te tlaka (p) i temperature (ϑ) u ispustu.

Gustoća vlažnih dimnih plinova u oba mjerna presjeka odredit će se na temelju izmjerenih veličina (p_{10} , p_0 , ϑ) SICK GRAVIMAT-om SHC 501, analizatorom PG-350E izmjerenog volumnog sastava suhih dimnih plinova (O_2 , CO_2 , ostatak N_2) i izračunatog volumnog udjela vodene pare u dimnim plinovima (H_2O).

Mjerenje temperature dimnih plinova bit će provedeno otpornim osjetnikom Pt100 koji je sastavni dio uređaja SICK GRAVIMAT SHC 501 ili termoelementom tipa K ugrađenim u sondu za uzorkovanje otpadnih plinova. Mjerenja temperature plinova potrebno je provesti prema akreditiranoj internoj metodi *eLAB-PE-106 Mjerenje temperature u kanalu otpadnih plinova*.

Provjeru funkcionalnosti sustava SICK GRAVIMAT SHC 501 potrebno je provesti na licu mjesta, prije i poslije svake serije mjerenja. Nepropusnost sustava za uzorkovanje potrebno je provesti prije svakog pojedinačnog mjerenja.

4.1.2 Vlažnost plinova

Volumni udio vodene pare (vlage) u dimnim plinovima (H_2O) izračunati će se prema akreditiranoj internoj metodi *eLAB-PE-108 Računsko određivanje vlage*. Radi potreba izračuna potrebno je prikupiti podatke o sastavu (elementarni sastav) prirodnog plina. Podatke o tlaku, temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka treba mjeriti psihrometrom AHLBORN FNAD 46-3 ili prikupiti iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000 prema KKS oznakama danim u poglavlju 1.5.

4.2. MJERENJE EMISIJA PLINOVITIH TVARI

Potrebno je provesti najmanje 5 mjerenja CO_2 , O_2 , CO i NO_x u neto trajanju od 60 minuta (paralelno s mjerenjima brzine strujanja dimnih plinova) prema radnom postupku: *eLAB-PE-101 - Uzorkovanje plinova radi određivanja koncentracije*.

Za provjeru analizatora plinova treba koristiti dušik klase 5,0 (provjera nule) i plinske mješavine koje što bliže odgovaraju sastavu plinova u ispustu (očekivane koncentracije su: $O_2 \cong 15\%$, $CO \cong 5 \text{ mg/m}_n^3$, $SO_2 \cong 1 \text{ mg/m}_n^3$ i $NO_x \cong 45 \text{ mg/m}_n^3$).

Homogenost sastava dimnih plinova nije nužno provjeriti jer je tijekom prethodnih mjerenja utvrđen homogen sastav plinova. Ovo omogućava mjerenje plinovitih tvari u jednoj (reprezentativnoj) točki.

Tehnički odgovorna osoba:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.