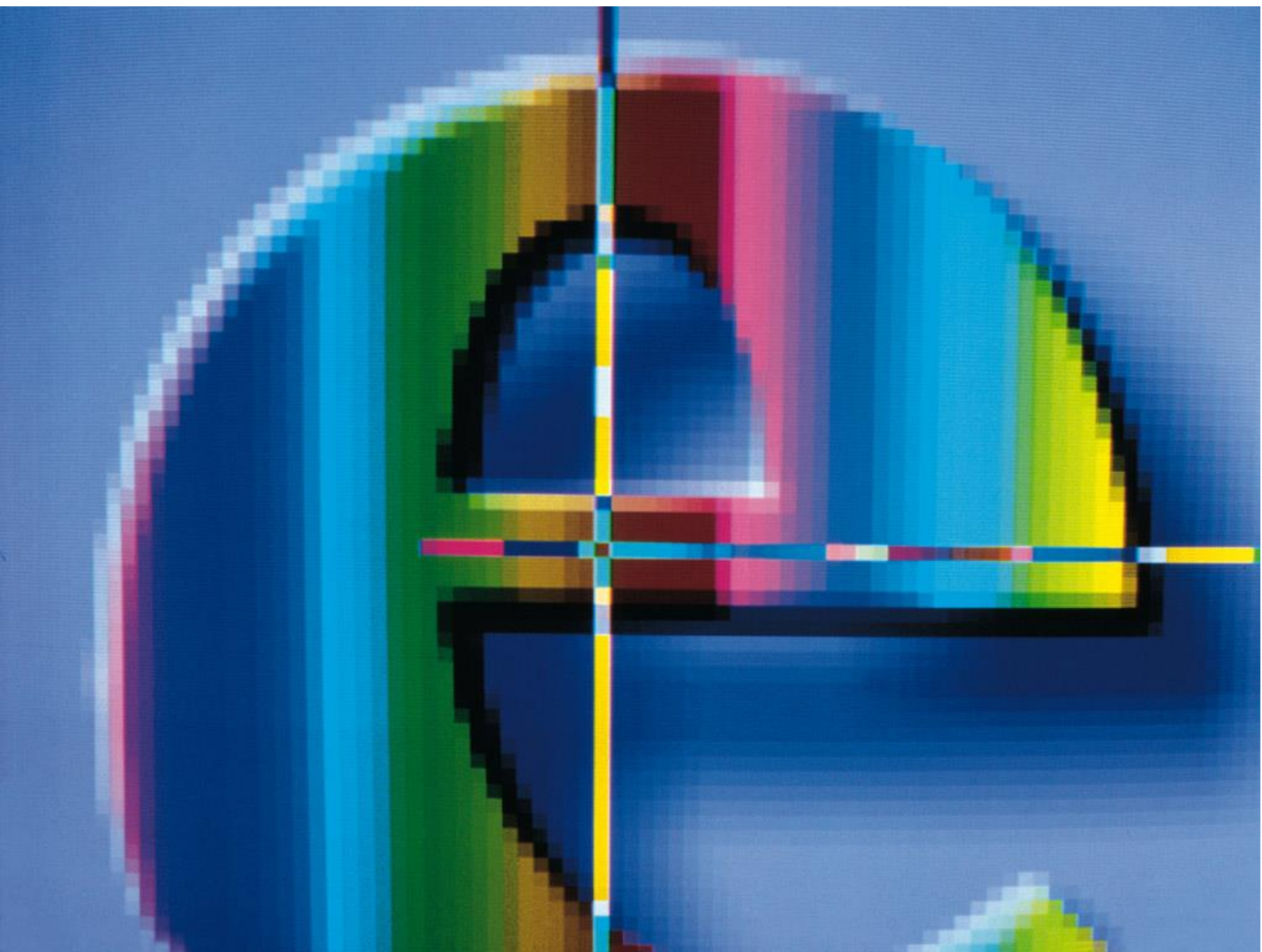


**UMJERAVANJE AUTOMATSKOG
MJERNOG SUSTAVA ZA
KONTINUIRANO MJERENJE EMISIJA
U ZRAK IZ GLAVNOG BETONSKOG
DIMNJAKA EL-TO ZAGREB**



Zagreb, 2024.



Naručitelj:

HEP PROIZVODNJA d.o.o.
Sektor za termoelektrane
Pogon EL-TO Zagreb
Zagorska 1
10000 Zagreb

Radni nalog:

I-02-2234_5

Naslov:

**UMJERAVANJE AUTOMATSKOG MJERNOG SUSTAVA ZA KONTINUIRANO MJERENJE
EMISIJA U ZRAK IZ GLAVNOG BETONSKOG DIMNJAKA EL-TO ZAGREB**

Ispitivanja proveli:

Mato Papić, dipl. ing. univ. spec.
Borna Glückselig, mag. ing. agr.
Darko Glückselig, teh.
Antonijo Škvorić, teh.

Obrada rezultata mjerenja:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.

Direktor odjela za mjerenja i analitiku:

u.z.

Bojan Abramović, dipl. ing.

Direktor:

Elvis Cukon, dipl. ing. stroj., MBA

Zagreb, 31. 12. 2024.

SADRŽAJ

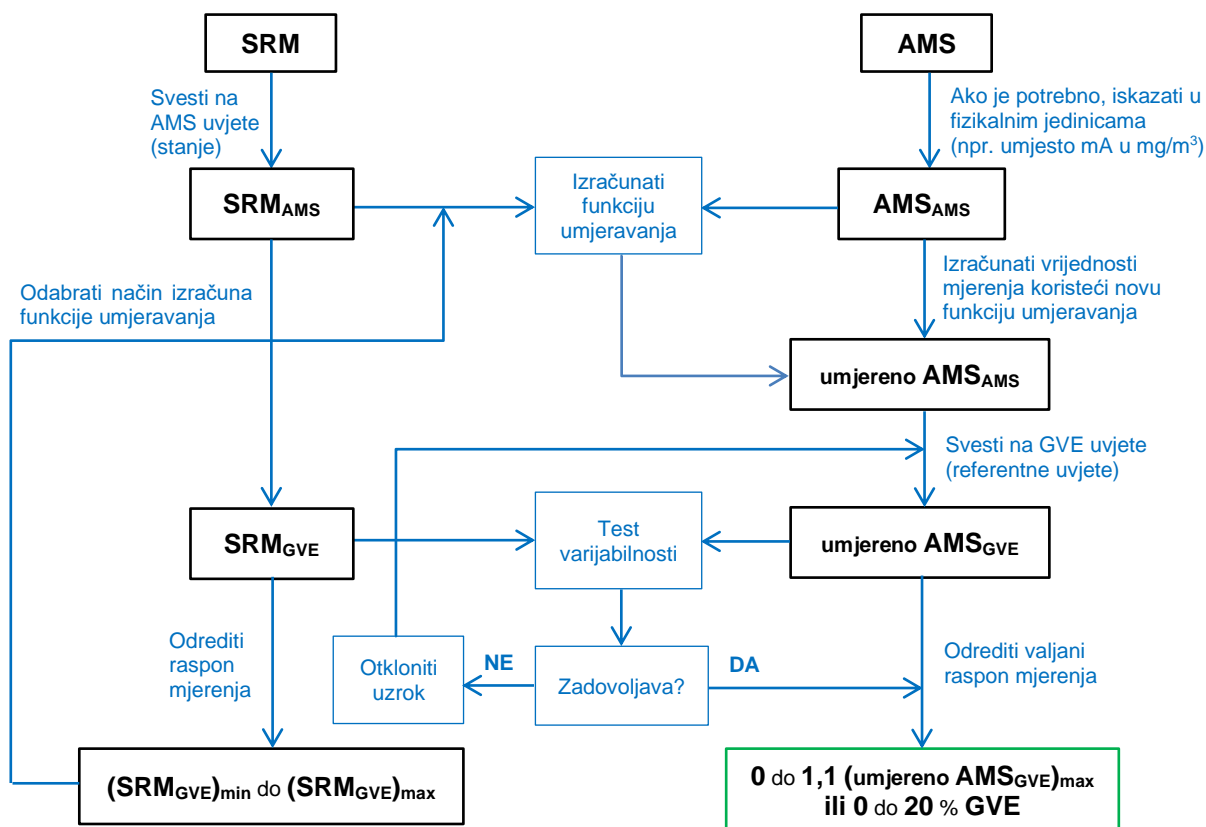
1. UVOD	2
2. AUTOMATSKI MJERNI SUSTAVI	3
2.1. MJERNI UREĐAJI	5
2.1.1. Mjerenje brzine dimnih plinova uređajem DURAG D-FL 220	5
2.1.2. Mjerenje emisije krutih čestica uređajem DURAG D-R 320.....	6
2.1.3. Mjerenje temperature dimnih plinova otpornim osjetnikom Pt100	7
2.1.4. Mjerenje tlaka u ispustu pretvaračem Siemens SITRANS P DS III	7
2.1.5. Mjerenje CO, NO, SO ₂ i O ₂ analizatorom Siemens ULTRAMAT 23	7
2.2. EMISIJSKO RAČUNALO	8
3. REZULTATI	9
3.1. REZULTATI PARALELNIH MJERENJA	11
3.1.1. Mjerenje temperature dimnih plinova uređajem Pt100.....	13
3.1.2. Mjerenje tlaka u ispustu uređajem Siemens SITRANS P DS III	15
3.1.3. Provjera konstantne vlažnosti dimnih plinova	17
3.1.4. Mjerenje O ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23	19
3.1.5. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23.....	21
3.1.6. Mjerenje NO _x uređajem Siemens ULTRAMAT 23	23
3.1.7. Mjerenje SO ₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23.....	25
3.1.8. Mjerenje PM uređajem Siemens ULTRAMAT 23.....	27
3.1.9. Mjerenje protoka dimnih plinova uređajem DURAG D-FL 220	29
4. ZAKLJUČAK	31
<u>KRATICE I INDEKSI</u>	32
<u>POJMOVNIK</u>	34

PRILOG

- A. L-I-02-2234_5/24 EKONERG - *Laboratorij za mjerenje emisija*: Izveštaj o mjerenju emisija iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb, 31. prosinac 2024.

1. UVOD

Umjeravanje uređaja automatskog mjernog sustava (AMS) za kontinuirano mjerenje emisija u zrak iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb provedena je prema postupku QAL2 (engl. *Quality Assurance Level 2*) norme HRN EN 14181:2014. Dijagram toka umjeravanja (QAL2) dan je na sl. 1, a pregled AMS uređaja dan je u tab. 1.



Sl. 1: Dijagram toka umjeravanja AMS uređaja prema QAL2 HRN EN 14181:2014

Tab. 1: Pregled AMS uređaja glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispustu)	protok (brzina), Q	DURAG D-FL 220 (serijski broj: 1257603)
	temperatura, ϑ	Elektron Erma-Strmec d.o.o., Pt100 uvrtni termometar tip TB
	tlak, p	Siemens SITRANS P DS III (serijski broj: N1H6279067052)
	krute čestice, PM	DURAG D-R 320 (serijski broj: 1251565)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (16 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljikov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 s paramagnetskim mjerenjem O_2 (serijski broj: N1H4841)
	dušikov monoksid, NO	
	sumporov dioksid, SO_2	
	kisik, O_2	

Kao što se vidi iz dijagrama toka na sl. 1, QAL2 postupak (umjeravanje) 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 paralelna mjerenja: protoka (brzine) dimnih plinova (Q , m^3/h), temperature dimnih plinova (ϑ , $^{\circ}C$), tlaka dimnih plinova u ispustu (p , hPa), masene koncentracije krutih čestica u dimnim plinovima (PM , mg/m^3), volumnog udjela ugljičnog monoksida u suhim dimnim plinovima (CO , ppm), volumnog udjela dušikovih oksida u suhim dimnim plinovima (NO_x , ppm), volumnog udjela sumporovog dioksida u suhim dimnim plinovima (SO_2 , 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 (mingor.gov.hr).

Opis i tehničke značajke proizvodnih jedinica (izvora emisija) koje ispuštaju dimne plinove kroz glavni betonski dimnjak EL-TO Zagreb (zajednički dimnjak visine 200 m), 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, oblik i dimenzije mjernog presjeka, broj mjernih linija i raspored točaka mjerenja po mjernoj ravnini ispusta.

2. AUTOMATSKI MJERNI SUSTAVI

Automatski mjerni sustav glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb sastoji se od neekstraktivnih (lat. *in-situ*) mjernih uređaja te ekstraktivnog mjernog podsustava.

Ekstraktivni mjerni podsustav se sastoji od: sustava za uzorkovanje dimnih plinova, sustava za pripremu ohlađenih suhih uzorkovanih dimnih plinova i modularnog analizatorskog sustava. Sustav za uzorkovanje dimnih plinova čini sonda s grijanom glavom (smještena na koti 35 m) i grijano crijevo kojim se uzorkovani dimni plinovi dopremaju prema analitičkom ormaru smještenim u podnožju dimnjaka. Unutar klimatiziranog analitičkog ormara nalaze se: pumpa, 2-stupanjski hladnjak koji vrši hlađenje i izdvajanje vlage iz uzorkovanih dimnih plinova, Bühler Bunox2+ katalitički konverter za pretvorbu NO_2 u NO , višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO , NO , SO_2 i O_2 , Siemens SIMATIC S7-1500 PLC (engl. *Programmable Logic Controller*) sa HMI (engl. *Human Machine Interface*) sučeljem KTP700 za nadzor i upravljanje te jedinica za podatkovnu komunikaciju DURAG D-MS 500 KE. Uz analitički ormar smještene su boce s referentnim plinovima za provjeru te kalibraciju nule i mjernog raspona analizatora Siemens ULTRAMAT 23.

Neekstraktivni mjerni uređaji za mjerenje brzine (protoka) dimnih plinova (DURAG D-FL 220), temperature dimnih plinova (Pt100 osjetnik), tlaka u ispustu (Siemens SITRANS P DS III) i masene koncentracije krutih čestica (DURAG D-R 320) u dimnim plinovima smješteni su na koti 35 m glavnog dvoplašnog betonskog dimnjaka. Neekstraktivni mjerni uređaji povezani su s upravljačkom jedinicom DURAG D-ISC 100 koja se nalazi u podnožju dimnjaka uz analitički ormar.

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) gdje se vrši obrada, prikaz, izvješćivanje i pohrana izmjerenih emisijskih veličina. Shematski prikaz automatskog mjernog sustava dan je na sl. 2.

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. MJERNI UREĐAJI

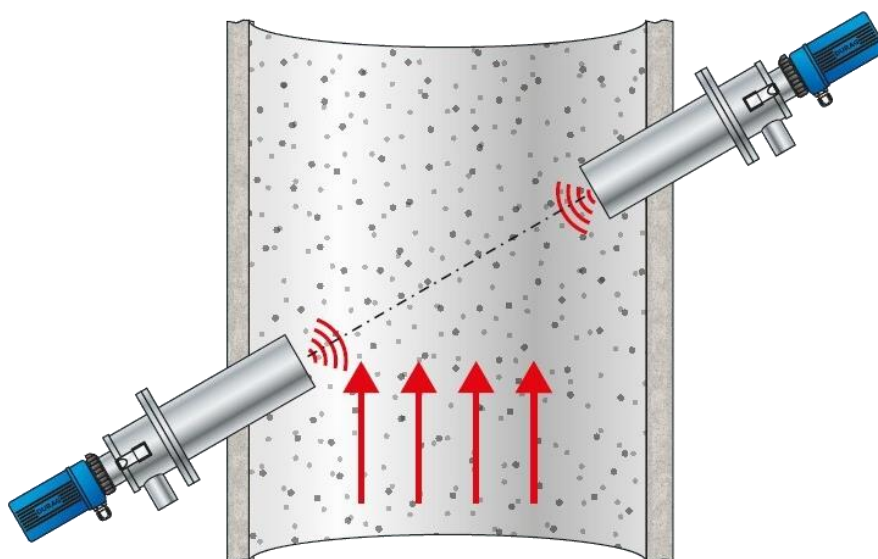
Za mjerenje volumnih udjela plinovitih tvari (CO , NO , SO_2 i O_2) u suhim dimnim plinovima koristi se ekstraktivna metoda, dok se masena koncentracija krutih čestica (PM), protok (Q), tlak (p) i temperatura dimnih plinova (ϑ) mjeri izravno u ispustu (engl. *on site*, lat. *in-situ*). Postavke mjernih uređaja dane su tab. 2.

Tab. 2: Postavke AMS uređaja (10. prosinca 2024.)

Emisijska veličina	Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA	Kalibracijski koeficijenti uređaja	Napomena
CO	0 - 400 $mg/m_n^3_{sdp}$	-	-
NO	0 - 1 400 $mg/m_n^3_{sdp}$	-	
SO_2	0 - 2 000 $mg/m_n^3_{sdp}$	-	
O_2	0 - 25 % $_{sdp}$	-	
p	900 - 1 100 hPa	-	-
ϑ	0 - 300 °C	-	-
Q	0 - 1 200 000 m^3_{isp}/h	$a_0 = 0; a_1 = 1; a_2 = 0; a_3 = 0$	$Q_{cal} = a_3 \cdot Q^3 + a_2 \cdot Q^2 + a_1 \cdot Q + a_0$
PM	0 - 150 mg/m^3_{isp}	$a_0 = 0; a_1 = 0,006$	$PM = a_0 + a_1 \cdot SL; SL = \text{engl. StrayLight}$

2.1.1. Mjerenje brzine dimnih plinova uređajem DURAG D-FL 220

DURAG D-FL 220 je neekstraktivni (lat. *in-situ*) uređaj za kontinuirano mjerenje brzine (protoka) dimnih plinova koji je shematski prikazan na sl. 3.



Sl. 3: Shematski prikaz principa mjerenja brzine uređajem DURAG D-FL 220

Uređaj se u ispust uobičajeno postavlja pod kutom od 45° u odnosu na smjer strujanja. Sonda mjernog uređaja sadrži dva nasuprotno postavljena piezoelektrička ultrazvučna elementa koji imaju funkciju odašiljača (odašilje ultrazvučni val kroz ispust prema nasuprotno smještenom prijemu) i prijemu (detektira ultrazvučni val koji kroz ispust odašilje nasuprotno smješteni odašiljač).

Ultrazvučni val koji je odaslani u smjeru strujanja ima veću brzinu od ultrazvučnog vala koji je odaslani suprotno smjeru strujanja u ispustu. Kako je put koji odaslani ultrazvučni val prijeđe u oba slučaja isti (razmak između piezoelektričkih ultrazvučnih elemenata), val koji je odaslani u smjeru

strujanja će taj put prijeći za kraće vrijeme (engl. *downstream time of flight*) u odnosu na val koji je odaslan suprotno smjeru strujanja (engl. *upstream time of flight*). Brzina strujanja u ispustu je proporcionalna razlici tih vremena, a računa se prema sljedećem izrazu:

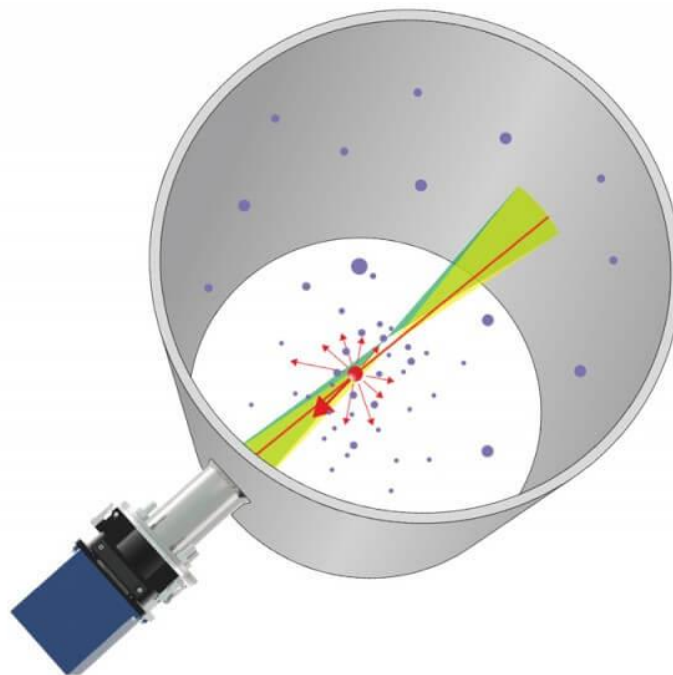
$$v = \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{t_u - t_d}{t_u \cdot t_d}, \quad (1)$$

gdje je:

- v , m/s; brzina strujanja u ispustu,
- L , m; razmak između piezoelektričkih ultrazvučnih elemenata,
- α , °; postavni kut sonde (kut između osi sonde i uzdužne osi ispusta),
- t_u , s; vrijeme (mjereno uređajem) potrebno da ultrazvuk prevali put između ultrazvučnih elemenata u smjeru suprotnom od strujanja dimnih plinova,
- t_d , s; vrijeme (mjereno uređajem) potrebno da ultrazvuk prevali put između ultrazvučnih elemenata u smjeru strujanja dimnih plinova.

2.1.2. Mjerenje emisije krutih čestica uređajem DURAG D-R 320

DURAG D-R 320 je optički neekstraktivni (lat. *in-situ*) uređaj za kontinuirano mjerenje masene koncentracije krutih čestica. Princip rada uređaja je shematski prikazan na sl. 4.



Sl. 4: Optički uređaj DURAG D-R 320 za mjerenje masene koncentracije krutih čestica

Princip rada uređaja je sljedeći: odašiljač odašilje zraku monokromatske crvene svjetlosti u tok dimnih plinova gdje zraka osvjetljava čestice prašine u mjernom volumenu dimnih plinova. Svjetlost se raspršuje na česticama te također stvara i neželjenu pozadinsku svjetlost nastalu refleksijom od plašta ispusta. Raspršena i pozadinska svjetlost detektiraju se u polovici integriranog dvojnog detektora. Istodobno, druga polovica detektora prima samo pozadinsku svjetlost iz istog područja mjernog volumena. Nakon oduzimanja pozadinske svjetlosti od ukupnog signala preostaje samo raspršeno svjetlo proporcionalno koncentraciji čestica u mjernom volumenu (Bouguerov ili Lambert-Beerov zakon apsorpcije). Zbog automatske kompenzacije pozadinskog svjetla nije potreban apsorber. Kako oba dijela integriranog dvostrukog detektora dijele iste optičke jedinice, nije potrebno niti usklađivanje optičkih putova.

2.1.3. Mjerenje temperature dimnih plinova otpornim osjetnikom Pt100

Metoda mjerenja temperature otpornim termometrom zasniva se na fizikalnom svojstvu promjene električnog otpora metala (platina, od tuda oznaka Pt) s temperaturom. Kod temperature 0 °C otporni termometar tipa Pt100 ima električni otpor 100 Ω.

Kroz otporni termometar se provodi konstantna struja koja generira pad napona ovisan o otporu, odnosno 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 °C.

2.1.4. Mjerenje tlaka u ispustu pretvaračem Siemens SITRANS P DS III

Za mjerenje tlaka dimnih plinova u ispustu ugrađen je piezo-otporni pretvarač Siemens SITRANS P DS III. Piezo-otporni osjetnik izrađen je od kristala (najčešće silicija) koji pod utjecajem naprezanja (tlaka) mijenja električni otpor. Pretvarač koristi četiri jednaka piezo-otpornika spojena u Wheatstoneov most. Tlaku iz ispusta je izložen samo jedan od četiri piezo-otpornika, dok su preostala tri u vakuumu. Piezo-otpornik izložen tlaku iz ispusta mijenja otpor što rezultira pojavom napona u tzv. mjernoj dijagonali mosta. Mjereni napon proporcionalan je tlaku.

2.1.5. Mjerenje CO, NO, SO₂ i O₂ analizatorom Siemens ULTRAMAT 23

Mjerenje volumnih udjela CO, NO (NO_x kao NO), SO₂ i O₂ u suhim dimnim plinovima vrši se pomoću višekomponentnog analizatora ekstraktivnog tipa Siemens ULTRAMAT 23 koji je prikazan na sl. 5.

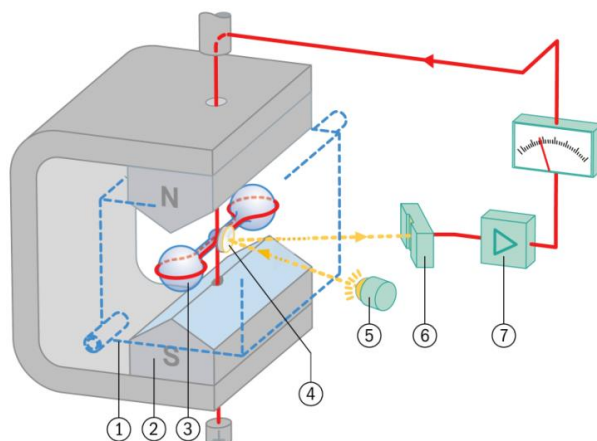


Sl. 5: Siemens ULTRAMAT 23

Siemens ULTRAMAT 23 mjeri volumne udjele CO, NO i SO₂ metodom ne-disperzivne infracrvene apsorpcije (engl. *Non-Dispersive Infra-Red* - NDIR). NDIR metoda se zasniva na pojavi da molekule plinova sastavljene od različitih atoma apsorbiraju infracrveno zračenje različitih valnih duljina.

Molekule kisika ne apsorbiraju infracrveno zračenje jer se sastoje od istih atoma te se za mjerenje volumnog udjela O₂ u modulu Siemens ULTRAMAT 23 koristi paramagnetska metoda koja je shematski prikazana na sl. 6. Propuštanjem dimnih plinova kroz jako magnetsko polje koje se mijenja zbog paramagnetskih svojstava kisika rezultira zakretanjem dijamagnetskog² utega (dvije šuplje sfere na sl. 6). Uređaj optičko-elektronički kompenzira zakret utega, a mjerljivi napor kompenzacije je proporcionalan koncentraciji O₂.

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: 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

2.2. EMISIJSKO 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 , SO_2 , O_2 , Q , PM , ϑ i p) 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 ($O_2 = 3\%$) 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 uspoređuju s граниčnim vrijednostima emisija (GVE). Postavke algoritma za izračun emisijskih veličina dane su u tab. 3.

Tab. 3: Izračun emisijskih veličina u algoritmu emisijskog računala (10. prosinca 2024.)

Mjerena veličina		Proporcionalnost analognog signala 4 - 20 mA	Izračun mjerene („sirove“) vrijednosti	Korekcijski koeficijenti za svođenje na referentne (GVE) uvjete			
Veličina	Jedinica			k_{O_2}	k_{H_2O}	k_p	k_ϑ
CO	mg/m ³	0 - 400	$CO = 25 \cdot (\text{mA}) - 100$	DA	-	-	-
NO	mg/m ³	0 - 1 400	$NO = 87,5 \cdot (\text{mA}) - 350$	-	-	-	-
NO_x	mg/m ³	-	$NO_x = NO \cdot 1,533$	DA	-	-	-
SO_2	mg/m ³	0 - 2 000	$SO_2 = 125 \cdot (\text{mA}) - 500$	DA	-	-	-
O_2	%	0 - 25	$O_2 = 1,5625 \cdot (\text{mA}) - 6,25$	-	-	-	-
p	hPa	900 - 1 100	$p = 12,5 \cdot (\text{mA}) + 850$	-	-	-	-
ϑ	°C	0 - 300	$\vartheta = 18,75 \cdot (\text{mA}) - 75$	-	-	-	-
H_2O	%	-	$H_2O = 16\%$	-	-	-	-
PM	mg/m ³	0 - 150	$PM = 9,375 \cdot (\text{mA}) - 37,5$	DA	DA	DA	DA
Q	m ³ /h	0 - 1 200 000	$Q = 75 000 \cdot (\text{mA}) - 300 000$	DA	DA	DA	DA

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.

³ Izuzimaju se vrijednosti izmjerene tijekom upuštanja u rad i prestanka rada uređaja za loženje čiji dimni plinovi se ispuštaju kroz zajednički dimnjak.

Preračun koncentracija plinovitih onečišćujućih tvari (CO , NO_x i SO_2) na referentne uvjete vrši se množenjem izmjerene vrijednosti s korekcijskim koeficijentom k_{O_2} . Preračun koncentracije krutih čestica (PM) na referentne uvjete vrši se množenjem s koeficijentima k_{O_2} , k_{H_2O} , k_p i k_ϑ , a preračun protoka dimnih plinova (Q) na referentne uvjete vrši se dijeljenjem s koeficijentima k_{O_2} , k_{H_2O} , k_p i k_ϑ . Pri tome se korekcijski koeficijenti računaju na sljedeći način:

$$k_{O_2} = \frac{21\% - 3\%}{21\% - O_2}; \quad k_{H_2O} = \frac{100\%}{100\% - H_2O}; \quad k_p = \frac{1\,013,25}{p}; \quad k_\vartheta = \frac{273,15 + \vartheta}{273,15}, \quad (2)$$

gdje je:

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

3. REZULTATI

Temeljni zadatak umjeravanja je odrediti funkcije umjeravanja (regresijske pravce) svih AMS uređaja i osigurati da umjerene AMS vrijednosti zadovoljavaju zakonskom regulativom propisanu mjernu nesigurnost iskazanu kao standardnu devijaciju (σ_0) čiji je iznos konstantan u čitavom mjernom rasponu AMS uređaja (tzv. test varijabilnosti). Regresijski pravci se određuju statistički iz rezultata paralelnih mjerenja AMS i SRM uređaja, pri čemu se vrijednosti izmjerene SRM uređajima moraju svesti na uvjete mjerenja AMS uređaja.

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:

$$\sigma_0 = \frac{I}{2 \cdot 1,96} = \frac{P \cdot GVE}{1,96}. \quad (3)$$

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 („Narodne novine“ 42/2021) i Direktivom 2010/75/EU nisu propisani intervali pouzdanosti AMS uređaja za mjerenje temperature, tlaka i protoka (brzine) dimnih plinova. Osim toga, navedeni uređaji nisu tipični uređaj za mjerenje emisija te zato, izuzev uređaja za mjerenje protoka (brzine) dimnih plinova, nemaju niti QAL1 tipsko odobrenje. Stoga je mjerna nesigurnost AMS uređaja za mjerenje temperature dimnih plinova (u_ϑ) određena prema sljedećem izrazu:

$$u_{\theta} = \sqrt{\left(\frac{3,6 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{4,0 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 3,11 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (4)$$

gdje je:

- u_{θ} ; $^{\circ}\text{C}$; kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova u ispustu,
- 3,6 $^{\circ}\text{C}$; granična greška otpornog termometra Pt100 klase C kod 300 $^{\circ}\text{C}$ prema IEC 60751:2009⁴,
- 4,0 $^{\circ}\text{C}$; procijenjena granična greška uređaja za prijenos i obradu signala otpornog termometra Pt100.

Slično, mjerna nesigurnost (u_p) AMS uređaja za mjerenje tlaka u ispustu određena je kako slijedi:

$$u_p = \sqrt{\left(\frac{6 \text{ hPa}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{6 \text{ hPa}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 4,90 \text{ hPa}, \quad (5)$$

gdje je:

- u_p ; hPa; kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja Siemens SITRANS P DS III za mjerenje tlaka dimnih plinova,
- 6 hPa; procijenjena granična greška pretvarača Siemens SITRANS P DS III za mjerenje tlaka dimnih plinova,
- 6 hPa; procijenjena granična greška uređaja za prijenos i obradu signala tlaka dimnih plinova u ispustu.

Radi određivanja intervala pouzdanosti AMS uređaja za mjerenje protoka (brzine) dimnih plinova, korištena je dozvoljena kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja DURAG D-FL 220 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) određena prema sljedećem izrazu:

$$u_Q = \frac{7,5 \% \cdot 144 \text{ } 000 \text{ m/h} \cdot 29,802 \text{ m}^2}{1,96} = 164 \text{ } 217 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h}, \quad (6)$$

gdje je:

- u_Q ; $\text{m}^3_{\text{isp}}/\text{h}$; kombinirana mjerna nesigurnost AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje protoka dimnih plinova u ispustu,
- 144 000 m/h; mjerni raspon brzine uređaja DURAG D-FL 220 (40 m/s),
- 29,802 m^2 ; površina poprečnog mjernog presjeka.

Pregled korištenih mjernih nesigurnosti dan je u tab. 4.

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

Tab. 4: Propisane i korištene mjerne nesigurnosti pojedinih AMS mjerenih veličina

Veličina	GVE	P	Mjerni raspon	Proširena mjerna nesigurnost	σ_0
CO	100 mg/m ³ _{ref}	10 %		± 10 mg/m ³ _{ref}	± 5,10 mg/m ³ _{ref}
NO _x	100 mg/m ³ _{ref}	20 %		± 20 mg/m ³ _{ref}	± 10,20 mg/m ³ _{ref}
SO ₂	35 mg/m ³ _{ref}	20 %		± 7 mg/m ³ _{ref}	± 3,57 mg/m ³ _{ref}
O ₂	21 % _{sdp} ¹⁾	10 %		± 2,1 % _{sdp}	± 1,07 % _{sdp}
p			900 - 1 100 hPa		± 4,90 hPa
ϑ			0 - 300 °C		± 3,11 °C
H ₂ O	30 % _{vdp} ¹⁾	10 %		± 3,0 % _{vdp}	± 1,53 % _{vdp}
PM	5 mg/m ³ _{ref}	30 %		± 1,5 mg/m ³ _{ref}	± 0,77 mg/m ³ _{ref}
Q					± 164 217 m ³ _{isp} /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*

3.1. REZULTATI PARALELNIH MJERENJA

11., 12 i 13. prosinca 2024. godine EKONERG-ov Laboratorij za mjerenje emisija je u glavnom betonskom dimnjaku EL-TO Zagreb izvršio petnaest paralelnih mjerenja (M1-M15): temperature (ϑ), tlaka (p), protoka dimnih plinova (Q), koncentracije krutih čestica (PM), volumnih udjela CO, NO_x, SO₂ i O₂ u suhim dimnim plinovima te je izračunat volumni udio vlage (H₂O) u dimnim plinovima. Pregled izmjerenih, tzv. „sirovih“ vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja dan je u tab. 5 i tab. 6.

Tab. 5: Emisije iz ispusta izmjerene SRM uređajima

SRM	p	ϑ	H ₂ O	PM	Q	CO	NO _x kao NO	SO ₂	O ₂
	hPa	°C	% _{vdp}	mg/m ³ _{isp}	m ³ _{isp} /h	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	% _{sdp}
M1	1 007	79	13,12	0,01	257 664	8,1	46,3	1,3	7,78
M2	1 007	79	13,11	0,01	268 399	8,9	47,0	1,3	7,78
M3	1 007	79	13,11	0,02	257 664	8,6	47,2	1,4	7,79
M4	1 009	79	13,09	0,01	268 402	8,8	47,4	1,5	7,79
M5	1 009	72	12,18	0,06	268 204	6,3	42,3	1,4	8,88
M6	1 009	76	13,05	0,01	257 603	8,2	47,4	1,9	7,78
M7	1 009	77	12,92	0,06	257 595	6,4	47,6	1,4	7,93
M8	1 010	73	12,49	0,06	246 786	7,8	45,3	1,2	8,43
M9	1 010	70	11,97	0,07	214 508	4,1	42,5	0,8	9,03
M10	1 009	64	11,46	0,03	203 700	2,0	36,7	0,4	9,65
M11	1 010	76	12,96	0,04	268 331	3,7	48,1	1,6	7,86
M12	1 011	79	12,97	0,08	279 080	3,8	47,7	1,3	7,87
M13	1 012	79	13,04	0,09	268 366	5,0	47,8	1,2	7,80
M14	1 012	80	13,04	0,05	268 357	9,0	47,1	0,9	7,82
M15	1 012	79	12,97	0,03	268 340	9,5	46,4	0,2	7,89

Tab. 6: Emisije iz ispusta izmjerene AMS uređajima

AMS	p	ϑ	H_2O	PM	Q	CO	NO_x kao NO	SO_2	O_2
	hPa	°C	% _{vdp}	mg/m ³ _{isp}	m ³ _{isp} /h	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	% _{sdp}
M1	1 004	77	16,00	0,01	286 977	10,6	52,0	3,9	7,71
M2	1 004	77	16,00	0,01	291 472	11,8	53,3	3,8	7,70
M3	1 005	77	16,00	0,01	293 012	11,5	53,8	4,2	7,71
M4	1 005	78	16,00	0,01	294 772	11,5	53,5	4,1	7,72
M5	1 006	71	16,00	0,02	286 013	8,8	48,7	4,2	8,79
M6	1 009	75	16,00	0,01	269 186	10,2	53,9	4,5	7,69
M7	1 009	75	16,00	0,02	281 233	8,6	53,9	4,2	7,83
M8	1 009	71	16,00	0,01	294 087	10,3	51,7	4,8	8,32
M9	1 009	67	16,00	0,02	272 948	6,7	49,2	4,8	8,92
M10	1 009	62	16,00	0,02	232 513	4,5	43,6	4,1	9,52
M11	1 010	75	16,00	0,02	279 202	6,1	54,2	0,9	7,76
M12	1 011	77	16,00	0,02	284 005	6,2	54,1	0,7	7,77
M13	1 012	78	16,00	0,02	276 416	7,5	54,4	0,8	7,71
M14	1 011	78	16,00	0,02	296 538	11,3	53,7	0,7	7,74
M15	1 011	77	16,00	0,02	283 049	11,9	53,3	0,7	7,82

Pregled vrijednosti paralelnih mjerenja SRM i AMS uređaja svedenih na referentne (GVE) uvjete (volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 3 % pri 0 °C i 1013,25 hPa) potrebne za testove varijabilnosti i valjanosti linearnih regresija dan je u tab. 7. Kako pomoćne veličine (p , ϑ , O_2 i H_2O) ne bi utjecale na prolaznost pojedinih AMS uređaja kod testova varijabilnosti, prilikom svodenja tzv. „sirovih“ vrijednosti AMS uređaja na referentne (GVE) uvjete korištene su vrijednosti pomoćnih veličina mjerene SRM uređajima. Dakle, umjesto vrijednosti AMS uređaja iz tab. 7 korištene su „sirove“ vrijednosti AMS uređaja iz tab. 6 svedene na referentne uvjete korištenjem vrijednosti pomoćnih veličina mjerenih SRM uređajima iz tab. 5.

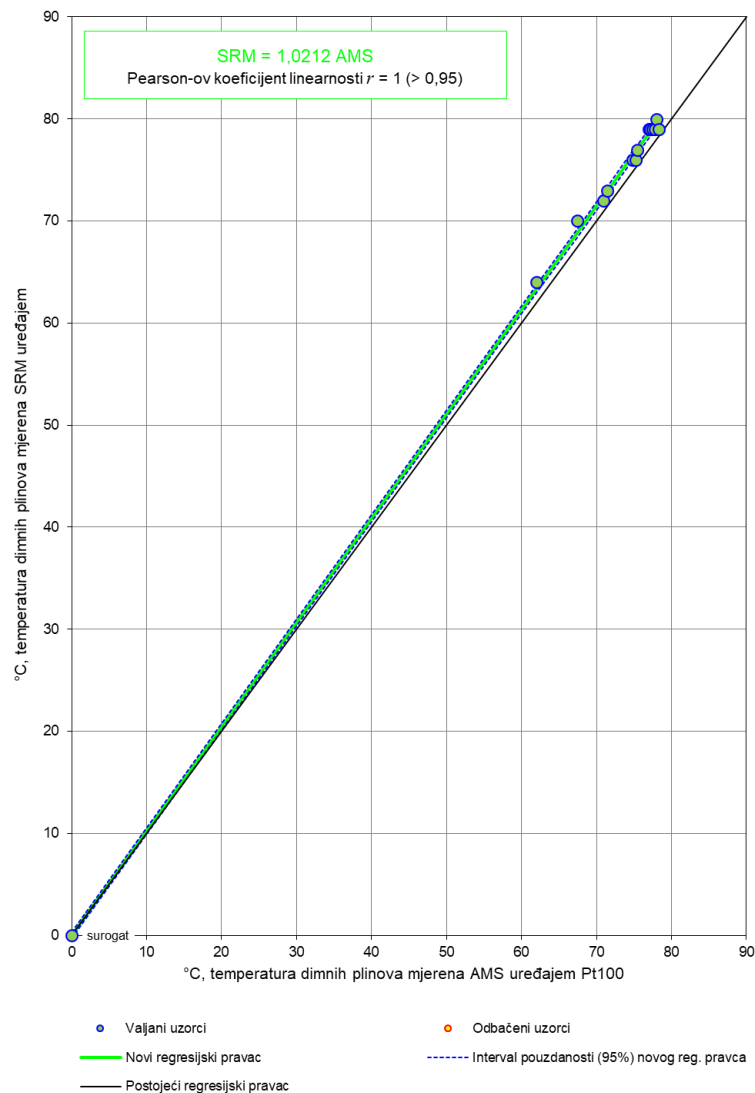
Tab. 7: Vrijednosti emisija izmjerene SRM i AMS uređajima svedene na referentne (GVE) uvjete

SRM	CO	NO_x kao NO_2	SO_2	PM
	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}
M1	11,1	96,4	1,8	0,01
M2	12,1	98,0	1,8	0,01
M3	11,7	98,3	1,9	0,05
M4	12,0	98,8	2,0	0,03
M5	9,3	96,0	2,1	0,14
M6	11,1	98,7	2,6	0,03
M7	8,8	100,3	1,9	0,12
M8	11,2	99,3	1,7	0,12
M9	6,2	97,7	1,2	0,14
M10	3,2	89,1	0,6	0,06
M11	5,1	100,9	2,1	0,08
M12	5,1	100,0	1,8	0,17
M13	6,8	99,8	1,6	0,18
M14	12,3	98,4	1,2	0,10
M15	13,0	97,5	0,3	0,06

AMS	CO	NO_x kao NO_2	SO_2	PM
	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}	mg/m ³ _{ref}
M1	14,4	108	5,3	0,02
M2	16,0	111	5,8	0,02
M3	15,6	112	5,7	0,03
M4	15,6	111	5,6	0,02
M5	13,0	110	6,2	0,05
M6	13,8	112	6,1	0,03
M7	11,8	113	5,7	0,04
M8	14,6	113	6,9	0,03
M9	9,8	112	7,2	0,04
M10	7,1	105	6,4	0,06
M11	8,3	113	1,3	0,04
M12	8,5	113	1,0	0,04
M13	10,1	113	1,1	0,04
M14	15,4	112	0,9	0,04
M15	16,2	112	0,9	0,04

3.1.1. Mjerenje temperature dimnih plinova uređajem Pt100

Na sl. 7 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



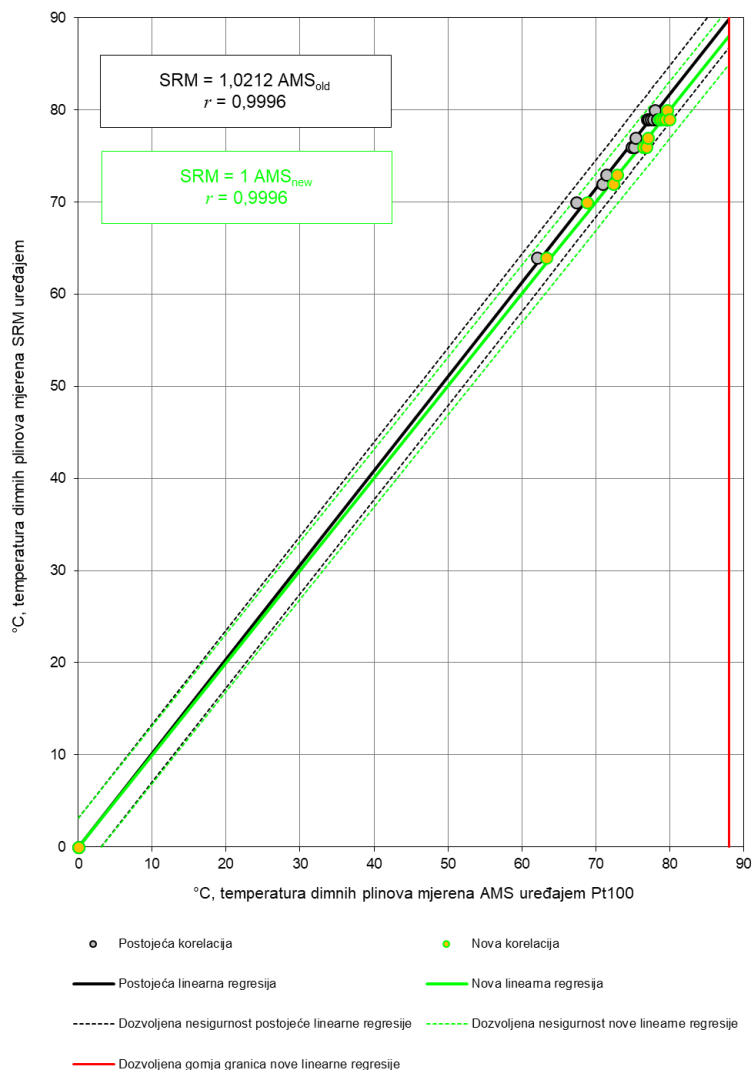
Sl. 7: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ °C}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,0212 \cdot AMS_{old}$) kako je prikazano na sl. 8. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost postojeće i nove linearne regresije ($\sigma_0 = \pm 3,11 \text{ °C}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$min_{new} = min_{old} = 0 \text{ °C},$$

$$max_{new} = max_{old} = 300 \text{ °C}.$$

U tab. 8 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 8: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova

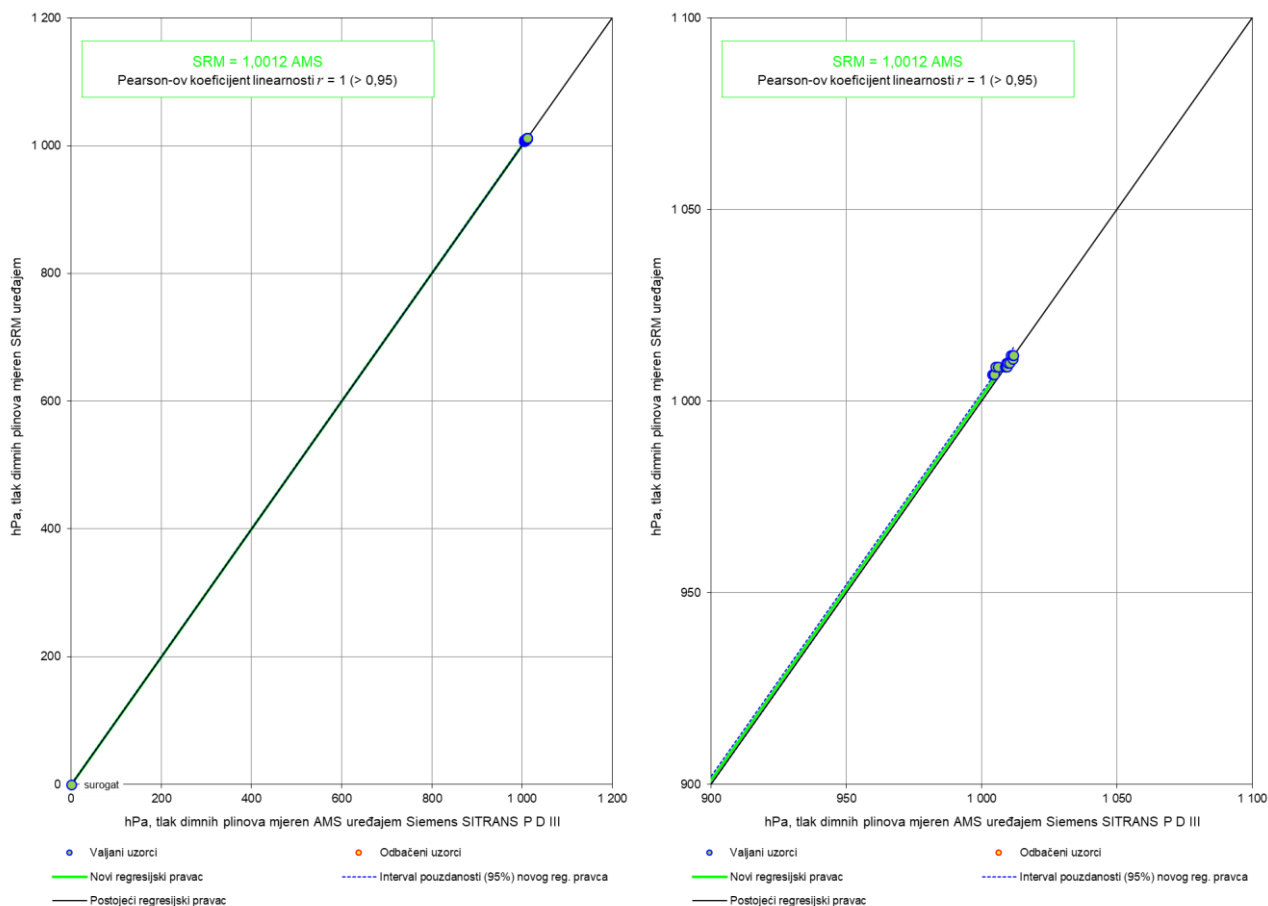
Tab. 8: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$						QAL2 test varijabilnosti			
						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
min_{old}	max_{old}	a	b	min_{new}	max_{new}	s_D	σ_0	k_v	$\sigma_0 \cdot k_v$
°C	°C	°C	-	°C	°C	0,52	3,11	0,98	3,03
0	300	0	1	0	300	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 8, postojeća linearna regresija AMS uređaja Pt100 za mjerenje temperature dimnih plinova uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ °C}$, $max_{new} = max_{old} = 300 \text{ °C}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 °C do 88 °C.

3.1.2. Mjerenje tlaka u ispustu uređajem Siemens SITRANS P DS III

Na sl. 9 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



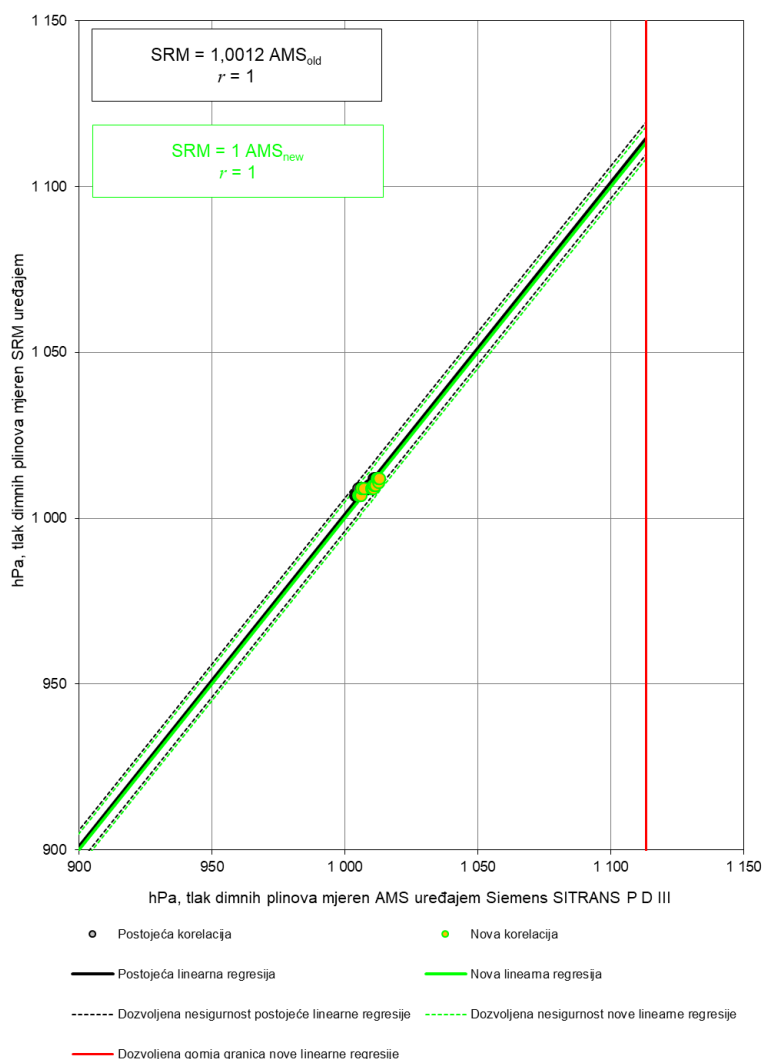
Sl. 9: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens SITRANS P DS III za mjerenje tlaka u ispustu

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0$ hPa). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,0012 \cdot AMS_{old}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 10. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 4,90$ hPa), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$min_{new} = min_{old} = 900 \text{ hPa,}$$

$$max_{new} = max_{old} = 1\,100 \text{ hPa.}$$

U tab. 9 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 10: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens SITRANS P DS III za mjerenje tlaka u ispustu

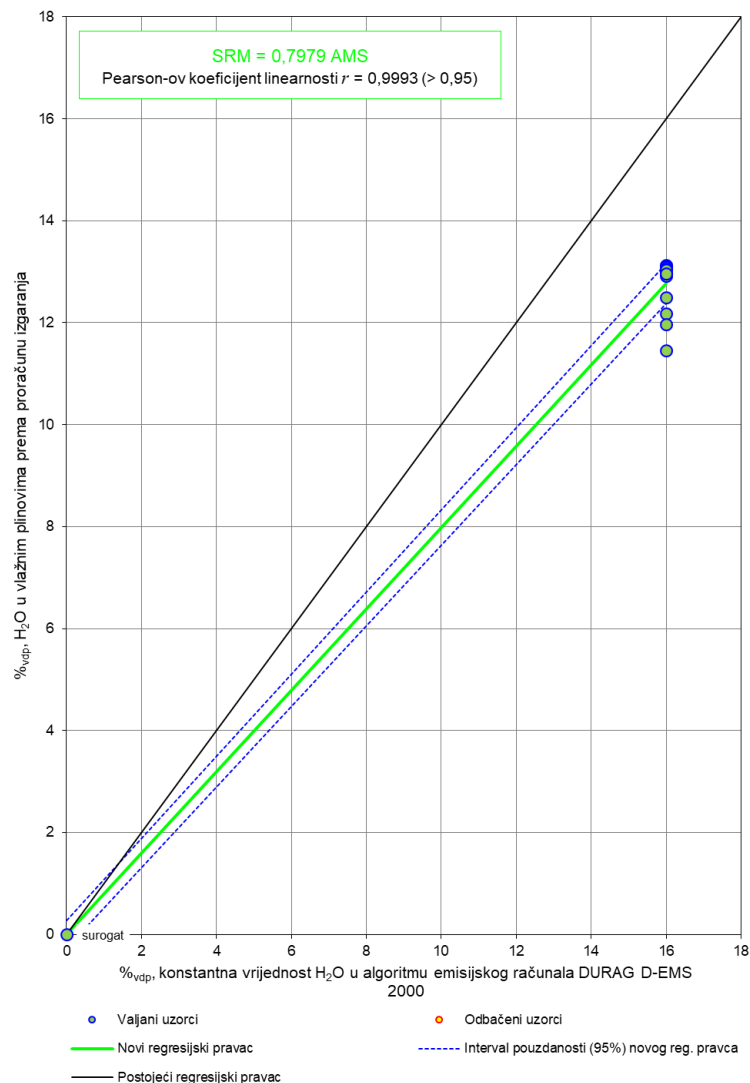
Tab. 9: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens SITRANS P DS III za mjerenje tlaka u ispustu

AMS _{new} = a + b · AMS _{old}						QAL2 test varijabilnosti			
AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {old, new}						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
min _{old}	max _{old}	a	b	min _{new}	max _{new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
hPa	hPa	hPa	-	hPa	hPa	1,42	4,90	0,98	4,78
900	1 100	0	1	900	1 100	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 9, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens SITRANS P DS III za mjerenje tlaka u ispustu uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 900$ hPa, $max_{new} = max_{old} = 1 100$ hPa) se može zadržati i valjan je u cijelom mjernom rasponu uređaja (od 900 hPa do 1 100 hPa).

3.1.3. Provjera konstantne vlažnosti dimnih plinova

Na sl. 11 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) rezultata izračuna volumnog udjela vlage u dimnim plinovima i jedne dodatne, tzv. surogat točke.

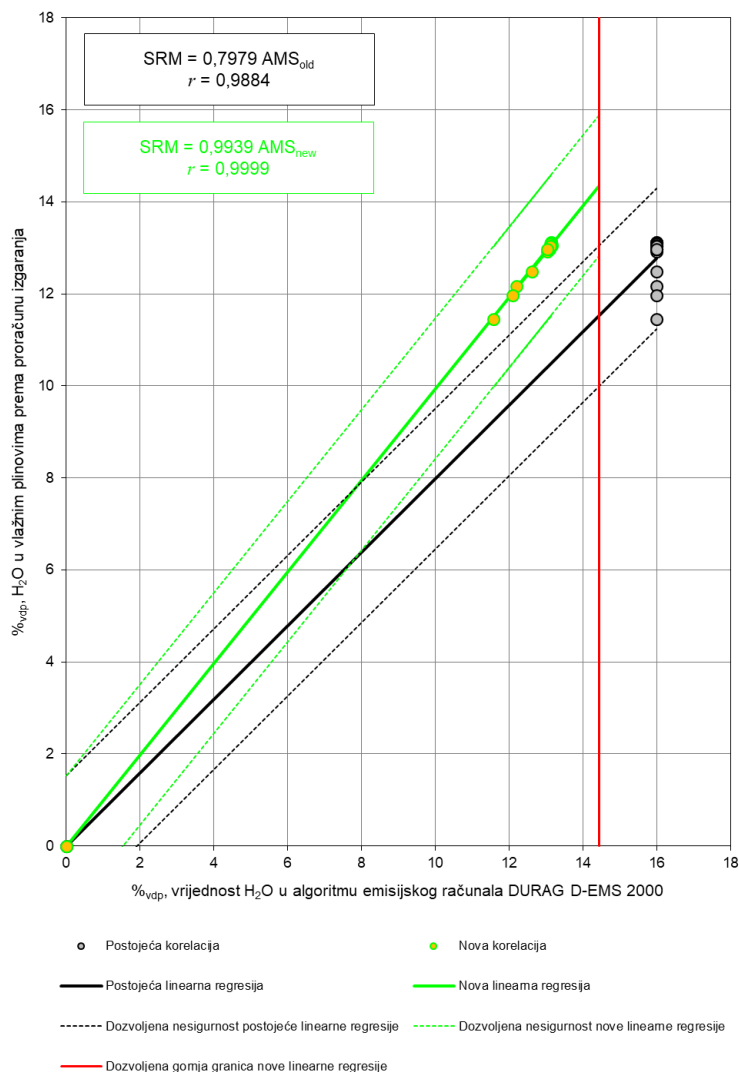


Sl. 11: Odnos postojećeg i novog fiktivnog regresijskog pravca za usvojenu konstantu vlažnosti dimnih plinova

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \%_{vdp}$). Kako postojeći fiktivni regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog fiktivnog regresijskog pravca, razmotreno je usvajanje novog fiktivnog regresijskog pravca (nove konstante) kako je prikazano na sl. 12. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,53 \%_{vdp}$), umjesto konstante vlažnosti dimnih plinova primjerenije je usvojiti izračunski izraz za određivanje vlažnosti dimnih plinova prema izmjerenoj vrijednosti O_2 u dimnim plinovima. Stoga u algoritam emisijskog računala treba unijeti sljedeći izraz:

$$H_2O_{new} = -0,8643 \cdot O_2 + 19,8 \%_{vdp}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,53 \%_{vdp}$) postojeće konstantne i novog izračunskog izraza vlažnosti dimnih plinova prikazana je na sl. 12. Rezultati testa varijabilnosti nove fiktivne linearne regresije dani su u tab. 10.



Sl. 12: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove fiktivne linearne regresije vlažnosti dimnih plinova

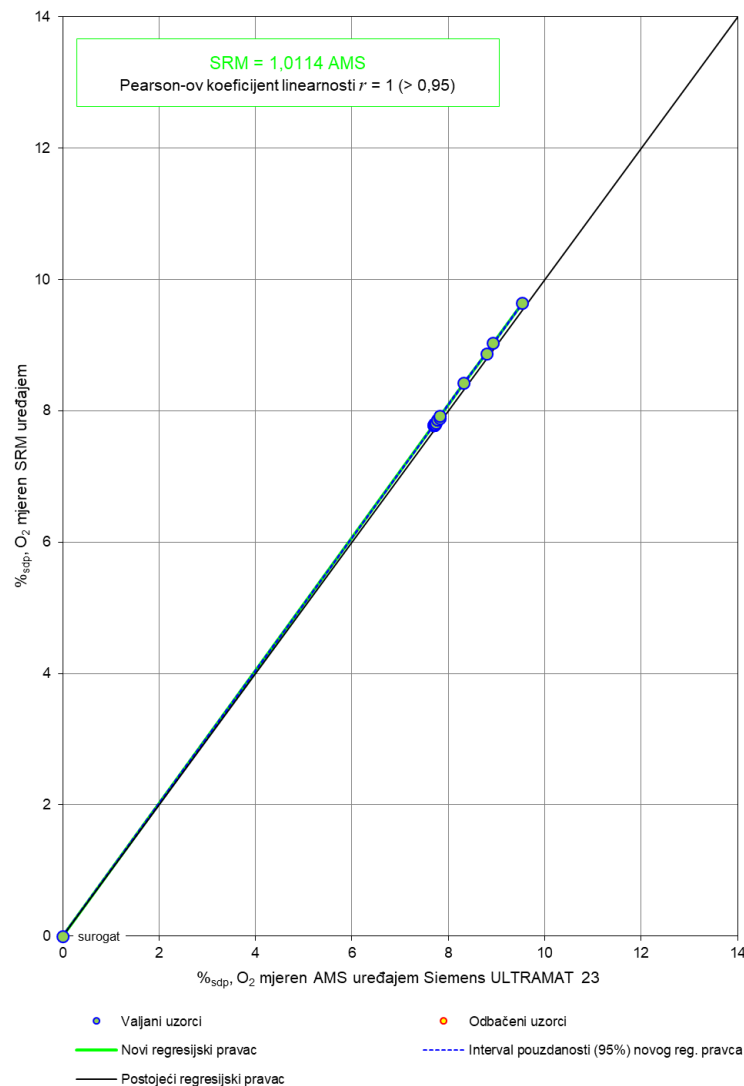
Tab. 10: Test varijabilnosti nove fiktivne linearne regresije izraza za izračun vlažnosti dimnih plinova

AMS _{old} = 16%		QAL2 test varijabilnosti			
AMS _{new} = $-0,8643 \cdot O_2 + 19,8\%$		$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
H ₂ O _{old}	H ₂ O _{new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
%vdp	%vdp	0,04	1,53	0,98	1,49
16	$-0,8643 \cdot O_2 + 19,8$	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 10, novi izračunski izraz za određivanje vlažnosti dimnih plinova (H₂O) uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeću konstantnu H₂O = 16 %vdp koja je upisana u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000 treba zamijeniti izrazom H₂O = $-0,8643 \cdot O_2 + 19,8$ %vdp.

3.1.4. Mjerenje O₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 13 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



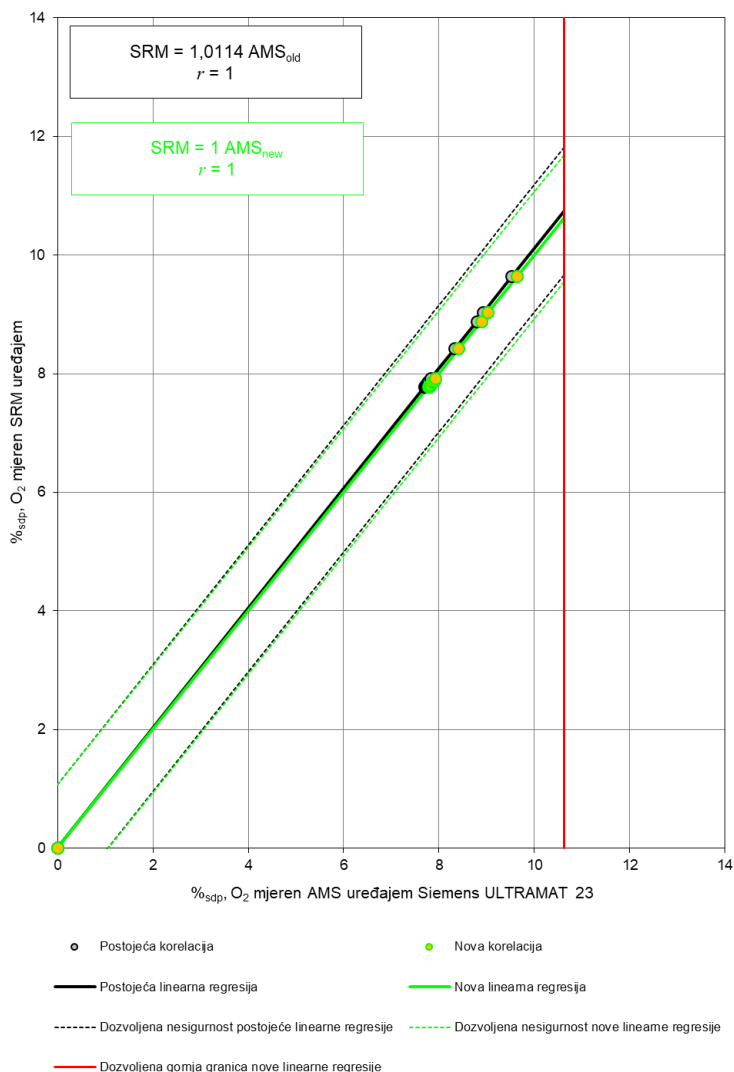
Sl. 13: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ ‰}_{sdp}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 1,0114 \cdot AMS_{old}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 14. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 1,07 \text{ ‰}_{sdp}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Također, Siemens ULTRAMAT 23 je konfiguriran tako da se svaka 24 sata vrši kalibracija vanjskim zrakom pri čemu se mijenjaju koeficijenti regresije. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$min_{new} = min_{old} = 0 \text{ ‰}_{sdp},$$

$$max_{new} = max_{old} = 25 \text{ ‰}_{sdp}.$$

Rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije dani su u tab. 11.



Sl. 14: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

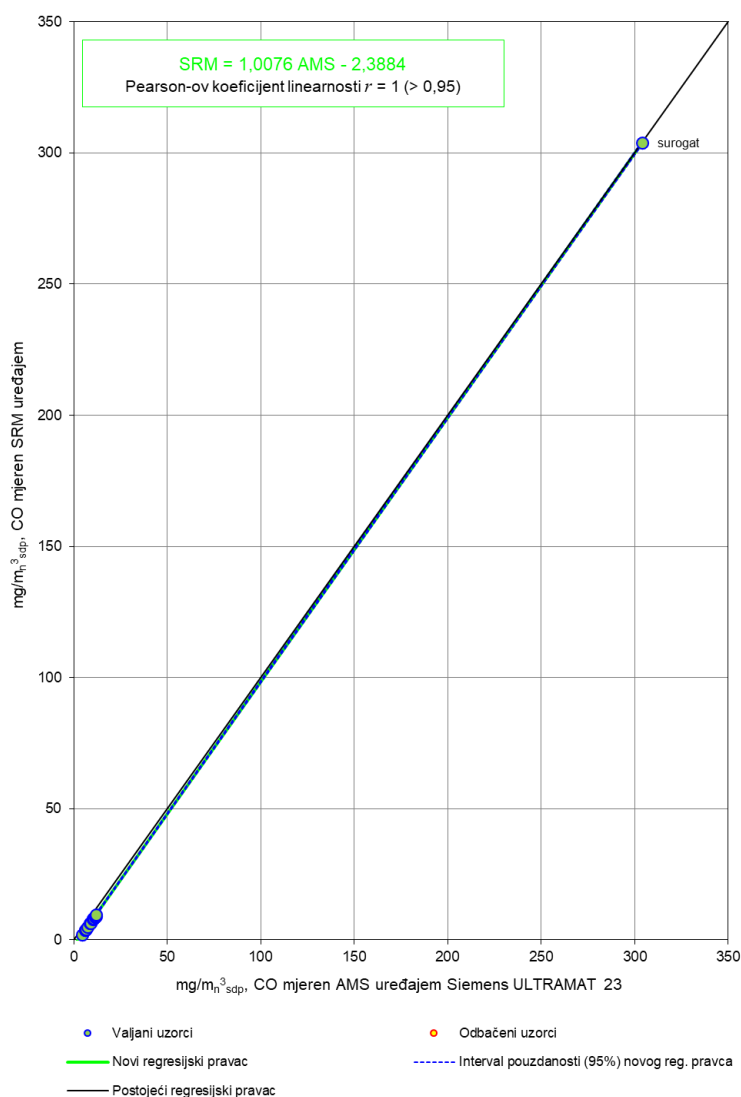
Tab. 11: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima

AMS _{new} = a + b · AMS _{old}						QAL2 test varijabilnosti			
AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA})$; i ∈ {old, new}						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
min _{old}	max _{old}	a	b	min _{new}	max _{new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
%sdp	%sdp	%sdp	-	%sdp	%sdp	0,02	1,07	0,98	1,05
0	25	0	1	0	25	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 11, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje O₂ u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac (min_{new} = min_{old} = 0 %sdp, max_{new} = max_{old} = 25 %sdp) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 %sdp do 10,6 %sdp.

3.1.5. Mjerenje CO uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 15 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



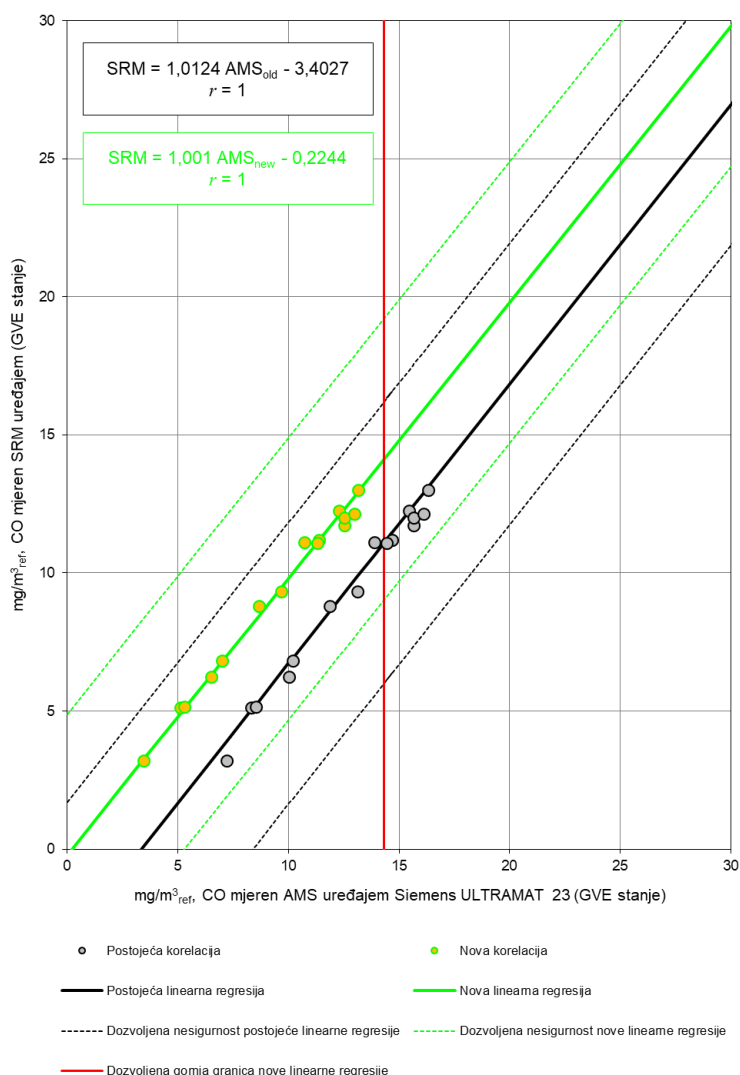
Sl. 15: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = -2,3884 + 1,0076 \cdot AMS_{old}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 16. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 5,10 \text{ mg/m}^3_{ref}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Također, Siemens ULTRAMAT 23 je konfiguriran tako da se svaka 24 sata vrši kalibracija vanjskim zrakom pri čemu se mijenjaju koeficijenti regresije. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp},$$

$$max_{new} = max_{old} = 400 \text{ mg/m}^3_{sdp}.$$

Kod svođenja emisije CO izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O_2 mjerene SRM uređajem. U tab. 12 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 16: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

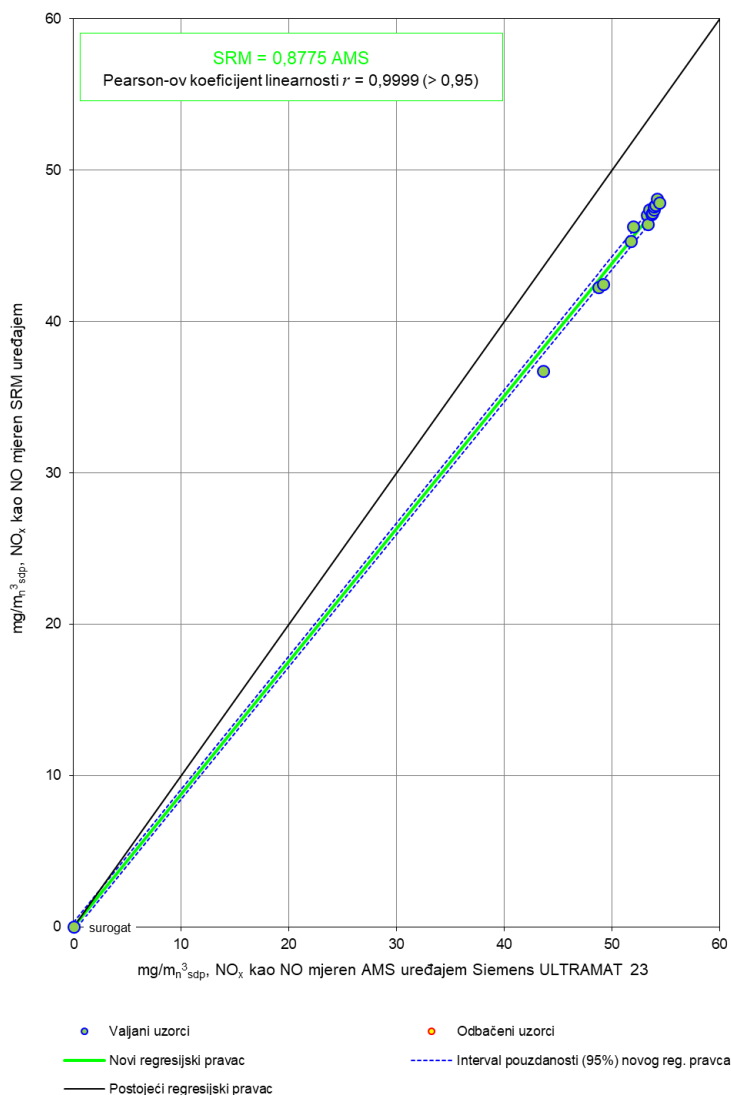
Tab. 12: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima

$AMS_{new} = a + b \cdot AMS_{old}$ $AMS_i = min_i + \frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}} \cdot (x - 4 \text{ mA}); i \in \{old, new\}$						QAL2 test varijabilnosti			
min_{old}	max_{old}	a	b	min_{new}	max_{new}	s_D	σ_0	k_v	$\sigma_0 \cdot k_v$
mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	0,36	5,10	0,98	4,98
0	400	0	1	0	400	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 12, postojeća linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje CO u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 400 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do $14,3 \text{ mg/m}^3_{ref}$.

3.1.6. Mjerenje NO_x uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 17 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



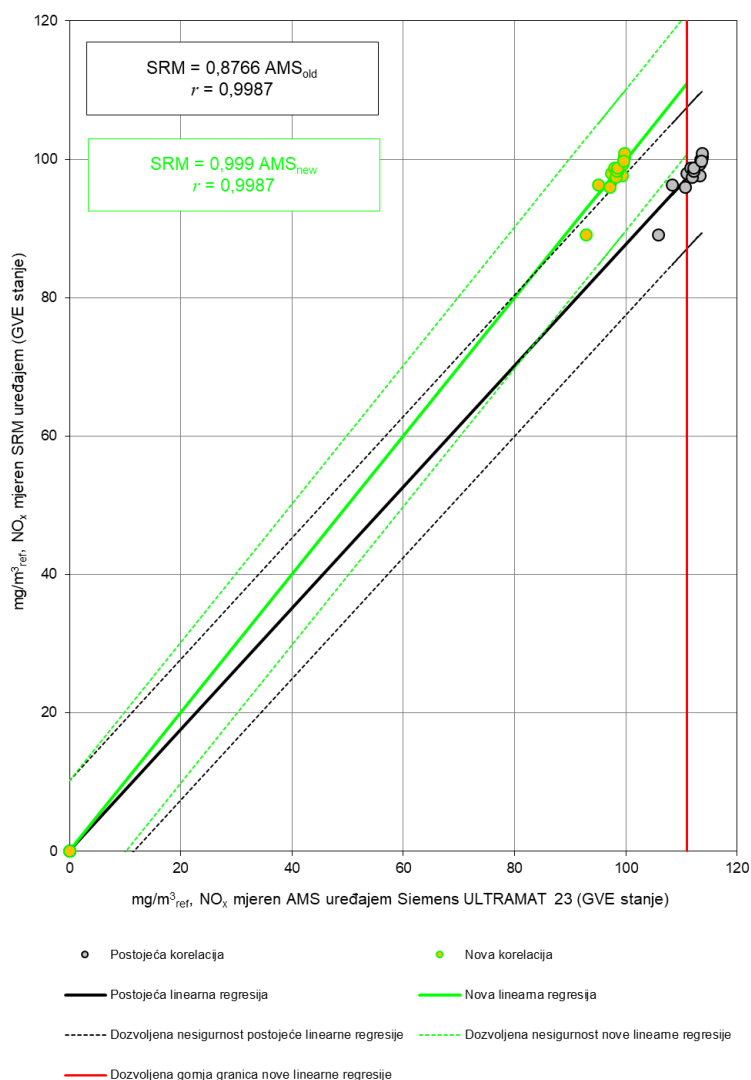
Sl. 17: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca usvajamo novi regresijski pravac ($AMS_{new} = 0,8775 \cdot AMS_{old}$). Stoga se u emisijsko računalo moraju unijeti novi koeficijenti:

$$min_{new} = a + b \cdot min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp} + 0,8775 \cdot 0 \text{ mg/m}^3_{sdp} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp},$$

$$max_{new} = a + b \cdot max_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp} + 0,8775 \cdot 1\,400 \text{ mg/m}^3_{sdp} = 1\,228,5 \text{ mg/m}^3_{sdp}.$$

Mjerna nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 10,20 \text{ mg/m}^3_{ref}$) postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x prikazana je na sl. 18. Kod svodenja emisije NO_x (NO_x kao NO) izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete (NO_x iskazan kao NO_2) korištene su vrijednosti O_2 mjerene SRM uređajem. U tab. 13 su dani rezultati testa varijabilnosti nove linearne regresije.



Sl. 18: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

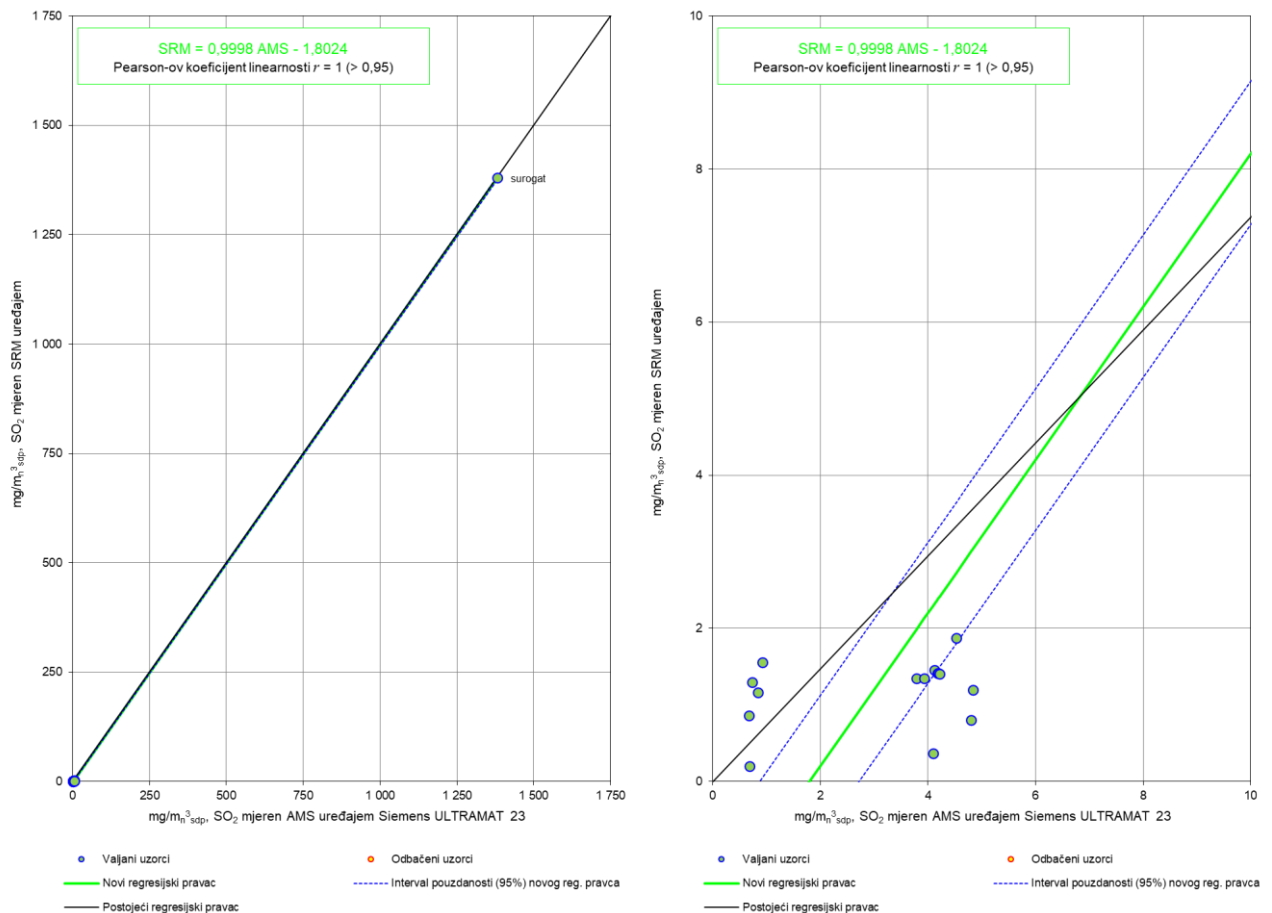
Tab. 13: Test varijabilnosti nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x u suhim dimnim plinovima

AMS _{new} = a + b · AMS _{old}						QAL2 test varijabilnosti			
AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new}						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
min _{old}	max _{old}	a	b	min _{new}	max _{new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	1,29	10,20	0,98	9,96
0	1 400	0	0,8775	0	1 228,5	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 13, nova linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje NO_x kao NO u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Novi regresijski pravac (min_{new} 0 mg/m³_{sdp}, max_{new} 1 228,5 mg/m³_{sdp}) je valjan u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 111 mg/m³_{ref}.

3.1.7. Mjerenje SO₂ uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 19 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



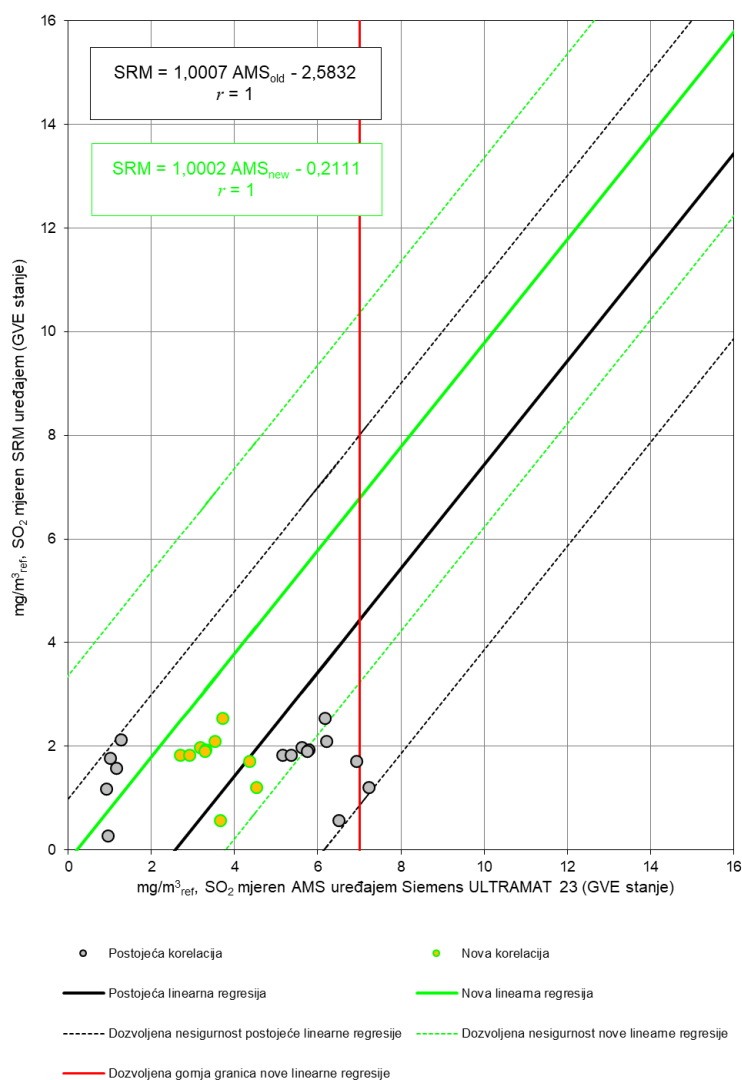
Sl. 19: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima

Oba regresijska pravca prolaze kroz nultu točku ($min_{old} = min_{new} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}$). Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = -1,8024 + 0,9998 \cdot AMS_{old}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 20. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 3,57 \text{ mg/m}_n^3 \text{ ref}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Također, Siemens ULTRAMAT 23 je konfiguriran tako da se svaka 24 sata vrši kalibracija vanjskim zrakom pri čemu se mijenjaju koeficijenti regresije. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp},$$

$$max_{new} = max_{old} = 2\,000 \text{ mg/m}_n^3 \text{ sdp}.$$

Kod svođenja emisije SO₂ izmjerenih AMS uređajem Siemens ULTRAMAT 23 na referentne uvjete korištene su vrijednosti O₂ mjerene SRM uređajem. U tab. 14 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 20: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima

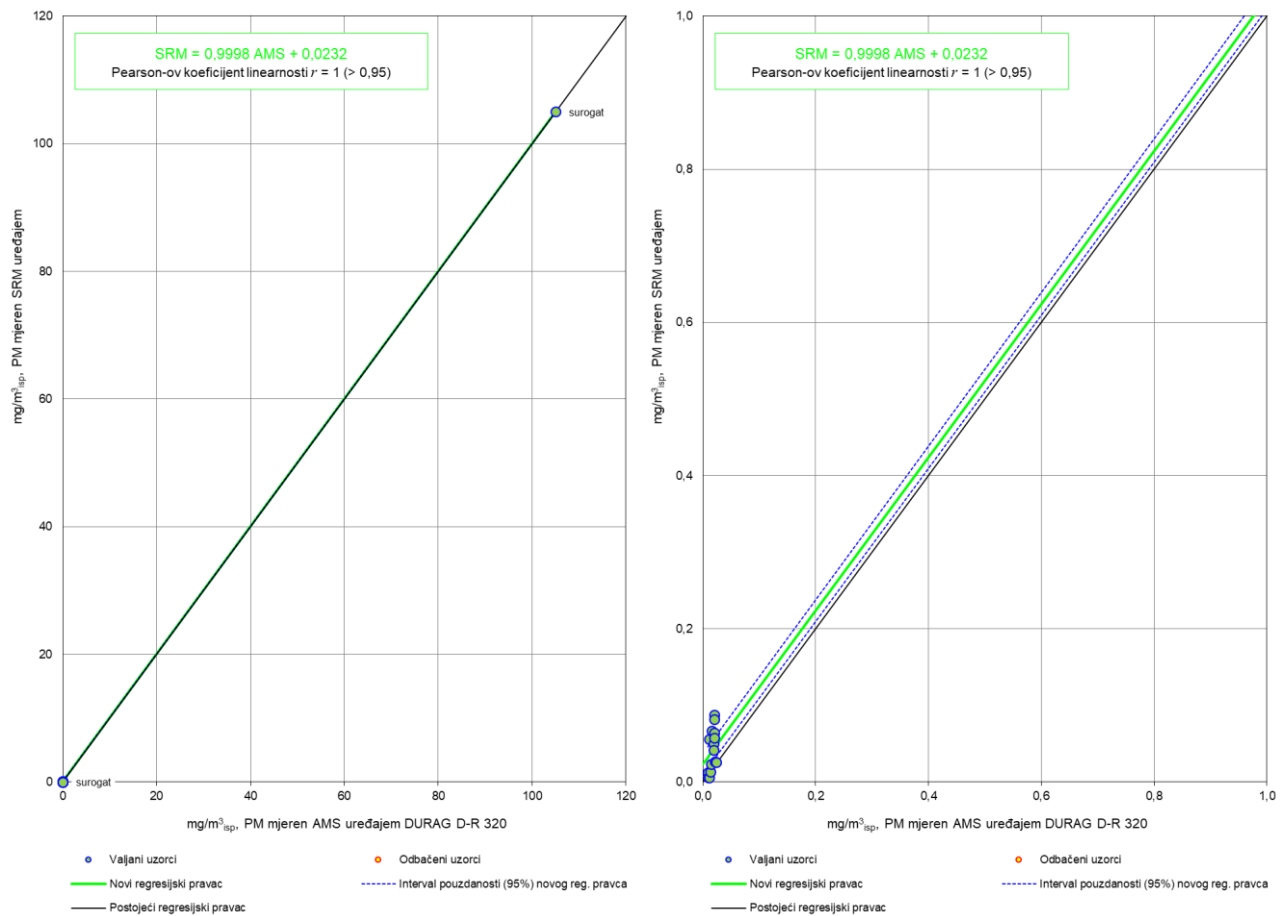
Tab. 14: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim plinovima

AMS _{new} = a + b · AMS _{old}						QAL2 test varijabilnosti			
AMS _i = min _i + $\frac{max_i - min_i}{16 \text{ mA}}$ · (x - 4 mA); i ∈ {old, new}						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
min _{old}	max _{old}	a	b	min _{new}	max _{new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	-	mg/m ³ _{sdp}	mg/m ³ _{sdp}	2,43	3,57	0,98	3,49
0	2 000	0	1	0	2 000	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 14, postojeća linearna regresija AMS uređaja Siemens ULTRAMAT 23 za mjerenje SO₂ u suhim dimnim plinovima uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($min_{new} = min_{old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $max_{new} = max_{old} = 2\,000 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m³_{ref} do 7 mg/m³_{ref}.

3.1.8. Mjerenje PM uređajem Siemens ULTRAMAT 23

Na sl. 21 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



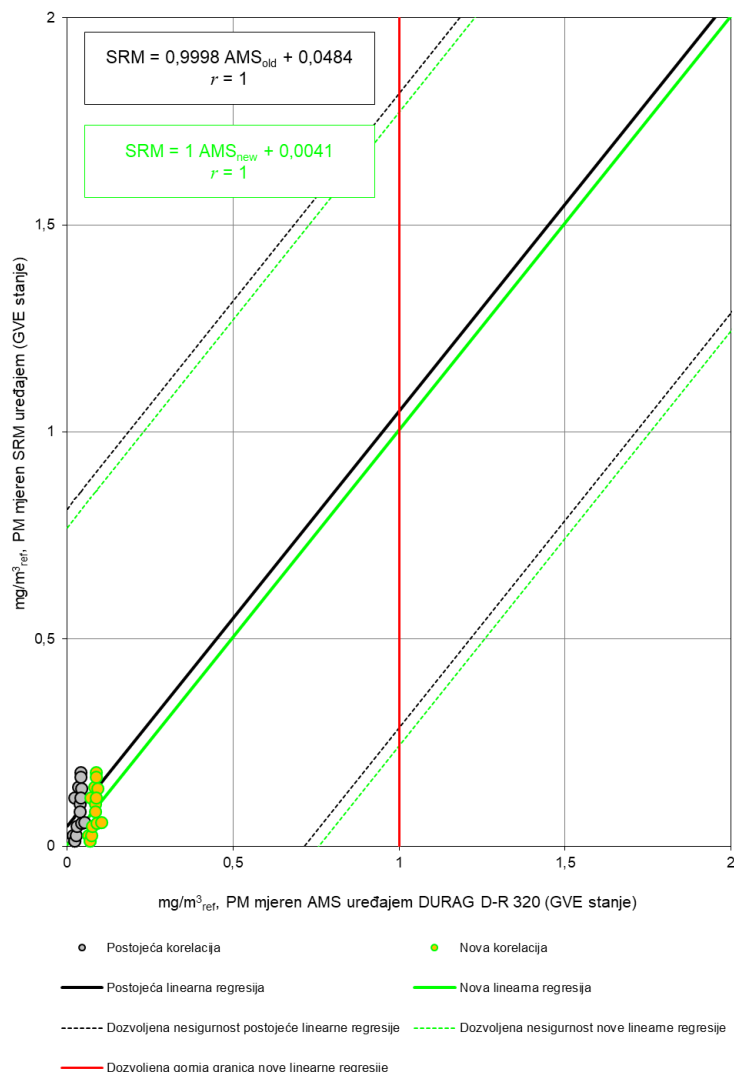
Sl. 21: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM

Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{new} = 0,0232 + 0,9998 \cdot AMS_{old}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 22. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 0,77 \text{ mg/m}^3_{ref}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$a_{0_{new}} = a_{0_{old}} = 0 \text{ mg/m}^3_{isp},$$

$$a_{1_{new}} = a_{1_{old}} = 0,006 \text{ mg/m}^3_{isp}.$$

Kod svođenja emisije krutih čestica izmjerenih AMS uređajem DURAG D-R 320 na referentne uvjete korištene su vrijednosti pomoćnih veličina mjerene SRM uređajima (p , ϑ , O_2 i H_2O). U tab. 15 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 22: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM

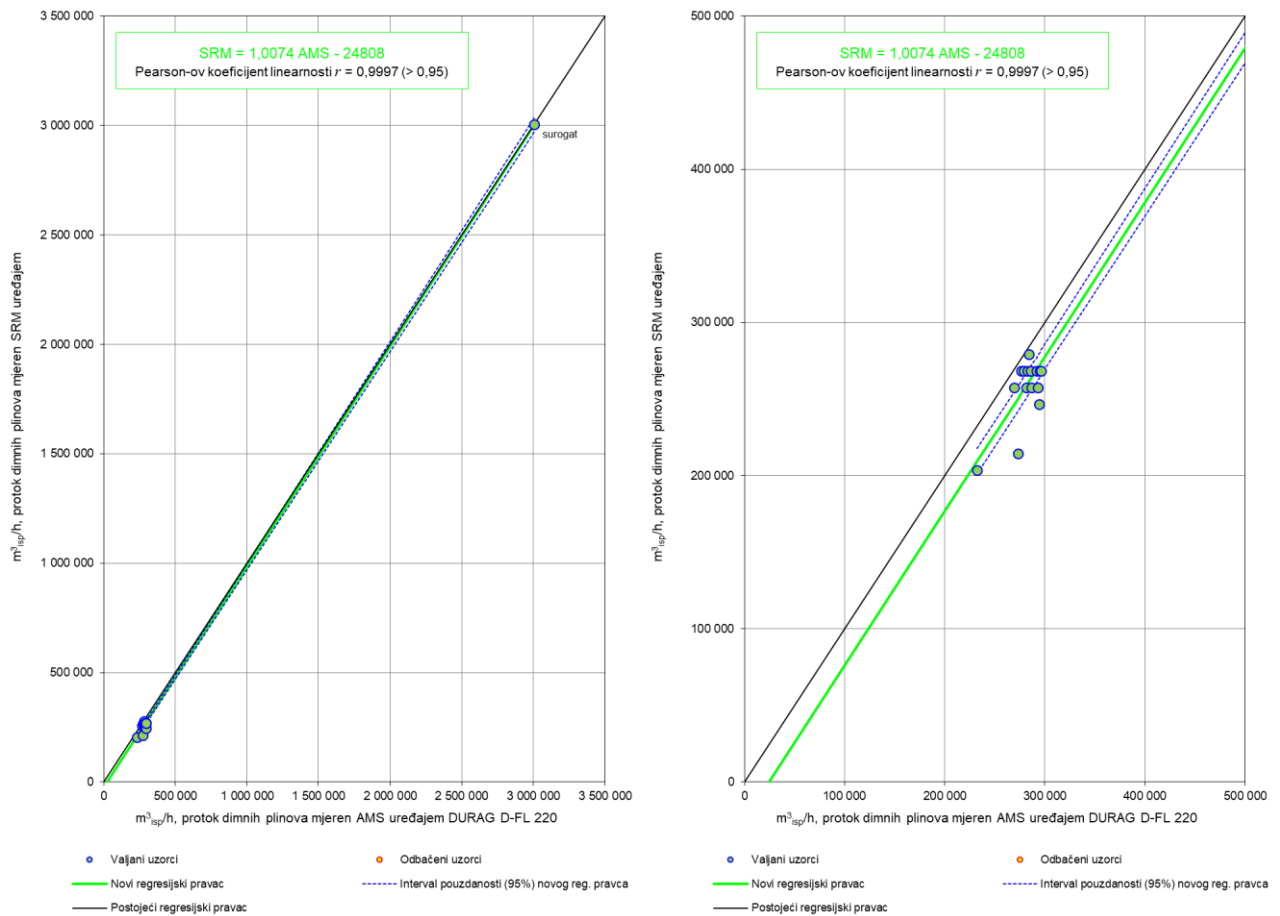
Tab. 15: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje PM

AMS _{new} = a + b · AMS _{old}						QAL2 test varijabilnosti			
AMS _i = a _{0i} + a _{1i} · SL; i ∈ {old, new}						$s_D \leq \sigma_0 \cdot k_v$			
a _{0old}	a _{1old}	a	b	a _{0new}	a _{1new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	-	mg/m ³ _{isp}	mg/m ³ _{isp}	0,05	0,77	0,98	0,75
0	0,006	0	1	0	0,006	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 15, postojeća linearna regresija AMS uređaja DURAG D-R 320 za mjerenje masene koncentracije krutih čestica (PM) uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($a_{0new} = a_{0old} = 0 \text{ mg/m}^3_{sdp}$, $a_{1new} = a_{1old} = 0,006 \text{ mg/m}^3_{sdp}$) se može zadržati i valjan je u rasponu od 0 mg/m^3_{ref} do 1 mg/m^3_{ref} .

3.1.9. Mjerenje protoka dimnih plinova uređajem DURAG D-FL 220

Na sl. 23 je prikazan postojeći i novi regresijski pravac određen na temelju rezultata petnaest (M1-M15) valjanih paralelnih mjerenja i jedne dodatne, tzv. surogat točke.



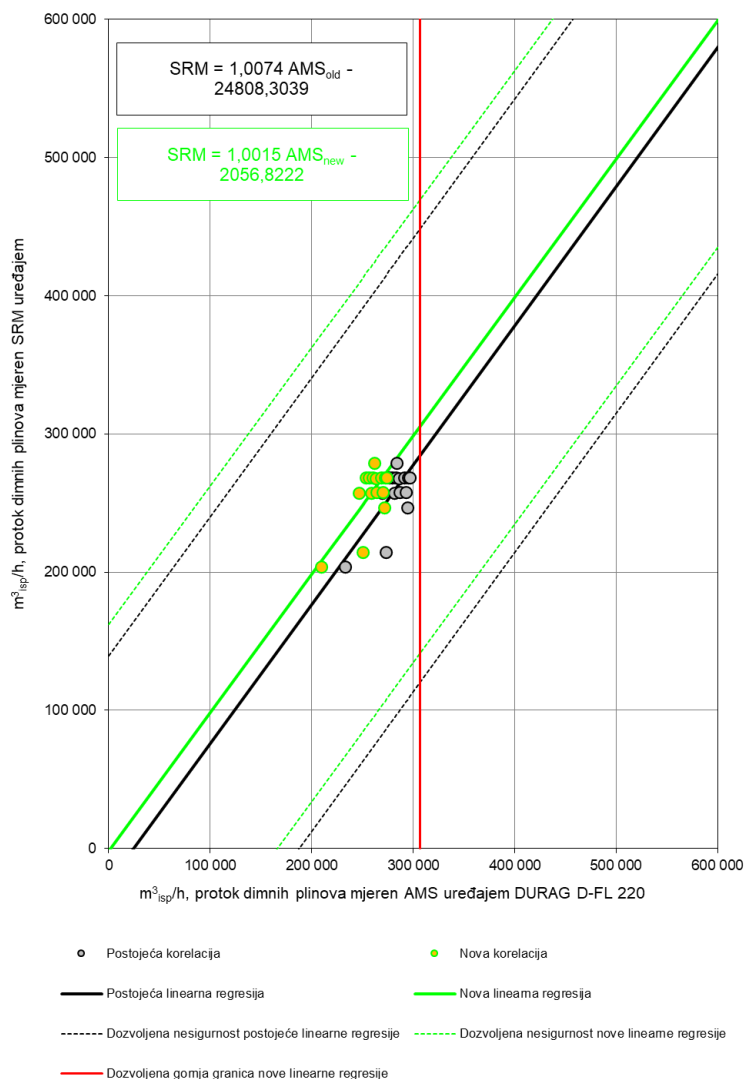
Sl. 23: Odnos postojećeg i novog regresijskog pravca AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i protoka dimnih plinova

Kako postojeći regresijski pravac ne leži unutar 95 %-tnog intervala pouzdanosti novog regresijskog pravca ($AMS_{\text{new}} = -24\,808 + 1,0074 \cdot AMS_{\text{old}}$), razmotreno je usvajanje novog regresijskog pravca kako je prikazano na sl. 24. Uzimajući u obzir dozvoljenu mjernu nesigurnost ($\sigma_0 = \pm 164\,217 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h}$), može se vidjeti da postojeći regresijski pravac u potpunosti leži unutar granica mjerne nesigurnosti novog pravca. Prema tome, postojeći regresijski pravac se može zadržati te stoga vrijedi:

$$a_{0_{\text{new}}} = a_{0_{\text{old}}} = 0 \text{ m}^3_{\text{isp}}/\text{h},$$

$$a_{1_{\text{new}}} = a_{1_{\text{old}}} = 1.$$

U tab. 16 su dani rezultati testa varijabilnosti postojeće linearne regresije.



Sl. 24: Dozvoljena mjerna nesigurnost postojeće i nove linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i protoka dimnih plinova

Tab. 16: Test varijabilnosti postojeće linearne regresije AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i volumnog protoka dimnih plinova

AMS _{new} = a + b · AMS _{old}						QAL2 test varijabilnosti			
AMS _i = a _{0i} + a _{1i} · Q; i ∈ {old,new}						s _D ≤ σ ₀ · k _v			
a _{0old}	a _{1old}	a	b	a _{0new}	a _{1new}	s _D	σ ₀	k _v	σ ₀ · k _v
m ³ _{isp} /h	-	m ³ _{isp} /h	-	m ³ _{isp} /h	-	14 634	164 217	0,98	160 295
0	1	0	1	0	1	Zadovoljava			

Kao što se vidi iz tab. 16, postojeća linearna regresija AMS uređaja DURAG D-FL 220 za mjerenje brzine i volumnog protoka dimnih plinova uspješno prolazi test varijabilnosti. Postojeći regresijski pravac ($a_{0new} = a_{0old} = 0 \text{ m}^3_{isp}/\text{h}$, $a_{1new} = a_{1old} = 1$) se može zadržati i valjan je u rasponu od $0 \text{ m}^3_{isp}/\text{h}$ do $306\,989 \text{ m}^3_{isp}/\text{h}$.

4. ZAKLJUČAK

Umjeravanje uređaja za kontinuirano mjerenje emisija u zrak iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb provedeno je sukladno postupku QAL2 norme HRN EN 14181:2014. Kako bi se osigurala potrebna kvaliteta mjerenja QAL2 postupak obuhvaća: provjeru ispravnosti ugradnje, funkcionalnu provjeru, umjeravanje i određivanje varijabilnosti. Temeljna zadaća uspostave propisane kvalitete mjerenja QAL2 postupkom zasniva se na određivanju funkcije umjeravanja i provođenju testa varijabilnosti kojim se utvrđuje zadovoljava li umjereni AMS uređaj zakonom propisanu mjernu nesigurnost.

Mjerenjima je utvrđeno da mjerni presjek u potpunosti ne ispunjava preporuke norme HRN EN 15259:2008 zbog relativno male količine dimnih plinova, što je posljedica bitno smanjenog angažmana rada kotlova na zajedničkom dimnjaku u odnosu na prethodna razdoblja. Stoga su paralelna mjerenja provedena na tehnički najbolji mogući način kako bi se u obzir uzeli nepovoljni uvjeti u mjernom presjeku. Kako bi uređaji automatskog mjernog sustava bili umjereni potrebno je provesti radnje dane u tab. 17.

Tab. 17: Rezultati umjeravanja uređaja AMS glavnog dimnjaka EL-TO Zagreb

Mjerenja veličina	Postojeće postavke sustava	Novo postavke sustava	Napomena
Temperatura dimnih plinova ϑ	$\vartheta = 18,75 \cdot (\text{mA}) - 75$	$\vartheta = 18,75 \cdot (\text{mA}) - 75$	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Tlak dimnih plinova p	$p = 12,5 \cdot (\text{mA}) + 850$	$p = 12,5 \cdot (\text{mA}) + 850$	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Vlažnost plinova H_2O	$H_2O = 16\%$ (konstanta)	$H_2O = -0,8643 \cdot O_2 + 19,8\%$	Postojeću konstantu treba zamijeniti jednadžbom koja ovisi o mjerenoj vrijednosti kisika u dimnim plinovima.
Kisik O_2	$O_2 = 1,5625 \cdot (\text{mA}) - 6,25$	$O_2 = 1,5625 \cdot (\text{mA}) - 6,25$	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Ugljikov monoksid CO	$CO = 25 \cdot (\text{mA}) - 100$	$CO = 25 \cdot (\text{mA}) - 100$	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Dušikovi oksidi NO_x	$NO_x = (87,5 \cdot (\text{mA}) - 350) \cdot 1,533$	$NO_x = (87,5 \cdot (\text{mA}) - 350) \cdot 0,8775 \cdot 1,533$ $NO_x = (87,5 \cdot (\text{mA}) - 350) \cdot 1,3452$	-
Sumporov dioksid SO_2	$SO_2 = 125 \cdot (\text{mA}) - 500$	$SO_2 = 125 \cdot (\text{mA}) - 500$	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Krute čestice PM	$PM = 9,375 \cdot (\text{mA}) - 37,5$ $PM = a_0 + a_1 \cdot SL$ offset a_0 : 0 slope a_1 : 0,006	$PM = 9,375 \cdot (\text{mA}) - 37,5$ $PM = a_0 + a_1 \cdot SL$ offset a_0 : 0 slope a_1 : 0,006	Ne treba mijenjati postavke uređaja.
Protok dimnih plinova Q	$Q = 75\,000 \cdot (\text{mA}) - 300\,000$ $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ offset a_0 : 0 slope a_1 : 1 slope a_2 : 0 slope a_3 : 0	$Q = 75\,000 \cdot (\text{mA}) - 300\,000$ $Q_{cal} = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2 + a_3 \cdot Q^3$ offset a_0 : 0 slope a_1 : 1 slope a_2 : 0 slope a_3 : 0	Ne treba mijenjati postavke uređaja.

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 mjenom u ispustu.
m^3_{vdp}	m^3 koji se odnosi na vlažne plinove pri sadržaju O_2 mjenom 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> („Narodne novine“ 42/2021). Na primjer, za glavni betonski dimnjak EL-TO Zagreb m^3 pri referentnom stanju (m^3_{ref}) se odnosi na volumen suhih plinova kod referentnog O_2 od 3 % pri 0 °C i 1013,25 hPa.
%	volumni udio iskazan u postotku.
% _{sdp}	volumni udio u suhom plinu pri sadržaju O_2 mjenom u ispustu iskazan u postotku.
% _{vdp}	volumni udio u vlažnom plinu pri sadržaju O_2 mjenom 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>stray 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, uspostavljujući 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 odklonu 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 Laboratorij 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 mjeranju emisija iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb, EKONERG
- Laboratorij za mjerenje emisija, izvještaj L-I-02-2234_5/24, 31. prosinac 2024.

**IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA
U ZRAK IZ GLAVNOG BETONSKOG
DIMNJAKA EL-TO ZAGREB**



Zagreb, 2024.



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 EL-TO Zagreb
Zagorska 1
10000 Zagreb

Ugovor br.: U2700-42/24

Radni nalog: I-02-2234_5/24

Oznaka izvještaja: L-I-02-2234_5/24

Plan mjerenja: L-I-02-2234_5/24-P

Naslov:

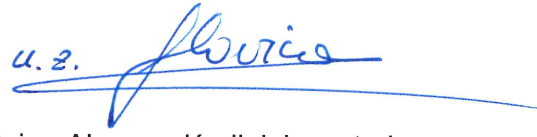
**IZVJEŠTAJ O MJERENJU EMISIJA U ZRAK IZ GLAVNOG BETONSKOG DIMNJAKA
EL-TO ZAGREB**

Ispitivanja proveli: Mato Papić, dipl. ing. univ. spec.
Borna Glückselig, mag. ing. agr.
Darko Glückselig, teh.
Antonijo Škvorić, teh.

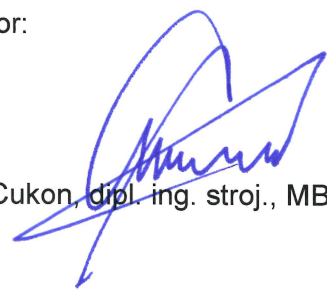
Izvještaj izradio: Andrej Slavica, mag. ing. mech.

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, 31. 12. 2024.



SADRŽAJ

1. OSNOVNI PODATCI O IZVOĐAČU MJERENJA.....	2
2. OSNOVNI PODATCI I TEHNIČKE ZNAČAJKE IZVORA ONEČIŠĆENJA	2
3. OPSEG MJERENJA	2
4. PRIMIJENJENE METODE I MJERNI UREĐAJI	3
4.1. MJERENJE SASTAVA PLINOVA.....	3
4.2. ODREĐIVANJE VOLUMNOG UDJELA VODENE PARE.....	4
4.3. MJERENJE MASENE KONCENTRACIJE KRUTIH ČESTICA.....	4
4.4. MJERENJE BRZINE PLINOVA	4
4.5. MJERENJE TEMPERATURE PLINOVA	4
4.6. TLAK PLINOVA U ISPUSTU	4
4.7. BAROMETARSKI TLAK I TEMPERATURA OKOLINE	5
5. REŽIMI RADA ZA VRIJEME MJERENJA.....	5
6. REZULTATI MJERENJA	5

PRILOG

B. Plan mjerenja.



1. OSNOVNI PODATCI O IZVOĐAČU MJERENJA

Mjerenje emisija iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb 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 (mingor.gov.hr).

2. OSNOVNI PODATCI I TEHNIČKE ZNAČAJKE IZVORA ONEČIŠĆENJA

Elektrana-toplana Zagreb (EL-TO Zagreb) je prvenstveno namijenjena proizvodnji toplinske energije, dok se električna energija proizvodi u spojnom (kogeneracijskom) procesu. Toplinska energija se isporučuje vrelvodnom sustavu Grada Zagreba za podmirivanje ogrjevnog i sanitarnog konzuma (potrošna topla voda) i parnom sustavu za podmirivanje potrošnje tehnološke pare i parnog grijanja. Električna energija se proizvodi u bloku B, te u dva plinsko-turbinska kogeneracijska bloka H i J. Osim navedenih blokova u EL-TO Zagreb su instalirane i proizvodne jedinice direktne proizvodnje toplinske energije, vrelvodni kotlovi VK3 i VK4 te niskotlačni parni kotlovi NTK1 i NTK2. Osnovni podatci proizvodnih jedinica koje ispuštaju dimne plinove kroz glavni betonski dimnjak EL-TO Zagreb dane su u tab. 1.

Tab. 1: Tehničke značajke jedinica povezanih na glavni betonski dimnjak EL-TO Zagreb

Cjelina	Proizvodne jedinice	Gorivo	Nazivno opterećenje	Toplinska snaga goriva	Godina puštanja u pogon
jedinice direktnog procesa	VK3	prirodni plin/tekuće gorivo	116 MW _t	129 MW _{tg}	1991.
	VK4	prirodni plin	116 MW _t	122 MW _{tg}	2011.
tekuće gorivo		93 MW _t	100 MW _{tg}		
blok B	K8	prirodni plin/tekuće gorivo	100 t/h (115 bar / 520°C) ^{a)}	86 MW _{tg}	1980.
	K9	prirodni plin/tekuće gorivo	100 t/h (115 bar / 520°C) ^{a)}	86 MW _{tg}	

^{a)} Tlakovi pare su manometarski tlakovi.

Osnovni podatci o izvoru onečišćenja navedeni su prema *Stručnoj podlozi zahtjeva za izmjenu i razmatranje uvjeta okolišne dozvole za postojeće postrojenje EL-TO Zagreb (svibanj 2021.)*.

3. OPSEG MJERENJA

Svrha mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak je umjeravanje uređaja automatskog mjernog sustava za kontinuirano mjerenje emisija koji iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb mjere: masenu koncentraciju krutih čestica (*PM*), *NO_x*, *O₂*, *SO₂*, *CO*, brzinu (protok), tlak i temperaturu plinova.

Umjeravanje AMS uređaja provodi se sukladno normi HRN EN 14181:2014 prema postupku QAL2 (engl. *Quality Assurance Level 2*) na temelju usporedbe rezultata paralelnih mjerenja AMS uređaja

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*.



i kontrolnih mjerenja *Laboratorija za mjerenje emisija* koja su provedena standardnim referentnim metodama (engl. *Standard Reference Method - SRM*).

Kod stanja u ispustu mjerena je: masena koncentracija krutih čestica (PM , mg/m^3), 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 mjenen: volumni udio kisika (O_2 , %), volumni udio ugljikovog dioksida (CO_2 , %), volumni udio ugljikovog monoksida (CO , ppm), volumni udio dušikovih oksida (NO_x , ppm) i volumni udio sumporovog dioksida (SO_2 , 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 uvjetno zadovoljavaju zahtjeve norme HRN EN 15259². Izgled mjernih 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

Mjerna 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. 29.2), hladnjak M&C PSS-5 (lab. oznaka E.U. 29.3), analizator HORIBA PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1).
SO_2^*		HRN ISO 7935:1997	
CO^*		HRN EN 15058:2017	
CO_2^*		HRN ISO 12039:2020	
NO_x^*		HRN EN 14792:2017	
krute čestice*	HRN EN 13284-1:2017	HRN EN 13284-1:2017	SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).
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).
temperatura okoline		interna metoda eLAB-PE-106	ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.1) 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 PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1) mjeri volumne udjele CO , CO_2 i SO_2 metodom nedisperzivne infracrvene apsorpcije. Mjerenje volumnog udjela NO i NO_x provodi se metodom kemijske luminiscencije, a mjerenje volumnog udjela O_2 paramagnetskom metodom.

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

² Mjerno mjesto u potpunosti ne zadovoljava zahtjeve norme kod ispuštanja relativno male količine dimnih plinova što je posljedica smanjenog angažmana rada kotlova na zajedničkom dimnjaku u odnosu na prethodna razdoblja.



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 MASENE KONCENTRACIJE KRUTIH ČESTICA

Mjerenja masenih koncentracija krutih čestica u 20 točaka poprečnog mjernog presjeka provedena su prema normi HRN EN 13284-1:2017 uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).

Prije i nakon mjerenja provedeno je sušenje i vaganje mjernih sisaljki s filtarskim papirom u istim uvjetima (temperatura sušenja 180 °C, temperiranje u eksikatoru). Pored sisaljki s filtarskim papirom koje su korištene za mjerenje, svaki put su sušene i vagane dodatne tri sisaljke (iz svakog korištenog kompleta) s filtarskim papirom koje služe kao etalon za određivanje točnosti postupka sušenja i vaganja.

U sklopu svake serije mjerenja u ispuštima vršene su i tzv. slijepa probe. Slijepa proba se provodi radi procjene sistematske pogreške nastale onečišćenjem uzorka tijekom manipulacije (dva vaganja, transport, umetanje i vađenje sisaljke i filtra).

4.4. MJERENJE BRZINE PLINOVA

Mjerenja brzine plinova u 20 točaka poprečnog mjernog presjeka provedena su prema normi HRN EN ISO 16911-1:2013 uređajem SICK GRAVIMAT (lab. oznaka E.U. 26.1) u čijoj sondi je integrirana Pitot sonda s tri otvora za određivanje brzine strujanja i kuta nastrujavanja.

4.5. MJERENJE TEMPERATURE PLINOVA

Mjerenja temperature plinova u 20 točaka poprečnog mjernog presjeka provedena su prema akreditiranoj internoj metodi *eLAB-PE-106 Mjerenje temperature u kanalu otpadnih plinova* otpornim osjetnikom Pt100 koji je sastavni dio uređaja SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).

4.6. 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,
- ρ , kg/m³; gustoća vlažnih dimnih plinova kod stanja u ispuštu. Gustoća je funkcija od sastava vlažnih dimnih plinova te tlaka (p) i temperature (ϑ) u ispuštu.

³ Podatci o stanju okolišnog zraka (temperatura, tlak i relativna vlažnost) prikupljeni su s automatske mjerne postaje Tržnica Trešnjevka - IZAGRE91 (<https://www.wunderground.com>).



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).

4.7. BAROMETARSKI TLAK I TEMPERATURA OKOLINE

Barometarski tlak (p_0) je mjereno uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1), a temperatura okoline mjerena je NTC osjetnikom (lab. oznaka E.U. 21.7) spojenim na univerzalni mjerni instrument AHLBORN ALMEMO 2590-4S (lab. oznaka E.U. 21.1).

5. REŽIMI RADA ZA VRIJEME MJERENJA

Emisijska mjerenja iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb provedena su tijekom 11., 12. i 13. prosinca 2024. godine. Režimi rada vrelovodnog kotla VK4 koji je jedini bio u radu tijekom provedbe paralelnih mjerenja iskazani su u tab. 3 kao prosječna potrošnja prirodnog plina. Sva mjerenja su provedena s pretežno nepromjenjivim uvjetima rada.

Tab. 3: Režimi rada vrelovodnog kotla VK4 tijekom mjerenja

Oznaka mjerenja	Datum i bruto periodi mjerenja			Potrošnja prirodnog plina ⁴ m ³ /h	Stanje okoline	
	datum	od	do		p	ϑ
					hPa	°C
M1	11. 12. 2024.	13:10	14:17	9 768	1 010	7
M2		14:22	15:29	9 748	1 010	7
M3		15:34	16:43	9 747	1 010	6
M4		16:49	17:55	9 741	1 011	6
M5		18:02	19:12	7 485	1 012	6
M6	12. 12. 2024.	7:35	8:43	9 821	1 012	6
M7		8:48	9:55	9 645	1 012	6
M8		10:01	11:09	8 478	1 013	6
M9		11:15	12:23	7 289	1 012	6
M10		12:28	13:35	6 082	1 012	6
M11	13. 12. 2024.	7:15	8:21	10 334	1 013	5
M12		8:28	9:35	10 348	1 014	5
M13		9:42	10:51	10 309	1 014	5
M14		10:58	12:06	9 882	1 014	5
M15		12:13	13:20	9 620	1 015	5

6. REZULTATI MJERENJA

Rezultati mjerenja veličina u ispustu te izračunate vrijednosti sadržaja vlage u dimnim plinovima dani su u tab. 4, a rezultati mjerenja sastava suhih dimnih plinova 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 3 % kisika u suhim dimnim plinovima.

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



Svođenje na referentne ili tzv. GVE uvjete vrši se na sljedeći način:

$$C_{\text{ref}} = C_{\text{n,sdp}} \cdot \frac{21 \% - 3 \%}{21 \% - O_2}, \quad (2)$$

$$PM_{\text{ref}} = PM \cdot \frac{\vartheta + 273,15}{273,15} \cdot \frac{1013,25}{p} \cdot \frac{100 \%}{100 \% - H_2O} \cdot \frac{21 \% - 3 \%}{21 \% - O_2}, \quad (3)$$

gdje je:

- $C_{\text{n,sdp}}$; mg/m³; izmjerena masena koncentracija emisije (SO_2 , 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 (SO_2 , 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 3 %,
- PM ; mg/m³; izmjerena masena koncentracija krutih čestica u vlažnim dimnim plinovima (H_2O) kod temperature (ϑ), tlaka (p) i volumnog udjela kisika (O_2) u ispustu,
- PM_{ref} ; mg/m³; masena koncentracija krutih čestica 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 3 %.

Tab. 4: Rezultati mjerenja u ispustu dimnih plinova

Mjerenje	ϑ^*	p	v^*	PM^*	H_2O
	°C	hPa	m/s	mg/m ³	%
M1	79 ±1	1 007 ±6	2,4 ±1,2	0,01 ±0,23	13,12
M2	79 ±1	1 007 ±6	2,5 ±1,2	0,01 ±0,22	13,11
M3	79 ±1	1 007 ±6	2,4 ±1,2	0,02 ±0,31	13,11
M4	79 ±1	1 009 ±6	2,5 ±1,1	0,01 ±0,30	13,09
M5	72 ±1	1 009 ±6	2,5 ±1,1	0,06 ±0,46	12,18
M6	76 ±1	1 009 ±6	2,4 ±1,2	0,01 ±0,48	13,05
M7	77 ±1	1 009 ±6	2,4 ±1,2	0,06 ±0,47	12,92
M8	73 ±1	1 010 ±6	2,3 ±1,2	0,06 ±0,74	12,49
M9	70 ±1	1 010 ±6	2,0 ±1,4	0,07 ±0,88	11,97
M10	64 ±1	1 009 ±6	1,9 ±1,4	0,03 ±0,95	11,46
M11	76 ±1	1 010 ±6	2,5 ±1,1	0,04 ±0,70	12,96
M12	79 ±1	1 011 ±6	2,6 ±1,1	0,08 ±0,66	12,97
M13	79 ±1	1 012 ±6	2,5 ±1,2	0,09 ±0,71	13,04
M14	80 ±1	1 012 ±6	2,5 ±1,2	0,05 ±0,47	13,04
M15	79 ±1	1 012 ±6	2,5 ±1,1	0,03 ±0,46	12,97

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija



Tab. 5: Rezultati mjerenja sastava suhих dimnih plinova

Mjerenje	O_2^*	CO_2^*	CO^*	NO_x^* kao NO_2	SO_2^*
	%	%	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
M1	7,78 ±0,64	7,63 ±0,51	8 ±1	71 ±2	1 ±3
M2	7,78 ±0,64	7,62 ±0,51	9 ±1	72 ±2	1 ±3
M3	7,79 ±0,64	7,61 ±0,51	9 ±1	72 ±2	1 ±3
M4	7,79 ±0,64	7,59 ±0,51	9 ±1	72 ±2	1 ±3
M5	8,88 ±0,64	6,95 ±0,51	6 ±1	65 ±2	1 ±3
M6	7,78 ±0,64	7,67 ±0,51	8 ±1	73 ±2	2 ±3
M7	7,93 ±0,64	7,55 ±0,51	6 ±1	73 ±2	1 ±3
M8	8,43 ±0,64	7,23 ±0,51	8 ±1	69 ±2	1 ±3
M9	9,03 ±0,64	6,87 ±0,51	4 ±1	65 ±2	1 ±3
M10	9,65 ±0,64	6,51 ±0,51	2 ±1	56 ±2	< 0,6
M11	7,86 ±0,64	7,59 ±0,51	4 ±1	74 ±2	2 ±3
M12	7,87 ±0,64	7,57 ±0,51	4 ±1	73 ±2	1 ±3
M13	7,80 ±0,64	7,61 ±0,51	5 ±1	73 ±2	1 ±3
M14	7,82 ±0,64	7,62 ±0,51	9 ±1	72 ±2	1 ±3
M15	7,89 ±0,64	7,58 ±0,51	9 ±1	71 ±2	< 0,6

* Akreditirane metode Laboratorija za mjerenje emisija

Tab. 6: Rezultati mjerenja svedeni na referentne uvjete

Mjerenje	PM_{ref}	CO_{ref}	$NO_{x,ref}$	$SO_{2,ref}$
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
M1	0,01 ±0,46	11 ±2	96 ±6	2 ±4
M2	0,01 ±0,46	12 ±2	98 ±6	2 ±4
M3	0,05 ±0,63	12 ±2	98 ±6	2 ±4
M4	0,03 ±0,60	12 ±2	99 ±6	2 ±4
M5	0,14 ±0,99	9 ±2	96 ±6	2 ±4
M6	0,03 ±0,97	11 ±2	99 ±6	3 ±4
M7	0,12 ±0,95	9 ±2	100 ±6	2 ±4
M8	0,12 ±1,54	11 ±2	99 ±6	2 ±4
M9	0,14 ±1,90	6 ±2	98 ±6	1 ±4
M10	0,06 ±2,11	3 ±2	89 ±6	< 1,0
M11	0,08 ±1,41	5 ±2	101 ±6	2 ±4
M12	0,17 ±1,35	5 ±2	100 ±6	2 ±4
M13	0,18 ±1,44	7 ±2	100 ±6	2 ±4
M14	0,10 ±0,95	12 ±2	98 ±6	1 ±4
M15	0,06 ±0,93	13 ±2	97 ±6	< 0,8

Slijepa proba za mjerenja masene koncentracije krutih čestica M1-M5 provedena 11. prosinca 2024. iznosi 0,08 mg/m³ (0,16 mg/m³ pri referentnom stanju). Slijepa proba provedena 12. prosinca 2024. za mjerenja M6-M10 iznosi 0,05 mg/m³ (0,10 mg/m³ pri referentnom stanju), a slijepa proba provedena 13. prosinca 2024. za mjerenja M11-M15 iznosi 0,21 mg/m³ (0,43 mg/m³ pri referentnom stanju). Vrijednosti slijepih proba zadovoljavaju uvjete propisane poglavljem 9.7 norme HRN EN 13284-1:2017.



PRILOG

B. Plan mjerenja





PLAN MJERENJA EMISIJA ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI IZ GLAVNOG BETONSKOG DIMNJAKA EL-TO ZAGREB

Oznaka plana mjerenja: L-I-02-2234_5/24-P

Zagreb, 6. 12. 2024.



Naručitelj: **HEP PROIZVODNJA d.o.o.**
Sektor za termoelektrane
Pogon EL-TO Zagreb
Zagorska 1
10000 Zagreb

Radni nalog: I-02-2234_5

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

Objekt: Glavni betonski dimnjak EL-TO Zagreb (zajednički ispust dimnih
plinova kotlova VK3, VK4, K8 i K9)

Lokacija: EL-TO Zagreb, Zagorska ulica 1

Vrsta mjerenja: emisijska

Svrha: Mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz glavnog betonskog
dimnjaka EL-TO Zagreb radi umjeravanja 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.....	14
1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA.....	14
1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVAT NA MJERENJU.....	16
2. POSTROJENJE	16
2.1. OPIS POSTROJENJA.....	16
2.2. SASTAV GORIVA.....	17
2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA.....	17
3. MJERNO MJESTO	17
3.1. MJERNI PRESJEK.....	17
4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI	18
4.1. ODREĐIVANJE STANJA OTPADNIH PLINOVA.....	19
4.1.1 Emisija krutih čestica, brzina, tlak i temperatura dimnih plinova.....	19
4.1.2 Vlažnost plinova.....	20
4.1.3 Volumni udjeli u suhim plinovima.....	20



1. SVRHA MJERENJA

Svrha mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb je umjeravanje uređaja automatskog mjernog sustava (engl. *Automated Measuring System - AMS*) prema postupku QAL2 (engl. *Quality Assurance Level 2*) norme HRN EN 14181:2014. Pregled AMS uređaja dan je u tab. P 1.

Tab. P 1: Pregled AMS uređaja glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb

Mjerena veličina		AMS uređaj
Vlažni plinovi (stanje u ispustu)	protok (brzina), Q	DURAG D-FL 220 (serijski broj: 1257603)
	temperatura, ϑ	Elektron Erma-Strmec d.o.o., Pt100 uvrtni termometar tip TB
	tlak, p	Siemens SITRANS P DS III (serijski broj: N1H6279067052)
	krute čestice, PM	DURAG D-R 320 (serijski broj: 1251565)
	vlažnost plinova, H_2O	konstanta (16 %) u algoritmu emisijskog računala DURAG D-EMS 2000
Suhi plinovi (normirano stanje)	ugljikov monoksid, CO	ekstraktivni višekomponentni analizatorski sustav Siemens ULTRAMAT 23 s paramagnetskim mjerenjem O_2 (serijski broj: N1H4841)
	dušikov monoksid, NO	
	sumporov dioksid, SO_2	
	kisik, O_2	

1.1. NARUČITELJ

HEP PROIZVODNJA d.o.o.
Sektor za termoelektrane
Pogon EL-TO Zagreb
Zagorska 1
10000 Zagreb

1.2. ODGOVORNE OSOBE NARUČITELJA / VLASNIKA

kontakt osoba: Marinko Matić, dipl. ing. el.
Služba za pripremu i održavanje
telefon: 01/3037813, 099/8152310
e-pošta: marinko.matic@hep.hr

kontakt osoba: Josip Mišura, dipl. ing. el.
Voditelj Službe za proizvodnju
telefon: 01/3037804, 099/4907225
e-pošta: josip.misura@hep.hr

kontakt osoba: Anamarija Dellavia, mag. ing. agr.
Kordinator zaštite okoliša
telefon: 01/3037909, 01/3093944
e-pošta: anamarija.dellavia@hep.hr

1.3. LOKACIJA MJERENJA

EL-TO Zagreb, Zagorska 1, 10000 Zagreb.



1.4. MJERENA POSTROJENJA

Emisije iz zajedničkog ispusta dimnih plinova kotlova VK3, VK4, K8 i K9.

1.5. PLANIRANI TERMIN I UVJETI MJERENJA

Prema dogovoru s *Naručiteljem* paralelna mjerenja emisija iz glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb provesti će se u periodu od 11. 12. 2024. do 14. 12. 2024. godine.

Prije planiranog termina mjerenja *Naručitelj* mora osigurati kransku dizalicu (auto-dizalica) radi dizanja mjerne opreme na kotu 35 m glavnog betonskog dimnjaka, funkcionalne penjalice (vanjske ili unutarnje) te mjereno mjesto na koti 35 m glavnog betonskog dimnjaka treba biti pristupačno i opremljeno tako da se mjerenja mogu provoditi tehnički odgovarajuće i bez opasnosti po *Izvođača* (sukladno zahtjevima norme HRN EN 15259). *Naručitelj* će osigurati pristup mjernim priključcima i izvore električnog napajanja (220 V, 16 A), a ako će se mjeriti noću osigurat će i odgovarajuću rasvjetu na lokaciji mjerenja. *Naručitelj* će osigurati uvjete za rad *Izvođaču* i van redovnog radnog vremena.

Prije provedbe umjeravanja (QAL2) 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 umjeravanja. Tijekom provjere funkcionalnosti potrebno je provesti aktivnosti navedene u tab. P 2.

Tab. P 2: Aktivnosti prilikom ispitivanja funkcionalnosti prije QAL2

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. Linearost	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 umjeravanja (uređaji navedeni u tab. P 1).

Paralelna mjerenja emisija će se provesti pri zatečenim režimima rada kotlova koji ispuštaju dimne plinove kroz zajednički betonski dimnjak (režimi rada primarno ovise o potražnji toplinske energije), ali prije provođenja svakog pojedinačnog mjerenja *Naručitelj* treba osigurati rad izvora onečišćenja s pretežno nepromjenjivim uvjetima rada. Planiran je rad kotlova prilikom loženja isključivo prirodnim plinom.

Za svako provedeno mjerenje *Naručitelj* će *Izvođaču* predati minutne vrijednosti svih AMS-om 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:

1. minutne prosječne vrijednosti analognog signala:

- a) O₂, mA,
- b) CO, mA,
- c) NO, mA,
- d) SO₂, mA,
- e) Q, mA,
- f) PM, mA,
- g) p, mA.
- h) ϑ , mA.

2. „sirove“ minutne prosječne vrijednosti:

- i) O₂, %,
- j) CO, mg/m³,
- k) NO, mg/m³,
- l) SO₂, mg/m³,
- m) Q, m³/h,
- n) PM, mg/m³,
- o) H₂O, %,
- p) p, hPa,
- q) ϑ , °C.

3. „normirane“ minutne prosječne vrijednosti:

- r) CO, mg/m³_{ref},
- s) NO_x, mg/m³_{ref},
- t) SO₂, mg/m³_{ref},
- u) Q, m³_{ref}/h,
- v) PM, mg/m³_{ref}.

Također, za svako provedeno mjerenje *Naručitelj* će *Izvođaču* predati prosječne minutne vrijednosti veličina mjerenih pogonskim instrumentima iz sustava Siemens SPPA-T3000 u elektroničkoj formi prikladnoj za daljnju obradu u Excel-u (npr. txt ili csv). Ovisno o radu kotlova tijekom mjerenja, veličine za koje treba prikupiti prosječne minutne vrijednosti dane su u tab. P 3.

Tab. P 3: Popis veličina iz procesnog sustava Siemens SPPA-T3000

Cjelina	KKS oznaka	Opis mjerenja	Mjerna jedinica
Parni kotao K8	B1HHG00CF901 ZQ11 ZQ11	Protok plina K8	m _n ³ /h
Parni kotao K9	B2HHG00CF901 ZQ11	Protok plina K9	m _n ³ /h
Vrelovodni kotao VK3	GHHG00CF901 ZQ01	Protok plina VK3	m _n ³ /h
Vrelovodni kotao VK4	KHHG00CF902 ZQ01	Protok plina VK4	m _n ³ /h



1.6. OSOBE KOJE ĆE SUDJELOVAT NA MJERENJU

Voditelj tima za mjerenje: Andrej Slavica, mag. ing. mech.
Borna Glückselig, mag. ing. agr.
Darko Glückselig, teh.
Antonijo Škvorić, teh.

2. POSTROJENJE

2.1. OPIS POSTROJENJA

Elektrana-toplana Zagreb (EL-TO Zagreb) je prvenstveno namijenjena proizvodnji toplinske energije, dok se električna energija proizvodi u spojnom (kogeneracijskom) procesu. Toplinska energija se isporučuje vrelvodnom sustavu Grada Zagreba za podmirivanje ogrjevnog i sanitarnog konzuma (potrošna topla voda) i parnom sustavu za podmirivanje potrošnje tehnološke pare i parnog grijanja. Električna energija se proizvodi u bloku B, te u dva plinsko-turbinska kogeneracijska bloka H i J. Osim navedenih blokova u EL-TO Zagreb su instalirane i proizvodne jedinice direktne proizvodnje toplinske energije, vrelvodni kotlovi VK3 i VK4 te niskotlačni parni kotlovi NTK1 i NTK2.

Dimni plinovi vrelvodnih kotlova VK3 i VK4 te kotlova bloka B (parni kotlovi K8 i K9) ispuštaju se kroz zajednički betonski dimnjak visine 200 m (ispust Z1 prema *Rješenju o izmjeni i dopuni uvjeta okolišne dozvole*) koji je prikazan na sl. P 1.



Sl. P 1: EL-TO Zagreb i glavni betonski dimnjak (zajednički ispust dimnih plinova Z1)



2.2. SASTAV GORIVA

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

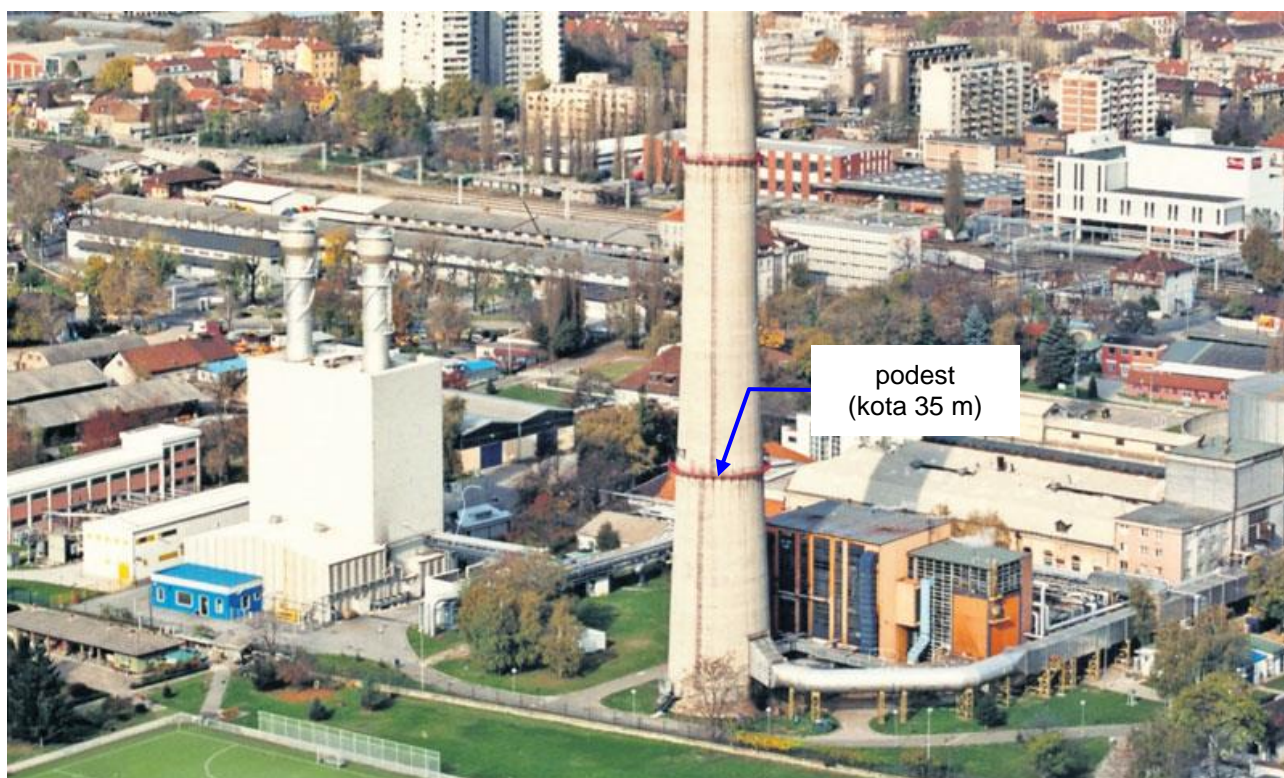
2.3. UREĐAJI ZA ODVOĐENJE I SMANJIVANJE EMISIJE OTPADNIH PLINOVA

Parni kotlovi K8 i K9 opremljeni su plamenicima s niskom razinom emisije dušikovih oksida (engl. *Low NO_x Burners - LNB*), a vrelovodni kotlovi VK3 i VK4 uz plamenike s niskom razinom emisije dušikovih oksida imaju i sustav povrata (recirkulacije) dimnih plinova koji dodatno smanjuje emisiju dušikovih oksida.

3. MJERNO MJESTO

Mjerno mjesto nalazi se na koti 35 m (vidi sl. P 2) glavnog betonskog dimnjaka, između unutarnje i vanjske stijenke dimnjaka. Mjernom mjestu se može pristupiti od razine tla putem vanjskih vertikalnih penjalica (koje vode do vanjskog podesta i vrata kroz koja se može ući u prostor između unutarnje i vanjske stijenke dimnjaka) ili putem unutarnjih penjalica koje se nalaze između unutarnje i vanjske stijenke dimnjaka.

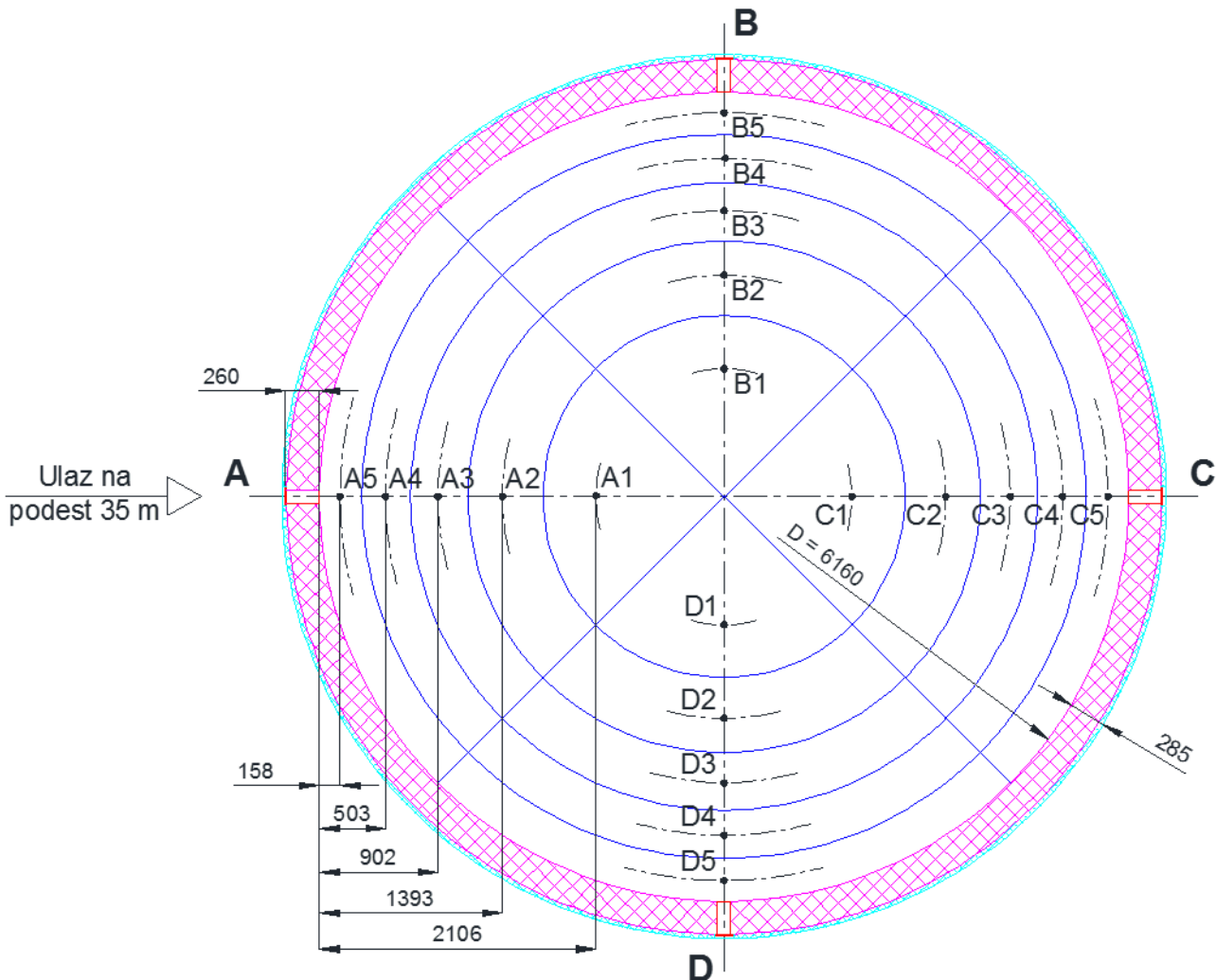
Radi transporta opreme potrebno je osigurati kransku dizalicu (auto-dizalicu).



Sl. P 2: Položaj podesta na koti 35 m glavnog betonskog dimnjaka EL-TO Zagreb

3.1. MJERNI PRESJEK

Mjerni presjek glavnog betonskog dimnjaka je kružnog poprečnog presjeka. Predloženi raspored mjernih osi i mjernih točaka dan je na sl. P 3.



Sl. P 3: Dimenzije i predloženi raspored mjernih točki po mjernom presjeku glavnog betonskog dimnjaka na koti 35 m

Prije serije mjerenja može se provjeriti homogenost sastava dimnih plinova. Ukoliko je sastav homogen dozvoljeno je sastava dimnih plinova mjeriti u jednoj (reprezentativnoj) točki. Temperaturu dimnih plinova i brzinu potrebno je mjeriti po presjeku u svim mjernim točkama (20 mjernih točaka).

Četiri mjerna priključka (označeni A, B, C i D na sl. P 3) izvedeni su od čelične cijevi unutarnjeg promjera 80 mm s prirubnicom vanjskog promjera 150 mm. Na diobenom promjeru 125 mm su dva vijka M12.

Kao što se vidi na sl. P 3, mjerni priključci su izvedeni u skladu sa zahtjevima normi HRN EN 15259:2008, HRN ISO 9096:2017 i HRN EN 13284-1:2017.

4. MJERNE METODE I INSTRUMENTI

Umjeravanje AMS uređaja provesti će se u trajanju do najviše mjesec dana. Minimalno neto vrijeme svih mjerenja po jednom ispustu iznositi će 7,5 sati, što je jednako ukupnom trajanju od 15 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 10 minuta. Mjerne metode i instrumenti koji će biti korišteni za provedbu kontrolnih mjerenja navedene su u tab. P 4.



Tab. P 4: 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. 29.2), hladnjak M&C PSS-5 (lab. oznaka E.U. 29.3), analizator HORIBA PG-350E (lab. oznaka E.U. 29.1).
SO_2		HRN ISO 7935:1997	
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 Zagreb Jug 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 preuzeti s mjerne postaje <i>Tržnica Trešnjevka - IZAGRE91</i> (https://www.wunderground.com).
krute čestice	HRN EN 13284-1:2017	HRN EN 13284-1:2017	SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1).
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. 21.1).
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. 21.1), 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 Emisija krutih čestica, brzina, tlak i temperatura dimnih plinova

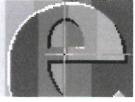
Najmanje 15 mjerenja koncentracije krutih čestica, brzine strujanja dimnih plinova, tlaka i temperature plinova provesti će se istovremeno u 20 točaka mjernog presjeka u neto trajanju od 60 minuta (3 minute po točki) uređajem SICK GRAVIMAT SHC 501 (lab. oznaka E.U. 26.1.) prema radnom postupku *eLAB-PE-105 - Mjerenje emisija krutih čestica GRAVIMAT-om*.

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

$$p = (p_{10} + p_0) - \frac{\rho \cdot v^2}{200}, \quad (4)$$

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 mjeran 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 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 (lab. oznaka E.U. 1.3.5). 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. Slijepu probu potrebno je provesti prije ili poslije svake serije mjerenja.

4.1.2 Vlažnost plinova

Volumni udio vodene pare (vlage) u dimnim plinovima (H_2O) izračunati će se prema internoj metodi *eLAB-PE-108 Računsko određivanje vlage*. Radi potrebe izračuna potrebno je prikupiti podatke o sastavu (elementarni sastav) korištenog plinskog ulja. Podatke o tlaku, temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka treba mjeriti psihrometrom AHLBORN FNAD 46-3 ili preuzeti s mjerne postaje Tržnica Trešnjevka - IZAGRE91 (<https://www.wunderground.com>).

4.1.3 Volumni udjeli u suhim plinovima

Potrebno je provesti najmanje 15 mjerenja CO_2 , O_2 , CO , NO_x i SO_2 u neto trajanju od 60 minuta (paralelno s mjerenjima koncentracije krutih čestica, brzine, tlaka i temperature 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 prilikom loženja kotlova prirodnim plinom su $O_2 \cong 8\%$, $CO \cong 20 \text{ mg/m}_n^3$, $SO_2 \cong 1 \text{ mg/m}_n^3$ i $NO_x \cong 50 \text{ mg/m}_n^3$).

Tehnički odgovorna osoba:

Andrej Slavica, mag. ing. mech.